

Ontgronding spaarbekken De Gijster

**Geotechnische, hydrologische en rivierkundige
beoordeling**



Ontgronding spaarbekken De Gijster

Geotechnische, hydrologische en rivierkundige beoordeling

Dick Mastbergen
Geeralt van den Ham
Bert Sman
Rolien van der Mark

1201856-000

Titel

Ontgroning spaarbekken De Gijster

Opdrachtgever

Adviesburo De Meent b.v.

Project

1201856-000

Kenmerk

1201856-000-ZKS-0018

Trefwoorden

zandwinning, oever- en dijkstabiliteit, grondwater, rivierwaterstanden

Samenvatting

Door Adviesburo De Meent b.v. is Deltares advies gevraagd t.a.v. de beoordeling van de stabiliteit van het ontwerp voor de onderwatertaluds tijdens en na afloop van de beoogde verdiepingswerkzaamheden in het drinkwaterspaarbekken De Gijster, ten behoeve van de onderbouwing van de aanvraag voor een ontgrondingsvergunning. Ook de stabiliteit van de ringdijk moet tijdens de ontgroning gewaarborgd blijven.

Hiervoor is grondonderzoek uitgevoerd bestaande uit sonderingen, boringen en het plaatsen van peilbuizen.

Door Adviesburo De Meent b.v. is Deltares tevens gevraagd om na te gaan wat het effect van de ontgroning op de omgeving is in termen van verandering van grondwaterstijghoogte en lekstroom. Tenslotte is Deltares gevraagd om een expert-beoordeling te geven van de rivierkundige effecten als gevolg van de aanleg van een tijdelijk zanddepot.

De resultaten en conclusies zijn opgenomen in voorliggend rapport met bijlagen.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
3	3aug2011	ir. D.R. Mastbergen		ir. J.G.S. Pennekamp		ir. T. Schilperoort	
		drs. G.A. van den Ham		ir. T.P. Stoutjesdijk		ir. J. Maccabiani	
		ir. H.T. Sman		ir. J.J. van Meerten		ir. J. van Ruijven	
		ir. C.F. van der Mark		dr. ir. E. Mosselman		ir. F.C.M. van der Knaap	

Inhoud

1 Inleiding	6
1.1 Doel	6
1.2 Vraagstelling en leeswijzer	7
2 Veldonderzoek	8
2.1 Uitgevoerd veldonderzoek	8
2.1.1 Sonderingen	8
2.1.2 Boringen	8
2.1.3 Peilbuizen	10
2.2 Uitgevoerd labonderzoek	11
2.2.1 Labbeschrijvingen en boorfoto's	11
2.2.2 Korrelverdelingen	11
2.3 Opbrengstberekening	15
2.4 Chemische en bodemkundige analyses	18
3 Stabiliteitsanalyse ringdijk en taluds zandwinning	19
3.1 Bestaande situatie	19
3.1.1 Dwarsprofiel ringdijk binnenzijde	19
3.1.2 Ontwerp taluds ontgroning	19
3.1.3 Inpeilingen bestaande taluds	19
3.2 Taludontwerp ontgroning	20
3.3 Bresvloeiing eenvoudige en gedetailleerde analyse	21
3.3.1 Analyse uitgevoerde boringen	21
3.3.2 Zuigerinzet en capaciteit	24
3.3.3 Gedetailleerde analyse: berekeningen HMBreach	25
3.4 Verwekingsvloeiing eenvoudige en gedetailleerde analyse	27
3.4.1 Analyse uitgevoerde sonderingen	27
3.4.2 Algemeen beeld relatieve dichtheden	34
3.5 Stabiliteit ringdijk	34
3.5.1 MStab berekening stabiliteitszone ringdijk	34
3.5.2 Mogelijke inscharingslengte en veiligheid ringdijk	36
3.5.3 Situatie ringdijk met zanddepot	38
3.5.4 Overige faalmechanismen	39
4 Geohydrologisch onderzoek	40
4.1 Inleiding	40
4.2 Projectbeschrijving	40
4.2.1 Algemeen	40
4.2.2 Leeswijzer	40
4.3 Geohydrologie	41
4.3.1 Geologische gesteldheid	41
4.3.2 Geohydrologische schematisatie	42
4.3.3 Grondwaterstijghoogte	43
4.3.4 Grondwaterstroming	44
4.3.5 Analyse uitgevoerd grondonderzoek	44
4.3.6 Waarnemingen geplaatste peilbuizen	44
4.4 Grondwaterhuishouding	44

4.4.1	Geohydrologie parameters	44
4.4.2	Modellering van inzijging van water vanuit het bekken	45
4.4.3	Calibratie van het model	45
4.4.4	Berekeningsresultaten	46
4.5	Samenvatting en conclusies	48
5	Rivierkundige effecten van buitendijkse aanleg tijdelijk depot	52
5.1	Inleiding	52
5.1.1	Achtergrond	52
5.1.2	Doel	52
5.1.3	Aanpak	52
5.2	Rivierkundige analyse	52
5.2.1	Inleiding	52
5.2.2	Rivierkundige situatie ter plaatse van toekomstig depot	52
5.2.3	Identificatie van relevante rivierkundige effecten	53
5.2.4	Hydraulica	53
5.2.5	Bodemligging en morfologie	55
5.2.6	Hinder of schade	56
5.3	Conclusie	56
5.4	Figuren	57
6	Conclusies en aanbevelingen	61
6.1	Opbrengst zandwinning	61
6.2	Stabiliteit taluds en ringdijk	61
6.3	Geohydrologie	62
6.4	Rivierkundig effect buitendijs zanddepot	62
7	Referenties	63

Bijlagen

1	Situatietekening, grondonderzoek en peilbuizen (Deltares)
2	Principe dwarsprofiel (Adviesburo De Meent b.v.)
3	Inrichting werkterrein (Adviesburo De Meent b.v.)
4	Sonderingen (Deltares)
5	Boorbeschrijvingen (BAM)
6	Boorfoto's (Deltares)
7	Labbeschrijvingen (Deltares)
8	Korrelverdelingen (Deltares)
9	Plaatsingsformulier peilbuizen (Deltares)
10	Overzicht werkzaamheden veld (Deltares)
11	Chemische en Bodemkundige Analyses (Analytico)

1 Inleiding

1.1 Doel

Het Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch (WBB) beschikt over een drietal spaarbekkens in de Biesbosch: De Petrusplaat, Honderd en Dertig en De Gijster, zie figuur 1.1 en Bijlage 1. Evides voert ten aanzien bovengenoemde spaarbekkens het feitelijke beheer en drinkwaterzuivering en –leverantie uit. De Gijster is het enige voorraadbekken en is ca. 320 ha groot. Het bekken is in 1978 opgeleverd en is op de diepste punten nu 15 – 20 m diep.



Figuur 1.1 Het spaarbekken De Gijster bij Nationaal Park Biesbosch (bron: Google Maps)

Het bij de aanleg vrijgekomen zand is grotendeels afgezet ten behoeve van ophoogdoeleinden op het bedrijventerrein Moerdijk. Delen van het zand zijn nooit gewonnen, omdat daar destijds geen afzetmogelijkheden meer voor waren. In De Gijster kan het water, in tegenstelling tot de andere twee bekkens, zeer sterk fluctueren. Het gemiddelde waterniveau in De Gijster ligt op 6,5 m + NAP. De kruin van de dijk om het spaarbekken heen ligt op 8,5 m + NAP, zie foto 1. De dijk is dusdanig ontworpen dat deze grote waterfluctuaties kan opvangen zonder risico op schade.

WBB/Evides wil ter verbetering van de waterkwaliteit de bodem die nog op het 'oude' maaiveld ligt in het spaarbekken De Gijster verdiepen, zie schets Bijlage 2. De te verdiepen delen liggen met name aan de buitenzijde van het bekken, ter plaatse van de platbermen. Doordat het bekken op deze plekken maar ca. 6,5 m diep is (ca. 0,00-1,00 m + NAP c.q. het niveau van het 'oude' maaiveld) treedt er met name in de zomer in deze delen zonlicht toe tot op de bodem, wat leidt tot algenbloei volgens WBB. Een verdieping heeft ook een positieve invloed op de bergingscapaciteit van het bekken, waardoor langere periodes van droogte of eventuele waterinlaatstops door verontreinigingen in de Maas beter opgevangen kunnen worden.

1.2 Vraagstelling en leeswijzer

Door Adviesburo De Meent b.v., bij opdrachtbrief 18 november 2010 met projectcode T4725AA1, is Deltares advies gevraagd t.a.v. de beoordeling van de stabiliteit van het ontwerp voor de onderwatertaluds tijdens en na afloop van de beoogde verdiepingswerkzaamheden in het spaarbekken, conform de laatste inzichten en richtlijnen, zoals de CUR-aanbeveling 113, ten behoeve van de onderbouwing van aanvraag voor een ontgrondingsvergunning en het werkplan voor de ontgroning als onderdeel van deze aanvraag. Ook de stabiliteit van de ringdijk moet tijdens de ontgroning gewaarborgd blijven. Dit is gerapporteerd in hoofdstuk 3.

Om de stabiliteit van de taluds en de ringdijk te kunnen beoordelen bij de voorgenomen ontgroning, is in overleg een plan voor grondonderzoek opgesteld. Dit is gerapporteerd in hoofdstuk 2.

Door Adviesburo De Meent b.v. is Deltares tevens gevraagd om na te gaan wat het effect van deze ontgroning op de omgeving is in termen van verandering van grondwaterstijghoogte en lekstroom. Dit is gerapporteerd in hoofdstuk 4. Voor het bepalen van deze effecten zijn ook peilbuizen geplaatst en uitgelezen.

Tenslotte is Deltares gevraagd om een beoordeling te geven van de rivierkundige effecten als gevolg van de aanleg van een tijdelijk zanddepot in buitendijks gebied bij het spaarbekken ten behoeve van de aanvraag van een Watervergunning. Dit is gerapporteerd in hoofdstuk 5.

De conclusies zijn opgenomen in hoofdstuk 6.



Foto 1 Ringdijk spaarbekken De Gijster

2 Veldonderzoek

2.1 Uitgevoerd veldonderzoek

2.1.1 Sonderingen

Om de stabiliteit van de taluds en de ringdijk te kunnen beoordelen bij de voorgenomen ontgroning, is in overleg een plan voor het grondonderzoek opgesteld. Aantal, afstand en diepte zijn conform CUR 113 vastgesteld.

In Bijlage 1 is de situatietekening gegeven met daarop de locaties van de uitgevoerde sonderingen, boringen en peilbuizen. De sonderingen (met waterspanningsmeting), (S01 t/m S12) zijn door Deltares uitgevoerd eind november 2010. Er is gewerkt vanaf de kruin van de ringdijk, foto 1. De einddiepte van de sonderingen bedraagt circa -19 tot 22 m NAP. Op 2 locaties zijn de sonderingen dieper doorgezet. Dit betreft S06 (NAP -25,8 m) en S12 (NAP -29,2 m).

De resultaten van de sonderingen zijn opgenomen in Bijlage 4, de grafieken van de gemeten conusweerstand met waterspanning, wrijvingsweerstand en wrijvingsgetal als functies van de diepte. Een overzicht van het veldwerk met locaties is ook opgenomen in Bijlage 10, Overzicht uitgevoerde werkzaamheden veld.

Het overzetten van sondeerwagens en boorequipment met personeel is in overleg verzorgd door Evides met eigen ponton, zie foto 2. Voor het dagelijks transport van personeel van Drimmelen naar de locatie heeft Deltares een kajuitboot ingezet, zie foto's 3 en 4.



Foto 2 Ponton van Evides

2.1.2 Boringen

De boringen (B01 t/m B06) zijn door BAM - Infra uitgevoerd, onder begeleiding van Deltares, zie Bijlage 1 voor de locaties. Er zijn 6 pulsboringen uitgevoerd waarbij om de meter een steekbus is genomen.

Er zijn in totaal 96 steekbussen waarvan korrelverdelingen in het lab zijn bepaald. De boringen zijn uitgevoerd in de periode eind november 2010 tot begin januari 2011.

Van de boringen is door de BAM ter plaatse een boorbeschrijving gemaakt, zie Bijlage 5. Deze geeft een beschrijving van de gehele boordiepte vanaf maaiveld (MV = bovenzijde ringdijk). De resultaten van maaiveld (0 m + MV) tot ongeveer 8 m – MV (ongeveer 9 m + NAP tot 1 m + NAP) hebben dus betrekking op het dijklichaam van de ringdijk en niet op het te zuigen zand in de ondergrond langs de binnenrand van het spaarbekken.

Bij de boorbeschrijvingen die van de boormonsters zijn gemaakt is ook een kwalitatieve aanduiding op basis van de (ingeschatte) korreldiameter vermeld (bijv. matig fijn zand, matig siltig).

Door de vorst in de periode einde november 2010 tot medio januari 2011, waardoor de taluds van de ringdijk soms onbegaanbaar waren, moesten de werkzaamheden gedurende enkele weken onderbroken worden. Ook was het terrein herhaaldelijk niet bereikbaar per boot door mist.



Foto 3 Huurbootje voor overtocht van Drimmelen naar locatie



Foto 4 Huurbootje voor overtocht van Drimmelen naar locatie

2.1.3 Peilbuizen

In de zes boringen die in de dijk rond het bekken zijn uitgevoerd, zijn telkens 2 peilfilters afgesteld, een diep en een minder diep (zie ook paragraaf 4.3.6), zie ook foto 5. Aanvullend zijn ook in het noordelijke (P1) en oostelijke (P2) poldergebied peilbuizen geplaatst (met een ondiep peilfilter). Zie Bijlage 1 voor de situatietekening en Bijlage 9, het plaatsingsformulier voor een overzicht van de locaties.

De filterstelling en de gemeten stijghoogte zijn opgenomen in Tabel 2.1. Direct na plaatsing is het niveau nog niet goed uit te lezen. Door mist was het terrein niet bereikbaar per boot en konden de peilbuizen niet uitgelezen worden, eind januari 2011 is dit alsnog gedaan, zie tabel 2.1 en Bijlage 10, Overzicht werkzaamheden veld. Deze metingen waren nodig omdat er weinig recente literatuurgegevens beschikbaar waren om de geohydrologische berekeningen te calibreren (hoofdstuk 4). In de toekomst zal Evides de grondwaterstanden in deze peilbuizen zelf monitoren.

Tabel 2.1 Afstelling peilfilters en waarneming 31 januari 2011

Boring	Filterniveau PB1 [m + NAP]	Filterniveau PB2 [m + NAP]	Stijghoogte PB1 [m + NAP]	Stijghoogte PB2 [m + NAP]	Vershil PB2-PB1 [m]
B01	-14,1 tot -15,1	0,9 tot -0,1	2,62	2,43	-0,19
B02	-12,1 tot -13,1	-2,6 tot -3,6	1,65	1,85	0,20
B03	-12,0 tot -13,0	-2,0 tot -3,0	2,44	2,73	0,29
B04	-14,1 tot -15,1	-0,1 tot -1,1	2,84	2,62	-0,22
B05	-13,7 tot -14,7	0,3 tot -0,7	2,77	2,52	-0,25
B06	-13,4 tot -14,4	0,1 tot -0,9	1,86	1,96	0,10
(P1)	-0,1 tot -0,9		0,27		
(P2)	-0,8 tot -0,2		0,28		



Foto 5 peilbuis afgewerkt

2.2 Uitgevoerd labonderzoek

2.2.1 Labbeschrijvingen en boorfoto's

De bussen met monsters zijn afgeleverd bij het Geolab van Deltares, alwaar het verder onderzoek is uitgevoerd. De bussen zijn opengesneden en er is eerst een kwalitatieve beschrijving gemaakt, zie Bijlage 6 Boorfoto's en Bijlage 7 Labbeschrijvingen.

De labbeschrijving en de boorfoto's geven alleen de beschikbare, in het veld met bussen gestoken monsters weer vanaf 8 m diepte. De monsters zijn op de juiste afstand gelegd zodat de boorfoto's de totale lengte dekken.

Bij de labbeschrijvingen die aan de hand van de doorgesneden monsters in het lab zijn gemaakt, is alleen aangegeven wat de samenstelling is (bijv. zand, zwak siltig). Hierbij is nog de ingeschatte mediane korreldiameter (ZM) vermeld.

2.2.2 Korrelverdelingen

De monsters zijn verticaal doorgesneden en van het zo verkregen zand zijn de korrelverdelingen gemaakt. In totaal dus 96 steekbussen/korrelverdelingen, om de 1 m per boring. Van enkele monsters bestaande uit klei of veen zijn geen korrelverdelingen gemaakt. Van enkele monsters zijn daarentegen meerdere korrelverdelingen gemaakt. De korrelverdelingsdiagrammen zijn opgenomen in Bijlage 8.

De resultaten zijn per boring samengevat in de tabellen 2.2 t/m 2.7, waarin de resulterende d_{50} en d_{15} zijn vermeld voor de boringen B01 t/m B06 als functies van de diepte in m + NAP. In de tabellen is de beschrijving toegevoegd van het zand op basis van de gemeten korreldiameter (d_{50}) conform CUR 113. De hoogte van het maaiveld ter plaatse van de boringen is in het veld opgemeten en vermeld in de labbeschrijvingen.

Tabel 2.2 Korrelverdelingen Boring B01

Mons ter	laag van	tot	laag dikte	Korrel diame ter d_{50}	Korrel diame ter d_{15}	Beschrijving zand
#	m + NAP	m + NAP	m	mm	mm	
17A	+0.89	+0.49	0.40	0.266	0.159	Zand matig grof
18A	-0.01	-0.41	0.40	0.261	0.155	Zand matig grof
20A	-2.11	-2.21	0.10	0.179	0.080	Zand matig fijn
20B	-2.71	-3.01	0.30	0.269	0.191	Zand matig grof
22A	-4.51	-4.91	0.40	0.181	0.107	Zand matig fijn
23A	-5.41	-5.81	0.40	0.133	0.092	Zand zeer fijn
24A	-6.31	-6.71	0.40	0.202	0.129	Zand matig fijn
25B	-7.41	-7.61	0.20	0.280	0.128	Zand matig grof
26A	-8.11	-8.51	0.40	0.273	0.170	Zand matig grof
27A	-9.01	-9.41	0.40	0.272	0.157	Zand matig grof
28A	-10.01	-10.31	0.30	0.207	0.159	Zand matig fijn
28B	-10.81	-11.21	0.40	0.201	0.144	Zand matig fijn
29A	-11.71	-12.11	0.40	0.222	0.164	Zand matig grof
30A	-12.61	-13.01	0.40	0.196	0.145	Zand matig fijn
31A	-13.51	-13.91	0.40	0.192	0.145	Zand matig fijn
32A	-14.41	-14.81	0.40	0.200	0.146	Zand matig fijn

Tabel 2.3 Korrelverdelingen Boring B02

Mons ter	laag van	tot	laag dikte	Korrel diameter d ₅₀	Korrel diameter d ₁₅	Beschrijving zand
#	m + NAP	m + NAP	m	mm	mm	
1A	0.88	+0.48	0.40	0.319	0.176	Zand zeer grof
2A	-0.12	-0.52	0.40	0.300	0.189	Zand zeer grof
3A	-1.12	-1.52	0.40	0.289	0.181	Zand matig grof
4A	-2.12	-2.52	0.40	0.254	0.127	Zand matig grof
5A	-3.12	-3.52	0.40	0.210	0.112	Zand matig grof
6A	-4.12	-4.52	0.40	0.172	0.095	Zand matig fijn
7A	-5.12	-5.52	0.40	0.184	0.112	Zand matig fijn
11A	-9.12	-9.52	0.40	0.353	0.254	Zand zeer grof
12A	-10.12	-10.52	0.40	0.375	0.250	Zand zeer grof
13A	-11.12	-11.52	0.40	0.343	0.209	Zand zeer grof
14A	-12.12	-12.52	0.40	0.389	0.259	Zand zeer grof
15A	-13.12	-13.52	0.40	0.327	0.209	Zand zeer grof
15B	-13.62	-14.02	0.40	0.406	0.239	Zand zeer grof
16A	-14.12	-14.52	0.40	0.315	0.152	Zand zeer grof
16B	-14.62	-15.02	0.40	0.223	0.125	Zand matig grof

Tabel 2.4 Korrelverdelingen Boring B03

Mons ter	laag van	tot	laag dikte	Korrel diameter d ₅₀	Korrel diameter d ₁₅	Beschrijving zand
#	m + NAP	m + NAP	m	mm	mm	
66A	1.02	0.62	0.40	0.292	0.162	Zand matig grof
67A	0.02	-0.38	0.40	0.260	0.139	Zand matig grof
71A	-4.13	-4.38	0.25	0.179	0.094	Zand matig fijn
72A	-4.98	-5.38	0.40	0.234	0.150	Zand matig grof
73A	-5.98	-6.38	0.40	0.183	0.109	Zand matig fijn
74A	-6.98	-7.38	0.40	0.205	0.118	Zand matig fijn
75A	-7.98	-8.38	0.40	0.317	0.145	Zand zeer grof
76A	-8.98	-9.38	0.40	0.296	0.161	Zand matig grof
77A	-9.98	-10.38	0.40	0.404	0.252	Zand zeer grof
78A	-10.98	-11.38	0.40	0.362	0.217	Zand zeer grof
79A	-11.98	-12.38	0.40	0.382	0.252	Zand zeer grof
80A	-12.98	-13.38	0.40	0.420	0.256	Zand uiterst grof
81A	-13.98	-14.38	0.40	0.345	0.221	Zand zeer grof

Tabel 2.5 Korrelverdelingen Boring B04

Mons ter	laag van	tot	laag dikte	Korrel diameter d ₅₀	Korrel diameter d ₁₅	Beschrijving zand
#	m + NAP	m + NAP	m	mm	mm	
50A	0.93	0.53	0.40	0.286	0.177	Zand matig grof
51A	-0.07	-0.47	0.40	0.241	0.148	Zand matig grof
52A	-1.07	-1.47	0.40	0.191	0.118	Zand matig fijn
53A	-2.07	-2.47	0.40	0.204	0.127	Zand matig fijn
54A	-3.07	-3.47	0.40	0.238	0.166	Zand matig grof
56A	-5.07	-5.47	0.40	0.140	0.084	Zand zeer fijn
57A	-6.07	-6.47	0.40	0.185	0.105	Zand matig fijn
58A	-7.07	-7.47	0.40	0.269	-	Zand matig grof
59A	-8.07	-8.47	0.40	0.434	0.200	Zand uiterst grof
60A	-9.07	-9.47	0.40	0.436	0.198	Zand uiterst grof
61A	-10.07	-10.47	0.40	0.340	0.192	Zand zeer grof
62A	-11.07	-11.47	0.40	0.303	0.181	Zand zeer grof
63A	-12.07	-12.47	0.40	0.345	0.195	Zand zeer grof
64A	-13.07	-13.47	0.40	0.306	0.184	Zand zeer grof
65A	-14.07	-14.47	0.40	0.285	0.181	Zand matig grof

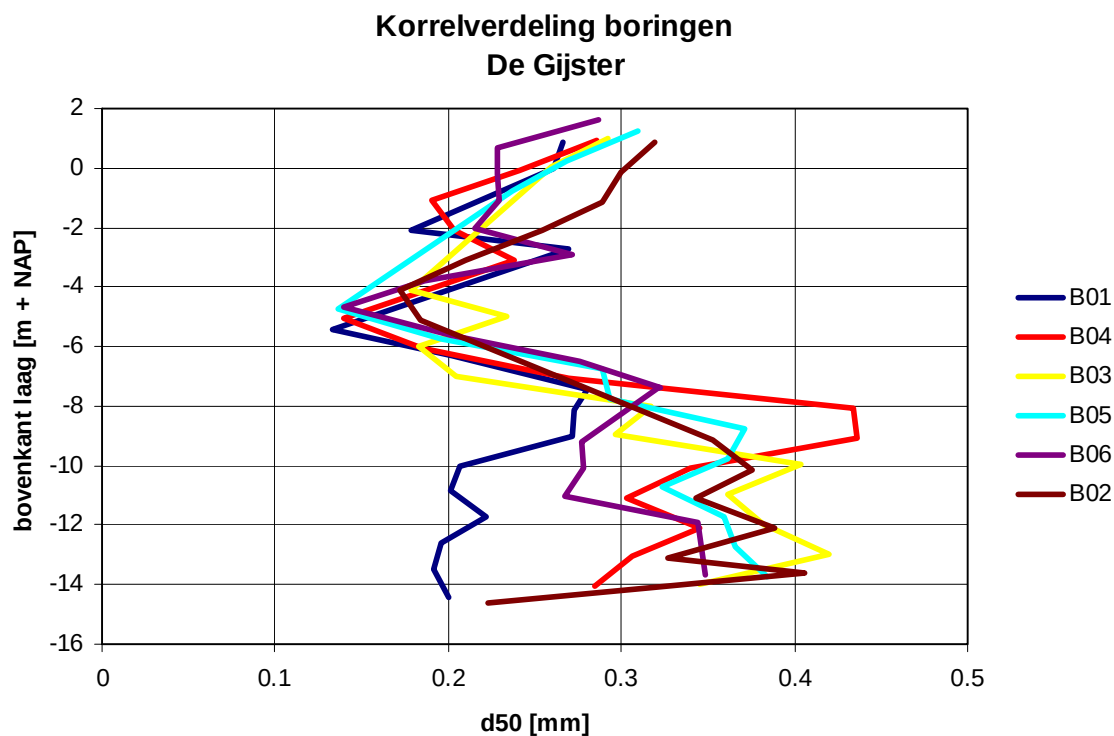
Tabel 2.6 Korrelverdelingen Boring B05

Mons ter	laag van	tot	laag dikte	Korrel diameter d ₅₀	Korrel diameter d ₁₅	Beschrijving zand
#	m + NAP	m + NAP	m	mm	mm	
82A	1.26	0.86	0.40	0.310	0.183	Zand zeer grof
83A	0.26	-0.14	0.40	0.268	0.158	Zand matig grof
84A	-0.74	-1.14	0.40	0.237	0.132	Zand matig grof
88A	-4.74	-5.14	0.40	0.136	0.079	Zand zeer fijn
89A	-5.74	-6.14	0.40	0.196	0.110	Zand matig fijn
90A	-6.74	-7.14	0.40	0.289	0.162	Zand matig grof
91A	-7.74	-8.14	0.40	0.293	0.180	Zand matig grof
92A	-8.74	-9.14	0.40	0.371	0.227	Zand zeer grof
93A	-9.74	-10.14	0.40	0.361	0.220	Zand zeer grof
94A	-10.74	-11.14	0.40	0.324	0.239	Zand zeer grof
95A	-11.74	-12.14	0.40	0.359	0.261	Zand zeer grof
96A	-12.74	-13.14	0.40	0.366	0.222	Zand zeer grof
97A	-13.74	-14.14	0.40	0.384	0.250	Zand zeer grof

Tabel 2.7 Korrelverdelingen Boring B06

Mons ter	laag van	tot	laag dikte	Korrel diameter d_{50}	Korrel diameter d_{15}	Beschrijving zand
#	m + NAP	m + NAP	m	mm	mm	
33A	1.6	1.2	0.40	0.287	0.188	Zand matig grof
34A	0.7	0.3	0.40	0.228	0.149	Zand matig grof
35A	-0.2	-0.6	0.40	0.228	0.128	Zand matig grof
36A	-1.1	-1.5	0.40	0.229	0.165	Zand matig grof
37A	-2	-2.4	0.40	0.215	0.118	Zand matig grof
38A	-2.9	-3.3	0.40	0.272	0.157	Zand matig grof
39A	-3.8	-4.2	0.40	0.186	0.108	Zand matig fijn
39B	-4.7	-5.1	0.40	0.140	0.087	Zand zeer fijn
40A	-5.6	-6	0.40	0.201	0.119	Zand matig fijn
41A	-6.5	-6.9	0.40	0.276	0.149	Zand matig grof
42A	-7.4	-7.8	0.40	0.323	0.196	Zand zeer grof
42A	-7.4	-7.8	0.40	0.321	0.192	Zand zeer grof
44A	-9.2	-9.6	0.40	0.277	0.185	Zand matig grof
45A	-10.1	-10.5	0.40	0.278	0.183	Zand matig grof
46A	-11	-11.4	0.40	0.267	0.181	Zand matig grof
47A	-11.9	-12.3	0.40	0.344	0.129	Zand zeer grof
48B	-13.7	-14.1	0.40	0.348	0.202	Zand zeer grof

In figuur 2.1 is de korreldiameter d_{50} weergegeven als functie van de diepte zodat duidelijk wordt waar de grovere zandlagen liggen.

Figuur 2.1 Gemeten korreldiameter d_{50} als functie van de diepte

Bij de boringen in het noordelijk deel van het spaarbekken ligt het grovere materiaal op ongeveer 8 tot 14 m – NAP. Tussen 4 en 6 m – NAP ligt duidelijk veel fijner materiaal en plaatselijk klei / veen. Boring B01 in het zuidelijk deel laat op deze diepte duidelijk minder grof materiaal zien dan en boring B06 ligt er tussen in.

2.3 Opbrengstberekening

De beoogde ontgrondingsdiepte varieert van 10 tot 15 m – NAP. Uit de dwarsprofielen en de verschilpeiling, beschikbaar gesteld door Adviesburo De Meent b.v., is te zien dat direct bij de insteek de te winnen diepte 11 à 12 m bedraagt en dan geleidelijk afneemt over een strookbreedte tot 200 m rondom het bekken. In tabel 2.8 zijn de gemiddelde waarden gegeven gebaseerd op de inpeilingsgegevens.

Voor de zandwinning is een opbrengstberekening gemaakt op basis van de zeefanalyses van de boringen, voor de resulterende d_{50} en d_{15} zie tabellen 2.2 t/m 2.7. Van de boringen zijn per meter lengte zeefanalyses gemaakt van het traject van 8 tot 24 m onder de kruin van de ringdijk, dat overeenkomt met het te ontgronden traject van ongeveer 1 m + NAP tot 15 m – NAP, zie Bijlage 8. Van iedere boring is een gemiddelde samenstelling over de diepte berekend op basis van deze zeefanalyses (tout-venant). Zie zeefcurven fig. 2.2 en 2.3 en tabel 2.9. De verschillen per boring zijn niet zo groot, boring B01 bevat wel minder grof materiaal.

De berekende totaal te winnen hoeveelheid materiaal (dus inclusief bovengrond en stoorlagen) bedraagt: 7 936 875 m³ bij een ontgrondingsoppervlakte van 161 ha. Deze hoeveelheid is berekend door het model te vergelijken met de huidige peiling.

De klei- en veenlagen voor zover aangetroffen bij de boringen, zijn in de berekening opgenomen. Aan iedere boring is een volume toegekend overeenkomend met het corresponderende deel van de omtrek en de beoogde diepte ter plaatse. Voor de strookbreedte is een constante waarde aangehouden, zodanig dat het totale volume overeenkomt met de opgave. De doorsnede is als een wig gemodelleerd met als hoogte de maximale ontgrondingsdiepte ter plaatse, zie tabel 2.8. Per fractie en per boring is vervolgens het totale volume bepaald en gesommeerd, zie tabel 2.9.

Tabel 2.8 Berekende ontgrondingsvolumes per boring

Boring	B01	B02	B03	B04	B05	B06	Totaal	
lengte	1.8	1.75	1.4	0.975	1.05	1.525	8.50	km
diepte	-15	-7	-13	-15	-6	-12		m + NAP
maaiveld	1							m + NAP
klei/veen	0.8	1	1.1	1	3	0		m
strookbreedte	151							m
oppervlak	27	26	21	15	16	23	128	ha
Volume	2.17	1.06	1.48	1.18	0.55	1.50	7.94	Mm ³
klei/veen	0.11	0.13	0.12	0.07	0.24	0	0.67	Mm ³
Zand	2.06	0.93	1.36	1.10	0.32	1.50	7.27	Mm ³

De binnenzijde van de ringdijk voorbij de asfaltbekleding bestaat uit een zandberm onder een helling van 1:18 met een klei-afdekking van 0,5 m dikte, die is doorgezet tot het voormalige maaiveld op 0,60 m + NAP, zie tekening Algemene Doorsneden met details, 18-10-1975, Gemeentewerken Rotterdam. Vanaf de beoogde insteek op 62 m van de dijk zal dan een strook van nog ongeveer 30 m van de teen van deze berm gezogen worden onder 1:6. Dit levert nog eens 130 000 m³ (0.13 Mm³) klei en 220 000 m³ (0.22 Mm³) zand op, in totaal dus 0.8 Mm³ klei/veen en 7.5 Mm³ zand.

Tabel 2.9 Dieptegemiddelde samenstelling over gemeten diepte en totaal opbrengst per fractie

Boring								
No.	B01	B02	B03	B04	B05	B06	Totaal	Totaal
van m + NAP	+0.89	+1.06	+0.91	+1.26	+0.93	+1.03		cum
tot m + NAP	-14.81	-14.44	-14.49	-14.41	-14.47	-14.67		
klei/veenlagen	0.80	1.0	1.10	1.0	3.0	-	669	
d (mm)	%	%	%	%	%	%	10 ³ m ³	%
0.038	1.9	2.9	2.4	3.5	2.0	2.4	180	97.5%
0.053	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	34	97.1%
0.063	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	32	96.6%
0.075	1.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	57	95.8%
0.09	1.8	1.1	1.2	1.2	1.1	1.4	100	94.5%
0.106	2.7	1.7	1.8	1.8	1.7	2.2	154	92.4%
0.125	4.3	2.8	3.2	3.5	2.9	3.7	262	88.8%
0.15	9.1	5.5	6.2	6.9	5.4	7.2	523	81.6%
0.18	9.5	4.7	5.1	6.0	4.3	6.4	485	74.9%
0.212	18.7	8.1	9.4	12.1	8.4	13.0	945	61.9%
0.25	15.9	9.4	8.8	12.0	9.2	13.5	900	49.5%
0.355	21.8	25.4	23.5	21.4	26.5	27.1	1731	25.7%
0.5	8.2	21.7	20.3	14.0	19.5	12.7	1054	11.2%
0.71	2.7	9.7	10.1	8.9	9.8	5.3	492	4.4%
1	1.1	2.9	3.3	3.5	3.9	1.7	170	2.1%
1.4	0.2	1.3	1.6	1.7	2.0	0.8	76	1.1%
2	0.1	0.7	0.8	0.9	0.9	0.4	38	0.5%
2.8	0	0.6	0.3	0.4	0.4	0.3	21	0.2%
4	0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	10	0.1%
5.6	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	5	0.0%
8	0	0	0.0	0	0.1	0.0	2	0.0%
11.2	0	0	0.3	0	0	0	1	0.0%

De helft van de totale hoeveelheid te winnen zand is dus gelijk of grover dan 250 µm en 11% grover dan 500 µm.

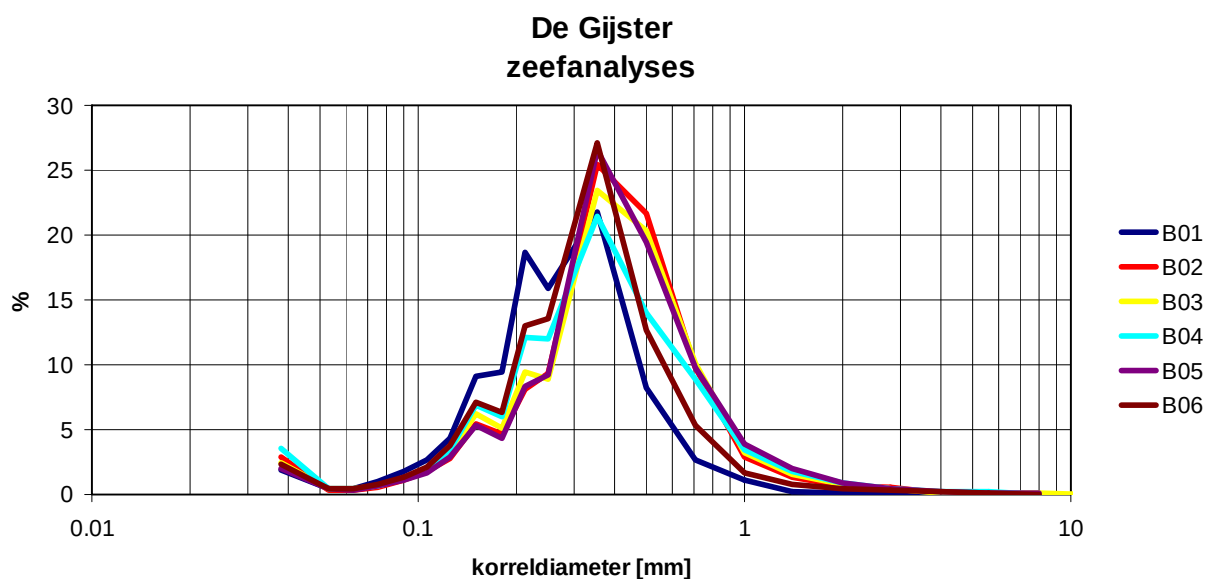


Fig. 2.2 Dieptegemiddelde korrelverdeling per boring over 1 m + NAP tot 15m – NAP.
(per fractie).

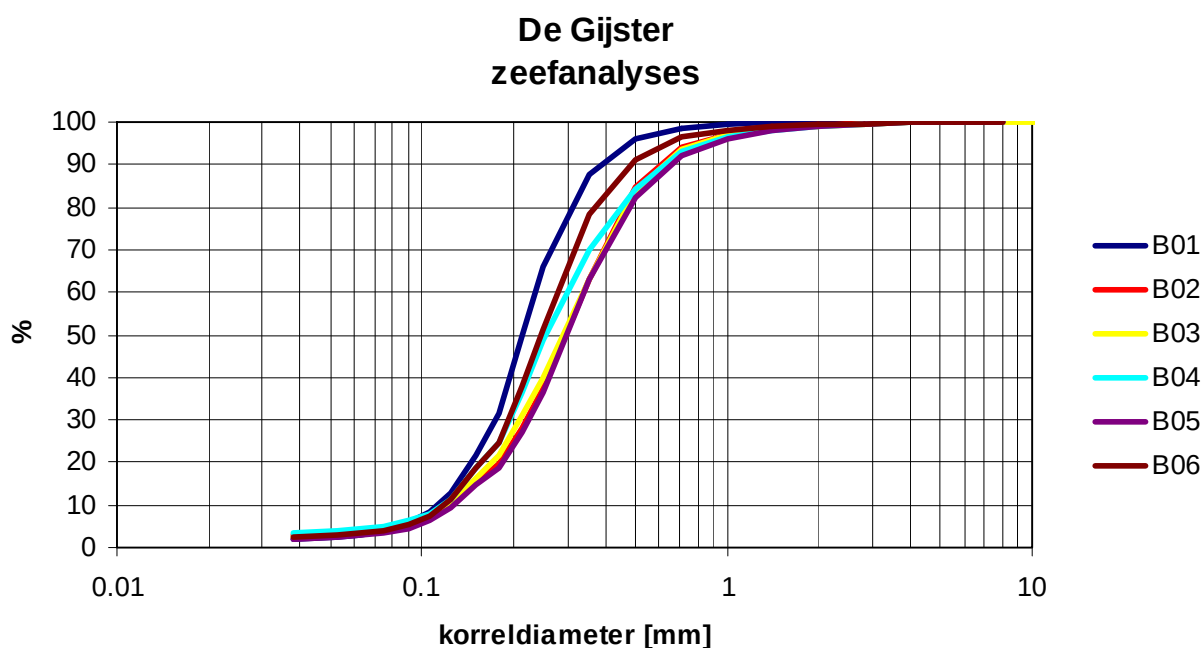


Fig. 2.3 Dieptegemiddelde korrelverdeling per boring over 1 m + NAP tot 15m – NAP.
(cumulatief).

2.4 Chemische en bodemkundige analyses

Van de boormonsters zijn 6 mengmonsters samengesteld voor het milieukundig onderzoek. De chemische en bodemkundige analyses zijn uitgevoerd door Analytico. De rapportage is opgenomen in Bijlage 11.

Alle gemeten milieukundige waarden liggen onder de streefwaarde, er zijn dus geen verontreinigingen aangetroffen in de monsters B01 t/m B06. De streefwaarden van een stof kunnen soms variëren. Dit heeft te maken met het lutum en/of organisch-stofgehalte.

3 Stabiliteitsanalyse ringdijk en taluds zandwinning

3.1 Bestaande situatie

3.1.1 Dwarsprofiel ringdijk binnenzijde

Bestektekening “De Gijster, Algemene Doorsneden met Details, 30-823, Gemeentewerken Rotterdam, 1975” geeft een gedetailleerd beeld van het ontwerp van de taluds van de ringdijk. Deze situatie komt overeen met de inpeiling van de provincie. Het binnendijktalud loopt over een afstand van 18 m gerekend vanaf de top op 9,00 m + NAP onder een helling van 1:4,2, bekleed met asfalt. De asfaltbekleding loopt door in de vooroever tot 1 m – NAP onder gelijke helling. De vooroever is met steen en klei afgedekt vanaf 4,70 m + NAP, onder een helling van 1:18 doorlopend over 44 m tot de voormalige kleiperskade die indertijd is aangelegd om ringdijk en vooroever op te spuiten, op 2,25 m + NAP en 62 m vanaf de top. De teen van de vooroever loopt nog verder onder dezelfde helling tot het oorspronkelijke maaiveld op 0,60 m + NAP op een afstand van 91,75 m. Uit de inpeiling blijkt dat de kleikade na het dimensioneren van de dijk en de vooroever weer is afgegraven.

3.1.2 Ontwerp taluds ontgroning

Voor de insteek van de ontgroning wordt de locatie van de voormalige kleikade op 62 m van de ringdijk aangehouden. De polderbodem strekt zich uit over een lengte van ruim 100 m vanaf de beoogde insteek. Het beoogde talud van de ontgroning verloopt onder een constante helling van 1:6 tot maximaal 15 m – NAP. Indertijd is zand gewonnen tot een diepte van ongeveer 10 tot 15 m – NAP en incidenteel centraal in het bekken tot ongeveer 20 m – NAP. De ontgroning bestaat uit het weghalen van de nog aanwezige strook zand langs de gehele omtrek. Het ontwerp dwarsprofiel is weergegeven in de tekening Principe dwarsprofiel ontgraving, T4725AA1 2011-01-10 van Adviesburo De Meent b.v., zie Bijlage 2. De teen van de vooroever van de ringdijk voorbij de perskade op 62 m wordt dus ook afgegraven. Het dijktaalud van 1:4,2 tussen 9,0 m + NAP (kruin) en de bovenkant van de asfaltbekleding op 4,7 m + NAP is ca. 18 m breed. Het gedeelte vooroevertalud, dat begint op 4,7 m + NAP en onder 1:18 doorloopt tot aan de insteek van de ontgroning op 2,25 m + NAP is ca. 44 m breed.

3.1.3 Inpeilingen bestaande taluds

Van de huidige situatie zijn inpeilingen gemaakt waaruit dwarsprofielen en een verschilkaart zijn samengesteld ten opzichte van het ontwerpmodel. In de dwarsprofielen is ook het ontwerpmodel in detail op alle beschouwde locaties weergegeven (chainage 0 – 7624 m), Adviesburo De Meent b.v., tekening T4725AA1, januari 2011.

Uit de peilingen is af te leiden dat de bestaande taluds van ongeveer 1 m + NAP tot 10 à 15 m – NAP liggen onder een helling van gemiddeld 1:3 tot 1:4 over een hoogte van 10 tot 15 m en lokaal over enkele meters hoogte tot maximaal 1:2,5 (bijv. Chainage 3900). Deze lokale hellingen zijn dus vrij steil maar zijn sinds de zandwinning in 1978 wel stabiel gebleven. Bij voortzetting van het zuigen kunnen dergelijke hellingen echter wel gevaarlijk zijn, vooral bij bestaande taluds over grotere diepte. Bij beroering tijdens het baggeren kunnen bestaande steile taluds weer gaan lopen en een oeverinschaling veroorzaken (een zg. bresvloeiing).

De kans hierop is afhankelijk van de helling, hoogte, zandsoort en werkwijze. Aangezien de ontgrondingsdiepte in De Gijster maximaal 15 m bedraagt, is de kans dat dit optreedt vrij klein. In veel zandwinputten wordt gebaggerd tot meer dan 40 m diepte.

Zijn er losgepakte zandlagen aanwezig, dan kunnen deze bij beroering direct verweken en afschuiven (dit is een zg. verwekingsvloeiing) of een hiervoor genoemde bresvloeiing inleiden. De kans op verweking is vooral afhankelijk van de relatieve dichtheid van de zandlagen.

3.2 Taludontwerp ontgroning

Het ontwerptalud kan tijdens de uitvoering van de zandwinning of daarna verstoord worden door verschillende faalmechanismen, met als gevolg een oeverinscharing, namelijk afschuiving, verwekings- of bresvloeiing. Een dergelijke oeverinscharing tast in het geval van De Gijster, de binnendijkse vooroever van de ringdijk aan.

In CUR 113 tabel 1 zijn richtlijnen gegeven voor de benodigde diepgang van de analyse van deze verschillende faalmechanismen. Op basis van het uitgevoerde grondonderzoek, conform tabel 1 van CUR 113, wordt de samenstelling van de grondlagen (zowel zand als cohesief materiaal) en de relatieve dichtheid van de zandlagen bekeken.

- Is het zand niet te fijn (fijner dan 200 μm) en
- zijn er geen dikke stoorlagen aanwezig (> 1 m),
- is de relatieve dichtheid niet te laag (minder dan 50%) en
- de helling niet steiler dan 1:3,
- zijn er geen slappe cohesieve lagen en
- is er geen bovenbelasting vlak langs de oever aanwezig,

dan kan een taludopbouw als functie van de diepte aangehouden worden, zoals in CUR 113 tabel 2a, 2b en 3 aangegeven, onder voorwaarde van een systematische werkwijze met monitoring. Het risico op afschuiving, verwekings- of bresvloeiing is dan voldoende klein.

De aanbevolen helling is dan maximaal 1:2 over de bovenste 5 m, dan 1:3 tot 10 m en 1:4 tot 15 m diepte. De lengte van dit talud is 45 m. Aangezien de ontworpen helling van 1:6 met een lengte van 90 m flauwer is dan deze helling, is voldoende veiligheid gewaarborgd onder genoemde voorwaarden. Volgens het ontwerp ligt de teen van het talud op een diepte van 15 m dus over een afstand van maximaal 45 m verder dan volgens de CUR richtlijn. Evt. is nog een tussenvorm denkbaar met een steeds flauwer talud met een helling van 1:4 over de bovenste 5 m dan 1:5 tot 10 m en 1:6 tot 15 m diepte, wat resulteert in een afstand van 75 m. Een met de diepte afnemende taludhelling is gunstiger, omdat het diepste deel maatgevend is.

Wat betreft de werkwijze is het noodzakelijk dat de ontgroning laagsgewijs plaatsvindt bijv. in een laag van 5 m rondom werkend en vervolgens steeds diepere lagen wegzuigend, waarbij het bovenliggende talud niet meer verstoord mag worden. Aangezien met een cutterzuiger wordt gewerkt, kan dit vrij nauwkeurig gestuurd worden. De positie van de zuigmond en de ligging van het talud moeten wel gemonitord worden.

3.3 Bresvloeiing eenvoudige en gedetailleerde analyse

3.3.1 Analyse uitgevoerde boringen

In deze paragraaf wordt nagegaan of aan de voorwaarden van eenvoudige analyse van CUR 113 tabel 2 wordt voldaan. De voorwaarden voor bresvloeiing betreft een analyse van de boringen en zeefanalyses (zie Bijlagen 5, 6, 7 en 8 Boorbeschrijvingen, Labbeschrijvingen, Boorfoto's en Korrelverdelingsdiagrammen-KVD van boring B01 t/m 6). Zie ook par 2.2.

Hiervoor is in detail gekeken naar Boring B01, deze ligt op een vrij kritieke locatie, namelijk een naar binnen uitstekende bocht van de ringdijk (zie Bijlage 1, Situatiekaart).

Van de boringen is beschikbaar een boorbeschrijving, gemaakt in het veld, deze is uitgewerkt in Tabel 3.1 voor boring B01, en geeft een beschrijving van de gehele boordiepte vanaf maaiveld (MV bovenzijde ringdijk). De resultaten van maaiveld tot ongeveer 8 m – MV (ongeveer 9 m + NAP tot 1 m + NAP) hebben betrekking op het dijklichaam van de ringdijk en niet van de te zuigen ondergrond langs de binnenrand van het spaarbekken.

De labbeschrijving en de boorfoto's (Tabel 3.2) geven alleen de beschikbare, in het veld met bussen gestoken monsters weer vanaf 8 m diepte. De monsters zijn verticaal doorgesneden en van het zo verkregen zand zijn de korrelverdelingen gemaakt, de resulterende d_{50} en d_{15} zijn vermeld in Tabel 3.3.

Bij de labbeschrijvingen die aan de hand van de doorgesneden monsters in het lab zijn gemaakt, is alleen aangegeven wat de samenstelling is (bijv. zand, zwak siltig). In Tabel 3.3 is de beschrijving aangehouden van het zand op basis van de gemeten korreldiameter (d_{50}) conform CUR 113. Bij de boorbeschrijvingen die ter plaatse bij het boven halen van de boormonsters zijn gemaakt is ook de aanduiding op basis van de ingeschatte korreldiameter vermeld.

Volgens bijvoorbeeld de labresultaten van boring B01 (Tabel 3.2 en 3.3) bestaat de bodem van 0 tot 15 m - NAP uit matig fijn tot matig grof zand van 0.133 tot 0.280 mm, met op een diepte van 6.5 tot 9.5 m - NAP iets grover zand met een enkel grindstukje en een enkel klei/veen stoorlaagje van 0.30 m dikte op 3.70 m tot 4 m – NAP.

Uit de korrelverdeling volgt dat er enkele lagen zijn van 0.40 m, gelegen van 4.51 tot 5.81 m – NAP (Tabel 3.3), waar de d_{50} kleiner is dan 200 μm en eveneens de d_{15} kleiner dan 100 μm , hoewel de gemiddelde waarde boven deze waarden ligt. Gemiddeld over lagen van 5 m of minder is de d_{50} in de laag van 2.11 tot 6.71 m – NAP kleiner dan 200 μm .

Dus strikt genomen wordt dan niet voldaan aan de criteria van CUR 113 voor eenvoudige analyse bresvloeiing, het zand is net iets te fijn en daarmee is het risico op bresvloeiing iets hoger dan gemiddeld.

Tabel 3.1 Boornummer B01 Boorbeschrijving (BAM)

laag van	tot		laag van	tot	laag- dikte	Beschrijving
m + MV	m + MV		m + NAP	m + NAP	m	
+0.00	-0.60	dijklichaam	+8.89	+8.29	0.60	Klei matig siltig
-0.60	-2.40		+8.29	+6.49	1.80	Matig grof zand
-2.40	-3.60		+6.49	+5.29	1.20	Zeer grof zand
-3.60	-5.20		+5.29	+3.69	1.60	Uiterst grof zand
-5.20	-7.60		+3.69	+1.29	2.40	Matig grof zand
-7.60	-9.50		+1.29	-0.61	1.90	Matig fijn zand
-9.50	-11.40	ondergrond	-0.61	-2.51	1.90	Zeer fijn zand
-11.40	-12.70		-2.51	-3.81	1.30	Matig fijn zand
-12.70	-13.00		-3.81	-4.11	0.30	Veen zeer stevig
-13.00	-13.60		-4.11	-4.71	0.60	Matig fijn zand
-13.60	-14.50		-4.71	-5.61	0.90	Zeer fijn zand
-14.50	-17.50		-5.61	-8.61	3.00	Matig fijn zand
-17.50	-18.00		-8.61	-9.11	0.50	Matig fijn zand
-18.00	-19.40		-9.11	-10.51	1.40	Matig fijn zand
-19.40	-24.00		-10.51	-15.11	4.60	Matig fijn zand
Totaal					24.00	

Tabel 3.2 Pulsboring B01 Labbeschrijving (Deltares)

laag van	tot	laag- dikte	Foto Boring	laag Lab	Beschrijving
m + NAP	m + NAP	m	#	#	
+0.89	+0.49	0.40	1	1	ZAND zwak siltig
-0.01	-0.41	0.40	3	2	ZAND zwak siltig
-1.01	-1.31	0.30	5	3	ZAND matig siltig
-1.81	-2.06	0.25	7	4	ZAND matig siltig
-2.06	-2.21	0.15	8	5	ZAND zwak siltig
-2.71	-3.01	0.30	10	6	ZAND zwak siltig
-3.61	-3.71	0.10	12	7	ZAND zwak siltig
-3.71	-3.91	0.20	13	8	KLEI matig siltig
-3.91	-4.01	0.10	14	9	VEEN zwak kleiig
-4.51	-4.91	0.40	16	10	ZAND matig siltig
-5.41	-5.81	0.40	18	11	ZAND matig siltig
-6.31	-6.61	0.30	20	12	ZAND zwak siltig
-6.61	-6.71	0.10	21	13	ZAND zwak siltig
-7.21	-7.36	0.10	23	14	ZAND zwak grindig
-7.36	-7.61	0.30	24	15	ZAND zwak siltig
-8.11	-8.51	0.40	26	16	ZAND zwak siltig
-9.01	-9.41	0.40	28	17	ZAND zwak siltig
-9.91	-10.31	0.40	30	18	ZAND zwak siltig
-10.81	-11.21	0.40	32	19	ZAND zwak siltig
-11.71	-12.11	0.40	34	20	ZAND zwak siltig
-12.61	-13.01	0.40	36	21	ZAND zwak siltig
-13.51	-13.91	0.40	38	22	ZAND zwak siltig
-14.41	-14.81	0.40	40	23	ZAND zwak siltig
Totaal		23.70			Einde boring

Tabel 3.3 Korrelverdelingen Boring B01

Mons ter	laag van	tot	laag dikte	Foto	Lab	Korrel diameter d ₅₀	Korrel diameter d ₁₅	Beschrijving zand
#	m + NAP	m + NAP	m	#	#	mm	mm	
17A	+0.89	0.49	0.40	1	1	0.266	0.159	Zand matig grof
18A	-0.01	-0.41	0.40	3	2	0.261	0.155	Zand matig grof
20A	-2.11	-2.21	0.10	8	5	0.179	0.080	Zand matig fijn
20B	-2.71	-3.01	0.30	10	6	0.269	0.191	Zand matig grof
22A	-4.51	-4.91	0.40	16	10	0.181	0.107	Zand matig fijn
23A	-5.41	-5.81	0.40	18	11	0.133	0.092	Zand zeer fijn
24A	-6.31	-6.71	0.40	20/21	12/13	0.202	0.129	Zand matig fijn
25B	-7.41	-7.61	0.20	24	15	0.280	0.128	Zand matig grof
26A	-8.11	-8.51	0.40	26	16	0.273	0.170	Zand matig grof
27A	-9.01	-9.41	0.40	28	17	0.272	0.157	Zand matig grof
28A	-10.01	-10.31	0.30	30	18	0.207	0.159	Zand matig fijn
28B	-10.81	-11.21	0.40	32	19	0.201	0.144	Zand matig fijn
29A	-11.71	-12.11	0.40	34	20	0.222	0.164	Zand matig grof
30A	-12.61	-13.01	0.40	36	21	0.196	0.145	Zand matig fijn
31A	-13.51	-13.91	0.40	38	22	0.192	0.145	Zand matig fijn
32A	-14.41	-14.81	0.40	40	23	0.200	0.146	Zand matig fijn

3.3.2 Zuigerinzet en capaciteit

Volgens het ontwerp winplan Ontgroning De Gijster, T4725AA1, Adviesburo De Meent b.v., 2011 zal gebruik worden gemaakt van een diepstekende cutterzuiger. Het zand wordt in principe als geheel pakket ontgraven. De bovenlaag van slib en klei en eventueel tussenliggende stoorlagen zullen apart worden afgegraven. Ontgraving van het zand vindt plaats in raaien van ca. 100 tot 200 m met een breshoogte van 2.5 m tot 7.5 m, afhankelijk van zandsoort en evt. af te graven stoorlagen.

De leidinglengte zal gemiddeld 3.500 m inclusief drijvende leiding bedragen. Tevens zal een tussenstation (booster) ingezet worden indien de persafstand naar het depot te groot wordt. De diameter van de zuigleiding zal tussen 0,3 en 0,4 m liggen. Het debiet zal ca. 0,3 m³/s bedragen, met een gemiddelde productie van ca. 200 tot 500 m³/operationeel uur. De productie is afhankelijk van de zandsoort, benodigde leidinglengte, soort werk (bij de taluds is een lagere productie aan te bevelen om inscharingen te voorkomen, zie paragraaf 3.3.3) en zal ook afgestemd worden op de vraag naar zand uit het depot. De berekende zandproductie bedraagt bijv. 210 m³/uur bij een gemiddelde zandconcentratie van 12 vol% (20% situ), dus een dichtheid van 1200 kg/m³ en een leidingsnelheid $u = 3.1$ m/s (minimaal benodigd voor dit zand).

De betreffende zuiger werkt met ankerdraden type 'christmas tree', en niet met spudpalen zoals een conventionele zuiger. Er is bij deze zuiger geen jet geïnstalleerd. De zuiger is met de achterzijde verankerd op drie draden. Middels deze draden kan de zuiger zich over lange afstanden heen en weer bewegen (100 á 200 m op een ankerpositie).

Het zand wordt niet gesneden volgens het conventionele cutter principe maar meer op de baggermolen methode. De zuiger begint op een zekere diepte en creëert daar een bres die langzaam opschuift naarmate de zuiger naar voren beweegt. Er wordt gezogen in "voren", een soort geulen in langsrichting.

Ter plaatse van het talud zal er in minder diepe lagen ("trapjes") worden gebaggerd om gemiddeld de juiste helling te verkrijgen. Naarmate de bres hoger is zal de helling namelijk meer verflauwen. De vorm van het talud wordt regelmatig gepeild. De verhaalsnelheid hangt samen met de hoogte en toeleverende breedte van de bres en wordt aangepast aan de gezogen mengseldichtheid en productie. Gemiddeld kan worden uitgegaan van een verhaalsnelheid van 2 tot 5 meter per uur (0.5 tot 2 mm/s), zie volgende paragraaf. Deze verhaalsnelheid is een schatting en kan in werkelijkheid verschillen.

3.3.3 Gedetailleerde analyse: berekeningen HMBreach

Omdat strikt genomen niet voldaan wordt aan de voorwaarden voor eenvoudige analyse bresvloeiing is hier een gedetailleerde analyse uitgevoerd conform CUR 113 tabel 2. Uitgegaan wordt van ontgraving vanaf 0.00 m + NAP tot maximaal 15 m – NAP.

Zoals beschreven in CUR 113 is de breshoogte mede bepalend voor de taludhelling welke ontstaat bij het zuigen. Wordt een dikke laag aangesneden dan zal de helling meer verflauwen dan indien dunnere, horizontale lagen met daartussen bermen worden gezogen. Met een grotere zuigdiepte zal de zandsamenstelling echter meer een gemiddelde waarde geven van de betreffende lagen (tout-venant).

Het rekenmodel HMBreach berekent de evenwichtstaludhelling over een bepaalde zuigdiepte uitgaande van een stationaire zandwinning met constante gemiddelde verhaalsnelheid en constante zandproductie. Wanneer de zuiger parallel aan de oever beweegt met de zuigmond constant op een bepaalde diepte, dan zal er een talud ontstaan door aanlevering van zand van de putwand naar de zuigmond, zowel frontaal voor de zuigmond als aan de kant van de oever. Daarbij stroomt een zand-watmengsel langs het talud naar de zuigmond en maakt zand los door erosie. Het talud wordt bepaald door verhaalsnelheid, zuigdiepte en zandsamenstelling.

Als dit talud eenmaal is gevormd wordt aanbevolen dit niet meer te verstoren. Om het nauwkeuriger af te werken kan in horizontale lagen met een geringere zuigdiepte van boven naar beneden weer evenwijdig aan het talud worden gezogen, maar bij de volgende diepere laag mag de bovenliggende laag dan niet meer in beroering worden gebracht. Dus er moet dan voldoende afstand met een berm worden aangehouden. Door monitoring van zuigmond en taluds kan dit gecontroleerd worden.

Om het ontwerp te toetsen zijn een aantal principe berekeningen uitgevoerd met een uniforme samenstelling van de bodem met vastgepakt zand van 200 resp. 300 μm . Zoals bijv. boring B01 laat zien zijn dit de waarden waarbinnen de zandsamenstelling varieert, de gelaagdheid is dus niet in detail beschouwd. Ook zijn er geen dikke stoorlagen die de werkwijze beïnvloeden, de aangetroffen veenlaag en ook wat klei is slechts 0.30 m dik en zal tijdens het zuigen verbrokkelen. Bij de berekeningen is aangenomen dat een zuigdiepte van 15 m wordt aangehouden of meerdere lagen zonder bermen, in totaal maximaal 15 m.

Bij een gemiddelde verhaalsnelheid van 1 mm/s = 3.6 m/uur bedraagt de productie ongeveer 150 – 300 m³/uur, dit komt overeen met de te zuigen productie. Verder is aangehouden vastgepakt zand met een porositeit van 40%. Bij losgepakte zandlagen kan verweking ontstaan. Fig. 3.1 geeft het resultaat voor fijn zand. De berekende doorlatendheid is $0.09 \cdot 10^{-3}$ m/s, dat betekent dat de bressnelheid ca. 3 à 5 mm/s is (10 m/uur). De zuiger kan niet sneller bewegen dan de bressnelheid omdat het talud anders ondermijnd wordt en versteilt. Dan bestaat er een kans op afschuiving en vastlopen van de zuigbuis.

HMBreach

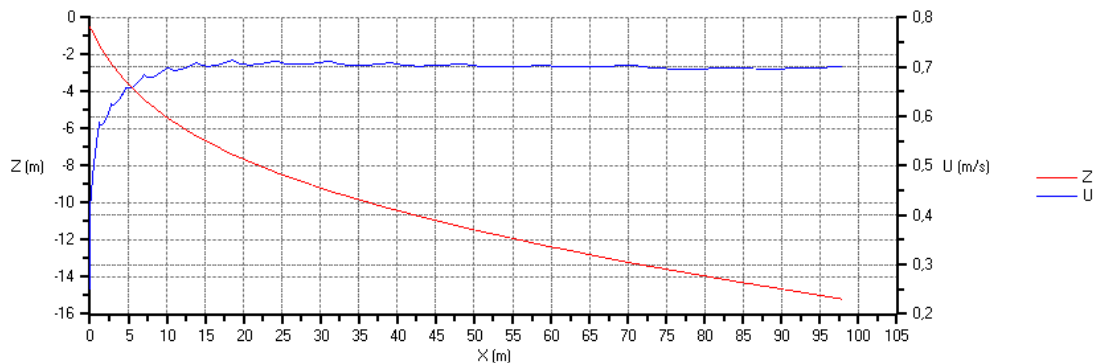


Fig. 3.1 Berekend talud met zand $d_{50} = 200 \mu\text{m}$, $d_{15} = 100 \mu\text{m}$, verhaalsnelheid 1 mm/s

De berekende gemiddelde helling bedraagt 1:6.5 over 15 m diepte, dit komt ongeveer overeen met het ontwerp. Bovenin is het talud echter naar verwachting steiler.

Wordt gewerkt met een laagdikte van 7.5 m (bij gelijke snelheid) dan is het talud steiler dan 1:3. Met berm van minimaal 7.5 m kan de volgende laag dan weer onder de zelfde helling worden gezogen. Dit geeft dan 52.5 m taludlengte en gemiddeld dus wel steiler (1:3.5).

In fig. 3.2 is het resultaat gegeven van een wat grovere zandsort, dit geeft al een aanzienlijke versteiling (gemiddeld 1:3.8 over 15 m diepte).

HMBreach

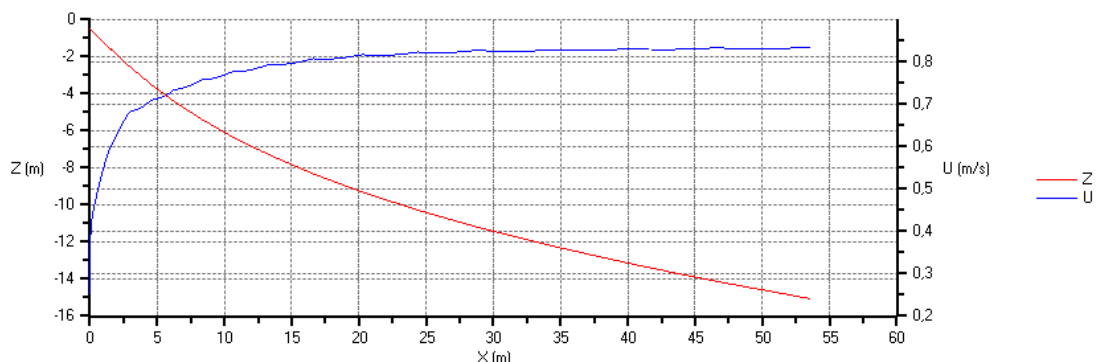


Fig. 3.2 Berekend talud met zand $d_{50} = 275 \mu\text{m}$, $d_{15} = 150 \mu\text{m}$, verhaalsnelheid 1 mm/s

Het effect van een iets lagere productie is te zien in fig. 3.3 waar weer wordt uitgegaan van een fijne zandsort. Dit geeft weer een steilere helling bij zelfde fijne zandsamenstelling. Gemiddeld is de helling dan 1:3.7 over 15 m diepte, ongeveer het zelfde effect als iets grover zand in fig. 3.2.

HMBreach

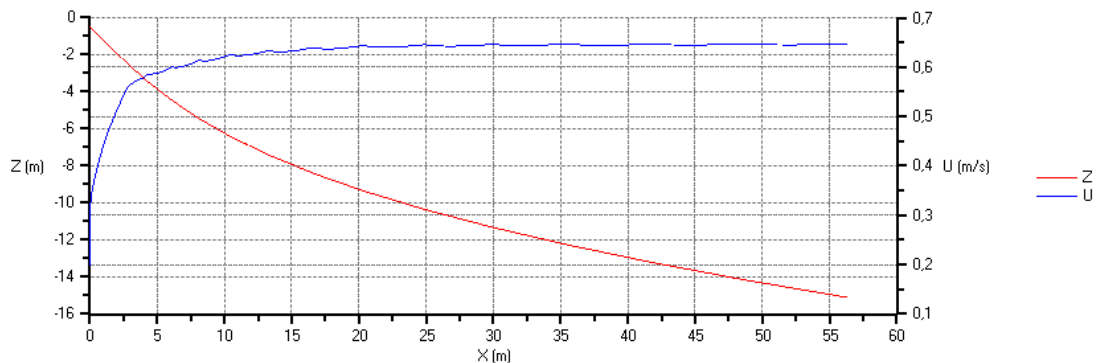


Fig. 3.3 Berekend talud met zand $d_{50} = 200 \mu\text{m}$, $d_{15} = 100 \mu\text{m}$, verhaalsnelheid 0.5 mm/s

Geconcludeerd kan worden dat een hellingontwerp van 1:6 bij doorgaand zuigen over een laag van 15 m dikte overeenkomt met de flauwste berekende helling, gegeven de voorkomende zandsoort en de zuigerproductie. De kans dat de helling toch verder zal verflauwen, waardoor een (voor-)oeverinschaling optreedt, is dus gering.

Door monitoring van de resulterende helling bij een proefsleuf op wat groter afstand van de oever kan dit geverifieerd worden. Is de helling dan steiler, zoals te verwachten, dan dient de oeverstrook afgewerkt te worden in dunnere lagen zoals hiervoor beschreven.

Het taludontwerp volgens 1:6 op een afstand van 62 m uit de ringdijk is dus voldoende stabiel en veilig mits bij de zandwinning de aanbevolen werkwijze wordt aangehouden. Daarbij zal talud, zeker bovenin, wel steiler worden dan de aangehouden 1:6

Bij de werkwijze hoort continue monitoring van de positie van de zuigbuis en de gevormde taluds, het in horizontale lagen parallel aan de oever zuigen en het niet later afwerken van de hoger gelegen taluds.

3.4 Verwekingsvloeiing eenvoudige en gedetailleerde analyse

3.4.1 Analyse uitgevoerde sonderingen

Voor de uitgevoerde sonderingen, zie Bijlage 4. Op basis van conusweerstand gemeten bij de sonderingen is de relatieve dichtheid van het zand bepaald via de correlatie van Baldi. De correlatie van Baldi wordt gegeven in de volgende formule:

$$R_e = \frac{1}{2,5} * \ln \left(\frac{q_c}{0,14(\sigma_v')^{0,6}} \right),$$

Met:

$R_e = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min})$ = relatieve dichtheid, gebaseerd op poriegetal e (-)

q_c = gemiddelde conusweerstand per meter in de sondering (MPa)

σ_v' = verticale korrelspanning (kPa).

De resultaten zijn weergegeven in onderstaande figuren / grafieken. Punten waarin het wrijvingsgetal groter is dan 1,75% zijn als klei beschouwd en weggelaten. De grondopbouw is echter overwegend zandig.

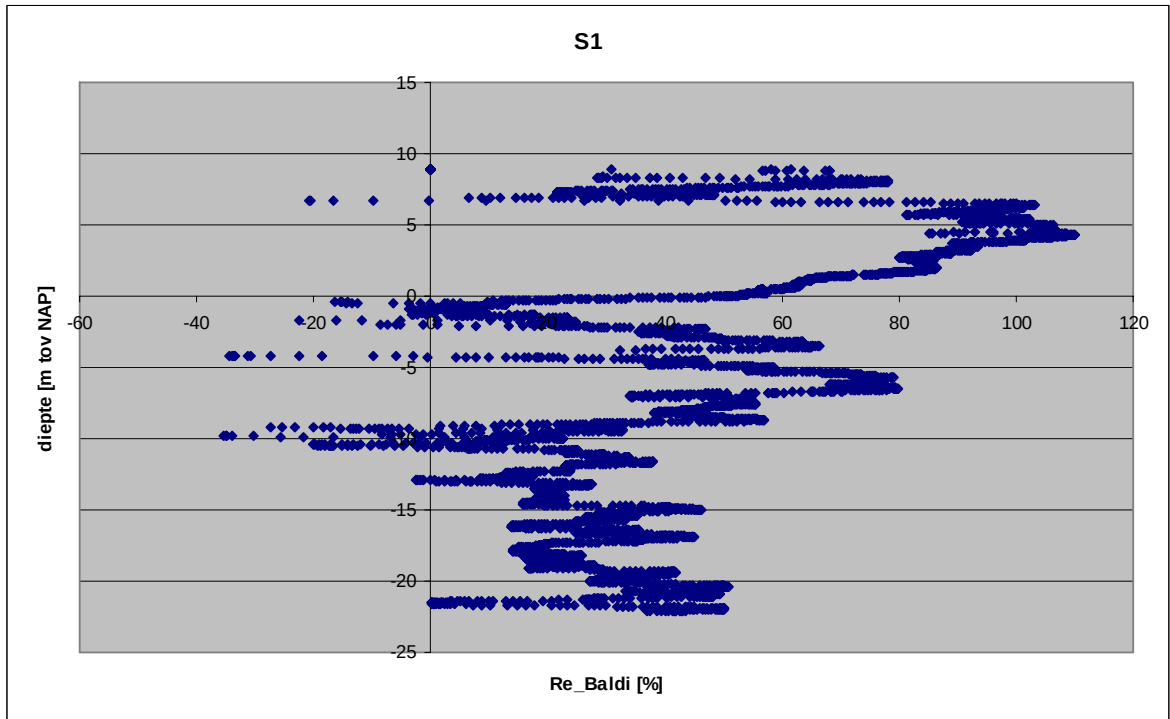


Fig 3.4 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S01

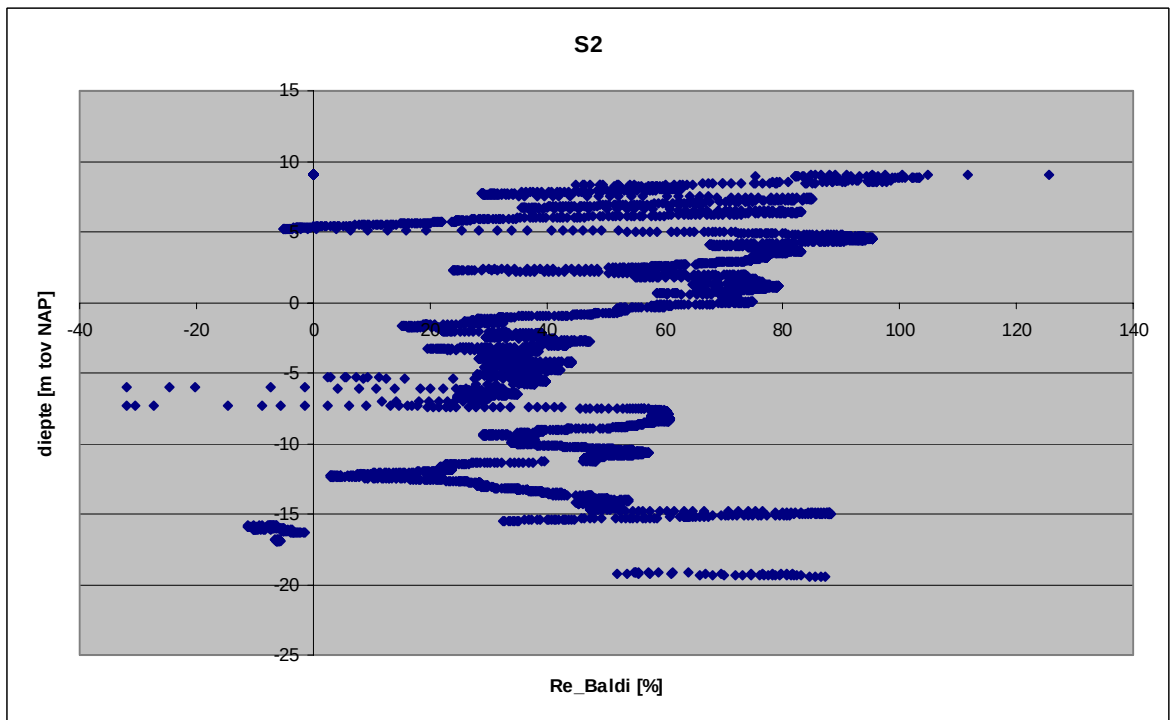


Fig 3.5 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S02

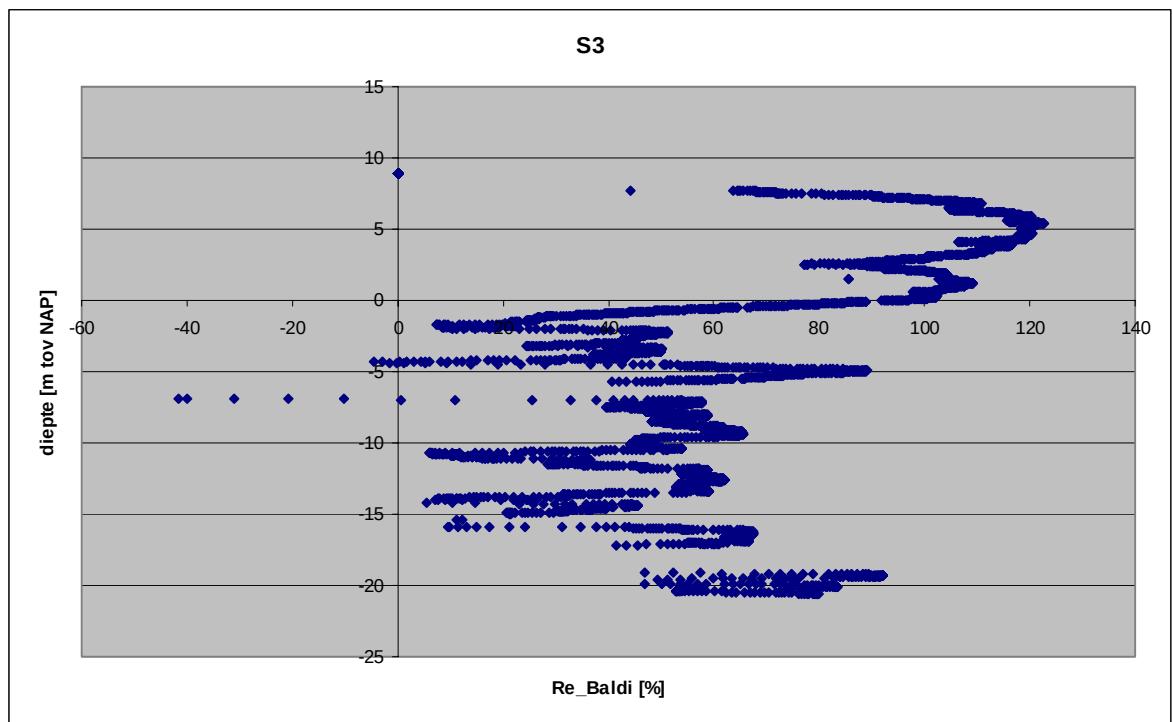


Fig. 3.6 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S03

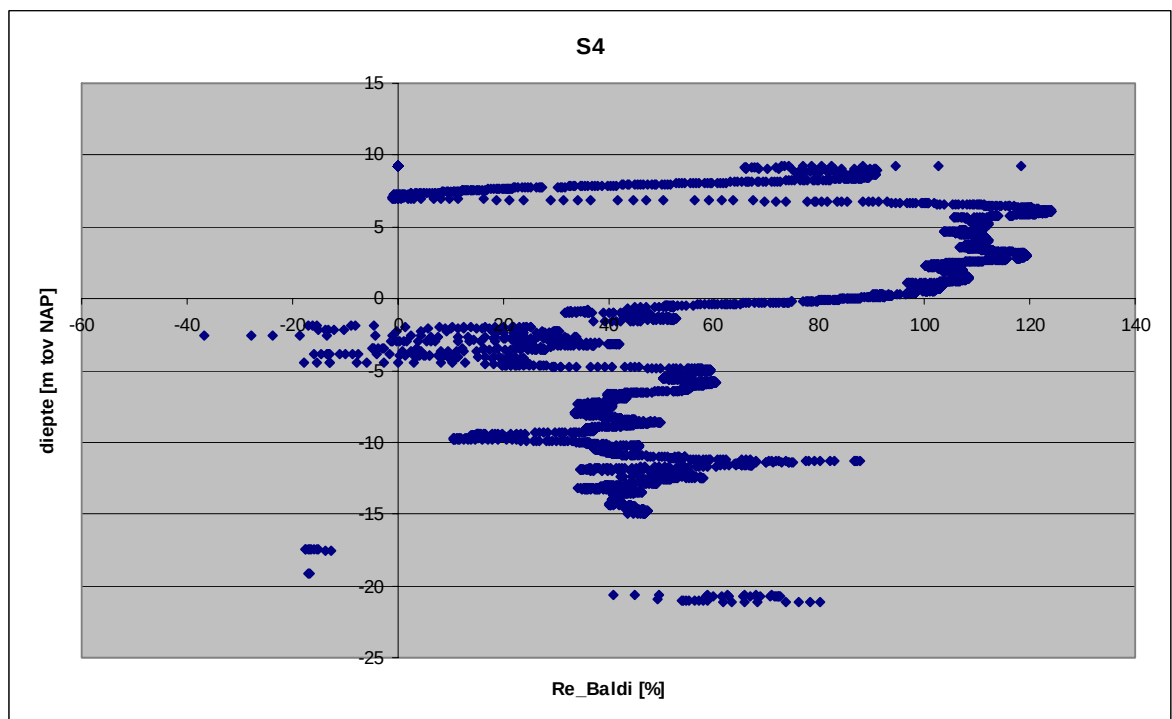


Fig. 3.7 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S04

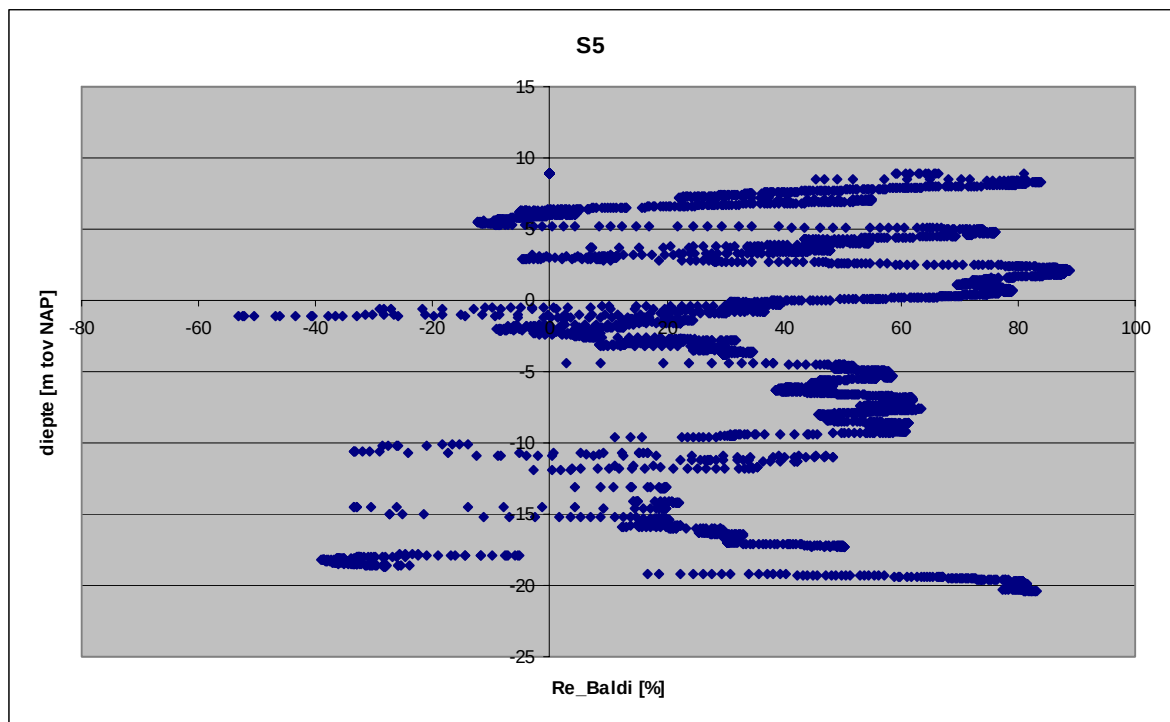


Fig. 3.8 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S05

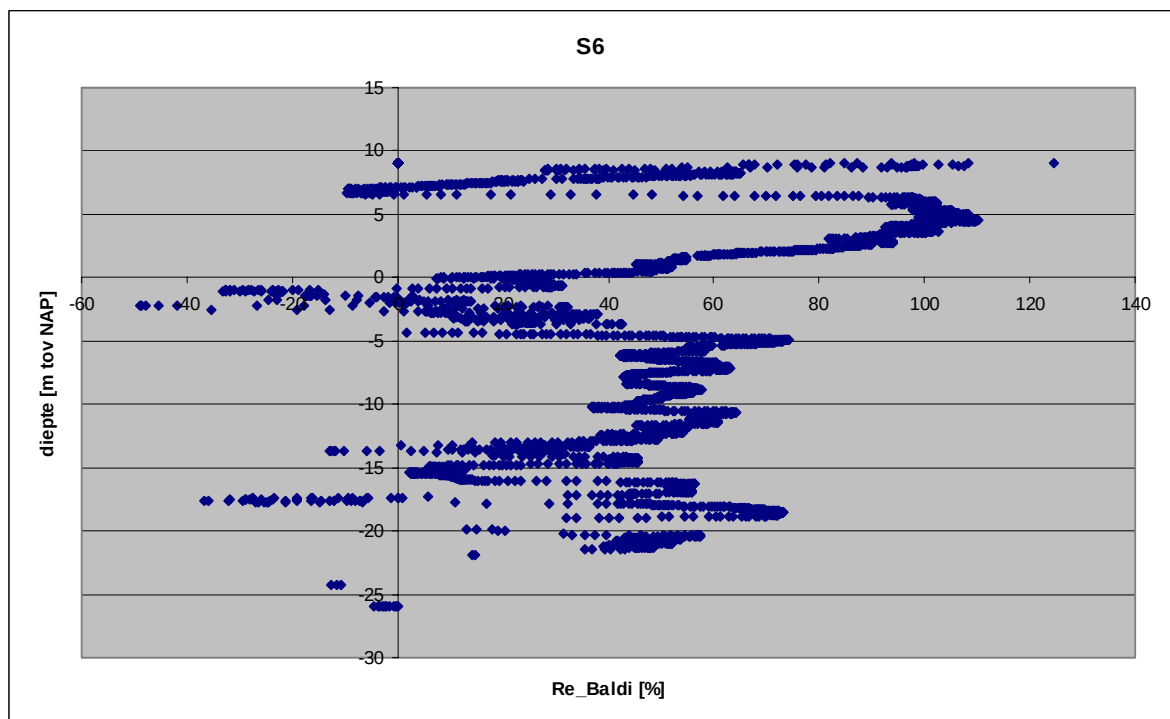


Fig. 3.9 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S06

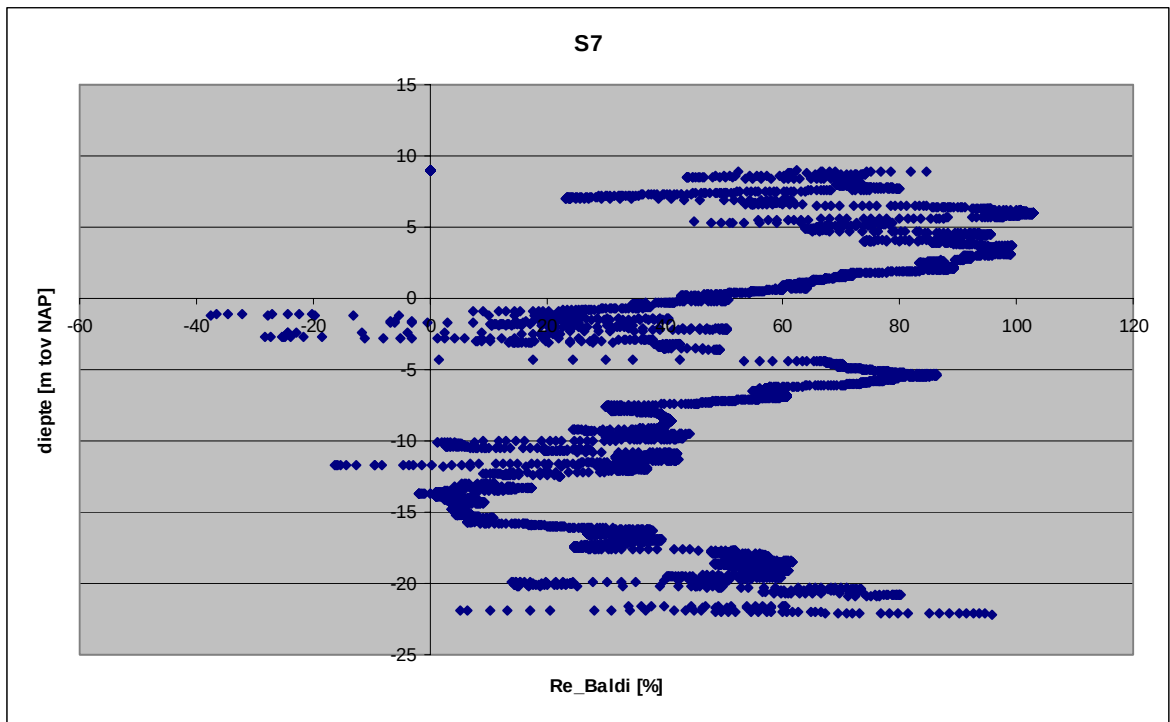


Fig. 3.10 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S07

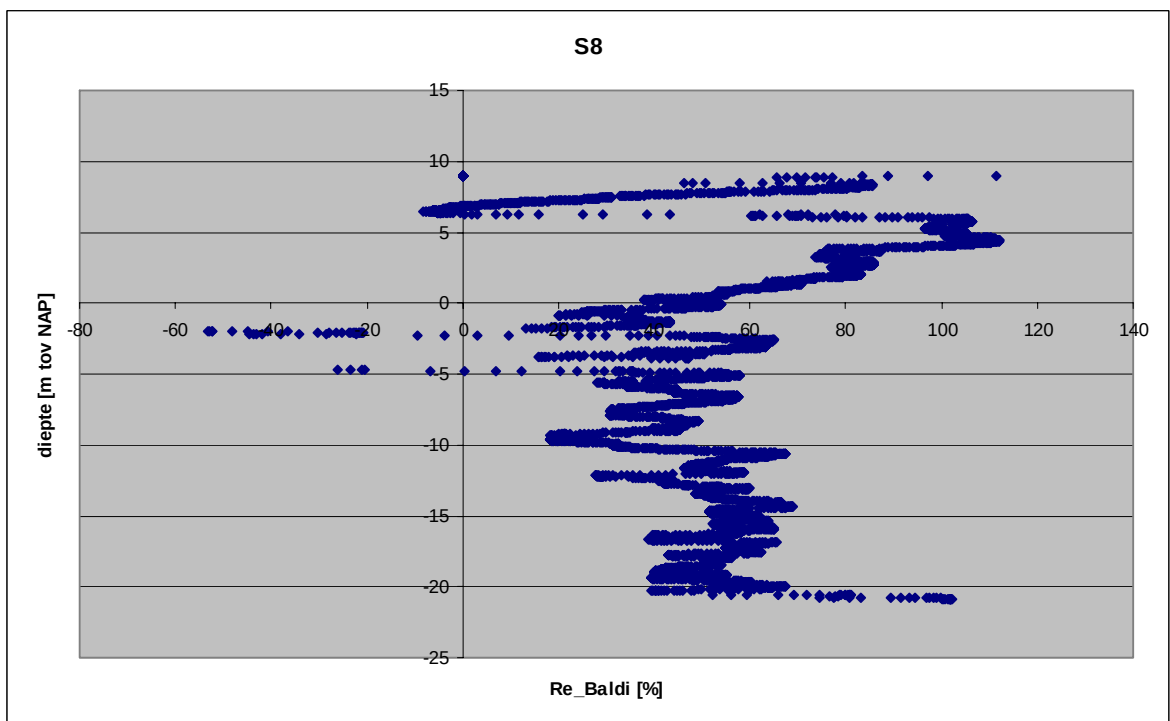


Fig. 3.11 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S08

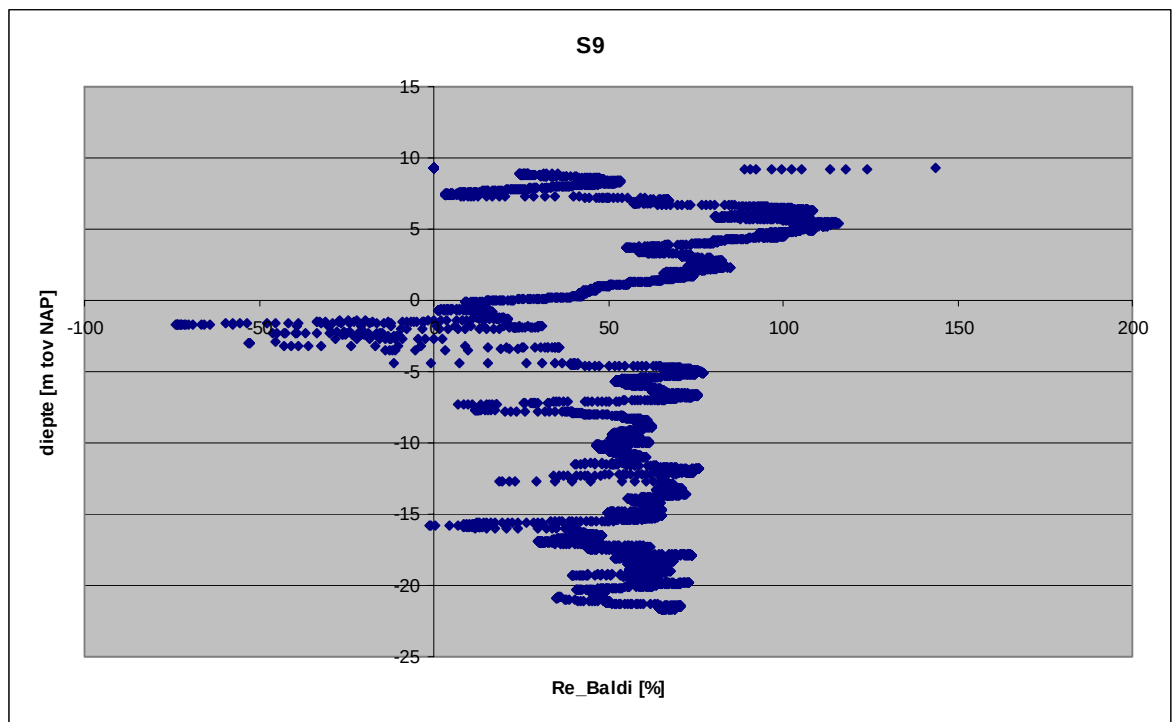


Fig. 3.12 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S09

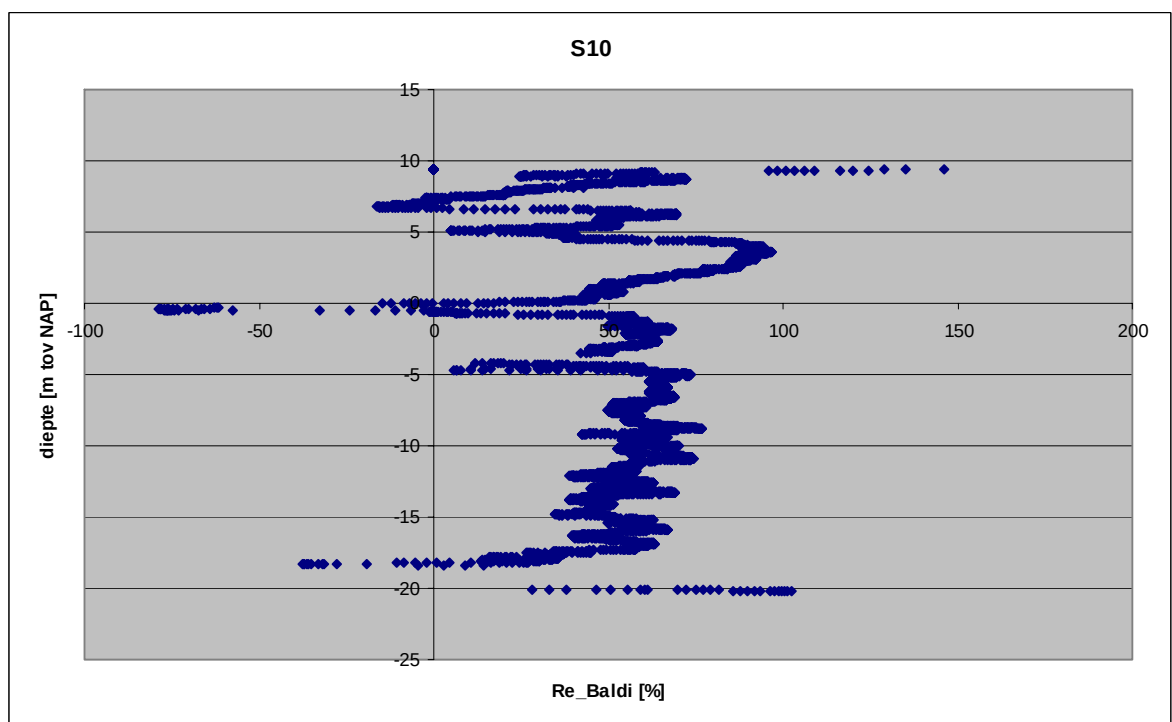


Fig. 3.13 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S10

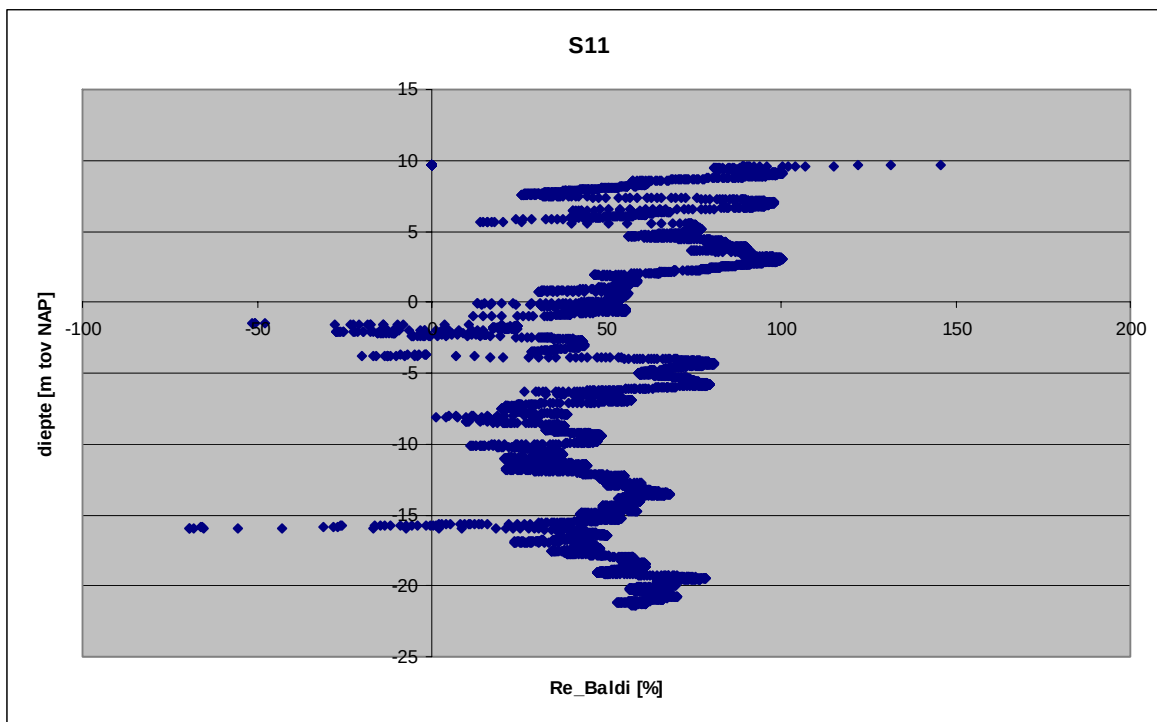


Fig. 3.14 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S11

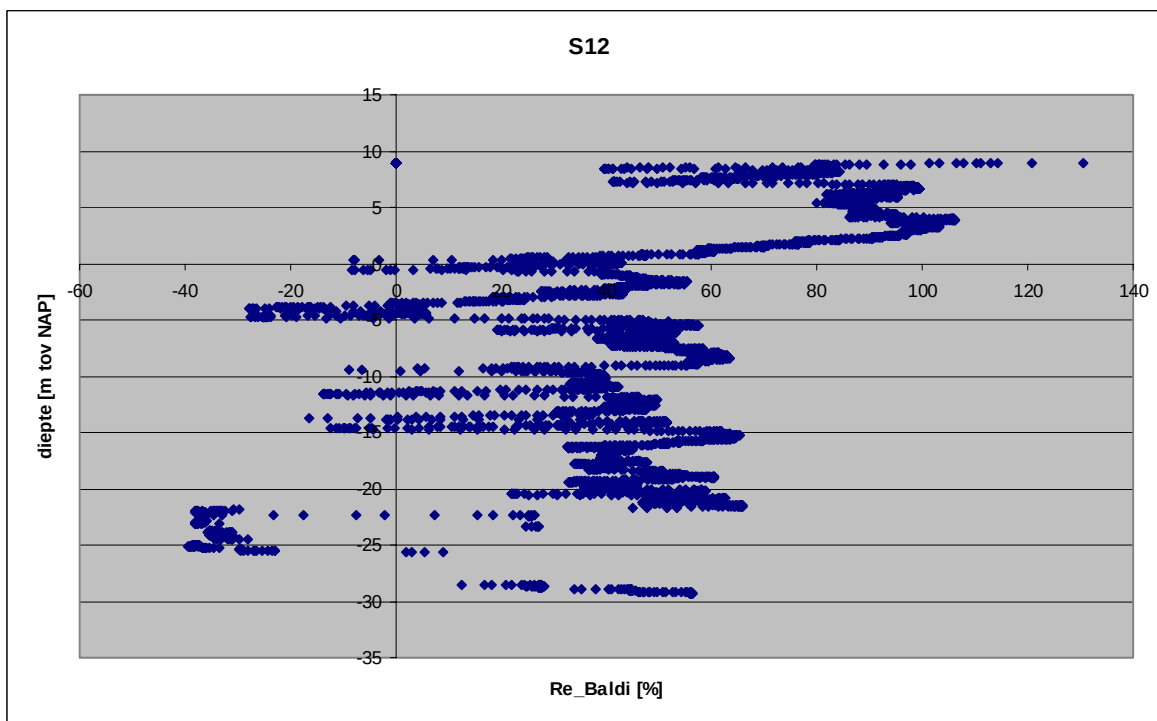


Fig. 3.15 Relatieve dichtheid als functie van de diepte (volgens Baldi), sondering S12

In alle sonderingen behalve S11 en S12 (in het zuidoosten) komt op ongeveer 4 m – NAP een ca 1 m dikke kleilaag voor. In sonderingen S2 – S6 (westelijke sonderingen) neemt het aantal kleilagen vanaf NAP-15 m toe. In andere sonderingen gebeurt dit pas vanaf 20 m - NAP.

3.4.2 Algemeen beeld relatieve dichtheden

In alle sonderingen is boven 0 m + NAP sprake van zeer vast gepakt zand (>80%). Dit betreft het dijklichaam.

Verder is het zand over het algemeen in alle sonderingen over de gehele diepte goed gepakt (gemiddeld 50%), met uitzondering van:

- S01 (zuidzijde, midden): beneden 10 m - NAP gemiddeld 35% (maar wel sterk wisselend),
- S05, S06, S07 en S09 (vrijwel gehele noordzijde): tussen 0 en 5 m - NAP sterk wisselende pakking, maar over het algemeen vrij losgepakt (gemiddeld 35%, in dunnere lagen beduidend lager),
- S07 (noordzijde, midden): tussen 12 en 15 m - NAP losgepakt zand (gemiddeld <20%).

3.5 Stabiliteit ringdijk

3.5.1 MStab berekening stabiliteitszone ringdijk

In deze paragraaf wordt de stabiliteit van de ringdijk bekeken voor het geval er toch een inscharing zou optreden door verwekings- of bresvloeiing. De stabiliteitszone van de ringdijk van het spaarbekken is de afstand die minimaal benodigd is om de stabiliteit van de dijk voor afschuiving te verzekeren. De kritieke situatie voor afschuiving aan de buitenzijde zal optreden bij maximale waterstand in het spaarbekken en minimale rivierwaterstand. Echter, de ringdijk is in het verleden ontworpen voor deze situatie en de zandwinning heeft hierop geen effect, dit wordt hier dus niet verder onderzocht.

De kans op afschuiven (macro-instabiliteit) aan de binnenzijde is het grootst bij een maximale rivierwaterstand en een minimale waterstand in het spaarbekken. De afstand van de insteek van de ontgronding tot de teen van de dijk moet dus minimaal gelijk zijn aan de benodigde stabiliteitszone in deze situatie met in acht name van de veiligheidsfactoren.

De veiligheid tegen macro-instabiliteit is verder onderzocht met het programma MStab (glijcirkelmethode volgens methode Bishop). Daarbij is, in eerste instantie, uitgegaan van conservatieve uitgangspunten. Indien met die uitgangspunten voldaan wordt aan de stabiliteitscriteria, is een meer verfijnde analyse niet meer nodig. De conservatieve uitgangspunten zijn als volgt:

- Grondopbouw bestaat volledig uit zand, aangezien de bijdrage van de bekledingen (klei, steenbestorting en asfalt) aan de sterkte voor macrostabiliteit verwaarloosbaar klein is. De op enkele locaties aangetroffen kleilagen zijn zo dun, dat hun invloed op de macrostabiliteit als verwaarloosbaar mag worden beschouwd.
- Voor de sterkteparameters voor het zand (zowel dijklichaam als de grondlagen daaronder) is uitgegaan van de rekenwaarden uit Tabel 1 van NEN6740. Voor vastgepakt zand betekent dit $\varphi = 35^\circ$ en voor losgepakt zand $\varphi = 30^\circ$. Cohesie is niet aanwezig. Er zijn voor elke situatie (volgende paragrafen) twee berekeningen

- uitgevoerd: één uitgaande van vastgepakt zand overal (voor enkele locaties enigszins optimistisch) en één uitgaande van losgepakt zand overal (dit laatste is voor alle locaties zeer conservatief, omdat losgepakte zandlagen slechts lokaal voorkomen).
- Voor de buitenwaterstand is 2,9 m + NAP aangenomen. Dit is de door Rijkswaterstaat gehanteerde maatgevende hoogwaterstand (hoger dan de hoogst gemeten waterstand, deze was tussen 2008 en 2011 2,2 m + NAP).
 - Voor de waterstand in het bekken is 3,1 m + NAP aangehouden (dit is de laagst gemeten waterstand tussen 2008 en 2011).
 - Waterspanningen in de ondergrond:
 - o Volgens peilbuizen in boringen in de kruin bevond de freatische lijn in het dijklichaam zich in januari 2011 op ca NAP+1,8 a NAP+2,9 m, afhankelijk van de locatie. Voor de berekeningen is aangenomen dat een freatische lijn ter hoogte van midden van kruin NAP+3,0 m voldoende conservatief is, ervan uitgaande dat deze niet sterk zal reageren op het niveau in het spaarbekken (ondoorlatende bekleding). De buitenwaterstand zal niet hoger komen dan dit niveau.
 - o Volgens (al bestaande) peilbuizen in de omgeving van het spaarbekken (Dinoloket) is de stijghoogte in de zandlagen dieper dan 20 m - NAP gemiddeld ca. 0,6 m + NAP. Op basis daarvan is aangenomen dat de waterspanningen vanaf de freatische lijn tot NAP-20 m lineair toenemen tot een stijghoogte van 0,6 m + NAP. Vanaf laatstgenoemde diepte is een hydrostatisch verloop van de waterspanningen aangenomen (opgemerkt wordt dat lagen dieper dan 20 m - NAP nauwelijks invloed hebben op de stabiliteitsberekeningen)

De op basis van bovengenoemde uitgangspunten berekende veiligheidsfactor (FS) moet hoger zijn dan 1,1.

MStab berekeningen zijn uitgevoerd voor de geometrie zoals weergegeven in Figuur 3.16 (waarin verhoudingen vertekend zijn), waarbij de rode gestippelde lijn het talud na ontgroning weergeeft.

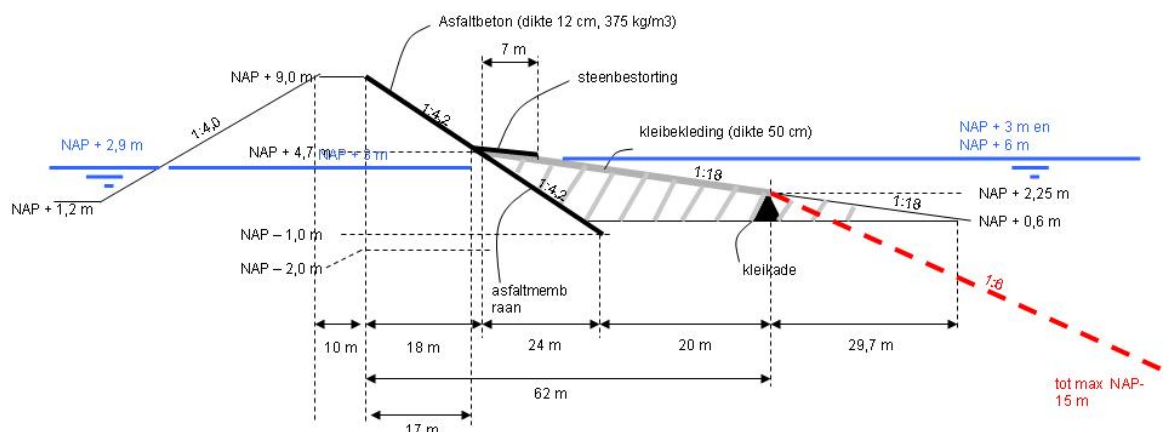


Fig. 3.16 Geometrie dwarsdoorsnede ringdijk met vooroever en talud ontgroning

Onderstaande tabel geeft de resultaten:

Variant	ϕ zand [°]	Waterstand bekken [m + NAP]	Buitenwaterstand [m + NAP]	Hoogte freatisch midden onder kruin [m + NAP]	FS
Na zandwinning	30	3,0	2,9	3,0	>>2,0
	35	3,0	2,9	3,0	>>2,0

De binnenwaartse macrostabiliteit na ontgroning voldoet daarmee ruimschoots aan de eis. In figuur 3.17 is de geometrie nogmaals weergegeven zoals ingevoerd in MStab.

Geometry View

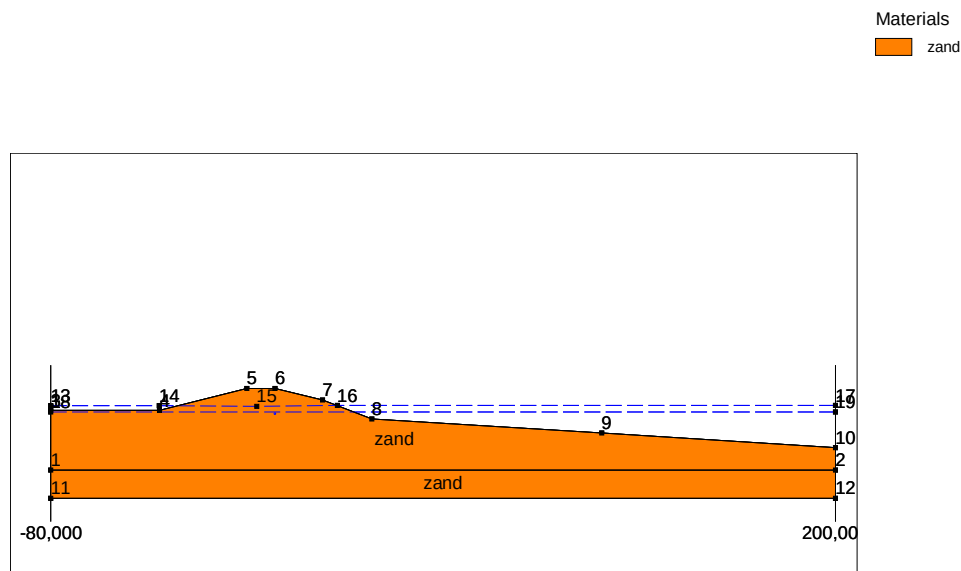


Fig. 3.17 Geometrie dwarsdoorsnede ringdijk in MStab

3.5.2 Mogelijke inscharingslengte en veiligheid ringdijk

De randstrook langs de zandwinning biedt een veiligheidszone voor de ringdijk voor mogelijke oeverinscharing en afschuiving.

De kans dat ondanks goed grondonderzoek, een goed ontwerp en zorgvuldig werken tijdens of na de zandwinning toch een oeverinscharing optreedt is gering, maar niet uit te sluiten. Door een oeverinscharing wordt de beschikbare veiligheidszone van de ringdijk mogelijk aangetast.

Op basis van een analyse van ervaringsgevallen van zandwinlocaties, waar oeverinscharingen zijn opgetreden in het recente verleden, opgenomen in CUR 113 fig. 2.3, volgt dat de maximale opgetreden inscharingslengte ongeveer 3 x de putdiepte bedraagt. In het geval van De Gijster zou dit dus maximaal 45 m bedragen. De randstrook van 62 m volgens het ontwerp is dus ruim voldoende om een dergelijke inscharing op te vangen. Deze inscharing kan zijn veroorzaakt door zowel een bres- of een verwekingsvloeiing. Maar ook in dat geval moet de stabiliteit van de ringdijk onaangetast blijven.

Uit een analyse van de praktijkgevallen blijkt dat de gemeten oeverinscharingen altijd zijn opgetreden tijdens de zandwinning. Na afloop van de zandwinning en zolang er geen andere activiteiten in de taluds uitgevoerd worden, is de kans op het optreden van een oeverinscharing dus klein zonet afwezig.

In de situatie dat de belasting van de ringdijk aan de binnenzijde maximaal is, dus bij maximale rivierwaterstand en minimale waterstand in het spaarbekken, wordt daarom geadviseerd de zandwinning tijdelijk te staken (gedurende tenminste 24 uur voor verwacht hoogwater en 24 uur na afloop). Uiteraard zou tijdige verhoging van het peil in het spaarbekken ook helpen.

Om de veiligheid van de ringdijk te controleren bij oeverinscharing zijn aanvullende MStab berekeningen uitgevoerd. Daarbij zijn dezelfde uitgangspunten als in de voorgaande paragraaf aangehouden. Alleen de geometrie is aangepast, zoals figuur 3.18 aangeeft. Op basis van ervaring kan aangenomen worden dat indien een inscharing optreedt, het inscharingsprofiel uit twee delen bestaat: een steil stuk van 1:2,6 in de bovenste 45% en een flauw stuk van 1:16 in de onderste 55%. Fig. 3.19 geeft de invoer in MStab.

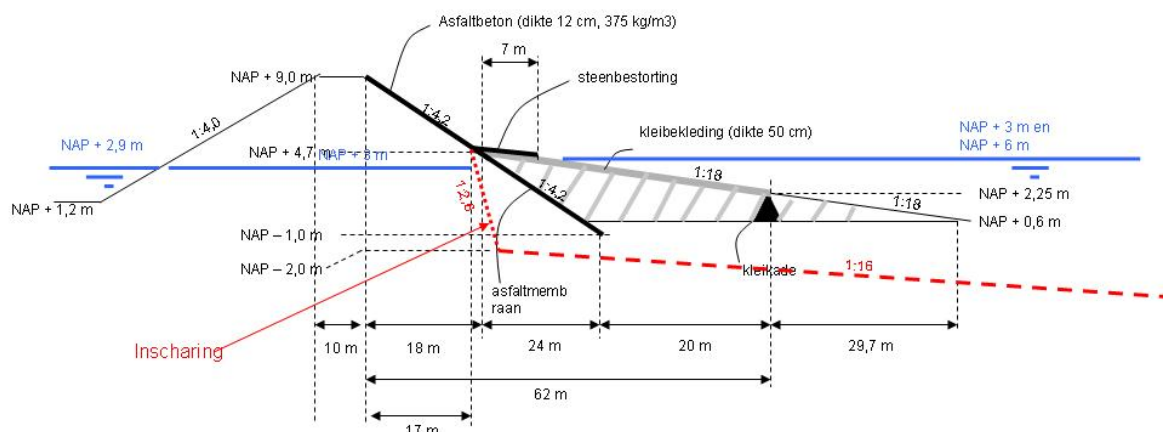


Fig. 3.18 Geometrie dwarsdoorsnede ringdijk bij oeverinscharing zandwinning

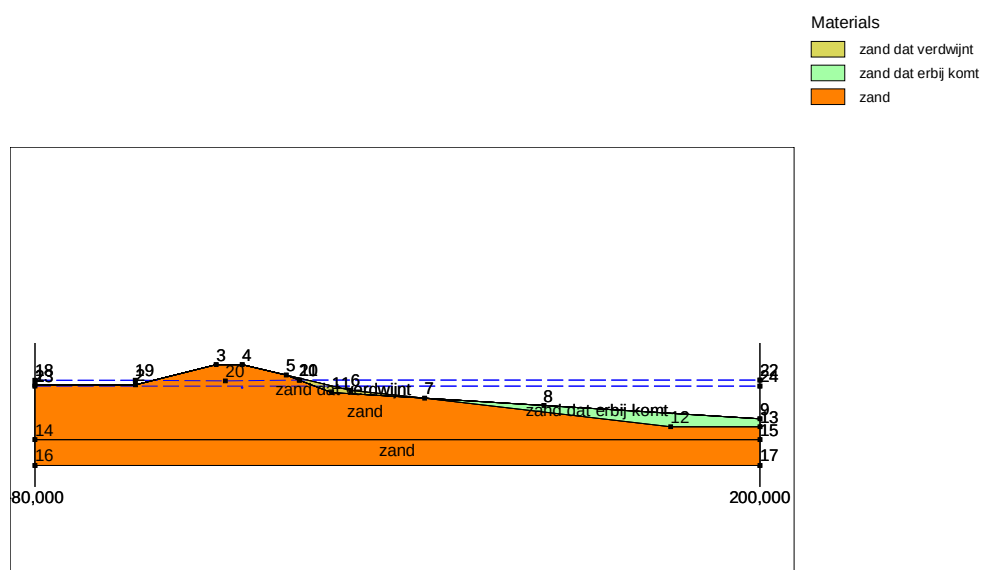


Fig. 3.19 Geometrie dwarsdoorsnede ringdijk in MStab na oeverinscharing

Onderstaande tabel geeft de resultaten:

Variant	ϕ zand [°]	Waterstand bekken [m + NAP]	Buitenwaterstand [m + NAP]	Hoogte freatisch midden onder kruin [m + NAP]	FS
Na inscharing	30	3,0	2,9	3,0	1,8
	35	3,0	2,9	3,0	2,1

In geval van een inscharing waarbij de inscharingslengte maximaal 3 keer de diepte waarover ontgraven wordt zou bedragen, is de binnenwaartse macrostabiliteit nog ruimschoots voldoende.

3.5.3 Situatie ringdijk met zanddepot

Het ontwerp van het zanddepot volgens tekening Adviesburo De Meent b.v., (voor locatie zie foto hoofdstuk 5 en bijlage 3, tekening werkterrein), bestaat uit:

- Depot I Noordelijk, 143x75 m, 46 500 m³
- Depot II Zuidelijk, idem
- Slibdepot, tegen ringdijk aan.

Bij de aanleg van de ringdijk in 1973 was op de zelfde buitendijkse locatie ook al een zanddepot in gebruik. Voor de controle van de stabiliteit van de ringdijk aan de binnenzijde bij aanleg van een zanddepot buitendijks is een gedetailleerde analyse nodig voor afschuiving, zie Tabel 2 CUR 113. Voor de stabiliteit aan buitenzijde is het zanddepot uiteraard alleen maar gunstig.

Fig. 3.20 geeft het resultaat van de extra MStab som die is uitgevoerd voor de maatgevende situatie met het zanddepot. Aangenomen is nu dat het zanddepot met een dijkhoogte van maximaal 4 m + NAP, zie Bijlage 3, tot de rand gevuld is met zand en bovendien dat dit zand nog geheel met water verzadigd is. Links is de rivierzijde, rechts het spaarbekken. In de dijk ligt de freatische lijn op NAP+4,0 m, dus nog wat hoger dan in het geval van maximale

rivierwaterstand en loopt langs het talud aan spaarbekkenzijde naar NAP+3,0 m. Dit is de meest ongunstige situatie die kan worden veroorzaakt door waterdrukken vanuit het zanddepot. De veiligheidsfactor is 2,0, dus ruimschoots voldoende. Het zanddepot zelf heeft geen invloed. De kritische glijcirkel blijft er ver vandaan.

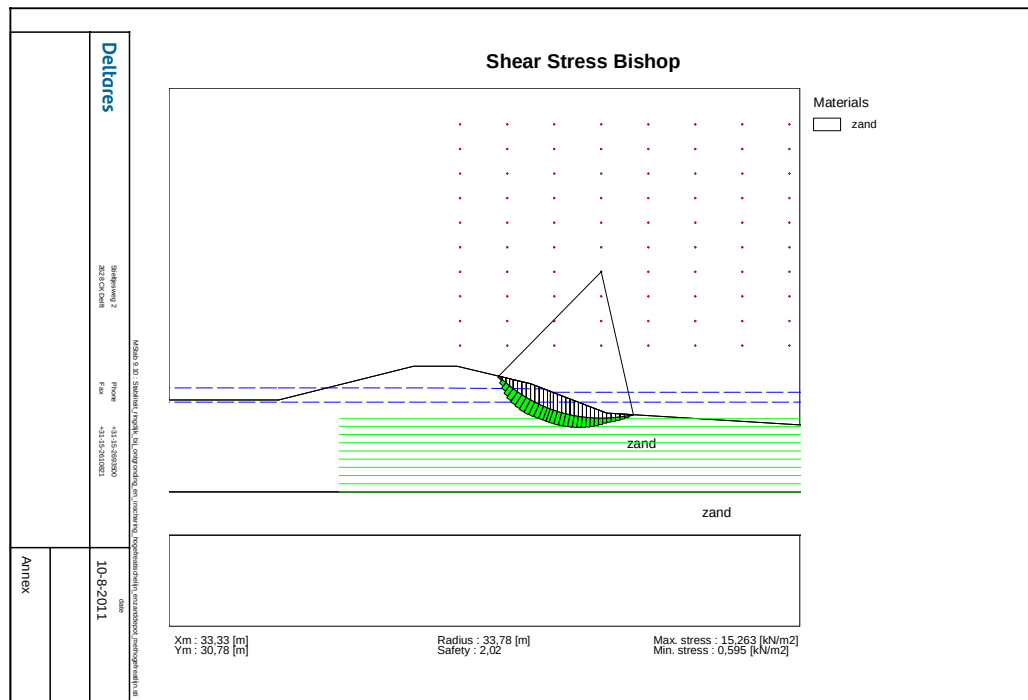


Fig. 3.20 Kritische glijcirkels na inscharing in MStab, met zanddepot

Een ander mogelijk bezwijkmechanisme is het afschuiven van de hele dijk over een horizontaal schuifvlak ten gevolge van de waterdruk. Uit de berekening volgt dat zelfs als het waterstandsverschil aan beide zijden van de dijk maximaal zou zijn (aan een kant tot aan de kruin en aan de andere kant extreem laag) en het dijklichaam compleet met water verzadigd zou zijn (er wordt dan gerekend met het volumiek gewicht onder water, dus conservatief) is horizontaal afschuiven uitgesloten.

In het geval het natte zand in het depot geheel vloeibaar of verweekt zou zijn (wat onwaarschijnlijk is maar in theorie niet uitgesloten) is er sprake van zwaar water en wordt de horizontale balans wel iets anders, omdat er dan vloeistof tegen de dijk aan drukt met een twee keer zo hoog volumiek gewicht. Maar gezien het peil aan spaarbekkenzijde in het extreme geval slechts 1 m lager ligt (NAP+3,0 m tov NAP+4,0 m) en de breedte van de dijk (kruin 10 m), kan zelfs zo'n situatie niet tot horizontaal afschuiven leiden.

3.5.4 Overige faalmechanismen

Aangezien de waterstand in het bekken vrijwel altijd hoger zal zijn dan de buitenwaterstand, kan het optreden van piping uitgesloten worden. Piping is het ontstaan van erosiekanalen onder een dijk ten gevolge van kwel bij een hoge rivierwaterstand.

4 Geohydrologisch onderzoek

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk betreft een geohydrologisch onderzoek naar de mogelijke invloed van de extra ontgraving in het spaarbekken De Gijster op de omgeving. Adviesburo De Meent b.v. heeft Deltares verzocht om dit geohydrologisch onderzoek uit te voeren. Het onderzoek is bedoeld om de geohydrologische effecten van de verdieping te beschrijven, ten behoeve van de aanvraag voor een ontgrondingsvergunning.

Het spaarbekken De Gijster ligt in het Nationaal Park De Biesbosch (ten zuidoosten van Dordrecht). In het Nationaal park worden unieke habitattypen beschermd, zowel flora als fauna. Het bekken heeft een belangrijke functie in de drinkwatervoorziening. Figuur 1.1 toont de omgeving van het spaarbekken 'De Gijster'.

De Gijster is een spaarbekken voor de drinkwatervoorziening en is circa 320 ha groot. In 1978 is het bekken aangelegd. Het diepste punt ligt nu op 15 tot 20 m - NAP. Het bekken is omgeven door een dijk. De kruin van de dijk ligt op circa 8,50 m + NAP. Het gemiddelde waterniveau in de Gijster ligt op 6,50 m + NAP.

4.2 Projectbeschrijving

4.2.1 Algemeen

Bij de aanleg van het spaarbekken de Gijster heeft geen volledige ontgroning van de bodem van het bekken plaatsgevonden. Langs de randen van het bekken is het oorspronkelijke zandpakket nog aanwezig. Het voornemen is dit pakket over een breedte van 80 tot 150 m en tot een diepte van circa 10 à 15 m - NAP alsnog te ontgraven.

Deze ontgroning heeft mogelijk invloed op de lokale grondwaterhuishouding. Om dat na te gaan is een beknopte inventarisatie van de lokale geohydrologische situatie uitgevoerd, waarbij gebruik is gemaakt van de in de dijk van het bekken uitgevoerde boringen en sonderingen, alsmede de in de dijk en in de omgeving geplaatste peilbuizen. Tevens is gebruik gemaakt van onderzoeksgegevens uit het verleden (GWR, 1965).

Vervolgens zijn sterk geschematiseerde dwarsdoorsneden in model gebracht om de invloed van de ontgroning op de lokale grondwaterhuishouding te kwantificeren.

4.2.2 Leeswijzer

In paragraaf 4.3 is een beeld geschetst van de lokale geologische en geohydrologische gesteldheid op basis van documenten van de aanleg van het bekken (GWR, 1965), gegevens vanuit het grondwaterarchief van TNO (Dino-loket) en literatuurgegevens (TNO, 1976 en DLG, 2009). In paragraaf 4.4 is nader ingegaan op de lokale geohydrologische situatie en berekeningen. Paragraaf 4.5 bevat de samenvatting en conclusies.

De diepste laag in het onderzoek betreft afzettingen van de formatie van Kedichem (zie Figuur 4.1). Deze afzettingen dateren uit het Oud-pleistoceen. Dit betreft overwegend matig tot slecht doorlatende klei- en zandlagen. Bij het spaarbekken varieert de bovenkant van deze formatie tussen 20 en 22 m - NAP.

4.3.2 Geohydrologische schematisatie

In de geohydrologie wordt de bodem geschematiseerd in watervoerende (zandige) pakketten en slecht doorlatende (klei en veen) lagen.

Watervoerende pakketten

Het eerste (bovenste) watervoerende pakket op de locatie bestaat volgens de Grondwaterkaart van Nederland (TNO, 1976) uit de jong Pleistocene afzettingen van de formaties van Twente, Kreftenheye en Sterksel (Figuur 4.2). Bij het spaarbekken varieert de dikte van het eerste watervoerend pakket tussen de 20 en 25 m.

Het tweede watervoerende pakket wordt aangetroffen op grote diepte (waarschijnlijk vanaf 120 m - NAP). Dit pakket is opgebouwd uit afzettingen van de formaties van Kedichem, Tegelen en Maassluis. De dikte van dit pakket bedraagt 30 à 100 m. Vanaf circa 200 m - NAP wordt een derde watervoerende pakket aangetroffen, opgebouwd uit afzettingen van de formatie van Oosterhout. Dit pakket heeft een dikte van 50 à 100 m.

Lithostratigrafie	Lithologie	Geohydrologie Z N	Dikte in m
WESTLAND FORMATIE	klei, veen, zand	DEKLAAG matig doorlatend	0-25
FORMATIE VAN TWENTE	fijne tot grove zanden grove grindhoudende zanden	EERSTE WATERVOEREND PAKKET	0-35
FORMATIE VAN KREFTENHEYE			
FORMATIE VAN STERKSEL			
FORMATIES VAN KEDICHEM EN TEGELEN	fijne leemhoudende zanden, kleilagen	SCHEIDENDE LAAG I slecht doorlatend	30-100
	fijne tot grove zanden	TWEDE WATERVOEREND PAKKET	30-100
FORMATIE VAN MAASSLUIS	fijne tot grove zanden schelphoudend, ingeschakeld zandige kleilagen		
FORMATIE VAN OOSTERHOUT	zandige klei	SCHEIDENDE LAAG II slecht doorlatend	10-50
	schelprijke grove zanden	DERDE WATERVOEREND PAKKET	50-100
FORMATIES VAN BREDA EN RUPEL	glauconietrijke fijne slibhoudende zanden en kleilagen	BASIS slecht tot ondoorlatend	100 A

Figuur 4.2 Geohydrologische indeling van de ondergrond in West Brabant [6]

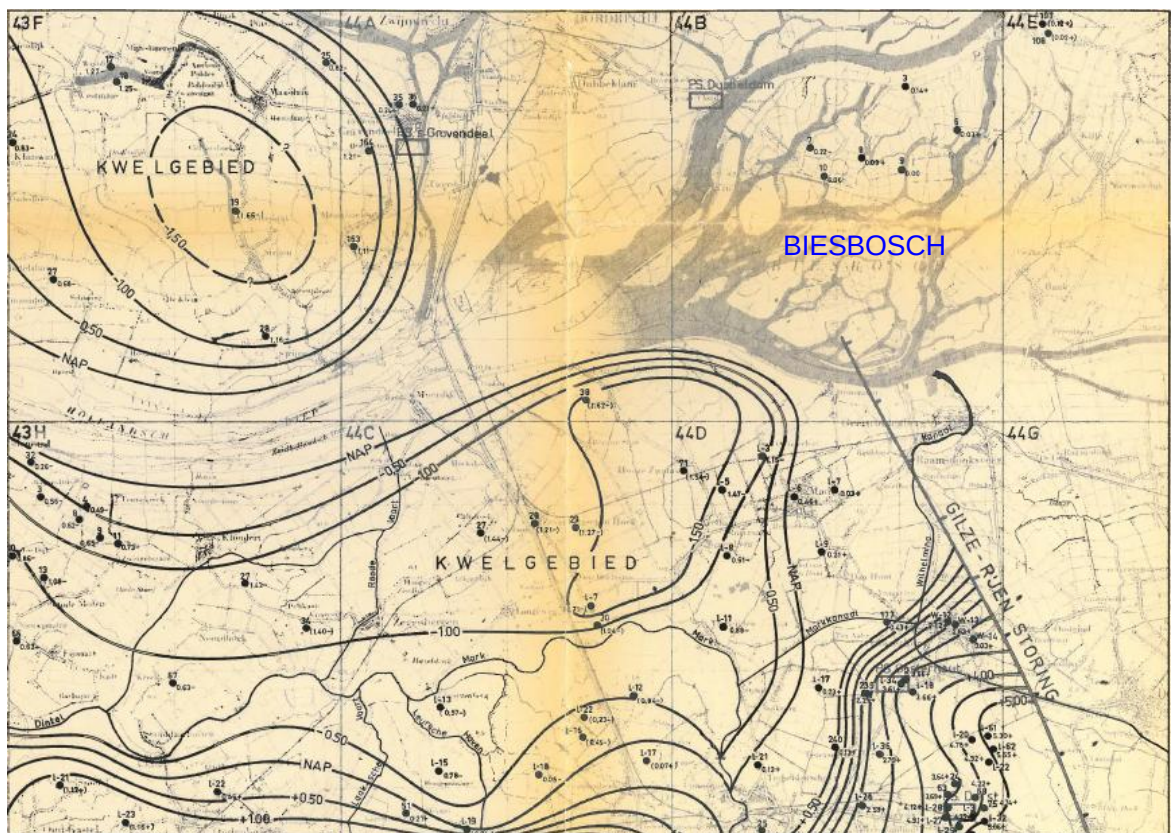
Scheidende lagen

Nabij maaiveld wordt in de (poldergebieden) een slechtdoorlatende deklaag aangetroffen van 1 à 2 m dik. Deze laag bestaat hoofdzakelijk uit kleiafzettingen uit het Holoceen. Tussen het eerste en tweede watervoerende pakket wordt de eerste scheidende laag aangetroffen. Deze laag bestaat uit fijne leemhoudende zanden en kleilagen van de top van de formatie van Kedichem (zie Figuur 4.2). De dikte van deze scheidende laag varieert van 30 m in het Zuidwesten van West-Brabant tot 100 m in het noordelijke gedeelte van West-Brabant. Vooral in de Biesbosch, bereikt deze scheidende laag een grote dikte.

De tweede scheidende laag, met een dikte van 10 à 50 m, bestaat uit zandige klei uit de top van de formatie van Oosterhout. De basis van het geohydrologische systeem wordt gevormd door de glauconietrijke fijne en slibhoudende zanden en kleilagen van de formaties van Breda en Rupel.

4.3.3 Grondwaterstijghoogte

In Figuur 4.3 is een beeld van de grondwaterstijghoogten in de omgeving van de Biesbosch weergegeven, zoals deze is opgenomen in de grondwaterkaart (TNO, 1976). Dit betreft de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket. Uit de figuur volgt dat de grondwaterstand in gebied van Biesbosch circa 0 m + NAP bedraagt.



Figuur 4.3 Isohypsen van het grondwater in het eerste watervoerend pakket [1976 - 6]

4.3.4 Grondwaterstroming

Op basis van de grondwaterstijghoogten zoals gepresenteerd in paragraaf 4.3.3 wordt geconcludeerd dat er voor het gebied van het spaarbekken geen dominerende regionale stroming is te onderscheiden. De stroming in het gebied zal in sterke mate beïnvloed worden door de inzijging vanuit het bekken, de peilen in het open water rond de bekkens en in mindere mate door de kwelstroom naar de in de omgeving gelegen polders.

Verder is het de verwachting dat door de grote dikte van de scheidende laag de stroming van water tussen eerste en tweede watervoerende pakket geen invloed zal hebben op de grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket.

4.3.5 Analyse uitgevoerd grondonderzoek

Uit sonderingen S1 t/m S12, boringen B1 t/m B6, zie bijlagen 4 t/m 8) en DINO archief (boringen B44B0081 en B44B0080) wordt de volgende bodemopbouw afgeleid:

- De kruin van de dijk ligt op 8,6 t/m 9,4 m + NAP.
- Het dijklichaam bestaat uit zandig materiaal
- Het oude maaiveld ligt op ca. 1 m + NAP (uit archief).
- Tot 20 m - NAP wordt zand aangetroffen. Uit het DINO archief wordt afgeleid dat de eerste scheidende laag bij het spaarbekken de Gijster wordt verwacht op een diepte van circa 30 m - NAP.

4.3.6 Waarnemingen geplaatste peilbuizen

De stijghoogte in cq. onder de dijk varieert van NAP 1,65 m tot NAP 2,84 m. Op 3 locaties is de stijghoogte in het ondiepe filter hoger dan het diepe filter, op de andere 3 locaties is dit juist omgekeerd. Het stijghoogteverschil (absolute waarde) tussen het ondiepe en het diepe filter varieert tussen 0,10 m en 0,29 m. Dit duidt erop dat er wel enige weerstand tegen waterstroming binnen het eerste watervoerende pakket bestaat. De hoge stijghoogte zal verder bepaald worden door het peil van het water in het bekken.

In de twee peilbuizen in de polders in de omgeving (P1 en P2) wordt een stijghoogte gemeten van circa 0,3 m + NAP. Dit is in lijn met het oppervlaktewaterpeil (De Amer) in de omgeving.

4.4 Grondwaterhuishouding

4.4.1 Geohydrologie parameters

Uit de boringen B01 t/m B06 is een aantal grondmonsters gestoken, waarvan de korrelverdeling is bepaald. Het betreft zandige lagen van zeer fijn tot uiterst grof. Het pakket bestaat overwegend uit matig fijne zwak siltige zandafzettingen. Een aantal korrelverdelingen is gebruikt om de doorlatendheid van het zand te berekenen. Deze varieert van 5,9 m/d (monster B01 20A, van 2,11 tot 2,21 m - NAP) voor het fijne zand tot 22,5 m/d (monster B01 17A, van 0,89 tot 0,49 m + NAP) voor het grove zand. De gemiddelde doorlatendheid ligt in de orde van grootte van 10 m/d.

Bij een dikte van het eerste watervoerende pakket van 15 á 30 meter, zal het doorlaatvermogen van dit pakket in de orde van grootte van 200 tot 300 m²/d liggen. Het doorlaatvermogen (kD [m²/d]) is het product van doorlatendheid (k [m/d]) en pakketdikte (D [m]).

De betrouwbaarheid van deze schatting is echter beperkt, er zal rekening gehouden moeten worden met een onzekerheid in deze waarde met een factor 2¹.

Gelet op het feit dat de eerste scheidende laag verwacht wordt voor te komen van 30 tot 120 meter diepte is verondersteld dat de weerstand van deze laag zodanig groot is dat deze als geohydrologische basis kan worden beschouwd.

Binnen het eerste watervoerende pakket worden op basis van de uitgevoerde sonderingen op verschillende diepten stoorlagen aangetroffen.

Ondiep betreft dit veelal een veenlaagje rond 4 m - NAP. De rest van het pakket vertoont een gelijkmatig verloop van de waterspanning tot een niveau van 18 à 22 m - NAP, waaronder grotere terugval in de waterspanning optreedt. Het pakket onder 20 m - NAP is waarschijnlijk minder doorlatend dan het bovenste deel van het eerste watervoerende pakket. Onder de 20 m - NAP bevindt zich waarschijnlijk de eerste scheidende laag, bestaande uit afzettingen van de formatie van Kedichem.

4.4.2 Modelleren van inzijging van water vanuit het bekken

Om een beeld te krijgen van de mogelijke inzijging van water vanuit het bekken naar de bodem zijn modelberekeningen met het programma PlaxFlow uitgevoerd voor een sterk geschematiseerde twee dimensionale doorsnede over de dijk. De schematisatie is weergegeven in Figuur 4.4. Het bekken bevindt zich links van de dijk. Voor de dijk is ook het te ontgronden deel duidelijk te herkennen in de schematisatie. Ook de bodem en de taluds zijn als aparte laag ingevoerd. Verder zijn in de schematisatie het oude maaiveld (rechts van de dijk en een stoorlaag op het niveau van de bodem van het bekken zichtbaar (15 m - NAP). De basis van het model ligt op 25 m - NAP en wordt gevormd door een ondoorlatende basis.

4.4.3 Calibratie van het model

Met het model zijn stationaire berekeningen uitgevoerd, waarbij de volgende randvoorwaarden zijn gehanteerd:

- waterpeil in het bekken: 6,5 m + NAP,
- oppervlaktewaterpeil in de omgeving (Amer): 0,5 m + NAP,
- polderpeil: 1,0 m – NAP.

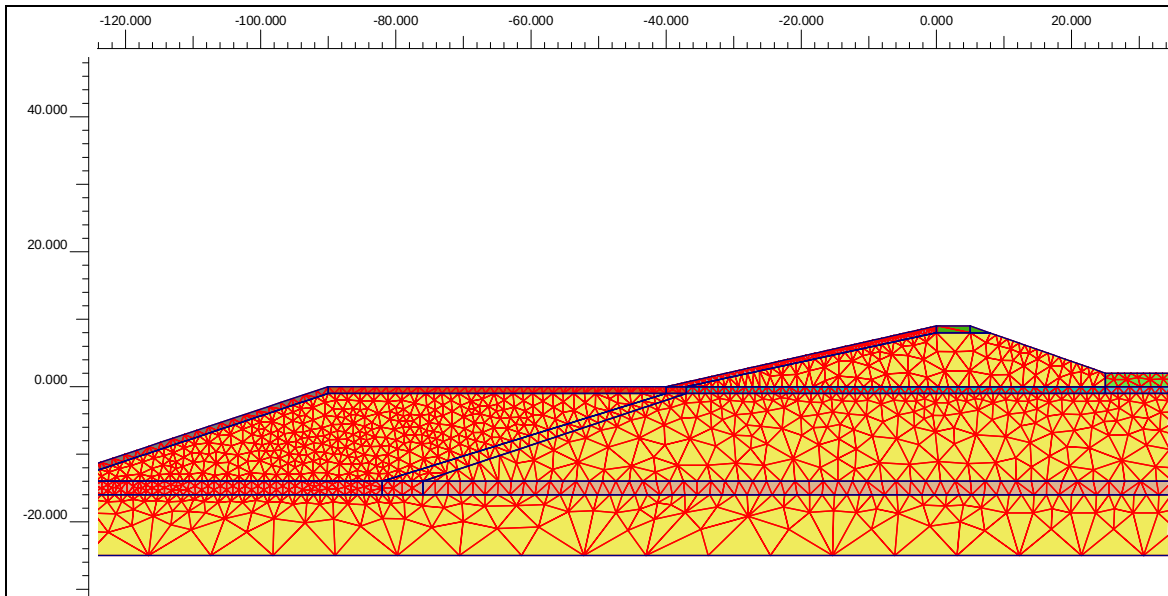
Gekeken is of de gemeten standen in de peilfilters bij de boring B01 t/m B08 met dit model gesimuleerd konden worden. Neerslag en verdamping zijn in deze berekeningen buiten beschouwing gelaten. Voor een gedetailleerde berekening, waarbij rekening wordt gehouden met deze fenomenen is een complexer, tijdsafhankelijke modellering noodzakelijk. Het aantal meetpunten in ruimte en tijd is echter te beperkt om een dergelijke modellering uit te voeren.

Met het sterk geschematiseerde model blijkt een redelijke mate van overeenstemming verkregen te kunnen worden tussen gemeten en berekende grondwaterstanden wanneer de volgende geohydrologische parameters worden gebruikt:

- | | | | |
|---|--------------------------------|-------|-------|
| - | intrede weerstand bodem | 25 | dagen |
| - | intrede weerstand lage talud | 25 | dagen |
| - | intrede weerstand asfalt talud | 1.000 | dagen |

1. Een nauwkeuriger schatting is alleen te geven als er (veel) meer meetgegevens over een voldoende lange periode beschikbaar komen, of wanneer er een pompproef op locatie wordt uitgevoerd.

- doorlatendheid eerste watervoerende pakket 10 m/dag
- weerstand deklaag polder 40 dagen
- weerstand stoorlaag in watervoerende pakket: 20 dagen



Figuur 4.4 Schematisch dwarsprofiel over dijk en ontgronding (PlaxFlow)

4.4.4 Berekeningsresultaten

Beschouwde varianten

Nadat er een redelijke overeenstemming was verkregen tussen gemeten en berekende waarden zijn 3 berekeningen uitgevoerd. De eerste berekening betreft de 'huidige situatie'. De tweede berekening betreft de situatie direct na ontgronding. Het pakket links van de dijk is in het model vervangen door 'water'. Dit is gerealiseerd door deze afzettingen een heel hoge doorlatendheid te geven. Direct na ontgronden is er nog weinig sprake van intrede weerstanden op de bodem of het talud. Dit is in model gebracht door bodem en talud in het ontgraven deel dezelfde parameters te geven als die van het eerste watervoerende pakket. Dit is echter een tijdelijke situatie. Na verloop van tijd zal doorsnijding van water via de bodem en het talud de intrede weerstand toenemen. De laatste variant die is doorgerekend betreft de situatie na ontgraving, waarbij voor de bodem en het talud dezelfde waarden voor de intrede weerstand zijn gehanteerd als voor de huidige situatie (zoals weergegeven in paragraaf 4.4.2)².

In de figuren 4.5 t/m 4.10 is per berekende variant zowel de stijghoogteverdeling in de dwarsdoorsnede gegeven als de grondwaterstroming. Ter vergelijking zijn in Tabel 4.1 op specifieke locaties enkele karakteristieke waarden samengevat. De stijghoogten zijn bepaald op een niveau van 0 en 15 m - NAP aan de buiten kruinzijde van de dijk (daar waar ook de peilfilters zijn geplaatst). Daarnaast is het specifieke debiet bepaald over de volledige hoogte van een vlak door de buiten kruin van de dijk.

2. De opdrachtgever heeft aangegeven dat na ontgraving van het zand, de meegewonnen slib, klei en fijne fracties deels worden terugaangebracht op de nieuwe taluds. Hier is in de berekeningen geen rekening mee gehouden. Het gevolg van het terugaanbrengen van minder doorlatend materiaal heeft tot gevolg dat situatie 2 minder lang zal bestaan en dat de effecten van het uitstromen van water uit het bekken in situatie beperkter zullen zijn. De actuele uitstroom zal komen te liggen tussen situatie 1 en 3.

Tabel 4.1 Karakteristieke waarden van stijghoogten (buitenkruinzijde dijk) en stroming, berekend voor de beschouwde modelvarianten

Variant		Huidige situatie	Na ontgroning	Lange termijn
H (0,0 m)	[m + NAP]	2,32	3,32	1,98
H(-15,0 m)	[m + NAP]	2,25	3,27	1,95
Specifiek debiet	[m ³ /m ¹ .d]	7,65	12,83	6,51

Uit de modelberekeningen volgt dat direct na het ontgronden van het bekken de grondwaterstijghoogte in/onder de dijk zal toenemen. Uit de berekeningen ter hoogte van de buiten kruin van de dijk volgt een toename van zowel het ondiepe als het diepe grondwater met circa 1 m. Wanneer na verloop van tijd de weerstand tegen de intrede van water op het ontgronde gedeelte weer is hersteld, dan blijken de stijghoogten onder de buiten kruin af te nemen.

Kijkend naar de specifieke debieten bij de 3 berekeningen is er na de ontgroning een significante toename van de uitstroom van water, het specifieke debiet neemt toe van 7,65 naar 12,83 m³/m¹.d. Dit is een toename met 68%. Op de lange termijn berekenen we een afname van het specifieke debiet, welke nagenoeg overeenkomt met de huidige situatie.

Kijkend naar de berekende grondwaterstroming, zoals weergegeven in de dwarsprofielen in de figuren, blijkt de ontgroning vooral van invloed te zijn op de stroming onder de dijk door tussen het bekken en het oppervlaktewater direct grenzend aan het bekken. De invloed op de polders op enige afstand van het bekken lijkt zeer beperkt. Opvallend is dat op de lange termijn de ontgroning resulteert in een afname van de stijghoogten en het debiet ter hoogte van de buiten kruin. Uit de figuren lijkt dit een gevolg te zijn van de afname van het infiltratie oppervlak (minder bodem in contact de 'volledige' dikte van het watervoerende pakket).

Nauwkeurigheid van de modelberekeningen

Bij de inventarisatie van de mogelijke geohydrologische effecten van de voorgenomen ontgroning is gebruik gemaakt van een 2D grondwaterstromingsmodel. Dit zou de indruk kunnen wekken dat de veranderingen met een hoge mate van detail berekend zijn. De berekende waarden kunnen slechts gezien worden als een indicatie, omdat:

- de onzekerheid in het doorlaatvermogen al snel een factor 2 kan bedragen;
- de dataset met betrekking tot peilgegevens van het grondwater beperkt is;
- de uitstroming vanuit het bekken een 3-dimensionale stroming betreft;
- de intredeweerstand van talud en bodem van het bekken onbekend zijn.

De nauwkeurigheid zou, indien noodzakelijk, op termijn vergroot kunnen worden door een betere calibratie met een 3D model uit te voeren. Dit kan gebeuren als er over een langere periode peilgegevens beschikbaar zijn. De calibratie zal vooral verbeteren wanneer er in deze periode ook sprake is geweest van een significante peilveranderingen in het spaarbekken, die een duidelijk effect heeft in de filters die rondom het bekken staan.

4.5 Samenvatting en conclusies

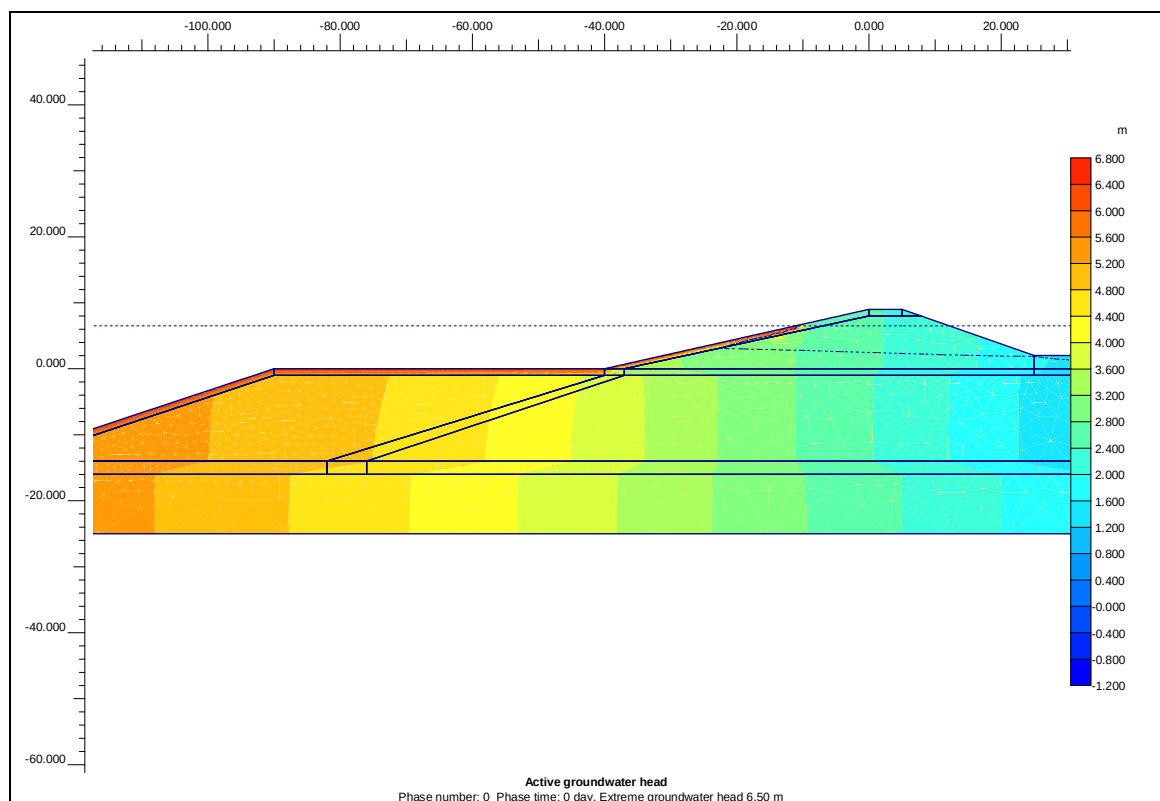
Er ligt een plan om in het spaarbekken de Gijster in de Biesbosch een resterende ontgronding uit te voeren. Door de opdrachtgever is gevraagd om na te gaan wat het effect van deze ontgronding op de omgeving is in termen van verandering van grondwaterstijghoogte en lekstroom. Rond het bekken zijn sonderingen en boringen uitgevoerd en zijn peilfilters geplaatst. De uitgevoerde veldwerkzaamheden bevestigen het beeld van de lokale bodemopbouw, bestaande uit een watervoerend pakket tot een diepte van 20 á 30 meter, met in de polders een kleiafdekking van 1 à 2 m. Onder dit watervoerende pakket komt een slecht doorlatende laag voor tot een diepte van meer dan 100 meter, welke voor de lokale grondwaterhuishouding beschouwd is als de geohydrologische basis. Binnen het watervoerende pakket wordt plaatselijk een veenlaag aangetroffen op 4 m - NAP. Het pakket is over het algemeen vrij homogeen. Op basis van uitgevoerde korrelverdelingen wordt verwacht dat het doorlaatvermogen van het pakket 200 à 300 m²/dag bedraagt, waarbij wordt opgemerkt dat de onzekerheid in deze schatting een factor 2 kan bedragen.

In het spaarbekken is sprake van een variërend waterpeil, tot maximaal 6,5 m + NAP afhankelijk van de vulgraad van het bekken. Het peil in de omgeving wordt bepaald door oppervlaktewater in de omgeving (circa 0,5 m + NAP) en polderpeilen (circa 1 m - NAP). Zowel het peil in het spaarbekken als het oppervlaktewater varieert in de tijd.

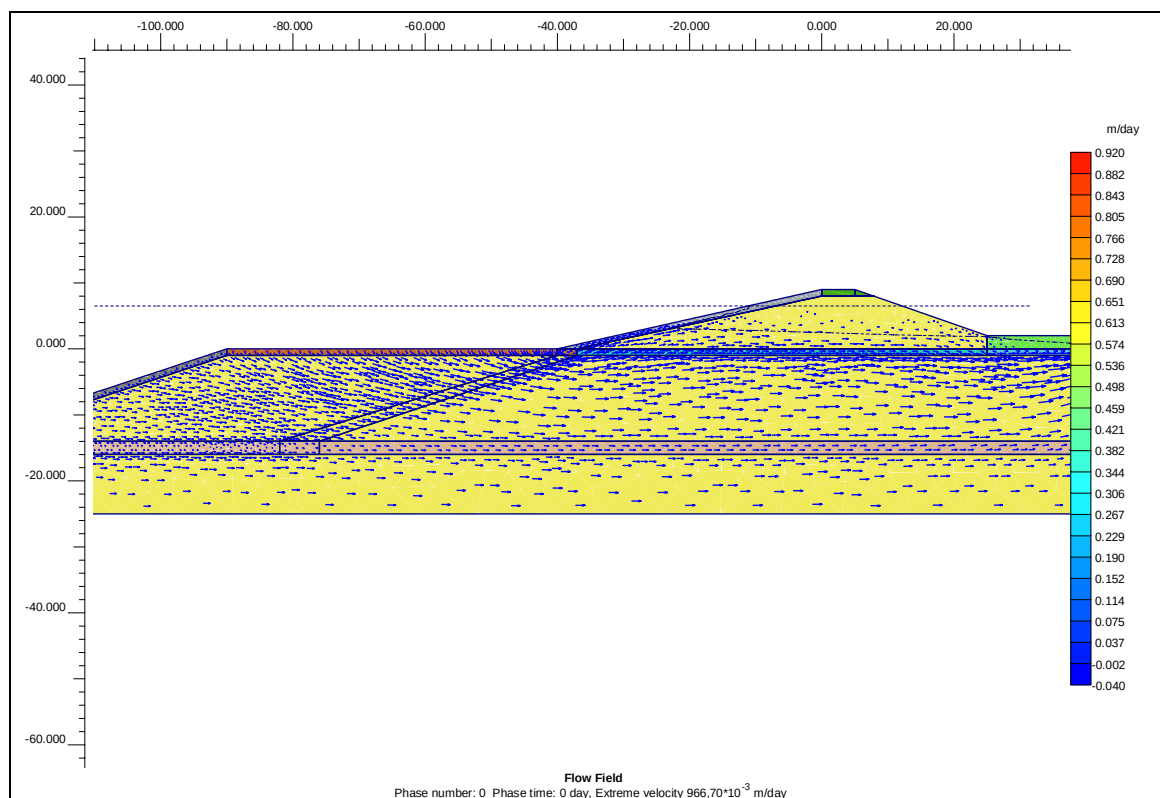
Uit de (beperkte reeks aan) peilgegevens volgt dat er sprake is van alzijdige uitstroming van water uit het bekken via het grondwater naar de omgeving. De verschillen die zijn gemeten tussen de ondiep en diep afgestelde peilfilters zijn vooralsnog niet te verklaren op basis van de beschikbare gegevens.

Op basis van indicatieve 2D-modelberekeningen met een sterk geschematiseerd dwarsprofiel over de dijk en de ontgronding volgt, dat het ontgronden een tijdelijke toename van de uitstroming vanuit het bekken tot gevolg zal hebben. Deze toename bedraagt circa 70%, waarbij de grondwaterstand / stijghoogte ter plaatse van de buitenkruin met circa 1 meter zal stijgen. Deze extra uitstroom zal vooral afstromen naar het omliggende oppervlaktewater, de invloed op de polders in de omgeving wordt klein geacht. Er is ook een modelberekening uitgevoerd voor de lange termijn, waarbij de bodem en het talud van de ontgronding een zekere intrede weerstand ontwikkelen. Voor de situatie op de lange termijn wordt volgens berekening geen verhoging van de uitstroom of de stijghoogte in en onder de dijk verwacht.

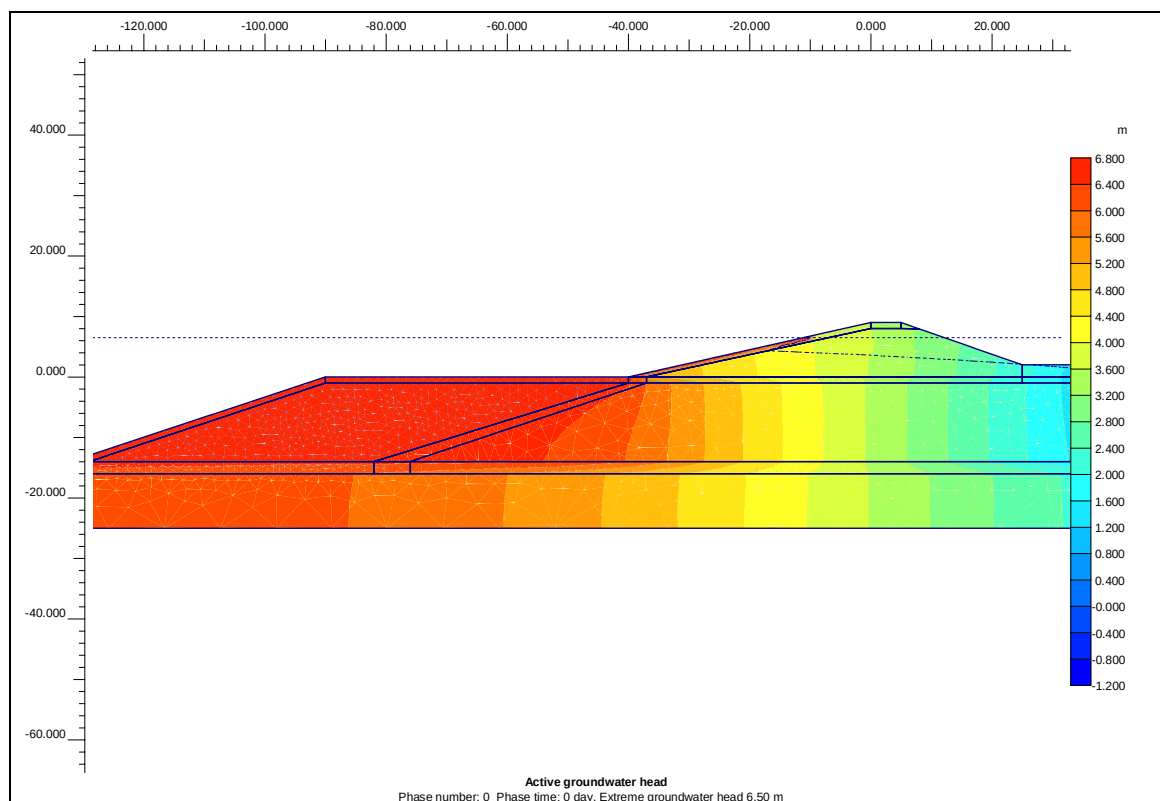
Bij de inventarisatie van de mogelijke geohydrologische effecten van de voorgenomen ontgronding is gebruik gemaakt van een 2D grondwaterstromingsmodel. De berekende waarden kunnen slechts gezien worden als een indicatie. De nauwkeurigheid zou, indien noodzakelijk, op termijn vergroot kunnen worden door een betere calibratie met een 3D model uit te voeren. Dit kan gebeuren als er over een langere periode peilgegevens beschikbaar zijn. De calibratie zal vooral verbeteren wanneer er in deze periode ook sprake is geweest van een significante peilverandering in het spaarbekken, die een duidelijk effect heeft in de filters die rondom het bekken staan.



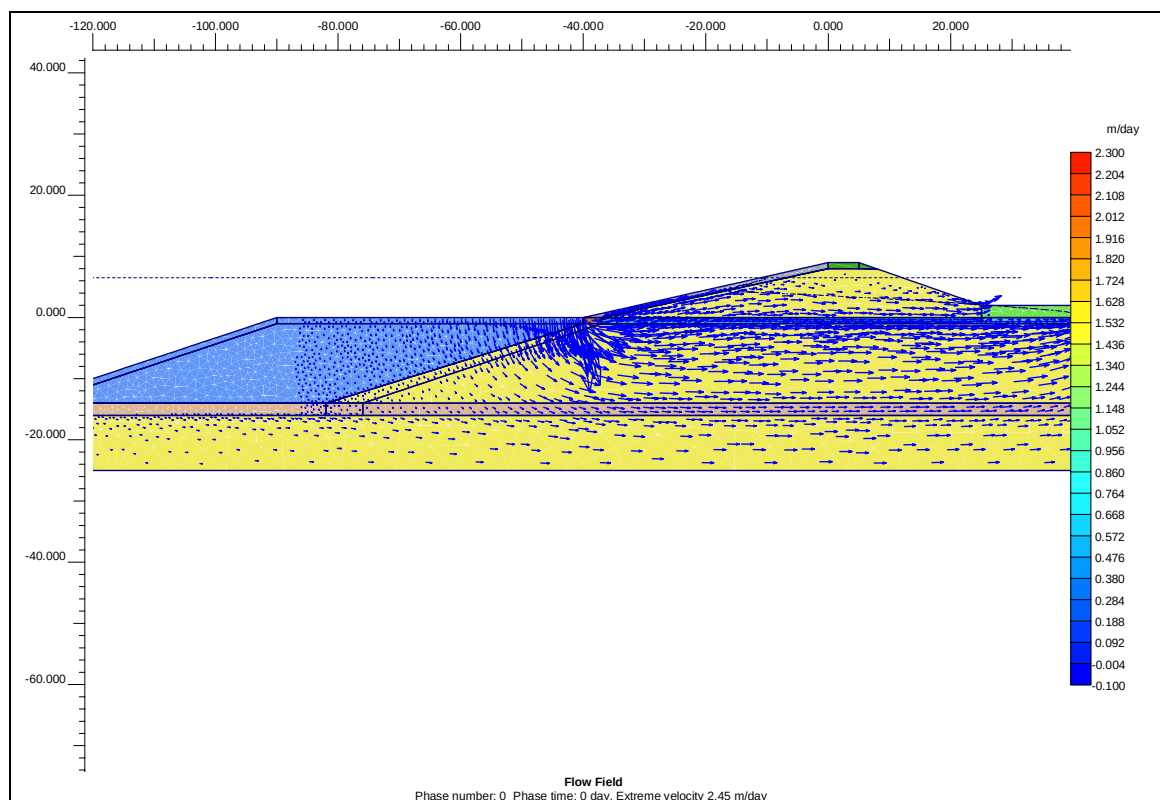
Figuur 4.5 Stijghoogteverdeling in en onder dijklichaam huidige situatie (waterpeil NAP +6,5m)



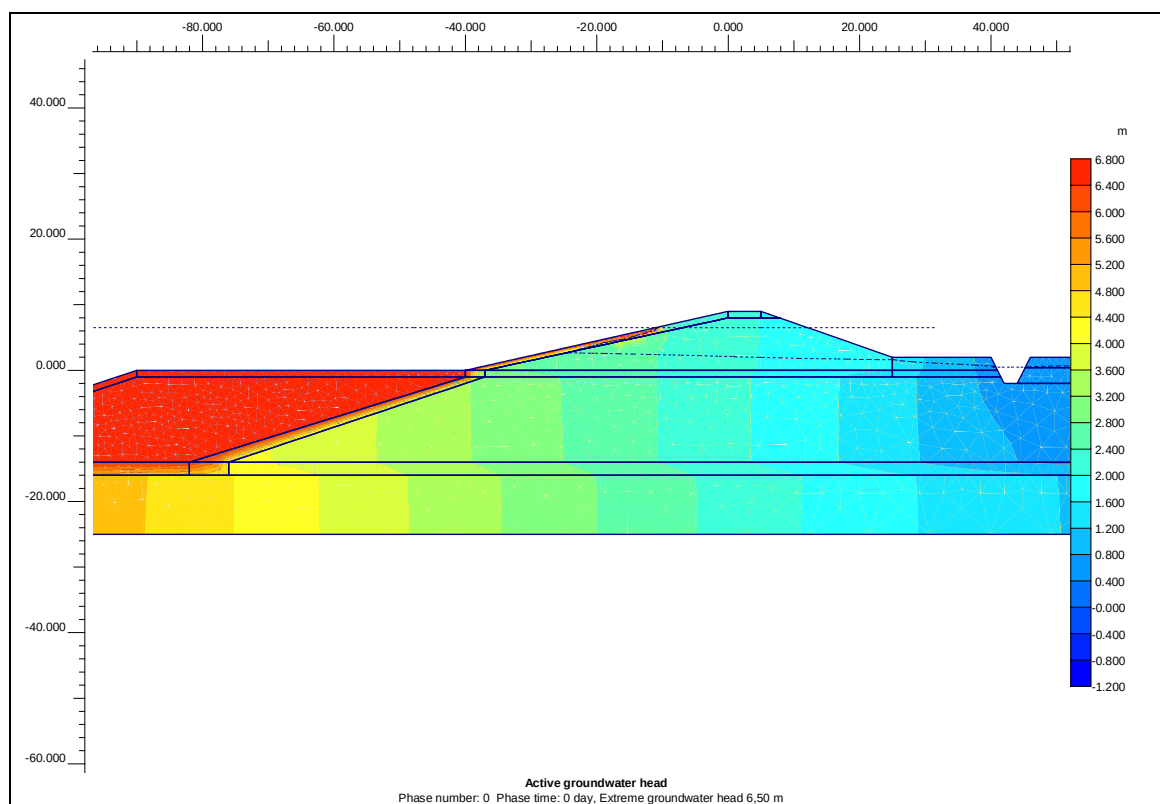
Figuur 4.6 Grondwaterstroming in en onder het dijklichaam huidige situatie (waterpeil NAP +6,5 m)



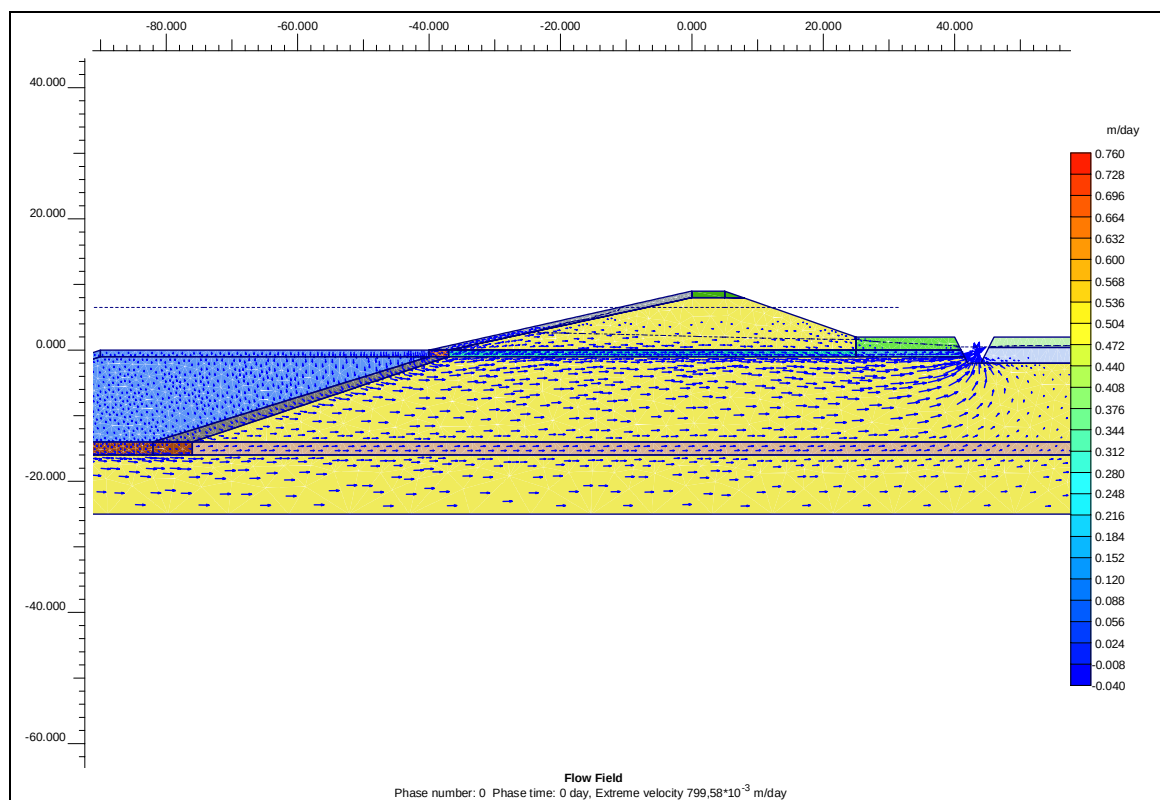
Figuur 4.7 Stijghoogteverdeling in en onder dijklichaam direct na ontgroning (waterpeil NAP +6,5m)



Figuur 4.8 Grondwaterstroming in en onder het dijklichaam direct na ontgroning (waterpeil NAP +6,5 m)



Figuur 4.9 Stijghoogteverdeling in en onder dijklichaam op lange termijn (waterpeil NAP +6,5m)



Figuur 4.10 Grondwaterstroming in en onder het dijklichaam op lange termijn (waterpeil NAP +6,5 m)

5 Rivierkundige effecten van buitendijkse aanleg tijdelijk depot

5.1 Inleiding

5.1.1 Achtergrond

In het kader van de gedeeltelijke verdieping van het spaarbekken De Gijster zal een tijdelijk depot voor de opslag van zand worden aangebracht langs de noordelijke oever van de Amer. Deltares is gevraagd een bijdrage te leveren aan onderzoek naar de rivierkundige effecten ten gevolge van het bouwen van dit tijdelijke depot.

5.1.2 Doel

Doel van de opdracht is het identificeren en beoordelen van de rivierkundige effecten als gevolg van de aanleg van het depot in buitendijks gebied bij spaarbekken De Gijster ten behoeve van de aanvraag van een Watervergunning.

5.1.3 Aanpak

Effectbeoordeling geschiedt door middel van deskundigenoordeel, zoals door de opdrachtgever is overeengekomen met de rivierbeheerder (Rijkswaterstaat). Het Rivierkundig Beoordelingskader Grote Rivieren (WD, 2009) wordt hierbij als leidraad gebruikt. Deskundigenoordeel houdt in dat geen hydraulische modelberekeningen met WAQUA worden uitgevoerd.

5.2 Rivierkundige analyse

5.2.1 Inleiding

Ten zuidwesten van spaarbekken De Gijster, in de uiterwaard van de Amer, zal een tweetal omdijkte zanddepots en een slibdepot worden aangelegd voor de verwerking van zand dat gewonnen wordt uit het spaarbekken. De afmetingen van het totale depot zijn ruwweg 80 m bij 330 m (rood kader in Figuur 5.1b). De dijken rondom het depot zullen een hoogte van maximaal 4 meter krijgen. De twee zanddepots worden om en om gevuld. Pers- en retourleidingen en een transportband maken ook onderdeel uit van het werkterrein. Het depot wordt voor een eindige periode aangebracht. Zodra de werkzaamheden in het spaarbekken De Gijster gereed zijn, wordt het werkterrein waarvan het depot deel uit maakt weer opgeruimd.

5.2.2 Rivierkundige situatie ter plaatse van toekomstig depot

In Figuur 5.2 wordt de bodemligging in het gebied rondom het depot weergegeven. De locatie van het depot is aangegeven met een kader. De huidige bodemligging ter plaatse van het toekomstige depot varieert grofweg tussen 1,0 m + NAP en 4,5 m + NAP. De lokale verhoging is een restant van een eerder depot dat tijdens de aanleg van het spaarbekken is gebruikt als tijdelijke opslag en deels als zodanig nog steeds in gebruik is.

De luchtfoto (Figuur 5.1) is genomen op een moment dat er alleen water door het zomerbed stroomt. Om een globale inschatting te krijgen van hoe frequent het desbetreffende gebied van het aan te leggen depot overstroomt, zijn gemeten waterstanden van 10 jaar beschouwd (2000 t/m 2009). Figuur 5.3 toont een dwarsprofiel van de Amer samen met gemeten waterstanden; de locatie van het profiel is weergegeven in Figuur 5.2. Uit Figuur 5.3 valt op te

maken dat in de 10 jaar de waterstand vrijwel nooit een niveau van 2,0 m + NAP heeft bereikt (0,004% van alle metingen is hoger, oftewel 3,5 uur in 10 jaar), en het aantal keren dat een niveau van 1,0 m + NAP is bereikt is eveneens vrij beperkt (5,7% van alle metingen is hoger, oftewel 210 dagen in 10 jaar). Onder de maatgevende toestand stijgt de waterstand (MHW) tot 2,9 m + NAP. Het gehele terrein van het toekomstige depot staat dan onder water, met uitzondering van de locatie waar het huidige depot ligt.

De getoonde metingen bevatten ook waterstandsfluctuaties door het getij. De “uitschieters” in het histogram worden vermoedelijk hierdoor veroorzaakt. De getijslag in de Amer is circa 0,3 m, zo blijkt uit de metingen van de afgelopen 10 jaar, en uit DZH (2004).

Gepresenteerde metingen zijn gemeten bij Keizersveer. Het depot zal enkele kilometers benedenstrooms van Keizersveer worden aangelegd. De metingen zijn daarom vergeleken met de metingen bij Moerdijk, enkele kilometers benedenstrooms van De Gijster. Het waterstandsverschil tussen beide meetstations is erg klein, zodat de gemeten waterstanden bij Keizersveer representatief zijn voor die ter hoogte van De Gijster.

5.2.3 Identificatie van relevante rivierkundige effecten

Wanneer een ingreep in een uiterwaard wordt voorzien, dient het plan doorgaans op de volgende rivierkundige aspecten te worden beoordeeld, zie ook WD (2009):

Hydraulica:

1. Effect op maatgevende hoogwaterstand (MHW)
2. Effect op bergend volume
3. Wijziging van afvoerverdeling splitsingspunten

Bodemligging en morfologie:

4. Morfologische effecten op zomerbed
5. Uiterwaardsedimentatie

Hinder of schade:

6. Instabiliteit van waterkeringen en constructies
7. Effect op scheepvaart
8. IJsgang
9. Schade in winterbed
10. Verzilting

Deze aspecten worden in de volgende drie paragrafen nader toegelicht. Er wordt beoordeeld of een aspect voor de aanleg van het depot bij De Gijster relevant is, en indien dit het geval is, wordt het effect verder uitgewerkt.

5.2.4 Hydraulica

Toelichting

De Beleidslijn Grote Rivieren (V&W en VROM, 2006) en het Rivierkundig Beoordelingskader (WD, 2009) maken onderscheid tussen twee zogenaamde afwegingsregimes, het stroomvoerende regime en het bergende regime. Deze gebiedsdifferentiatie wordt gemaakt om onderscheid te kunnen maken in het toelaten van activiteiten in buitendijkse gebieden. In het kort komt het erop neer dat voor het stroomvoerende regime geldt dat niet-riviergebonden activiteiten niet zijn toegestaan, terwijl in het bergende regime alle activiteiten toegestaan zijn. Het eerste aspect (effect op hoogwaterstanden) heeft betrekking op het stroomvoerende

regime, en het tweede aspect (effect op bergend volume) op het bergende regime. Voor het winterbed langs de Amer ter hoogte van spaarbekken De Gijster geldt het stroomvoerende regime, en is het tweede aspect niet van belang.

Door te bouwen in de uiterwaard ontstaat bij hoogwater een vernauwing, wat kan resulteren in een stroomversnelling en verhoging van de waterstand ten opzichte van de situatie zonder bebouwing. Opstuwing werkt door naar bovenstrooms. Er geldt dat hoe meer blokkade wordt aangebracht, des te groter het effect. Het beoordelingscriterium voor Watervergunningen, onderdeel Wbr, is dat bij maatgevende omstandigheden geen waterstandsverhoging op mag treden. In de praktijk wordt een waterstandsverhoging tot 1 mm toegestaan. Compenserende maatregelen dienen te worden genomen indien de waterstandsverhoging het criterium overschrijdt. Het effect op hoogwaterstanden zal nader uitgewerkt worden in de volgende paragraaf.

Ingrepen mogen er niet toe leiden dat de afvoerverdeling over splitsingspunten wijzigt. Het gaat hier om de belangrijke splitsingspunten Pannerdensche Kop, IJsselkop en Merwedekop. De bouw van het depot zal de afvoerverdelingen niet beïnvloeden, omdat de splitsingen te ver verwijderd zijn van het depot. De Merwedekop ligt het dichtst in de buurt, maar op een zodanige locatie dat geen effect te verwachten is.

Beoordeling van effect op maatgevende hoogwaterstand

In de Rijn-Maasmonding worden waterstanden bepaald door de combinatie van rivierafvoer, wind en getij. Het oostelijk deel van de Rijn-Maasmonding, waaronder ook de Amer behoort, is hoofdzakelijk stroomvoerend (rivierafvoerdominant), terwijl het westelijk deel vooral getijd dominant is (WD, 2009).

Om een inschatting te maken van het waterstandseffect door de bouw van het zanddepot, zijn enkele grove berekeningen met behulp van het eendimensionale modelsysteem SOBEK uitgevoerd. Er is een eenvoudig model opgezet om het effect te bepalen. (Overigens is het bestaande SOBEK-model van de Rijn-Maasmonding niet geschikt om hier direct te gebruiken, omdat het rekenrooster te grof is om er het depot in te schematiseren.)

Omdat het depot in het oostelijke deel van de Rijn-Maasmonding ligt, is als maatgevende situatie beschouwd dat de rivierafvoer dominant is. Het SOBEK-model is als volgt opgezet:

1. Het model bestaat uit één riviertak van 6 km, namelijk de Amer tussen rivierkilometers 252 en 258.
2. Met behulp van een aantal gemeten dwarsprofielen (elke 500 meter) tussen rkms 252 en 258 is een geschematiseerd dwarsprofiel gemaakt (Figuur 5.4). De stroomvoerende breedtes bij verschillende waterstanden die hieruit volgen zijn als invoer voor het model gebruikt. In de referentiesituatie (situatie zonder zanddepot) is het dwarsprofiel in het gehele model gelijk.
3. In de situatie met zanddepot is tussen rkms 256 en 257 over een lengte van 330 m het dwarsprofiel aangepast. Het stroomvoerend oppervlak van de uiterwaard is over dit traject verkleind met een oppervlakte van 160 m^2 .
4. De bovenstroomse randvoorwaarde is gelijk gekozen aan de maatgevende afvoer van de Maas, namelijk $3800 \text{ m}^3/\text{s}$. De benedenstroomse randvoorwaarde is de maatgevende waterstand bij rivierkilometer 258 van $2,8 \text{ m} + \text{NAP}$.
5. Het maatgevende waterstandsverhang is gelijk aan $0,2 \text{ m}$ over een lengte van 6 km (V&W, 2007). Het referentiemodel is hierop afgeregeld met behulp van de ruwheden van het zomerbed en de uiterwaarden.

Het berekende waterstandseffect (waterstand met depot minus waterstand zonder depot) is weergegeven in Figuur 5.5, en bedraagt maximaal 0,6 mm. Het waterstandseffect is daarmee kleiner dan het criterium van 1 mm.

Er is uitgegaan van een afname in doorstroomd oppervlak van 160 m^2 . Deze waarde correspondeert met een oppervlakte van 80 m (breedte) bij 2 m (hoogte); dit is de situatie als het depot op een niveau van 1,0 m + NAP wordt aangebracht, zie Figuur 5. 6. De dijken rondom het depot krijgen maximaal een hoogte van 4 m, en steken bij maatgevend hoogwater boven het wateroppervlak uit. Een afname in oppervlak van 160 m^2 over een lengte van 330 m is een conservatieve benadering, aangezien de huidige bodemligging lokaal boven 1,0 m + NAP uitkomt (Figuur 5.3 en Figuur 5. 6). Bovendien staan er enkele bomen op de locatie waar het zanddepot komt, die in het huidige profiel niet zijn meegenomen; ook hierdoor is de waarde voor afname in doorstroomoppervlak conservatief te noemen. Het berekende waterstandseffect is daarmee ook een conservatieve berekening.

Als gevolg van de getijdewerking fluctueren de waterstanden in de Amer. In een relatief kort en eenzijdig afgesloten bekken of "kom" kan de kombergingsbenadering worden toegepast. Met behulp van deze benadering kan afgeschat worden wat de doorsnede-gemiddelde stroomsnelheid op een bepaalde locatie moet zijn om de waterstandstoename te realiseren in een halve getijperiode (en evenzo met welke snelheid het water de kom uit moet stromen om in een halve getijperiode de waterstand weer te doen afnemen).

Door het aanleggen van het zanddepot neemt het kom-oppervlak af. De consequentie zal zijn dat de getijbeweging tot verder landinwaarts merkbaar is. Onder gemiddelde condities zal hiervan geen sprake zijn. Immers, bij een gemiddelde waterstand van circa 0,6 m + NAP (gemiddeld over de afgelopen 10 jaar) en een getijslag van circa 0,3 m blijft het terrein waar het depot komt droog. In de uiterste situatie dat het kom-oppervlak met 330 m bij 80 m afneemt door het depot, zal de hoeveelheid extra landindringing van het getij maximaal in de orde van tientallen meters liggen.

5.2.5 Bodemligging en morfologie

Getoetst dient te worden of te veel erosie in het zomerbed ontstaat, of juist dat meer baggerwerk nodig zal zijn door sedimentatie in het zomerbed. Wanneer na een ingreep minder water door het winterbed kan stromen, door bijvoorbeeld de aanleg van een depot in het winterbed, levert dit een versnelling op van de stroming in het zomerbed. Mogelijk resulteert dit in erosie van het zomerbed ter plaatse van de ingreep. Mocht er erosie in het zomerbed optreden, dan zal dit erg beperkt zijn vanwege het feit dat de ingreep klein is. De bouw van het depot zal in ieder geval geen toename in baggerwerkzaamheden tot gevolg hebben, omdat van sedimentatie van het zomerbed geen sprake zal zijn.

Ingrepen kunnen ertoe leiden dat sediment of slib neerslaat in het winterbed. Het depot is dermate klein, dat geen veranderingen worden verwacht ten opzichte van de huidige situatie.

5.2.6 Hinder of schade

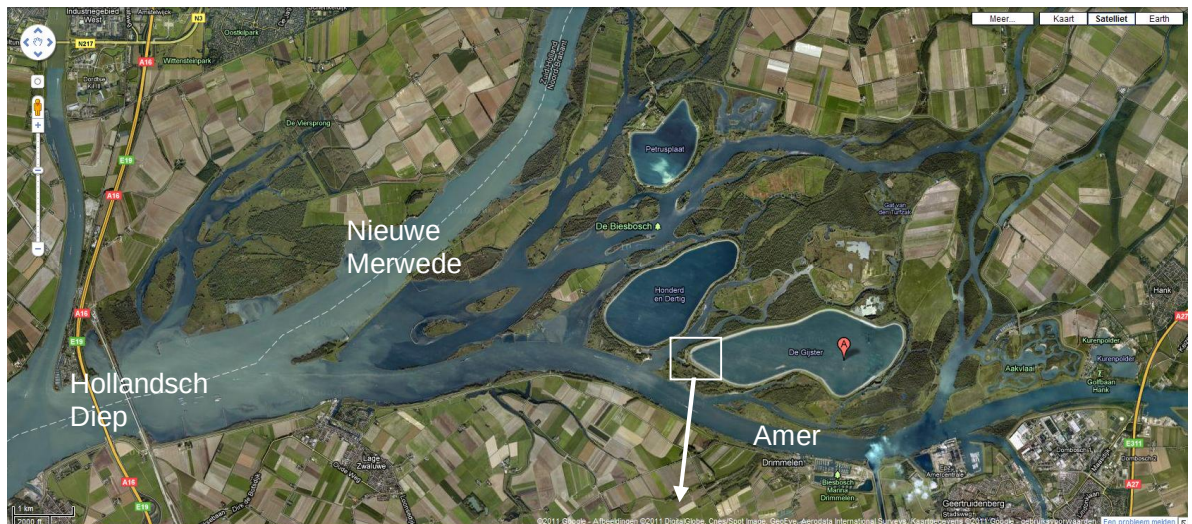
Instabiliteit van constructies zoals kribben kan ontstaan door ondermijning bij erosie, en schade aan constructies of aan het winterbed door veranderingen in het stroombeeld. Hinder voor scheepvaart ontstaat bijvoorbeeld door sterke dwarsstroming bij aangelegde nevengeulen. Verzilting is een aspect dat alleen relevant is voor de Rijn-Maasmonding; veranderingen in de afvoerverdeling bij laagwater kunnen invloed hebben op hoe ver zeewater het land binnendringt. Veranderingen in de riviergeometrie en stroomsnelheden zouden gemakkelijker ijssdammen kunnen doen ontstaan met risico's voor de veiligheid als gevolg.

Voor al deze aspecten geldt dat geen effecten worden verwacht als gevolg van de bouw van het depot.

5.3 Conclusie

Geconcludeerd wordt dat het verwachte waterstandseffect onder het criterium van 1 mm blijft. Ook zal het getij-effect door afname in komberging nauwelijks merkbaar zijn. Indien toch compensatie gewenst is, kan overwogen worden enkele bomen te kappen in de uiterwaarden. Ter plaatse van het depot dient het kappen van bomen in ieder geval te gebeuren; in de nabije omgeving staan meerdere bosschages die door verwijdering het effect grotendeels teniet kunnen doen.

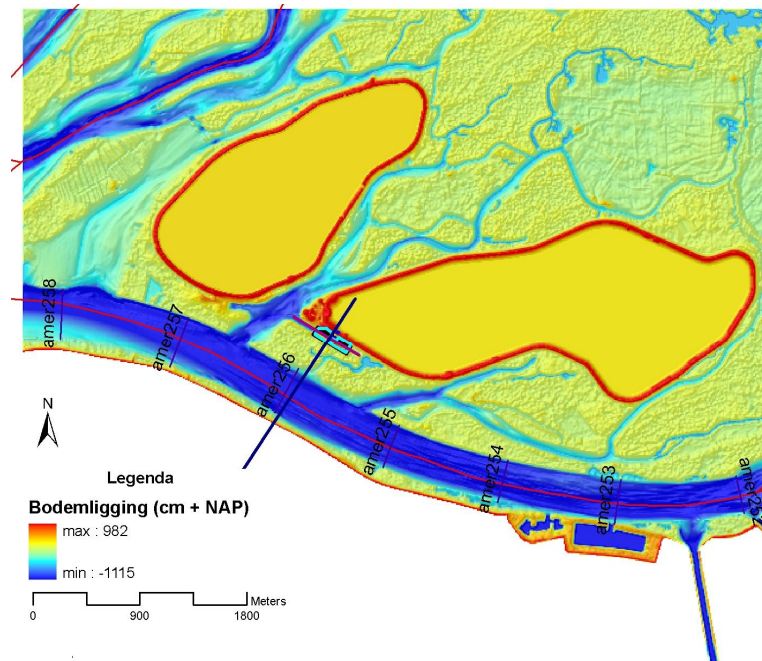
5.4 Figuren



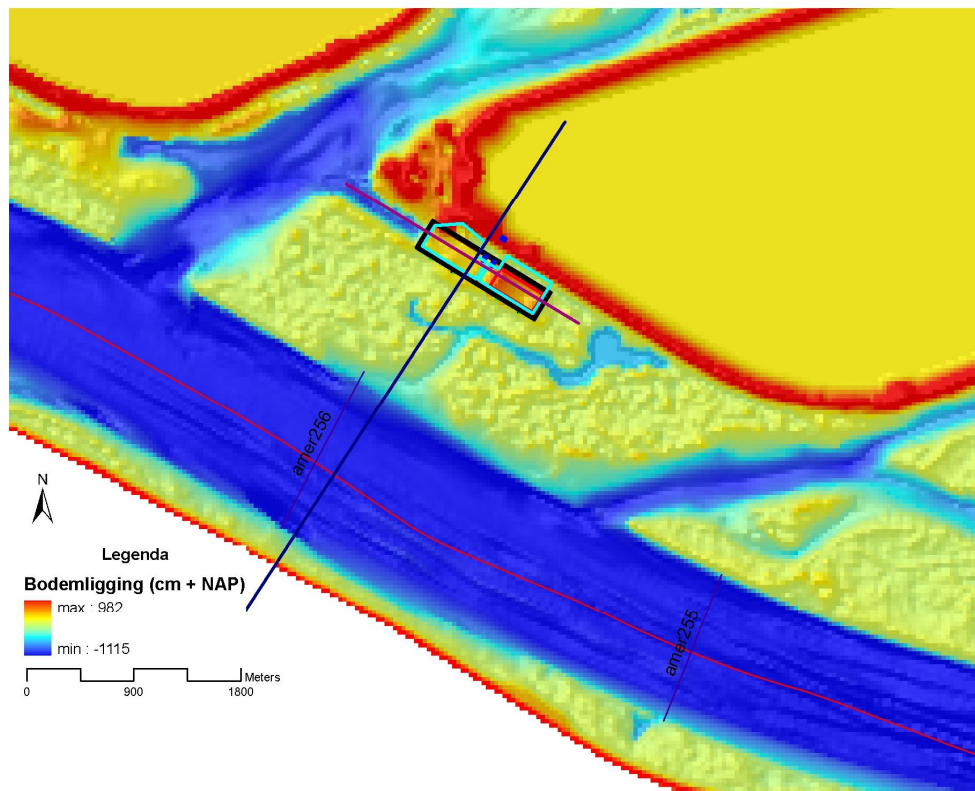
Figuur 5.1a : De locatie van het depot: luchtfoto Amer, Nieuwe Merwede, Hollandsch Diep.



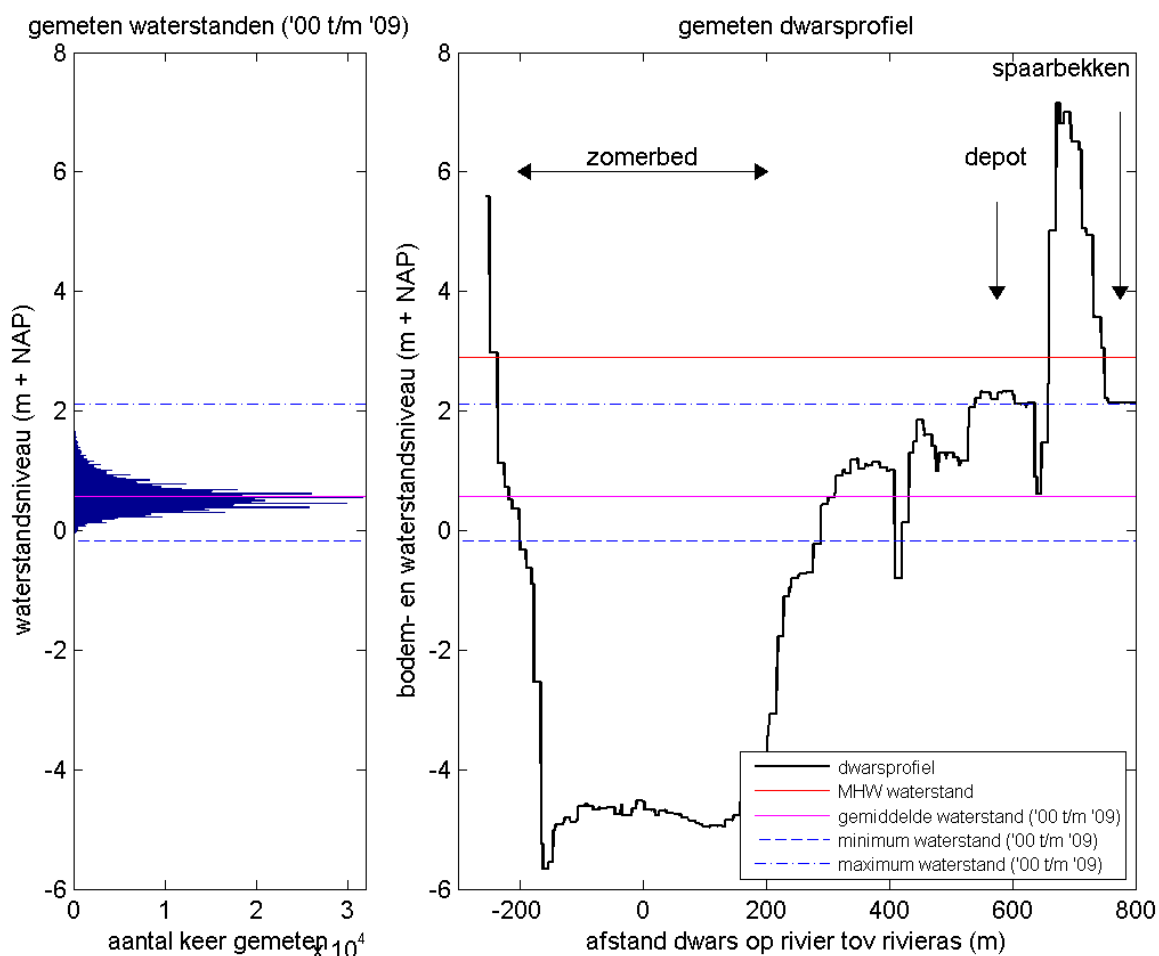
Figuur 5.1b : Verder ingezoomd op de locatie van het depot.



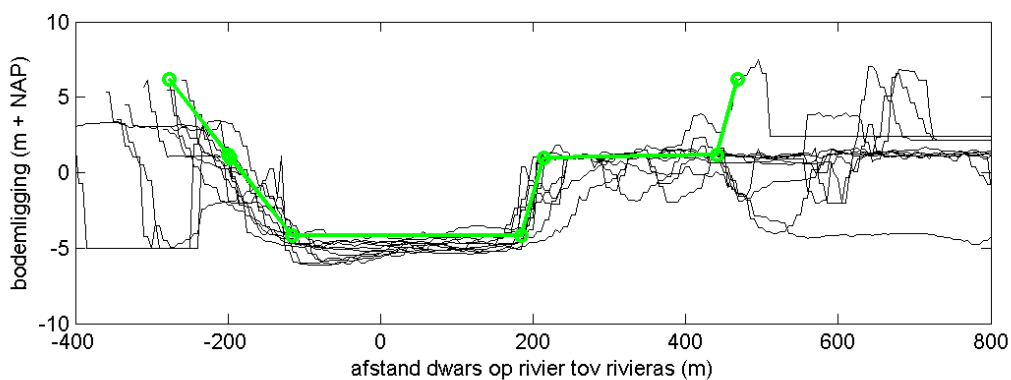
Figuur 5.2a: Bodemligging nabij De Gijster: bovenaanzicht Amer. De contouren van het depot zijn ingetekend. Getallen corresponderen met rivierkilometers.



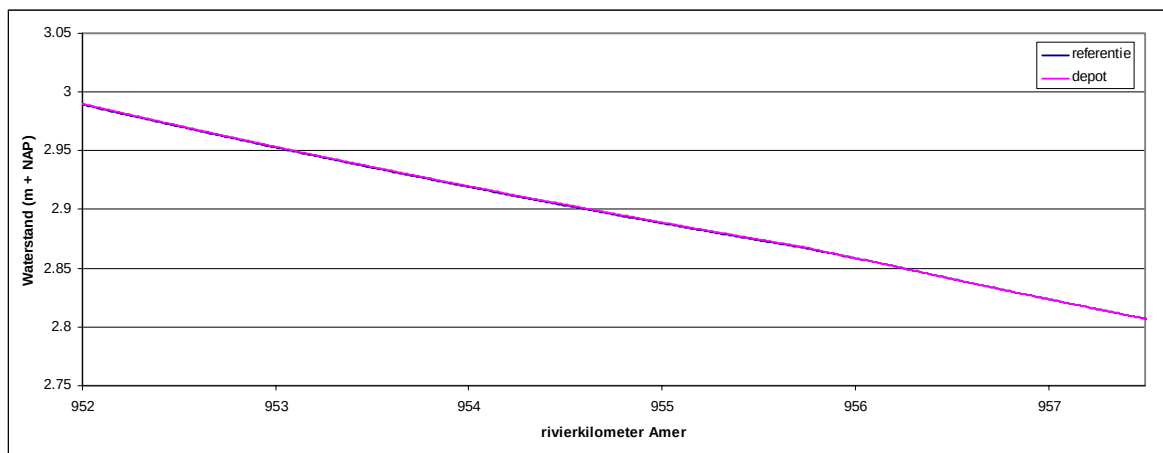
Figuur 5.2b : Bodemligging nabij De Gijster: ingezoomd. De contouren van het depot zijn ingetekend. Getallen corresponderen met rivierkilometers.



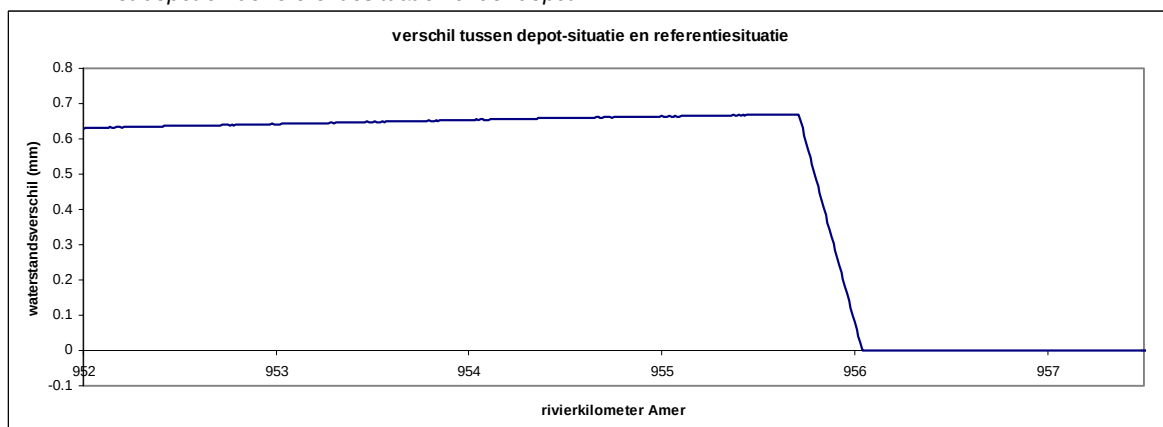
Figuur 5.3: Gemeten waterstanden bij Keizersveer en dwarsprofiel ter plaatse van het depot. Zie Figuur 2 voor de ligging van het dwarsprofiel (blauwe lijn).



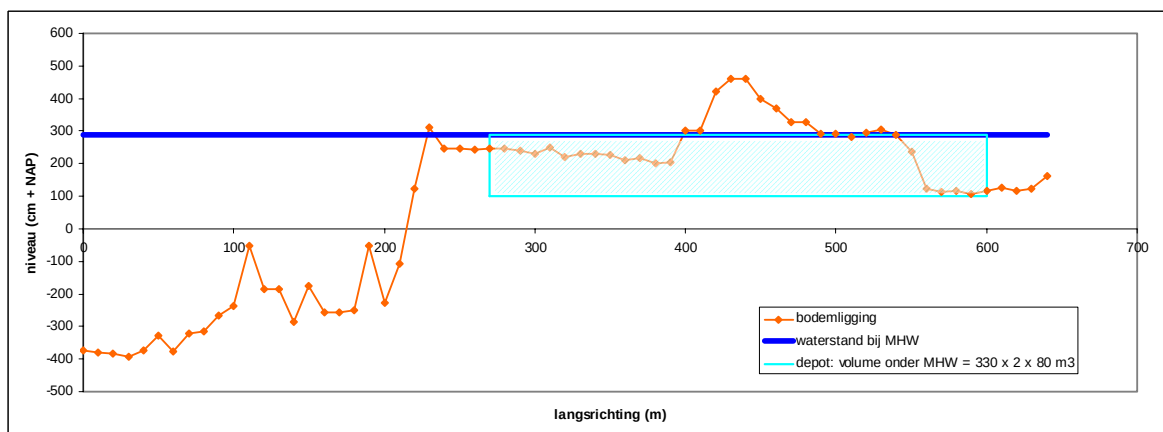
Figuur 5.4: Schematisch dwarsprofiel afgeleid met behulp van gemeten dwarsprofielen.



Figuur 5.5a : Berekend waterstandseffect als gevolg van bouw van depot: waterstandsverloop voor situatie met depot en de referentiesituatie zonder depot.



Figuur 5.5b : Berekend waterstandseffect als gevolg van bouw van depot: waterstandsverschil tussen situatie met depot en de referentiesituatie zonder depot.



Figuur 5.6: Bodempligging in langsrichting van het depot. Zie Figuur 2 voor de ligging van het langprofiel (paarse lijn).

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Opbrengst zandwinning

Bij de boringen in het noordelijk deel van het spaarbekken ligt het grovere materiaal op ongeveer 8 tot 14 m – NAP. Tussen 4 en 6 m – NAP ligt duidelijk veel fijner materiaal en plaatselijk klei / veen. Boring B01 in het zuidelijk deel laat op deze diepte duidelijk minder grof materiaal zien dan en boring B06 ligt er tussen in.

De berekende totaal te winnen hoeveelheid materiaal bedraagt, in totaal 0.8 Mm^3 klei/veen en 7.5 Mm^3 zand bij een ontgrondingsoppervlakte van 161 ha.

De helft van de totale hoeveelheid te winnen zand is gelijk of grover dan $250 \mu\text{m}$ en ruim 11% is grover dan $500 \mu\text{m}$.

6.2 Stabiliteit taluds en ringdijk

Het taludontwerp volgens 1:6 op een afstand van 62 m uit de ringdijk is voldoende stabiel en veilig mits bij de zandwinning de aanbevolen werkwijze wordt aangehouden. Daarbij zal talud, zeker bovenin, wel steiler worden dan de aangehouden 1:6

Bij de werkwijze hoort continue monitoring van de positie van de zuigbuis en de gevormde taluds, het in horizontale lagen parallel aan de oever zuigen en niet later afwerken van de hoger gelegen taluds.

Het algemene beeld van de sonderingen is dat het zand over het algemeen in alle sonderingen over de gehele diepte goed gepakt (gemiddeld 50%) is, met uitzondering van:

- S01 (zuidzijde, midden): beneden 10 m - NAP gemiddeld 35% (maar wel sterk wisselend),
- S05, S06, S07 en S09 (vrijwel gehele noordzijde): tussen 0 en 5 m - NAP sterk wisselende pakking, maar over het algemeen vrij losgepakt (gemiddeld 35%, in dunnere lagen beduidend lager),
- S07 (noordzijde, midden): tussen 12 en 15 m – NAP losgepakt zand (gemiddeld <20%).

De binnenwaartse macrostabiliteit van de ringdijk na ontgroning voldoet ruimschoots aan de eis.

In geval van een inscharing waarbij de inscharingslengte maximaal 3 keer de diepte waarover ontgraven wordt zou bedragen, is de binnenwaartse macrostabiliteit van de ringdijk nog ruimschoots voldoende.

Gezien de kritische glijcirkels in de stabiliteitsberekeningen kan geconcludeerd worden dat de aanwezigheid van een zanddepot buitendijks geen invloed zal hebben op de binnenwaartse macrostabiliteit van de ringdijk.

6.3 Geohydrologie

Op basis van indicatieve 2D-modelberekeningen volgt, dat het ontgronden een tijdelijke toename van de uitstroming vanuit het bekken tot gevolg zal hebben. Deze toename bedraagt circa 70%, waarbij de grondwaterstand / stijghoogte ter plaatse van de buitenkruin met circa 1 meter zal stijgen. Deze extra uitstroom zal vooral afstromen naar het omliggende oppervlaktewater, de invloed op de polders in de omgeving wordt klein geacht.

Voor de situatie op de lange termijn wordt volgens berekening geen verhoging van de uitstroom of de stijghoogte in en onder de dijk verwacht.

De nauwkeurigheid zou vergroot kunnen worden door een betere calibratie met een 3D model uit te voeren. Dit kan gebeuren als er over een langere periode peilgegevens beschikbaar zijn.

6.4 Rivierkundig effect buitendijks zanddepot

Het verwachte effect van het zanddepot op de rivierwaterstand bij hoog water blijft onder het criterium van 1 mm. Ook zal het getij-effect door afname in komberging nauwelijks merkbaar zijn. Indien toch compensatie gewenst is, kan overwogen worden enkele bomen te kappen in de uiterwaarden. Ter plaatse van het depot dient het kappen van bomen in ieder geval te gebeuren; in de nabije omgeving staan meerdere bosschages die door verwijdering het effect grotendeels teniet kunnen doen.

7 Referenties

(CUR 113)

CUR Aanbeveling 113, Oeverstabiliteit bij zandwinputten, CUR, Gouda, 2008

(DLG, 2009)

Startnotitie milieueffectrapportage Zuiderklip", 12 Mei 2009, DLG Noord-Brabant.

(GWR, 1965)

Geologische gesteldheid van ondergrond onder de spaarbekkens in de Biesbosch, Dienst Gemeentewerken van de Gemeente Rotterdam.

(TNO, 1976)

Grondwaterkaart van Nederland; Inventarisatierapport West-Brabant, kaartbladen 43 en 44 W, TNO, 1976.

(DZH, 2004)

Huidige situatie en autonome ontwikkeling Rijn-Maasmonding. Beschrijving hydraulische, morfologische en scheepvaartkundige aspecten in het kader van 'ruimte voor de rivier', Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland, Notanummer AP/2004/15. December 2004.

(V&W en VROM, 2006)

Beleidslijn Grote Rivieren. Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, 2006

V&W (2007)

Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006). Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Augustus 2007.

(WD, 2009)

Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de grote rivieren. Rijkswaterstaat Waterdienst. Versie 2.01. 1 juli 2009.