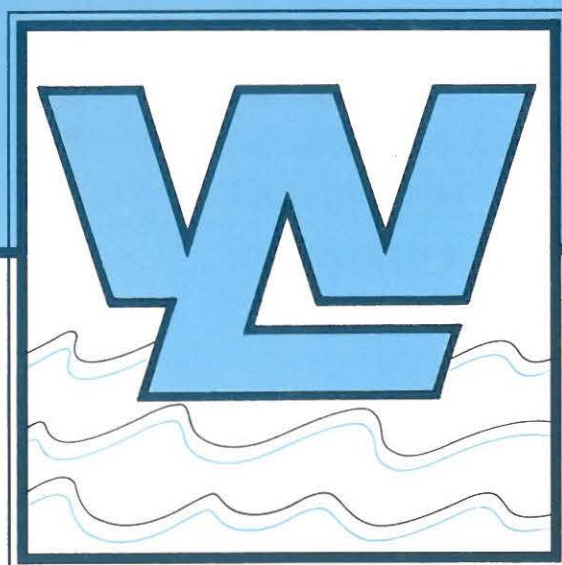


MOD. 474 rapport 3

1993



natuurreservaat
HET ZWIN



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
BORGERHOUT

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

BORGERHOUT

BIBLIOTEEK

3631

Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout



Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement Leefmilieu en Infrastructuur
Administratie Waterinfrastructuur
en Zeewezen

Model 474

**Natuurreservaat
Het Zwin**

Derde verslag

Inhoud

Inleiding	1
I. Probleemomschrijving	2
II. Berekeningsopzet	2
A. Zandtransport en getij	2
B. Onderzochte toestanden	4
C. Bemerkingen	4
-	-
III. Berekeningsresultaten	5
A. Oplossingen met spuien	6
B. Oplossingen met buizen	9
C. Oplossingen met uitgraven en buizen	11
D. Oplossing met ontpoldering	12
Samenvatting en Besluiten	14

Inleiding

Onderhavig verslag sluit aan bij de verslagen "Model 474. Natuurreservaat Het Zwin." van november 1989 en "Model 474. Natuurreservaat Het Zwin. Tweede verslag." van juli 1990, waarin door middel van getijberekeningen de invloed van de eind 1989 tot begin 1990 uitgevoerde onderhoudswerken werden onderzocht. Deze werken werden wel aanzien als een slechts tijdelijke oplossing voor het aanzandingsprobleem van het Zwin. De snelle aanzanding van de bij deze werken aangebrachte zandvangen heeft dit bevestigd.

Om tot een meer definitieve oplossing te komen, werd in de Technische Commissie van de Internationale Zwincommissie aan het Laboratorium gevraagd de invloed van verscheidene mogelijkheden te berekenen.

In het tweede verslag werden reeds de mogelijkheden onderzocht om het meer M3 (bijlage 1) als spuikom te gebruiken. Dit is echter slechts voordelig voor de geul D.

In dit verslag worden verschillende andere spuumogelijkheden en andere voorstellen onderzocht.

I. Probleemomschrijving

Voor de algemene omschrijving van het probleem wordt verwezen naar het hogervermelde eerste verslag.

Een plan van Het Zwin is op de bijlage 1 weergegeven.

In het bestek der baggerwerken was aanvankelijk de aanleg van een proefzandvang voorzien aan het zeewaartse uiteinde van de nieuwe mondingsgeul (werken winter '89-'90). Opdat de zandvang alleen het zand zou opvangen, dat in de Zwingeuken dreigt binnen te dringen, werd hij aangelegd aan het landwaartse uiteinde van de nieuwe mondingsgeul (bijlage 2). Door de reeks stormen van begin 1990 werd de zandvang echter snel opgevuld. Tijdens de dijkversterigingswerken in de winter '90-'91 (uitgevoerd onder Nederlands beheer) werd deze zandvang dan ook opnieuw uitgediept en werd meer landinwaarts een nieuwe kleinere zandvang aangebracht. De meest zeewaartse van deze twee zandvangen was in oktober 1992 praktisch opgevuld.

Het aanbrengen van zandvangen is dan ook slechts als een tijdelijke oplossing van het aanzandingsprobleem in het Zwin te beschouwen. Zij zouden regelmatig terug moeten geleidigd worden. Om aan het aanzandingsprobleem een meer definitieve oplossing te geven werden in de Technische Commissie van de Internationale Zwincommissie meerdere oplossingen voorgesteld. Hierna worden zij nader omschreven en wordt hun invloed berekend.

II. Berekeningsopzet

A. Zandtransport en getij

De toegepaste berekeningswijze werd in de hogervermelde eerste en tweede verslagen uiteengezet.

In deze verslagen wordt het zandtransport berekend met een formule opgesteld voor de Zaireestroom. Op 13 augustus 1991 werd een meting uitgevoerd in het Zwin over een geheel getij aan 2 meetraaien : aan de ingang van geul B en in de vernauwing van de

hoofdgeul tussen beide zandvangen. Hierbij werd ook de zandconcentratie opgemeten en werd hieruit met de watersnelheden het zandtransport berekend. Met deze resultaten bepaalt men als globale benaderende formule voor het zandtransport (bijlage 3) :

$$Z = 0,01482 v^{1,6}$$

Hierin is v de gemiddelde snelheid over de natte sectie in m/s en Z het zandtransport in kg per seconde en per meter breedte aan het wateroppervlak.

Bij instroming geven de metingen aan de beide meetraaien wel een groter zandtransport dan wat met de formule berekend wordt. Wegens het beperkte aantal metingen is het echter onmogelijk voor de instroming een nauwkeuriger formule op te stellen. In de praktijk zal het binnenstromende zandtransport dan ook groter zijn dan hierna berekend wordt. Hierdoor zou een resultaat met een zeewaarts netto zandtransport toch landwaarts kunnen gericht zijn. De resultaten kunnen dan ook alleen gebruikt worden om de oplossingen onderling te vergelijken.

Om de invloed der oplossingen met spuien over een langere periode te benaderen, werd de berekening uitgevoerd voor een reeks van tien tijen (bijlage 4), die een gemiddelde getijencyclus voorstelt. Deze tijen werden bepaald aan de hand van een analyse van de hoogwaterstanden te Cadzand voor de periode 1967 tot en met 1985 (in totaal 13.410 getijen). De laagste hoogwaterstand, die in deze periode bereikt werd, bedroeg 2,51 m T.A.W. (15 oktober 1983) en de hoogste 5,98 m T.A.W. (3 januari 1976). Voor de tien opeenvolgende getijen werden hoogwaterstanden gekozen waarbij dit niveau door respectievelijk 5%, 25%, 45%, 65%, 85%, 95%, 75%, 55%, 35% en 15% der getijen niet overschreden wordt. Hierdoor verkrijgt men als opeenvolgende hoogwaterstanden : 3,28 3,86 4,19 4,41 4,65 4,87 4,52 4,30 4,06 en 3,68 m T.A.W. De duur van elk getij wordt gelijk gesteld aan 12 uur 25 minuten. De opeenvolgende getijcurven worden bepaald door inter- en extrapolatie uit de curven voor gemiddeld springtij, voor gemiddeld tij en voor gemiddeld doottij te Zeebrugge.

B. Onderzochte toestanden

Volgende toestanden worden onderzocht :

1. Toestand T_7 (bijlage 5) : verlegde Zwinmonding, met verdieping hoofdgeul en zandvang met bijkomende spuiwerking vanuit het meer M3;
2. Toestand T_8 (bijlage 5) : spuiwerking zoals toestand T_7 maar met de bodemtoestand november 1990;
3. Toestand T_9 (bijlage 5) : spuiwerking met meer M3, geul D en meer M1;
4. Toestand T_{10} (bijlage 5) : spuiwerking met meer M3, geul D, meren M1 en M2;
5. Toestand T_{11} (bijlage 5) : spuiwerking aan de monding van het Zwin;
6. Toestand T_{12} (bijlage 6) : 1, 2 of 3 buizen met diameter 1 m vanuit de zee naar de uiteinden van de geulen B en D en met een terugslagklep;
7. Toestand T_{13} (bijlage 6) : toestand T_{12} met buizen met diameter 2 m;
8. Toestand T_{14} (bijlage 6) : toestand T_{12} (met 2x2 buizen met diameter 1 m naar de uiteinden van geulen B en D) en met 5 buizen met diameter 1 m ter vervanging van de monding van de hoofdgeul en met terugslagkleppen;
9. Toestand T_{15} (bijlage 6) : toestand T_{14} met buizen met diameter 2 m;
10. Toestand T_{16} (bijlage 7) : uitgraven der meren M5 en M6, met verbinding onderling en naar meer M2 langs de bestaande geulen;
11. Toestand T_{17} (bijlage 7) : toestand T_{16} met 1, 2 of 3 buizen met diameter 2 m vanuit de zee naar het meer M5 en met terugslagkleppen;
12. Toestand T_{18} (bijlage 7) : ontpoldering en aansluiting van de Willem Leopold polder; daar hierdoor de hoofdgeul zal uitschuren, wordt voor de bodemtoestand reeds rekening gehouden met een uitdieping van de hoofdgeul met 0,5 m.

C. Bemerkingen

Volgens het plan van het Zwin (bijlage 1) ligt het hoogste opgelegde hoogwaterpeil (4,87 m T.A.W.) ongeveer op hetzelfde niveau als of iets hoger dan de natuurlijke overstorthoogte tussen het meer M3 en de rest van het natuureservaat. Hogere getijden zullen dus, zonder speciale maatregelen ter afsluiting van het spuimeer M3 tot een hoger niveau, geen betere spuiwerking teweegbrengen voor de toestanden T_7 en T_8 . Voor de

toestanden T_9 en T_{10} ligt het overloopniveau van het spuimeer lager dan 4,87 m T.A.W. De resultaten van deze toestanden zullen dus minder goed zijn dan berekend, ofwel moet het overloopniveau opgetrokken worden. Met de spuiopening in de monding, ligt het overloopniveau op de kruin van de duinen en dijken.

Voor de toestanden met spuien wordt het spuimeer, dat bij die toestand gebruikt wordt, bijgevuld bij elke vloed, waarbij het waterpeil zeewaarts van de spuiopening hoger stijgt dan het waterpeil in het spuimeer. De instroming in het spuimeer wordt berekend alsof zij gebeurt langs eenzelfde opening als de spuiopening. Zodra de instroomsnelheid negatief wordt, wordt de instroomopening afgesloten. Negentig minuten na dit ogenblik start het spuien. Het spuien wordt bij deze berekeningen gestopt zodra de watersnelheid afwaarts van de spuiopening kleiner wordt dan de kritische meesleepsnelheid van het zand (0,25 m/s). De watervolumes die daarna bij niet sluiten uit het spuimeer uitstromen, veroorzaken immers geen erosie meer.

De oplossingen zonder spuien worden slechts voor een gemiddeld springtij uitgerekend.

De bodemgeometrie in de hoofdgeul van het Zwin wordt regelmatig opgemeten. Hieruit blijkt dat deze snel varieert. Daar de berekeningen tot doel hebben het nut der verschillende oplossingen onderling te vergelijken worden de berekeningen vanaf toestand T_8 met dezelfde bodemtoestand uitgevoerd. Dit is de toestand zoals hij zich voordeed in november 1990, toen de stormen veel zand hadden aangevoerd en de zandvang reeds volledig was aangezand. Voor de berekeningen wordt dit aanzien als de bodemtoestand T_0 met een algemene bodemophoging met 0,25 m.

III. Berekeningsresultaten

De resultaten zijn alleen geldig voor de hoger vermelde toestanden. De bodemtoestand wijzigt zich immers voortdurend door aanzandingen, taludafschuivingen, meandering, drempelvorming. De resultaten mogen dan ook alleen maar ter vergelijking van de oplossingen gebruikt worden.

Voor verschillende van de onderzochte toestanden werden tussentijds reeds tabellen en figuren met resultaten aan de leden van de Technische Commissie overgemaakt. Voor deze resultaten werd echter het zandtransport berekend met de formule voor de Zaïrestroom. Deze tabellen en figuren dienen dus vervangen te worden door de tabellen en figuren in het voorliggend verslag.

A. Oplossingen met spuien

Bij deze oplossingen wordt een spuiconstructie aangebracht in de voorgestelde sectie. De instroming in het spuimeer wordt afgesloten zodra zij negatief wordt. Het spuien start 90 minuten na het afsluiten van de instroming. De breedte en de kruin van de spuiopening worden voor elke toestand in de overeenstemmende tabel weergegeven. De breedte van de opening verandert niet met de hoogte.

1. Toestand T_7 (bijlage 5). Als eerste oplossing werd het idee geopperd het meer M3 te gebruiken om de geul D en de hoofdgeul A regelmatig te spuien. Dit meer was tot eind 1991 met geul D verbonden langs terugslagkleppen, zodat het water er bij voldoende hoge hoogwaterstand kon binnenstromen en er tijdens de ebfase van het getij niet kon uitlopen. Voor de spuiwerking moest slechts een regelbare schuif of klep aangebracht worden.

Deze oplossing werd reeds in het tweede verslag onderzocht. Dit spuien heeft een kleine relatieve invloed voor de hoofdgeul, en een grotere relatieve invloed voor de geul D.

Voor de gemiddelde getijencyclus (periode 1967-1985) worden de verplaatste volumes zand berekend zonder en met de mogelijkheid tot spuien vanuit meer M3, en in de tabel 1 en op de bijlage 8 weergegeven. Door het spuien wordt tussen de monding en de zandvang het netto opwaartse zandtransport verminderd met ongeveer 4 %, in de rest van de hoofdgeul en in geul B met 0 tot 10 %, in de geul D met meer dan 70 % (tabel 1).

Nota : Dit spuien wordt uitgevoerd met een schuif aan het meer M3. In dit kader kan opgemerkt worden dat een der twee afsluitschuiven aan het meer M3 eind 1991

afbrak. In haar plaats werd midden 1992 een nieuwe schuif aangebracht, die door handbediening het spuien mogelijk maakt. In de periode tussen het in panne vallen en de indijking van de werkplaats rond deze schuif was het meer M3 aan het getij onderworpen. Hierbij kon door de heer G. Burggraeve, conservator van het Zwin, vastgesteld worden dat dit nadelige gevolgen had voor de fauna en flora van het meer M3. Naar zijn mening moet dit meer M3 dan ook van de normale getijwerking in het Zwin afgeschermd worden.

De nieuwe schuif kan alleen met de hand bediend worden. Telkens er een hoog springtij aangekondigd is, wordt zij bediend om de geulen te spuien. Bij dit springtij kan het meer M3 dan terug opgevuld worden. Volgens de ervaringen van eind 1992 - begin 1993 geeft dit goede resultaten.

2. Toestand T_8 (bijlage 5). In november 1990 hadden de stormen veel zand in het Zwin aangevoerd. Om de invloed van deze zandaanvoer te bepalen, verzocht men het Waterbouwkundig Laboratorium de berekeningen volgens toestand T_7 ook voor deze bodemtoestand uit te voeren. Voor deze berekeningen wordt de bodemtoestand aanzien als een algemene bodemverhoging van de toestand T_0 (dus zonder zandvang) met 0,25 m. De verplaatste volumes zand worden voor een gemiddelde getijencyclus berekend zonder en met de mogelijkheid tot spuien vanuit meer M3. De resultaten worden in tabel 2 en op bijlage 9 weergegeven. Door het spuien wordt " tussen de beide zandvangen " het netto opwaartse zandtransport verminderd met ongeveer 10 %, in de rest van de hoofdgeul met 0 tot 4 %, in geul B met enkele procenten, in de geul D met praktisch 100 %.

Nota : Alhoewel bij deze toestand en de volgende geen zandvangen aanwezig zijn, wordt toch naar hen verwezen om een eenvoudige plaatsaanduiding toe te laten.

3. Toestand T_9 (bijlage 5). In deze toestand wordt de spuiwerking uitgeoefend door een groot deel van het meer M1. De geul D met eraan verbonden het meer M3 mondt in het meer M1 uit achter de spuiconstructie, zodat de geul D en het meer M3 ook tot de spuiwerking bijdragen. Voor een gemiddelde getijencyclus worden de verplaatste volumes zand berekend met en zonder de mogelijkheid tot spuien. De resultaten

worden in tabel 3 en op bijlage 10 weergegeven. Het netto opwaartse zandtransport vermindert door het spuien tussen de beide zandvangen met 12 %, in de hoofdgeul tussen de zandvangen en de spuiopening met 5 tot 28 %. In de geul B verhoogt het zandtransport licht. De geul D wordt stilaan uitgeschuurd, waarbij dit zand in het meer M1 wordt afgezet.

4. Toestand T_{10} (bijlage 5) : bij deze oplossing wordt de spuiconstructie aan het landwaartse uiteinde van de hoofdgeul aangebracht. Daardoor wordt het spuimeer gevormd door de meren M1 en M2, door de geul D en het meer M3. Voor een gemiddelde getijencyclus worden de verplaatste volumes zand berekend met en zonder de mogelijkheid tot spuien. De resultaten worden in tabel 4 en op bijlage 11 weergegeven. Het netto zandtransport gaat door het spuien in de geul D naar het meer M1 toe, zodat de geul D stilaan wordt uitgeschuurd. In het meer M2 en in de hoofdgeul juist afwaarts de spuiconstructie gebeurt het zandtransport naar de zee toe. Tot de kleine zandvang vermindert het netto opwaarts zandtransport met ongeveer 35 %, tussen beide zandvangen met 22%. In de geul B wordt meer zand binnengebracht.
5. Toestand T_{11} (bijlage 5) : bij deze oplossing wordt de spuiconstructie aan de ingang van het Zwin aangebracht. Het hele geulensysteem maakt aldus deel uit van het spuimeer. Het netto opwaartse zandtransport vermindert dan ook in alle geulen (tabel 5 en bijlage 12). In geul D vermindert het transport met minstens 20 %, in de geul B en in de hoofdgeul met minstens 60 %.

Nota : De toestanden met spuien worden voor bepaalde werkingsvoorwaarden (start-ogenblik van het spuien en kruin der spuiopening) berekend. Door deze werkingsvoorwaarden te variëren kan de spuiwerking geoptimaliseerd worden. Moest een dezer oplossingen gekozen worden dan kan de optimalisatie berekend worden.

B. Oplossingen met buizen

Bij deze oplossingen worden buizen vanuit de zee onder de duinen doorgeperst naar de uiteinden van de geulen B en D. De monding in zee van deze buizen kan zodanig uitgevoerd worden dat het opgevangen water zo weinig mogelijk zand meesleept, bijvoorbeeld door de monding voldoende hoog boven de zeebodem aan te brengen. De nauwkeurige lengte van de buizen hangt af van de keuze van de uitvoering van hun monding en van het reliëf van de zeebodem. Voor de berekening wordt de lengte der buizen gelijk gesteld aan 1000 m. Voor de buizen naar geul B, die vlak achter de duinen ligt, wordt ook de lengte 500 m nagerekend. Deze buizen zijn voorzien van een terugslagklep zodat het water vanuit de zee naar het Zwin kan stromen maar niet terug. Het water dat door deze buizen naar de geulen stroomt, zal in deze geulen het water dat vanuit de hoofdgeul toestroomt tegenwerken. Hierdoor zal het volume water vanuit de hoofdgeul verminderen en zal ook zijn instroomsnelheid sneller kleiner worden.

Verder kan ook de monding vervangen worden door buizen met een terugslagklep zodat daar het water enkel van het Zwin naar de zee kan stromen. In geulen B en D stroomt het water steeds naar de hoofdgeul toe. Daar geul B eerst in de hoofdgeul uitstort, kan nog een volume water in de hoofdgeul naar opwaarts stromen en zand landwaarts voeren, totdat het water vanuit de geul D toestroomt.

De diameter der buizen bedraagt 1 of 2 meter.

1. Toestand T_{12} (bijlage 6) : bij deze oplossing worden buizen met een diameter van 1 meter gebruikt. De berekeningen worden uitgevoerd met naar het uiteinde van elke geul 1, 2 of 3 buizen.

De resultaten worden weergegeven in de tabellen 6 en 7 en op bijlage 13. In de tabel 6 worden de maximum snelheden en de voorbijstromende watervolumes weergegeven in verschillende secties van het geulensysteem. De vulling van het Zwin neemt slechts met 2.000 m^3 toe.

Tabel 7 geeft de netto opwaartse zandtransporten weer voor de oplossing met drie buizen naar het uiteinde van elke geul, met een lengte 500 m naar geul B en 1000 m naar geul D. In de hoofdgeul wordt het zandtransport verminderd met 10 tot 20 %. In de geulen B en D wordt het zand naar de hoofdgeul gesleept.

2. Toestand T_{13} (bijlage 6) : zoals toestand T_{12} maar met buizen met een diameter van 2 meter. De buizen naar geul B hebben een lengte 500 m, deze naar geul D een lengte 1000 m.

De resultaten worden weergegeven in de tabellen 8 en 9 en op bijlage 14. In de tabel 8 worden de stromingskarakteristieken in verschillende secties weergegeven. De vulling van het Zwin neemt met 16.000 m^3 toe.

De netto opwaartse zandtransporten worden weergegeven in de tabel 9. In de hoofdgeul vermindert het zandtransport met 20 tot 30 %. In de geulen B en D wordt het zand naar de hoofdgeul gesleept.

3. Toestand T_{14} (bijlage 6) : zoals toestand T_{12} met slechts 2 buizen naar de uiteinden der geulen. Verder wordt ook nog de monding van het Zwin afgesloten met een dam waardoorheen 5 buizen steken met een lengte van 100 m. Deze buizen zijn ook voorzien van terugslagkleppen, zodat het water alleen van de uiteinden van de geulen B en D naar de hoofdgeul en vandaar naar de zee kan stromen. Alle buizen hebben een diameter van 1 m.

De resultaten worden weergegeven in de tabellen 10 en 11 en op bijlage 15. Het watervolume dat het Zwin inkomt, bedraagt slechts 35.000 m^3 . Het maximum waterpeil dat in de hoofdgeul optreedt verlaagt dan ook met 1,30 meter ten opzichte van de toestand T_0 . Hierdoor zou het bodemwaterpeil rond de hoofdgeul verlagen. Dit kan terug opgedreven worden door het water slechts boven een bepaald peil uit het Zwin te laten stromen. Hierdoor zou echter wel vanaf een bepaald peil het volume water dat het Zwin instroomt kleiner worden. Verder zou een deel van de hoofdgeul steeds onder water staan.

Tabel 11 geeft de netto zandtransporten weer. Het zand wordt in de geulen B en D naar de hoofdgeul gebracht en in de hoofdgeul naar de monding toe.

4. Toestand T_{15} (bijlage 6) : zoals toestand T_{14} maar met buizen met een diameter van 2 meter.

De resultaten worden weergegeven in de tabellen 12 en 13 en op bijlage 16. Het watervolume dat door het Zwin stroomt, bedraagt 50.000 m^3 . Het maximum waterpeil in de hoofdgeul verlaagt met 1,08 m ten opzichte van toestand T_0 .

Een dergelijke oplossing met vervanging der monding door buizen zal waarschijnlijk slechts betere resultaten geven indien de sectie der buizen voldoende groot is en zal misschien zelfs een bijkomende uitgraving der geulen B en D vereisen.

Nota : Een optimalisatie van de oplossingen met buizen kan uitgevoerd worden op het aantal buizen en hun diameter.

C. Oplossingen met uitgraven en buizen

Bij deze oplossingen worden twee gebieden afgeplagd en uitgraven. Vanuit milieutechnisch standpunt worden zij immers als niet interessant aanzien en kunnen zij dus opgeofferd worden om de komberging te vergroten. Op de bijlage 6 worden deze gebieden weergegeven als de meren M5 en M6.

Het meer M5 is ongeveer 27.000 m² groot. Volgens de opmetingen van 1991 ligt het bodempeil ter plaatse op ongeveer 4,60 m T.A.W. Voor de verbinding met de hoofdgeul wordt gebruik gemaakt van een geultje naar het meer M2, dat eind 1992 - begin 1993 op natuurlijke wijze is uitgeschuurd. De lengte van dit geultje tussen de meren M2 en M5 bedraagt 400 m, als breedte wordt 8 m genomen. De drempel in de verdere verbindingsgeul doorheen het meer M2 naar de hoofdgeul ligt iets hoger dan 3 m T.A.W. Een uitdieping van het meer M5 tot het niveau 3 m T.A.W. vergt een grondverzet van ongeveer 43.000 m³.

Het uiteinde van meer M5 kan door buizen met de zee verbonden worden. Deze buizen met een diameter van 2 m en een lengte van 500 m zijn van terugslagkleppen voorzien zodat het water alleen naar het meer M5 kan stromen.

De meren M5 en M6 worden verbonden langsheen een bestaande (kleinere) geul waarvan de lengte 400 m bedraagt, als breedte wordt 8 m genomen.

Het meer M6 is ongeveer 76.000 m² groot. Het bodempeil varieert er tussen 4,60 en 5,35 m T.A.W. met als geschat gemiddelde 4,9 m. Een uitdieping tot 3 m T.A.W. vergt een grondverzet van ongeveer 145.000 m³.

1. Toestand T₁₆ (bijlage 7) : uitgraving meren M5 en M6.

De resultaten worden weergegeven in de tabellen 14 en 15 en op bijlage 17.

De komberging van het Zwin neemt toe met ongeveer 57.000 m^3 . De berging in de meren M5 M6 en hun verbindingsgeulen bedraagt 58.000 m^3 . Het H.W. peil in het meer M2 daalt met $0,04 \text{ m}$.

Het netto zandtransport in de hoofdgeul is praktisch overal zeewaarts gericht. Slechts in twee secties is het opwaarts gericht, maar veel kleiner dan bij toestand T_0 . In de meren M5 M6 en hun verbindingsgeulen wordt het zand opwaarts gebracht.

2. Toestand T_{17} (bijlage 7) : toestand T_{16} met buizen met diameter 2 m naar meer M5.

De resultaten worden weergegeven in de tabellen 16 en 17 en op bijlage 18.

Naarmate meer buizen aangebracht worden neemt de komberging in het Zwin en in de meren M5 en M6 toe.

In de hoofdgeul is met drie buizen het netto zandtransport zeewaarts gericht. In de geul M2-M5-M6 is van meer M2 tot meer M5 het zandtransport naar meer M2 gericht. Verderop in deze geul wordt het zand naar opwaarts meegesleept.

D. Oplossing met ontpoldering

Bij deze oplossing zou de Willem Leopold polder (bijlage 7) met het geulenstelsel van het Zwin verbonden worden. Dit gebeurt met een geul die langs meer M1 op de hoofdgeul aansluit. Deze geul gaat doorheen een opening in de Internationale Dijk met een breedte van 60 m en met de drempel op $2,57 \text{ m T.A.W.}$, daar dit het niveau is van de drempel in de aansluiting naar de hoofdgeul. De bodem van de polder ligt op $2,07 \text{ m T.A.W.}$ De polder zou dan ook steeds onder water staan. Door de sterke vergroting van de komberging met de polder zal de hoofdgeul uitschuren. Om hiermee reeds gedeeltelijk rekening te houden, wordt de bodem van de hoofdgeul naar de polder toe met $0,5 \text{ m}$ verlaagd ten opzichte van T_0 .

De resultaten worden weergegeven in de tabellen 18 en 19 en op bijlage 19.

In de polder is bij gemiddeld springtij het minimum waterpeil $3,56 \text{ m T.A.W.}$, er staat dus steeds een waterlaag in met een diepte van ongeveer $1,5 \text{ m}$. Het waterpeil varieert hierbij slechts met $0,17 \text{ m}$ en de komberging in de polder bedraagt 665.760 m^3 . In de sectie waar de polder op het Zwin aansluit wordt het H.W. peil sterk verlaagd, zodat dit bijvoorbeeld ook in geul D met $0,5 \text{ m}$ verlaagt. Hierdoor vermindert de komberging in het

Zwin zelf tot 206.500 m³. Door deze verlaging van het H.W. peil kan ook het grondwaterpeil rond de geul D verlagen. Het L.W. peil verhoogt echter ook een weinig zodat de juiste invloed op het grondwaterpeil moeilijk kan voorzien worden.

Samenvatting en Besluiten

Om de verlanding van het Zwin tegen te gaan werden eind 1989 - begin 1990 in opdracht van de Dienst der Kusthavens de monding van het Zwin verlegd, de hoofdgeul verdiept en een zandvang aangebracht. Om tot een meer definitieve oplossing te komen, werd in de Technische Commissie van de Internationale Zwincommissie aan het Laboratorium gevraagd de invloed van verschillende mogelijkheden te berekenen. De resultaten van de berekeningen geven slechts door onderlinge vergelijking een kwalitatief inzicht in de effecten die men mag verwachten van de voorstellen.

De voorgestelde mogelijkheden omvatten vooreerst oplossingen met spuien. Naarmate de spuiopening meer naar de monding aangebracht wordt, verlaagt in de hoofdgeul het resulterende landwaartse zandtransport met maximaal 60%, zodat de aanzanding vertraagt. Bij een tweede reeks oplossingen worden vanuit zee buizen met terugslagkleppen aangebracht naar de uiteinden der geulen. Het zandtransport in de hoofdgeul vermindert met maximaal 30%. Als uitbreiding kan ook de monding vervangen worden door buizen met terugslagkleppen. Het volume water dat in het Zwin stroomt, wordt hierbij sterk verkleind.

Bij een derde oplossing worden in het midden van het Zwin twee meren uitgegraven om de komberging te vergroten. Verder kan een van deze meren langs buizen met terugslagkleppen met de zee verbonden worden. Het zandtransport in de hoofdgeul wordt dan zeewaarts gericht.

In een vierde oplossing wordt de Willem Leopold polder die achter het Zwin gelegen is ontpolderd en op het Zwin aangesloten. De totale komberging vergroot sterk. In het Zwin zelf wordt de komberging echter kleiner. De hoofdgeul wordt met meer dan 0,5 m uitgediept.


December 1993.

De Ingenieur
belast met de studie,



ir. P. DE LAET

De wn. Hoofdingenieur-Directeur,



ir. F. WENS

De Hoofdingenieur-Directeur,
Directeur van het
Waterbouwkundig Laboratorium,



ir. E. SMETS

Lijst van de tabellen

1. Toestand T₇ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
2. Toestand T₈ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
3. Toestand T₉ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
4. Toestand T₁₀ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
5. Toestand T₁₁ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
6. Toestand T₁₂ Stromingskarakteristieken
7. Toestand T₁₂ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
8. Toestand T₁₃ Stromingskarakteristieken
9. Toestand T₁₃ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
10. Toestand T₁₄ Stromingskarakteristieken
11. Toestand T₁₄ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
12. Toestand T₁₅ Stromingskarakteristieken
13. Toestand T₁₅ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
14. Toestand T₁₆ Stromingskarakteristieken
15. Toestand T₁₆ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
16. Toestand T₁₇ Stromingskarakteristieken
17. Toestand T₁₇ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
18. Toestand T₁₈ Stromingskarakteristieken
19. Toestand T₁₈ Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering

Tabel 1
Toestand T₇
Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering door spuien met meer M3
Bodemtoestand maart 1990 Gemiddelde getijencyclus

Sectie	T ₀	T ₇	
		m ³	%
Hoofdgeul			
3	-6,022	-6,637	-
4	2,390	2,294	4,02
5	0,800	0,793	0,88
6	⇔B	0,522	0,510
7		0,635	0,572
8		1,426	1,302
9		1,718	1,661
10		1,702	1,655
11		1,548	1,505
12		2,035	2,002
13		0,656	0,647
14		0,467	0,463
15	⇔D	0,527	0,533
16		0,415	0
Geul B			
18	-0,126	-0,130	-
19	0,012	0,011	8,33
20	0,056	0,052	7,14
21	0,059	0,056	5,08
22	0,046	0,044	4,35
23	0,033	0,032	3,03
24	0,015	0,014	6,67
Geul D			
27	-0,674	-2,783	-
28	-0,440	-1,138	-
29	-0,034	-0,375	-
30	0,066	-0,188	> 100
31	0,121	-0,083	> 100
32	0,151	-0,018	> 100
33	0,163	0,021	87
34	0,160	0,040	75
35	0,142	0,042	70
36	0,111	0,027	76
37	0,069	-0,004	> 100
38	0,025	-0,040	> 100
39		‡	
Komberging Zwin	2.134.944	2.135.508	-0,03
Spuiopening breedte : 8 m		kruin : +4 m T.A.W.	

Nota : ⇔ : in deze sectie sluit de aangeduide geul aan
‡ : in deze sectie bevindt zich de spuiopening

Tabel 2
Toestand T₈
Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering door spuien met meer M3
Bodemtoestand nov. 1990 (fictief) Gemiddelde getijencyclus

Sectie	T ₀	T ₈	
		m ³	%
Hoofdgeul			
3	-30,161	-38,752	-
4	-1,452	-1,504	-
5	-0,084	-0,402	-
6 ⇔B	-1,008	-1,596	-
7	1,693	1,538	9,16
8	-0,749	-1,637	-
9	2,021	1,952	3,39
10	1,964	1,900	3,28
11	1,442	1,381	4,20
12	1,329	1,309	1,53
13	1,261	1,244	1,38
14	1,199	1,164	2,95
15 ⇔D	0,407	0,412	< 0
16	0,439	0,439	0
Geul B			
18	-0,139	-0,132	-
19	0,048	0,047	2,08
20	0,092	0,092	0
21	0,086	0,086	0
22	0,057	0,055	3,51
23	0,036	0,035	2,78
24	0,013	0,013	0
Geul D			
26	-0,456	-1,914	-
27	-0,029	-0,436	-
28	0,064	-0,246	> 100
29	0,115	-0,143	> 100
30	0,144	-0,078	> 100
31	0,160	-0,035	> 100
32	0,164	-0,010	> 100
33	0,158	0,002	99
34	0,142	0,002	99
35	0,116	-0,010	> 100
36	0,083	-0,032	> 100
37	0,047	-0,056	> 100
38	0,016	-0,083	> 100
39		‡	
Komberging Zwin	1.991.465	1.989.765	0,09
Spuiopening : breedte 8 m		kruin : +4 m T.A.W.	

Nota : ⇔ : in deze sectie sluit de aangeduide geul aan
‡ : in deze sectie bevindt zich de spuiopening

Tabel 3
Toestand T₀
Netto opwaarts zandtransport en vermindering door spuien met meren M1 en M3 en geul D
Bodemtoestand november 1990 (fictief)
Gemiddelde getijencyclus

Sectie	Volume zonder spuien m ³	Volume en relatieve vermindering door spuien	
		m ³	%
Hoofdgeul			
3	-30,161	-	-
4	-1,452	-1,159	-
5	-0,084	0,128	-
6 ⇔B	-1,008	-0,731	-
7	1,693	1,487	12,16
8	-0,749	1,422	-
9	2,021	1,851	8,34
10	1,964	1,806	8,06
11	1,442	1,287	10,74
12	1,329	1,261	5,12
13	1,261	1,057	16,19
14	1,199	0,861	28,15
15 ⇔D	0,407	0,399	1,90
16	0,439	0,461	<0
Geul B			
18	-0,139	-0,126	-
19	0,048	0,044	8
20	0,092	0,096	<0
21	0,086	0,089	<0
22	0,057	0,058	<0
23	0,036	0,033	8
24	0,013	0,013	0
Geul D			
26	-0,456	‡	-
27	-0,029	-0,052	-
28	0,064	-0,040	>100
29	0,115	-0,032	>100
30	0,144	-0,025	>100
31	0,160	-0,020	>100
32	0,164	-0,017	>100
33	0,158	-0,014	>100
34	0,142	-0,012	>100
35	0,116	-0,009	>100
36	0,083	-0,006	>100
37	0,047	-0,004	>100
38	0,016	-0,003	>100
Komberging Zwin	1.991.465	1.905.331	4
Spuiopening : breedte 64 m		kruin : +4 m T.A.W.	

Nota : ⇔ : in deze sectie sluit de aangeduide geul aan
‡ : in deze sectie bevindt zich de spuiopening

Tabel 4
Toestand T₁₀

Netto opwaarts zandtransport en vermindering door spuien met meren M1 M2 M3 en geul D
Bodemtoestand november 1990 (fictief)
Gemiddelde getijencyclus

Sectie	Volume zonder spuien m ³	Volume en relatieve vermindering door spuien	
		m ³	%
Hoofdgeul			
3	-30,161	-22,072	-
4	-1,452	-1,438	-
5 ⇔B	-0,084	-0,194	-
6	-1,008	-0,974	-
7	1,693	1,315	22,33
8	-0,749	-0,837	-
9	2,021	1,284	36,47
10	1,964	1,274	35,13
11	1,442	0,735	49,03
12	1,329	0,029	97,82
13	1,261	-0,297	> 100
14	1,199	↓	-
15 ⇔D	0,407	-0,063	> 100
16	0,439	-0,064	> 100
Geul B			
18	-0,139	-0,122	-
19	0,048	0,051	< 0
20	0,092	0,098	< 0
21	0,086	0,094	< 0
22	0,057	0,063	< 0
23	0,036	0,041	< 0
24	0,013	0,015	< 0
Geul D			
26	-0,456	-0,014	-
27	-0,029	-0,022	> 100
28	0,064	-0,018	> 100
29	0,115	-0,014	> 100
30	0,144	-0,011	> 100
31	0,160	-0,009	> 100
32	0,164	-0,008	> 100
33	0,158	-0,007	> 100
34	0,142	-0,005	> 100
35	0,116	-0,004	> 100
36	0,083	-0,003	> 100
37	0,047	-0,002	> 100
38	0,016	-0,002	> 100
Komberging Zwin	1.991.465	1.701.604	15
Spuiopening : breedte : 64 m		kruin : +4 m T.A.W.	

Nota : ⇔ : in deze sectie sluit de aangeduide geul aan
↓ : in deze sectie bevindt zich de spuiopening

Tabel 5
Toestand T₁₁
Netto opwaarts zandtransport en vermindering door spuien in monding
Bodemtoestand november 1990 (fictief)
Gemiddelde getijencyclus

Sectie	Volume zonder spuien m ³	Volume en relatieve vermindering door spuien	
		m ³	%
Hoofdgeul			
3	-30,161	‡	-
4	-1,452	-3,526	-
5	-0,084	-2,704	-
6 ⇔B	-1,008	-2,393	-
7	1,693	-0,723	> 100
8	-0,749	-1,349	-
9	2,021	0,157	92,23
10	1,964	0,352	82,08
11	1,442	0,609	57,77
12	1,329	0,141	89,39
13	1,261	0,138	89,06
14	1,199	-0,204	> 100
15 ⇔D	0,407	0,032	92,14
16	0,439	0,023	94,76
Geul B			
18	-0,139	-0,513	-
19	0,048	-0,052	> 100
20	0,092	0,016	82,61
21	0,086	0,029	66,28
22	0,057	0,021	63,16
23	0,036	0,013	63,89
24	0,013	0,005	61,54
Geul D			
26	-0,456	-0,871	-
27	-0,029	-0,155	-
28	0,064	-0,030	> 100
29	0,115	0,040	65,22
30	0,144	0,084	41,67
31	0,160	0,110	31,25
32	0,164	0,125	23,78
33	0,158	0,126	20,25
34	0,142	0,116	18,31
35	0,116	0,096	17,24
36	0,083	0,068	18,07
37	0,047	0,038	19,15
38	0,016	0,013	18,75
Komberging Zwin	1.991.465	1.823.984	8
Spuiopening : breedte : 60 m		kruin : +3,07 m T.A.W.	

Nota : ⇔ : in deze sectie sluit de aangeduide geul aan
‡ : in deze sectie bevindt zich de spuiopening

Tabel 6
 Toestand T₁₂ Stromingskarakteristieken
 Aanleg van buizen naar de uiteinden van geulen B en D
 Buizen met diameter 1 meter

Gemiddeld springtij	T ₀	L _b = 1000 m			L _b = 500 m		
		L _D = 1000 m					
		geen buizen	2x1 b.	2x2 b.	2x3 b.	2x1 b.	2x2 b.
Geul B							
v _{max} aan hoofdgeul naar - hoofdgeul	0,293	0,293	0,293	0,293	0,293	0,293	0,293
- buizen m/s	0,400	0,370	0,333	0,299	0,349	0,298	0,254
v _{max} aan buizen naar - hoofdgeul	0,023	0,149	0,201	0,233	0,182	0,230	0,253
- buizen m/s	0,090	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
watervolume vanuit - hoofdgeul m ³	4980	3878	3050	2377	3443	2412	1666
- buizen m ³	-	1280	2215	2960	1703	2808	3632
v _{max} in buis m/s	-	0,737	0,681	0,624	1,048	0,908	0,790
max. verval in buis m	-	0,23	0,19	0,15	0,20	0,15	0,12
Geul D							
v _{max} aan hoofdgeul naar - hoofdgeul	0,255	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256
- buizen m/s	0,550	0,492	0,393	0,290	0,492	0,393	0,290
v _{max} aan buizen naar - hoofdgeul	0,020	0,241	0,326	0,374	0,241	0,326	0,374
- buizen m/s	0,119	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
watervolume vanuit - hoofdgeul m ³	9727	7099	4997	3462	7099	4998	3470
- buizen m ³	-	2877	4942	6514	2876	4942	6513
v _{max} in buis m/s	-	1,238	1,088	0,966	1,238	1,088	0,965
max. verval in buis m	-	0,62	0,44	0,35	0,62	0,44	0,34
Hoofdgeul							
v _{max} monding vloed m/s	0,911	0,932	0,934	0,938	0,928	0,929	0,930
eb m/s	0,851	0,841	0,841	0,843	0,844	0,844	0,844
komberging monding - vloed m ³	278.629	275.904	273.428	271.325	275.506	272.835	270.630
- eb m ³	278.676	280.139	280.578	280.883	280.165	280.671	280.848

Tabel 7

Toestand T_{12} Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
 2x3 buizen met diameter 1 m en terugslagklep $L_B=500m$ $L_D=1000m$

Bodemtoestand nov. 1990 (fictief) Gemiddeld springtij

Sectie	T_0	T_{12}	
		m^3	%
Hoofdgeul			
3	-4,804	-4,639	-
4	-0,091	-0,138	-
5	0,072	0,064	11,11
6	↔B -0,086	-0,110	-
7	0,245	0,224	8,57
8	-0,122	-0,154	-
9	0,320	0,292	8,75
10	0,261	0,225	13,79
11	0,165	0,136	17,58
12	0,230	0,189	17,83
13	0,222	0,178	19,82
14	0,118	0,092	22,03
15	↔D 0,063	0,066	<0
16	0,068	0,073	<0
17	0,074	0,081	<0
40	↔E 0,031	0,034	<0
41	↔F 0,019	0,021	<0
42	0,006	0,006	0
43	0,001	0,002	<0
Geul B			
19	0,014	-0,046	>100
20	0,020	-0,037	>100
21	0,018	-0,029	>100
22	0,011	-0,031	>100
23	0,006	-0,036	>100
24	0,002	-0,040	>100
25	↔Zee		
Geul D			
27	-0,101	-0,189	-
28	-0,002	-0,096	-
29	0,012	-0,084	>100
30	0,020	-0,076	>100
31	0,026	-0,072	>100
32	0,028	-0,071	>100
33	0,029	-0,071	>100
34	0,028	-0,072	>100
35	0,026	-0,074	>100
36	0,021	-0,077	>100
37	0,014	-0,080	>100
38	0,005	-0,082	>100
39	↔Zee		
Geul E			
44	0,051	0,055	<0
45	0,034	0,036	<0
46	0,012	0,013	<0
Geul F			
41	0,015	0,016	<0
47	0,010	0,010	0

Tabel 8
 Toestand T₁₃ Stromingskarakteristieken
 Aanleg van buizen naar de uiteinden van geulen B en D
 Buizen met diameter 2 meter en terugslagklep L_B=500 m L_D=1000 m
 Bodemtoestand nov. 1990 (fictief)

Gemiddeld springtij	T ₀	T ₁₃		
	geen buizen	2x1 b.	2x2 b.	2x3 b.
Geul B				
v_{max} aan hoofdgeul naar -hoofdgeul	0,293	0,384	0,384	0,384
- buizen m/s	0,400	0,386	0,386	0,385
v_{max} aan buizen naar - hoofdgeul	0,023	0,377	0,380	0,382
- buizen m/s	0,090	0	0	0
watervolume vanuit - hoofdgeul m ³	4.980	1.524	668	489
- buizen m ³	-	4.670	6.050	6.560
v_{max} in buis m/s	-	0,710	0,452	0,327
max. verval in buis m	-	0,10	0,06	0,03
Geul D				
v_{max} aan hoofdgeul naar -hoofdgeul	0,255	0,251	0,251	0,251
- buizen m/s	0,550	0,325	0,153	0,110
v_{max} aan buizen naar - hoofdgeul	0,020	0,421	0,478	0,499
- buizen m/s	0,119	0	0	0
watervolume vanuit - hoofdgeul m ³	9.727	2.998	874	486
- buizen m ³	-	8.135	10.790	11.655
v_{max} in buis m/s	-	0,877	1,585	0,424
max. verval in buis m	-	0,28	0,13	0,08
Hoofdgeul				
v_{max} monding vloed m/s	0,911	0,947	0,939	0,939
eb m/s	0,851	0,854	0,856	0,855
komberging monding - vloed m ³	278.629	270.919	267.540	265.889
- eb m ³	278.676	294.878	295.445	295.407

Tabel 9
Toestand T_{13}
Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
2x3 buizen met diameter 2 meter en terugslagklep $L_B=500$ m $L_D=1000$ m
Bodemtoestand nov. 1990 (fictief) Gemiddeld springtij

Sectie	T_0 m ³	T_{13}	
		m ³	%
Hoofdgeul			
3	-4,804	-6,037	-
4	-0,091	-0,293	-
5	0,072	-0,084	>100
6 ⇐B	-0,086	-0,282	-
7	0,245	0,184	24,90
8	-0,122	-0,171	-
9	0,320	-0,250	21,88
10	0,261	0,202	22,61
11	0,165	1,123	25,45
12	0,230	0,165	28,26
13	0,222	0,156	29,73
14	0,118	0,122	<0
15 ⇐D	0,063	0,072	<0
16	0,068	0,071	<0
17	0,074	0,082	<0
40 ⇐E	0,031	0,036	<0
41 ⇐F	0,019	0,024	<0
42	0,006	0,011	<0
43	0,001	0,105	<0
Geul B			
19	0,014	-0,119	>100
20	0,020	-0,109	>100
21	0,018	-0,058	>100
22	0,011	-0,050	>100
23	0,006	-0,056	>100
24	0,002	-0,061	>100
25 ⇐Zee	-	-0,064	-
Geul D			
27	-0,101	-0,032	>100
28	-0,002	-0,206	>100
29	0,012	-0,111	>100
30	0,020	-0,101	>100
31	0,026	-0,097	>100
32	0,028	-0,096	>100
33	0,029	-0,095	>100
34	0,028	-0,095	>100
35	0,026	-0,096	>100
36	0,021	-0,097	>100
37	0,014	-0,099	>100
38	0,005	-0,101	>100
39 ⇐Zee	-	-0,102	-
Geul E			
44	0,051	0,002	98
45	0,034	0,028	12
46	0,012	0,013	<0
Geul F			
41	0,015	-0,049	>100
47	0,010	0,026	<0

Tabel 10

Toestand T_{14} Stromingskarakteristieken
 Aanleg van buizen naar de uiteinden van geulen B en D en in monding
 Buizen met diameter 1 meter en terugslagklep
 Bodemtoestand nov. 1990 (fictief)

Gemiddeld springtij	T_0	T_{13}
	geen buizen	2x2 b. en 5 b.
Geul B		
v_{max} aan hoofdgeul naar - hoofdgeul	0,293	0,416
- buizen m/s	0,400	0
v_{max} aan buizen naar - hoofdgeul	0,023	0,373
- buizen m/s	0,090	0
watervolume vanuit - hoofdgeul m ³	4980	0
- buizen m ³	-	14.692
max waterpeil m T.A.W.	4,55	4,32
v_{max} in buis m/s	-	1,75
max. verval in buis m	-	0,14
Geul D		
v_{max} aan hoofdgeul naar - hoofdgeul	0,255	0,825
- buizen m/s	0,550	0
v_{max} aan buizen naar - hoofdgeul	0,020	0,419
- buizen m/s	0,119	0
watervolume vanuit - hoofdgeul m ³	9727	0
- buizen m ³	-	20.396
max. waterpeil m T.A.W.	4,55	4,09
v_{max} in buis m/s	-	1,805
max. verval in buis m	-	0,30
Hoofdgeul		
v_{max} aan buizen opwaarts m/s	0,911	0,578
afwaarts m/s	0,851	0,481
v_{max} in buizen m/s	-	0,986
Watervolume dat uitstroomt m ³	278.676	35.088
max waterpeil m T.A.W.	4,55	3,25

Nota's : Lengte der buizen naar geul B : 500 m

Lengte der buizen naar geul D : 1000 m

Aan de monding van de hoofdgeul komt het water in de grote zandvang eerst aan vanuit de geul B. Dit water kan dan in de hoofdgeul opwaarts stromen totdat het met het water uit geul D in aanraking komt en aldus het volume spuiwater verhogen in het doorstroomde gedeelte van de hoofdgeul.

Tabel 11
Toestand T₁₄
Netto opwaarts zandtransport en relatieve vermindering
Aanleg van buizen naar de uiteinden van geulen B en D en in monding
2x2 en 5 buizen met diameter 1 m en terugslagklep
Bodemtoestand nov. 1990 (fictief) Gemiddeld springtij

Sectie	T ₀	T ₁₄ m ³
Hoofdgeul		
3	-4,804	↑
4	-0,091	-0,511
5	0,072	-0,488
6 ↔B	-0,086	-0,359
7	0,245	-0,086
8	-0,122	-0,636
9	0,320	-0,057
10	0,261	-0,373
11	0,165	-0,980
12	0,230	-0,112
13	0,222	-0,202
14	0,118	-0,856
15 ↔D	0,063	-0,004
16	0,068	0,001
17	0,074	0,002
40 ↔E	0,031	0
41 ↔F	0,019	0
42	0,006	0
43	0,001	0
Geul B		
19	0,014	-0,108
20	0,020	-0,428
21	0,018	-0,223
22	0,011	-0,192
23	0,006	-0,173
24	0,002	-0,159
25 ↔Zee	-	-0,148
Geul D		
27	-0,101	-0,745
28	-0,002	-0,333
29	0,012	-0,280
30	0,020	-0,249
31	0,026	-0,288
32	0,028	-0,212
33	0,029	-0,200
34	0,028	-0,191
35	0,026	-0,183
36	0,021	-0,177
37	0,014	-0,172
38	0,005	-0,169
39 ↔Zee	-	-0,159
Geul E		
44	0,051	0
45	0,034	0
46	0,012	0
Geul F		
41	0,015	0
47	0,010	0

Tabel 12
 Toestand T₁₅ Stromingskarakteristieken
 Aanleg van buizen naar de uiteinden van geulen B en D en in monding
 Buizen met diameter 2 m en terugslagklep
 Bodemtoestand nov. 1990 (fictief)

Gemiddeld springtij	T ₀	T ₁₅
	geen buizen	2x2 b. en 5 b.
Geul B		
v_{max} aan hoofdgeul naar - hoofdgeul	0,293	0,687
- buizen m/s	0,400	0
v_{max} aan buizen naar - hoofdgeul	0,023	0,377
- buizen m/s	0,090	0
watervolume vanuit - hoofdgeul m ³	4.980	0
- buizen m ³	-	22.000
waterpeil - max. m T.A.W.	4,55	4,47
- min. m T.A.W.	bodem	bodem
v_{max} in buis m/s	-	0,771
max. verval in buis m	-	0,02
Geul D		
v_{max} aan hoofdgeul naar - hoofdgeul	0,255	0,678
- buizen m/s	0,550	0
v_{max} aan buizen naar - hoofdgeul	0,020	0,512
- buizen m/s	0,119	0
watervolume vanuit - hoofdgeul m ³	9.727	0
- buizen m ³	-	28.365
waterpeil - max. m T.A.W.	4,55	4,46
- min. m T.A.W.	bodem	bodem
v_{max} in buis m/s	-	0,683
max. verval in buis m	-	0,03
Hoofdgeul		
v_{max} aan buizen opwaarts m/s	0,911	0,808
afwaarts m/s	0,851	0,747
v_{max} in buis m/s	-	0,613
Watervolume dat uitstroomt m ³	278.676	50.365
waterpeil - max. m T.A.W.	4,55	3,47
- min. m T.A.W.	bodem	bodem

Nota's : Lengte der buizen naar geul B : 500 m

Lengte der buizen naar geul D : 1000 m

Aan de monding van de hoofdgeul komt het water in de grote zandvang eerst aan vanuit de geul B. Dit water kan dan in de hoofdgeul ongeveer 300 m opwaarts stromen totdat het met het water uit geul D in aanraking komt en aldus het volume spuiwater verhogen in het doorstroomde gedeelte van de hoofdgeul.

Tabel 13
Toestand T₁₅

Netto opwaarts zandtransport

Aanleg van buizen naar de uiteinden van geulen B en D en in monding
2x2 en 5 buizen met diameter 2 m en terugslagklep L_B=500 m L_D=1000 m
Bodemtoestand nov. 1990 (fictief) Gemiddeld springtij

Sectie	T ₀	T ₁₅
Hoofdgeul		
3	-4,804	↑
4	-0,091	-0,625
5	0,072	-0,612
6 ⇔B	-0,086	-0,594
7	0,245	-0,150
8	-0,122	-0,848
9	0,320	-0,100
10	0,261	-0,453
11	0,165	-0,932
12	0,230	-0,150
13	0,222	-0,250
14	0,118	-0,887
15 ⇔D	0,063	-0,007
16	0,068	0,001
17	0,074	0,003
40 ⇔E	0,031	0,001
41 ⇔F	0,019	0,001
42	0,006	0,000
43	0,001	0,000
Geul B		
19	0,014	-0,843
20	0,020	-0,572
21	0,018	-0,314
22	0,011	-0,266
23	0,006	-0,241
24	0,002	-0,222
25 ⇔Zee	-	-0,206
Geul D		
27	-0,101	-0,700
28	-0,002	-0,818
29	0,012	-0,432
30	0,020	-0,360
31	0,026	-0,319
32	0,028	-0,291
33	0,029	-0,271
34	0,028	-0,255
35	0,026	-0,243
36	0,021	-0,233
37	0,014	-0,225
38	0,005	-0,218
39 ⇔Zee	-	-0,210
Geul E		
44	0,051	0
45	0,034	0
46	0,012	0
Geul F		
41	0,015	0
47	0,010	0

Tabel 14
 Toestand T₁₆ Stromingskarakteristieken
 Meren M5 en M6
 Bodemtoestand nov. 1990 (fictief)

Gemiddeld springtij	T ₀	T ₁₆
Hoofdgeul		
v _{max} monding - vloed m/s	0,911	0,873
- eb m/s	0,851	0,882
komberging Zwin	278.629	335.229
Geul B		
v _{max} aan hoofdgeul- vloed m/s	0,400	0,407
- eb m/s	0,293	0,302
komberging m ³	4.980	5.002
Geul D		
v _{max} aan hoofdgeul - vloed m/s	0,550	0,562
- eb m/s	0,255	0,287
komberging m ³	9.727	9.723
Geul M2 - M5		
v _{max} aan M2 - vloed m/s	-	0,946
- eb m/s	-	0,436
komberging m ³	-	58.100
Meer M5		
waterpeil - max. m T.A.W.	-	4,21
- min. m T.A.W.	-	3,47
komberging meer m ³	-	19.700
Geul M5 - M6		
v _{max} aan M5 - vloed m/s	-	0,749
- eb m/s	-	0,264
v _{max} aan M6- vloed m/s	-	1,043
- eb m/s	-	0,250
Meer M6		
waterpeil - max. m T.A.W.	-	3,96
- min. m T.A.W.	-	3,50
komberging meer m ³	-	33.580

Tabel 15
Toestand T₁₆
Netto opwaarts zandtransport
Meren M5 en M6
Bodemtoestand nov. 1990 (fictief) Gemiddeld springtij

Sectie	T ₀ m ³	T ₁₆		Sectie	T ₁₆ m ³
		m ³	%		
Hoofdgeul				Geul M2-M5-M6	
3	-4,804	-13,128	-	48	-0,243
4	-0,091	-0,782	-	49	-0,118
5	0,072	-0,398	> 100	50	0,046
6 ⇔B	-0,086	-0,953	-	51	0,136
7	0,245	-0,028	> 100	52	0,049
8	-0,122	-1,963	-	53	0,012
9	0,320	0,131	59,16	54	0,007
10	0,261	-0,689	> 100	55	0,052
11	0,165	-2,520	> 100	56	0,128
12	0,230	0,040	82,61	57	0,271
13	0,222	-0,286	> 100	58	0,096
14	0,118	-1,798	> 100	59	0,041
15 ⇔D	0,063	-1,203	> 100	60	0,021
16	0,068	-0,419	> 100	61	0,009
17	0,074	-0,611	> 100	62	0,003
40 ⇔E	0,031	-0,061	> 100		
41 ⇔F	0,019	-0,094	> 100		
42 ⇔M5-M6	0,006	-0,096	> 100		
43	0,001	0,011	< 0		
Geul B					
19	0,014	-0,049	> 100		
20	0,020	-0,034	> 100		
21	0,018	0,017	5,56		
22	0,011	0,021	< 0		
23	0,006	0,018	< 0		
24	0,002	0,015	< 0		
Geul D					
27	-0,101	-0,075	-		
28	-0,002	-0,001	-		
29	0,012	0,013	< 0		
30	0,020	0,021	< 0		
31	0,026	0,026	0		
32	0,028	0,028	0		
33	0,029	0,029	0		
34	0,028	0,028	0		
35	0,026	0,026	0		
36	0,021	0,021	0		
37	0,014	0,014	0		
38	0,005	0,005	0		
Geul E					
44	0,051	0,019	62,75		
45	0,034	0,038	< 0		
46	0,012	0,013	< 0		
Geul F					
41	0,015	-0,023	> 100		
47	0,010	0,020	< 0		

Tabel 16
Toestand T₁₇ Stromingskarakteristieken
Meren M5 en M6 en buizen diameter 2 m van zee naar M5 met terugslagklep
Bodemtoestand nov. 1990 (fictief)

Gemiddeld springtij	T ₀	T ₁₇		
		1 buis	2 buizen	3 buizen
Hoofdgeul				
v _{max} monding - vloed m/s	0,911	0,875	0,878	0,881
- eb m/s	0,851	0,883	0,883	0,884
komberging Zwin - vloed m ³	278.629	275.045	268.921	262.351
- eb m ³	278.676	347.305	359.593	366.573
-toename eb m ³	-	68.629	80.917	87.497
- eb - vloed m ³	47	72.260	90.672	103.822
Geul B				
v _{max} aan hoofdgeul - vloed m/s	0,400	0,410	0,415	0,416
- eb m/s	0,293	0,300	0,306	0,309
komberging m ³	4.980	5.041	5.086	5.086
Geul D				
v _{max} aan hoofdgeul - vloed m/s	0,550	0,559	0,557	0,567
- eb m/s	0,255	0,274	0,270	0,268
komberging m ³	9.727	9.846	9.940	9.964
Geul M2 - M5				
v _{max} aan M2 naar - M5 m/s	-	0,642	0,383	0,258
- M2 m/s	-	0,522	0,536	0,575
watervolume - vloed m ³	-	29.142	16.341	11.531
- eb m ³	-	72.760	81.615	87.646
Meer M5				
waterpeil - max. m T.A.W.	-	4,450	4,510	4,539
- min. m T.A.W.	-	3,510	3,520	3,519
watervolume door buis m ³	-	43.620	64.447	76.242
v _{max} in buis m/s	-	3,078	2,456	1,956
max. verval in buis m	-	0,49	0,30	0,19
Geul M5 - M6				
v _{max} aan M5 naar - M6 m/s	-	0,894	0,934	0,951
- M5 m/s	-	0,313	0,324	0,328
komberging m ³	-	51.100	54.590	55.183
v _{max} aan M6 naar - M6 m/s	-	1,266	1,340	1,367
- M5 m/s	-	0,296	0,305	0,310
Meer M6				
waterpeil - max. m T.A.W.	-	4,162	4,219	4,244
- min. m T.A.W.	-	3,537	3,548	3,548
komberging m ³	-	49.624	52.900	53.600

Tabel 17
Toestand T₁₇
Netto opwaarts zandtransport
Meren M5 en M6 en 3 buizen met diameter 2 m van zee naar meer M5 met terugslagklep
Bodemtoestand nov. 1990 (fictief) Gemiddeld springtij

Sectie	T ₀ m ³	T ₁₇		Sectie	T ₁₇ 3 buizen
		3 buizen	%		
Hoofdgeul				Geul M2-M5-M6	
3	-4,804	-18,524	-	48	-0,951
4	-0,091	-1,258	-	49	-0,852
5	0,072	-0,789	> 100	50	-0,778
6	⇔B -0,086	-1,410	-	51	-0,488
7	0,245	-0,310	> 100	52	-0,167
8	-0,122	-2,389	-	53	⇔Zee -0,172
9	0,320	-0,166	> 100	54	0,011
10	0,261	-1,122	> 100	55	0,077
11	0,165	-3,025	> 100	56	0,184
12	0,230	-0,415	> 100	57	0,399
13	0,222	-0,724	> 100	58	0,146
14	0,118	-2,382	> 100	59	0,062
15	⇔D 0,063	-1,669	> 100	60	0,031
16	0,068	-0,962	> 100	61	0,014
17	0,074	-1,244	> 100	62	0,004
40	⇔E 0,031	-0,443	> 100		
41	⇔F 0,019	-0,406	> 100		
42	⇔M5-M6 0,006	-0,394	> 100		
43	0,001	0,003	< 0		
Geul B					
19	0,014	-0,033	-		
20	0,020	0,018	10		
21	0,018	0,022	< 0		
22	0,011	0,018	< 0		
23	0,006	0,015	< 0		
24	0,002	0,008	< 0		
Geul D					
27	-0,101	-0,061	-		
28	-0,002	0,001	-		
29	0,012	0,014	< 0		
30	0,020	0,022	< 0		
31	0,026	0,027	< 0		
32	0,028	0,030	< 0		
33	0,029	0,030	< 0		
34	0,028	0,029	< 0		
35	0,026	0,026	0		
36	0,021	0,021	0		
37	0,014	0,014	0		
38	0,005	0,005	0		
Geul E					
44	0,051	0,011	78		
45	0,034	0,044	< 0		
46	0,012	0,017	< 0		
Geul F					
41	0,015	-0,0221	> 100		
47	0,010	-0,0067	> 100		

Tabel 18
 Toestand T₁₈ Stromingskarakteristieken
 Ontpoldering Willem Leopold polder
 Bodemtoestand Zwin nov. 1990 (fictief)

Gemiddeld springtij	T ₀	T ₁₈
Hoofdgeul		
v _{max} monding - vloed m/s	0,911	0,716
- eb m/s	0,851	1,062
komberging - Zwin en polder m ³	278.629(+0)	872.260
- Zwin alleen m ³	278.629	206.500
Geul B		
v _{max} aan hoofdgeul - vloed m/s	0,400	0,373
- eb m/s	0,293	0,292
waterpeil - max. m T.A.W.	4,55	4,50
- min. m T.A.W.	3,82	4,03
komberging m ³	4.980	4.594
Geul D		
v _{max} aan hoofdgeul - vloed m/s	0,550	0,330
- eb m/s	0,255	0,137
waterpeil - max. m T.A.W.	4,55	4,05
- min. m T.A.W.	3,32	3,41
komberging m ³	9.727	4.485
Polder		
v _{max} in dijkopening - vloed m/s	-	1,320
- eb m/s	-	0,383
waterpeil - max. m T.A.W.	-	3,73
- min. m T.A.W.	-	3,56
komberging in polder m ³	-	665.760

Tabel 19
Toestand T₁₈
Netto opwaarts zandtransport
Ontpoldering Willem Leopold polder
Bodemtoestand Zwin nov. 1990 (fictief) Gemiddeld springtij

Sectie	T ₀ m ³	T ₁₈	Sectie	T ₁₈
Hoofdgeul			Polder	
3	-4,804	-19,6746	63	3,2616
4	-0,091	-5,7452	64	0,4939
5	0,072	-5,2316	65	0,3367
6 ⇔B	-0,086	-5,2472	66	0,3749
7	0,245	-2,9305	67	0,3597
8	-0,122	-4,3064	68	0,3311
9	0,320	-1,7563	69	0,3038
10	0,261	-4,4550	70	0,2555
11	0,165	-6,0897	71	0,2049
12	0,230	-1,2639	72	0,1765
13	0,222	-1,4417	73	0,1418
14	0,118	-1,4168	74	0,1133
15 ⇔D	0,063	-0,0161	75	0,0922
16	0,068	-0,0087	76	0,0618
17	0,074	-0,0005	77	0,0417
40 ⇔E	0,031	0,0000	78	0,0260
41 ⇔F	0,019	0,0009	79	0,0126
42	0,006	0,0000	80	0,0053
43	0,001	-0,0006	81	0,0019
			82	0,0004
			83	
Geul B				
19	0,014	0,0103		
20	0,020	0,0177		
21	0,018	0,0160		
22	0,011	0,0104		
23	0,006	0,0065		
24	0,002	0,0024		
Geul D				
27 ⇔Polder	-0,101	0,011		
28	-0,002	0,023		
29	0,012	0,023		
30	0,020	0,022		
31	0,026	0,020		
32	0,028	0,018		
33	0,029	0,015		
34	0,028	0,012		
35	0,026	0,009		
36	0,021	0,006		
37	0,014	0,003		
38	0,005	0,001		
Geul E				
44	0,051	0,0010		
45	0,034	0,0060		
46	0,012	0,0025		
Geul F				
41	0,015	0,0012		
47	0,010	0,0016		

Lijst van de bijlagen

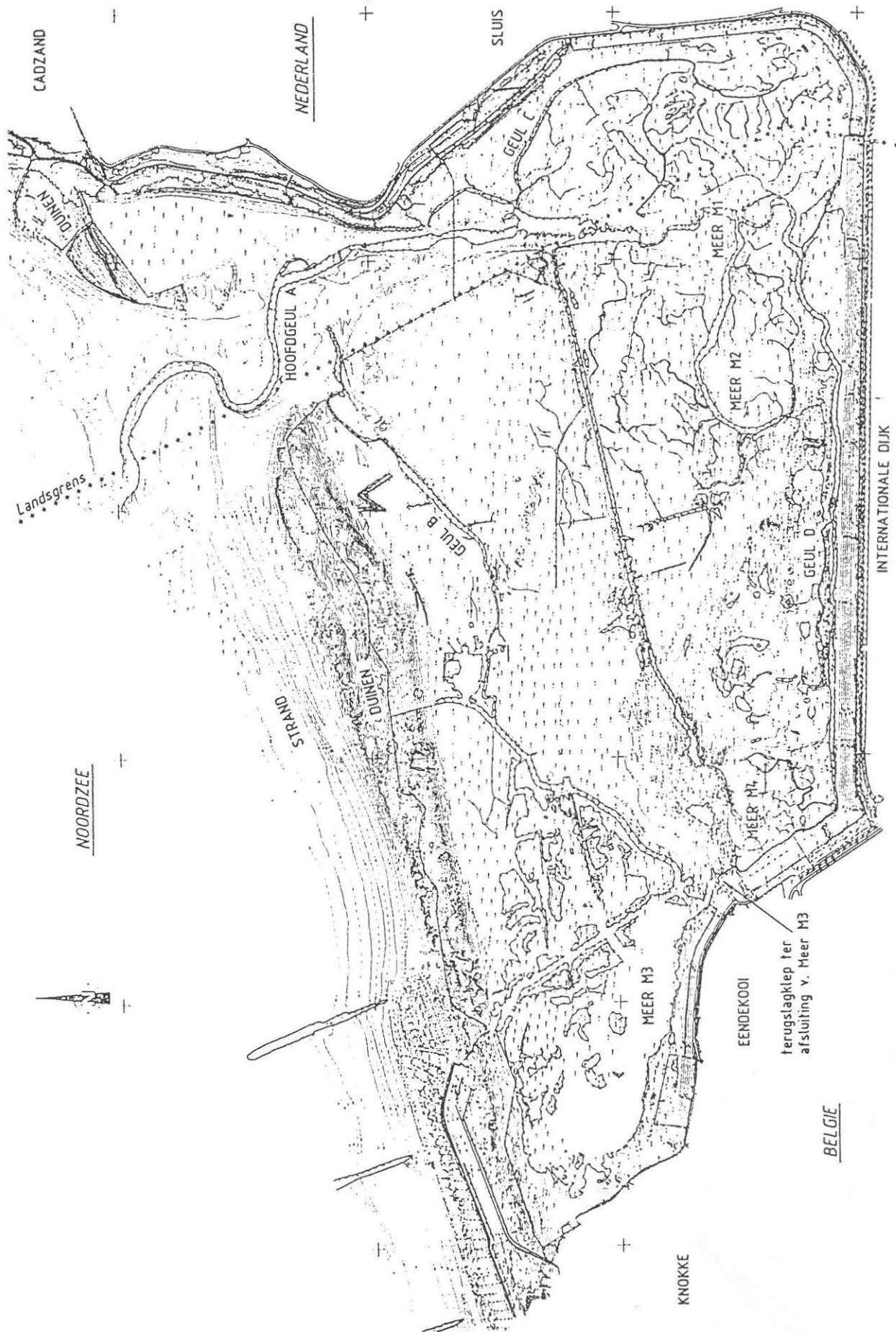
1. Plan van het Zwin
2. Schets van de zandvang aan het landwaarts uiteinde van de monding
3. Meting 13 augustus 1991 Zandtransport
4. Gemiddelde getijencyclus
5. Oplossingen met spuien $T_7 - T_{11}$
6. Oplossingen met buizen $T_{12} - T_{15}$
7. Oplossingen met buizen, uitgravingen en met ontpoldering $T_{16} - T_{18}$
8. Toestand T_7 Zandtransport bij gemiddelde getijencyclus
9. Toestand T_8 "
10. Toestand T_9 "
11. Toestand T_{10} "
12. Toestand T_{11} "
13. Toestand T_{12} Zandtransport bij gemiddeld springtij
14. Toestand T_{13} "
15. Toestand T_{14} "
16. Toestand T_{15} "
17. Toestand T_{16} "
18. Toestand T_{17} "
19. Toestand T_{18} "



SCHAAL 1/10.000

PLAN VAN HET ZWIN

Ref : MIN. O.W. - Bestuur der Waterwegen, Dienst der Kust - Directie Oostkust
Het Natuurreservaat " Het Zwin" - opname 1989



SCHAAL 1/3.000

SCHETS VAN DE ZANDVANG AAN HET
LANDWAARTS UITEINDE VAN DE MONDING

Ref : brief v. d. werfconductor van 8/11/1989

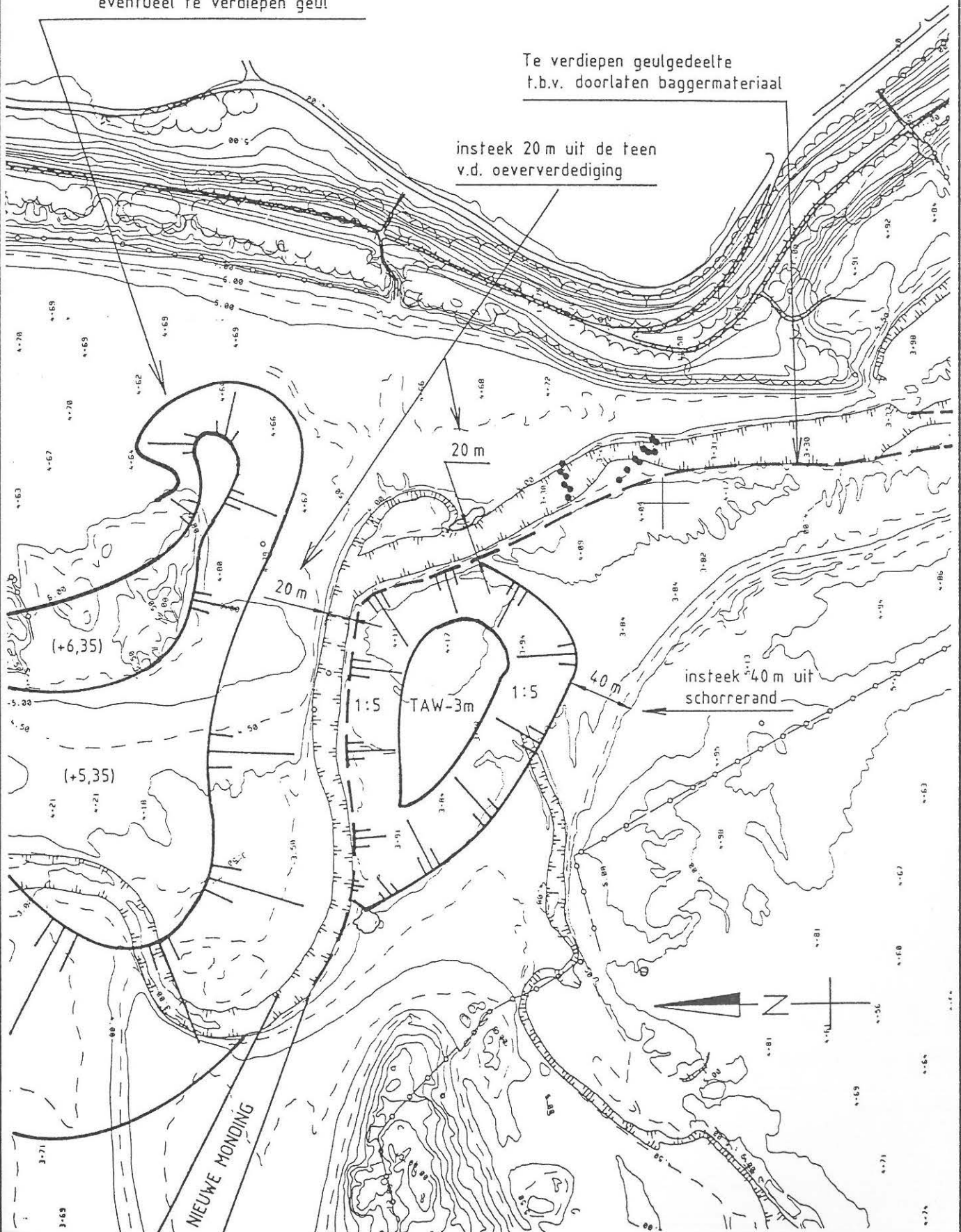
RWS - NXL : 2/11/1989

Bergplaats zand uit "zuidelijke doorsteek" en
eventueel te verdiepen geul

Te verdiepen geulgedeelte
f.b.v. doorlaten baggermateriaal

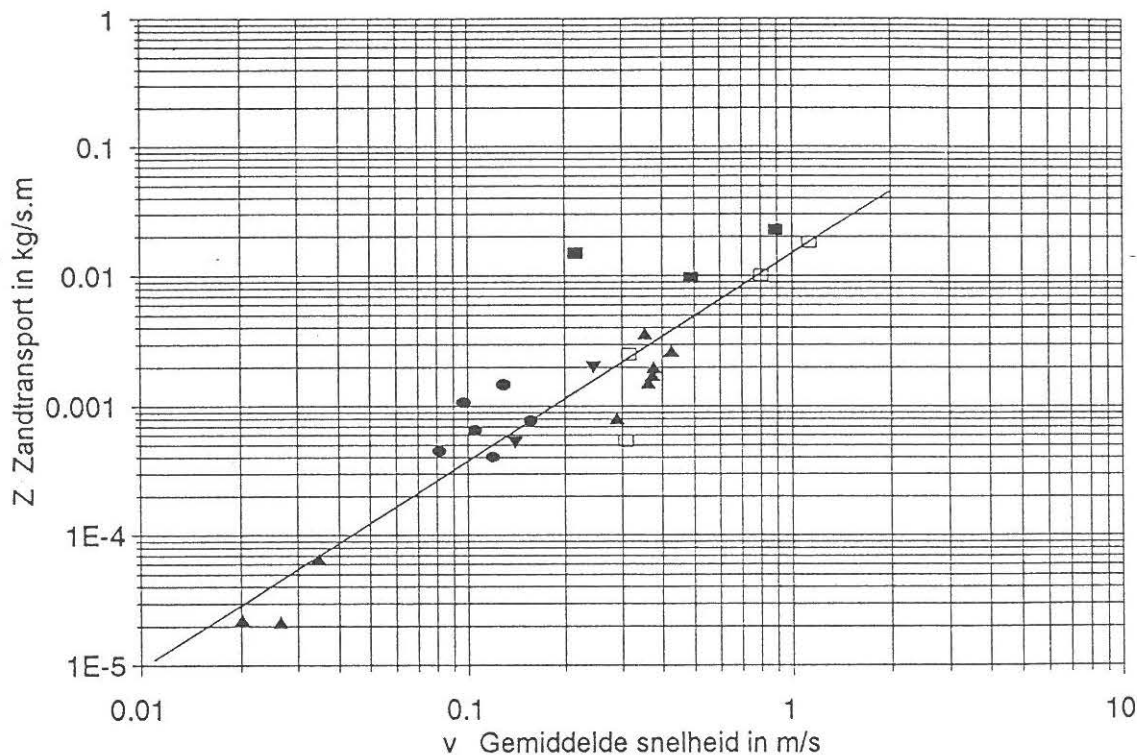
insteek 20 m uit de teen
v.d. oeververdediging

insteek 40 m uit
schorrerand





METING 13 AUGUSTUS 1991 ZANDTRANSPORT

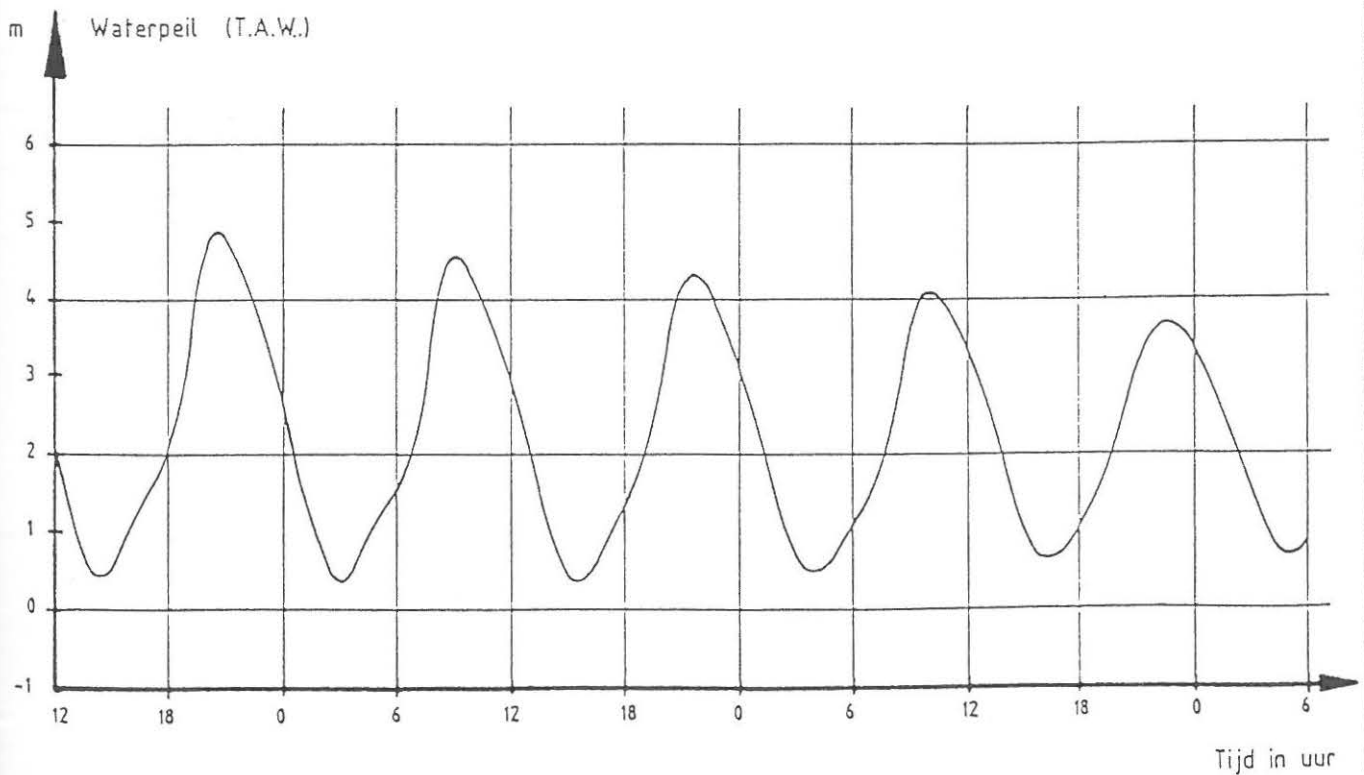
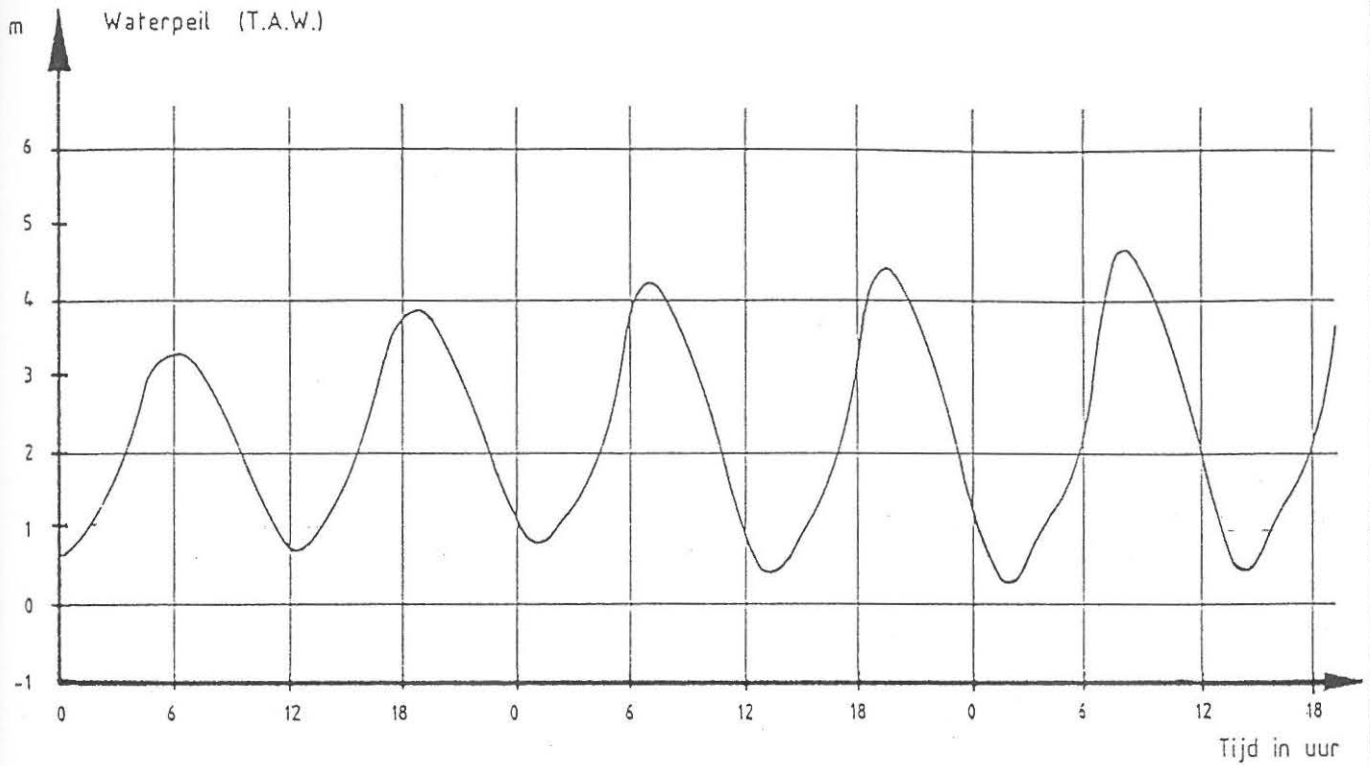


■ instroom ▼ West in ● West uit □ Zuid in ▲ Zuid uit — regressie

$$\text{Regressie : } Z = 0,01482 v^{1,6}$$



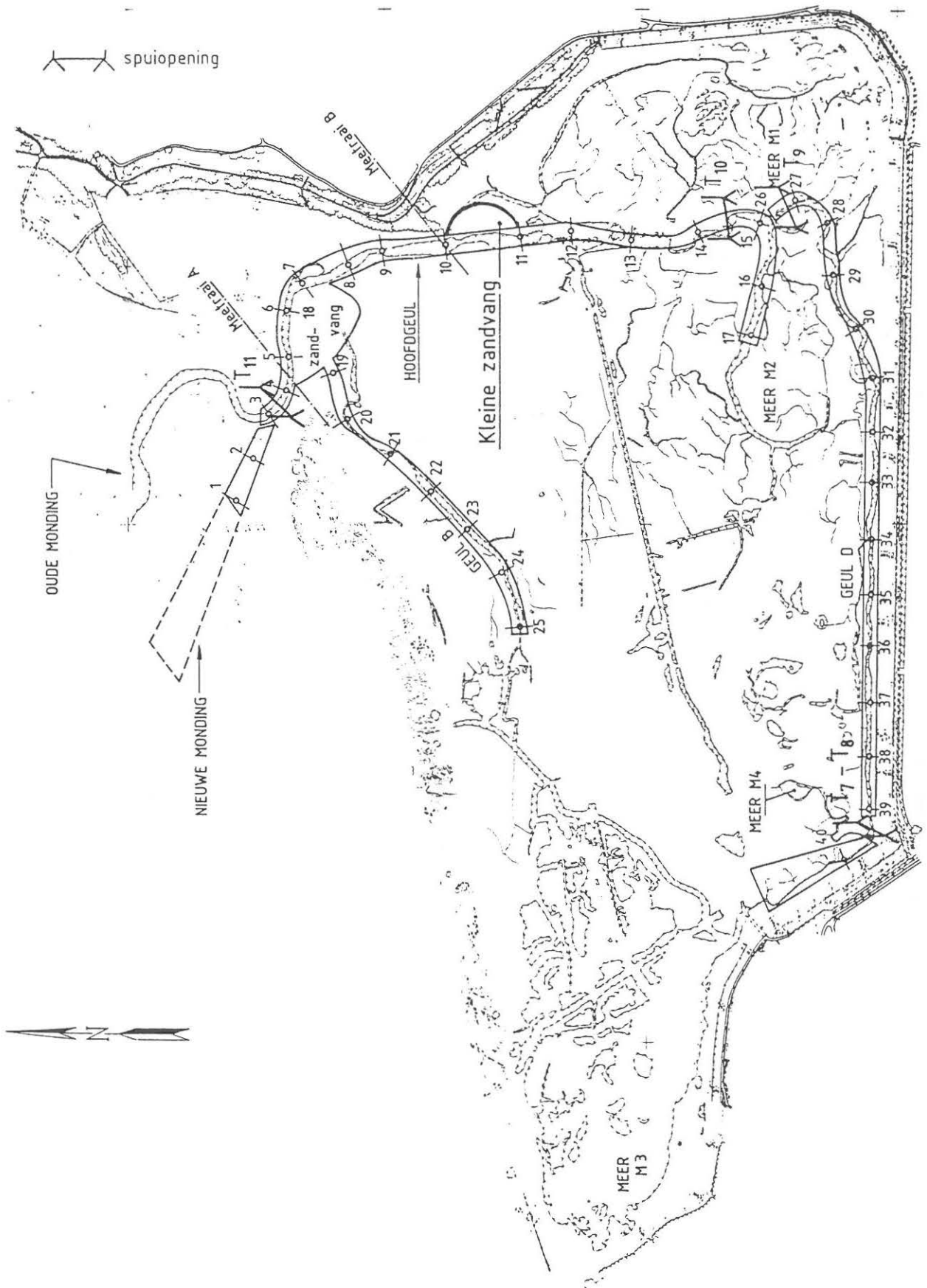
GEMIDDELDE GETIJENCYCLUS





SCHAAL 1/10.000

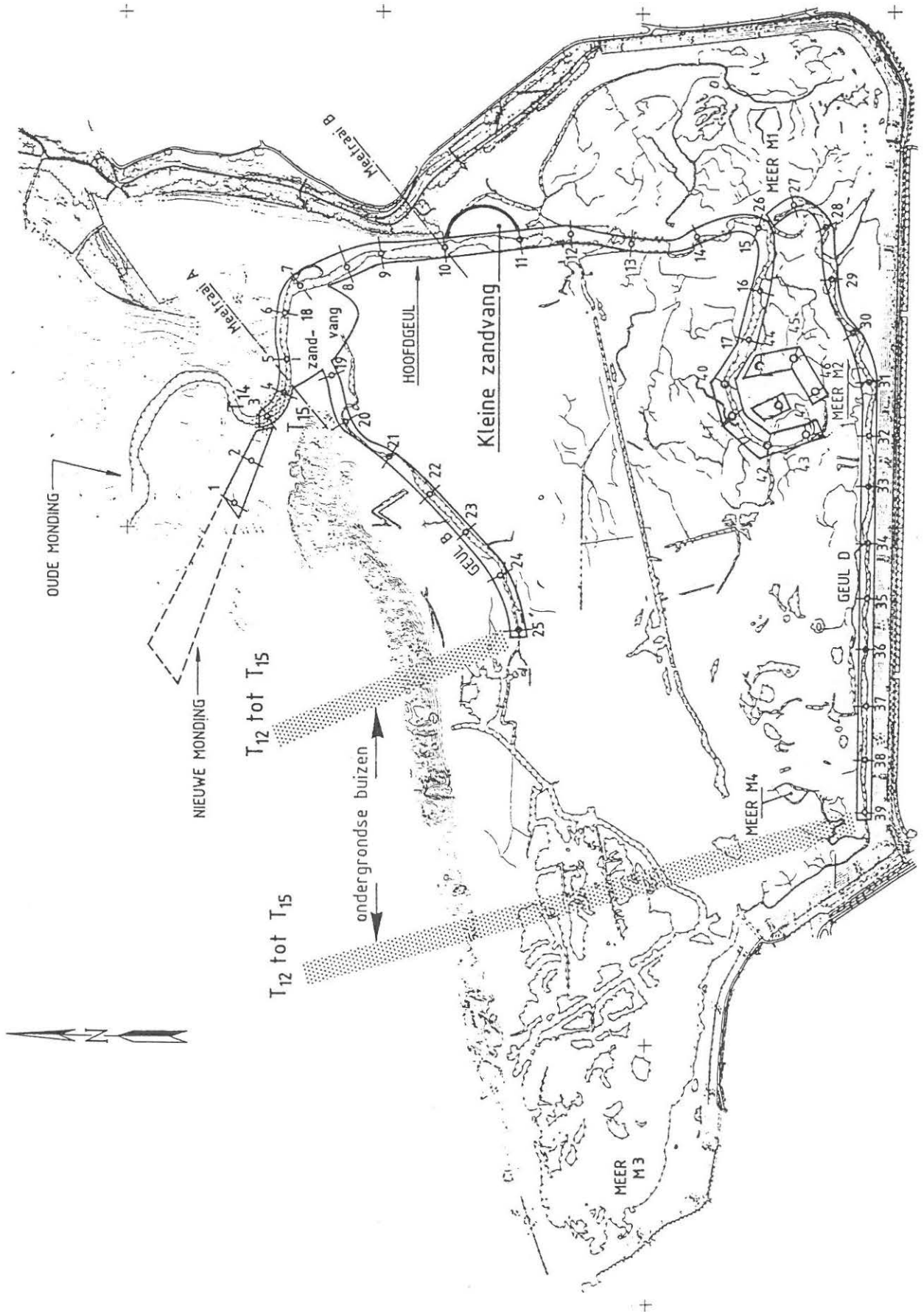
OPLOSSINGEN MET SPUIEN T7 - T11





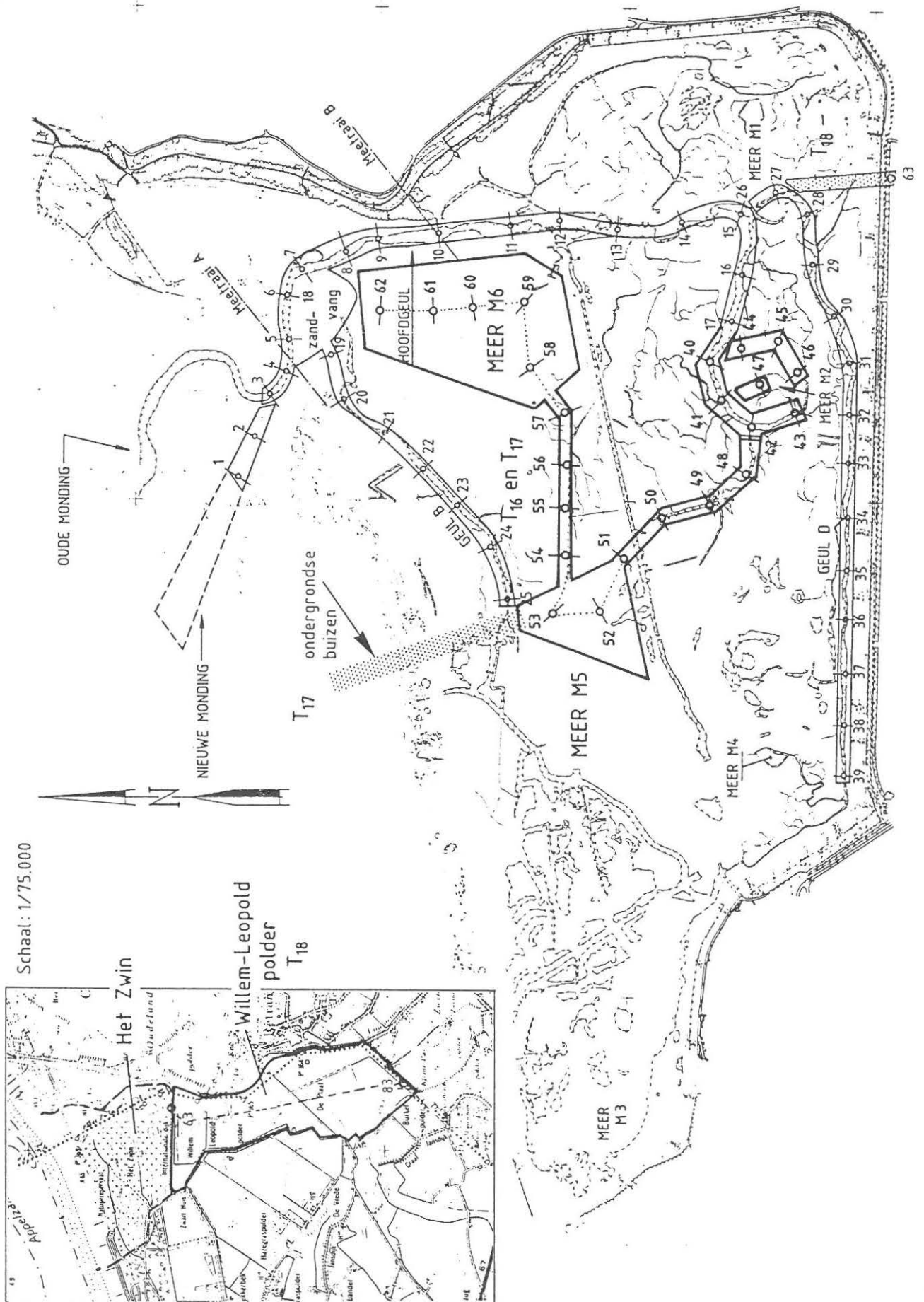
SCHAAL 1/10000

OPLOSSINGEN MET BUIZEN T12 - T15



SCHAAL 1/10000

OPLOSSINGEN MET BUIZEN, UITGRAVINGEN
EN MET ONTPOLDERING T 16- T18



Schaal: 1/75.000

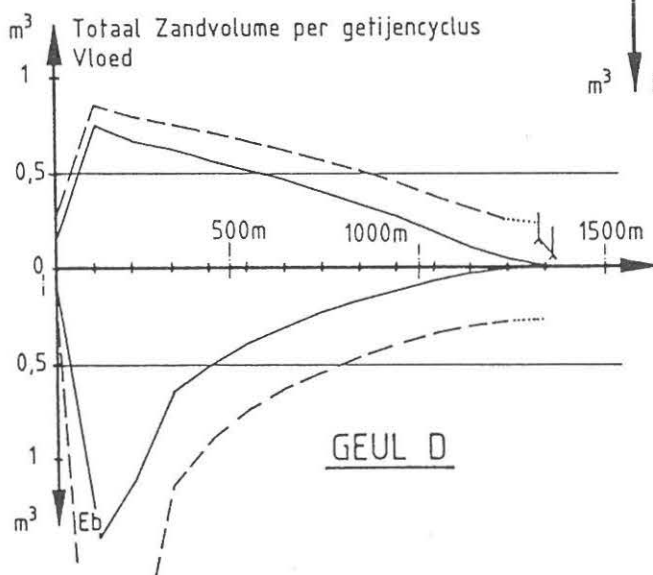
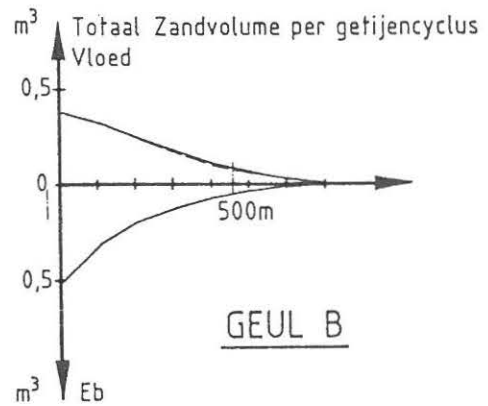
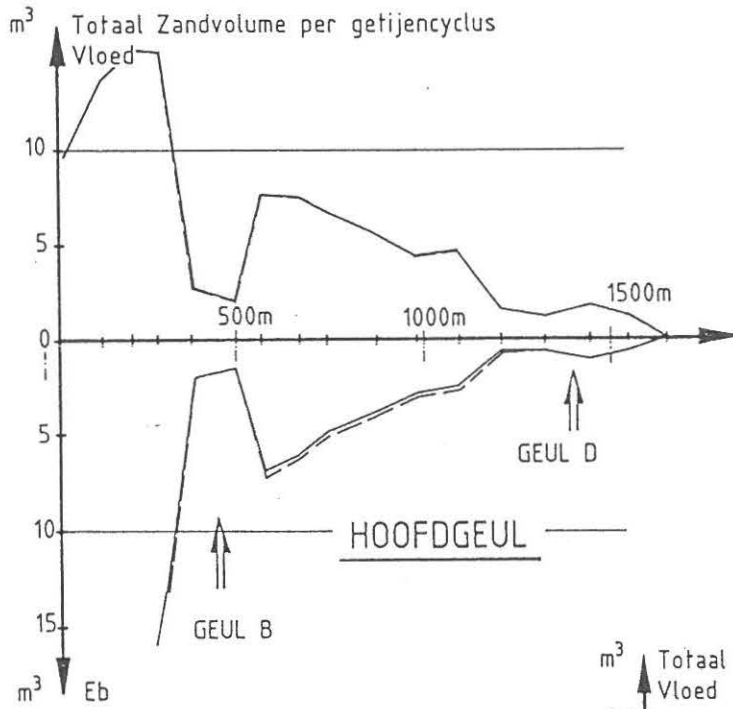
Het Zwin

Willem-Leopold
polder
T18

--- MET SPUIEN
— ZONDER SPUIEN

TOESTAND T7 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELDE GETIJENCYCLUS

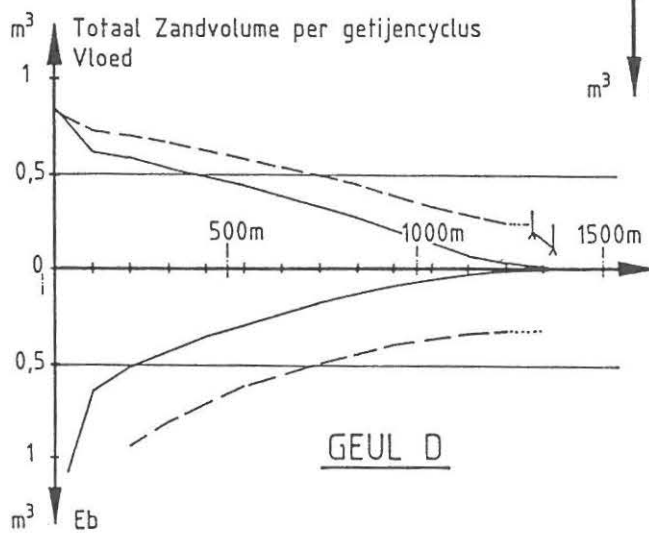
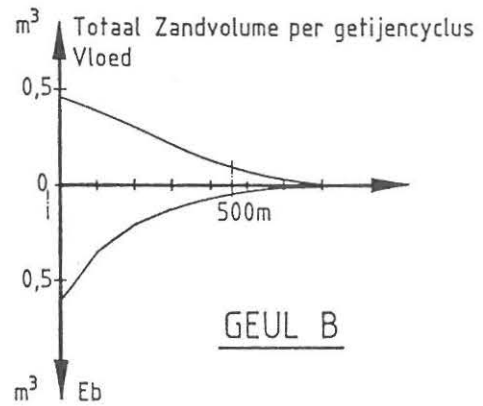
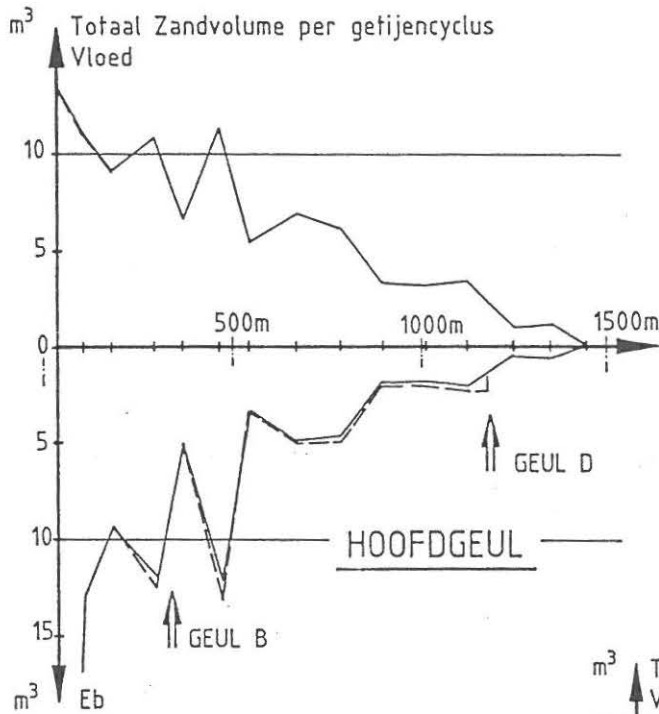
↔ spuiopening



--- MET SPIUIEN
— ZONDER SPIUIEN

TOESTAND T8 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELDE GETIJENCYCLUS

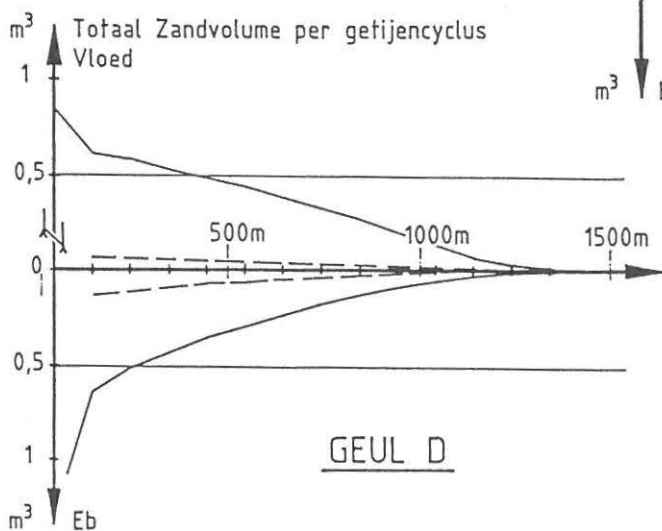
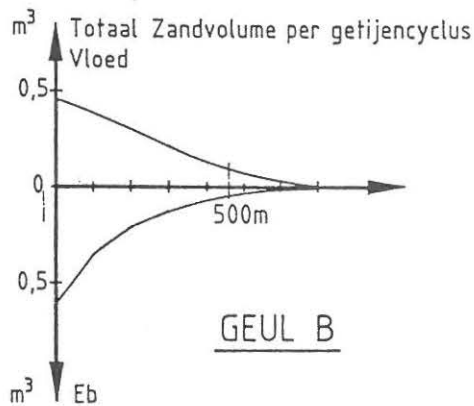
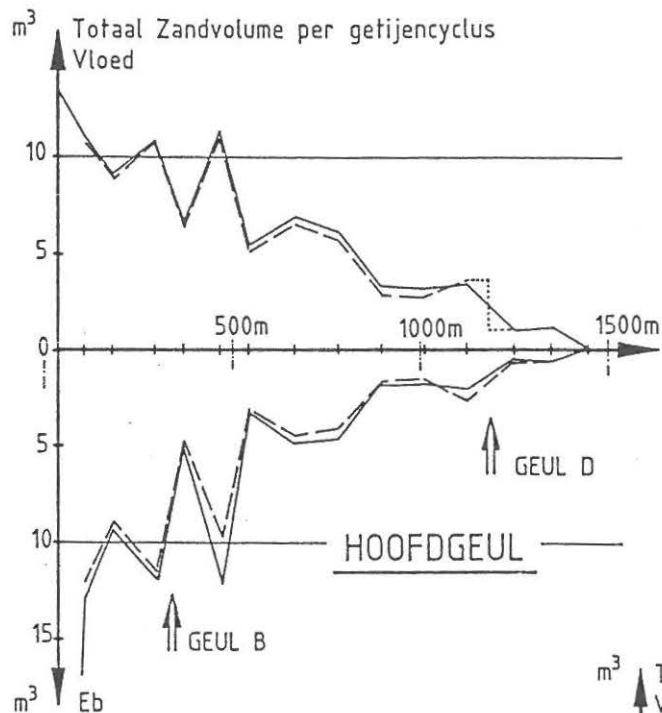
↔ spuiopening



--- MET SPUIEN
— ZONDER SPUIEN

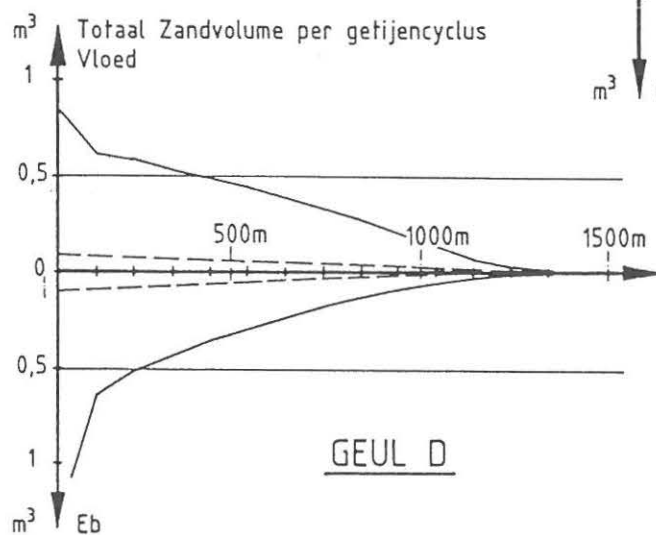
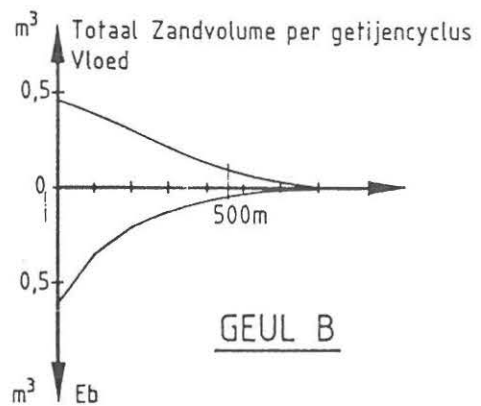
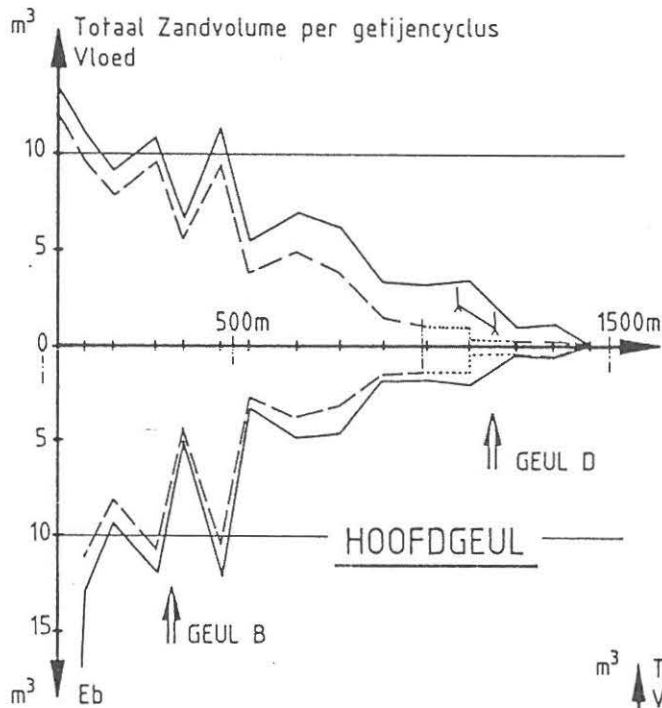
TOESTAND T9 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELDE GETIENCYCLUS

↔ spuiopening



--- MET SPUIEN
— ZONDER SPUIENTOESTAND T10 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELDE GETIJENCYCLUS

↔ spuiopening

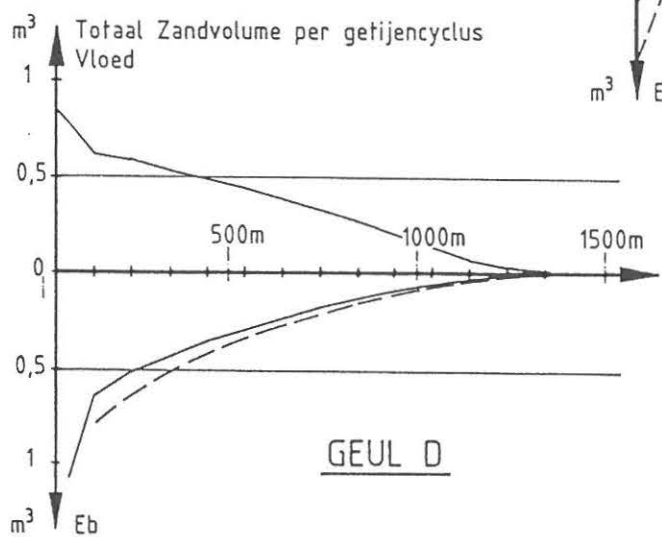
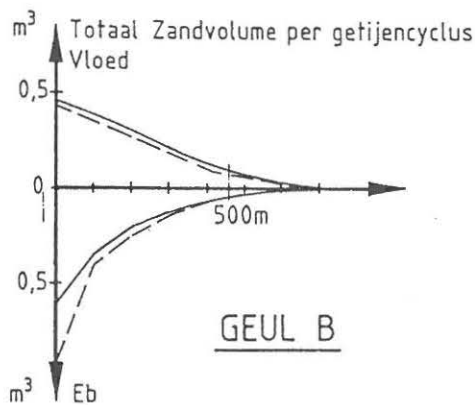
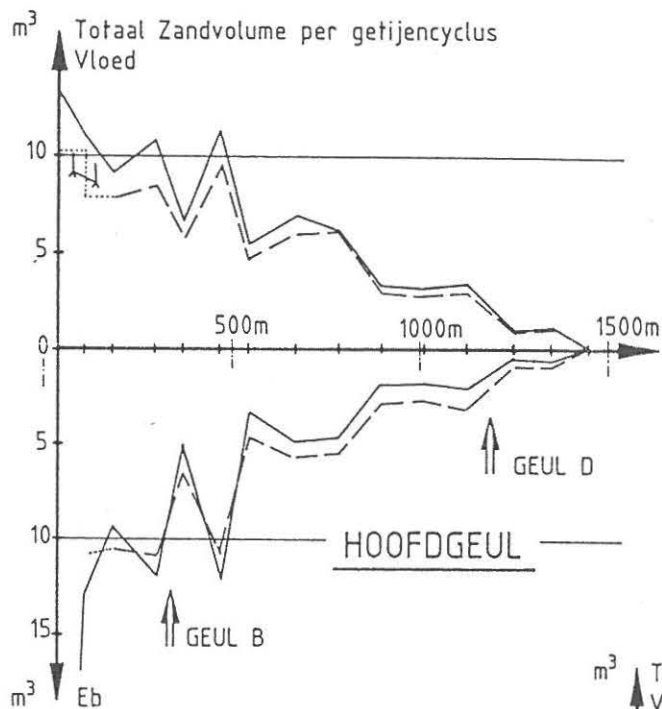




--- MET SPUIEN
— ZONDER SPUIEN

TOESTAND T11 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELDE GETIJENCYCLUS

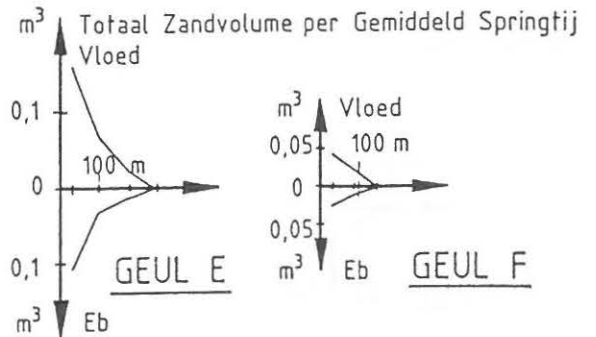
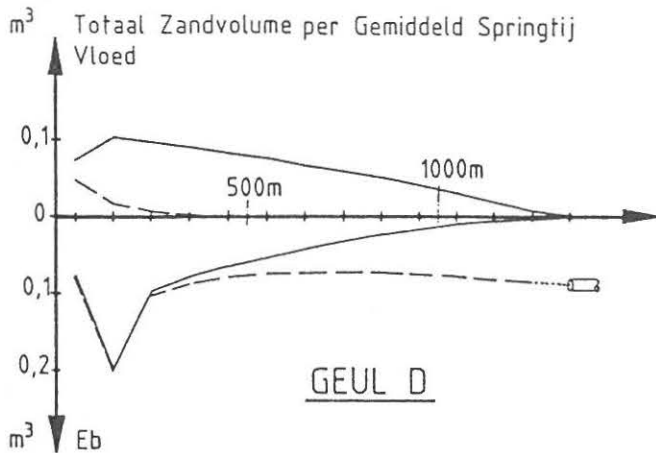
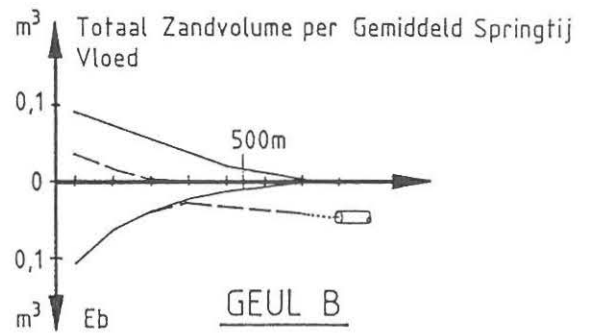
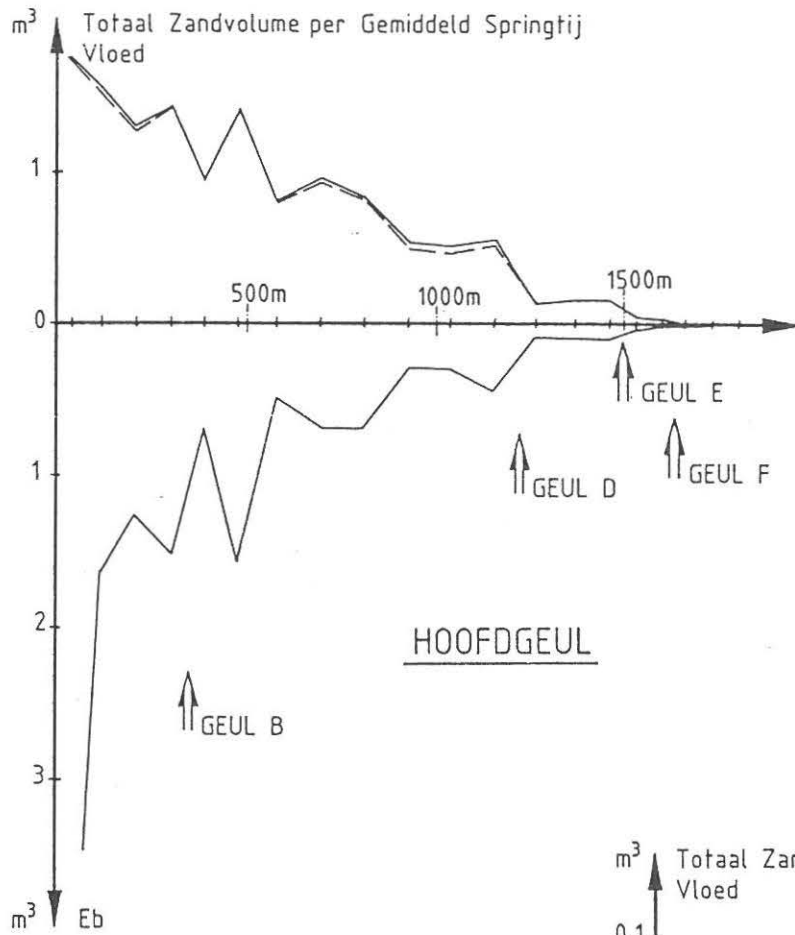
↔ spuiopening





— T0
- - - T12

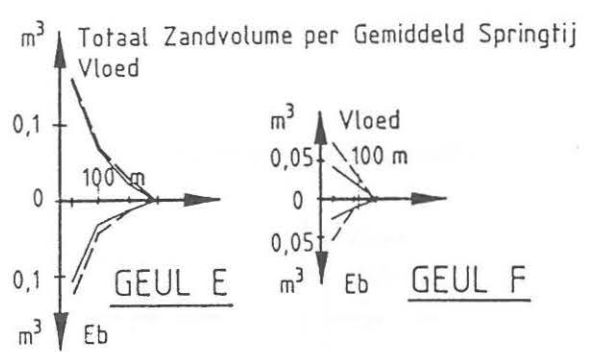
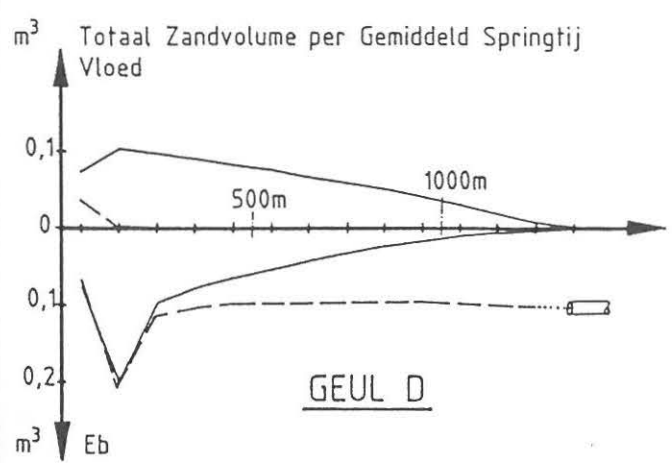
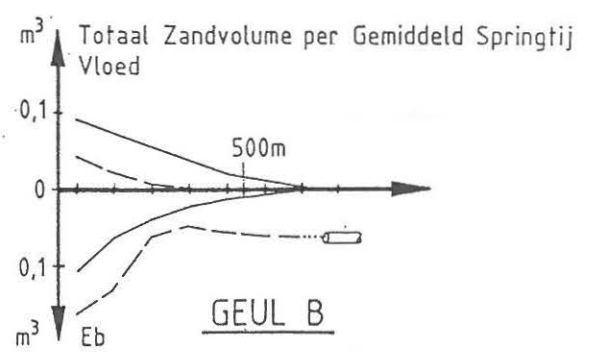
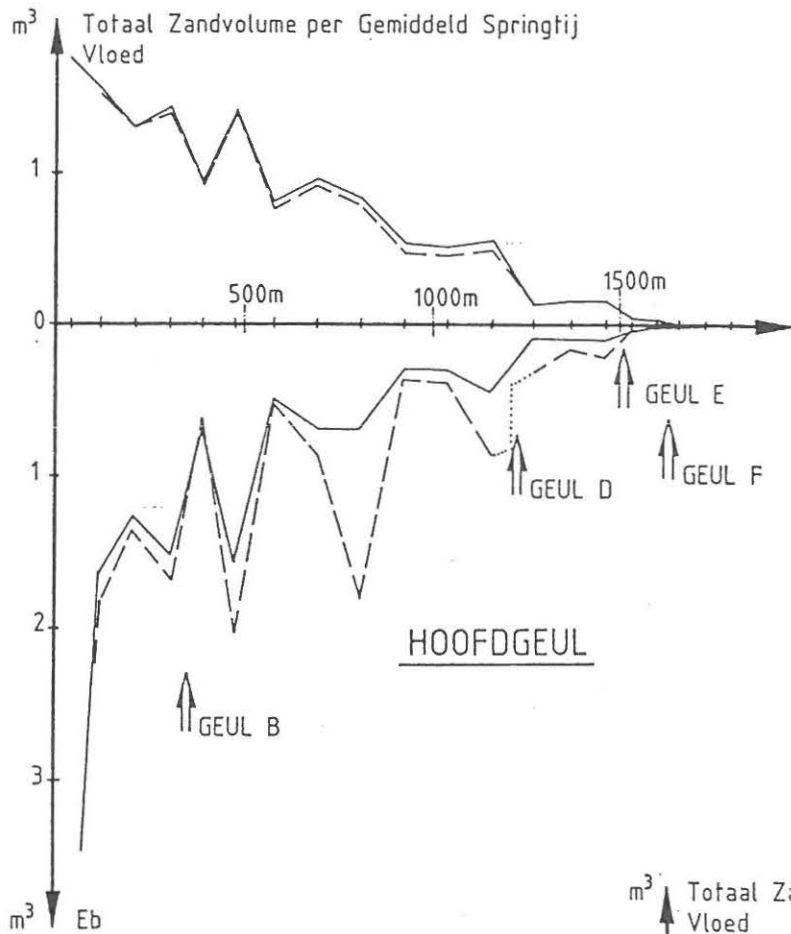
TOESTAND T12 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELD SPRINGTIJ





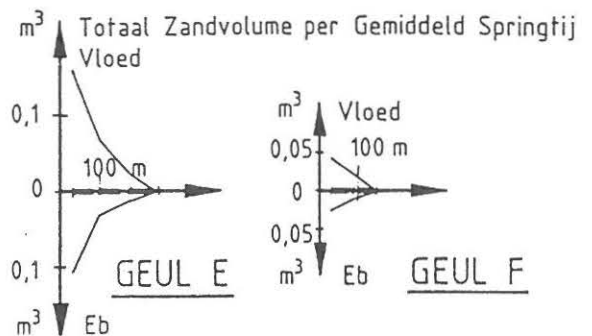
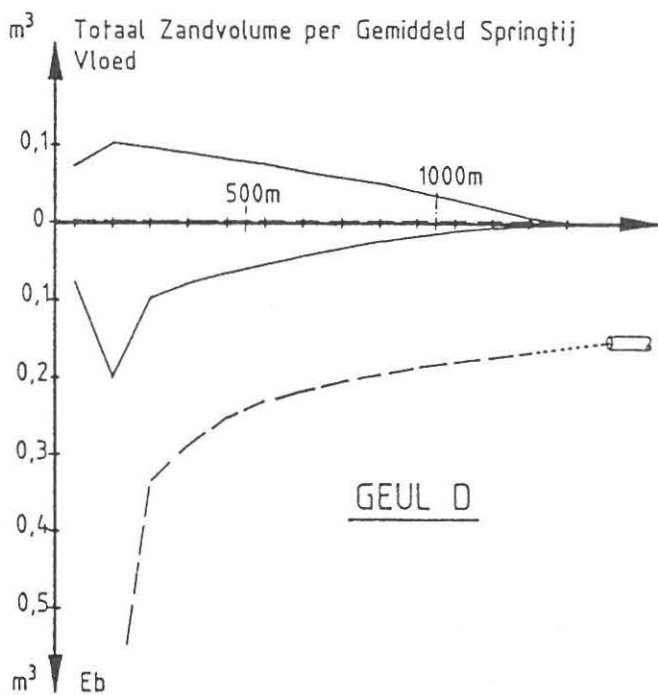
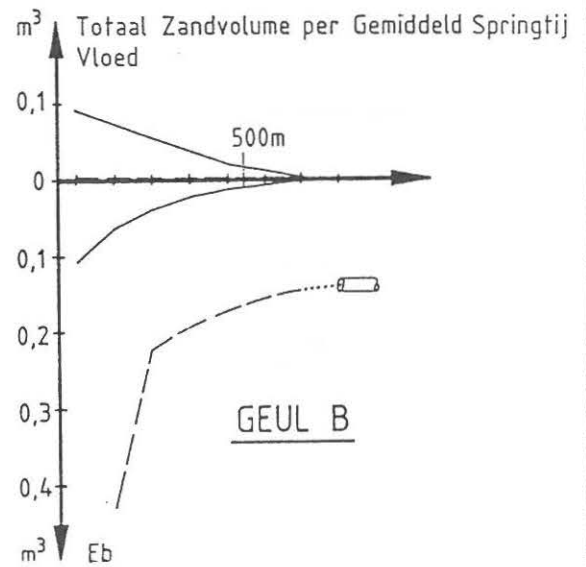
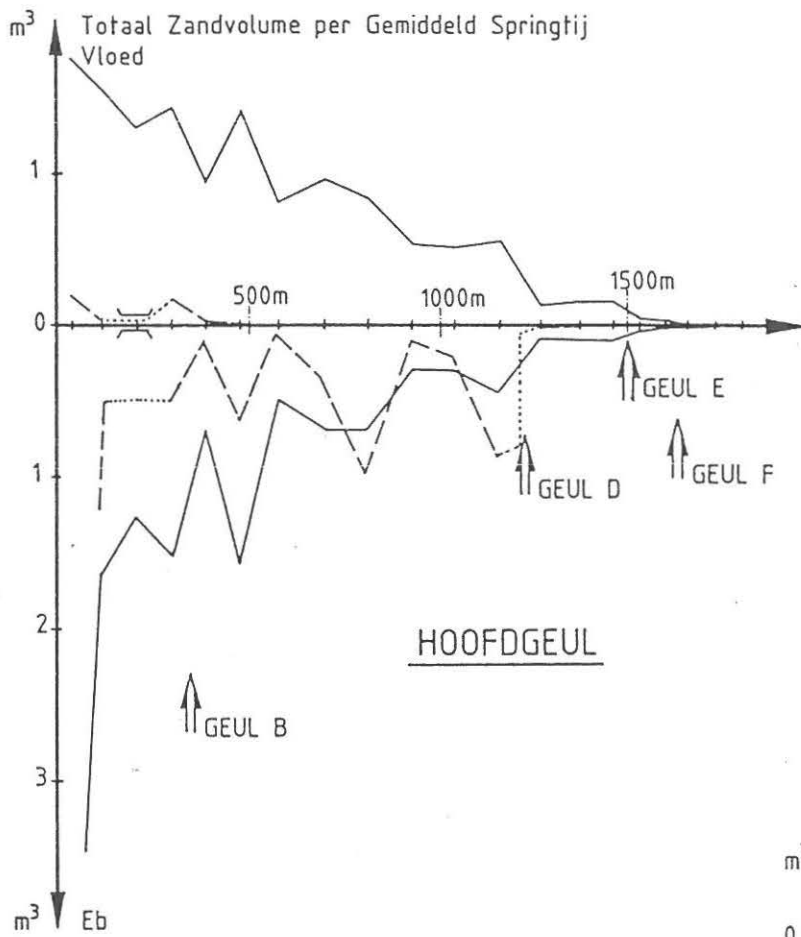
— T0
- - - T13

TOESTAND T13 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELD SPRINGTIJ



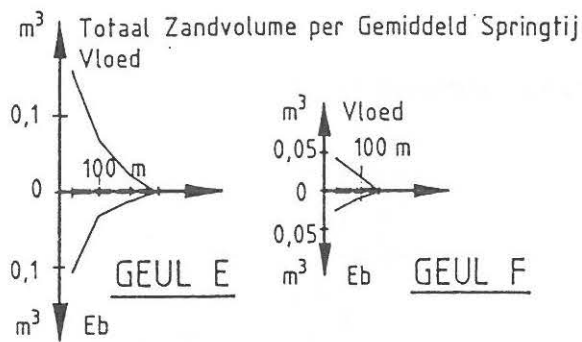
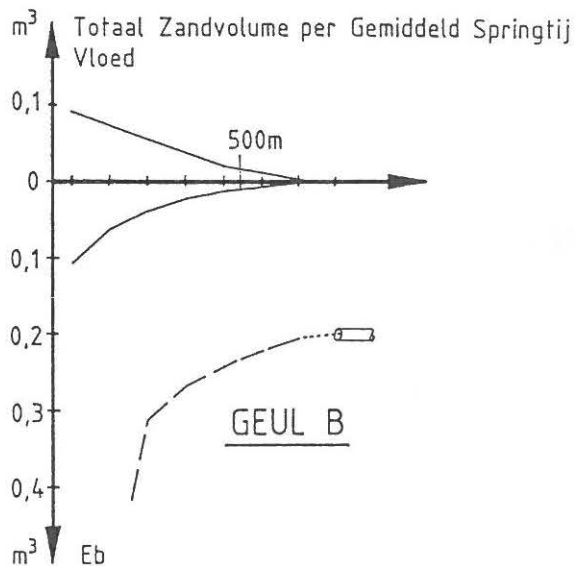
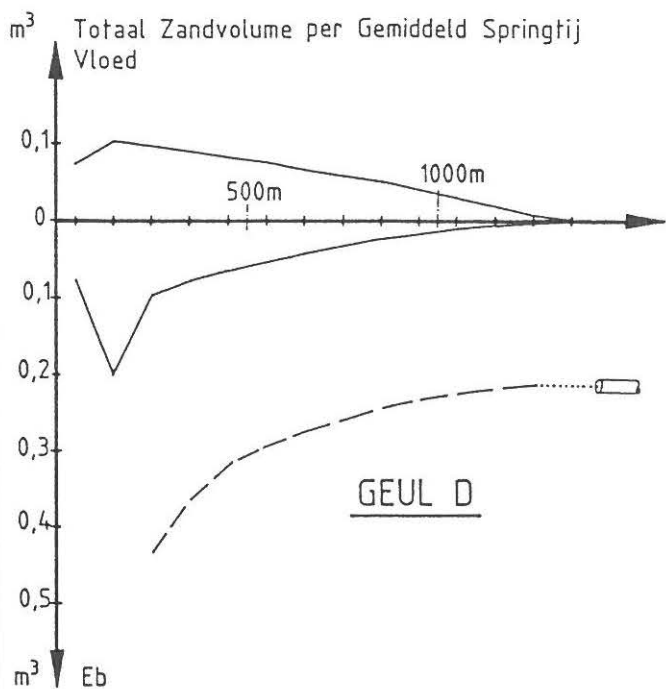
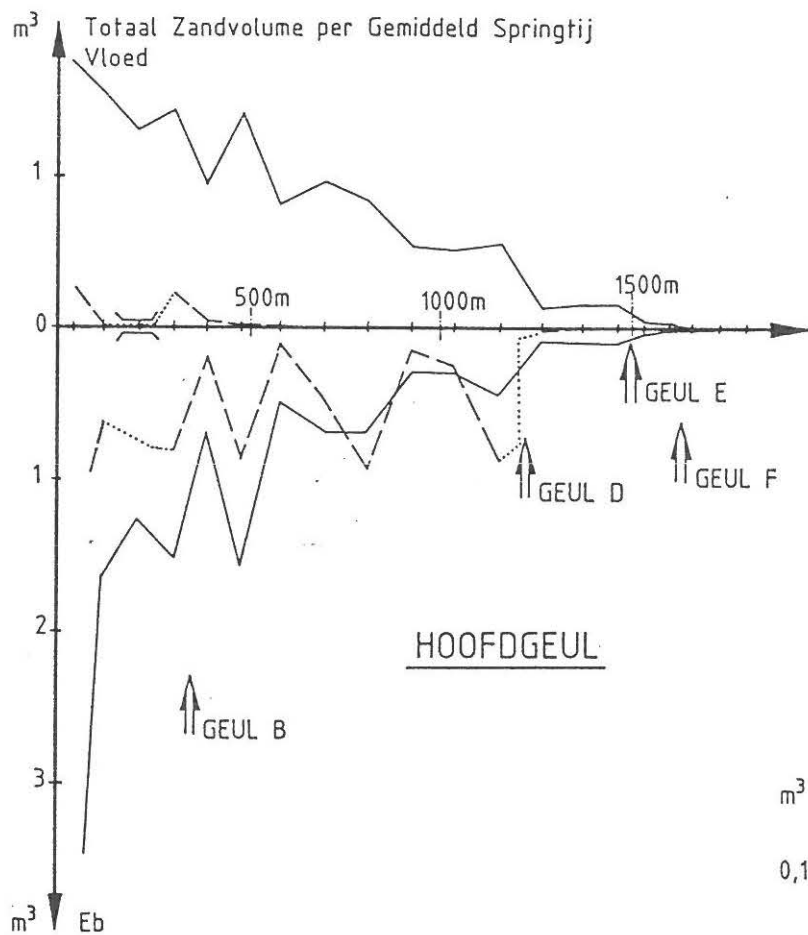
— T0
- - - T14

TOESTAND T14 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELD SPRINGTIJ



— T0
- - - T15

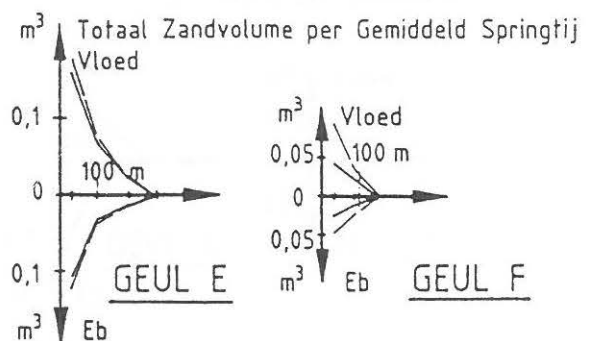
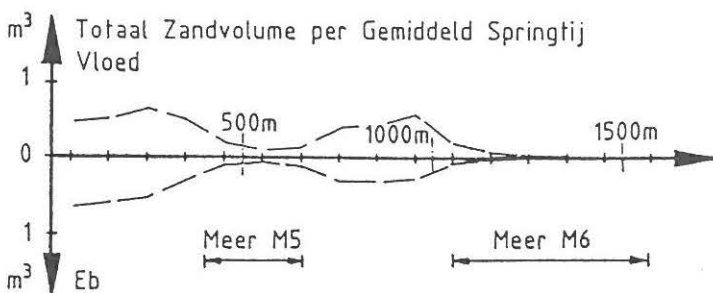
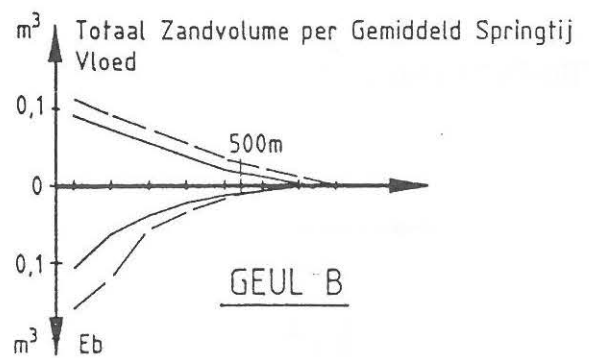
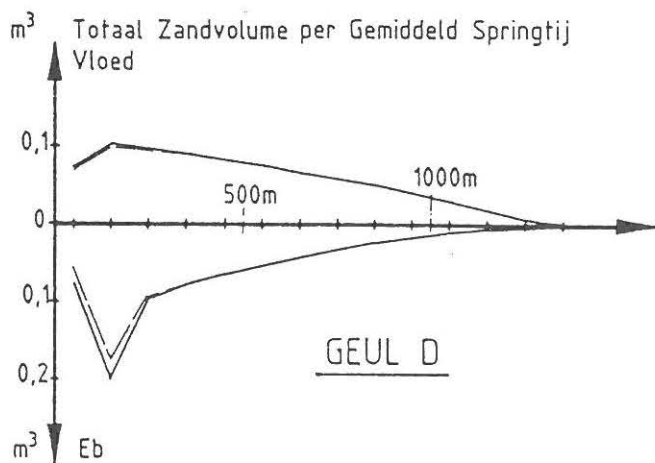
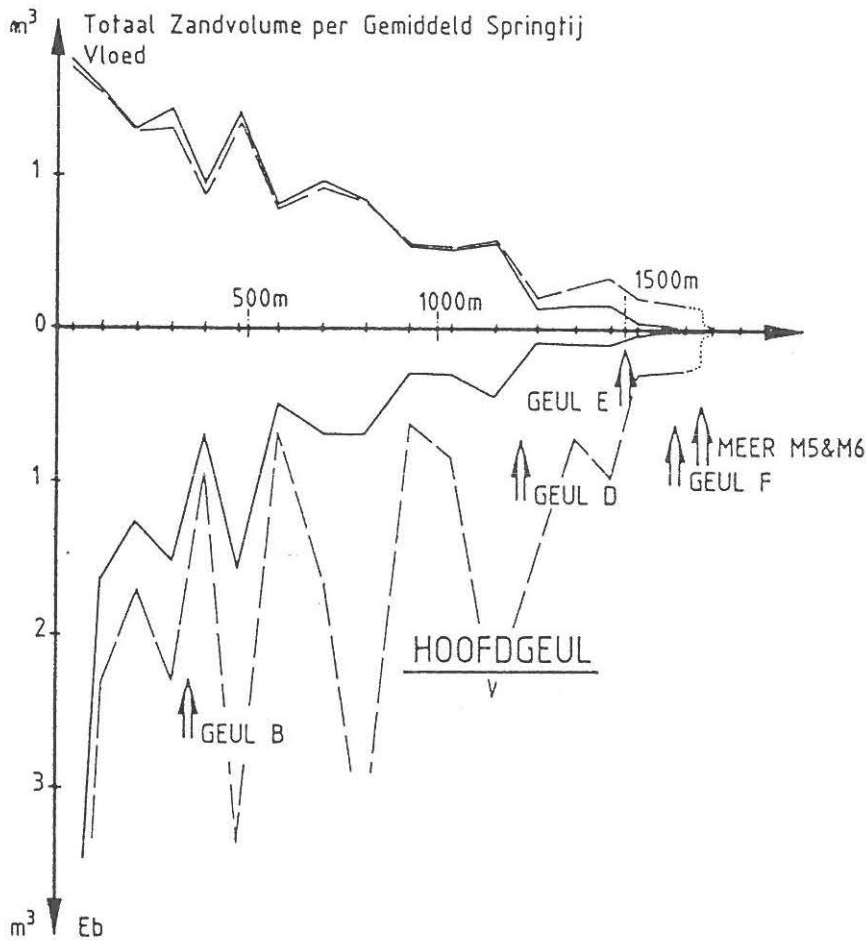
TOESTAND T15 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELD SPRINGTIJ





— T0
- - - T16

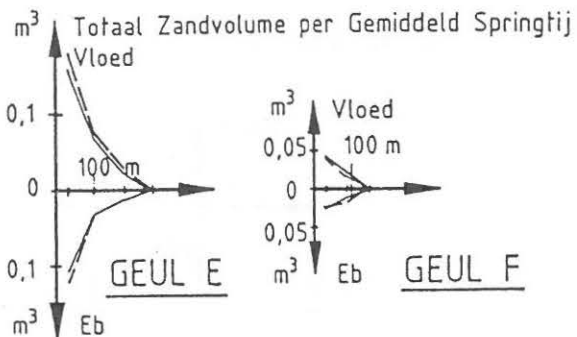
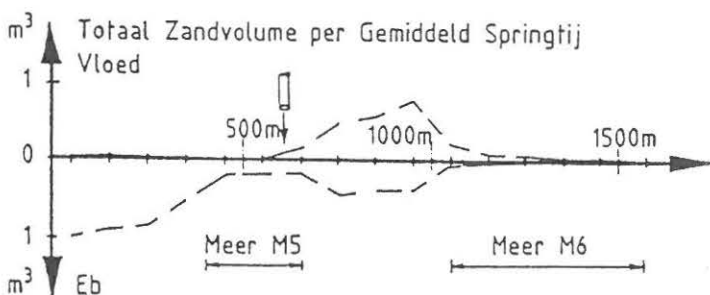
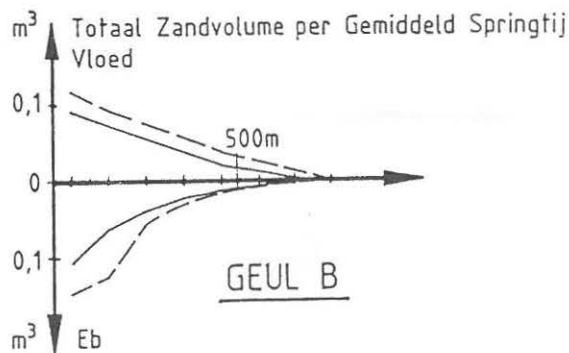
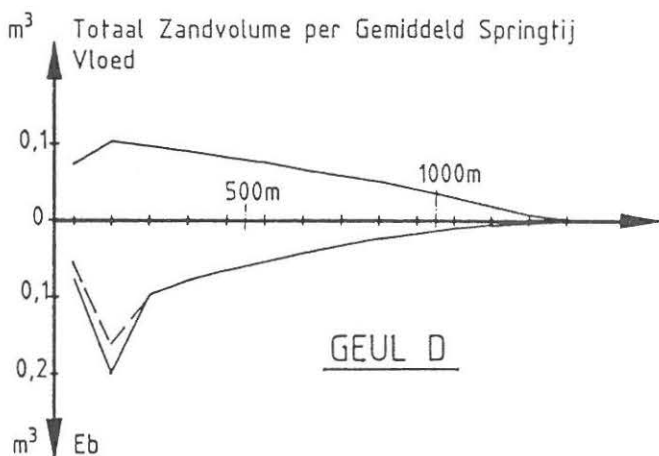
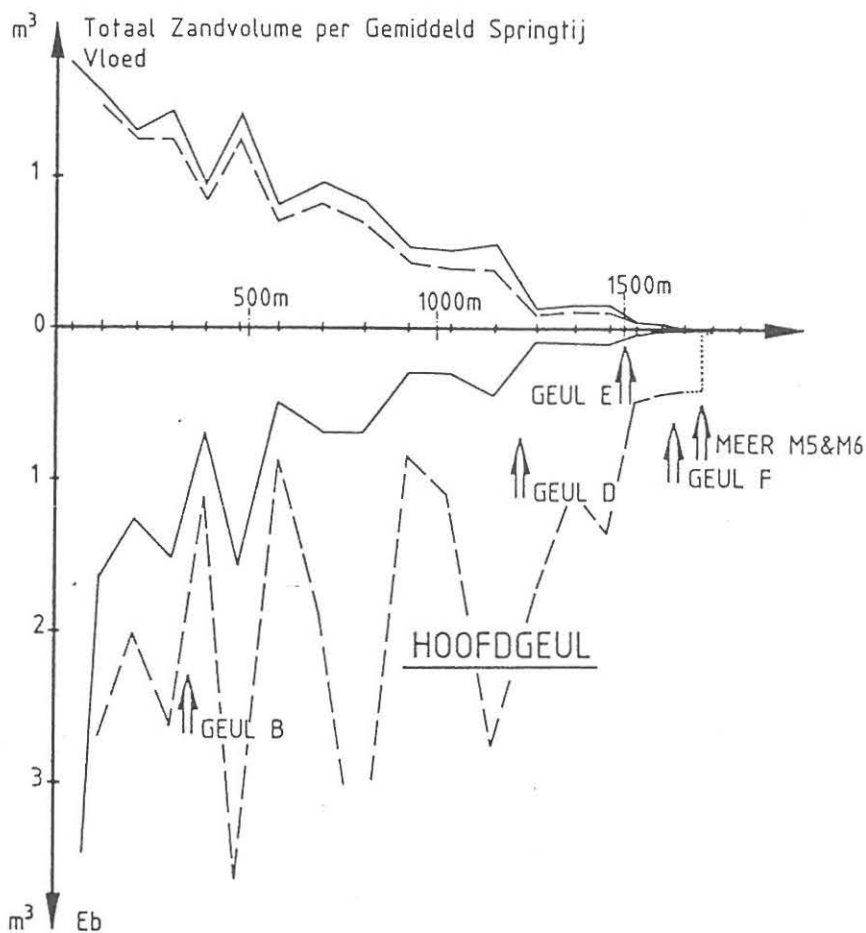
TOESTAND T16 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELD SPRINGTIJ





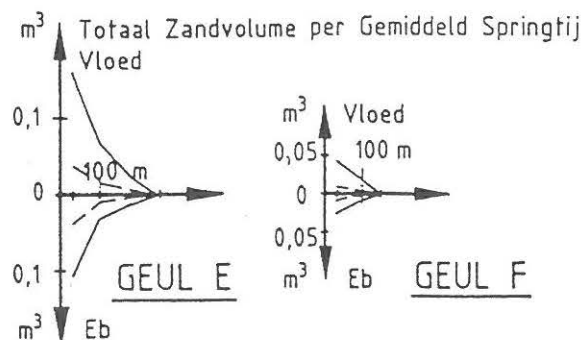
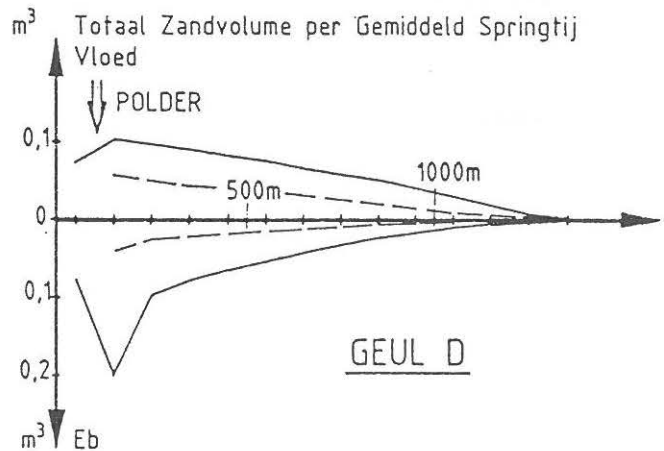
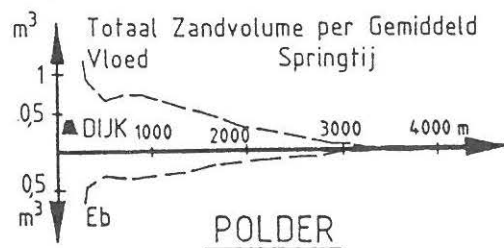
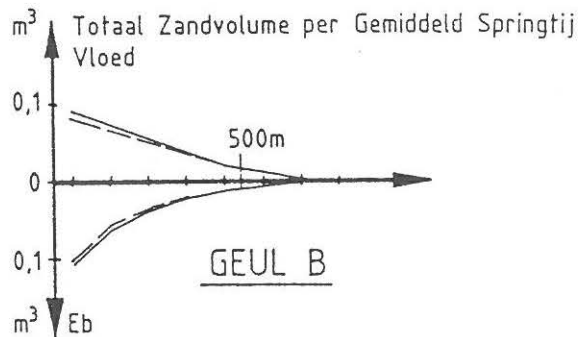
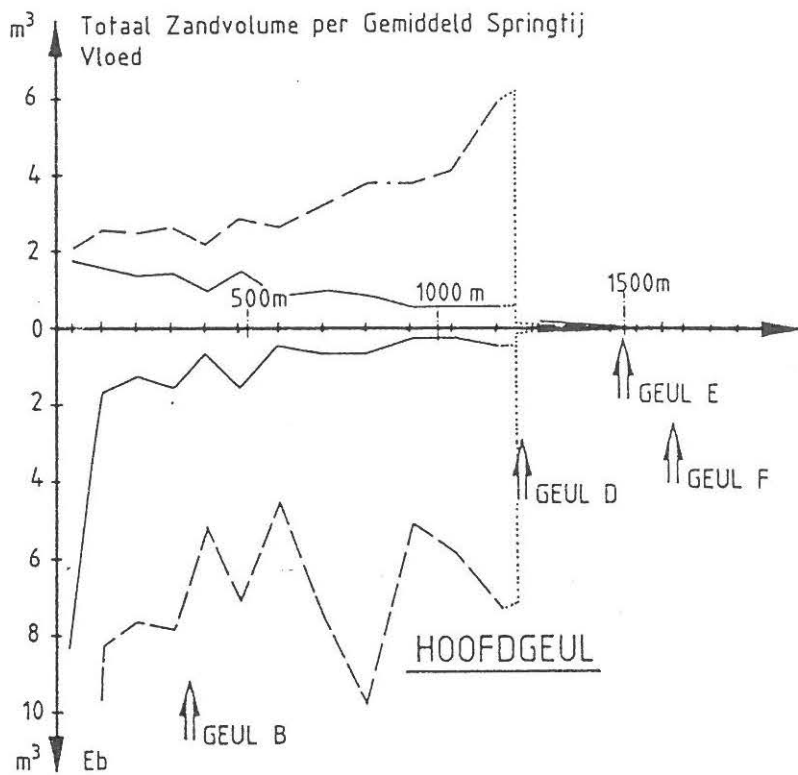
— T0
- - - T17

TOESTAND T17 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELD SPRINGTIJ



— T0
- - - T18

TOESTAND T18 ZANDTRANSPORT BIJ
GEMIDDELD SPRINGTIJ



Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout

Berchemlei 115
B-2140 Borgerhout (Antwerpen)
tel. 32(0)3/236 18 50
fax. 32(0)3/235 95 23

