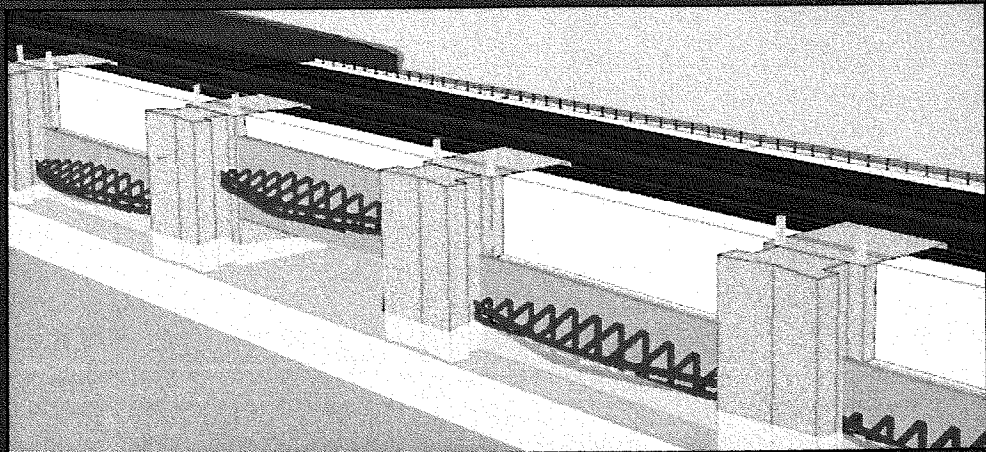
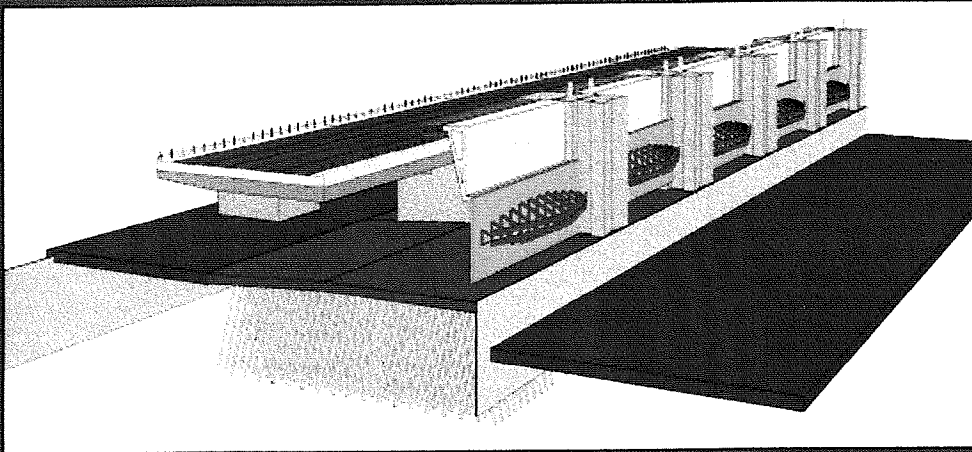


Ontwerpoptimalisering Spuisluis Afsluitdijk

Eindrapportage



Eindrapportage Afstudeeronderzoek

Optimalisatie van afmetingen spuiopeningen in
huidig voorontwerp van open spuisluis in Afsluitdijk.

Afstudeerbedrijf: Ministerie van Verkeer en Waterstaat Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Bouwdienst Rijkswaterstaat Griffioenlaan 2 Postbus 20000 3502 LA Utrecht	Contactpersoon afstudeerbedrijf: Ir. J. de Vries 030-2857647 Dr. ir. A. Vrijburcht 030-2857656
Onderwijsinstituut: Technische Universiteit Delft (TUD) Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen Subfaculteit Civiele Techniek Sectie Constructieve Waterbouwkunde Stevinweg 1, 2628 CN Delft Postbus 5048, 2600 GA Delft telefoon: 015-2785440 fax: 015-2787966	Afstudeercommissie: Prof. drs. ir. J.K. Vrijling (TUD) Dr. ir. A. Vrijburcht (RWS) Dr. ir. S. van Baars (TUD) Dr. ir. H.L. Fontijn (TUD)
	Student: Alain Maas Koornmarkt 21b 2611 EA Delft 030-2857641 / 06-24594784 studienr. 9536505 a.a.j.s.maas@bwd.rws.minvenw.nl

VOORWOORD

Dit afstudeerverslag vormt het laatste onderdeel van mijn studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft.

Mijn grote dank gaat uit naar mijn afstudeerbegeleiders, de heren Vrijling, van Baars en Fontijn van TU-Delft en de heer Vrijburcht van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Ook de heren Jansen, de Vries en van Schaik van de Bouwdienst wil ik bedanken voor hun begeleiding tijdens mijn afstudeertraject.

Graag wil ik ook van deze gelegenheid gebruik maken eenieder te bedanken die anderszins hulp en steun heeft geboden bij de totstandkoming van dit afstudeerwerk, in het bijzonder Erik, Reinder, David, Dion en Nick.

Tenslotte zou ik ook iedereen willen bedanken van de afdeling NIC van de Bouwdienst te Utrecht voor de mooie gelegenheid om hier mijn afstudeeropdracht uit te voeren.

Alain Maas
Utrecht, december 2002

SAMENVATTING

Voorspellingen van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) over veranderingen in klimaat en bodemdaling geven aan dat de stijging van de zeespiegel, gecombineerd met de bodemdaling, in Nederland kan leiden tot een relatieve zeespiegelstijging van 25 cm tussen het jaar 2000 en 2050. Een ander verwacht effect van de klimaatsverandering is dat er in de winter meer neerslag valt en dat de rivieren daardoor meer water afvoeren. De combinatie van deze effecten leidt tot een aantal knelpunten in het waterhuishoudkundig hoofdsysteem in Nederland. Eén van de knelpunten is de spuicapaciteit in de Afsluitdijk. Er worden problemen gesignaleerd bij de handhaving van het winterstreefpeil van het IJsselmeer in de huidige situatie en een toename van deze problemen in de toekomst.

Daarom is door de Bouwdienst Rijkswaterstaat in opdracht van en in overleg met Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied een studie uitgevoerd naar een ontwerp voor een nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk. Momenteel (december 2002) wordt gewerkt aan de afronding van de voorontwerpfase. In de aanloop naar het definitief ontwerp wordt continu (cyclisch) gezocht naar optimalisaties. Dit rapport beoogt hierin bij te dragen door de spuisluis uit het voorontwerp van de Bouwdienst (VO) te optimaliseren voor de afmetingen van de spuiopeningen, bij gegeven randvoorwaarden, uitgangspunten en eisen.

Hiertoe wordt de relatie gekwantificeerd tussen de afmetingen van de spuiopeningen en het totaal van bouw- en beheerskosten (Life Cycle Costs) van de spuisluis bij een gegeven spuicapaciteit. De afmetingen van de spuiopeningen worden hiertoe uitgesplitst in de volgende vrijheidsgraden:

- De breedte van de schuiven
- Niveau spuisluisbodembodem
- Hoogte van de schuiven

Variaties in deze vrijheidsgraden veroorzaken veranderingen voor veel delen van de spuisluis. Om deze veranderingen eenduidig te benoemen en gescheiden te kunnen behandelen, worden hoofdonderdelen benoemd. Voor de afzonderlijke hoofdonderdelen van de spuisluis wordt systematisch afgeleid wat de constructieve veranderingen zijn als gevolg van variatie in de vrijheidsgraden. De constructieve veranderingen worden vervolgens uitgedrukt in geld (kosten = hoeveelheden * eenheidsprijs), waarmee voor ieder hoofdonderdeel de relatie wordt gelegd tussen variatie in de vrijheidsgraden en de kosten van dat hoofdonderdeel. De optelsom van alle relaties voor alle hoofdonderdelen vormt de gezochte relatie tussen de afmetingen van de spuiopeningen en de kosten van de spuisluis. Deze relatie wordt benoemd als de doelfunctie.

Variaties in de vrijheidsgraden veroorzaken behalve constructieve veranderingen ook veranderingen in de hydraulische aspecten en de benodigde netto spuibreedte. De effecten worden berekend aan de hand van een één-dimensionale schematisatie van de stroming op basis van continuïteits- en energievergelijkingen.

De relaties tussen de vrijheidsgraden en de constructieve en hydraulische veranderingen vormen de invoer voor het optimaliseringsmodel. In dit model worden de Life Cycle Costs van de spuisluis berekend als functie van de eerste twee vrijheidsgraden. De resultaten van dit model bestaan uit de vaststelling van de optimale combinatie van aantal schuiven, schuifbreedte en bodemligging, de kostenopbouw en -verdeling naar disciplines en hoofdonderdelen en een gevoeligheidsanalyse omtrent het optimum.

Vervolgens wordt afgewogen in hoeverre de berekende optimale configuratie verder kan worden verbeterd door te variëren met het niveau van de onderkant van de bovenbalk. De kosteneffecten van variatie in het niveau van de onderkant van de bovenbalk worden gekwantificeerd en gepresenteerd. Verdere studies naar de mogelijkheden voor het niveau van de onderkant van de bovenbalk in verband met de optredende golfklappen zullen moeten uitwijzen welk niveau haalbaar is en welke financieel optimaal is.

Nieuwe berekeningen van het RIZA hebben aangetoond dat in het VO niet 165 meter netto spuibreedte nodig is, maar dat volstaan kan worden met 143 meter. Dit is het gevolg van verdergaande detaillering van het onderzoeksmodel, waardoor onzekerheden en marges kunnen worden weggenomen. Dit nieuwe uitgangspunt is geïmplementeerd in het optimaliseringsmodel en het bijbehorende nieuwe optimum is berekend en gepresenteerd.

Een samenvatting van de resultaten is in onderstaande tabellen weergegeven.

Oude situatie NB(VO)=165m	VO Bouwdienst	Berekende optimale configuratie	Aanbevolen optimale configuratie
Aantal schuiven	5 stuks	6 stuks	6 stuks
Breedte schuiven	33 m	26,6 m	27,6 m
Niveau bodem	-6,50 m NAP	-6,75 m NAP	-6,50 m NAP
Life Cycle Costs	177,32 mln €	176,15 mln €	176,72 mln €
Kostenvoordeel	-	1,17 mln €	0,60 mln €

Nieuwe situatie NB(VO)=143m	VO Bouwdienst	Berekende optimale configuratie	Aanbevolen optimale configuratie
Aantal schuiven	5 stuks	5 stuks	5 stuks
Breedte schuiven	33 m	27,7 m	28,8 m
Niveau bodem	-6,50 m NAP	-6,75 m NAP	-6,50 m NAP
Life Cycle Costs	177,32 mln €	163,93 mln €	164,15 mln €
Kostenvoordeel	-	13,39 mln €	13,17 mln €

Het verschil tussen de berekende en de aanbevolen optimale configuratie ontstaat door een pragmatische interpretatie van de resultaten; Bij een onveranderd niveau van de bodemligging van de spuisluis als in het voorontwerp (-6,50 m NAP), kan bespaard worden op ontwerpkosten in de detailontwerpfase. Vooral in de nieuwe situatie (onderste tabel) is het verschil in kostenvoordeel tussen de bodemligging in het VO en de berekende optimale bodemligging klein en wordt geadviseerd de bodemligging van het VO aan te houden.

Aanbevolen wordt meer (schaal)modelonderzoek uit te voeren naar het optreden van golfklappen tegen de bovenbalken en de schuiven en naar alternatieve mogelijkheden voor het bovenbalkontwerp. Tenslotte wordt aanbevolen de extra tijdsinvestering in de detailontwerpfase per hoofdonderdeel en discipline proportioneel te verdelen naar het berekende kostenaandeel in de totale kosten van de spuisluis.

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord	i
Samenvatting	ii
Inhoudsopgave	iv
Lijst met tabellen en figuren	viii
1. INLEIDING	6
1.1 Projectomschrijving spuisluis Afsluitdijk.....	6
1.2 Opbouw van het rapport.....	7
2. PROBLEMBESCHRIJVING	8
2.1 Probleemanalyse	8
2.2 Probleemstelling.....	9
2.3 Doelstelling.....	9
3. RANDVOORWAARDEN EN UITGANGSPUNTEN	12
3.1 Inleiding.....	12
3.2 Randvoorwaarden.....	12
3.3 Uitgangspunten.....	19
3.4 Programma van eisen.....	20
4. BESCHRIJVING SPUISLUISCOMPLEX	24
4.1 Inleiding.....	24
4.2 Bestaande spuisluizen	24
4.3 Voorontwerp nieuwe spuisluis	27
4.4 Karakteristieken spuisluizen	30
5. OPSTELLEN DOELFUNCTIE	32
5.1 Inleiding.....	32
5.2 Beschrijving hoofdonderdelen spuisluis.....	33
5.3 Beschrijving hoofdvariabelen.....	37
5.3.1 Definitie hoofdvariabelen	37
5.3.2 Aantal schuiven	38
5.3.3 Niveau bodem spuisluis	39
5.3.4 Niveau onderkant bovenbalk	40
5.4 Beschrijving opbouw kosten.....	41
5.5 Doelfunctie	41
6 INVLOED HOOFDVARIABLEN OP NETTO SPUIBREEDTE	44
6.1 Werkwijze.....	44
6.2 Aantal schuiven	46
6.3 Niveau bodem spuisluis	47
6.3.1 Debiet per strekkende meter.....	47
6.3.2 Spuivenster.....	50
6.4 Niveau onderkant bovenbalk.....	51

7. INVLOED VAN AANTAL SCHUIVEN EN BODEMLIGGING OP HOOFDONDERDELEN	54
7.1 Werkwijze.....	54
7.2 Overzicht.....	55
7.3 Discipline Constructieve Waterbouw.....	57
7.4 Discipline Staal.....	61
7.5 Discipline Bruggen	64
7.6 Discipline Installatietechniek / Werktuigbouwkunde	67
7.7 Discipline Waterbouw	70
7.8 Discipline Uitvoering.....	72
7.9 Overige	75
8. RESULTATEN OPTIMALISEREN VAN AANTAL SCHUIVEN EN BODEMLIGGING.....	78
8.1 Inleiding.....	78
8.2 Optimale afmetingen.....	78
8.3 Kostenopbouw bij optimale afmetingen	81
8.3.1 Invullen kostentabel.....	81
8.3.2 Kostendiagrammen: Kosten disciplines t.o.v. totaalkosten	83
8.3.3 Kostendiagrammen: Kosten hoofdonderdelen t.o.v. kosten disciplines.....	85
8.3.4 Kostendiagrammen: Kosten hoofdonderdelen t.o.v. totaalkosten	86
8.4 Interpretatie resultaten	86
8.5 Gevoeligheidsanalyse.....	87
9. INVLOED VAN NIVEAU VAN ONDERKANT BOVENBALK OP DE KOSTEN	90
9.1 Inleiding.....	90
9.2 Minimaal niveau onderkant bovenbalk.....	90
9.3 Invloed niveau onderkant bovenbalk op het optreden van golfklappen.....	93
9.4 Kosteneffecten van variatie in niveau onderkant bovenbalk.....	94
10. NIEUWE SITUATIE: ONTWIKKELINGEN BINNEN VO.....	98
10.1 Beschrijving nieuwe situatie	98
10.2 Invoer in model.....	98
10.3 Optimale afmetingen voor nieuwe situatie.....	99
10.4 Overige actuele ontwikkelingen.....	100
11. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	102
11.1 Conclusies.....	102
11.2 Aanbevelingen.....	103
Literatuurlijst.....	104

Bijlagen (apart rapport)

1. Stromingsmodel in MathCad
2. Invloed aantal pijlers op benodigde netto spuibreedte
3. Invloed bodemligging op benodigde netto spuibreedte
4. Invloed bodemligging via spuitijd op benodigde netto spuibreedte
5. Voorbeeld spuicyclus

6. Invloed bodemligging op niveau onderkant bovenbalk
7. Afleiding formules en schematisaties
8. Excel reketabellen
9. Optimalisatie model in MathCad
10. Afleiding eenheidsprijzen
11. Voorontwerp met nieuwe gegevens : NB=143m i.p.v 165m
 - 11-1. Invloed bodemligging op benodigde netto spuubreedte
 - 11-2. Invloed bodemligging via spuitijd op benodigde netto spuubreedte
 - 11-3. Optimalisatie model in MathCad voor NB(VO) = 143m
12. Gevoeligheidsanalyse



LIJST MET FIGUREN EN TABELLEN

Figuur	Bladzijde	
2.1	8	Projectlocatie
3.1	13	Ontwikkeling zeespiegel- en meerpeilstijging
3.2	17	Gegevens Grondonderzoek
3.3	18	Ligging Bodem en Geulen
4.1	24	Overzichtsfoto Bestaande Spuisluizen
4.2	25	Geleiding Schuiven
4.3	25	Ophanging Schuiven
4.4	26	Aanzicht Heftorens van Lorentz- Sluizen
4.5	26	Indruk Spuikoker
4.6	27	Spuisluis in VO, zicht vanaf Waddenzee
4.7	28	Spuisluis in VO, zicht vanaf IJsselmeer
4.8	28	Dwarsdoorsnede Spuisluis in VO
4.9	29	Bovenaanzicht Spuisluis in VO
5.1	33	Overview spuisluizencomplex
5.2	34	3D figuur met benoeming hoofdonderdelen
5.3	34	3D figuur met doorsnede en benoeming hoofdonderdelen
5.4	38	Schematisatie veranderingen in hoofdvariabele n
5.5	39	Schematisatie veranderingen in hoofdvariabele N2
5.6	40	Schematisatie veranderingen in hoofdvariabele N1
6.1	44	Modellering stroombeeld
6.2	47	Invloed aantal pijlers op spuidebiet spuisluis
6.3	49	Invloed bodemligging op netto spuibreedte
6.4	51	Compensatie in netto spuibreedte door verandering spuivenster
7.1	57	Overzichtsfiguur discipline Constructieve Waterbouw
7.2	60	Kosten discipline Constructieve Waterbouw
7.3	61	Overzichtsfiguur discipline Staal
7.4	63	Kosten discipline Staal
7.5	64	Overzichtsfiguur discipline Bruggen
7.6	66	Kosten discipline Bruggen
7.7	67	Overzichtsfiguur discipline Installatietechniek
7.8	69	Kosten discipline Installatietechniek
7.9	70	Overzichtsfiguur discipline Waterbouw
7.10	71	Kosten discipline Waterbouw
7.11	72	Overzichtsfiguur discipline Uitvoering
7.12	74	Kosten discipline Uitvoering
8.1	79	3D grafiek van Life Cycle Costs van de spuisluis bij verschillende configuraties
8.2	80	2D grafieken van Life Cycle Costs van de spuisluis bij verschillende configuraties
8.3	83	Verhoudingen kosten disciplines
8.4	84	Cirkeldiagram verhoudingen kosten per discipline
8.5	85	Cirkeldiagrammen verhoudingen kosten hoofdonderdelen per discipline
8.6	86	Cirkeldiagrammen verhoudingen kosten hoofdonderdelen t.o.v. totaal kosten
8.7	87	Voorbeeldmarge van 1% ten opzichte van het berekende optimum
8.8	89	Resultaten gevoeligheidsanalyse

9.1	92	Invloed bodemligging op minimale niveau van onderkant bovenbalk
9.2	93	Golfklappen tegen de bovenbalk
9.3	96	Relatief effect van het niveau van de onderkant van de bovenbalk op de kosten
10.1	99	Totaalkosten spuisluis bij nieuwe situatie (NB(VO)=143m)

Tabel	Bladzijde	
3.1	13	Zeespiegel- en meerpeilsteiging
3.2	13	Ontwikkeling van streefpeil op IJsselmeer
3.3	14	Kansverdeling gemiddeld IJsselmeerpeil in 2050
3.4	14	Kansverdeling gevraagde spuicapaciteit
3.5	15	Maatgevende belastinggevallen tijdens spuien
3.6	15	Kansverdeling verval over spuisluis in spuisituatie
3.7	16	Kansverdeling verval over spuisluis in kerende situatie
3.8	16	Maatgevende belastinggevallen tijdens keren (uiterste grenstoestand)
4.1	30	Karakteristieken van bestaande spuisluizen en spuisluizen VO
5.1	33	Indeling spuisluis naar disciplines en hoofdonderdelen
5.2	37	Transformatie van vrijheidsgraden naar hoofdvariabelen
5.3	38	Effecten van veranderingen in het aantal schuiven
5.4	39	Effecten van veranderingen in het niveau van de bodem van de spuisluis
5.5	40	Effecten van veranderingen in het niveau van de onderkant van de bovenbalk
5.6	42	Samenstelling kostentabel
6.1	46	Invloed k-waarden op spuidebiet
6.2	48	Definitie spuiconditie
8.1	78	Posten en onderdelen van de staartkosten
8.2	81	Karakteristieken optimale configuratie
8.3	81	Kostentabel
8.4	82	Ingevulde kostentabel bij optimale spuisluis configuratie
8.5	87	Karakteristieken van de tien beste configuraties
8.6	88	Definitie scenario's
8.7	88	Resultaten gevoeligheidsanalyse
9.1	92	Minimale niveaus onderkant bovenbalk
9.2	95	Relatieve kostenverschillen voor stichtingskosten en Life Cycle Costs
10.1	99	Karakteristieken optimale configuratie bij nieuwe situatie

1. INLEIDING

1.1 Projectomschrijving Spuisluis Afsluitdijk

Voorspellingen van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) over veranderingen in klimaat en informatie betreffende bodemdaling geven aan dat de stijging van de zeespiegel, gecombineerd met de bodemdaling, kan leiden tot een relatieve zeespiegelstijging van 25 cm tussen het jaar 2000 en 2050 in Nederland. Een ander verwacht effect van de klimaatsverandering is dat er in de winter meer neerslag valt en dat de rivieren daardoor meer water afvoeren. In de zomer wordt juist een afname van de rivierafvoeren verwacht.

Mede op basis van de resultaten van uitgevoerde studies naar de consequenties van deze klimaatveranderingen startten de directies IJsselmeergebied, Utrecht en Noord-Holland van de Rijkswaterstaat in 1997 het project "Waterhuishouding in het Natte Hart" (WIN). Geconstateerd werd dat het waterhuishoudkundig hoofdsysteem in Nederland een aantal knelpunten bevat die tevens doorwerken in de regionale watersystemen.

Eén van deze knelpunten is de spuicapaciteit in de Afsluitdijk. Er worden problemen gesignaleerd bij de handhaving van het winterstreefpeil van het IJsselmeer in de huidige situatie. Zeespiegelstijging, bodemdaling en een stijgende winterafvoer van de IJssel zullen ertoe leiden dat met de huidige spuisluizen het winterpeil op den duur nog moeilijker gehandhaafd zal kunnen worden.

De Commissie Waterbeheer 21^e eeuw heeft op 31 augustus 2000 haar advies over toekomstig waterbeheer in Nederland uitgebracht. In dit advies zijn de belangrijkste bevindingen uit de WIN-studie overgenomen. Zo beschouwt de Commissie uitbreiding van de spuicapaciteit in de Afsluitdijk als een "geen-spijt-maatregel". Een keuze voor een gemaal op de Afsluitdijk wijst de commissie af uit het oogpunt van duurzaamheid en hoge exploitatiekosten. Streven is het water uit het IJsselmeer zo lang mogelijk onder vrij verval te blijven lozen, waarvoor uitbreiding van de spuicapaciteit op korte termijn nodig is. Op basis van deze besluiten beperkt Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied (RDIJ) de planstudie voor extra spui/gemaalcapaciteit tot de voorbereiding van de bouw van nieuwe spuisluizen.

In het kader van deze planstudie is door de Bouwdienst Rijkswaterstaat in opdracht van en in overleg met Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied een studie uitgevoerd naar ontwerpopties voor spuumiddelen in de Afsluitdijk. Uit oriënterend onderzoek komt naar voren dat het ontwerp hiervoor sterk gestuurd wordt door veel, vaak tegenstrijdige, wensen en eisen: Niet alleen verschillen in civiele aanlegkosten (afhankelijk van bijvoorbeeld hydraulische eigenschappen, bodemverdediging, uitvoering) zijn belangrijk, maar evenzo de verschillen in lifecyclekosten (afhankelijk van bijvoorbeeld gefaseerde uitvoering en onderhoud), de betrouwbaarheid van het systeem als spui (afhankelijk van bijvoorbeeld rendementsgarantie op termijn) en de betrouwbaarheid als primaire waterkering (bijvoorbeeld weigerende schuiven) wegen mee. Belangrijke punten van aandacht zijn ook de verschillen in effecten op milieu (bijvoorbeeld zoet-zout vervuiling) en omgeving (bijvoorbeeld ontgrondingskuilen) en de mitigerende en compenserende maatregelen die daartegenover getroffen worden. Dit maakt de totstandkoming van een weloverwogen ontwerp tot een multidisciplinaire studie.

Momenteel (december 2002) wordt gewerkt aan de afronding van de voorontwerpfase. In de aanloop naar het definitief ontwerp is het belangrijk om zorgvuldig en continu (cyclisch) te

zoeken naar optimalisaties. Dit rapport beoogt hierin bij te dragen door de spuisluis uit het voorontwerp te optimaliseren voor de afmetingen van de spuiopeningen.

1.2 Opbouw van het rapport

Dit rapport bestaat uit 11 hoofdstukken, waarvan hoofdstuk 1 bovenstaande inleiding betreft. In hoofdstuk 2 worden de probleem- en doelstelling besproken. Hoofdstuk 3 gaat in op de randvoorwaarden, uitgangspunten en eisen voor het ontwerp van de spuisluis. Hoofdstuk 4 beschrijft de huidige spuisluizen en het voorontwerp van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat voor het nieuwe spuicomplex. In hoofdstuk 5 wordt de opbouw van de spuisluis besproken aan de hand van een onderverdeling naar hoofdonderdelen. Tevens worden de hoofdvariabelen van de optimalisatie beschreven en wordt de te optimaliseren doelfunctie bepaald. Vervolgens worden in hoofdstuk 6 de relaties tussen de hoofdvariabelen en de benodigde netto spuibreedte bepaald. Hoofdstuk 7 beschrijft de relaties tussen de hoofdvariabelen en de hoofdonderdelen, afgeleid in de vorm van hoeveelheden materialen en materieel en geeft een indruk van de kosten. Hoofdstuk 8 gaat in op de optimalisatie van de combinatie van hoeveelheden en prijzen tot een ontwerp met minimale kosten. Ook het model dat opgezet is voor deze optimalisatie wordt besproken. In hoofdstuk 9 wordt de invloed van verandering van de ligging van de bovenbalk op de kosten beschouwd. Hoofdstuk 10 bespreekt de resultaten voor de laatste update van gegevens verstrekt door het RIZA.

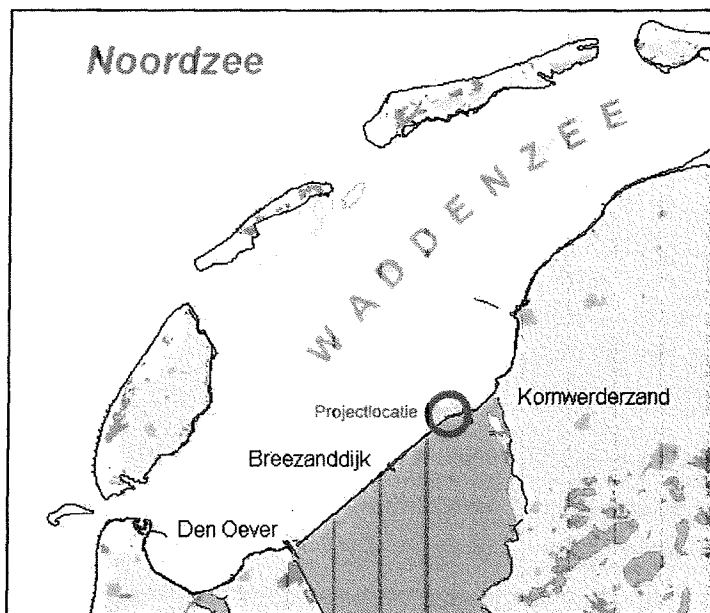
Vervolgens zullen in hoofdstuk 11 conclusies worden getrokken met betrekking tot het onderzoek en de resultaten. Ook zal getoetst worden of aan de doelstelling is voldaan en zullen aanbevelingen worden gedaan voor verder onderzoek.

Tenslotte zijn in de bijlagen alle afleidingen van formules, modelleringen en benaderingen opgenomen.

2. PROBLEEMBESCHRIJVING

2.1 Probleemanalyse

Met het doel het IJsselmeerpeil in de toekomst beter te kunnen beheersen, is een studie uitgevoerd naar ontwerptopties voor spuismiddelen. Deze studie is onderdeel van het Project Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk en Versterking Ecologische Samenhang (ES2) ten behoeve van spuicapaciteits-vergroting in de Afsluitdijk. De studie heeft geresulteerd in een voorstel tot het bouwen van een spuisluis met een maximum afvoercapaciteit die bijna net zo groot is als de huidige maximum afvoercapaciteit van de Lorentz- en Stevin spuisluizen samen. Als gevolg van de aanwezigheid van diepe stroomvoerende geulen en grote vervallen (lage laagwaters in de Waddenzee) is de locatie ter hoogte van de knik in de Afsluitdijk, twee km ten westen van Kornwerderzand als de meest geschikte locatie gekozen, zie figuur 1.



Figuur 2.1: Projectlocatie

In de aanloop naar de voorontwerpfase is door de Bouwdienst een variantenstudie uitgevoerd voor verschillende typen spuisluizen. Uit de varianten open spuisluis (met en zonder tusseneilanden), diepe koker, hevel en Venturisluis bleek na afweging dat de varianten "open spuisluis" (zonder tusseneilanden) en "diepe koker" de meeste potenties bezaten. Na verder onderzoek betreffende schuifbreedtes en bodemliggingen werd geconcludeerd dat de variant "open spuisluis" met schuifbreedtes in de orde van 30 meter en een bodemligging op een niveau van -6,50 meter NAP financieel gezien het meest aantrekkelijk is. De eigenschappen en effecten van deze variant zijn vervolgens verder onderzocht tot voorontwerpniveau.

In de voorontwerpfase is door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat eveneens een studie uitgevoerd naar de voor- en nadelen van de optie om het voorontwerp (VO) in eigen huis verder door te ontwikkelen tot een detailontwerp (DO). Deze optie kan aantrekkelijker zijn dan het eerdere idee van externe aanbesteding op basis van een Design and Construct Contract (DCC).

De uitkomsten van deze studie worden begin 2003 verwacht. Vooruitlopend op deze uitkomsten wordt gesteld dat het VO ofwel wordt gebruikt als grondslag voor de interne doorontwikkeling tot DO, danwel wordt gebruikt als referentieontwerp ten behoeve van toetsing van ontwerpen van externe marktpartijen. In beide gevallen bestaat vanuit de Bouwdienst de behoefte aan toetsing en verfijning van het VO, teneinde een solide en evenwichtig vergelijkingsontwerp te kunnen hanteren.

2.2 Probleemstelling

In de overgangsfase tussen voorontwerp en detailontwerp kan er een optimalisatieslag worden ingevoerd waarbij verder zal worden ingezoomd op de vormgeving (het ontwerp) van de open spuisluis. Het doel hiervan is het voorontwerp te optimaliseren, zodat de vereiste spuicapaciteit geleverd kan worden tegen de laagste kosten. Een onderdeel van deze vormgeving betreft de keuze van de afmetingen van de spuiopeningen. Deze afmetingen hebben een grote invloed op de aard van het ontwerp en de kosten van de spuisluis. In het voorontwerp van de Bouwdienst zijn deze afmetingen van de spuiopeningen vastgesteld op basis van uitkomsten van oriënterende onderzoeken en ervaringskennis van specialisten. Het effect van de afmetingen van de spuiopeningen op de kosten van de spuisluis is echter niet nader gekwantificeerd. Hierdoor kan niet voldoende worden onderbouwd of het gekozen ontwerp financieel gezien het meest aantrekkelijke ontwerp is en of dit ontwerp de basis voor het detailontwerp dient te zijn.

De probleemstelling van het onderzoek luidt:

In het voorontwerp van de spuisluis is het effect van de afmetingen van de spuiopeningen op de kosten van de spuisluis niet nauwkeurig gekwantificeerd, waardoor de afweging omtrent de optimale afmetingen van de spuiopeningen niet voldoende uitgediept is.

2.3 Doelstelling

Onderzoek naar betere ontwerpen of verbeteringen binnen het gekozen ontwerp kan leiden tot een goedkoper kunstwerk. Dit geldt zowel voor de directe bouwkosten (stichtingskosten) als de Life Cycle Costs (LCC, de totale kosten gedurende de levensduur van het kunstwerk). Een ontwerp met lagere stichtingskosten heeft door hogere onderhouds- en beheerskosten mogelijk toch een hogere LCC dan het in eerste instantie duurdere –maar minder onderhoudsgevoelige- ontwerp.

Zoals in de probleemstelling beschreven hebben de afmetingen van de spuiopeningen een grote invloed op de aard van het ontwerp en de kosten van de spuisluis. Het kwantificeren van de relatie tussen de afmetingen van de spuiopeningen en de kosten van de spuisluis is daarom een belangrijk hulpmiddel bij het optimaliseren van het ontwerp naar kosten.

Bovenstaande leidt, in combinatie met de probleemstelling, tot de doelstelling van dit afstudeeronderzoek:

Het bepalen van de afmetingen van de spuiopeningen, waarbij het totaal van bouw- en beheerskosten (LCC) van het spuicomplex (bij een gegeven spuicapaciteit) minimaal is.

De afmetingen van de spuiopeningen worden hiertoe uitgesplitst in de volgende vrijheidsgraden:

- De breedte van de schuiven
- Niveau spuisluisbodem (=het niveau van de onderzijde van de gesloten schuif)
- Hoogte van de schuiven



3. RANDVOORWAARDEN EN UITGANGSPUNTEN

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de randvoorwaarden, uitgangspunten en eisen behandeld. Randvoorwaarden zijn niet-beïnvloedbare factoren waarop het ontwerp moet worden afgestemd. Deze factoren worden door de omgeving en de natuur bepaald, zoals bijvoorbeeld waterstanden, bodem- en grondgegevens en de ontwikkeling van het klimaat in de tijd.

Uitgangspunten zijn ook factoren waarop het ontwerp moet worden afgestemd, echter in tegenstelling tot randvoorwaarden worden uitgangspunten zelf geformuleerd en aangenomen. Voorbeelden zijn de keuze van opleverdatum, uitvoeringsmethodieken en de mate van inpassing in de omgeving.

In het programma van eisen worden de functies van het kunstwerk vastgesteld en worden de bijbehorende eisen aan het ontwerp afgeleid. Deze eisen worden gebaseerd op de functies, de uitgangspunten en de randvoorwaarden.

3.2 Randvoorwaarden

In dit onderzoek wordt uitgegaan van de gegevens die bepaald zijn in de loop van de ontwikkeling van het voorontwerp. Dit betekent gebruik van gegevens en waarden die ook door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat gebruikt worden. Het gaat hierbij om gegevens over grond, bodem, bodemligging, waterstanden, golven, grondwaterstanden, capaciteiten, wegverkeer en spuiregimes.

Algemene randvoorwaarden

Voor alle ontwerpen of optimalisaties van het spuisluizencomplex die bedacht worden, gelden de volgende harde randvoorwaarden:

- De veiligheid en de overlast voor het achterland van het IJsselmeergebied mag niet verslechteren ten opzichte van de huidige situatie;
- De criteria van het Structuurschema Groene Ruimte, de Natuurbeschermingswet en de EU Vogel- en Habitatrichtlijn dienen in acht genomen te worden;
- De functie van het IJsselmeer als reservoir voor zoet water mag niet aan waarde inboeten;
- De veiligheid van de scheepvaart komt niet in gevaar.

Hydraulische randvoorwaarden algemeen

-Het zoutgehalte van het water

- De gemiddelde dichtheid van het zoute waddenzeewater is 1015 kg/m^3 . Dit betekent 19.286 ton zout per 10^6 m^3 zeewater hetgeen overeenkomt met 10.714 ton chloor ionen per 10^6 m^3 zeewater.
- In geval van noordwester storm wordt de Waddenzee vol gestuwd met zoutwater afkomstig van de Noordzee. Het weinige zoete water dat aanwezig is op het wad wordt daardoor weg geperst en het zoutgehalte stijgt. Bij overlopen en overslag over de gesloten constructie moet daarom met een iets hoger zoutgehalte gerekend worden: 1020 kg/m^3 .

-Bergend vermogen van het IJsselmeer

Het bergend vermogen van het IJsselmeer bedraagt $1.200 \cdot 10^6 \text{ m}^2$.

-Zeespiegel- en meerpeilstijging

Voor het verloop van de gemiddelde zeespiegel- en meerpeilstijging worden de volgende waarden aangehouden:

Tabel 3.1: Zeespiegel- en meerpeilstijging

Periode	Gemiddelde stijging			
	Laagwater Waddenzee	Gemiddeld Waddenzeepeil	Hoogwater Waddenzee	Gemiddeld IJsselmeerpeil
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
1985 – 2000	5	5	5	0
2000 – 2010	5	5	5	0
2010 – 2050	15	20	25	0
2050 – 2100	30	35	40	35

Aangehouden mag worden dat de stijging gelijkmatig in de tijd verloopt.

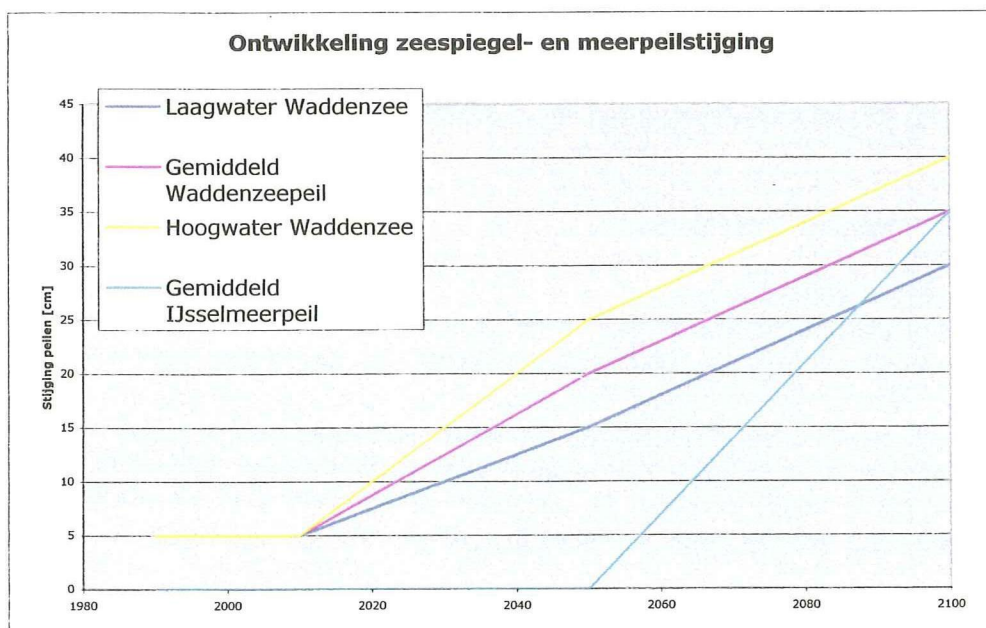
Voor het getijverloop op de Waddenzee geldt als basis de informatie uit het "10-jarig overzicht 1981-1990" van RIKZ voor de locatie Kornwerderzand.

-Ontwikkeling van het streefpeil op het IJsselmeer

De beheersing van het IJsselmeerpeil geschied door het nastreven van een constant peil. De onderstaande winter- en zomerstreefpeil zijn gebaseerd op "Beheersverslag Rijkswateren IJsselmeergebied 97" en gecorrigeerd met de meerpeilstijging in voorgaande tabel.

Tabel 3.2: Ontwikkeling van streefpeil op het IJsselmeer

	Streefpeil 2010	Streefpeil 2050	Streefpeil 2100
	[m+NAP]	[m+NAP]	[m+NAP]
Winter	-0,40	-0,40	-0.05
Zomer	-0,20	-0,20	+0.15



Figuur 3.1: Ontwikkeling zeespiegel- en meerpeilstijging

-Het gemiddelde IJsselmeerpeil

De kansverdeling van het gemiddelde IJsselmeerpeil in 2050 wordt als volgt aangehouden:

Tabel 3.3: Kansverdeling gemiddeld IJsselmeerpeil in 2050

Overschrijdingskans [%]	Gemiddeld meerpeil IJsselmeer winter [m+NAP]	Gemiddeld meerpeil IJsselmeer zomer [m+NAP]
98	-0.44	-0.27
90	-0.42	-0.23
75	-0.38	-0.21
50	-0.30	-0.20
25	-0.17	-0.18
10	-0.03	-0.16
2	+0.16	-0.10

Het gemiddelde IJsselmeerpeil is het gemiddelde peil, gemeten over het hele oppervlak. Het is dus *geen* tijdsgemiddelde. In het gemiddelde IJsselmeerpeil zit geen opwaaiing.

Hydraulische randvoorwaarden voor spuisituatie*-Kansverdeling van de gevraagde spuicapaciteit*

Ter handhaving van het streefpeil worden de spuisluizen met de in de volgende tabel beschreven intensiteit gebruikt (in 2010 en 2050). De bovengrens van het aantal spui-aanvragen per jaar is 705 (zijnde het aantal getijcycli per jaar). Voor het gebruik van de spuisluizen wordt ervan uit gegaan dat de nieuwe spuisluizen eerst worden gebruikt en de bestaande spuisluizen alleen indien de volle capaciteit nodig is. Deze informatie is nodig om het aantal vragen voor de bewegingswerken te bepalen en de kans dat een opening wordt gebruikt en kan falen tijdens openen of sluiten.

Tabel 3.4: Kansverdeling gevraagde spuicapaciteit

Capaciteit nieuwe sluis [%]	Aantal vragen 2010			Aantal vragen voor periode 2050 - 2100		
	min. jaar	gemiddeld	max. jaar	min. jaar	gemiddeld	max. jaar
0	386	214	136	378	216	146
20	79	101	70	54	57	33
40	50	64	66	36	43	35
60	27	51	79	32	33	29
80	29	39	52	22	26	27
100	134	236	302	183	330	435
	Som:	705		Som:	705	

-Belastinggevallen tijdens spuien (gebruiksgrenstoestand)

Tabel 3.5: Maatgevende belastinggevallen tijdens spuien

Omschrijving	Waddenzee			IJsselmeer			Maatg. jaar
	h_{wk} [m NAP]	Hs [m]	Tp [s]	h_{ijk} [m NAP]	Hs [m]	Tp [s]	
Hoge waterstand IJsselmeer	-1,00	-	-	+1,00	-	-	2100
Lage waterstand Waddenzee	-2,20	-	-	-0,20	-	-	2010

Waarbij:

h_{wk} :	peil Waddenzee Kornwerderzand
h_{ijk} :	peil IJsselmeer Kornwerderzand
Hs:	Significante golfhoogte
Tp:	Piekperiode
Maatg. jaar:	Het jaar waarin het belastinggeval maatgevend zal zijn

-Verval over spuisluis in gebruik

Het verval over de spuisluizen in gebruik (hoog water op het IJsselmeer) kent volgens RIZA de volgende overschrijdingskansen, zie tabel 6. De overschrijdingskans moet worden geïnterpreteerd als de kans per jaar dat in een getijdencyclus het betreffende verval optreedt (als quasi statische situatie, dus zonder de invloed van windgolven). Deze gegevens zijn van belang voor het bepalen van het effect van niet kunnen spuien en het dimensioneren van de bodembescherming.

Tabel 3.6: Kansverdeling verval over spuisluis in spuisituatie

Overschrijdingskans [%]	Maximaal verval over spuisluis in gebruik in 2010 [m]	Maximaal verval over spuisluis in gebruik voor periode 2050 - 2100 [m]
98	0.18	0.18
90	0.36	0.29
75	0.52	0.41
50	0.69	0.55
25	0.86	0.69
10	1.01	0.83
2	1.23	1.08

Hydraulische randvoorwaarden voor kerende situatie

-Verval over spuisluis in kerende toestand

Het verval over de spuisluizen in kerende toestand (hoog water op de Waddenzee) kent volgens RIZA de volgende overschrijdingskansen. De overschrijdingskans moet worden geïnterpreteerd als de kans per jaar dat in een getijdencyclus het betreffende verval optreedt (als quasi statische situatie, dus zonder de invloed van windgolven). Deze gegevens zijn van belang bij het bepalen

van het zoutwaterbezwaar, het ontwerpen van de bodembescherming en het bepalen van het effect van het niet kunnen keren als gevolg van falen.

Tabel 3.7: Kansverdeling verval over spuisluis in kerende situatie

Overschrijdingskans [%]	Maximaal verval over de kerende spuisluis in 2010 [m]	Maximaal verval over de kerende spuisluis voor periode 2050 - 2100 [m]
98	0.40	0.58
90	0.66	0.85
75	0.85	1.04
50	1.06	1.24
25	1.30	1.47
10	1.59	1.74
2	2.18	2.29

-Maatgevende waterstanden voor kerende situatie

In verband met de waterkerende functie moet de constructie voldoen aan de veiligheidseisen in de "TGB 1990: Algemene Basiseisen" en de veiligheidsfilosofie in de "Leidraad voor het ontwerpen van kunstwerken en bijzondere constructies in waterkeringen". Beiden kunnen een maatgevend veiligheidsniveau leveren. Bij het aantonen van dit veiligheidsniveau moet de constructie berekend zijn op de onderstaande belastinggevallen:

Tabel 3.8: Maatgevende belastinggevallen tijdens keren (uiterste grenstoestand)

	Waddenzee			IJsselmeer			Maatg. jaar	Herhalings-tijd
	h_{wk}	Hs	Tp	h_{ijk}	Hs	Tp		
Omschrijving	[m+NAP]	[m]	[s]	[m+NAP]	[m]	[s]	[-]	[jaar]
Stormvloedstand Waddenzee	+5,50	2,2	5,1	-1,65	-	-	2100	1430
Extreme laagwaterstand Waddenzee	-3,30	-	-	+0,50	1,3	5,3	2010	10.000
Extreme hoge waterstand IJsselmeer	-1,20	-	-	+1,60	1,9	6,5	2100	10.000

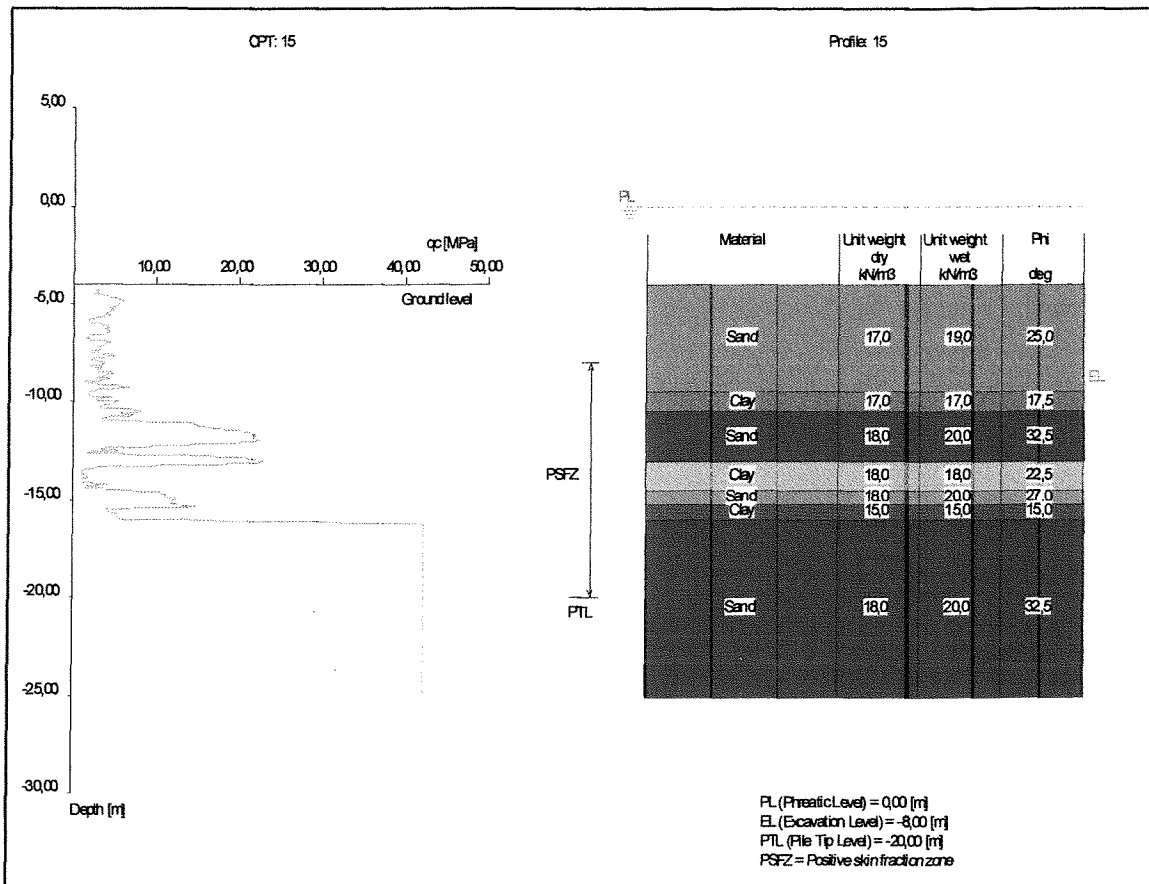
Waarbij:

- h_{wk} : peil Waddenzee Kornwerderzand
 h_{ijk} : peil IJsselmeer Kornwerderzand
 Hs: Significante golfhoogte
 Tp: Piekperiode
 Maatgevend jaar: Het jaar waarin het belastinggeval maatgevend zal zijn (zeespiegelstijging)

Locatiegebonden randvoorwaarden

-Grondgegevens

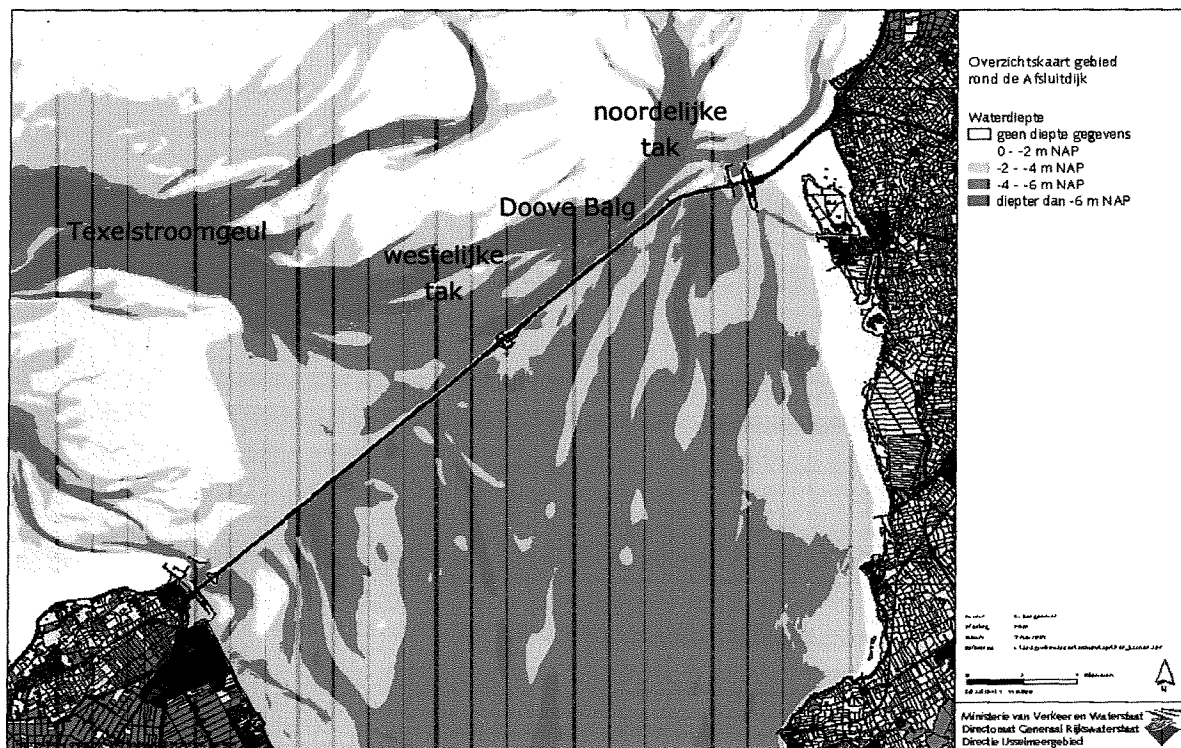
- De grondgesteldheid ter plekke van Kornwerderzand ziet er als volgt uit:
 - NAP -5,00m tot NAP -8,00m zand
 - NAP -8,00m tot NAP -10,00m leemhoudend zand
 - NAP -10,00m tot NAP -12,00m zand met grind
 - NAP -12,00m tot NAP -16,00m zandige leem met stenen
 - NAP -16,00m en dieper zand
- Plaatselijk moet rekening gehouden worden met kleilagen.
- De volgende gegevens zijn beschikbaar uit grondonderzoek:



Figuur 3.2: Gegevens grondonderzoek

-Bodemgegevens

De Doove Balg geul kan vanaf de knik in de Afsluitdijk in een westelijke tak en een noordelijke tak geschematiseerd worden. De westelijke tak sluit in het westen aan op een zeer breed en diep gedeelte zonder veel hydraulische weerstand (Texelstroomgeul). De noordelijke tak sluit in het noorden aan op een zeer breed en ondiep stuk Waddenzee met meer weerstand, zie figuur 3.3.



Figuur 3.3: Ligging bodem en geulen

Uitvoeringstechnische randvoorwaarden

- Stremmingen voor het wegverkeer van RW 7 over de Afsluitdijk dienen tot een minimum te worden beperkt;
- Er treedt geen beperking van het aantal rijstroken op;
- Gedurende alle fasen van het bouwproces moet de betrouwbaarheid van de waterkerende functie van de Afsluitdijk worden gewaarborgd.

3.3 Uitgangspunten

Bij het ontwerp van het nieuwe spuicomplex wordt gewerkt met de volgende uitgangspunten:

- In de MER is een traject aangewezen welke voor de spuisluis het meest gunstig is voor wat betreft rendement en milieueffecten. Dit is het traject ten westen van het bestaande spuicomplex te Kornwerderzand tot aan de strekdam in de knik in de Afsluitdijk;
- Spuien vindt plaats onder vrij verval;
- Het huidige peilbeheer op het IJsselmeer wordt vastgehouden tot 2050;
- Er wordt uitgegaan van het gematigde klimaatscenario met een zeespiegelstijging van 0,20 meter tot 2050;
- De huidige spuisluizen blijven in gebruik tot 2050; bij de spuicapaciteitsbepaling voor de nieuwe spuisluis wordt er vanuit gegaan dat vanaf 2050 de bestaande spuisluizen geen bijdrage meer leveren aan de totale spuicapaciteit;
- Mitigerende en compenserende maatregelen hebben in de voorontwerpfase geen effect op de (inpassing van) het spuicomplex in zijn omgeving;
- Er wordt nog geen rekening gehouden met een voorziening waardoor trekvissen het spuicomplex kunnen passeren;
- Bij het ontwerp wordt gestreefd naar zo laag mogelijke kosten gedurende de levensduur. Alleen zwaar wegende overwegingen met betrekking tot duurzaam bouwen en veiligheid & gezondheid kunnen leiden tot niet-kostenoptimale oplossingen;
- Het toelaatbare zoutbezwaar van het nieuwe spuicomplex richting het IJsselmeer is gemiddeld 50.000 ton Cl-ionen per jaar. Een ongelijkmatige verdeling van dit gemiddelde zoutbezwaar over een aantal jaren is acceptabel;

3.4 Programma van eisen

In het programma van eisen worden eisen afgeleid voor de functies waaraan het ontwerp van de spuisluis in de Afsluitdijk moet voldoen. De functies zijn onder te verdelen in drie categorieën. Ten eerste zijn dit de functies waarvoor de spuisluis is bedoeld (primaire functies). Ten tweede worden de functies benoemd die moeten worden vervuld doordat er een spuisluis wordt gemaakt (secundaire functies). Ten derde zijn er de aanvullende eisen, die tot stand komen door eisen betreffende functievervulling na oplevering (operationele eisen) en de eisen die omgeving en maatschappij stellen aan de wijze waarop en de voorwaarden waaronder het ontwerp wordt gerealiseerd.

Primaire functies

1. Waterbeheer;
2. Keren van water;
3. Verkeersverbinding tussen Noord-Holland en Friesland.

Secundaire functies

4. Ecologie;
5. Landschappelijke inpassing en vormgeving.

Aanvullende eisen

6. Uitvoeringseisen;
7. Beheer en onderhoud;
8. Politieke en maatschappelijke eisen.

Ad 1. Waterbeheer

- De spuicapaciteit van de nieuwe spuisluizen moet gemiddeld $3530 \text{ m}^3/\text{s}$ bedragen (voor de definitie van "gemiddeld" zie paragraaf 6.3);
 - De spuisluizen moeten kunnen worden gebruikt tot een verval van 2,0 meter;
 - De spuicapaciteit van de spuisluis moet in 2 of meer gelijke stappen instelbaar zijn;
 - De spuiopeningen moeten een gelijke breedte en een gelijke diepte hebben;
 - Eisen in welke situaties nog spuien mogelijk moet zijn:
 - a. Hoge waterstand IJsselmeer-zijde
Opwaaiing IJsselmeer bij Kornwerderzand in combinatie met hoog meerpeil IJsselmeer met $h_{DK} = \text{NAP} + 1.00 \text{ m}$
Waddenzee tussen $h_{WK} = +0,90 \text{ m}$ en $\text{NAP} - 1.00 \text{ m}$;
 - b. Lage laagwaterstand Waddenzee-zijde
Afwaaing Waddenzee bij Kornwerderzand
IJsselmeer met $h_{DK} = \text{NAP} - 0.20 \text{ m}$
Waddenzee tussen $h_{WK} = \text{NAP} - 0,30 \text{ m}$ en -2.20 m ;
- h_{wk} : peil Waddenzee Kornwerderzand
 h_{ijk} : peil IJsselmeer Kornwerderzand
- Bij het bepalen van de spuicapaciteit moet rekening worden gehouden met extra weerstandsverliezen, bijvoorbeeld als gevolg van mosselaangroei in het doorstroomprofiel. Dit kan voorkomen wanneer de spuisluizen gedurende enige maanden niet worden gebruikt.

Ad 2. Keren van water

- De te bouwen spuisluis zal deel moeten uitmaken van de primaire waterkering. De kans op bezwijken van de constructie (door het constructief bezwijken van een van de hoofdonderdelen) moet kleiner zijn of gelijk aan 0,01 keer de normfrequentie (normfrequentie= $7 \cdot 10^{-4}$ per jaar);
- De kans op falen van de constructie door het niet (kunnen) sluiten van de spuisluizen moet kleiner zijn of gelijk aan 0,1 keer de normfrequentie van de Afsluitdijk (normfrequentie= $7 \cdot 10^{-4}$ per jaar);
- De kering moet dubbelkerend zijn, dat wil zeggen dat de kering zowel positief als negatief verval moet kunnen keren;
- Er dient te worden voldaan aan de eisen gesteld in de Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies van de Technische Adviescommissie voor Waterkeringen (TAW);
- De hoogte van de kering is minimaal gelijk aan de maatgevende waterstand;
- Voor de eis voor het beperken van het overslagdebiet over de spuisluizen wordt rekening gehouden met het feit dat deze overslag al snel vele malen kleiner zal zijn dan de overslag over de gehele Afsluitdijk.

Ad 3. Verkeersverbinding tussen Noord-Holland en Friesland

- Bij het ontwerp van de verkeersvoorzieningen voor de A7 moet rekening worden gehouden met de Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen (ROA). De belangrijkste richtlijn is de breedte van het wegdek over de spuisluizen; Deze bedraagt 28,25 meter;
- De wegindeling van de rijksweg moet gelijk zijn aan die van de huidige rijksweg.
- Er moet een fietspad komen;

Ad 4. Ecologie

- Er dient gestreefd te worden naar een energiezuinig ontwerp;
- Voor bemaling en lozing van grond- en oppervlaktewater dienen de wettelijke bepalingen opgevolgd te worden;

Ad 5. Landschappelijke inpassing en vormgeving

- Er dient rekening gehouden te worden met de mogelijke effecten van de bouw van het kunstwerk en gerelateerde werkzaamheden op de omgeving.

Ad 6. Uitvoeringseisen

- Een stremming van langer dan 12 uur mag maar een beperkt aantal keren plaatsvinden en mag alleen plaatsvinden als deze 1 maand vooraf wordt aangekondigd;
- De rijksweg dient te allen tijden 2 rijstroken in beide richtingen te hebben;
- De betrouwbaarheid van de waterkerende functie van de Afsluitdijk dient tijdens de bouw van de spuisluizen te worden geborgd dan wel gehandhaafd tot het moment dat deze functie kan worden overgenomen door het nieuwe keermiddel;
- De bouw van de spuisluizen mag geen extra zoutbezwaar opleveren voor het IJsselmeer;
- Tijdelijke constructies, hulpconstructies en de constructie tijdens de bouw moeten conform de TGB norm voldoen aan veiligheidsklasse 1;
- Gedurende de realisatie dienen maatregelen te worden getroffen ter voorkoming van hinder en/of stremmingen voor het verkeer op de rijksweg en het fietspad;

Ad 7. Beheer en onderhoud

- Het totaal van heftijd en daaltijd van de schuiven in het water bedraagt maximaal 10 minuten;
- De momenten van openen en sluiten van de schuiven moet enerzijds zo gekozen worden dat geen zout water het IJsselmeer binnenstroomt en anderzijds zo dat maximaal gebruik maakt wordt van de mogelijkheid van spuien naar de Waddenzee;
- Bij uitval van de energievoorziening moeten de schuiven m.b.v. noodbediening en de zwaartekracht handmatig kunnen worden gesloten;
- De schuiven moeten vanaf de bovenbalk bereikbaar zijn voor onderhoud;
- Er moet gestreefd worden naar een onderhoudsvriendelijk ontwerp;
- Bij het ontwerp van de spuisluizen moet rekening gehouden worden met vorst en ijs op het IJsselmeer;
- De levensduur van het te bouwen kunstwerk bedraagt 100 jaar. Alle niet-vervangbare onderdelen moeten voldoen aan deze levensduureis. De levensduureis van 100 jaar is zwaarder dan de planperiode van de spuisluis van 50 jaar. De zwaardere eis wordt gebruikt omdat met betrekkelijk weinig meerkosten deze levensduur kan worden gehaald;

Ad 8. Politieke en maatschappelijke eisen

- De regels en de vergunningen die nodig zijn om te voldoen aan regelgeving van gemeenten provincies en waterschappen moeten worden nageleefd;
- Er moet worden voldaan aan mogelijke eisen vanuit defensie;
- Er moet worden voldaan aan de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater;
- Er moet worden voldaan aan het Bouwstoffenbesluit.



4. BESCHRIJVING SPUISLUISCOMPLEX

4.1 Inleiding

In hoofdstuk 4 wordt beschreven hoe de vormgeving van de spuisluizen veranderd is tussen 1933 en nu. In paragraaf 4.2 wordt de vormgeving en het functioneren van de bestaande spuisluizen beschreven. Paragraaf 4.3 behandelt deze aspecten voor het ontwerp van de nieuwe spuisluizen. De basis hiervoor is het voorontwerp van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat (VO). In paragraaf 4.4 worden de voor het onderzoek belangrijke parameters toegelicht en wordt de waarde van deze parameters voor de bestaande spuisluizen en het VO kort gerecapituleerd.

4.2 Bestaande spuisluizen

De spuisluizen in de Afsluitdijk zijn over twee locaties verdeeld. In Den Oever bevinden zich drie spuisluizen met ieder 5 spuiopeningen. In Kornwerderzand bevinden zich twee spuisluizen met vijf spuiopeningen. De openingen hebben een breedte van 12 meter. De vier gestroomlijnde pijlers tussen de vijf openingen hebben een breedte van 4,0 meter. De afstand tussen de groepen van spuisluizen op één locatie bedraagt 100 meter. De spuiopeningen hebben een drempel op NAP -4,40 meter. Onderstaande figuur geeft de huidige situatie weer.



Figuur 4.1: Overzichtsfoto bestaande spuisluizen

De spuiopeningen kunnen worden afgesloten met twee hefdeuren en een stel vlakke deuren met een verticale draaiax. Deze deuren hebben een kerende hoogte tot NAP +2,50 meter. Het dak van de sluisokers, dus de onderkant van de overbruggingen, ligt ook op NAP +2,50 meter. Dat is ruimschoots boven de hoogste waterstand waarbij nog wordt gespuid. De kokers doen dus dienst als open spuisluizen, niet als duikers. Door ter plaatse van de deuren een aansluitende bovenbalk

aan te brengen wordt de gewenste kerende hoogte van NAP +7,5 meter (NAP +7,0 meter voor Den Oever) bereikt. Tussen de deuren en de bovenbalk treedt een aanzienlijk overslagdebiet/lek op. Bij het ontwerp en de bouw zijn hiertegen voorzieningen aangebracht. Deze voorzieningen zijn deels ontmanteld; de lek wordt geaccepteerd.

Onder normale omstandigheden (waarin niet wordt gespuid) zorgen de hefdeuren voor de waterkering. Voor bijzondere omstandigheden (zoals bij stormvloedwaterstanden) worden de vlakke deuren als primaire waterkering gebruikt. De hefdeur aan de zeezijde wordt drie meter boven de bodem getild en beperkt de dynamische belastingen op de achterliggende deuren. De hefdeur tussen de hefdeur aan de zeezijde en de puntdeuren wordt 10 tot 20 cm boven de bodem getild. Deze deur neemt de resterende dynamische belasting op, maar niet de vervalbelasting. Deze wordt opgenomen door de vlakke deuren. Indien noodzakelijk is het mogelijk dat de middelste deur (de tweede hefdeur) de vervalbelasting kan opnemen, en dat de spuisluizen dus over een dubbele kering beschikken.

De spuisluizen zijn gebouwd rond 1930. De spuisluizen functioneren goed en kunnen met betrekkelijk weinig kosten de komende 50 jaar in gebruik worden gehouden. De schuiven zijn opgehangen aan smeedstalen kettingen die over wielen boven in de heftorens naar tegengewichten lopen. De tegengewichten waren blokken beton, waarin stalen ponsdoppen waren verwerkt om het benodigde gewicht van bijna twintig ton in de beschikbare ruimte onder te brengen. De elektromotoren en de overbrenging naar de kettingwielen bevinden zich boven in de torens.

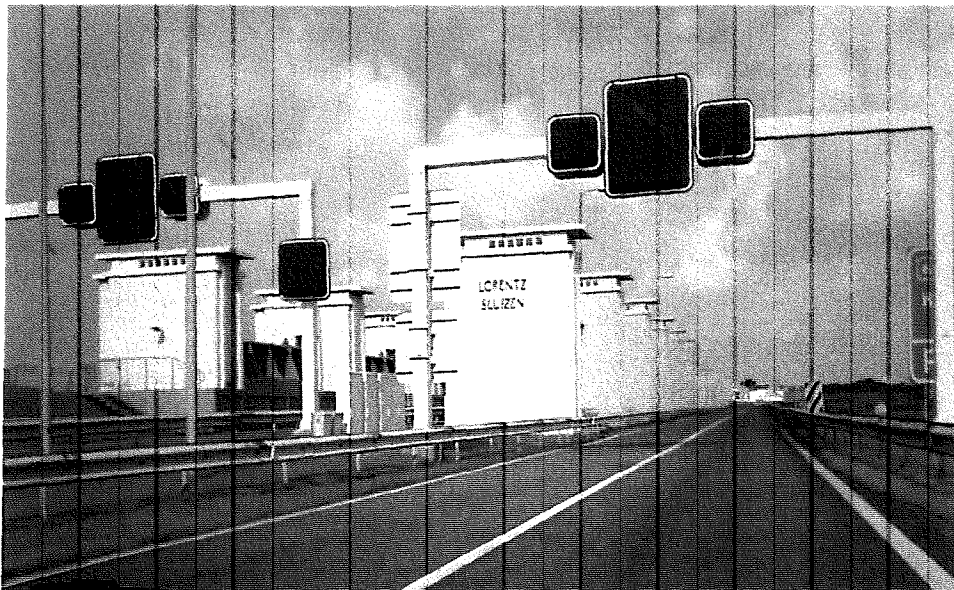


Figuur 4.3: Ophanging Schuiven



Figuur 4.2: Geleiding Schuiven

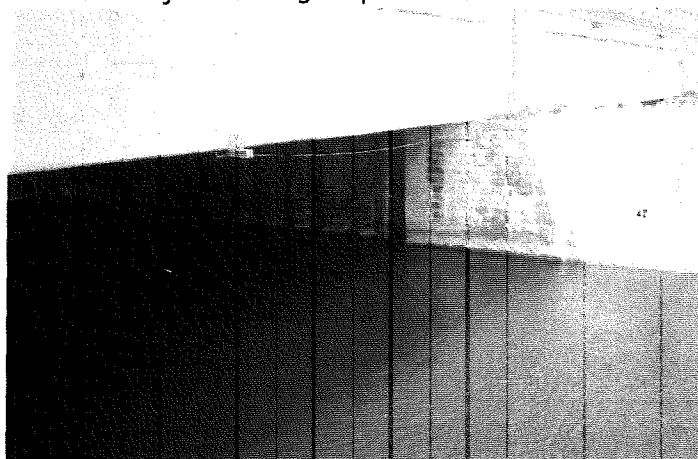
Deze torens, reikend tot ruim zeven meter boven het doorgaande wegdek, twaalf per sluisgroep, bepalen het silhouet van de uitwateringssluizen. De vormgeving hiervan is uitgewerkt door de architect Roosenburg. Deze bouwwerken hebben monumentale waarde. Het gehele spuicomplex in Kornwerderzand valt ook onder de Monumentenzorg.



Figuur 4.4: Aanzicht Heftorens van Lorentz- Sluizen

Uit hydrodynamisch oogpunt zijn de sluisen uitzonderlijk goed vormgegeven. Het rendement van de spuisluizen bij karakteristieke spuisituaties is hoog. De μ op de bovenstroomse waterstand als maat voor het rendement van de spuiopening bedraagt 0,99.

Een groep van spuisluizen is constructief gezien opgebouwd uit een grote bodemplaat van 1,2 tot 1,5 meter dik gewapend beton met hierop de landhoofden en de pijlers. De bodemplaat kent in Den Oever een fundering op staal en in Kornwerderzand een fundering op palen. De plaat heeft een breedte van ca. 85 meter een lengte van ca. 50m. (dit is ook de lengte van de openingen). De pijlers en de landhoofden bestaan hoofdzakelijk uit ongewapend beton. Zowel aan de bovenstroomse als aan de benedenstroomse zijde van de drempel bevindt zich een betonnen plaat (het is niet zeker of deze gewapend is; er zijn tekeningen die dit aangeven en tekeningen die dit uitsluiten). Aan de benedenstroomse zijde heeft deze plaat een lengte van 18 meter. De plaat wordt afgesloten met een tweetal damwanden met een diepste punt op NAP -11m. Tussen de damwanden die de plaat beëindigen (ca 1,5m.) is een betonnen balk gestort (hoogte 3,5m.). Aan het einde van de betonnen plaat is de diepteligging NAP -5,5m. De beëindiging van de landhoofden bestaat uit twee zware keermuren.



Figuur 4.5: Indruk Spuikoker

Achter de betonnen platen zijn tijdens het gebruik grote ontgrondingskuilen ontstaan. Indien bij de bouw een bodembescherming is toegepast mag deze nu als afwezig worden beschouwd. Bij constatering van de ontgrondingskuilen zijn zinkstukken toegepast om de bodem te fixeren. Bij het beheer worden regelmatig lodingen uitgevoerd om de bodemligging te controleren. Uit recente metingen volgt dat de ontgrondingskuil een maximale diepte heeft van NAP -30m. Het diepste punt van deze kuilen bevindt zich op ca. 200 meter van de damwanden en het einde van de betonnen plaat. Bij de verdere uitstroming richting de Waddenzee zijn er lokaal nog wel diepe geulen. Ook aan de IJsselmeerzijde zijn lokaal diepe geulen (tot NAP -12m).

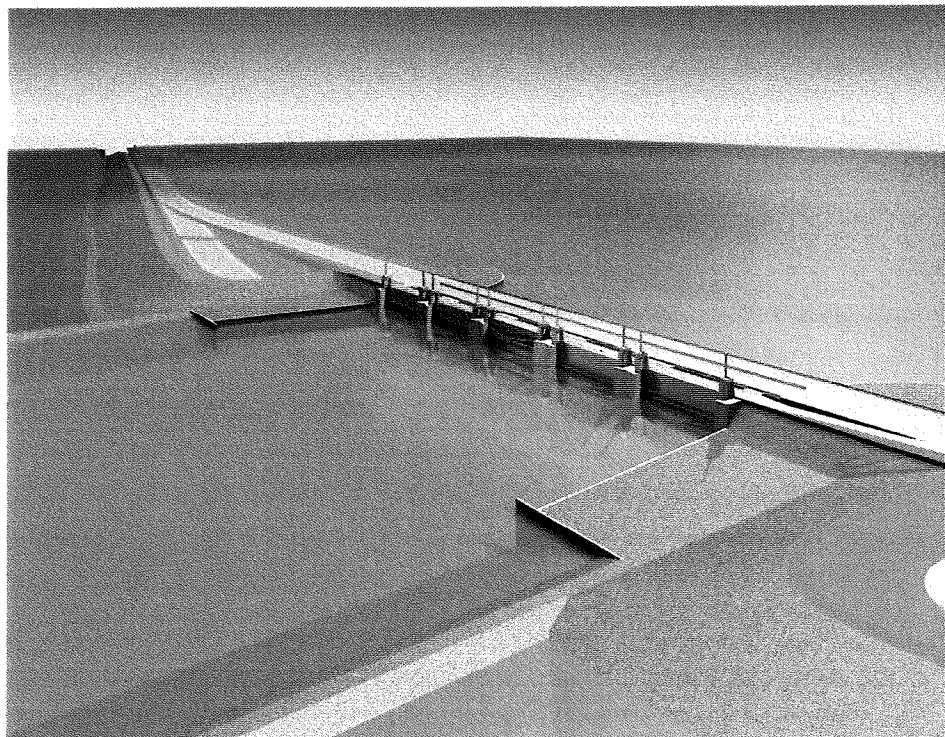
4.3 Voorontwerp nieuwe spuisluis

In het voorontwerp is de variant van de open spuisluis met een drempelniveau van NAP -6,50m en een netto spuibreedte van 165 meter verdeeld over 5 openingen in de knik van de Afsluitdijk 2 km ten westen van Kornwerderzand uitgewerkt.

De spuisluis heeft spuiopeningen van 33 meter breedte. De pijlers tussen de spuiopeningen hebben een breedte van 10 meter. De 10 meter is noodzakelijk om voldoende verdeling van de stroming in de breedte mogelijk te maken tussen twee openingen.

Door het toepassen van een bovenbalk hoeft de stalen schuif, welke een relatief dure constructie is, minder hoog te worden uitgevoerd.

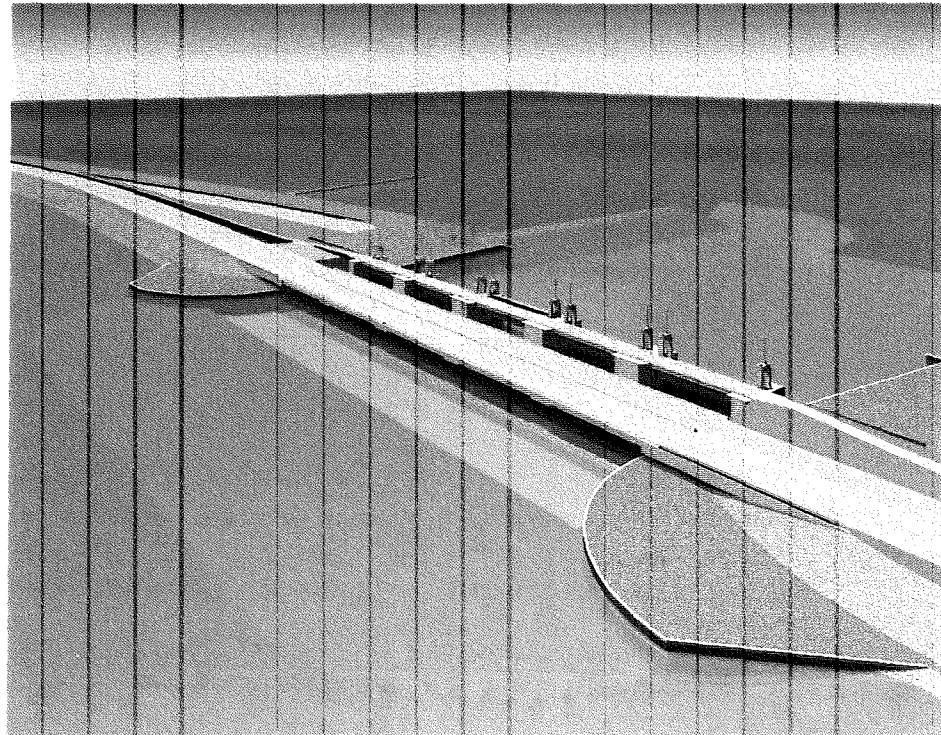
Door veel aandacht te besteden aan de betrouwbaarheid van de open- en sluitprocedure van het keringsmiddel is gebleken dat de keuze voor een enkele schuif haalbaar is. Het werken met een enkele schuif geeft wel enige complicaties bij het onderhoud. Om deze complicaties te minimaliseren is er gestreefd naar een onderhoudsarm ontwerp. Dit heeft geresulteerd in het gebruik van materialen als staal met



Figuur 4.6: Spuisluis in VO, zicht vanaf Waddenzee

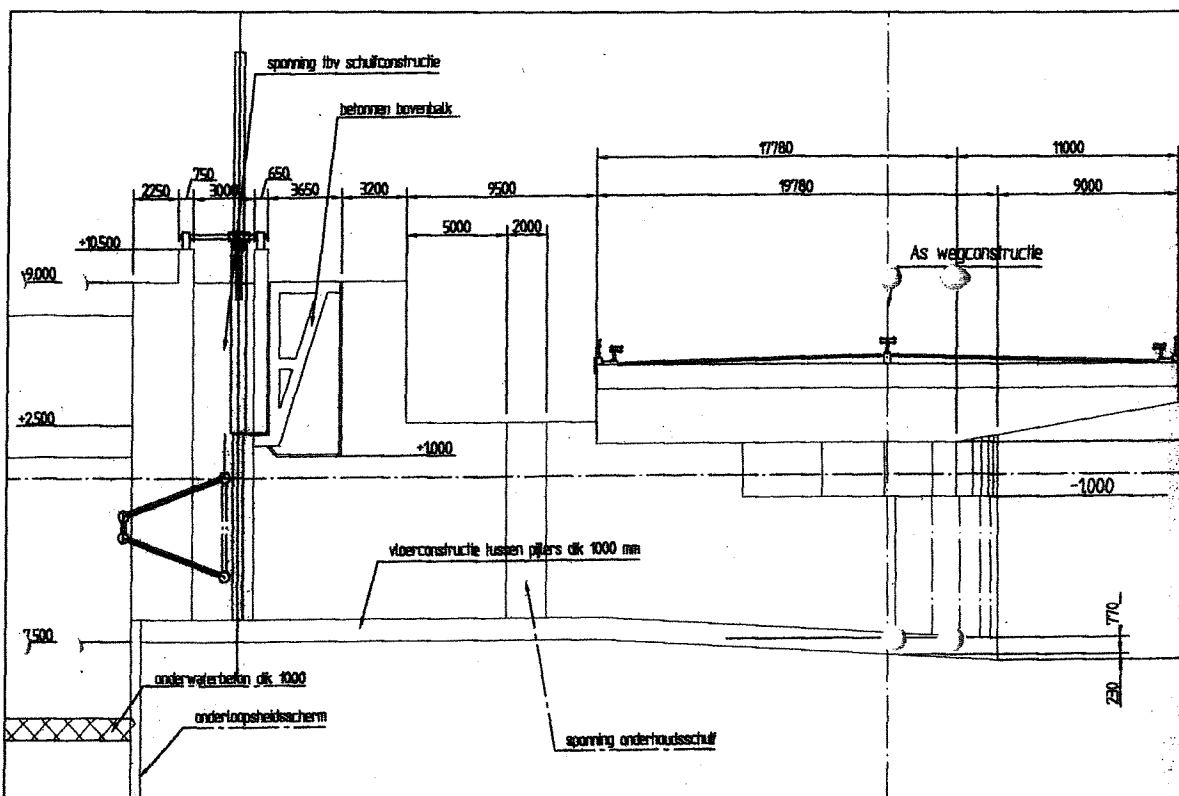
een aluminium deklaag en beton. Om de stroming op het IJsselmeer en de Waddenzee beperkt te houden is een diepere bodemligging noodzakelijk. Op het IJsselmeer is deze diepere ligging al aanwezig ter plaatse van de oude stroomgeulen van de Zuiderzee. Extra "stromingsgeleiding" wordt hier bereikt door de bodem van het IJsselmeer geleidelijk te laten aflopen tot NAP - 8 meter direct voor het spuicomplex. Hierdoor wordt een continue versnelling gerealiseerd, waardoor slechts weinig energieverlies plaatsvindt en het rendement van de spuiopeningen verbetert. Op de

Waddenzee is de diepe ligging niet meer aanwezig. Met een beperkte ontgraving is dit echter eenvoudig te realiseren. Direct achter het schuivenhuis van de spuisluis zakt de bodem van NAP - 6,5 meter tot NAP - 11 meter. Ten eerste worden zo golfklappen op de schuiven voorkomen, doordat de golven niet voor het schuivenhuis worden gebroken. Ten tweede werkt de bodemsprong als



Figuur 4.7: Spuisluis in VO, zicht vanaf IJsselmeer

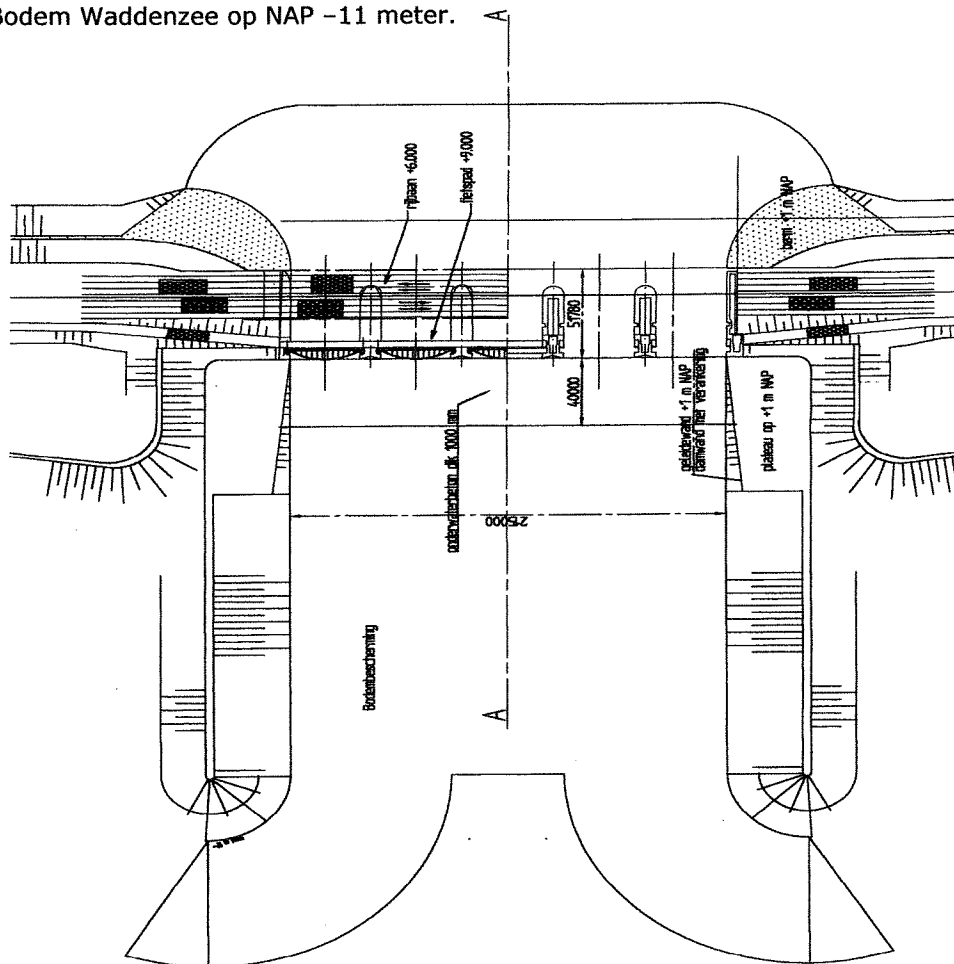
een debietspreider, waardoor het spuiwater zijn energie kan vernietigen en de stroom gelijkmatiger zijn weg vervolgt. Een aantal afmetingen en niveaus zijn in onderstaande figuur te zien.



Figuur 4.8: Dwarsdoorsnede Spuisluis in VO

Het ontwerp beschreven van IJsselmeer naar Waddenzee ziet er als volgt uit:

- Bodem IJsselmeer op NAP -9 meter verlopend tot NAP -8 meter;
- 30 meter overgangsconstructie (lichte bodemverdediging), deel onder een helling van 1 op 20;
- Brugconstructie met een breedte van 30 meter, ontwerp t.b.v. wegverkeer volgens ROA-richtlijnen voor een rijksweg 2*2 strooks + vluchtstroken. Pijlers van de brug hart op hart afstand van 40 meter. Om de bodem van de instroming van de spuisluis te fixeren is deze gemaakt van onderwaterbeton. Het beton heeft een helling van 1 op 20.
- 23 meter betonnen U-bak constructie (schuivenhuis) met 2 schuiven die een overspanning maken van 30 meter. Tussen de schuiven is de bovenbalk gesitueerd die tevens fungeert als fietspad c.q. onderhoudsweg. De bodem van de U-bak ligt op NAP -6,5 meter en de constructie is op palen gefundeerd.
- Achter de U-bak maakt de bodem een sprong naar NAP -11 meter. Aansluitend wordt een 40 meter lange woelbak gemaakt van onderwaterbeton om de bodem van de uitstromingsconstructie te fixeren.
- 110 meter zware bodemverdediging, met een 1,26 meter dikke toplaag van breuksteen 300-1000 kg.
- 90 meter lichte bodemverdediging, met een 0,40 meter dikke toplaag van breuksteen 5-40 kg.
- Bodem Waddenzee op NAP -11 meter.



Figuur 4.9: Bovenaanzicht Spuisluis in VO

4.4 Karakteristieken spuisluizen

De afmetingen van de spuiopeningen bepalen voor een groot deel het ontwerp van de constructie. De "optimale" afmetingen worden bepaald door de integratie van financiële en technische aspecten. Een louter financiële afweging kan leiden tot optimale afmetingen die technisch niet haalbaar of uitvoerbaar zijn. Dit kan worden ondervangen door de techniek ook in financiële termen te definiëren, waardoor de technische (on)mogelijkheden een onderdeel worden van de integrale afweging.

Zowel de financiële als de technische aspecten ontwikkelen in de tijd. De prijzen van energie, grondstoffen of arbeid veranderen continu en de technische kennis betreffende materialen, hydraulica en uitvoeringsmethodieken wordt nog steeds uitgebouwd.

De bestaande spuisluizen zijn gebouwd rond 1930. Genoemde ontwikkelingen op financieel en technisch gebied leiden tot een veranderde Ausgangssituatie voor het ontwerp voor spuisluizen in 2005. Deze verandering is ook te zien bij de afmetingen van de spuiopeningen. Waar 75 jaar geleden gekozen werd voor spuiopeningen van 12 meter breed wordt nu een voorstel gedaan voor spuiopeningen van 33 meter breed; een toename met 175%.

Naast de verandering in de schuifbreedtes zijn er ook bij de andere karakteristieken van de spuisluis grote verschillen tussen het VO en de bestaande spuisluizen. Zie tabel 4.1.

Tabel 4.1: Karakteristieken van bestaande spuisluizen en spuisluizen VO

	Karakteristieken	Bestaande spuisluizen	Spuisluis VO
1	Schuifbreedte	12 m	33 m
2	Aantal schuiven	25 stuks	5 stuks
3	Niveau bodemligging spuisluis	-4.40 m NAP	-6.50 m NAP
4	Niveau bovenkant schuiven	+2.50 m NAP	+1.50 m NAP
5	Hoogte schuiven	6.9 m	8.0 m
6	Netto spuibreedte	300 m	165 m
7	Nat schuifoppervlak (tot -0,4m NAP)	1200 m ²	1007 m ²

In dit onderzoek wordt een integraal model (combinatie financieel/technisch) opgezet, waarmee getoetst kan worden of de karakteristieken voor het VO, zoals gegeven in bovenstaande tabel, de meest optimale zijn tot het jaar 2100 (de geplande levensduur van het kunstwerk). Genoemde karakteristieken kunnen afgeleid worden uit een capaciteitseis en de volgende drie vrijheidsgraden:

1. De schuifbreedte
2. Het niveau van de spuisluisbodem
3. De schuifhoogte

In het volgende hoofdstuk zal worden toegelicht hoe deze vrijheidsgraden als hoofdvariabelen in het rekenmodel worden ingevoerd en hoe ze het onderzoek sturen.

5. OPSTELLEN DOELFUNCTIE

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de relatie tussen de afmetingen van de spuiopeningen en de kosten van de spuisluis wordt bepaald.

Zoals aan het einde van het vorige hoofdstuk is besproken, worden de afmetingen van de spuiopeningen uitgesplitst naar 3 vrijheidsgraden. Variaties in deze drie vrijheidsgraden veroorzaken veranderingen voor veel delen van de spuisluis. Om deze veranderingen eenduidig te benoemen en gescheiden te kunnen behandelen, worden er hoofdonderdelen benoemd. Voor de afzonderlijke hoofdonderdelen van de spuisluis wordt systematisch afgeleid wat de veranderingen zijn als gevolg van variatie in de vrijheidsgraden. Hiertoe worden de drie vrijheidsgraden in het optimalisatiemodel getransformeerd naar 3 hoofdvariabelen. Hoe en waarom dit gebeurt wordt in paragraaf 5.3.1 uitgelegd. De invloeden van deze hoofdvariabelen op ieder hoofdonderdeel kan de hoeveelheden van gebruikt materiaal, materieel en arbeid betreffen of de omvang van onderhoud en energieverbruik. Alle veranderingen worden vervolgens uitgedrukt in geld, waarmee voor het afzonderlijke hoofdonderdeel de relatie wordt gelegd tussen variatie in de hoofdvariabelen en de kosten van dat hoofdonderdeel. De optelsom van alle relaties voor alle hoofdonderdelen vormt tenslotte de gezochte relatie tussen de afmetingen van de spuiopeningen en de kosten van de spuisluis. Deze relatie wordt benoemd als de doelfunctie.

Om deze doelfunctie op te stellen moeten drie aspecten worden uitgewerkt:

1. De opdeling van de spuisluis in hoofdonderdelen;
2. De invloed van de hoofdvariabelen op de kosten van de spuisluis;
3. De onderverdeling van de kosten in bouwkosten en beheerskosten.

Deze drie aspecten zullen achtereenvolgens in paragraaf 5.2 t/m 5.4 worden behandeld. In paragraaf 5.5 wordt de doelfunctie gepresenteerd.

Vervolgens zal in de hoofdstukken 6,7 en 8 de doelfunctie worden gekwantificeerd.

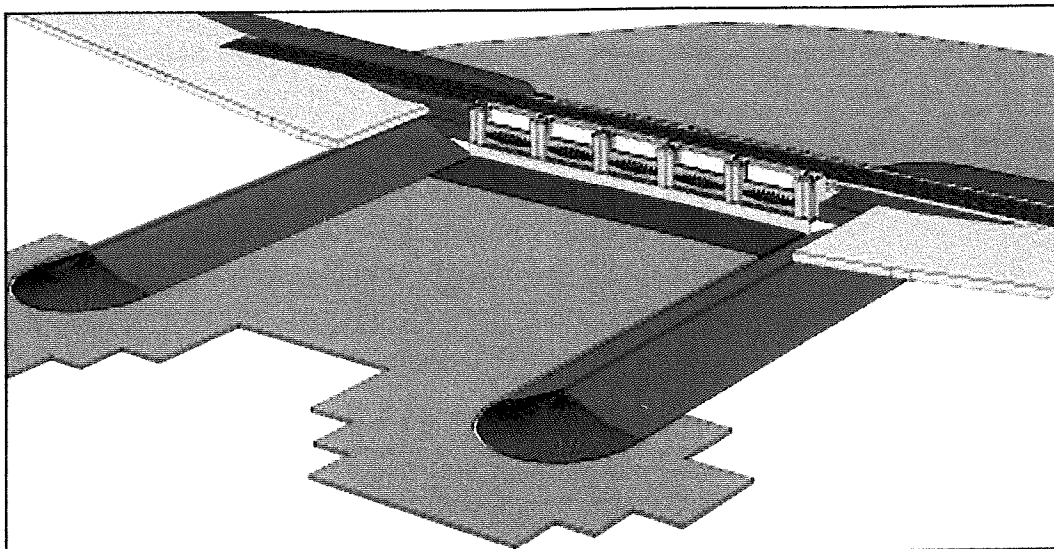
5.2 Beschrijving hoofdonderdelen spuisluis

Teneinde alle veranderingen (als gevolg van variaties in de vrijheidsgraden) in het ontwerp van de spuisluis ondubbelzinnig te kunnen beschrijven, wordt de spuisluis opgedeeld in disciplines en hoofdonderdelen.

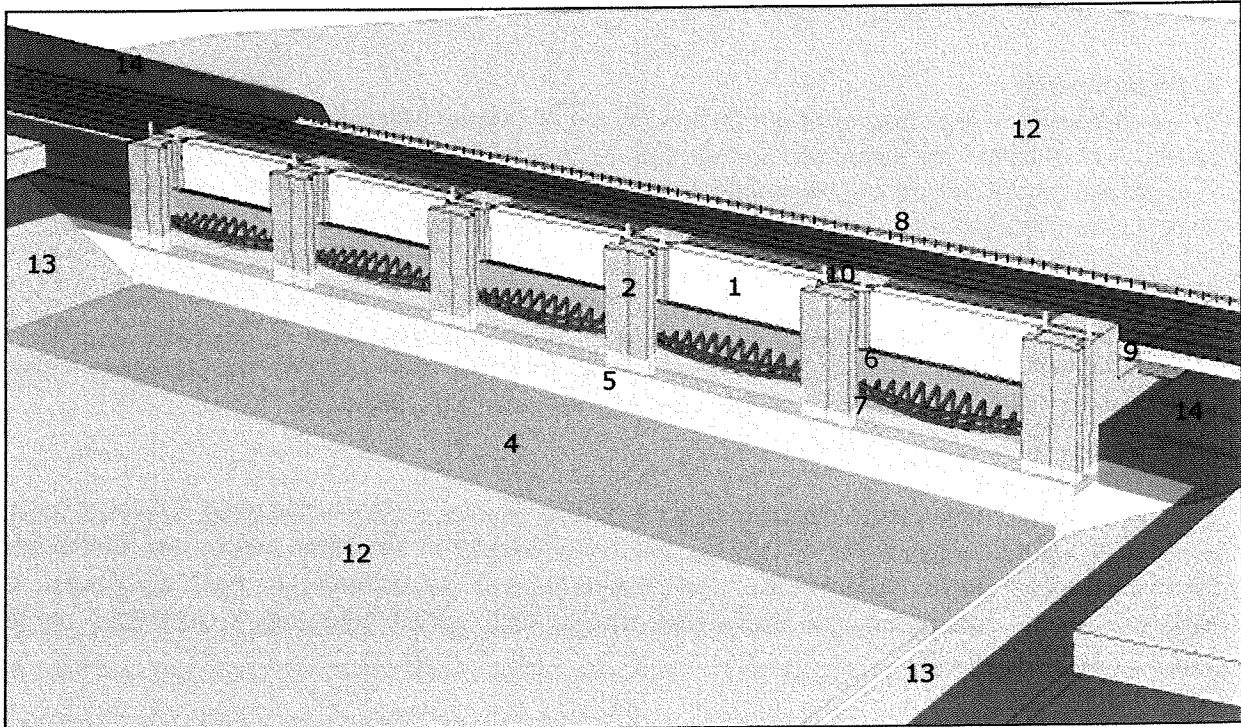
Onderscheiden worden de volgende disciplines en hoofdonderdelen:

Tabel 5.1: Indeling spuisluis naar disciplines en hoofdonderdelen

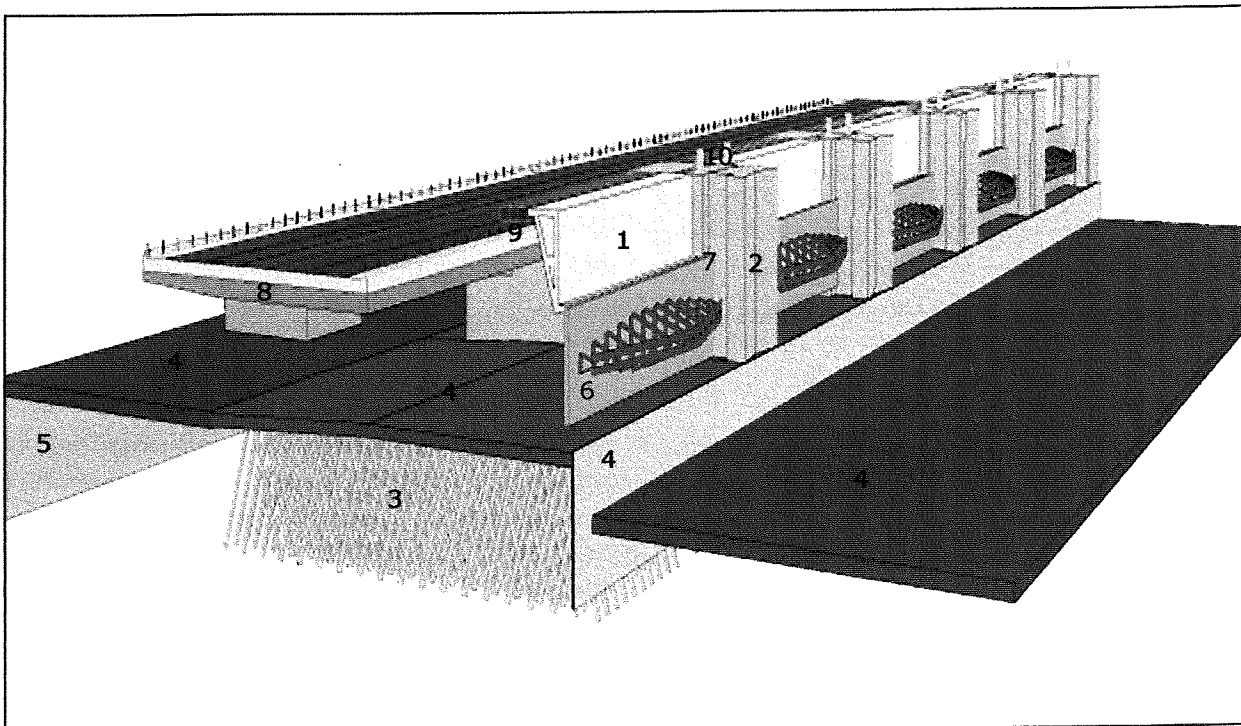
Discipline	Afkorting	Nr.	Hoofdonderdelen
Constructieve Waterbouw	C	1	Bovenbalken
		2	Pijlers
		3	Fundering
		4	Vloerconstructies
		5	Damwanden
Staal	S	6	Schuiven
		7	Geleidingen en afdichtingen
Bruggen	B	8	Verkeersweg
		9	Onderhoudsweg/Fietspad
Installatietechniek / Werktuigbouwkunde	I	10	Bewegingswerken
		11	Elektro-installatie
Waterbouw	W	12	Bodembescherming
		13	Geleidedammen
Uitvoering	U	14	Grondwerk
		15	Bemaling



Figuur 5.1: Overview spuisluizencomplex



Figuur 5.2: 3D figuur met benoeming hoofdonderdelen



Figuur 5.3: 3D figuur met doorsnede en benoeming hoofdonderdelen

Hieronder worden de hoofdonderdelen puntsgewijs beschreven:

1. Bovenbalken

De bovenbalken worden toegepast om de hoogte van de schuiven te reduceren. Een kleinere schuif betekent een lichter en goedkoper keringsmiddel. Hierdoor kunnen ook de bewegingswerken en energievoorziening met minder vermogen en daardoor goedkoper worden aangelegd. De bovenbalk hoeft niet te bewegen en kan als betonnen constructie worden uitgevoerd.

2. Pijlers

De pijlers zijn circa 45 meter lang (lengte in de richting van de stroming). De pijlers nemen de krachten op uit de schuif en de bovenbalk en dragen deze over naar de fundering. De pijlers dienen zo te worden vormgegeven dat ze de spuisroom zo min mogelijk hinderen.

3. Fundering

Elke pijler neemt een vervalbelasting en golfbelasting op. De verticale belasting is relatief klein, doordat de betonnen pijlers hol van binnen zijn en gedeeltelijk in het water staan, waardoor ze een grote opwaartse kracht ondervinden. Deze resultante van de belastingen dient afgedragen te worden naar de ondergrond. Om de vereiste draagkracht van de fundering te verkrijgen zal op palen gefundeerd worden.

4. Vloerconstructies

Het gebied tussen de pijlers wordt uitgevoerd als gewapend betonvloer. Aan het eind van de spuisluispijler, direct achter het schuivenhuis, maakt de bodem een sprong omlaag van 4,5 meter. De stroomsnelheden en turbulentie van de spuistromen zijn hierdoor zodanig dat de eerste 40 meter van de uitstroomzijde van de spuisluis wordt uitgevoerd als onderwaterbetonvloer. Aan de IJsselmeerzijde is over een lengte van 30 meter onderwaterbeton om de stabiliteit van de constructie onder extreme omstandigheden (erosie bij weigerende schuiven) te garanderen.

5. Damwanden

Om te voorkomen dat water onder en achter de sluis stroomt en grond meevoert (onder- en achterloopsheid), worden damwanden ingeheld onder de sluis aan instroomzijde en aan uitstroomzijde van de betonconstructie. Tegelijkertijd zorgen deze damwanden ervoor dat een eventuele ontgrondingskuil niet kan doorzetten en daardoor geen gevolgen heeft voor de stabiliteit van de spuisluis. De koppen van de damwanden worden opgenomen in de vloer van de spuisluis.

6. Schuiven

De schuiven keren het water tussen het niveau van de bodem en het niveau van de onderkant van de bovenbalk. Aangezien de schuif moet bewegen langs genoemde bovenbalk, is een symmetrische schuifconstructie, bestaande uit een enkele wand in het midden en liggers/regels aan beide zijden van de beplating niet mogelijk. Het schuifontwerp dient evenwel te voldoen aan de eis van tweezijdig keren.

7. Geleidingen en afdichtingen

De schuiven worden voorgespannen tussen de opleggingen. Dit heeft tot doel dat de gesloten schuiven niet kunnen klappen of trillen als gevolg van windgolven en dat de schuif aan de zijranden goed tegen de geleidingen wordt afgedicht. De geleidingen zorgen tevens voor het opvangen van belastingen door golven en een mogelijke scheefstand van de schuif tijdens het bewegen.

8. Verkeersweg

De brugconstructie overspant de spuikokers en steunt af op de pijlers. De brugconstructie is ca. 30 meter breed en biedt de A7 twee keer twee rijstroken en een vluchtstrook in beide richtingen. Na variantenafweging blijkt een uitvoering met ter plaatse gestort beton en als prefab beton nagenoeg even duur zijn. In dit onderzoek wordt gekozen voor een uitvoering met ter plaatse gestort beton.

9. Onderhoudsweg/Fietspad

Deze brugconstructie overspant de spuikokers en steunt af op de pijlers. De constructie vormt de basis voor een combinatie van onderhouds-, inspectie- en fietspad. De breedte van de brug kan gereduceerd worden door ook een deel van de bovenkant van de bovenbalk te gebruiken als basis voor het pad.

10. Bewegingswerken

Voor het bewegen van de schuiven zijn bewegingswerken nodig aan beide zijden van de schuif. Door middel van een hydraulische pomp wordt hydraulische energie via leidingen naar de cilinders van de bewegingswerken geleid. Daar wordt het omgezet in mechanische energie voor bewegingen van de schuif.

11. Elektro-installatie

De elektrotechnische installatie verzorgt de aanvoer en verdeling van elektrische energie voor het aandrijven van de pompen voor de bewegingen van de schuif en voor het lokaal of op afstand bedienen van de installatie. Daarnaast zijn de licht-, verkeer- en klimaatinstallaties, alsook de meet- en informatiesystemen onderdelen van de elektrotechnische installatie.

12. Bodembescherming

Op de bodem van zowel het toe- als uitstroomgedeelte wordt een bodembescherming aangebracht. Deze bodembescherming voorkomt dat erosie van de bodem leidt tot ontgroningen die het functioneren en de stabiliteit van de spuisluis in gevaar kunnen brengen.

13. Geleidedammen

Aan de Waddenzeezijde van de spuisluis worden twee geleidedammen aangelegd. Deze dammen dienen ter vergroting van de spuicapaciteit van de sluis en ter verkleining van de benodigde oppervlakte van de bodembescherming.

14. Grondwerk

Tijdens de bouw van de spuisluis zal veel grond verzet moeten worden. De bouwput moet ontgraven worden, een ringdijk wordt aangelegd, de Afsluitdijk wordt verbreed bij de aansluitingen van het nieuwe wegdeel op het oude, de bodem van het aan- en uitstroomgedeelte wordt ten behoeve van stroomgeleiding op de juiste diepte gebaggerd, de ringdijk wordt verwijderd en de Afsluitdijk wordt afgegraven ter plaatse van het spuimiddel. Het grondwerk zal zowel als droog als nat grondverzet worden uitgevoerd.

15. Bemaling

De bouwput wordt leeggepompt en droog gehouden met een bemaling. Gedurende de bouwperiode wordt er energie gebruikt voor deze bemaling en moet er een bemalingsbelasting worden betaald per kubieke meter onttrokken water. De omvang van de bemaling is afhankelijk van de omtrek en diepte van de bouwput en de bouwtijd.

5.3 Beschrijving hoofdvariabelen

5.3.1 Definitie hoofdvariabelen

Zoals in de doelstelling (paragraaf 2.3) beschreven, wordt in dit onderzoek de relatie afgeleid tussen de afmetingen van de spuiopeningen en de kosten van de spuisluis. De afmetingen van de spuiopeningen, waarbij het totaal van bouw- en beheerskosten (bij een gegeven spuicapaciteit) minimaal zijn, kunnen met de afgeleide relatie bepaald worden. De afmetingen van de spuiopeningen zijn samengesteld uit de volgende vrijheidsgraden (zie paragraaf 4.4):

1. De schuifbreedte
2. Het niveau van de spuisluisbodem
3. De schuifhoogte

In de modellering en berekeningen ten behoeve van de afleiding van bovengenoemde relatie worden deze vrijheidsgraden getransformeerd tot variabelen, waarmee eenvoudig en efficiënt gerekend kan worden. De transformatie ziet er als volgt uit:

Tabel 5.2: Transformatie van vrijheidsgraden naar hoofdvariabelen

	Vrijheidsgraden	Hoofdvariabelen	Code
1	De schuifbreedte	Aantal schuiven	n
2	Het niveau van de onderkant van de schuiven	Niveau bodem spuisluis	N2
3	De schuifhoogte	Niveau onderkant bovenbalk	N1

Deze drie variabelen zijn de sturende variabelen in het onderzoek en om het onderscheid aan te duiden ten opzichte van de andere (niet-sturende) variabelen, worden ze benoemd met de term hoofdvariabelen.

De transformatie van de eerste vrijheidsgraad naar hoofdvariabele is op basis van de verhouding:

$$\text{Aantal schuiven} = \text{Netto Spuibreedte} / \text{schuifbreedte} \rightarrow n = NB / b$$

De overweging het aantal schuiven als hoofdvariabele te gebruiken in plaats van de schuifbreedte zelf, is als volgt: Ervan uitgaande dat het aantal in gebruik te nemen schuiven een geheel getal is, is het praktischer om het aantal schuiven als hoofdvariabele te gebruiken dan de schuifbreedte zelf. Een theoretisch berekende optimale breedte kan immers in de praktijk niet haalbaar zijn, omdat bij die breedte geen geheel aantal schuiven gebruikt wordt. De resultaten van het optimalisatiemodel moeten in dat geval alsnog geïnterpreteerd worden. Bij gebruik van het aantal schuiven als hoofdvariabele is dit niet nodig.

De tweede hoofdvariabele neemt de definitie van de tweede vrijheidsgraad onveranderd over:

$$\rightarrow N2 = \text{Niveau bodem spuisluis}$$

De derde hoofdvariabele wordt gevormd uit de derde vrijheidsgraad op basis van de relatie:

$$\text{Niveau onderkant bovenbalk} = \text{niveau bodem spuisluis} + \text{schuifhoogte} - 0,5\text{m}$$

De aftrek van 0,5 meter betreft de hoogte van de overlapping tussen de bovenkant van de schuiven en de onderkant van de bovenbalk

$$\rightarrow N1 = N2 + \text{schuifhoogte} - 0,5\text{m}$$

In de volgende subparagrafen wordt de invloed van de drie hoofdvariabelen op een kwalitatieve manier beschreven.

5.3.2 Aantal schuiven

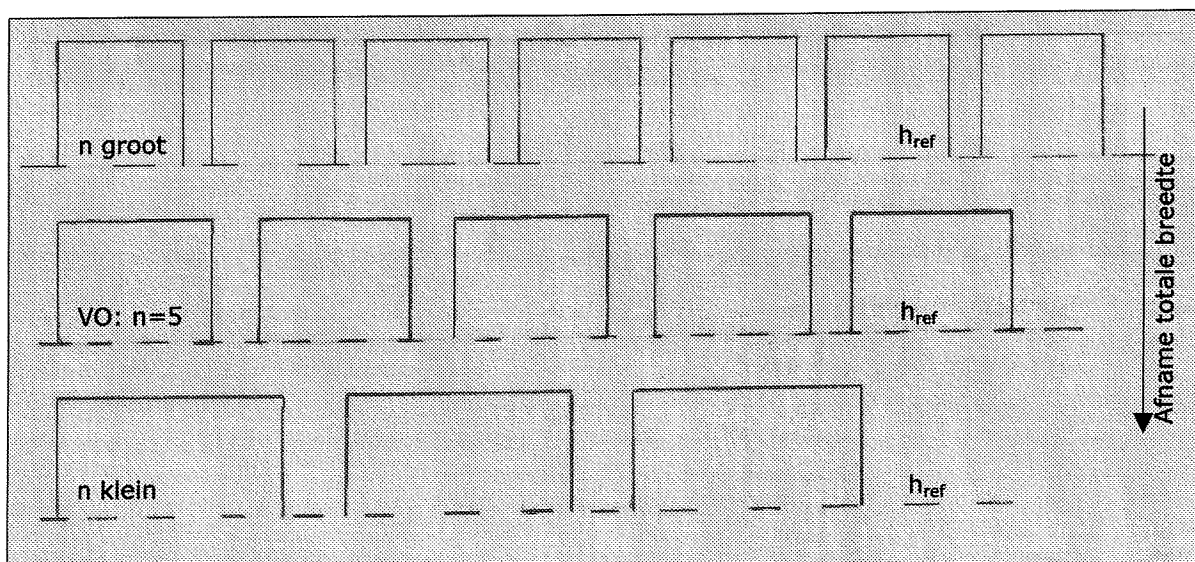
Het aantal schuiven wordt uitgedrukt met de variabele n . Bij een bepaalde vastgestelde netto spuibreedte (NB) verandert de schuifbreedte met het aantal schuiven volgens $b = \frac{NB}{n}$.

De kosten van de spuisluisconstructie zijn erg gevoelig voor de keuze van het aantal schuiven: Veel smalle schuiven zijn kostentechnisch gunstig voor de dimensionering van de schuiven, echter het aantal pijlers en bewegingswerken wordt zeer nadelig beïnvloed. Bovendien zal de bruto breedte van de constructie (netto spuibreedte vermeerderd met de breedte van alle pijlers) behoorlijk toenemen, wat ongunstig is voor de omvang en kosten voor bodembescherming, baggerwerkzaamheden en bouwput.

Weinig brede schuiven zijn door de grote overspanning kostentechnisch zeer ongunstig voor de schuiven, bovenbalken en brugconstructies. Daarentegen is de bruto breedte van de constructie slechts weinig groter dan de netto spuibreedte. Hieruit volgen lagere kosten voor de onderdelen die hieraan gerelateerd zijn (bodembescherming, baggerwerkzaamheden en bouwput). Tevens vormt ook het lage aantal pijlers een relatief kostenvoordeel.

Tabel 5.3: Effecten van veranderingen in het aantal schuiven

Aantal schuiven	Voordelen	Nadelen
Groot	<ul style="list-style-type: none"> Lichte dimensionering van de schuiven, bovenbalken en bruggen (momenten verlopen kwadratisch met de lengte) Groter repetitie-effect 	<ul style="list-style-type: none"> Door meer aantallen ook vaker cyclusopstartkosten (bv. pijlers) Toename van totale breedte constructie
Klein	<ul style="list-style-type: none"> Besparingen door minder cycli (minder vaak cyclusopstartkosten) Gunstige totale breedte door weinig pijlers 	<ul style="list-style-type: none"> Zware dimensionering van schuiven, bovenbalken en bruggen (momenten verlopen kwadratisch met de lengte) Kleiner repetitie-effect



Figuur 5.4: Schematisatie veranderingen in hoofdvariabele n

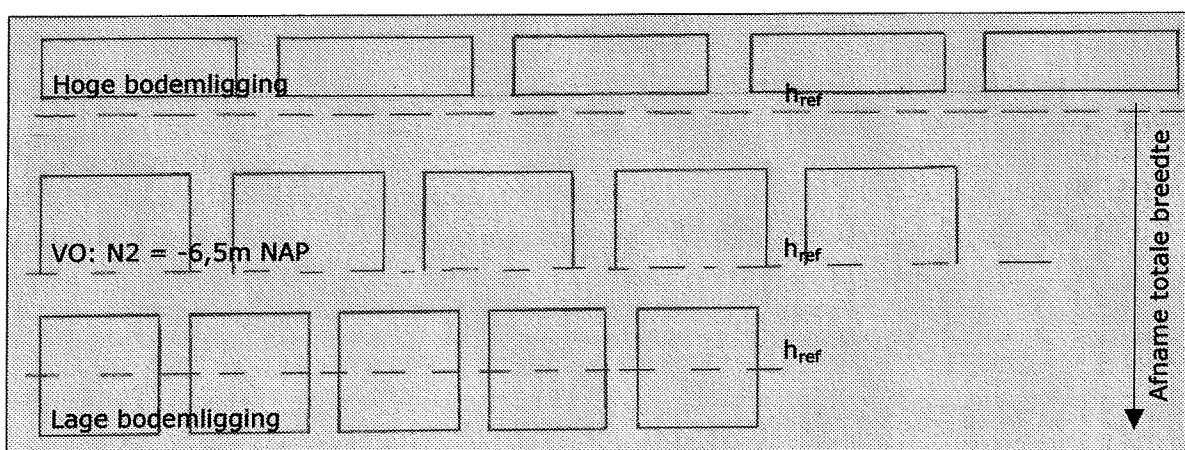
5.3.3 Niveau bodem spuisluis

Het niveau van de bodem van de spuisluis wordt uitgedrukt met de variabele N_2 . Deze variabele heeft een duidelijke invloed op de totale kosten van de spuisluis. De optimale bodemligging ligt op een niveau waarbij de marginale kosten van een ontwerp met eenzelfde spuicapaciteit bij een 1% diepere bodemligging gelijk is aan de marginale kosten bij een 1% bredere constructie. Dit kan als volgt worden duidelijk gemaakt: Een variant met een diepere bodemligging levert meer debiet per strekkende meter, waardoor een kleinere breedte nodig is (kostenvoordeel). Bij toenemende diepte leidt een verdere verlaging echter tot een meer dan evenredig proportionele toename van de kosten van de bouwmethodiek, de schuiven, de bewegingswerken, de bodembescherming en de ontgraving benodigd om het spuimiddel optimaal te laten functioneren. Een ander nadeel van een diepere ligging van de drempel is de zouttong rond openen en sluiten van de spuisluis. Om te voorkomen dat er een zoute onderstroom het IJsselmeer opkomt zal bij een diepe drempelliging langer moeten worden gewacht voordat er kan worden gespuid, en eerder moeten worden gestopt met spuien dan bij een variant met een minder diepe drempelliging. Dit kortere spuienster betekent dat er minder kan worden gespuid en dat gecompenseerd moet worden in een wat grotere spuibreedte.

Uit het bovenstaande blijkt dat er een ontwerp moet zijn met een bodemligging waarbij een minimum aan financiële middelen nodig is om te voldoen aan de ontwerpeisen. De invloed van deze variabele zal in het onderzoek en de optimalisatie betrokken worden.

Tabel 5.4: Effecten van veranderingen in het niveau van de bodem van de spuisluis

Niveau bodem spuisluis	Voordelen	Nadelen
Hoog	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weinig grondverzet ▪ Lage en lichte schuiven ▪ Lichte bewegingswerken ▪ Kleine invloed zouttong op spuienster 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minder debiet per strekkende meter ▪ Grotere totale breedte van de constructie
Laag	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meer debiet per strekkende meter ▪ Kleinere totale breedte van de constructie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veel grondverzet ▪ Hoge en zware schuiven ▪ Zware bewegingswerken ▪ Grote invloed zouttong



Figuur 5.5: Schematisatie veranderingen in hoofdvariabele N_2

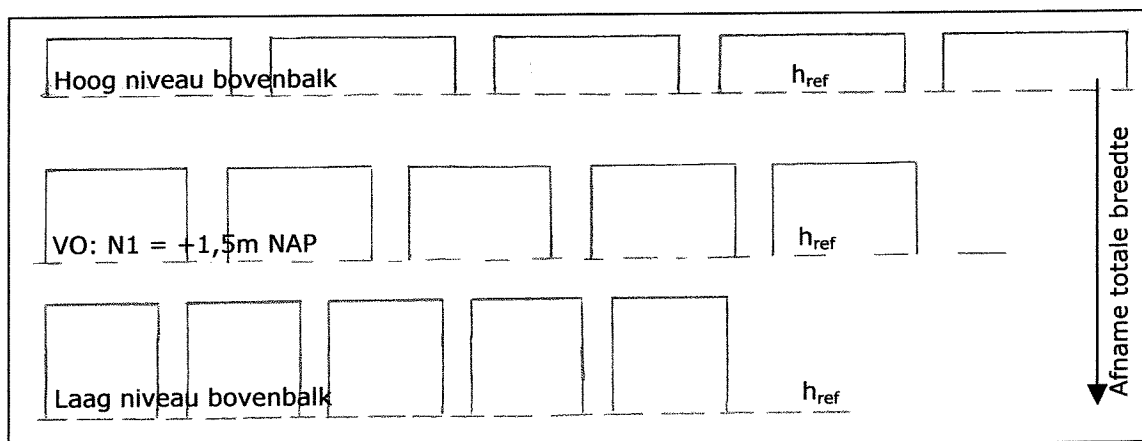
5.3.4 Niveau onderkant bovenbalk

Het niveau van de onderkant van de bovenbalk wordt uitgedrukt met de variabele $N1$. Het belangrijke voordeel van een bovenbalk is dat de hoogte van de schuif beperkt kan worden, wat doorwerkt in lagere kosten voor de schuiven, bewegingswerken en installaties. Wanneer de onderkant van de bovenbalk echter dermate laag komt te liggen dat de spuistroom gehinderd wordt, dan moet deze capaciteitsdaling gecompenseerd worden in extra spuibreedte. Dit beïnvloedt de kosten negatief. Dat is ook de reden waarom, na afweging, het alternatief "diepe koker", welke gebaseerd is op het idee van een spui koker met plafond, al in een eerdere fase door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat minder geschikt bevonden is.

In onderstaande tabel zijn de voor- en nadelen van verschillende niveau's van de onderkant van de bovenbalk aangegeven:

Tabel 5.5: Effecten van veranderingen in het niveau van de onderkant van de bovenbalk

Onderkant bovenbalk	Voordelen	Nadelen
Hoge ligging	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lage kosten bovenbalk ▪ Weinig golfopsluiting ▪ Geen hydraulische beïnvloeding 	Kostennadeel door: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zware schuiven ▪ Zware bewegingswerken
Lage ligging	Kostenvoordeel door: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lichte schuiven ▪ Lichte bewegingswerken 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hoge kosten bovenbalk ▪ Mogelijke beïnvloeding hydraulica ▪ Beperking stroomvoerend profiel



Figuur 5.6: Schematisatie veranderingen in hoofdvariabele $N1$

5.4 Beschrijving opbouw kosten

Het doel van de optimalisatie van de afmetingen van de spuiopeningen is te komen tot een bodemligging en een hoogte en breedte van de schuiven waarbij de *totale kosten van het spuicomplex (bij een gegeven spuicapaciteit) minimaal zijn*.

Met de totale kosten wordt bedoeld de som van de bouwkosten en de beheerskosten.

Veel (hoofd)onderdelen moeten constructief gezien aangepast of anderszins gewijzigd worden bij verandering van de schuifbreedte en de bodemligging. Deze verandering beïnvloedt de directe bouwkosten. De directe bouwkosten zullen worden aangeduid met de letter A.

De beheerskosten worden onderverdeeld in onderhoudskosten en energiekosten. De onderhoudskosten worden berekend voor een periode van 100 jaar. De energiekosten bestaan uit de kosten van het energieverbruik van de bewegingswerken en pompinstallaties. Alle beheerskosten worden gekapitaliseerd naar het tijdstip van begin van ingebruikname van het complex. Sloopkosten worden voorsnog buiten beschouwing gelaten. De onderhoudskosten worden aangegeven met de letter B en de energiekosten met de letter C.

Naast deze kwantificeerbare kosten bestaat ook een categorie van afhankelijkheden ten opzichte van de afmetingen van de spuiopeningen, welke minder goed in geld is uit te drukken. Desondanks zal deze categorie zeker invloed hebben en houden op de optimalisatie van de schuifbreedte. Deels kwalitatief/deels kwantitatief zullen deze afhankelijkheden worden meegenomen in de financiële afweging.

5.5 Definitie doelfunctie

De combinatie van de invloeden van de 15 hoofdonderdelen, de 3 hoofdvariabelen en de opbouw van de kosten (respectievelijk paragraaf 5.1, 5.2 en 5.3) wordt samengevat in de doelfunctie. Deze is de functie welke gekwantificeerd en geminimaliseerd wordt, teneinde de afmetingen van de spuiopeningen te vinden waarbij de kosten van de spuisluis minimaal zijn. De drie invloeden zijn verwerkt in de volgende tabel met toelichting:

Tabel 5.6: Samenstelling kostentabel

Disc.	Nr.	Hoofdonderdeel	bouwkosten	beheerskosten		kosten per onderdeel	kosten per discipline
			direct	onderhoud	energie		
			A	B	C		
C	1	Bovenbalken	A ₁	B ₁	C ₁	ΣK ₁	ΣK _C
	2	Pijlers	A ₂	B ₂	C ₂	ΣK ₂	
	3	Fundering	A ₃	B ₃	C ₃	ΣK ₃	
	4	Vloerconstructies	A ₄	B ₄	C ₄	ΣK ₄	
	5	Damwanden	A ₅	B ₅	C ₅	ΣK ₅	
S	6	Schuiven	A ₆	B ₆	C ₆	ΣK ₆	ΣK _S
	7	Geleidingen en afdichtingen	A ₇	B ₇	C ₇	ΣK ₇	
B	8	Verkeersweg	A ₈	B ₈	C ₈	ΣK ₈	ΣK _B
	9	Onderhoudsweg/Fietspad	A ₉	B ₉	C ₉	ΣK ₉	
I	10	Bewegingswerken	A ₁₀	B ₁₀	C ₁₀	ΣK ₁₀	ΣK _I
	11	Elektro-installatie	A ₁₁	B ₁₁	C ₁₁	ΣK ₁₁	
W	12	Bodembescherming	A ₁₂	B ₁₂	C ₁₂	ΣK ₁₂	ΣK _W
	13	Leidammen	A ₁₃	B ₁₃	C ₁₃	ΣK ₁₃	
U	14	Grondwerk	A ₁₄	B ₁₄	C ₁₄	ΣK ₁₄	ΣK _U
	15	Bemaling	A ₁₅	B ₁₅	C ₁₅	ΣK ₁₅	
Kosten naar soort			ΣA _i	ΣB _i	ΣC _i	TK	TK

Uit de tabel leiden we af dat de doelfunctie luidt:

$$\text{Minimaliseer } TK = \sum_{i=1}^{15} \{A_i + B_i + C_i\} \text{ naar variabelen } n, N2 \text{ en } N1$$

De functies $A_i(n, N2, N1)$, $B_i(n, N2, N1)$ en $C_i(n, N2, N1)$ bestaan ieder uit een optelsom van kostenonderdelen. Deze kostenonderdelen worden elk gevormd door de uitkomst van het aantal benodigde eenheden van een bepaald product of dienst, vermenigvuldigd met de eenheidsprijs van dat product of die dienst. Om dit rekenkundig inzichtelijk te maken kan dit als volgt gedefinieerd worden:

$$A_i(n, N2, N1) = \sum_{j=1}^{m_i} f_x(n, N2, N1) \cdot \text{prijs}_x$$

$$B_i(n, N2, N1) = \int_0^{100} \frac{O_i(n, N2, N1, t)}{(1+r)^t} \cdot dt$$

$$C_i(n, N2, N1) = \int_0^{100} \frac{s(n, N2, N1, t) \cdot P(n, N2, N1) \cdot \text{prijs}_{\text{energie}}}{(1+r)^t} \cdot dt$$

De definities van de gebruikte symbolen zijn:

$i=1...15$, verwijzing naar hoofdonderdeel 1 t/m 15
$k=1...15$, idem
$j=1...m_k$, verwijzing naar een schuifbreedte-afhankelijke variabele
$m_k=m_i$, totaal aantal variabelen per hoofdonderdeel
$f_x(n,N2,N1)$, beschrijving relatie tussen $(n,N2,N1)$ en variabele x
$prijs_x$, prijs per eenheid van variabele x
$O_i(n,N2,N1,t)$, functie welke het verband aangeeft tussen de onderhoudskosten per jaar van onderdeel i als functie van $(n,N2,N1)$ en de tijd
r	, reële rentevoet
t	, tijd in jaren
$s(n,N2,N1,t)$, functie welke het verband aangeeft tussen de duur van de periode van inzet en $(n,N2,N1)$ en de tijd
$P(n,N2,N1)$, totaal geïnstalleerd vermogen afhankelijk van $(n,N2,N1)$
$prijs_{energie}$, de kosten per eenheid van gebruikte energie

De energievergelijking stelt dat de totale energiehoogte als som van plaats-, druk- en snelheids- hoogte voor iedere raai gelijk is aan de totale energiehoogte van de voorgaande raai, verminderd met de verliezen tussen die twee raaien als gevolg van vertraging, bodem- en wandwrijving en andere invloeden (spinningen):

$$h_i + \frac{v_i^2}{2 \cdot g} = h_{i+1} + \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g} + \xi_{\text{carnot},i} \cdot \frac{(v_i - v_{i+1})^2}{2 \cdot g} + \xi_{\text{weers tan d},i} \cdot \frac{(v_i + v_{i+1})^2}{2 \cdot g}, \quad i=0,1,\dots,10$$

met	h_i	= drukhoogte t.p.v. raai i [m]
	v_i	= stroomsnelheid t.p.v. raai i [m/s]
	g	= versnelling zwaartekracht [m/s ²]
	$\xi_{\text{carnot},i}$	= verliescoëfficiënt a.g.v. vertraging van de stroming [-]
	$\xi_{\text{weers tan d},i}$	= verliescoëfficiënt a.g.v. wand- en bodemwrijving [-]

Door voor de bovenstroomse raai (raai 0) een waterstand en een debiet aan te nemen, wordt met behulp van deze formules uitgerekend wat de waarden voor h en v zijn voor de stroomafwaarts gelegen raai (raai 1). Dit wordt herhaald voor alle raaien, waarna voor de hele lijn de drukhoogtes en de stroomsnelheden bekend zijn. Zo ontstaat er een verband tussen enerzijds bovenwaterstand en debiet en anderzijds de benedenwaterstand. Een uitdraai van het model en de resultaten van een voorbeeldberekening zijn opgenomen in bijlage 1.

In de modellering van het VO van de Bouwdienst wordt dit verband bepaald voor een groot aantal combinaties van bovenwaterstanden en debieten. Deze gegevens worden gebruikt om met behulp van de formule

$$Q = \mu \cdot b_k \cdot (H_{YM} - z_k) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$

met	Q	= debiet [m ³ /s]
	μ	= afvoercoëfficiënt [-]
	b_k	= breedte kokers [m]
	H_{YM}	= energieniveau IJsselmeer [m]
	z_k	= niveau bodemligging kokers [m]
	g	= versnelling zwaartekracht [m/s ²]
	ΔH	= energieverval [m]

de afvoercoëfficiënt te bepalen bij een selectie van bovenwaterstanden en vervallen. Dit is nodig om de spuivolumes per spuicyclus te bepalen. In een spuicyclus verandert continu het verval, zowel door het spuien als door de variatie in de Waddenzee waterstand door het getij. Hierdoor verandert ook het debiet continu. Door een spuicyclus op te delen in n tijdstapjes (n voldoende groot gekozen) kan het bijbehorende spuivolume worden berekend met de formule:

$$\text{Spuivolume} = \sum_1^n (\Delta t \cdot Q_n)$$

met	n	= aantal tijdstapjes [-]
	Δt	= grootte tijdstapje [s]
	Q_n	= gemiddelde debiet gedurende tijdstapje n [m ³ /s]

In dit afstudeeronderzoek wordt de modellering ook toegepast om vast te stellen welke debieten, waterstanden en snelheden optreden bij een (rekenkundig) statisch opgelegde boven- en

benedenwaterstand. In de volgende paragrafen wordt beschreven welke invloeden veranderingen in het ontwerp hebben op de optredende debieten en hoe deze veranderingen tot uiting komen in de benodigde netto spuibleedte.

6.2 Aantal schuiven

Wanneer in het ontwerp meer schuiven gekozen worden, wordt ook direct voor meer pijlers gekozen. Deze pijlers vertragen de spuistroom als gevolg van wandwrijving. Hoe meer pijlers, des te groter deze vertraging is en hoe kleiner het maximaal haalbare debiet van de spuisluis. Om toch een zelfde hoeveelheid water te kunnen spuien, zal dan compensatie gezocht moeten worden in een extra spuibleedte.

In het hierboven genoemde model is de invloed van het aantal pijlers onderzocht door te variëren met k-waarden, welke een maat zijn voor de wandruwheid en -wrijving. Een ontwerp met meer pijlers wordt dan geschematiseerd als een ontwerp met een grotere wandwrijving.

De verwachte invloed van het aantal pijlers op het debiet was relatief klein, omdat het door de pijlers beïnvloede deel van de spuistroom een orde kleiner is dan de breedte van de spuiopeningen. Het overgrote deel van de spuistroom "merkt" dan niets van de aanwezigheid van de pijlerwand.

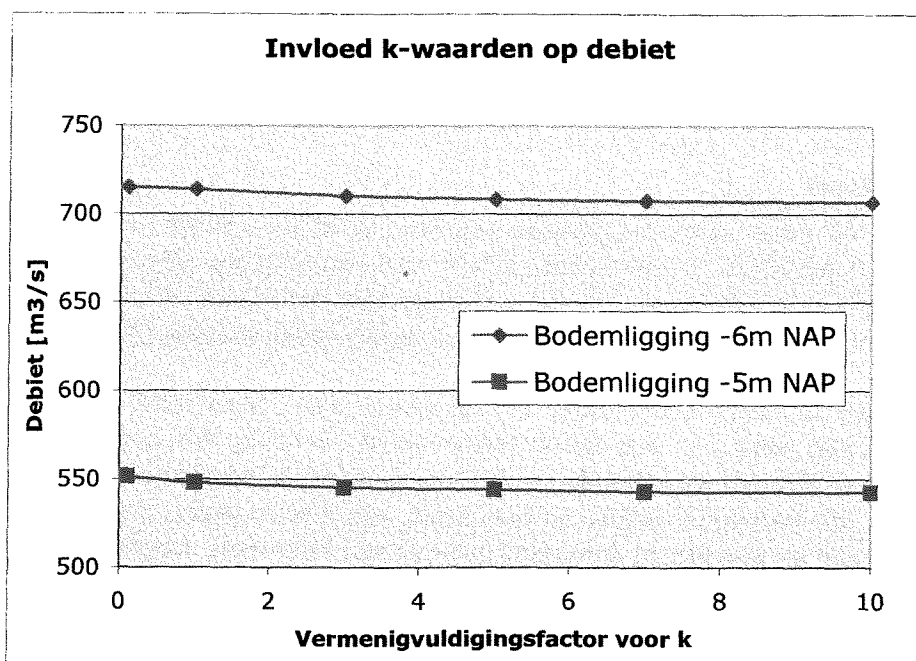
Daarom is gekozen voor een oriënterende berekening van de invloed op de netto spuibleedte. Voor twee verschillende ontwerpen (bodempligging respectievelijk op NAP -5 m en NAP -6 m) is bij een vastgestelde boven- en benedenwaterstand (NAP +/- 0 m respectievelijk NAP -1 m) berekend hoe het debiet afhangt van de input van de k-waarden. Hierbij wordt opgemerkt dat het feitelijke verband tussen het aantal pijlerwanden en de input van de k-waarden nog onbekend is. Verondersteld wordt echter dat de k-waarden voor de in het onderzoek te beschouwen ontwerpen niet meer zullen afwijken dan een factor 10 ten opzichte van de k-waarden die in het VO van de Bouwdienst zijn gebruikt. De berekeningen zijn uitgevoerd met het stromingsmodel uit bijlage 1 en de uitkomsten zijn weergegeven in bijlage 2.

De resultaten van de variatie van de k-waarden zijn als volgt:

Tabel 6.1 Invloed k-waarden op spuidebiet

Vermenigv. factor k-waarden	Q bij -6m NAP [m ³ /s]	relatief verschil [%]	Q bij -5m NAP [m ³ /s]	relatief verschil [%]
0,1	715,3	0,2	551,6	0,6
1 (VO)	713,9	0,0	548,1	0,0
3	710,4	-0,5	545,2	-0,5
5	708,3	-0,8	544,2	-0,7
7	707,6	-0,9	543,1	-0,9
10	706,9	-1,0	542,7	-1,0

In de voorgaande tabel is af te lezen dat de verschillen in het berekende debiet klein zijn. Bij een tien maal zo grote waarde voor de wandwrijving is de afname van het debiet slechts 1%. In de onderstaande grafiek is bovenstaande zichtbaar gemaakt. Er wordt op gewezen dat het in deze grafiek niet gaat om de verschillende ligging van de twee lijnen, maar slechts de variatie in de lijnen afzonderlijk.



Figuur 6.2: Invloed aantal pijlers op spuidebiet spuisluis

Vanwege de zeer geringe invloed van de variatie van de k-waarden op het debiet wordt besloten het effect hiervan niet mee te nemen in dit afstudeeronderzoek. Met dit besluit vervalt ook het verdere onderzoek naar het precieze verband tussen het aantal pijlerwanden en de bijbehorende k-waarden.

6.3 Niveau bodem spuisluis

Zoals in paragraaf 5.3.2 reeds besproken is, is de invloed van het niveau van de bodem van de spuisluis op de benodigde netto spuibreedte tweeledig. Ten eerste betekent een lager liggende bodem dat er meer water per strekkende meter spuisluis kan worden afgevoerd en dat er dus minder netto spuibreedte benodigd is. Dit aspect worden nader gekwantificeerd in paragraaf 6.3.1. Ten tweede wordt bij een lager liggende bodem het spuienvenster (de tijd dat gespuid kan worden) verkort, doordat er gewacht moet worden tot er voldoende waterstandsverschil is om de zouttong niet te laten binnendringen. Hoeveel compensatie in de netto spuibreedte hiervoor nodig is wordt beschreven in paragraaf 6.3.2.

6.3.1 Debiet per strekkende meter

Een goed functioneren van de spuisluis is niet alleen gelegen in de eis voor een voldoende waterafvoer bij hoog water en golven op het IJsselmeer, maar ook in de mate van efficiëntie bij normale waterafvoeren. Laatstgenoemde is belangrijk omdat bij een goed functionerende en efficiënte spuisluis bereikt kan worden dat in de normale spuisituatie (normale afvoeren) minder spuiopeningen behoeven te worden ingezet en de ontwikkeling van slijtage (en dus onderhoud) van de bewegingswerken, schuiven, geleidingen en afdichtingen beperkt of afgeremd kan worden en dat bespaard kan worden op energiekosten van de bewegingswerken. Gecombineerd met het feit dat de normale afvoeren ook veel frequenter optreden, kan de efficiëntie van de spuisluis van grote invloed zijn op de totale kosten (Life Cycle Costs) van het ontwerp.

Om ontwerpen te toetsen op hun efficiëntie bij de normale situatie en hun afvoercapaciteit bij de maatgevende situatie van een hoge waterstand en hoge golven op het IJsselmeer zijn er vijf karakteristieke spuicondities (combinaties van IJsselmeerwaterstanden en Waddenzee-waterstanden) opgesteld. Deze zijn:

Tabel 6.2: Definitie spuicondities

Spuiconditie	Waterstand IJsselmeer	Waterstand Waddenzee
1	NAP -0,4 meter	NAP -0,8 meter
2	NAP -0,4 meter	NAP -1,0 meter
3	NAP +/- 0 meter	NAP -1,0 meter
4	NAP +0,4 meter	NAP -0,6 meter
5	NAP +1,0 meter	NAP -0,5 meter

Voor de vijf condities wordt bekeken hoe een ontwerp zich "gedraagt": Aan de hand van het beschreven stromingsmodel worden de debieten [m^3/s per strekkende meter spuisluis] berekend. Het gemiddelde van de vijf wordt gebruikt voor de vaststelling van de netto spuibreedte. Dit wordt als volgt gedaan:

1. Voor het VO van de Bouwdienst wordt berekend wat het gemiddelde debiet per strekkende meter is.
2. Uit RIZA-onderzoeken is bekend wat de netto spuibreedte bij dit ontwerp moet zijn.
3. Vermenigvuldiging van het gemiddelde debiet per strekkende meter met deze netto spuibreedte geeft het gemiddeld spuidebiet dat het spuicomplex als geheel moet leveren.
4. Dit gemiddelde totale spuidebiet gedeeld door het eerder berekende gemiddelde spuidebiet per strekkende meter van het te toetsen ontwerp levert vervolgens de netto spuibreedte van dat ontwerp.
5. De vijf debieten per strekkende meter worden ook afzonderlijk vertaald naar debieten voor het gehele complex bij de vijf spuicondities. Voor iedere spuiconditie moeten worden voldaan aan een vastgestelde minimum waarde.
6. Tenslotte worden nog aanvullende eisen gesteld voor de afvoer bij extreme spuicondities (vervallen van 2 meter). Eén van deze extreme spuicondities is overigens al opgenomen in de set van vijf spuicondities.

De combinatie van deze toetsing en de gevolgde werkwijze voor de bepaling van de netto spuibreedte zorgt ervoor dat de spuibreedte voor een toetsontwerp voldoende nauwkeurig wordt vastgesteld en dat de kans op een ongewenst rendementsverloop voldoende klein is.

Beschreven werkwijze is uitgevoerd voor de set van vijf spuicondities en bodemliggingen variërend van -5m NAP tot -9m NAP. Berekeningen en tussenresultaten zijn te vinden in bijlage 3. In de schematisatie wordt bepaald wat het gemiddelde debiet per strekkende meter spuisluis is. In bepaalde gevallen is sprake van een volkomen overlaat situatie. In deze gevallen geeft de modellering op basis van de Bernoulli-vergelijkingen geen oplossing voor de stromingseigenschappen en moet met de formule voor schietend water berekend worden wat het debiet per strekkende meter is:

$$q = C \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} g} \cdot (H_{YM} - z_k)^{\frac{2}{3}} = 1.705 \cdot C \cdot (H_{YM} - z_k)^{\frac{2}{3}}$$

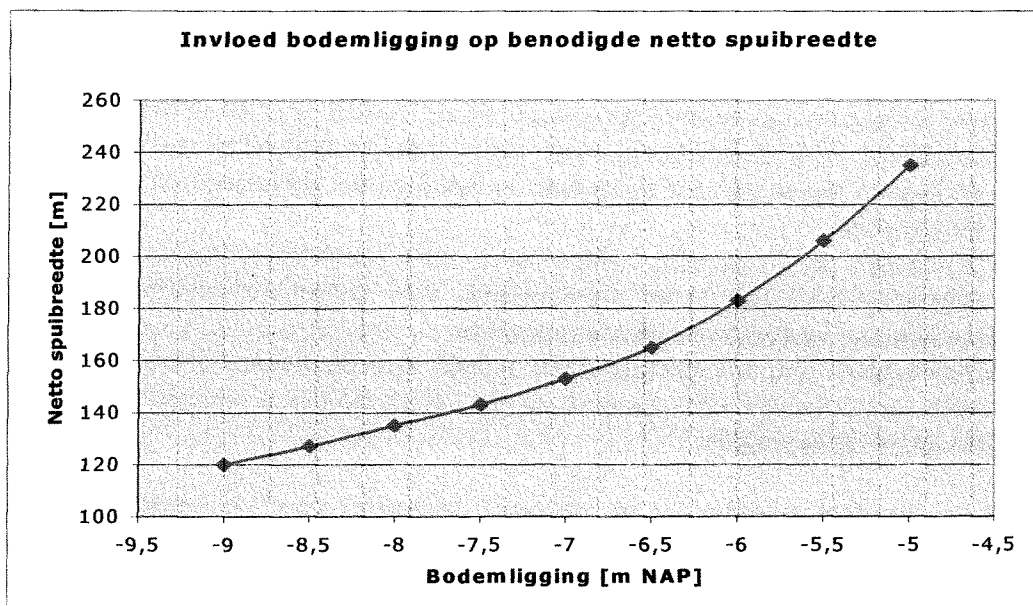
met	q	= debiet per strekkende meter [m ³ /s/m]
	C	= contractiecoëfficiënt [-]
	g	= versnelling zwaartekracht [m/s ²]
	H _{YM}	= energieniveau IJsselmeer [m]
	z _k	= niveau bodemligging kokers [m]

Hierin varieert H_{YM} per spuiconditie en is z_k gelijk aan het niveau van de spuisluisbodem. C is een contractiecoëfficiënt die de waarde 0,65 krijgt (als in VO van de Bouwdienst).

Op deze manier wordt voor iedere bodemligging en iedere spuiconditie berekend wat het debiet per strekkende meter is. Deze gegevens worden gemiddeld over de vijf spuicondities, waarna als hierboven beschreven wordt berekend hoe groot de netto spuibreedte dient te zijn.

Vervolgens wordt getoetst of er voldaan wordt aan de eisen die gesteld worden aan de debieten bij de afzonderlijke spuicondities. Wanneer niet voldaan wordt de netto spuibreedte zodanig vergroot dat voldaan wordt aan alle eisen.

De resultaten van de berekeningen zijn:



Figuur 6.3: Invloed bodemligging op netto spuibreedte

In het domein van -5m NAP tot -9m NAP voor de bodemligging (N₂) kan deze curve benaderd worden met de volgende formule:

$$NB = 0.0233 \cdot N_2^4 + 2.2352 \cdot N_2^3 + 46.185 \cdot N_2^2 + 372.49 \cdot N_2 + 1207.8$$

6.3.2 Spuivenster

Het spuivenster is de tijd tussen openen en sluiten van de schuiven tijdens een spuicyclus. Dit spuivenster zal in de toekomst bij een steeds verder stijgende zeespiegel afnemen. Hoe hoger immers de vloedstand op de Waddenzee, des te later de zeewaterstand onder de IJsselmeerwaterstand is gezakt en des te later begonnen kan worden met spuien. En hoe hoger de ebstand op de Waddenzee, des te eerder het wassende zeewaterstand weer gelijk komt met de IJsselmeerwaterstand en des te vroeger begonnen moeten worden met het sluiten van de schuiven.

Niet alleen de voortschrijding in de tijd is van invloed op de omvang van het spuivenster; ook de bodemligging van de spuisluis heeft een effect erop. Dit effect is tweeledig:

- Een diepere bodemligging betekent dat de schuiven bij openen en sluiten een langere verticale afstand moeten afleggen. Bij gelijkblijvende daal- en stijgsnelheden van de schuif betekent dit dat er meer tijd benodigd is om de gehele spuioopening vrij te maken. Gedurende de tijd dat de schuif onderweg is wordt de spuistroom gehinderd en is het spuidebiet beperkt. Een hogere schuif is derhalve nadelig voor de efficiëntie van de spuisluis.
- Onder invloed van het dichtheidsverschil tussen het Waddenzeewater ($\rho=1015-1020 \text{ kg/m}^3$) en het IJsselmeerwater ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) is er bij gelijke waterstanden een verschil in waterdruk links en rechts van de schuif. Wanneer de schuiven dan geopend zouden worden, stroomt er zout water in het IJsselmeer. Om dit te voorkomen kan er pas geopend worden wanneer het water op de Waddenzee zoveel lager staat dan op het IJsselmeer, dat de waterdrukken ter hoogte van de bodem aan beide kanten van de schuif gelijk zijn. Omdat het verschil in waterdruk toeneemt met de diepte van het water, betekent dit dat er bij een ontwerp met een diepere bodemligging langer moet worden gewacht voordat de schuiven geopend kunnen worden. Ook hier is dus een hogere schuif nadelig voor de efficiëntie van de spuisluis.

Beperking van de spuicapaciteit door beide aspecten dient gecompenseerd te worden in extra netto spuibreedte. De mate waarin deze compensatie afhangt van de bodemligging wordt als volgt gekwantificeerd:

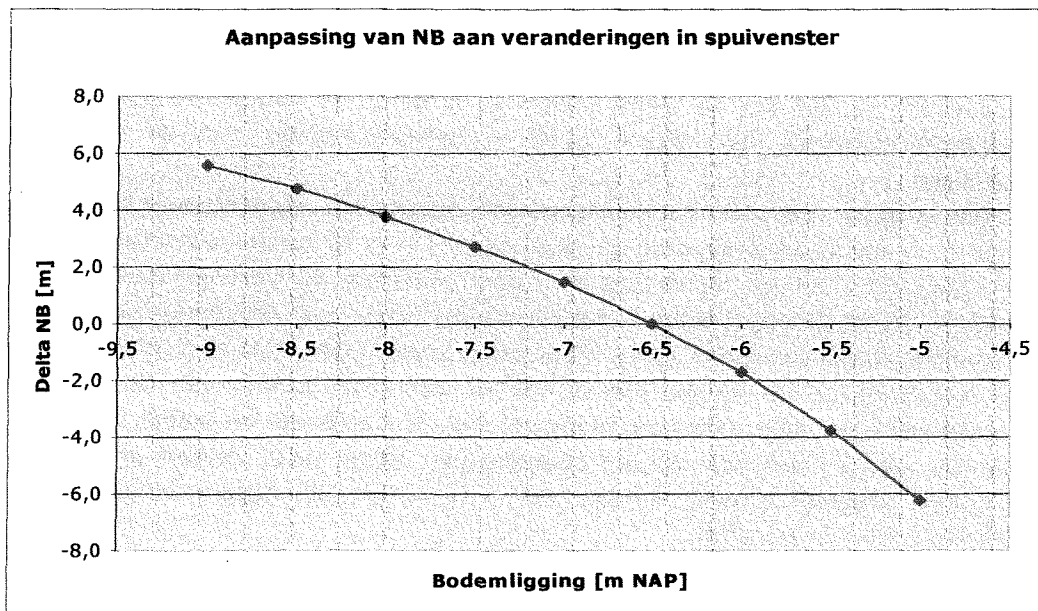
1. Voor de stijg- en daalsnelheid van de schuiven worden de snelheden uit het VO van de Bouwdienst aangehouden: $v_{\text{stijg}} = 0.018 \text{ m/s}$ en $v_{\text{daal}} = 0.027 \text{ m/s}$. De tijd dat de spuioopening niet geheel vrij is door openen en sluiten (t_1) kan dan worden berekend als functie van de bodemligging van de spuisluis. Gemiddeld genomen is de schuif half open tijdens openen en sluiten.
2. Het waterstandsverschil dat moet worden aangehouden om geen zout water in het IJsselmeer te laten komen wordt uitgerekend op basis van krachtenevenwicht. Dit is eveneens een functie van de bodemligging.
3. De tijd die verstrijkt om dit waterstandsverschil te ontwikkelen voordat geopend kan worden (t_2) en omgekeerd de tijd dat niet gespuid kan worden omdat al eerder gesloten moet worden (t_3), worden opgeteld bij de tijd benodigd voor openen en sluiten (t_1).
4. De "downtime" ($t_1 + t_2 + t_3$) wordt berekend als percentage van de spuicyclustijd. Een voorbeeld van het verloop van een spuicyclus is opgenomen in bijlage 5.
5. Dit percentage wordt omgerekend naar een beperking in spuivolume in procenten per spuicyclus.
6. Deze beperking in spuivolume wordt omgerekend naar een compensatie in extra schuifoppervlak

7. De compensatie in schuifoppervlak gedeeld door de bijbehorende hoogte van de schuif levert na kalibreren ($\Delta NB=0$ voor bodemligging op $-6,5\text{m}$ NAP als in VO) tenslotte de compensatie in de netto spuibreedte als functie van de bodemligging.

De uitwerking hiervan is te vinden in bijlage 4. Het resultaat is de volgende uitdrukking voor de compensatie in netto spuibreedte:

$$\Delta NB = \frac{-19.2 \cdot N_2 - 124.8}{-0.4 - N_2}$$

In grafiek:



Figuur 6.4: Compensatie in netto spuibreedte door verandering spuivenster

6.4 Niveau onderkant bovenbalk

De derde hoofdvariabele waarvan de invloed op de hydraulische aspecten van de spuisluis bekeken wordt is het niveau van de onderkant van de bovenbalk.

In de aanloop naar het voorontwerp is in een variantenonderzoek gebleken dat een spuisluis van het type "diepe koker" financieel minder aantrekkelijk is dan een spuisluis van het type "open spuisluis". De open spuisluis wordt gekenmerkt door de afwezigheid van een "plafond" voor de spuistroom. Hierdoor is er een vrije waterspiegelstroming en wordt de stroming in verticale zin alleen beïnvloed door de bodem.

Wanneer afgeweken wordt van het hoofdconcept van het referentieontwerp zijn ontwerp- en kostenvergelijkingen minder doorzichtig en eenvoudig te maken. Daarom wordt het niveau van de onderkant van de bovenbalk in de optimalisatie zodanig gekozen, dat sprake blijft van een open spuisluis met een vrije waterspiegel. Omdat de bovenbalk het water niet raakt, heeft het niveau van de onderkant van de bovenbalk geen effect op de benodigde netto spuibreedte.

Deze hoofdvariabele oefent daarom geen sturende invloed uit op de hydraulische aspecten van de vormgeving. Daarentegen vormt de hoofdvariabele wel indirect een hydraulische randvoorwaarde voor de constructieve en installatietechnische aspecten van het ontwerp. Deze randvoorwaarde bestaat uit een restrictie van het minimale niveau van de onderkant van de bovenbalk, zodat sprake blijft van een vrije waterspiegel.

Dit minimale niveau is afhankelijk van de bodemligging van de spuisluis. De bodemligging beïnvloedt immers de stroming (zie vorige paragraaf) en daardoor ook de snelheids- en drukhoogte ter plaatse van de schuif. De berekeningen die ten grondslag liggen aan de bepaling van dit minimale niveau worden besproken in hoofdstuk 9 (in de hoofdstukken 7 en 8 wordt uitgegaan van een ligging van de bovenbalk als in het VO van de Bouwdienst, waarna in hoofdstuk 9 de terugkoppeling en verdere optimalisatie ten aanzien van genoemde restrictie wordt uitgevoerd).

7. INVLOED VAN AANTAL SCHUIVEN EN BODEMLIGGING OP HOOFDONDERDELEN

7.1 Werkwijze

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe per civiel hoofdonderdeel bekeken wordt welke variabelen een rol spelen en hoe hun afhankelijkheid ten opzichte van de hoofdvariabelen bepaald kan worden.

Per hoofdonderdeel wordt uitgezocht welke aspecten een rol spelen in de kostenopbouw en hoe ze beïnvloed worden door de hoofdvariabelen. Gezocht wordt naar wiskundige formulerings of uitdrukkingen die deze verbanden weergeven. Het resultaat hiervan is een functievoorschrift welke per hoofdonderdeel aangeeft hoeveel eenheden van materiaal, materieel en arbeid gebruikt worden bij verschillende combinaties van de hoofdvariabelen n (aantal schuiven), $N1$ (niveau onderkant bovenbalk) en $N2$ (niveau bodemligging spuisluis). De volledige afleidingen en uitdrukkingen zijn te vinden in bijlage 7 en 8.

Alle gebruikte grootheden worden uitgedrukt in de gangbare eenheden. Voor alle eenheden worden eenheidsprijzen afgeleid. De resultaten hiervan zijn opgenomen in bijlage 10.

Met de uitdrukking $\text{Kosten} = \text{Hoeveelheden} * \text{Eenheidsprijs}$ wordt voor de hoofdonderdelen berekend wat de kosten zijn. Vervolgens wordt per discipline het totaal berekend en weergegeven in een grafiek als functie van n en $N2$. $N1$ wordt in dit hoofdstuk grafisch nog niet verwerkt; in de gepresenteerde grafieken is voor $N1$ de waarde van het VO van de Bouwdienst aangenomen: $N1 = +1,5\text{m NAP}$. In hoofdstuk 9 zal $N1$ nader worden uitgewerkt.

In paragraaf 7.2 wordt een overzicht gegeven van de onderverdeling van disciplines via hoofdonderdelen naar aspecten. In paragraaf 7.3 tot en met 7.8 worden per discipline alle aspecten nader besproken. In paragraaf 7.9 volgt een beschrijving van een aantal aspecten welke niet gekwantificeerd of in geld uitgedrukt kunnen worden. Deze aspecten beïnvloeden de uiteindelijke keuze voor de afmetingen van de spuiopeningen op een kwalitatieve manier.

7.2 Overzicht

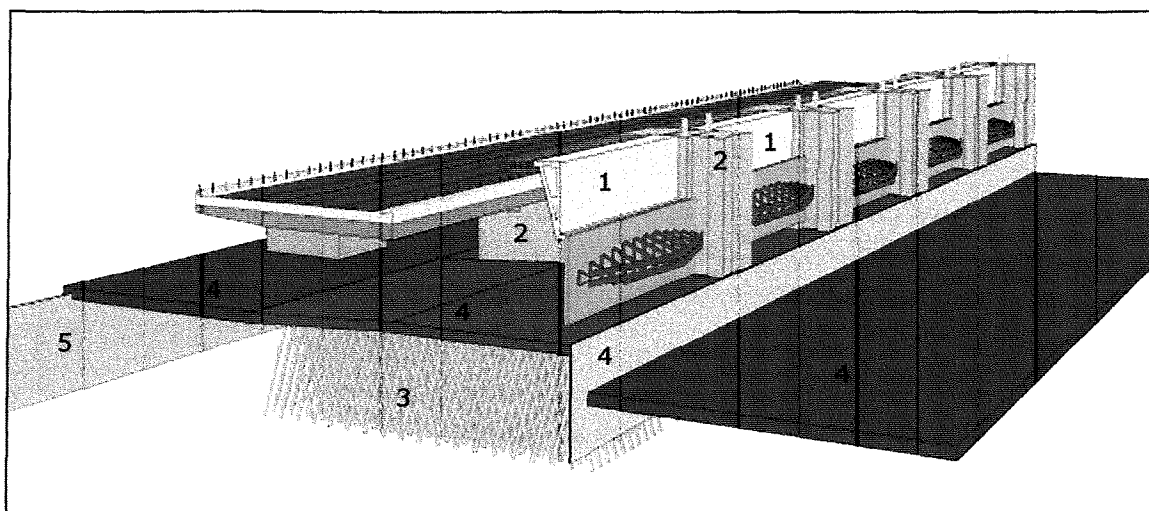
Discipline	Hoofdonderdeel	Var.	Cat.	Aspect	Eenheid
Constructieve Waterbouw					
1 Bovenbalken					
	x1	A	Aantal maal vaste kosten bovenbalk		stuks
	x2	A	Materiaalgebruik bovenbalk : Voorspanstaal		ton
	x3	A	Materiaalgebruik bovenbalk : Beton		m ³
	x4	A	Materieelgebruik bovenbalk : Bekisting		m ²
	x5	A	Materieelgebruik bovenbalk : Ondersteuningsconstructie		m ¹
2 Pijlers					
	x6	A	Aantal maal vaste kosten pijler		stuks
	x7	A	Materiaalgebruik pijler : beton		m ³
	x8	A	Materiaalgebruik pijler : Wapeningsstaal		ton
3 Fundering					
	x9	A	Aantal heipalen		stuks
4 Vloerconstructies					
	x10	A	Materiaalgebruik spuisluisbodem		m ³
	x11	A	Materiaalgebruik onderwaterbetonvloeren		m ³
5 Damwanden					
	x12	A	Oppervlakte damwanden		m ²
Staal					
6 Schuiven					
	x13	A	Aantal maal vaste kosten schuiven		stuks
	x14	A	Materiaalgebruik schuiven		ton
	x15	A	Transportmaterieel : Hijskranen		ton
	x16	A	Transportmaterieel : Bokken		ton
	x17	B	Onderhoud schuiven		%
7 Geleidingen en afdichtingen					
	x18	A	Omvang geleidingen en afdichtingen schuiven		m ¹
	x19	B	Onderhoud geleidingen en afdichtingen		%
Bruggen					
8 Verkeersweg					
	x20	A	Aantal maal vaste kosten verkeersweg		stuks
	x21	A	Materiaalgebruik verkeersweg : Beton		m ³
	x22	A	Materieelgebruik verkeersweg : Ondersteuningsconstr.		m ¹
	x23	A	Materieelgebruik verkeersweg : Bekisting		m ²
	x24	A	Afbouw wegen		m ¹

9 Onderhoudsweg/Fietspad				
	x25	A	Aantal maal vaste kosten onderhoudsweg	stuks
	x26	A	Materiaalgebruik verkeersweg : Prefab Beton	m ³
	x27	A	Materieelgebruik verkeersweg : Hijskranen	ton
Installatietechniek / werktuigbouwkunde				
10 Bewegingswerken				
	x28	A	Capaciteit bewegingswerken	kW
	x29	B	Onderhoud bewegingswerken	%
	x30	C	Energieverbruik bewegingswerken	kWh
11 Elektro-installatie				
	x31	A	Omvang elektro-installatie	%
	x32	B	Onderhoud elektro-installatie	%
Waterbouw				
12 Bodembescherming				
	x33	A	Aantal maal vaste kosten bodembescherming	stuks
	x34	A	Materiaalgebruik bodembescherming	ton
	x35	B	Onderhoud bodembescherming	%
13 Geleidedammen				
	x36	A	Materiaalgebruik leidammen	m ³
Uitvoering				
14 Grondwerk				
	x37	A	Grondwerk Afsluitdijk	m ³
	x38	A	Grondwerk Ringdijk	m ³
	x39	A	Grondwerk t.b.v. bodembescherming	m ³
	x40	A	Bouwput en baggerwerk	m ³
15 Bemaling				
	x41	A	Bemalingsvolume	m ³
	x42	A	Capaciteit bemalingspompen	m ³ /uur
	x43	C	Energieverbruik bemalingspompen	kWh

7.3 Discipline Constructieve Waterbouw

De discipline Constructieve Waterbouw is opgedeeld in de volgende hoofdonderdelen (zie overzicht vorige paragraaf en figuur 7.1):

1. Bovenbalken
2. Pijlers
3. Fundering
4. Vloerconstructies
5. Damwanden



Figuur 7.1: Overzichtsfiguur discipline Constructieve Waterbouw

Bovenbalken

De bovenbalken vormen een onderdeel van de primaire waterkering en worden in deze functie belast door dynamische waterdrukken vanaf de Waddenzee en IJsselmeer. Naast deze overwegend horizontale belasting werken op de bovenbalken verticale belastingen door eigen gewicht, verkeer en oplegkrachten uit de schuifafdichting.

x1 Vaste kosten bovenbalk

Hoeveelheden	Lineair evenredig met het aantal bovenbalken
Eenheidsprijs	40.547,5 €
Kosten Aspect x1	$n \cdot 40.547,5$

x2 Materiaalgebruik bovenbalk : Voorspanstaal

Hoeveelheden	Afhankelijk van de optredende momenten a.g.v. dynamische waterdrukken en belastingen door eigen gewicht, verkeer en oplegkrachten uit de schuifafdichting.
Eenheidsprijs	1950 € per ton
Kosten Aspect x2	$(5,4829 \cdot 10^{-6} \cdot NB \cdot b^2 \cdot (0,447 \cdot N1^2 - 7,212 \cdot N1 + 42,29 + a_{pi,v})) \cdot 1950$

x3 Materiaalgebruik bovenbalk : Beton

Hoeveelheden	Afhankelijk van de keuze voor niveau onderkant bovenbalk
Eenheidsprijs	468,90
Kosten Aspect x3	$(11,95 - 1,05 \cdot N1) \cdot NB \cdot 468,90$

x4 Materieelgebruik bovenbalk : Bekisting

Hoeveelheden	Afhankelijk van overspanningslengte (aantal schuiven) en repetitie-effect
Eenheidsprijs	172 € per m ²
Kosten Aspect x4	$(39,61 * b - 2,1 * N1 * b + 500) * 172$

x5 Materieelgebruik bovenbalk : Ondersteuningsconstructie

Hoeveelheden	Afhankelijk van overspanningslengte (aantal schuiven) en repetitie-effect
Eenheidsprijs	500 € per m ¹
Kosten Aspect x5	$b * 500$

Pijlers

Het ontwerp van de pijlers dient zo goed mogelijk de functies van krachtafdracht en onderbrenging van de sponningen te combineren met de stroomgeleiding; De breedte van de pijlers is derhalve een compromis tussen constructieve en hydraulische eisen en voorwaarden.

x6 Vaste kosten pijler

Hoeveelheden	Lineair evenredig met het aantal pijlers
Eenheidsprijs	21.485 €
Kosten Aspect x6	$(n+1) * 21.485$

x7 Materiaalgebruik pijler : Beton

Hoeveelheden	Afhankelijk van krachten uit schuiven en bovenbalken en van de bodemligging
Eenheidsprijs	147,4 € per m ³
Kosten Aspect x7	$[\{1416 - 180,125 * N2 + (-0,4125 * N2 + 1,65) * B_{pijler}^2 + (174,35 - 6,325 * N2) * (B_{pijler} - 5)\} * (n + 1)] * 147,4$

x8 Materiaalgebruik pijler : Wapeningsstaal

Hoeveelheden	Afhankelijk van de hoeveelheid beton en krachten op de pijlers
Eenheidsprijs	975 € per ton
Kosten Aspect x8	$0,2 * x7 + (n + 1) * (150 + 5 * (B_{pijler} - 5)) * 975$

Fundering

Een uitgangspunt is dat de constructie zal worden onderheid met hei-jukken, onder een helling 3:1. Ieder hei-juk bestaat uit twee schoor geheide prefab heipalen (400mm*400mm) met een paalpuntniveau op NAP -20,0m. Hart op hart-afstand van de hei-jukken in de richting evenwijdig aan de weg-as is 4 meter en in de richting van de spuistroom 2,5 meter.

x9 Aantal heipalen

Hoeveelheden	Afhankelijk van de funderingsbelastingen
Eenheidsprijs	1173,7 € per stuk
Kosten Aspect x9	$2 * n * (6 * 10^{-5} * b^4 - 0,003 * b^3 + 0,083 * b^2 + 1,565 * b + 22,51) * 1173,7$;voor $b < 55$ meter $2 * n * (30 * (b - 55) + 400) * 1173,7$;voor $b > 55$ meter

Vloerconstructies

De kokerbodem loopt naast het pijlerdeel van de brug van een niveau van NAP -8 m geleidelijk op naar een niveau van NAP -6.50 m en is uitgevoerd als gewapend betonvloer. Bij de overgang van brugpijler naar spuisluispijler ligt het bodemniveau horizontaal op NAP -6,50 m, is uitgevoerd als constructiebeton en is geheel vlak zonder een dorpel voor de schuif. Aan de (benedenstroomse) Waddenzee-zijde van het pijlerdeel van de spuisluis maakt de kokerbodem een plotselinge sprong van NAP -6.50 m naar ca. NAP -11 m van het uitstroomkanaal om de energie van de stroming af te breken en de benodigde bodembescherming te beperken. De bodem na de sprong is over 40 m lengte voorzien van onderwaterbeton.

Aan de (bovenstroomse) IJsselmeerzijde is de bodem over een lengte van 30 meter voorzien van een vloer van onderwaterbeton op NAP -8 m. Hiervoor is gekozen met het oog op een situatie van een weigerende (= niet sluitende) schuif, waarbij door de onderwaterbetonvloer de stabiliteit van het kunstwerk behouden blijft, zelfs wanneer de rest van de bodembescherming helemaal is weggespoeld.

x10 Materiaalgebruik spuisluisbodembodem

Hoeveelheden	Afhankelijk van de totale breedte van de constructie (incl. pijlers)
Eenheidsprijs	104,28 € per m ³
Kosten Aspect x10	$64,17 * BrBr * 104,28$

x11 Materiaalgebruik onderwaterbetonvloeren

Hoeveelheden	Afhankelijk van de totale breedte van de constructie (incl. pijlers)
Eenheidsprijs	119,68 € per m ³
Kosten Aspect x11	$70 * BrBr * 119,68$

Damwanden

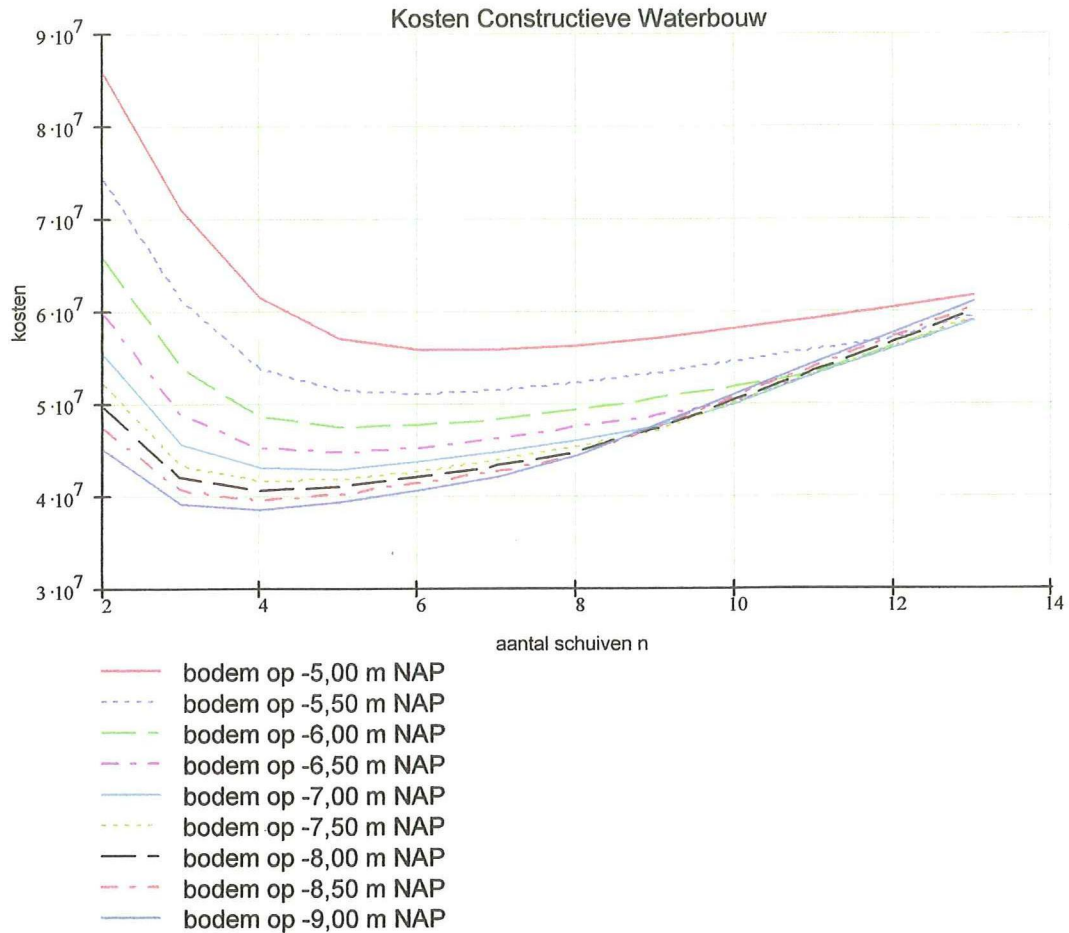
De damwanden voor en achter de constructie voorkomen dat water onder en achter de sluis stroomt en grond meevoert (onder- en achterloopsheid). Uitgangspunt in het onderzoek is dat de diepte van de damwandpunt gelijk blijft bij verschillende spuisluis-ontwerpen

x12 Oppervlakte damwanden

Hoeveelheden	Afhankelijk van de totale breedte van de constructie (incl. pijlers)
Eenheidsprijs	151,90 € per m ²
Kosten Aspect x12	$(2,15 * BrBr * N2 + 33,05 * BrBr + 14940) * 151,90$

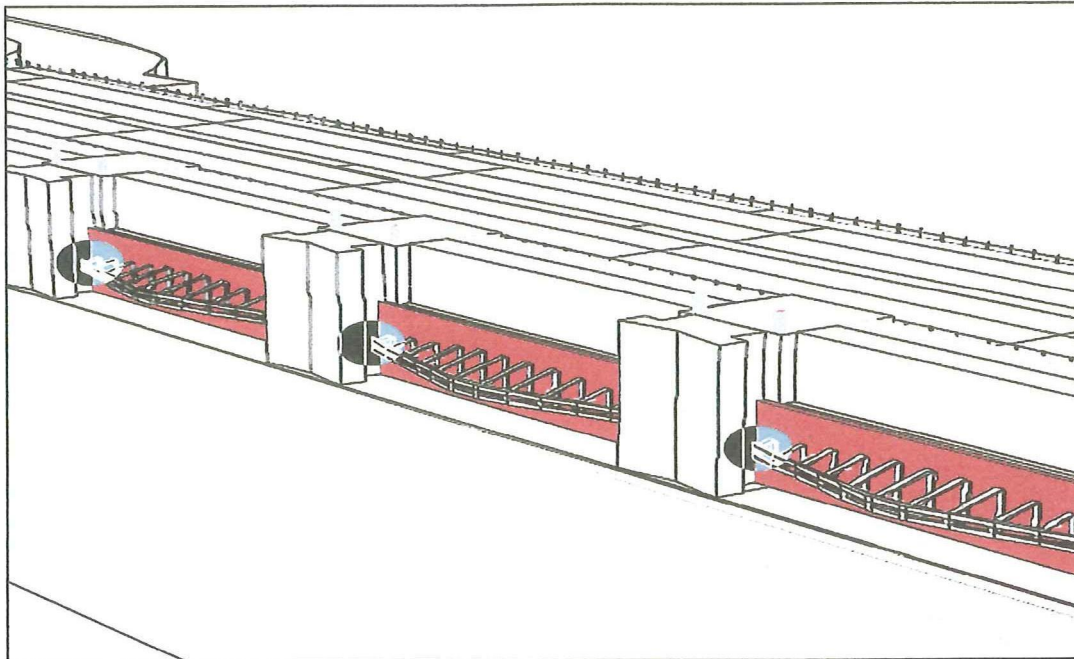
Totaalkosten Discipline Constructieve Waterbouw

Grafieken van de relaties tussen de kosten van de afzonderlijke hoofdonderdelen en de hoofdvariabelen n en N_2 zijn opgenomen in bijlage 9. De uitdrukking voor de totaalkosten van de discipline Constructieve Waterbouw ontstaat door de kosten van alle aspecten van de betreffende hoofdonderdelen op te tellen. Deze uitdrukking is in figuur 7.2 in een grafiek uitgezet.



Figuur 7.2: Kosten Discipline Constructieve Waterbouw

7.4 Discipline Staal



Figuur 7.3: Overzichtsfiguur discipline Staal

Schuiven

De schuiven worden net als de bovenbalk belast door dynamische waterdrukken vanaf Waddenzee en IJsselmeer, welke krachten en momenten veroorzaken in de schuiven welke kwadratisch afhankelijk zijn van de breedte van de schuiven ($M=1/8ql^2$). De schuiven dienen hierop berekend te worden.

x13 Vaste kosten schuiven

Hoeveelheden	Lineair evenredig met het aantal schuiven
Eenheidsprijs	124.598 €
Kosten Aspect x13	$n * 124.598$

x14 Materiaalgebruik schuiven

Hoeveelheden	Afhankelijk van afmetingen schuiven en vereiste constructiesterkte, welke afgestemd wordt op het maximaal optredende moment
Eenheidsprijs	3060 € per ton
Kosten Aspect x14	$\{n * 7,85 * ((4,648 + 0,01921 * b) * 1,1737 * 10^{-5} * ((-0,688 * N1^2 - 0,0761 * N2^2 + 10,619 * N1 - 13,829 * N2 + 3,402)) * b^2 + 187,5 * b - 937,5) + (0,4 * b + 1) * (N1 + 0,5 - N2) * (5 * 10^{-6} * b^2 + 2 * 10^{-4} * b + 3 * 10^{-4}) + 0,03 * (N1 + 0,5 - N2) + 5\} * 3060$



x15 Transportmaterieel : Hijskranen

Hoeveelheden	Gerelateerd aan het gewicht en de breedte van de schuiven en afhankelijk van inzet van specifiek materieel
Eenheidsprijs	150 € per ton hijslast
Kosten Aspect x15	$(1,67 * x14) * 150$

x16 Transportmaterieel : Bokken

Hoeveelheden	Gerelateerd aan het gewicht en de breedte van de schuiven en afhankelijk van inzet van specifiek materieel
Eenheidsprijs	400 € per ton hijslast
Kosten Aspect x16	$(1,25 * x14) * 400$

x17 Onderhoud schuiven

Hoeveelheden	Afhankelijk van de omvang en nieuwkosten van de schuiven
Eenheidsprijs	Jaarlijks % van nieuwwaarde
Kosten Aspect x17	$0,03 * (x13 * k13 + x14 * k14 + x15 * k15 + x16 * k16)$

Geleidingen en afdichtingen

De geleidingen en afdichtingen hebben de functie die hun naam aangeeft. De geleidingen zitten aan de zijkanten en de onderkant van de schuiven; de afdichtingen zitten aan alle vier de zijden van de schuiven.

x18 Omvang geleidingen en afdichtingen schuiven

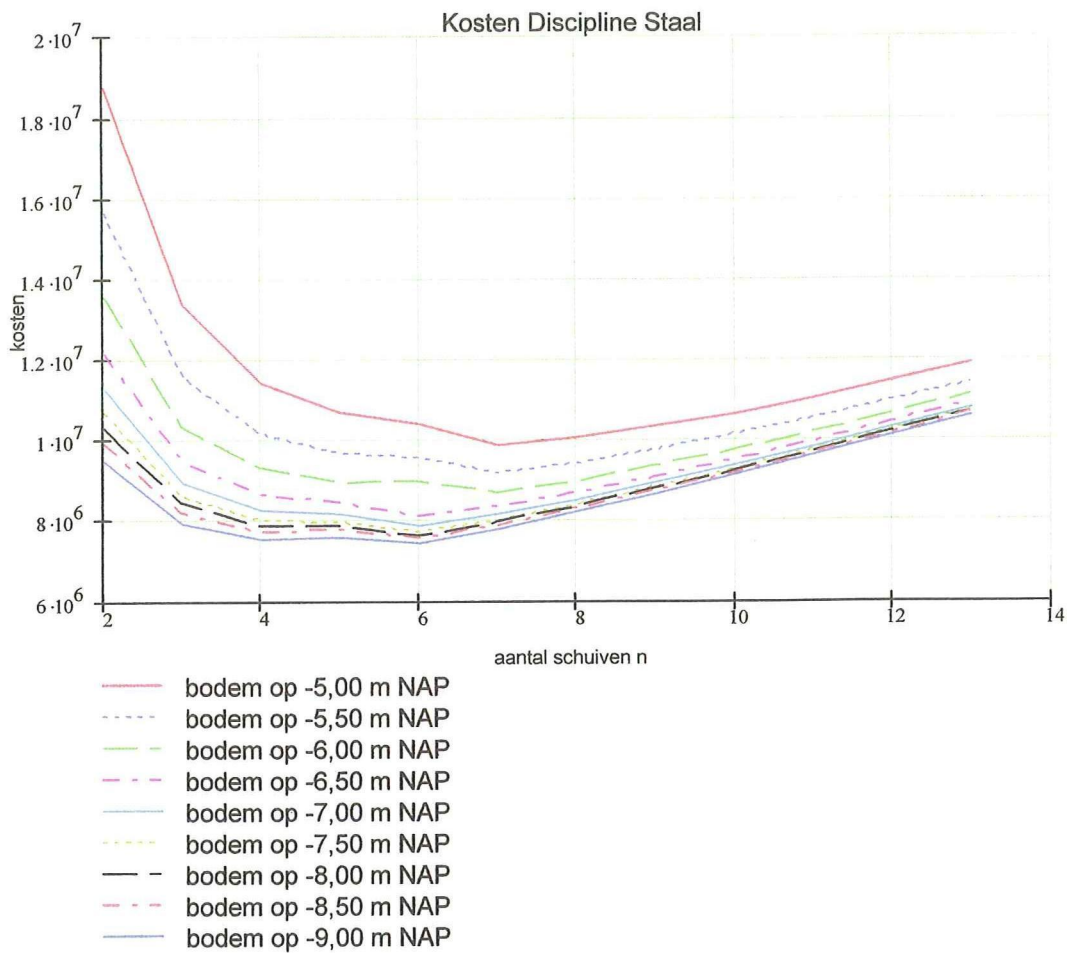
Hoeveelheden	Afhankelijk van de overspanningslengte en hoogte van de schuiven
Eenheidsprijs	317,7 € per m ¹
Kosten Aspect x18	$4 * n * (N1 + 0,5 - N2 + b) * 317,7$

x19 Onderhoud geleidingen en afdichtingen schuiven

Hoeveelheden	Afhankelijk van de omvang en nieuwkosten van geleidingen en afdichtingen
Eenheidsprijs	Jaarlijks % van nieuwwaarde
Kosten Aspect x19	$0,03 * x18 * k18$

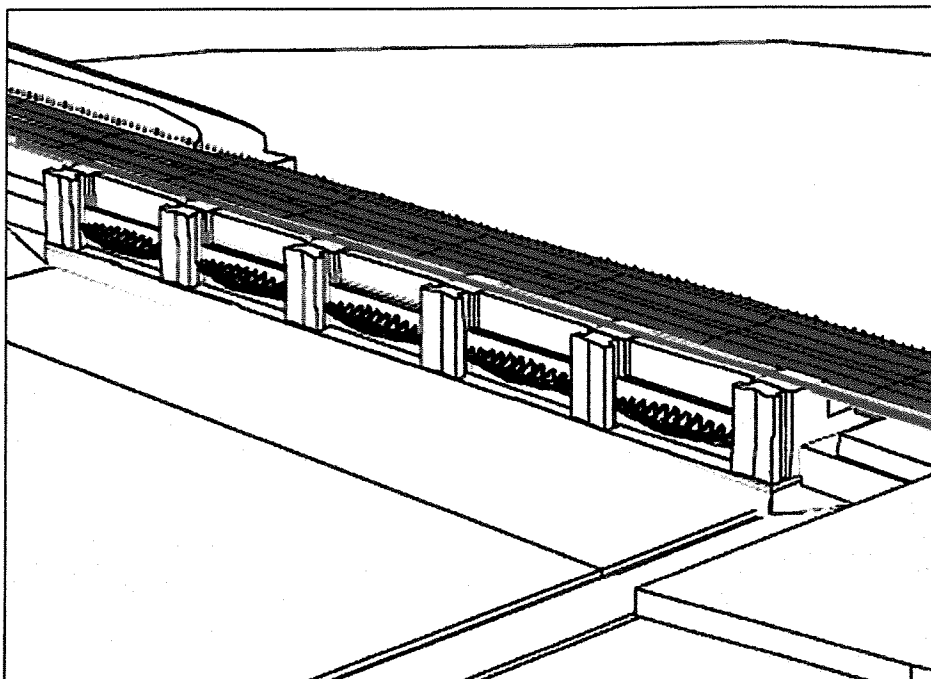
Totaalkosten Discipline Staal

Grafieken van de relaties tussen de kosten van de afzonderlijke hoofdonderdelen en de hoofdvariabelen n en N_2 zijn opgenomen in bijlage 9. De uitdrukking voor de totaalkosten van de discipline Staal ontstaat door de kosten van alle aspecten van de betreffende hoofdonderdelen op te tellen. Deze uitdrukking is in figuur 7.4 in een grafiek uitgezet.



Figuur 7.4: Kosten Discipline Staal

7.5 Discipline Bruggen



Figuur 7.5: Overzichtsfiguur discipline Bruggen

Verkeersweg

De verkeersweg overspant dezelfde breedte als de schuiven. Variatie in de breedte van de schuiven betekent dan ook dat de constructie van verkeersweg en fietspad gedimensioneerd moet worden op die gekozen afstand. De dimensionering is afhankelijk van krachten en momenten die kwadratisch gerelateerd zijn aan de lengte.

x20 Vaste kosten verkeersweg

Hoeveelheden	Lineair evenredig met het aantal schuiven
Eenheidsprijs	57060 €
Kosten Aspect x20	$n * 57060$

x21 Materiaalgebruik verkeersbrug : Beton

Hoeveelheden	Afhankelijk van de totale lengte van de constructie en de overspanningslengte tussen de pijlers
Eenheidsprijs	567,2 € per m ³
Kosten Aspect x21	$0,62 * (b + B_{pijler})^2 * n * 567,2$

x22 Materieelgebruik verkeersbrug : Ondersteuningsconstructie

Hoeveelheden	Afhankelijk van de overspanningslengte tussen de pijlers en het repetitie-effect
Eenheidsprijs	125 € per m ¹
Kosten Aspect x22	$(b + 4) * 125$

x23 Materieelgebruik verkeersbrug : Bekisting

Hoeveelheden	Afhankelijk van de overspanningslengte tussen de pijlers en het repetitie-effect
Eenheidsprijs	64,5 € per m ²
Kosten Aspect x23	$(b + 4) * (2/37 * (b + B_{pijler}) + 28,4) * 64,5$

x24 Afbouw wegen

Hoeveelheden	Afhankelijk van de totale lengte van de constructie
Eenheidsprijs	5047,6 € per m ¹
Kosten Aspect x24	BrBr

Onderhoudsweg / Fietspad

Deze brugconstructie overspant de spuiokers en steunt af op de pijlers. De constructie wordt uitgevoerd met SKK-balken. De maatgevende belasting is het gewicht van het onderhoudsmaterieel. De brugconstructie is hierdoor veel zwaarder gedimensioneerd dan dat het slechts een fietspad betrof.

x25 Vaste kosten onderhoudsbrug

Hoeveelheden	Lineair evenredig met het aantal schuiven
Eenheidsprijs	19412 €
Kosten Aspect x25	$n * 19412$

x26 Materiaalgebruik onderhoudsbrug : Prefab beton

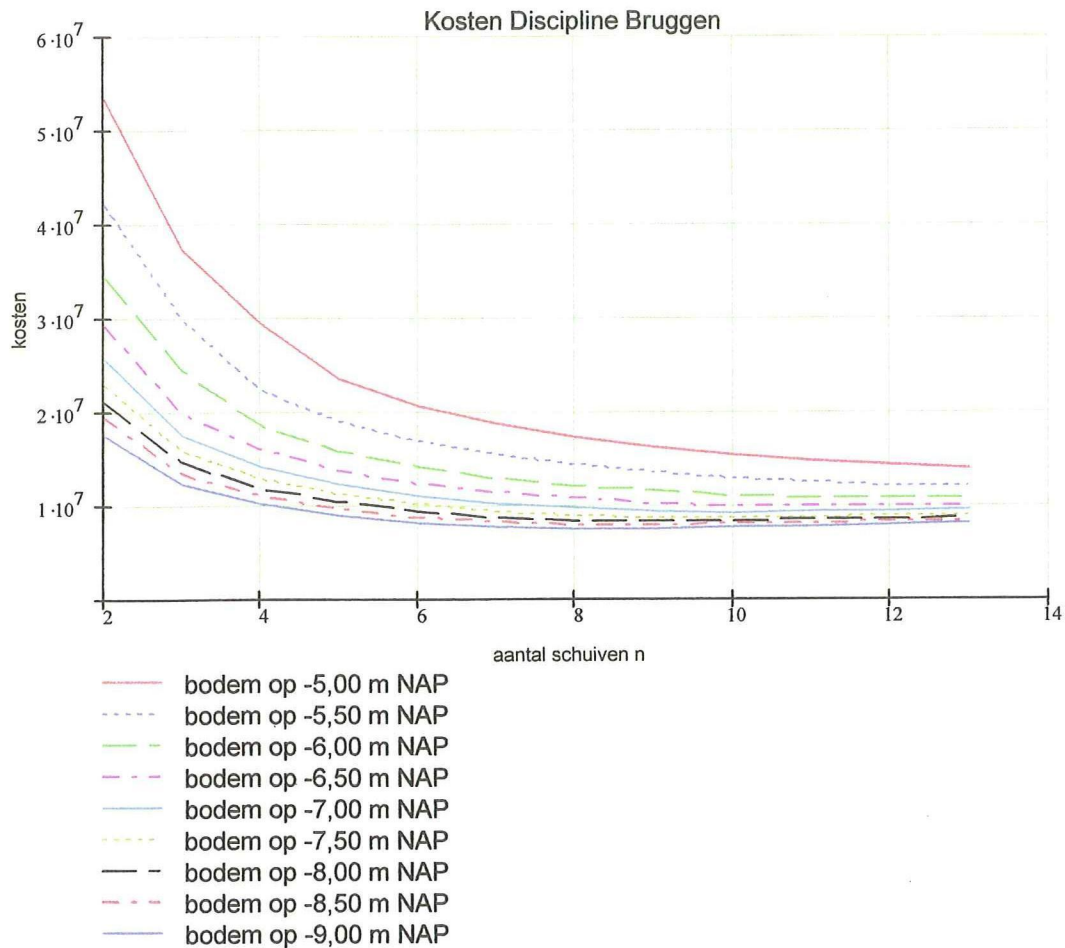
Hoeveelheden	Afhankelijk van de totale lengte van de constructie en de overspanningslengte tussen de pijlers
Eenheidsprijs	750 € per m ³
Kosten Aspect x26	$1,8 * (b + 4) * n * 1/30 * (b + 4) * 750$ voor $h < 2,0$ meter $1,8 * (b + 4) * n * 1,5 * 1/30 * (b + 4) * 750$ voor $h > 2,0$ meter

x27 Materieelgebruik onderhoudsbrug : Hijskranen

Hoeveelheden	Gerelateerd aan het gewicht van de elementen; afhankelijk van de overspanningslengte tussen de pijlers
Eenheidsprijs	150 € per ton hijslast
Kosten Aspect x27	$2 * 0,833 * 2,4 * x26 * 150$

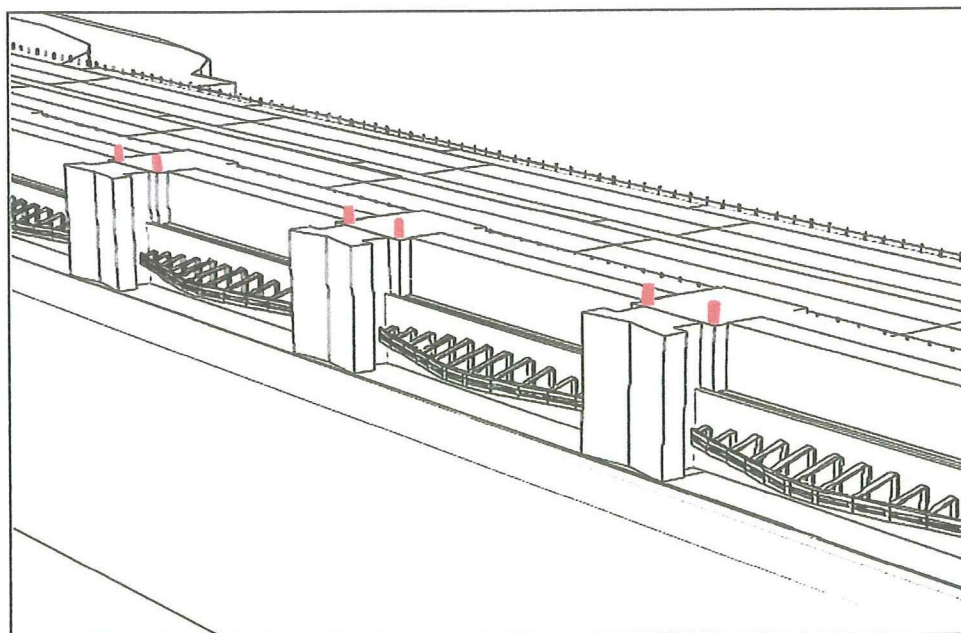
Totaalkosten Discipline Bruggen

Grafieken van de relaties tussen de kosten van de afzonderlijke hoofdonderdelen en de hoofdvariabelen n en N_2 zijn opgenomen in bijlage 9. De uitdrukking voor de totaalkosten van de discipline Bruggen ontstaat door de kosten van alle aspecten van de betreffende hoofdonderdelen op te tellen. Deze uitdrukking is in figuur 7.6 in een grafiek uitgezet.



Figuur 7.6: Kosten Discipline Bruggen

7.6 Discipline Installatietechniek / Werktuigbouwkunde



Figuur 7.7: Overzichtsfiguur discipline Installatietechniek/Werktuigbouwkunde

Bewegingswerken

Voor het ontwerp van de bewegingswerken is het van belang te weten met welke snelheden de schuiven moeten worden bewogen, wanneer de schuiven moeten bewegen en wat de belastingen op de schuif zijn tijdens het bewegen. Uitgangspunt in het onderzoek is dat de snelheid van de bewegingswerken gelijk blijft. De zuigerstang moet bij het ontwerp met een stalen schuif zowel kunnen drukken als trekken.

x28 Capaciteit bewegingswerken

Hoeveelheden	Evenredig met het gewicht van de schuiven
Eenheidsprijs	8627,9 € per kW
Kosten Aspect x28	$0,3586 * G_{schuiven,tot} * 8627,9$

x29 Onderhoud bewegingswerken

Hoeveelheden	Evenredig met de capaciteit van de componenten en het aantal te onderhouden componenten.
Eenheidsprijs	Jaarlijks % van nieuwwaarde
Kosten Aspect x29	$74,24 * x14$

x30 Energieverbruik bewegingswerken

Hoeveelheden	Afhankelijk van het aantal openingsbewegingen, de capaciteit van de bewegingswerken (kracht en snelheid) en de slag van de zuigers
Eenheidsprijs	0,08 € per kWh
Kosten Aspect x30	$(0,333 * x28) * (0,1917 * b^2 - 8,4556 * b + 26720) * 0,08$

Elektro-installatie

De elektrotechnische installatie verzorgt de aanvoer en verdeling van elektrische energie voor het aandrijven van de pompen voor de bewegingen van de schuif. Omdat het aantal schuiven de omvang en complexiteit van de elektro-installatie beïnvloedt zijn de kosten van laatstgenoemde gevoelig voor de keuze voor het aantal schuiven.

x31 Omvang elektro-installatie

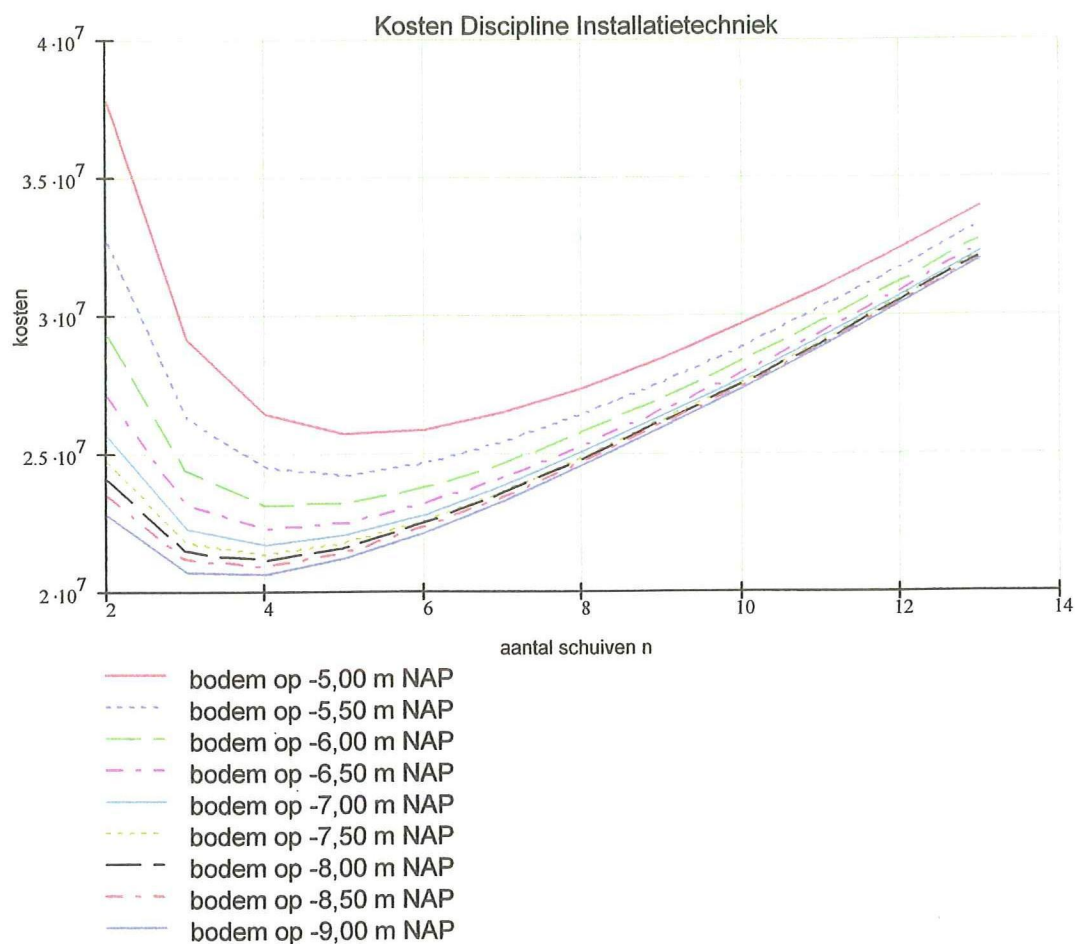
Hoeveelheden	Afhankelijk van het aantal schuiven
Eenheidsprijs	% van kosten elektro-installatie uit VO van de Bouwdienst
Kosten Aspect x31	$(0,7 + 0,06 * n) * 5066036$

x32 Onderhoud elektro-installatie

Hoeveelheden	Evenredig met de capaciteit van de componenten en het aantal te onderhouden componenten.
Eenheidsprijs	Jaarlijks % van nieuwwaarde
Kosten Aspect x32	$0,04 * x31 * k31$

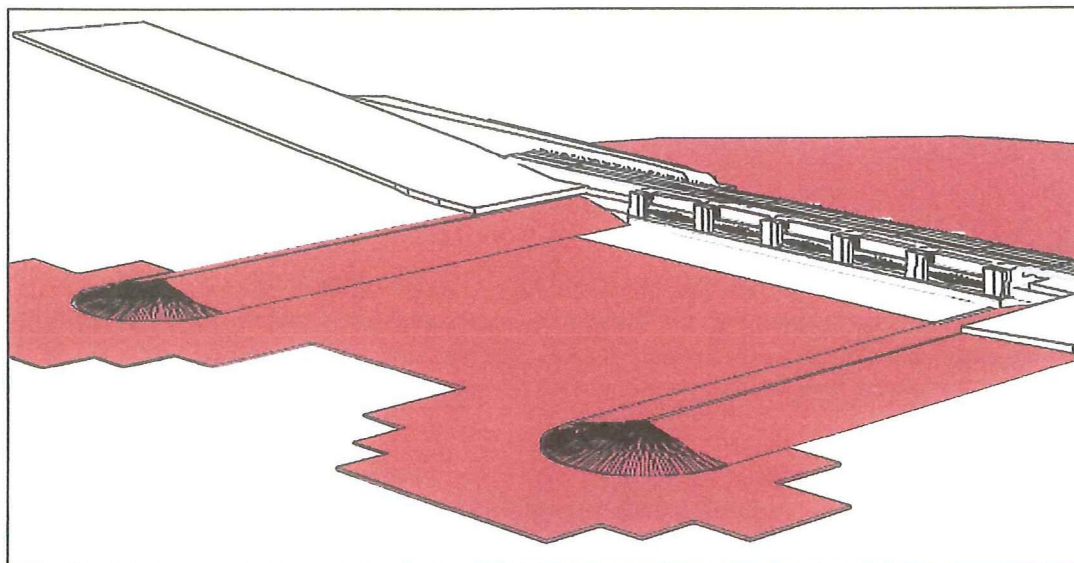
Totaalkosten Discipline Installatietechniek / Werktuigbouwkunde

Grafieken van de relaties tussen de kosten van de afzonderlijke hoofdonderdelen en de hoofdvariabelen n en N_2 zijn opgenomen in bijlage 9. De uitdrukking voor de totaalkosten van de discipline Installatietechniek / Werktuigbouwkunde ontstaat door de kosten van alle aspecten van de betreffende hoofdonderdelen op te tellen. Deze uitdrukking is in figuur 7.8 in een grafiek uitgezet.



Figuur 7.8: Kosten Discipline Installatietechniek / Werktuigbouwkunde

7.7 Discipline Waterbouw



Figuur 7.9: Overzichtsfiguur discipline Waterbouw

Bodembescherming

Als uitgangspunt bij de bodembescherming wordt uitgegaan van de keuze voor een toplaag van breuksteen en een granulair filter. Deze keuze wordt gemaakt op basis van een afweging voor de bodembescherming binnen het projectteam van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. De gemaakte keuze was niet gevoelig voor variatie van de schuifbreedte.

x33 Vaste kosten bodembescherming

Hoeveelheden	Onafhankelijk van bodemligging ; onafhankelijk van aantal schuiven
Eenheidsprijs	1.239.167 €
Kosten Aspect x33	1 * 1.239.167

x34 Materiaalgebruik bodembescherming

Hoeveelheden	Afhankelijk van lengte, breedte en dikte; waarbij lengte en dikte afhangen van de optredende stroomsnelheden
Eenheidsprijs	21 €/ton
Kosten Aspect x34	- $BrBr * N2 * 82,988 * 21$

x35 Onderhoud bodembescherming

Hoeveelheden	De onderhoudskosten zijn de verwachte schadekosten aan deze toplaag als gevolg van wegspoelen. Aan de Waddenzeezijde wordt de bodem aangevallen door de spuistroom en aan de IJsselmeerzijde kan de bodembescherming wegspoelen door hoge stroomsnelheden bij weigerende (niet sluitende) schuiven.
Eenheidsprijs	Jaarlijks % van nieuwwaarde
Kosten Aspect x35	$0,03 * (x33 * k33 + x34 * k34)$

Geleidedammen

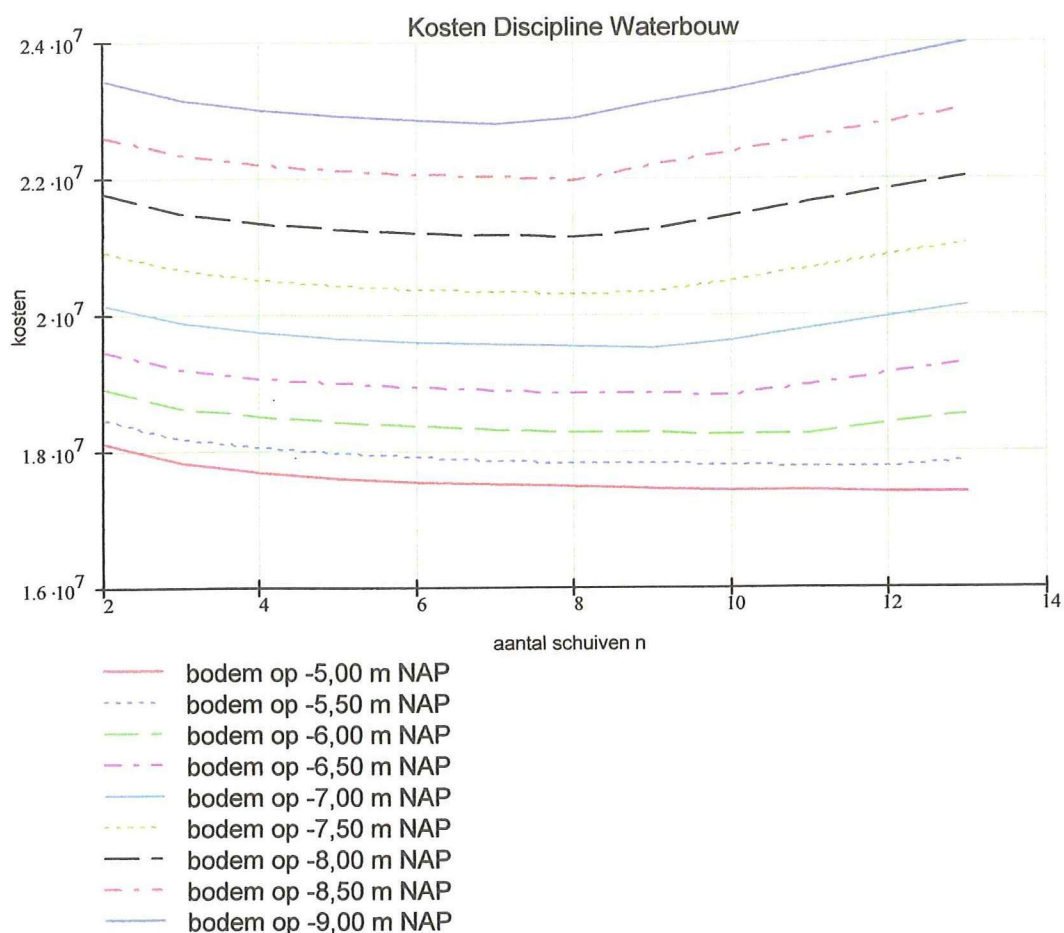
Uitgangspunt voor de leidammen is een kruinhoogte van +1m NAP. Hoe dieper de bodem, des te breder de voet van de leidammen. Hierdoor neemt het materiaalgebruik meer dan lineair toe.

x36 Materiaalgebruik leidammen

Hoeveelheden	Afhankelijk van bodemligging; onafhankelijk van aantal schuiven
Eenheidsprijs	6574 € per m ² doorsnede
Kosten Aspect x36	$3 \cdot (6 - N_2)^2 + (6 - N_2)$

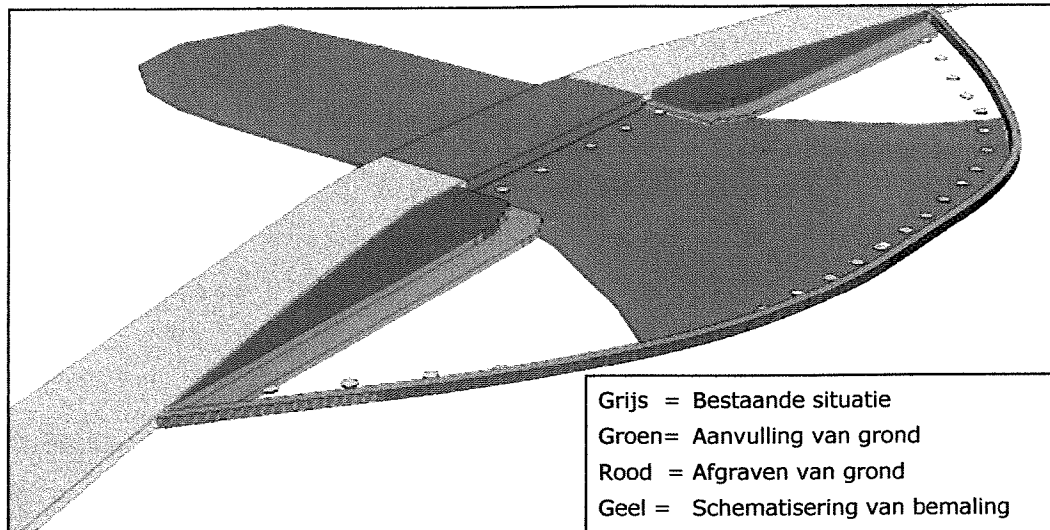
Totaalkosten Discipline Waterbouw

Grafieken van de relaties tussen de kosten van de afzonderlijke hoofdonderdelen en de hoofdvariabelen n en N_2 zijn opgenomen in bijlage 9. De uitdrukking voor de totaalkosten van de discipline Waterbouw ontstaat door de kosten van alle aspecten van de betreffende hoofdonderdelen op te tellen. Deze uitdrukking is in figuur 7.10 in een grafiek uitgezet.



Figuur 7.10: Kosten Discipline Waterbouw

7.8 Discipline Uitvoering



Figuur 7.11: Overzichtsfiguur discipline Uitvoering

Grondwerk

De aanleg van de spuisluis brengt zeer grote hoeveelheden grondverzet met zich mee. Deze vormen een niet gering deel van de totale kosten en moeten daarom goed worden afgeschat om grote afwijkingen ten opzichte van het budget te voorkomen. Een onderscheid is gemaakt naar grondwerk voor Afsluitdijk, Ringdijk, bouwput en baggerwerk.

x37 Grondwerk Afsluitdijk

Hoeveelheden	Afhankelijk van de totale breedte en de diepte van de bouwput
Eenheidsprijs	7,14 € per m ³
Kosten Aspect x37	$[(2,5 * N2^2 - 77,5 * N2 + 301) * (BrBr + 160) + 25000 * (5 + N2) + 5325 * N2^2 + 100000] * 7,14$

x38 Grondwerk Ringdijk

Hoeveelheden	Afhankelijk van de totale breedte en de diepte van de bouwput
Eenheidsprijs	6,108 € per m ³
Kosten Aspect x38	$31/6 * (3 * (1,5 - N2)^2 + (1,5 - N2)) * 0,73 * (BrBr + 160) * 6,108$

x39 Grondwerk t.b.v. bodembescherming

Hoeveelheden	Afhankelijk van de totale breedte en de diepte van de bouwput
Eenheidsprijs	6,05 € per m ³
Kosten Aspect x39	$(N2 - 2 * N3 - 3,4) * 130 * BrBr * 6,05$

x40 Bouwput en baggerwerk

Hoeveelheden	Afhankelijk van de totale breedte en de diepte van de bouwput
Eenheidsprijs	13,91 € per m ³
Kosten Aspect x40	$((-83,85 * N2 - 205,575) * BrBr + 7100 * N2^2 + 200.000) * 13,91$

Bemaling

Uitgangspunt in het onderzoek is dat er gekozen wordt voor een open bouwput (geen damwanden en onderwaterbeton). Gezien de omvang van de bouwput maakt dit de inzet van een zware bemaling noodzakelijk.

x41 Bemalingsvolume

Hoeveelheden	Afhankelijk van de inhoud en omtrek van de bouwput (hoeveelheid lekwater)
Eenheidsprijs	0,05 € per m ³
Kosten Aspect x41	$(2,75 \cdot 10^{-3} \cdot N2^2 \cdot BrBr - 7,892 \cdot N2 \cdot BrBr + 27,47 \cdot BrBr - 1135,3 \cdot N2 + 3973,5) \cdot 0,05$

x42 Pompcapaciteit

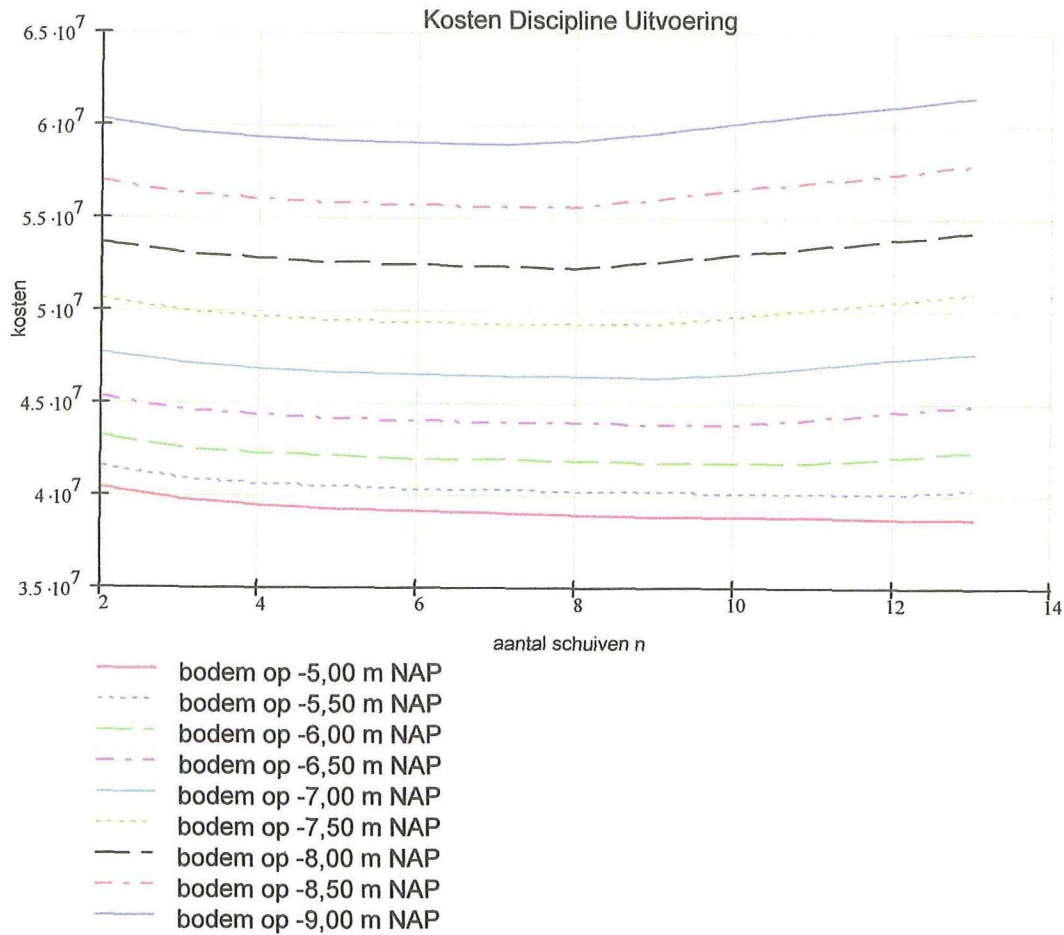
Hoeveelheden	Afhankelijk van de inhoud en omtrek van de bouwput (hoeveelheid lekwater)
Eenheidsprijs	3054,34 € per m ³ /uur
Kosten Aspect x42	$(0,2025 \cdot 1,1 \cdot BrBr + 32,37) \cdot (-N2 + 3,5) \cdot 3054,34$

x43 Energieverbruik bemalingspompen

Hoeveelheden	Afhankelijk van de capaciteit van de pompen en de duur van de periode van inzet. De duur wordt niet afhankelijk verondersteld van de schuifbreedte.
Eenheidsprijs	80 € per MWh
Kosten Aspect x43	$(0,939 \cdot x42 + 238,33) \cdot 80$

Totaalkosten Discipline Uitvoering

Grafieken van de relaties tussen de kosten van de afzonderlijke hoofdonderdelen en de hoofdvariabelen n en N_2 zijn opgenomen in bijlage 9. De uitdrukking voor de totaalkosten van de discipline Uitvoering ontstaat door de kosten van alle aspecten van de betreffende hoofdonderdelen op te tellen. Deze uitdrukking is in figuur 7.12 in een grafiek uitgezet.



Figuur 7.12: Kosten discipline Uitvoering

7.9 Overige

Er zijn nog een aantal andere aspecten welke invloed kunnen hebben op de uitkomst van het optimaliseringsprobleem. Gemeenschappelijk kenmerk van deze aspecten is dat het moeilijk is ze te betrekken in de economische afweging en optimalisatie, omdat op dit niveau en met deze diepgang niet eenduidig kan worden vastgesteld wat de kosten ervan zijn. Dit is ofwel toe te schrijven aan niet ondubbelzinnig vast te stellen eenheidsprijzen, ofwel aan het niet precies kunnen definiëren van de invloed van het aspect op de optimale schuifbreedte. Wel wordt getracht de invloeden van deze aspecten mee te nemen als kwalitatieve ondersteuning in de keuze voor de optimale afmetingen van de spuiopeningen.

A. INVLOED VAN DE SCHUIFBREEDTE OP DE GROOTTE VAN EEN IJSELMEERPEIL-STIJGING BIJ EEN WEIGERENDE SCHUIF SITUATIE

Op basis van getallen voor de betrouwbaarheid van de sluitingsoperatie kan worden bepaald wat de kans is dat een opening open blijft staan als deze dicht moet zijn. De toename van het maatgevend hoog water op het IJsselmeer (MHW) is gelijk aan de kans op een faalmode keer de toename van het peil van het IJsselmeer bij deze faalmode. Punt van aandacht is dat de kans dat een opening ongewenst open blijft staan afhankelijk is van het aantal schuiven en bewegingswerken; hoe meer er zijn, des te groter de kans dat er eentje weigert. Echter bij minder bewegingswerken en dus bredere schuiven zijn de gevolgen van één keer weigeren weer groter, vanwege de grotere hoeveelheden water. (Risico = kans x gevolg)

→ Meer onderzoek nodig om invloed op optimale afmetingen te bepalen (zie bijlage 8)

B. INVLOED VAN DE SCHUIFBREEDTE OP DE GROOTTE VAN HET ZOUTBEZWAAR BIJ EEN WEIGERENDE SCHUIF SITUATIE EN DOOR LEK

Ook voor de berekening van het zoutbezwaar kan gebruik gemaakt worden van de getallen betreffende de faalkansen van de sluitingsmiddelen, bewegingswerken en installaties. Net als bij de toenemende waterstanden op het IJsselmeer door een weigerende schuif (punt A), geldt dat met deze hoeveelheid water ook een enorme hoeveelheid zout water het IJsselmeer in stroomt, welke ongewenst is uit het oogpunt van milieu, landbouw en drinkwatervoorziening. Ook hier geldt hoe breder de schuif, des te meer zout water binnenstroomt bij de weigering van een schuif.

Een tweede reden voor zoutbezwaar is lek langs de schuiven. De lek langs de schuiven is evenredig met de lengte van de lekspleet. Bij brede schuiven is de totale lengte van de lekspleet kleiner en zal dus minder zoutindringing plaats vinden. Het is mogelijk het zoutbezwaar als gevolg van lek langs de schuiven te reduceren tot 10% van deze waarde door toepassing van afdichtingsprofielen.

→ Meer onderzoek nodig om invloed op optimale afmetingen te bepalen (zie bijlage 8)

C. INVLOED VAN DE SCHUIFBREEDTE OP DE PRESTATIES VAN DE AFVOER VAN IJS

Ijs is een belangrijk natuurelement dat het functioneren en de bedrijfszekerheid van het spuimiddel kan aantasten. Vooral de dooiperiode, wanneer spuien het meest waarschijnlijk is, kan problemen geven, omdat de combinatie van wind, ijs en de wateraanvoer een zeer belangrijke indicatie is voor de mate van overlast. In het algemeen geldt dat bij grotere breedtes van de schuiven makkelijker ijs kan worden afgevoerd. De vormgeving van de instromingsconstructie is belangrijk hierbij. Parallel aan de karakteristieken van de ijsafvoer staat ook de afvoer van andere mogelijke grote objecten. Wat deze ook mogen zijn, er geldt hoe groter de opening, des te kleiner de kans dat een opstopping optreedt met gevaar voor toenemende drukken op de constructie en bij spuien een rendementsverlies.

De ervaring is dat bij de huidige spuisluizen met schuifbreedtes van 12 meter geen problemen voorkomen met betrekking tot kruiend ijs en andere objecten. Ervan uitgaande dat bij alle schuifbreedtes aandacht wordt besteed aan de vormgeving van de pijlers voor het breken van ijsmassa's, wordt daarom verder geen effect verwacht op de mate van ijsafvoer door variatie in de schuifbreedte. Daarom zal deze invloed ook niet verder worden meegenomen in de afweging.

→ *Geen invloed op voorkeur voor bepaalde schuifbreedte*

D. **MOGELIJKHEID TOT FIJNREGELING BIJ MEERDERE SCHUIVEN**

Op dit moment wordt op het IJsselmeer een winterstreefpeil van NAP -0,40 meter en een zomerstreefpeil van NAP -0,20 meter nagestreefd. De wens bestaat om omstreeks 2010 een seizoensgebonden peilbeheer in te stellen, waarmee beoogd wordt zowel een bijdrage te leveren aan de versterking van de natuurwaarden als aan het vergroten van de zoetwatervoorraad voor de regionale zoetwatervoorziening. Een mogelijk verloop van het peil is:

- NAP -0,40m van begin oktober tot begin maart om extra bergingsmogelijkheden te houden voor wateroverlast en hoge afvoeren van de IJssel in de winter;
- Een peil dat daarna oploopt naar NAP begin april;
- Een peil dat uitzakt van NAP tot NAP -0,20m van begin april tot begin juli met het oog op voorraadvorming voor de zomerperiode en verhoging van de natuurwaarden
- NAP -0,20m van begin juli tot begin oktober

Meerdere kleine schuiven maken het mogelijk meer gecontroleerd te spuien. Dit is een voordeel voor de peilregulering in het IJsselmeer. Als criterium in de optimalisatie van de schuifbreedte is het niet te hanteren, omdat er nog geen kostenvoordeel aan kan worden gekoppeld. Kwalitatief geldt:

→ *Voorkeur strekt in de richting van kleine schuifbreedtes*

E. **MOGELIJKHEID TOT BOUWFASERING BIJ MEERDERE SCHUIVEN**

Het spuicomplex wordt ontworpen op een spuicapaciteit welke voldoet voor een planperiode van 50 jaar. Op het tijdstip van oplevering van het complex is nog niet meteen deze maximale spuicapaciteit benodigd omdat de zeespiegel nog niet dermate gestegen is. Dit geeft mogelijkheden de spuisluis in delen te bouwen en zo een economisch voordeel te creëren door uitstel van betalingen. Het aantal bouwcycli hangt af van de volgende criteria: de ontwikkeling in de tijd van de zeespiegelstijging, de opstartkosten per cyclus, de rentevoet, de inflatie en het aantal mogelijke combinaties van schuiven per cyclus. Bij drie schuiven zijn 4 mogelijkheden voor de fasering: 3 ineens, eerst 1 dan 2, eerst 2 dan 1 en 3 na elkaar. Bij vier schuiven is het aantal mogelijke combinaties al acht en bij vijf schuiven veertien. De kans op beperkingen voor wat betreft de mogelijkheden tot fasering is dan ook, behalve bij de keuze voor 1 schuif of 2 schuiven, gering. Ook geldt dat de -redelijk constant veronderstelde- opstartkosten per cyclus bij een toenemend aantal cycli een steeds groter deel wordt van de totale aanneemsom per cyclus. De opstartkosten gaan zich zodoende steeds moeilijker terugverdienen en zal al snel het aantal cycli beperken. Concluderend betekent dit dat van het aantal schuiven (~1/schuifbreedte) geen grote sturende invloeden hoeven te worden verwacht op de optimale schuifbreedte, maar wel kan er een voorkeur worden uitgesproken voor in ieder geval meer dan 2 schuiven.

→ *Voorkeur voor meer dan 2 schuiven*

F. *MOGELIJKHEID TOT AANPASSING VAN HET AANTAL BEWEGINGSWERKEN PER SCHUIF BIJ KLEINERE SCHUIFBREEDTES*

Gebruik van slechts één bewegingswerk per schuif is mogelijk bij de kleinere schuifbreedtes. Dit bewegingswerk zal dan in het midden van de bovenbalk gemonteerd worden. De bovenbalk zal gedimensioneerd moeten worden op het gewicht van de schuif en het bewegingswerk en de schuif zelf zal ook hergedimensioneerd moeten worden door het veranderde krachterspel hierin. Ook de detaillering van de aansluitingen van de bovenbalk op de pijlers zullen opnieuw ontworpen moeten worden door de extra krachten hierop. Mogelijk is de combinatie van de kosten van de volledig anders ontworpen schuif en bovenbalk met de verandering in de kosten voor de bewegingswerken en het energieverbruik daarvan goedkoper dan de huidige variant. Praktische overwegingen beperken de toepasbaarheid van deze aanpassing echter tot schuiven met een breedte kleiner of ongeveer gelijk aan de hoogte (8,5 meter). Het is niet waarschijnlijk dat de optimale schuifbreedte zich in deze orde van grootte begeeft. Bovendien is het uit het oogpunt van een vast referentiekader zinnvoller de optimalisering uit te voeren met een onveranderd ontwerp voor wat betreft het 'hoofd-draagsysteem'. Daarom zal deze mogelijkheid ook niet verder worden meegenomen in de afweging.

→ *Geen invloed op voorkeur voor bepaalde schuifbreedte*

G. *MOGELIJKHEID TOT REKENING HOUDEN MET DE VOORKEUR VOOR EEN ONEVEN AANTAL SCHUIVEN IN VERBAND MET SYMMETRISCH SPUIEN*

Aan de benedenstroomse zijde van de bodembescherming van de spuisluizen ontstaan ontgrondingen. Deze worden veroorzaakt doordat de spuistroom daar een hogere stroomsnelheid heeft dan de kritieke stroomsnelheid van de bodem. Hoe de ontgrondingen zich ontwikkelen heeft te maken met de stroomsnelheid aan het einde van de bodembescherming, de duur van deze stroomsnelheid, de kritieke stroomsnelheid van het bodemmateriaal, de waterdiepte en de turbulentie-intensiteit van de stroming daar. Laatstgenoemde kan worden beïnvloed door de symmetrie van spuien. Wanneer symmetrisch gespuid wordt is de turbulentie-intensiteit van de stroming ter plaatse van het einde van de bodembescherming lager dan bij een asymmetrisch spuiprogramma. De ontgroning zal dientengevolge kleiner zijn. Hoe meer spuiopeningen des te kleiner de te verwachten relatieve positieve invloed van symmetrisch spuien. Praktisch gezien betekent dit dat vooral bij minder dan 6 schuiven overwogen moet worden voor een oneven aantal schuiven te kiezen. Vrij vertaald betekent dit:

→ *Negatief advies voor 2 of 4 schuiven*

H. *RELATIEF AFNEMENDE INVLOED VAN GOLFBELASTINGEN OP DE DIMENSIONERING VAN DE SCHUIVEN BIJ TOENEMENDE SCHUIFBREEDTE DOOR KORTKAMMIGHEID*

Het ontwerp van de schuiven is afhankelijk van een aantal factoren; één daarvan is de grootte van de golfbelastingen op de schuif. De vertaling van de golfbelasting naar de dimensionering van de schuif hangt mede af van de relatieve grootte van het deel van de schuif dat gelijktijdig wordt belast door een golf. Bij een kleine schuif is dit aandeel groter; de golf treft een groter deel van de schuif in 1 keer. Daarom zal in de dimensionering van de kleinere schuif ook meer rekening moeten worden gehouden met de kortkammigheid van de golven. Dit betekent dat bredere schuiven een relatief voordeel hebben bij de vertaling van belasting naar ontwerp en dat ze minder dan lineair evenredig zwaar behoeven te worden gedimensioneerd.

→ *lichte voorkeur voor bredere schuiven*

8. RESULTATEN OPTIMALISEREN VAN AANTAL SCHUIVEN EN BODEMLIGGING

8.1 Inleiding

In hoofdstuk 7 zijn de invloeden van variaties in de hoofdvariabelen op de kosten van de hoofdonderdelen besproken. Combinatie van deze invloeden met de relaties uit hoofdstuk 6 (invloeden van hoofdvariabelen op de hydraulische aspecten van de spuisluis) vormt de invoer voor het optimaliseringsmodel. De resultaten van dit model, waarin de financiële optimalisatie van de afmetingen van de spuiopeningen wordt uitgevoerd, worden besproken in dit hoofdstuk. In paragraaf 8.2 wordt de optimale configuratie van de spuisluis gepresenteerd. Voor deze configuratie wordt in paragraaf 8.3 de kostenopbouw toegelicht. Aandacht wordt gegeven aan achtereenvolgens de invulling van de kostentabel (uit paragraaf 5.5), de vergelijking van de disciplinekosten en de vergelijking van de kosten van de hoofdonderdelen. Vervolgens worden de resultaten in paragraaf 8.4 geïnterpreteerd en wordt in paragraaf 8.5 een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

8.2 Optimale afmetingen

Alle afgeleide relaties tussen de hoofdvariabelen en de hoofdonderdelen zijn geïmplementeerd in het rekenprogramma MathCad. Dit programma kan een groot aantal vergelijkingen met evenzoveel onbekenden oplossen. De relaties zijn ingevoerd als wiskundige grootheden met bijbehorende eenheden. De meeste relaties kunnen worden uitgedrukt in de eenheden m, m², m³, kg en ton. Per grootheid wordt vastgesteld welke eenheidsprijzen gebruikt dienen te worden (Kosten = hoeveelheid * eenheidsprijs). Het rekenprogramma berekent voor iedere combinatie van aantal schuiven (hoofdvariabele n) en het niveau van de bodem van de spuisluis (hoofdvariabele N2) de directe kosten van de spuisluis. Met de derde hoofdvariabele, het niveau van de onderkant van de bovenbalk (N1), wordt in dit hoofdstuk nog niet gevarieerd. De invloed van deze hoofdvariabele wordt apart in hoofdstuk 9 behandeld. Tot dat punt blijft de waarde ervan ingesteld op het niveau van de onderkant van de bovenbalk in het VO: +1,5m NAP.

Na de directe kosten worden aan de hand van gegevens uit de Voorontwerp Nota van de Bouwdienst voor iedere discipline de staartkosten berekend. Deze bestaan uit de volgende posten en onderdelen:

Tabel 8.1: Posten en onderdelen van de staartkosten

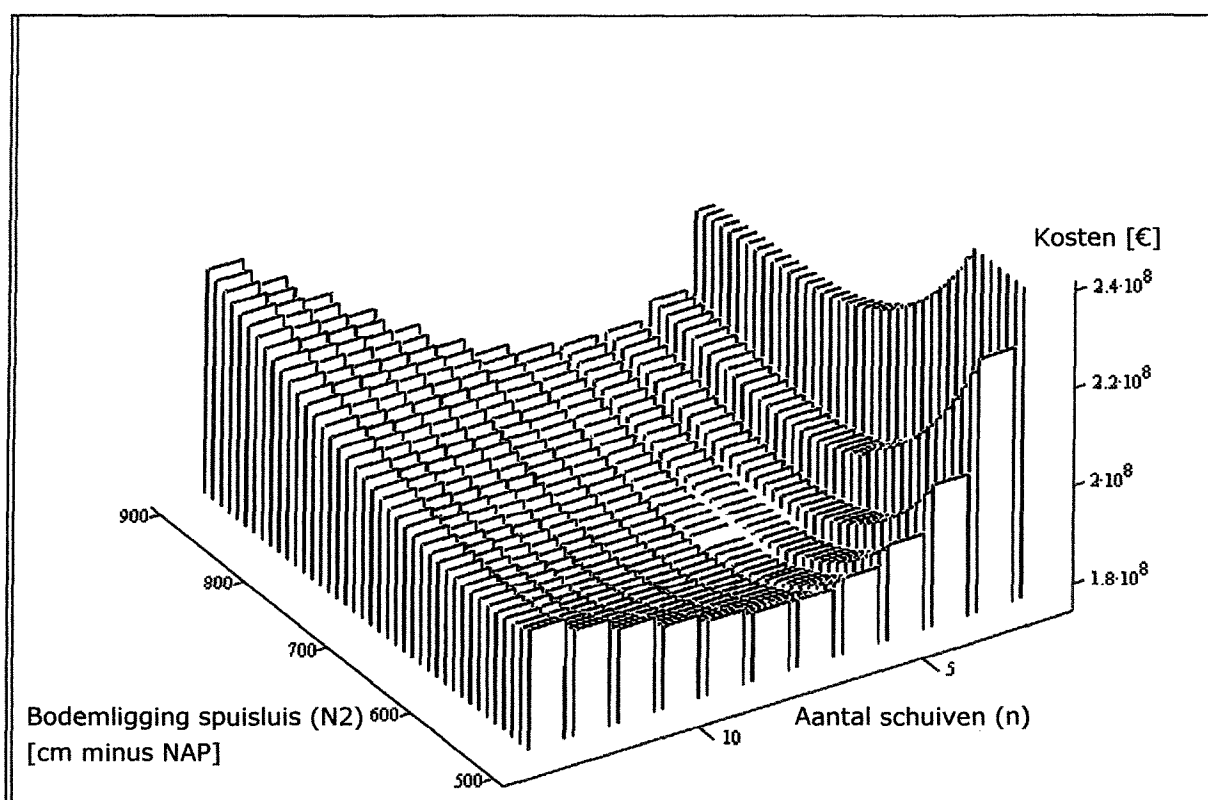
Posten	Onderdelen
Indirecte kosten	Eenmalige kosten
	Uitvoeringskosten
	Rato posten
	Kwaliteitsborging
	Winst
	Risico
Bijkomende kosten	Ter beschikking stellen ruimten
	Ter beschikking stellen materiaal
	Ter beschikking stellen personeel
Bijzondere gebeurtenissen	
Object onvoorzien	
BTW	

De percentages voor de staartkosten kunnen behoorlijk verschillen per discipline; dit is onder andere gerelateerd aan de verschillende (on)zekerheidsmarges per discipline.

Nadat alle staartkosten zijn berekend, worden de kosten voor onderhoud en energie per hoofdonderdeel vastgesteld. Energiekosten voor de bewegingswerken en onderhoud voor alle onderdelen worden bekeken voor een levensduur van 100 jaar. De energiekosten van bemalingspompen worden bekeken over de uitvoeringsduur van 5 jaar. Beide kostencategorieën worden omgerekend naar de Netto Contante Waarde (NCW). Hierbij worden de totale kosten onder de aanname van een reële rentevoet van 4% gekapitaliseerd naar het moment van begin van uitvoering.

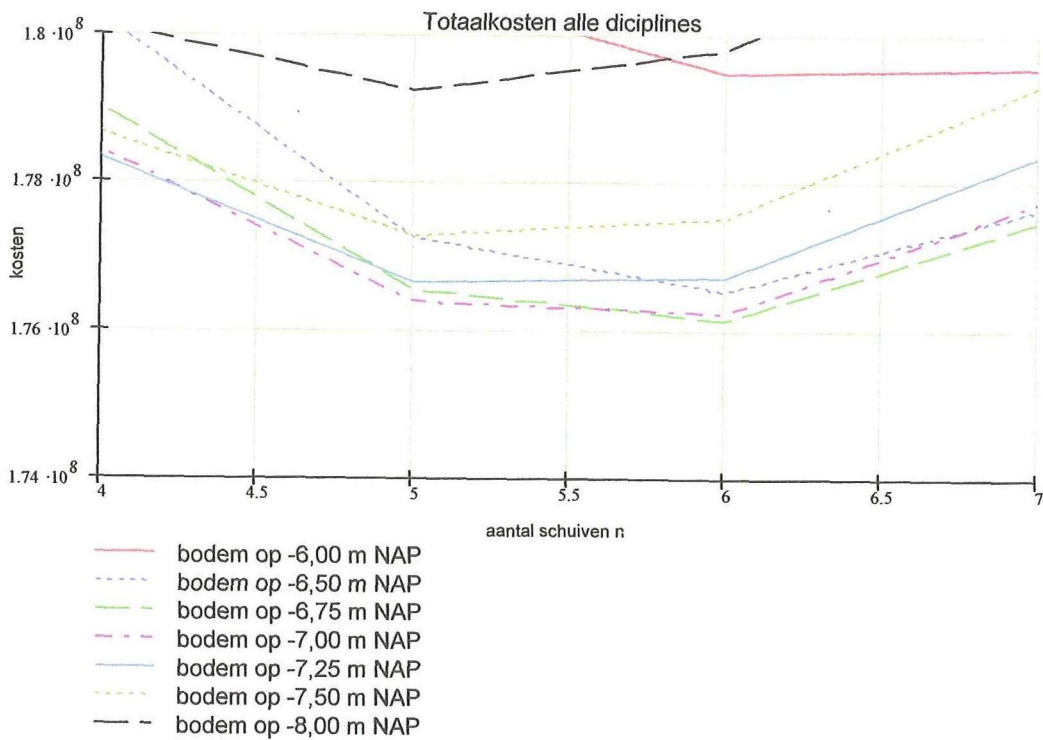
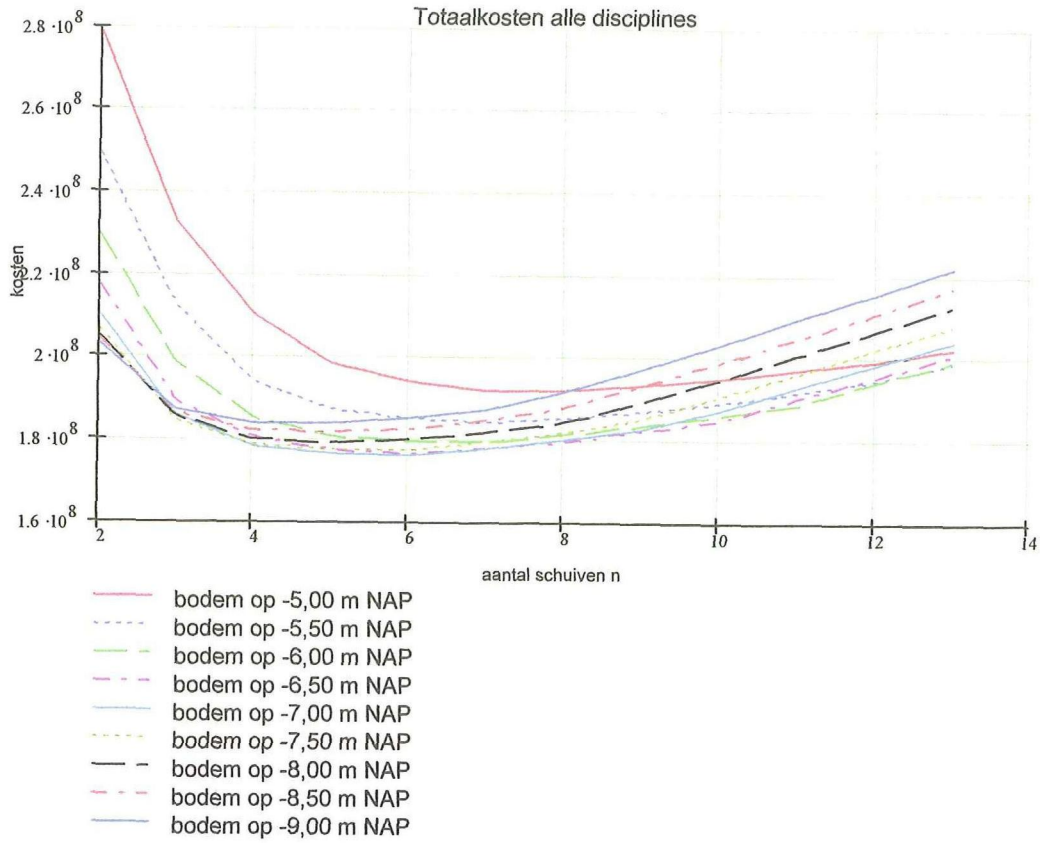
De som van de directe kosten, de staartkosten en de gekapitaliseerde kosten wordt benoemd met de term Life Cycle Costs (LCC). Deze vormt de basis voor kostenvergelijkingen tussen verschillende afmetingen voor de spuiopeningen.

De resultaten van de modellering zijn als volgt (zie ook bijlage 9):



Figuur 8.1: 3D grafiek van Life Cycle Costs van de spuisluis bij verschillende configuraties

Wanneer de gegevens uit bovenstaande grafiek in een 2D-grafiek worden weergegeven, zie de figuren op de volgende pagina, kunnen de kosten nauwkeurig worden afgelezen. De onderste figuur zoomt in op het deel met de laagste minima.



Figuur 8.2: 2D grafieken van Life Cycle Costs van de spuisluis bij verschillende configuraties

Afgelezen wordt dat de volgende spuisluisconfiguratie financieel gezien de meest aantrekkelijke is: (ter vergelijking staan rechts in de tabel de parameters voor de configuratie in het VO van de Bouwdienst).

Tabel 8.2: Karakteristieken optimale configuratie

	Optimale configuratie	VO
n: Aantal schuiven	6	5
N2: Bodemligging [m NAP]	-6.75	-6.50
NB: Netto spuibreedte [m]	159.5	165
b: schuifbreedte [m]	26.6	33
LCC kosten [mln €]	176.15	177.3

8.3 Kostenopbouw bij optimale afmetingen

8.3.1 Invullen kostentabel

In paragraaf 5.5 is de doelfunctie gepresenteerd. Dit is de functie die geoptimaliseerd dient te worden. Volledigheidshalve wordt dezelfde tabel hier nogmaals weergegeven.

Tabel 8.3: Kostentabel

Disc.	Nr.	Hoofdonderdeel	bouwkosten		beheerskosten		kosten per onderdeel	kosten per discipline	
			direct		onderhoud	energie			
			A		B		C		
C	1	Bovenbalken	A ₁		B ₁		C ₁	ΣK ₁	
	2	Pijlers	A ₂		B ₂		C ₂	ΣK ₂	
	3	Fundering	A ₃		B ₃		C ₃	ΣK ₃	
	4	Vloerconstructies	A ₄		B ₄		C ₄	ΣK ₄	
	5	Damwanden	A ₅		B ₅		C ₅	ΣK ₅	ΣK _C
S	6	Schuiven	A ₆		B ₆		C ₆	ΣK ₆	
	7	Geleidingen en afdichtingen	A ₇		B ₇		C ₇	ΣK ₇	ΣK _S
B	8	Verkeersweg	A ₈		B ₈		C ₈	ΣK ₈	
	9	Onderhoudsweg/Fietspad	A ₉		B ₉		C ₉	ΣK ₉	ΣK _B
I	10	Bewegingswerken	A ₁₀		B ₁₀		C ₁₀	ΣK ₁₀	
	11	Elektro-installatie	A ₁₁		B ₁₁		C ₁₁	ΣK ₁₁	ΣK _I
W	12	Bodembescherming	A ₁₂		B ₁₂		C ₁₂	ΣK ₁₂	
	13	Leidammen	A ₁₃		B ₁₃		C ₁₃	ΣK ₁₃	ΣK _W
U	14	Grondwerk	A ₁₄		B ₁₄		C ₁₄	ΣK ₁₄	
	15	Bemaling	A ₁₅		B ₁₅		C ₁₅	ΣK ₁₅	ΣK _U
-	-	Overallkosten en restposten	R					R	R
		Kosten naar soort	ΣA _i		ΣB _i		ΣC _i	TK	TK

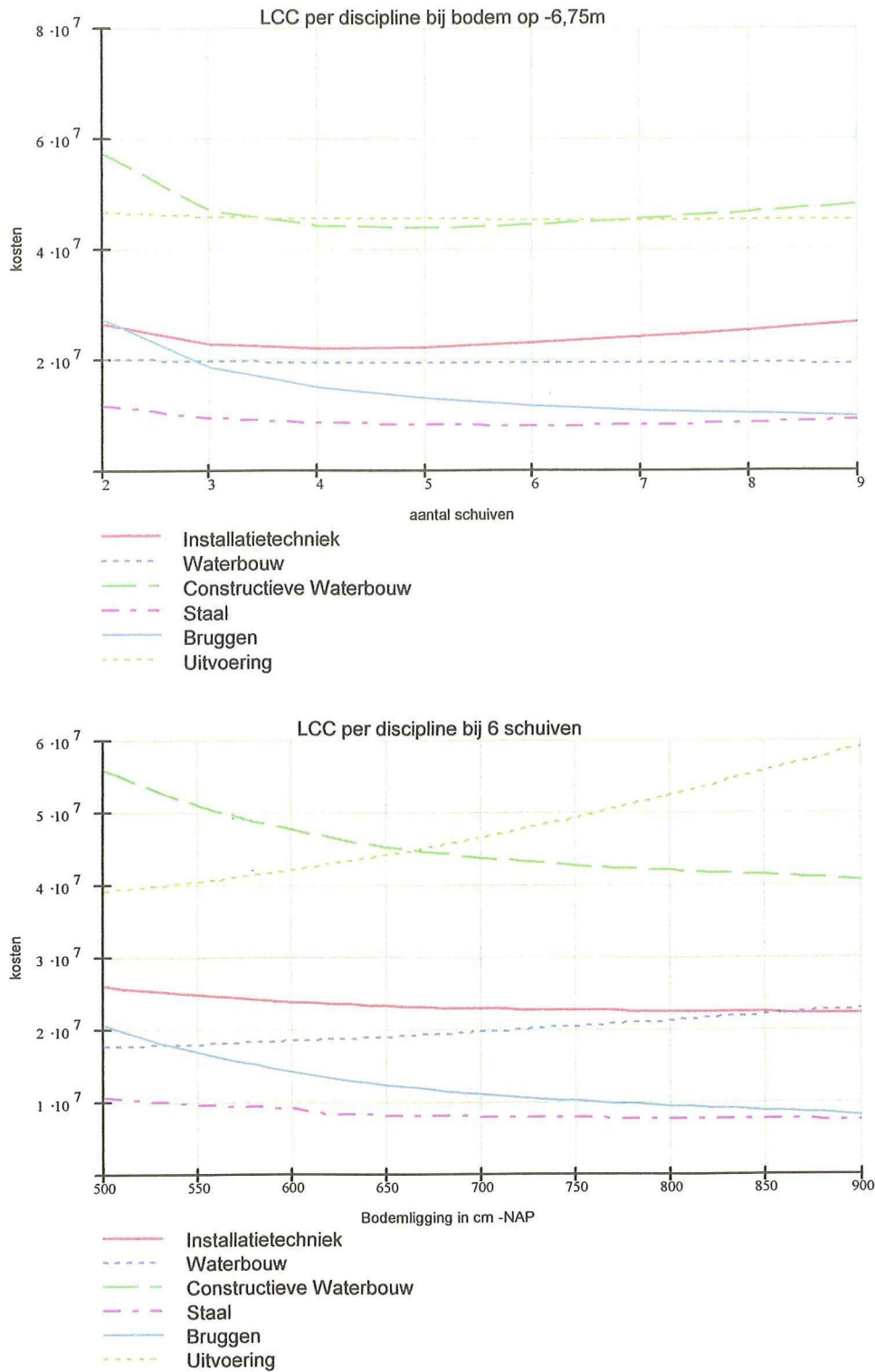
De doelfunctie is optimaal wanneer de Life Cycle Costs van de spuisluis minimaal zijn. De configuratie van de spuisluis (de afmetingen van de spuiopeningen) waarbij dit optimum bereikt wordt is beschreven in de vorige paragraaf. In het optimaliseringsmodel wordt per hoofdonderdeel berekend wat de kosten zijn bij het optimum. De resultaten zijn weergegeven in tabel 8.4.

Tabel 8.4: Ingevulde kostentabel bij optimale spuisluis configuratie ($n_{opt}=6$; $N2_{opt}=-6,75m$ NAP)

Disc.	Nr.	Hoofdonderdeel	bouwkosten	beheerskosten		kosten per onderdeel	kosten per discipline
			direct	onderhoud	energie		
			A	B	C		
			[mln €]	[mln €]	[mln €]	[mln €]	[mln €]
C	1	Bovenbalken	2,83	0,29	0	3,13	
	2	Pijlers	20,91	2,16	0	23,07	
	3	Fundering	2,88	0,30	0	3,17	
	4	Vloerconstructies	6,89	0,71	0	7,61	
	5	Damwanden	6,10	1,26	0	7,36	44,33
S	6	Schuiven	5,11	2,31	0	7,42	
	7	Geleidingen en afdichtingen	0,39	0,18	0	0,57	7,98
B	8	Verkeersweg	9,22	0,87	0	10,09	
	9	Onderhoudsweg/Fietspad	1,32	0,13	0	1,45	11,54
I	10	Bewegingswerken	3,88	1,36	4,66	9,90	
	11	Elektro-installatie	8,05	4,99	0	13,04	22,94
W	12	Bodembescherming	8,19	2,48	0	10,67	
	13	Leidammen	7,13	1,44	0	8,57	19,25
U	14	Grondwerk	35,92	3,66	0	39,59	
	15	Bemaling	5,34	0	0,30	5,64	45,23
-	-	Overallkosten en restposten	24,88	0	0	24,88	24,88
		Kosten naar soort	149,04	22,15	4,96	176,15	176,15

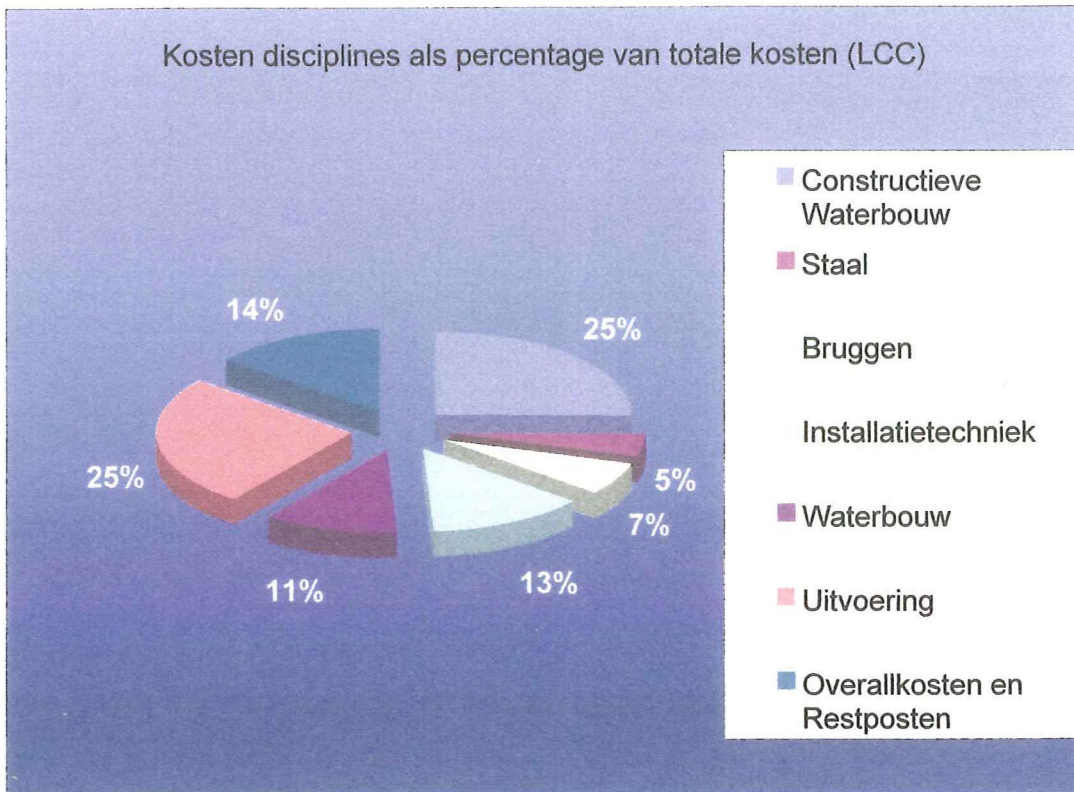
In de volgende subparagrafen zullen de verhoudingen tussen kosten van de afzonderlijke disciplines en hoofdonderdelen op een overzichtelijke manier gepresenteerd worden.

8.3.2 Kostendiagrammen: Disciplines t.o.v. totaal



Figuur 8.3: Verhoudingen kosten disciplines

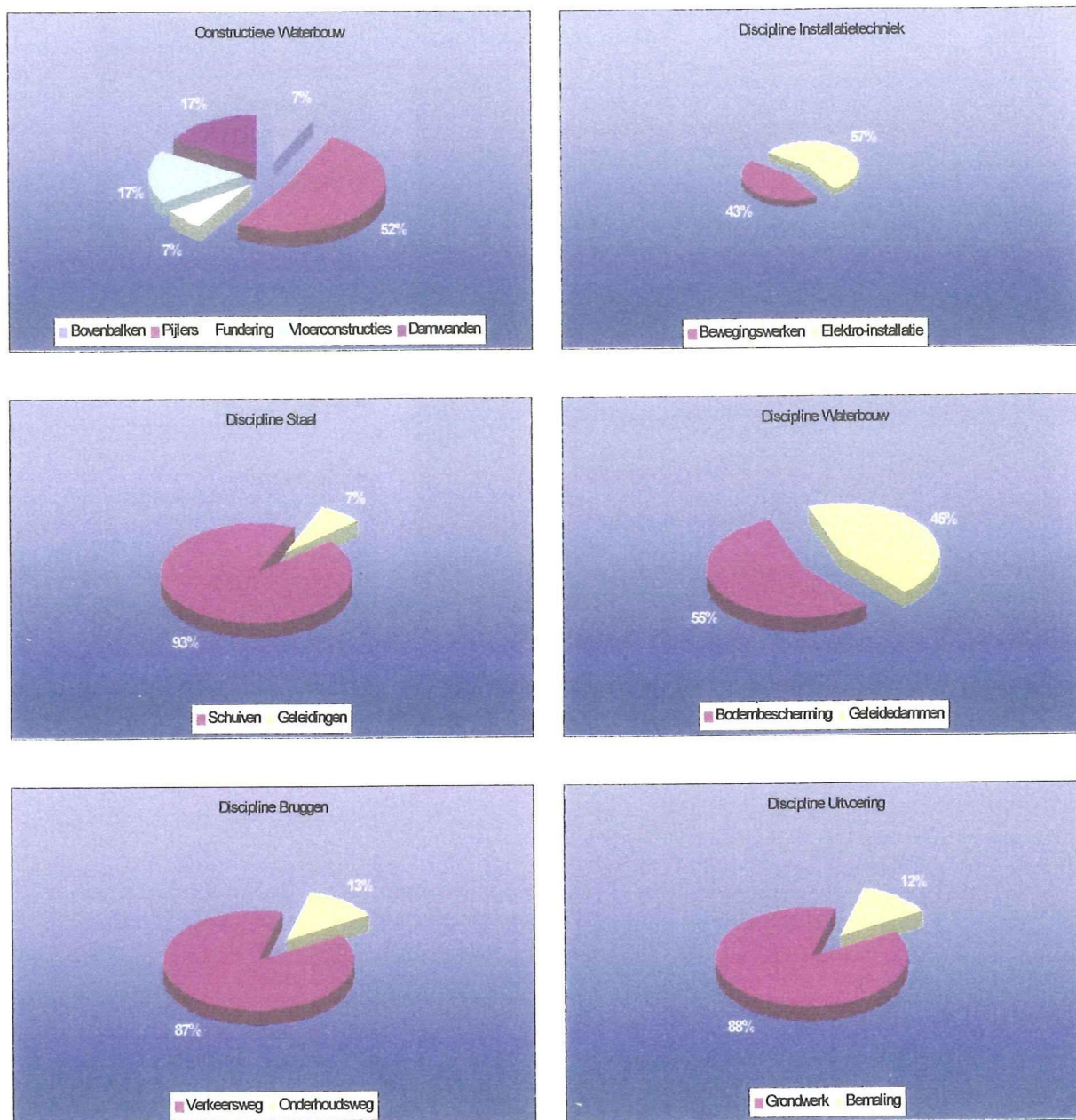
De doorsneden in figuur 8.3 bij $n=6$ en $N_2=675$ cm -NAP leveren de volgende verdeling van de kosten van de disciplines als onderdeel van het totaal:



Figuur 8.4: Cirkeldiagram verhoudingen kosten per discipline

8.3.3 Kostendiagrammen: Hoofdonderdelen t.o.v. disciplines

In de figuren hieronder is de verdeling van de kosten van de hoofdonderdelen als percentage van de disciplinekosten aangegeven:

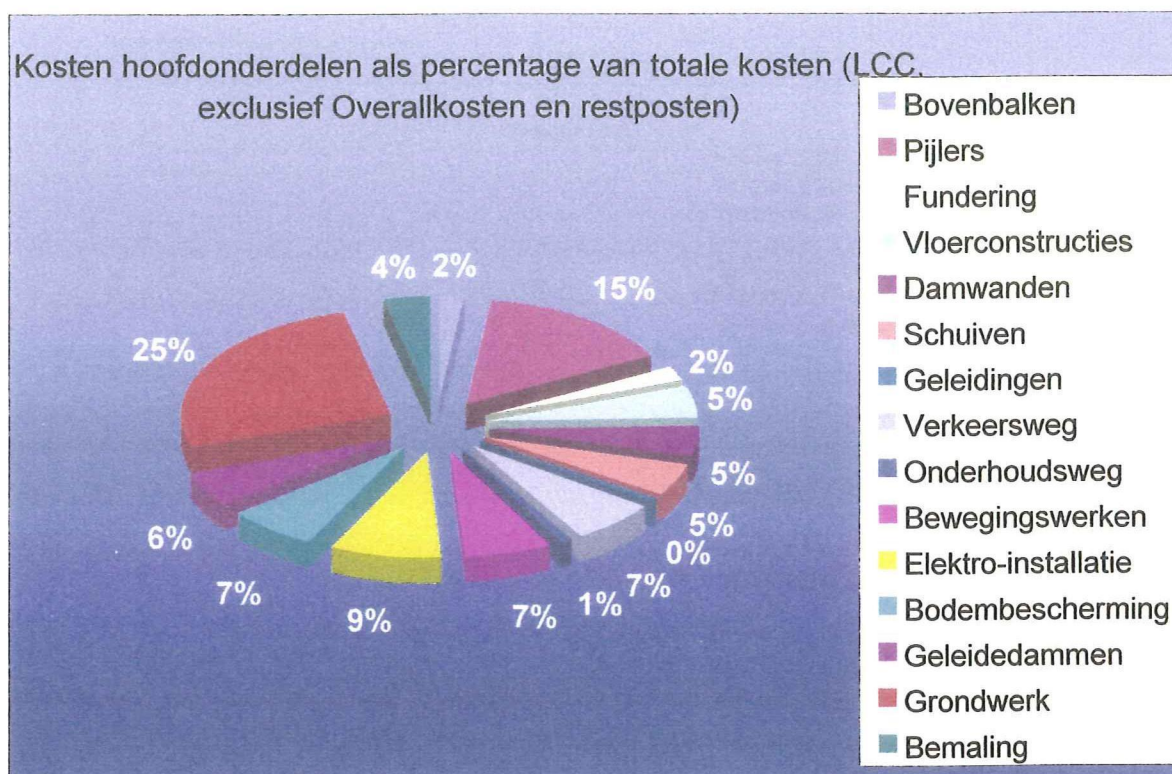


Figuur 8.5 Cirkeldiagrammen verhoudingen kosten hoofdonderdelen per discipline

8.3.4 Kostendiagrammen: Hoofdonderdelen t.o.v. totaal

Met het oog op een verdere doorontwikkeling van het VO naar een detailontwerp is het van belang dat het ontwerpteam kennis heeft van de kosten van de verschillende hoofdonderdelen als percentage van de totaalkosten. Deze kennis vormt de basis voor een evenwichtige verdeling van het detailontwerpbudget tussen de verschillende disciplines; Een kleine tijdsinvestering in de optimalisering van grote kostenposten kan absoluut gezien immers meer kostenbesparingen opleveren dan grote tijdsinvesteringen in de optimalisering van kleine kostenposten.

In figuur 8.6 is hiertoe de verdeling van de totale Life Cycle Costs over de verschillende hoofdonderdelen weergegeven.

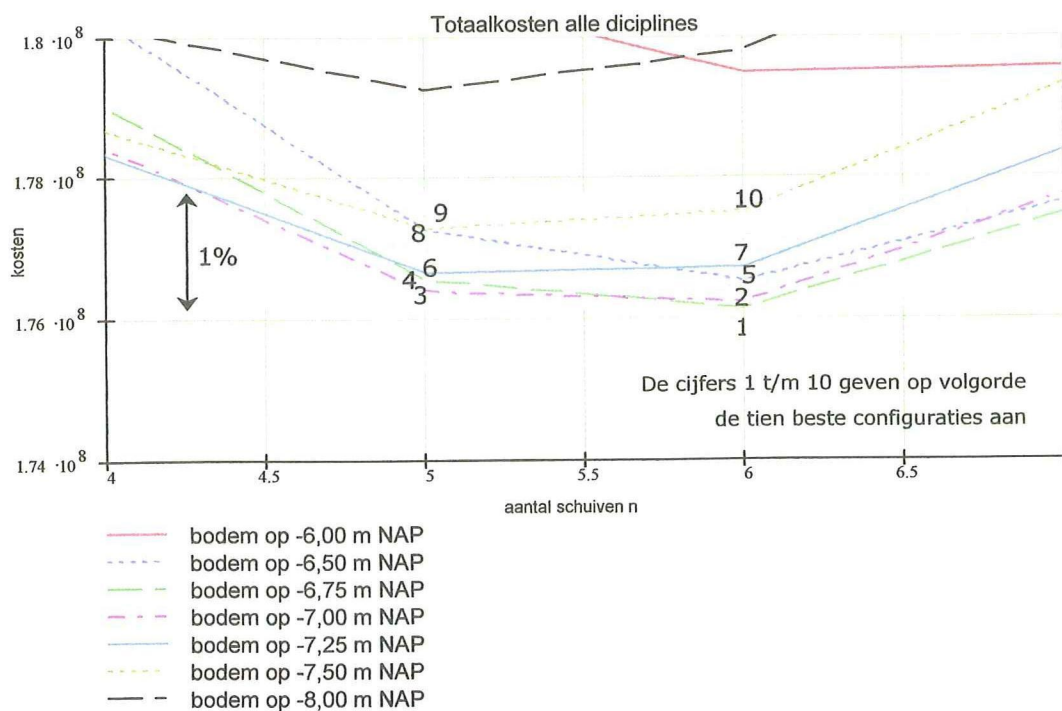


Figuur 8.6: Cirkeldiagrammen verhoudingen kosten hoofdonderdelen t.o.v. totaal kosten

8.4 Interpretatie resultaten

In figuur 8.2 zijn de Life Cycle Costs van de spuisluis uitgezet bij verschillende spuisluisconfiguraties (verschillende combinaties van de afmetingen van de spuiopeningen). Uit de onderste grafiek in deze figuur blijkt dat de kosten niet ver uit elkaar liggen voor de vijf beste configuraties. Omdat de compositie van de kostengegevens gebaseerd is op schematisaties en modelleringen van de werkelijkheid, bestaat de kans dat het optimaliseringsonderzoek een resultaat genereert dat slechts een benadering is van de werkelijke optimale spuisluisconfiguratie.

Wanneer hiertoe als voorbeeld een marge van 1% wordt aangehouden ten opzichte van de kosten van de in paragraaf 8.2 best bevonden spuisluisconfiguratie, blijken in totaal tien configuraties binnen deze marge te scoren, zie figuur 8.7 op de volgende pagina. Eén van deze tien configuraties betreft het VO van de Bouwdienst.



Figuur 8.7: Voorbeeldmarge van 1% ten opzichte van het berekende optimum

In de volgende paragraaf zal worden toegelicht hoe de prestaties van deze tien beste configuraties veranderen bij verschillende kostenscenario.

8.5 Gevoeligheidsanalyse

Wanneer de prijzen en/of hoeveelheden van afzonderlijke kostenposten (materialen of processen) aan veranderingen onderhevig zijn of niet nauwkeurig zijn ingeschat, kan de optimale configuratie veranderen. Ook de volgorde van de tien beste configuraties kan veranderen ten opzichte van de "normale" situatie als beschreven in paragraaf 8.4. De tien beste configuraties in figuur 8.7 zijn (niet in volgorde van kosten):

Tabel 8.5: Karakteristieken van de tien beste configuraties

Configuratie	Aantal schuiven	Bodemligging [m NAP]
1	5	-6,50
2	5	-6,75
3	5	-7,00
4	5	-7,25
5	5	-7,50
6	6	-6,50
7	6	-6,75
8	6	-7,00
9	6	-7,25
10	6	-7,50

Veranderingen in materiaalkosten in de periode tussen ontwerp en oplevering van het kunstwerk betekenen dat de totale kosten van het kunstwerk zullen afwijken van de begroting. De gevoeligheid van de totale kosten voor veranderingen in de afzonderlijke kostenposten verschilt per configuratie. Een robuuste (ongevoelige) configuratie heeft voordelen voor opdrachtgever en opdrachtnemer, omdat er minder risico's zijn ten aanzien van de afwijkingen ten opzichte van de begroting. Om de robuustheid van de tien beste configuraties te kwantificeren, wordt de omvang van vier verschillende kostenposten/ -invloeden gevarieerd van hoog naar laag. De bekeken scenario's zijn:

Tabel 8.6: Definitie scenario's

	Scenario's	
	1. hoog	2. laag
Betonkosten	1. hoog	2. laag
Staalkosten	3. hoog	4. laag
Grond(werk)kosten	5. hoog	6. laag
Rentevoet	7. hoog	8. laag

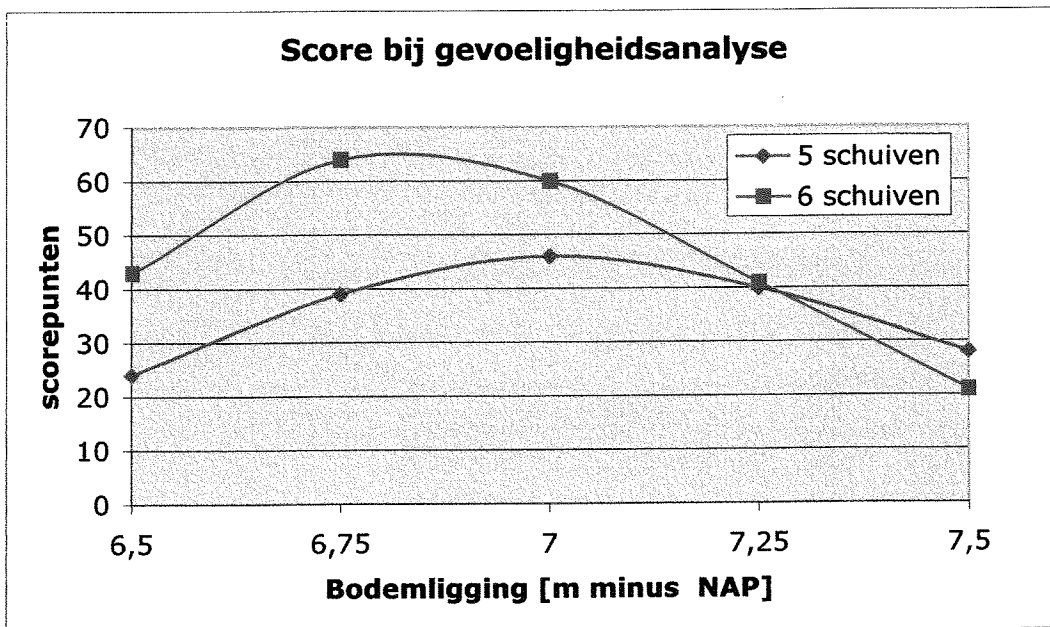
In alle acht scenario's worden de kosten van de betreffende post verhoogd of verlaagd en blijven alle overige posten onveranderd. Hiertoe worden vermenigvuldigingsfactoren opgesteld voor alle variabelen in het optimaliseringsmodel. Dit gebeurt op basis van hoge en lage inschattingen voor verschillende hoofdonderdelen in de VO nota van de Bouwdienst.

Elk scenario wordt doorgerekend in het optimaliseringsmodel. Per scenario worden vervolgens punten toegekend voor de prestaties van de tien beschreven configuraties; De beste configuratie scoort 10 punten en de slechtste scoort 1 punt. Het kan voorkomen dat andere dan de tien genoemde configuraties een plek innemen op de lijst van de tien beste scores. Wanneer dit het geval is wordt de bijbehorende score niet aan één van de tien configuraties toegekend en krijgen de slechtste configuraties in dat geval dus geen punten. De uitwerking van bovenstaande is opgenomen in bijlage 12.

De resultaten zijn als volgt:

Tabel 8.7: Resultaten gevoeligheidsanalyse

Configuratie	Aantal schuiven [stuks]	Bodemligging [m NAP]	Totaal score
1	5	-6,50	24
2	5	-6,75	39
3	5	-7,00	46
4	5	-7,25	40
5	5	-7,50	28
6	6	-6,50	43
7	6	-6,75	64
8	6	-7,00	60
9	6	-7,25	41
10	6	-7,50	21



Figuur 8.8: Resultaten gevoeligheidsanalyse

Uit tabel 8.7 en figuur 8.8 blijkt dat de configuratie met 6 schuiven en een bodemligging op $-6,75$ meter NAP het best scoort en dus het meest robuust is. Deze configuratie is gelijk aan de configuratie in paragraaf 8.2. Hiermee wordt aangetoond dat de meest optimale configuratie ook de meest robuuste configuratie is.

9. INVLOED VAN NIVEAU VAN ONDERKANT BOVENBALK OP DE KOSTEN

9.1 Inleiding

In hoofdstuk 8 is de optimalisatie van de afmetingen van de spuiopeningen uitgevoerd voor twee van de drie hoofdvariabelen, namelijk het aantal schuiven (n) en het niveau van de bodemligging van de spuisluis (N_2). De invloed van de derde hoofdvariabele, het niveau van de onderkant van de bovenbalk (N_1), wordt in dit hoofdstuk onder de loep genomen. Dit niveau wordt apart genomen, omdat deze niet op dezelfde (exacte) manier als de twee eerste hoofdvariabelen bepaald kan worden. Dit komt doordat het niveau van de onderkant van de bovenbalk het optreden van golfklappen op de bovenbalk beïnvloedt. Er is geen theorie beschikbaar die bij variërende niveaus en vormgeving de omvang van de golfklappen precies kan voorspellen. Bij belangrijke constructies worden daarom veelal schaalmodellen gebruikt voor deze voorspellingen.

In dit hoofdstuk wordt bekeken in hoeverre de optimale configuratie uit hoofdstuk 8 verder kan worden verbeterd. Dit wordt gedaan door de invloed van het niveau van de onderkant van de bovenbalk op de kosten van de spuisluis te analyseren. In paragraaf 9.2 wordt berekend wat het minimale niveau is voor de onderkant van de bovenbalk, bij verschillende niveaus van bodemligging. Het opleggen van een minimaal niveau is een gevolg van het uitgangspunt dat de onderkant van de bovenbalk de waterspiegel tijdens spuien niet mag raken (paragraaf 6.4). In paragraaf 9.3 wordt ingegaan op het voorkomen van golfklappen op de bovenbalk en de relatie hiervan met het niveau van de onderkant van de bovenbalk. Paragraaf 9.4 presenteert tenslotte de kosteneffecten van variatie in het niveau van de onderkant van de bovenbalk.

9.2 Minimaal niveau onderkant bovenbalk

In paragraaf 6.4 is reeds uitgelegd dat het niveau van de onderkant van de bovenbalk in de optimalisatie zodanig wordt gekozen, dat sprake blijft van een open spuisluis met een vrije waterspiegel. Punt van discussie is in welke spuisituaties dit moet blijven gelden. In een voorbeeld spuisituatie met een IJsselmeerwaterstand van +1,0m NAP en een Waddenzee waterstand van +0,9m NAP zal de waterspiegel ter plaatse van de schuif iets lager dan +0,9m NAP liggen. Met het uitgangspunt van behoud van een vrije waterspiegel zou dit betekenen dat de onderkant van de bovenbalk minimaal op +0,9m NAP zou moeten komen te liggen. Dit zou inhouden, dat spuisituaties als in dit voorbeeld, met hoge waterstanden aan beide zijden van de schuiven, maatgevend worden voor het minimale niveau van de onderkant van de bovenbalk. Bij grotere vervallen is immers de snelheid en daarmee de snelheidshoogte ter plaatse van de schuiven veel groter en zal de waterspiegel lager liggen. Het niveau van de onderkant van de bovenbalk wordt dan bepaald door situaties waarbij de afvoeren klein zijn en beperking in het stroomvoerend profiel door een iets lager liggende bovenbalk relatief gezien weinig gevolgen zou hebben. Wellicht gaat dit te ver en zou een ontwerp, gebaseerd op dergelijke uitgangspunten, niet getuigen van een goede ingenieursgeest.

Een verfijndere insteek ter bepaling van het niveau van de onderkant van de bovenbalk zou de volgende kunnen zijn:

1. Bepaald wordt vanaf welke waterstanden en vervallen alle schuiven moeten worden ingezet ten behoeve van het spuien;
2. In deze gevallen wordt geëist dat de spuistroom ongehinderd moet kunnen afstromen;

3. Voor elk van deze gevallen wordt berekend op welke hoogte de waterspiegel zich bevindt ter plaatse van de schuiven;
4. Het meest maatgevende geval bepaalt de keuze voor het niveau van de onderkant van de bovenbalk.

Een redelijk goede benadering voor deze werkwijze wordt gevormd door het gebruik van de in paragraaf 6.3.1 geïntroduceerde spuicondities. Deze vijf spuicondities zijn opgesteld om op een eenvoudige manier de spuicapaciteit voor een strekkende meter spuisluis te bepalen. De condities zijn zo gedefinieerd dat ze alle maatgevende combinaties van waterstanden en vervallen redelijk goed afdekken. Daarom kunnen ze ook worden gebruikt voor een oriënterende berekening voor de bepaling van het niveau van de onderkant van de bovenbalk.

Hierbij moet worden aangetekend dat de vijf spuicondities opgesteld zijn ten behoeve van ontwerpberekeningen op basis van hydraulische functionaliteit tot het jaar 2050. Ontwerpberekeningen ten behoeve van constructieve elementen dienen echter uit te gaan van een levensduur tot het jaar 2100. Tot dat jaar moet de constructie voldoen en functioneel zijn (geen beperkende invloed uitoefenen op de functionaliteit).

Gebruik van de spuicondities voor het ontwerp van de bovenbalk is wel mogelijk, doch met een aanpassing voor de verandering van de condities in de tijd. Het IJsselmeerpeil zal volgens de gegevens in de randvoorwaarden (paragraaf 3.2) vanaf het jaar 2050 meestijgen met de zeespiegel. Het gaat uiteindelijk om een stijging van 35 cm ten opzichte van de huidige situatie. Dit gegeven dient verdisconteerd te worden bij het gebruik van de spuicondities.

Het optellen van 35 cm bij de uitkomsten van de berekeningen van de waterstanden op basis van de huidige spuicondities is hiervoor een veilige benadering. Bij 35 cm hogere waterstanden op zowel IJsselmeer als Waddenzee geldt dat het debiet toeneemt als gevolg van een toename van het natte oppervlak en een toename van de afvoercoëfficiënt. Door deze gunstigere afstroming zullen ook de stroomsnelheden toenemen. Hierdoor zal de daling van de waterspiegel ter plaatse van de schuiven groter zijn dan de situatie nu, met andere woorden de stijging van de waterstand onder de bovenbalk zal, bij 35 cm stijging van de IJsselmeer- en Waddenzee waterstanden, niet groter zijn dan 35 cm.

Deze berekeningen zijn als volgt uitgevoerd:

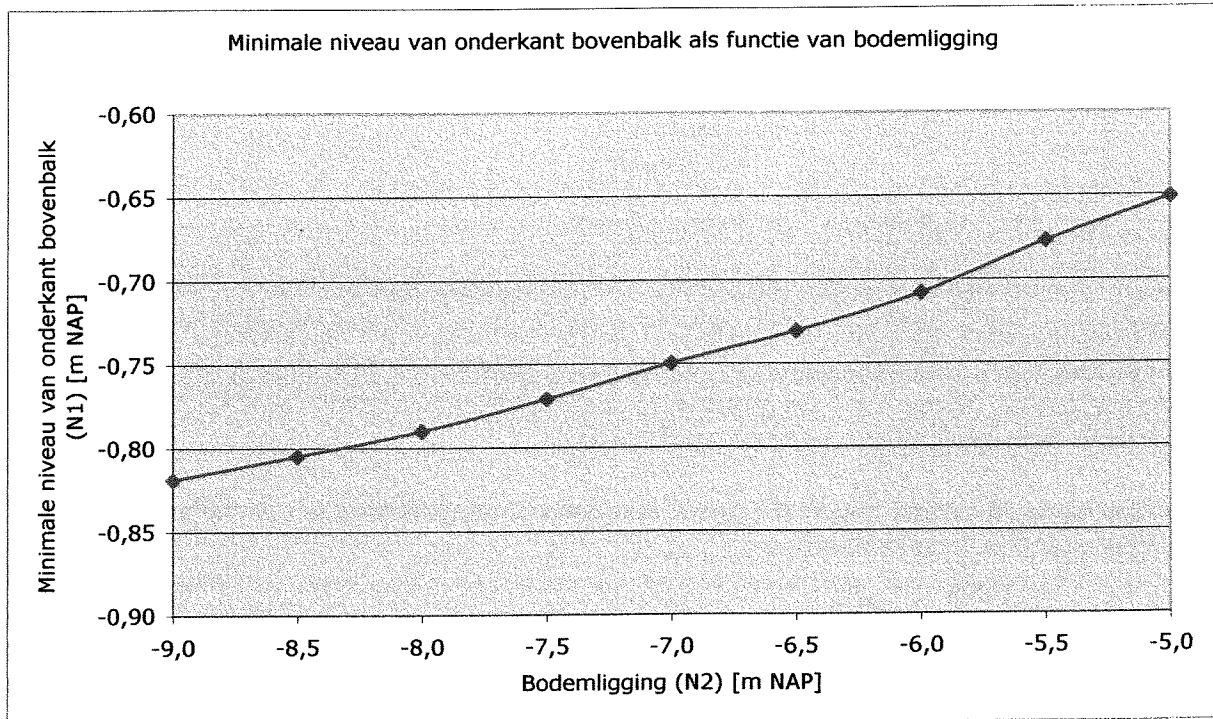
1. Voor het voorontwerp wordt voor iedere spuiconditie berekend wat de waterstand ter plaatse van de schuiven bedraagt;
2. Dit wordt herhaald voor verschillende niveaus van de spuisluisbodem (bereik van -5,0m NAP tot -9,0m NAP);
3. Per bodemniveau wordt de maatgevende spuiconditie bepaald en de waterstand bij de schuiven genoteerd;
4. Hierbij wordt 35 cm opgeteld als gevolg van de peilontwikkeling in de tijd

De resultaten op basis van de huidige spuicondities, vermeerderd met de 35 cm zijn opgenomen in tabel 9.1 (tussenresultaten en gegevens zijn opgenomen in bijlage 6):

Tabel 9.1: Minimale niveaus onderkant bovenbalk

Niveau bodem spuisluis (N2) [m NAP]	Maatgevende stand water spiegel t.p.v. schuif [m NAP]	Optelling a.g.v. peil ontwikkeling in de tijd [m]	Minimaal niveau onderkant bovenbalk (N1) [m NAP]
-5,0	-1,00	0,35	-0,65
-5,5	-1,03	0,35	-0,68
-6,0	-1,06	0,35	-0,71
-6,5	-1,08	0,35	-0,73
-7,0	-1,10	0,35	-0,75
-7,5	-1,12	0,35	-0,77
-8,0	-1,14	0,35	-0,79
-8,5	-1,15	0,35	-0,80
-9,0	-1,17	0,35	-0,82

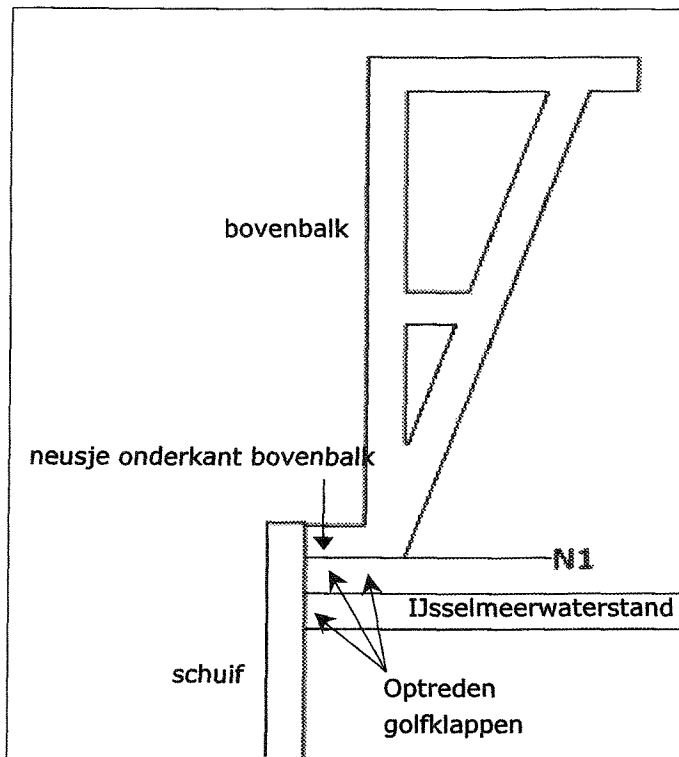
In grafiekvorm:



Figuur 9.1: Invloed bodemligging op minimale niveau van onderkant bovenbalk

9.3 Invloed niveau onderkant bovenbalk op het optreden van golfklappen

Aan de onderkant van de bovenbalk is een neusje aangebracht dat dient als afdichting van de bovenrand van de schuif en tevens als inspectiepad (maximaal 1 meter breed) voor de IJsselmeerzijde van de beplating van de schuiven. Zie figuur 9.2.



Figuur 9.2: Golfklappen tegen de bovenbalk

In de hoek tussen schuif en bovenbalk is er door de aanwezigheid van dit neusje een kans op golfklappen. De grootte van de golfklappen is afhankelijk van het energiespectrum van de golven, de frequentie van de golfklappen en het type golfklappen. De respons van de bovenbalk op een golfklap wordt bepaald door de verhouding golfklapfrequentie/eigenfrequentie van de bovenbalk alsmede door de grootte van de druk van de klap.

In het ontwerp van de bovenbalk liggen een aantal mogelijkheden om de kans op en de grootte van de golfklappen te reduceren:

1. Het niveau van de onderkant van de bovenbalk (N1) wordt verhoogd of verlaagd. Bij verhoging van het niveau worden er minder golven opgesloten waardoor de kans op golfklappen afneemt. Wanneer het niveau ver genoeg omlaag gaat, komt het neusje van de bovenbalk onder de laagste golfdalen en is er geen beïnvloeding van het neusje op de golven. Dit niveau ligt wellicht wel zo laag dat het neusje het spuidebiet gaat beperken. Dit is niet gewenst uit het oogpunt van de efficiëntie van vrije afstroming. Wel is er dan een voordeel van debietbeperking bij een weigerende (niet-sluitende) schuif;
2. Toepassing van een andere oplossing voor het inspectiepad, zodat het neusje niet nodig is. Een mogelijkheid kan zijn de schuiven verder naar boven te hijsen en het inspectiepad onder te brengen in de bovenbalk achter een afsluitbare opening; Hiervoor zijn duurdere

- bewegingswerken nodig (langere slag) en wordt ook de bovenbalk door de afsluitbare opening duurder;
3. Toepassing van een vakwerk bovenbalk. Deze heeft een open constructie waardoor heen de golven hun energie makkelijker kwijt kunnen. Aan de Waddenzeezijde bestaat de bovenbalk uit een vlakke wand en aan de IJsselmeerzijde uit het vakwerk. Bij waterbelasting aan de Waddenzee-zijde wordt de wand op druk en het vakwerk op trek belast. De uitvoering en constructie van dit type bovenbalk is duurder dan de bovenbalk uit het huidige voorontwerp;
 4. Het niveau van de onderkant van de bovenbalk wordt zo ontworpen dat de afsluiting tussen schuif en bovenbalk niet meer nodig is. Terugrekenend van de maximaal toelaatbare hoeveelheid zout vanuit de Waddenzee naar het IJsselmeer, kan beredeneerd worden wat het niveau van de bovenkant van de schuif zou moeten zijn. Een deel van de hoge golven met zout uit de Waddenzee gaat dan over de schuif heen; echter minder dan toelaatbaar. Hierdoor kunnen ook de golven van het IJsselmeer hun energie door deze opening kwijt. Ontwikkelingen binnen de Milieu Effect Rapportage (MER)studie moeten uitwijzen wat de mogelijkheden zijn.

De vier genoemde mogelijkheden hebben allen hogere kosten en/of uitvoeringscomplicaties. In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan mogelijkheid 1, waarbij het hoofdconcept van de bovenbalk gelijk blijft en het niveau van de onderkant van de bovenbalk variabel wordt gesteld.

Het kwantificeren van de kansen op en de omvang van golfklappen ligt niet in het kader van dit onderzoek. Ook de aanpassing van de constructieve aspecten van de bovenbalk en schuiven als gevolg van verandering in de golfklappen wordt niet beschouwd. Teneinde het meest optimale niveau voor de onderkant van de bovenbalk te vinden zal niettemin een "kosten-baten" analyse moeten worden opgesteld. De opzet van dit onderzoek voorziet wel in de mogelijkheid de effecten van aanpassingen in het niveau van de onderkant van de bovenbalk op de kosten van de spuisluis te kwantificeren. Deze effecten kunnen in een verdere studie naar het optimale niveau van de onderkant van de bovenbalk worden gebruikt voor het afwegen van verschillende voorstellen.

Genoemde effecten worden in paragraaf 9.4 besproken.

9.4 Kosteneffecten van variatie in niveau onderkant bovenbalk

In figuur 9.1 wordt afgelezen dat het minimale niveau van onderkant bovenbalk zich concentreert rond $-0,75\text{m}$ NAP, met een afwijking van $\pm 10\text{ cm}$. Voor het bepalen van het effect van het niveau van de onderkant van de bovenbalk op de kosten van de spuisluis is de waarde $-0,75\text{m}$ NAP evenwel geschikt als schatting voor het minimale niveau. Uiteindelijk is vooral het effect van aanpassing van het niveau van de onderkant van de bovenbalk bij de in hoofdstuk 8 bepaalde optimale combinatie van n en $N2$ ($n=6$ en $N2=-6,75\text{m}$ NAP) interessant. Bij deze waarden is de afwijking ten opzichte van $-0,75\text{m}$ NAP klein en de nauwkeurigheid groter.

Wanneer het niveau van de onderkant van de bovenbalk wordt veranderd, verandert de hoogte en het gewicht van de schuiven. Hierdoor veranderen de kosten voor schuiven, bewegingswerken, elektro-installatie en energieverbruik. Deze twee laatste posten blijft gedurende de hele levensduur doorwerken en zorgen op die manier ervoor dat de Life Cycle Costs meer invloed ondervinden van een variatie in het niveau van de onderkant van de bovenbalk, dan de stichtingskosten. In tabel 9.2 zijn de resultaten van de kostenberekeningen van de optimale configuraties gepresenteerd.

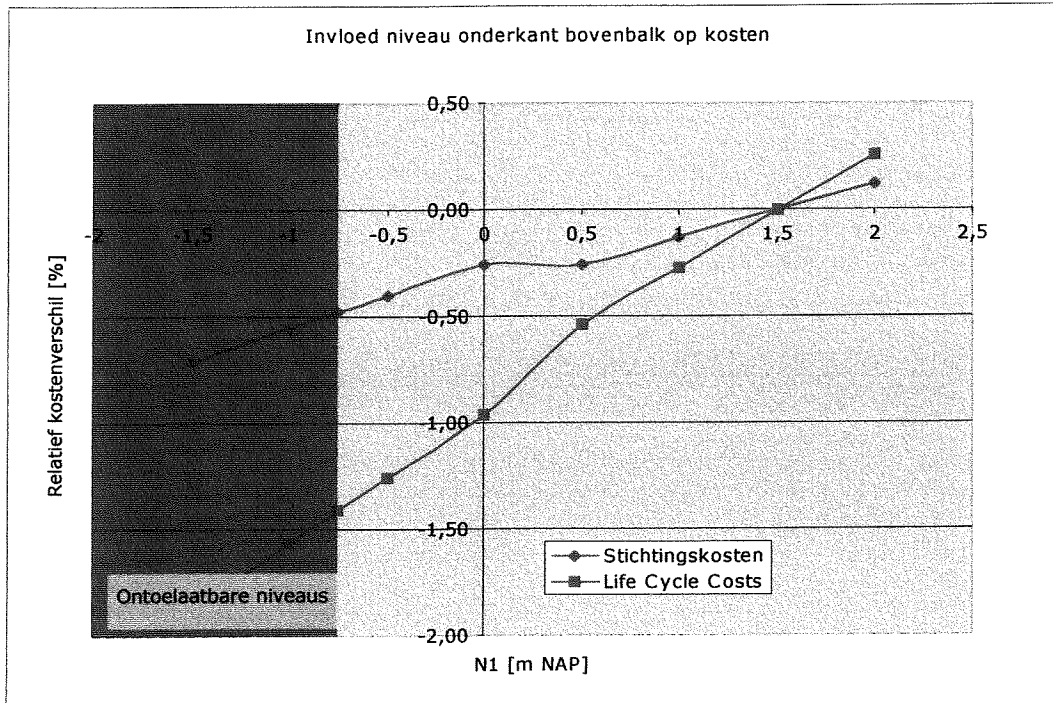
Tabel 9.2: Relatieve kostenverschillen voor stichtingskosten en Life Cycle Costs

N1 [m NAP]	optimum bij		Soort kosten [-]	Kosten [mln €]	Kostenverschil t.o.v. optimum uit hfst 8. (n=6,N2=-6,75) [mln €]	Kostenverschil t.o.v. optimum uit hfst 8. (n=6,N2=-6,75) [%]
	aantal schuiven (n) [stuks]	niveau bodem ligging (N2) [m NAP]				
-1,5	5	-7	Stichtingskosten	147,980	-1,06	-0,71
			Life Cycle Costs	172,832	-3,32	-1,88
-1	5	-7	Stichtingskosten	148,212	-0,83	-0,55
			Life Cycle Costs	173,386	-2,76	-1,57
-0,75	5	-7	Stichtingskosten	148,325	-0,71	-0,48
			Life Cycle Costs	173,657	-2,49	-1,41
-0,5	5	-7	Stichtingskosten	148,437	-0,60	-0,40
			Life Cycle Costs	173,926	-2,22	-1,26
0	5	-7	Stichtingskosten	148,656	-0,38	-0,26
			Life Cycle Costs	174,452	-1,70	-0,96
0,5	6	-6,75	Stichtingskosten	148,650	-0,39	-0,26
			Life Cycle Costs	175,203	-0,95	-0,54
1	6	-6,75	Stichtingskosten	148,847	-0,19	-0,13
			Life Cycle Costs	175,682	-0,47	-0,27
1,5	6	-6,75	Stichtingskosten	149,038	0,00	0,00
			Life Cycle Costs	176,149	0,00	0,00
2	6	-6,75	Stichtingskosten	149,223	0,19	0,12
			Life Cycle Costs	176,603	0,45	0,26

Uit tabel 9.2 wordt geconcludeerd dat bij een niveau van onderkant bovenbalk tussen +0,5m NAP en +2,0m NAP de optimale afmetingen van de spuiopeningen gelijk blijven aan het in hoofdstuk 8 beschreven optimum (n=6; N2=-6,75m NAP). Voor niveaus van de onderkant van de bovenbalk lager dan +0,5m NAP verspringt de optimale configuratie naar 5 schuiven en een niveau van de bodemligging van -7m NAP. Dit kan als volgt verklaard worden: Bij een dalend niveau van de onderkant van de bovenbalk worden de schuiven steeds lager en lichter. Zoals op de vorige pagina beschreven dalen hiermee ook de kosten van schuiven, bewegingswerken, elektro-installatie en energieverbruik. Dit gaat door tot bij een bepaald niveau (hier niveau +0,5m NAP) de constructie goedkoper kan worden uitgevoerd door de schuiven een "slag groter" te maken: Er wordt dan grofweg gezegd meer geld bespaard door een schuif, een pijler en een set bewegingswerken

minder te hoeven construeren, dan dat bespaard kan worden door de beschreven voordelen van lichtere schuiven.

De getallen uit tabel 9.2 worden in figuur 9.3 gevisualiseerd. Duidelijk te zien is het verschil in de gevoeligheid van stichtingskosten en LCC voor de variatie in het niveau van de onderkant van de bovenbalk.



Figuur 9.3: Relatief effect van het niveau van de onderkant van de bovenbalk op de kosten

Uit tabel 9.2 en figuur 9.3 wordt afgelezen dat de maximaal haalbare kostenverlagingen bij de optimale configuratie uit hoofdstuk 8 ($n=6$, $N2=-6,75$ m NAP) als volgt zijn:

- 0,26% voor de stichtingskosten en
- 0,54% voor de Life Cycle Costs

Het niveau van de onderkant van de bovenbalk ligt dan op +0,5m NAP.

Door een verdere verlaging van het niveau van de onderkant van de bovenbalk tot -0,75m NAP zou een kostenverlaging van

- 0,48% voor de stichtingskosten en
- 1,41% voor de Life Cycle Costs

kunnen worden behaald. De bodem van de spuisluis ligt in dit optimale geval op -7m NAP en de spuicapaciteit wordt verzorgd door 5 schuiven.

Verdere studies naar de mogelijkheden voor het niveau van de onderkant van de bovenbalk in verband met de optredende golfklappen zullen moeten uitwijzen welk niveau haalbaar is zijn en welke financieel optimaal is.



figuur 10.1). Het optimale niveau van de bodemligging blijft constant en de schuifbreedte verandert nauwelijks ten opzichte van de optimale configuratie bij de oude situatie (tweede getallen-kolom).

10.4 Overige actuele ontwikkelingen

Andere mogelijke nieuwe ontwikkelingen betreffen de keuze voor een ontvlechting van de systemen spuisluis en wegverbinding. Het idee hierachter is de brugverbinding ten behoeve van verkeersweg A7 over 70 meter op te schuiven in IJsselmeerrichting. Op die manier wordt de constructie verdeeld over 2 delen: een spuisluis en een verkeersbrug en kan de spuisluis visueel gezien beter tot zijn recht komen. Een studie naar de constructieve, hydraulische en financiële veranderingen die hiermee gemoeid zijn, is opgestart.

Ook blijkt dat meer aandacht moet worden besteed aan de hinder van de spuisluizen voor de scheepvaart. Wanneer gespuid wordt, is gebleken dat de dwarsstroming ter plaatse van de scheepvaartgeulen naar de schutsluizen bij Kornwerderzand in de orde van 2 m/s kan bedragen. Een studie naar deze beïnvloeding moet ongewenste bijeffecten van de bouw van de nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk tot een minimum beperken.



11. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Dit hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen ten aanzien van de doelstellingen van het onderzoek.

11.1 Conclusies

- Op basis van het optimaliseringsmodel zijn de volgende kosten berekend:
De Life Cycle Costs van het voorontwerp van de Bouwdienst zijn 177,32 miljoen Euro;
De Life Cycle Costs van het geoptimaliseerde voorontwerp zijn 176,15 miljoen Euro;
Het kostenvoordeel van het geoptimaliseerde voorontwerp bedraagt 1,15 miljoen Euro;
- De kosten van de spuisluis in het voorontwerp van de Bouwdienst liggen binnen een 1%-marge ten opzichte van de kosten van de spuisluis in het geoptimaliseerde voorontwerp;
- De aanpassingen voor de afmetingen van de spuiopeningen van het geoptimaliseerde ontwerp ten opzichte van het voorontwerp van de Bouwdienst zijn:

	VO Bouwdienst	Geoptimaliseerde ontwerp
Breedte schuiven	33 meter	26,6 meter
Niveau bodemligging	-6,50 m NAP	-6,75 m NAP
Aantal schuiven	5	6

- Bij een aanpassing van alleen de schuifbreedtes en een onveranderd niveau van de bodemligging van de spuisluis als in het voorontwerp (-6,50 m NAP), kan bespaard worden op detailontwerpkosten. In dit geval wordt de schuifbreedte 27,6 meter en de Life Cycle Costs bedragen 176,72 miljoen Euro;
- De verdeling van de stichtings- en beheerskosten in het geoptimaliseerde voorontwerp ziet als volgt uit:

Categorie kosten	Subcategorie	Kosten	Relatief aandeel
Stichtingskosten		149,04 mln €	84,6 %
Beheerskosten	Onderhoudskosten	22,15 mln €	12,6 %
	Energiekosten	4,96 mln €	2,8 %
Totaal		176,15 mln €	100 %

- De optimale afmetingen voor de spuiopeningen in de nieuwe situatie van 143 meter netto spuibreedte voor het voorontwerp (dit is op basis van de nieuwste capaciteitsberekeningen van het RIZA) zijn:
 - Breedte schuiven: 27,7 meter
 - Niveau bodemligging: -6,75 m NAP
 - Aantal schuiven: 5 stuks;
- De Life Cycle Costs van dit geoptimaliseerde voorontwerp in de nieuwe situatie zijn 163,93 miljoen Euro;
- Ook bij het geoptimaliseerde ontwerp in de nieuwe situatie geldt dat bij aanpassing van alleen de schuifbreedtes en een onveranderd niveau van de bodemligging van de spuisluis (-6,50 m NAP), bespaard kan worden op detailontwerpkosten. In dit geval is het optimale ontwerp, op de schuifbreedtes na, gelijk aan het voorontwerp van de Bouwdienst (gelijk aantal schuiven en gelijke bodemligging). In dit geval wordt de schuifbreedte 28,8 meter en de Life Cycle Costs bedragen 164,15 miljoen Euro;

9. Variatie in het niveau van de onderkant van de bovenbalk heeft het volgende kosteneffect:
 - Een kostenbesparing van 0,1 miljoen Euro op de stichtingskosten per kwart meter (25 cm) niveaudaling, dit is 0,07 % van de stichtingskosten van de spuisluis
 - Een kostenbesparing van 0,24 miljoen Euro op de Life Cycle Costs per kwart meter (25 cm) niveaudaling, dit is 0,14 % van de LCC van de spuisluis;
10. Harde uitspraken betreffende het optimale niveau van de onderkant van de bovenbalk kunnen nog niet gedaan worden. Hiervoor is meer (schaal)modelonderzoek nodig;

11.2 Aanbevelingen

1. Voor de aanpassing van het voorontwerp naar de berekende optimale spuisluisconfiguratie voor de situatie op basis van de "verouderde" RIZA-berekeningen wordt aanbevolen:
 - Niveau bodemligging blijft op -6,50 meter NAP
 - Schuifbreedte wordt aangepast van 33 meter naar 27,6 meter
 - Aantal schuiven wordt aangepast naar 6 stuks;
2. Voor de aanpassing van het voorontwerp naar de berekende optimale spuisluisconfiguratie voor de situatie op basis van de nieuwste RIZA-berekeningen wordt aanbevolen:
 - Niveau bodemligging blijft op -6,50 meter NAP
 - Schuifbreedte wordt aangepast van 33 meter naar 28,8 meter
 - Aantal schuiven blijft 5 stuks;
3. Er moet meer (schaal)modelonderzoek uitgevoerd worden naar het optreden van golfklappen tegen de bovenbalken en de schuiven;
4. Er dient onderzoek uitgevoerd te worden naar alternatieve mogelijkheden voor het bovenbalkontwerp;
5. Er dient een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd te worden om de berekende optimalisaties correct te kunnen interpreteren;
6. Extra tijdsinvestering in de detailontwerpfase dient per hoofdonderdeel en discipline evenredig te zijn aan de omvang van het bijbehorende kostenaandeel in de totale kosten van de spuisluis.

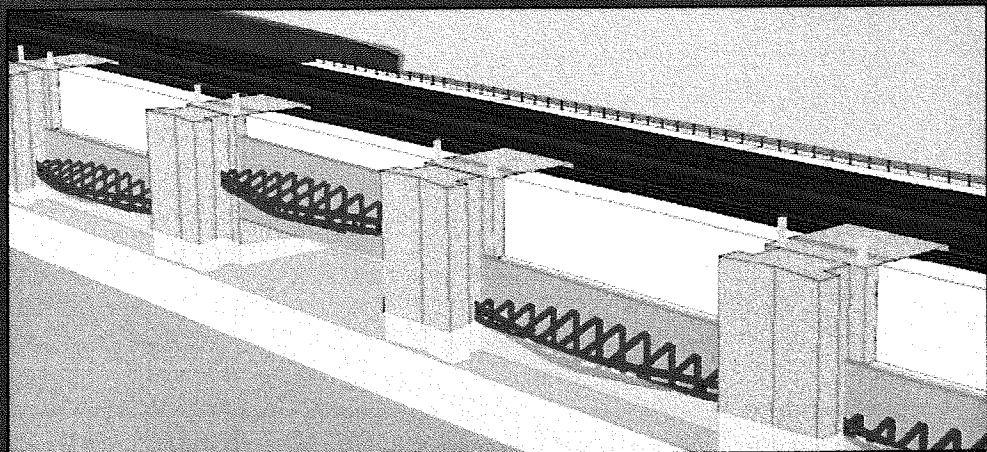
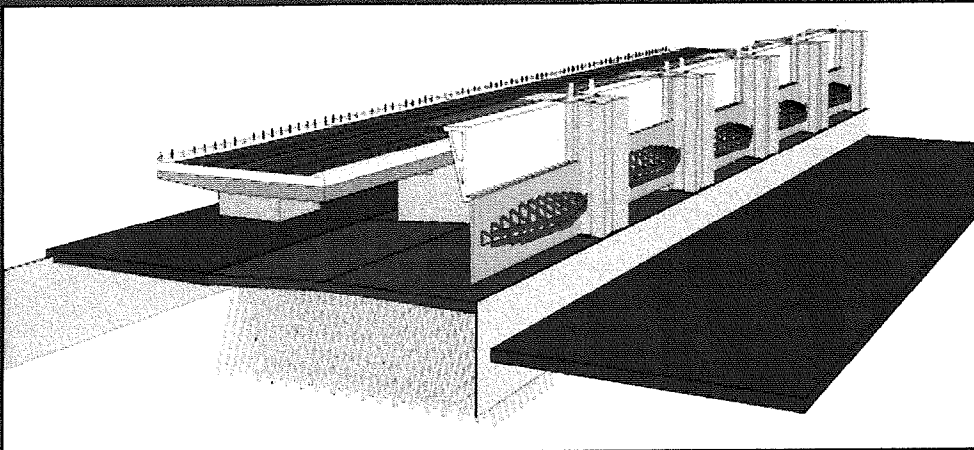
Literatuurlijst

- Prof. Ir. d'Angremond, K. Inleiding Waterbouwkunde, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Sectie Waterbouwkunde, Delft 1998
- Prof. Dr. Ir. Battjes, J.A. Vloeistofmechanica, Collegehandleiding, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Sectie Vloeistofmechanica, Delft, 1998
- Ir. Bezuyen, K.G., Ing. Kuijper G. Constructieve Waterbouwkunde, Deel A: Algemeen, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Sectie Hydraulic and Offshore Engineering, Delft, 1999
- Grundemann, M.M. Startnotitie M.E.R. Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, 2001
- Jansen, P.L.M. Ontwerpopties Spuimiddel Afsluitdijk, 4279-P-2000.0017, 2000
- Jansen, P.L.M. Spuiopties met enkele of dubbele kering en variatie in breedte, 4279-P-2001.0069, 2001
- Jansen, P.L.M. Optimalisatieslag ontwerpopties Spuimiddel Afsluitdijk, 4279-P-2000.0055, 2001
- Kolkman, P.A., Jongeling, T.H.G. Dynamisch Gedrag van Waterbouwkundige Constructies, Deel B: Constructies in Golven, Rijkswaterstaat, Dienst weg- en waterbouwkunde, Delft, 1996
- Looij, A. van, Schwitzer, G.A., Schaik E.A.M. van Bouwmethoden Spuimiddel Afsluitdijk, 4279-P-2001.0106, 2001
- Ir. Nortier, I.W. Toegepaste Vloeistofmechanica, Hydraulica voor waterbouwkundigen, Educaboek B.V., Culemborg, 1981
- Projectteam Bouwdienst Rijkswaterstaat Voorontwerpnota Uitbreiding Spuicapaciteit Afsluitdijk, 4279-P-2002.0100, 2002
- Afdeling NIB, Bouwdienst Rijkswaterstaat Uitbreiding Spuicapaciteit Afsluitdijk Kostenrapportage, 4279-P-2002.0108, 2002
- Riel, J.L.M. te, Hendriks, G.J.J., Veldkamp I.H.J.T. GWW Kosten, Funderingstechnieken betonwerk, Peildatum mei 1996, 1996

- Schaik E.A.M. van Vergelijking Open Spuisluis met Diepe Koker, 4279-P-2001.0061, 2001
- Prof. Dr. Ir. Thijssse, J. TH. Een Halve Eeuw Zuiderzeewerken 1920-1970, H.D. Tjeenk Willink B.V. Groningen, 1972
- Prof. Ir. Tol, A.F. van Funderingstechnieken, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Sectie Geotechniek, Delft 1998
- Visser, J.J. Werkdocument Kostprijzaken DI, 4279 G2, 2002
- Vlag, D.P., Ytsma, D. P. Definitiestudie Spui Afsluitdijk, Fase 1: Bepaling van spuibreedte, 2000.090X, 2000
- Vlag, D.P., Ytsma, D. P. Definitiestudie Spui Afsluitdijk, Fase 2: Bepaling spuilocatie en capaciteit, 2001.078X, 2001
- Prof. Ir. Vos, Ch.J., ing. Jager, H.C. Het Bouwproces van Betonconstructies, Uitvoerings- en kostenoverwegingen bij het ontwerpen van betonconstructies, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Sectie Betonconstructies, Delft, 2000
- Dr. ir. Vrijburcht, A. Hydraulische Randvoorwaarden Afsluitdijk nabij Kornwerderzand, 4279-P-2001.0122, 2001
- Dr. ir. Vrijburcht, A. Belastingen Nieuwe Spuisluis Afsluitdijk nabij Kornwerderzand, 4279-P-2002.****, 2002
- Dr. ir. Vrijburcht, A. Hydraulische Aspecten Nieuwe Spuisluis Afsluitdijk nabij Kornwerderzand, 4279-P-2002.****, 2002
- Dr. ir. Vrijburcht, A. Hydraulische Aspecten Nieuwe Spuisluis Afsluitdijk nabij Kornwerderzand Tabellen en figuren, 4279-P-2002.****, 2002
- Prof. Ir. Wagemans L.A.G. Info-Extra, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Sectie Algemene Constructieleer, Delft, 1997
- Prof. Dr. Ir. Walraven, J.C., Ir. Galjaard, J.C. Voorgespannen Beton, Betonpraktijkreeks, ENCI Media, s-Hertogenbosch, ISBN 9071806340, 1997

Ontwerpopimalisering Spuisluis Afsluitdijk

Bijlagen



1. Modelling stroming

Afvoercoefficient Voorontwerp1 spuisluis
Afsluitdijk
Open spuisluis, zonder zigzag, drempel -6,50 m

Vaste invoergegevens:

z0 := - 6. z1 := - 8. z2 := - 8 z3 := - 8 z4 := - 7.5 z5 := - 6.5
z6 := - 6.5 z7 := - 11. z8 := - 11. z9 := - 10. z10 := - 10.
b0 := 120 b1 := 82 b2 := 41 b3 := 41 b4 := 26.4 b5 := 31.35
b6 := 31.35 b7 := 46 b8 := 46 b9 := 100 b10 := 100
k01 := .02 k12 := .05 k23 := .1 k34 := .02 k45 := .01 k56 := .01
k67 := .15 k78 := .1 k89 := .05 k910 := .02
L01 := 150 L12 := 90 L23 := 10 L34 := 10 L45 := 20 L56 := 20
L67 := 80 L78 := 140 L89 := 130 L910 := 150
ksisponn := 0.15
zref := - 6.5 bref := 33
g := 9.81 H0 := 0
rhoy := 1000 rhow := 1015

Startwaarden:

$h1 := -.2$	$v1 := 0.1$	$d1 := 8$
$h2 := -.2$	$v2 := 0.1$	$d2 := 8$
$h3 := -.2$	$v3 := 0.1$	$d3 := 8$
$h4 := -.2$	$v4 := 0.1$	$d4 := 8$
$h5 := -.2$	$v5 := 0.1$	$d5 := 8$
$h6 := -.2$	$v6 := 0.1$	$d6 := 8$
$h7 := -.2$	$v7 := 0.1$	$d7 := 8$
$h8 := -.2$	$v8 := 0.1$	$d8 := 8$
$h9 := -.2$	$v9 := 0.1$	$d9 := 8$
$h10 := -.2$	$v10 := 0.1$	$d10 := 8$

30 Vergelijkingen met 30 onbekenden:

Given

$$\begin{aligned}d1 &= h1 - z1 & d1 \cdot b1 \cdot v1 &= Q \\d2 &= h2 - z2 & d2 \cdot b2 \cdot v2 &= Q \\d3 &= h3 - z3 & d3 \cdot b3 \cdot v3 &= Q \\d4 &= h4 - z4 & d4 \cdot b4 \cdot v4 &= Q \\d5 &= h5 - z5 & d5 \cdot b5 \cdot v5 &= Q \\d6 &= h6 - z6 & d6 \cdot b6 \cdot v6 &= Q \\d7 &= h7 - z7 & d7 \cdot b7 \cdot v7 &= Q \\d8 &= h8 - z8 & d8 \cdot b8 \cdot v8 &= Q \\d9 &= h9 - z9 & d9 \cdot b9 \cdot v9 &= Q \\d10 &= h10 - z10 & d10 \cdot b10 \cdot v10 &= Q\end{aligned}$$

$$h0 + \frac{v0^2}{2 \cdot g} = h1 + \frac{v1^2}{2 \cdot g} + \text{ksi01} \cdot \frac{\left(\frac{v0 + v1}{2}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h1 + \frac{v1^2}{2 \cdot g} = h2 + \frac{v2^2}{2 \cdot g} + \text{ksi12} \cdot \frac{\left(\frac{v1 + v2}{2}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h2 + \frac{v2^2}{2 \cdot g} = h3 + \frac{v3^2}{2 \cdot g} + \text{ksi23} \cdot \frac{\left(\frac{v2 + v3}{2}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h3 + \frac{v3^2}{2 \cdot g} = h4 + \frac{v4^2}{2 \cdot g} + \text{ksi34} \cdot \frac{\left(\frac{v3 + v4}{2}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h4 + \frac{v4^2}{2 \cdot g} = h5 + \frac{v5^2}{2 \cdot g} + \frac{(v4 - v5)^2}{2 \cdot g} + (ksi45) \cdot \frac{\left(\frac{v4 + v5}{2}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h5 + \frac{v5^2}{2 \cdot g} = h6 + \frac{v6^2}{2 \cdot g} + (ksi56 + ksisponn) \cdot \frac{\left(\frac{v5 + v6}{2}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h6 + \frac{v6^2}{2 \cdot g} = h7 + \frac{v7^2}{2 \cdot g} + \frac{1.00 \cdot (v6 - v7)^2}{2 \cdot g} + ksi67 \cdot \frac{\left(\frac{v6 + v7}{2}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h7 + \frac{v7^2}{2 \cdot g} = h8 + \frac{v8^2}{2 \cdot g} + ksi78 \cdot \frac{\left(\frac{v7 + v8}{2}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h8 + \frac{v8^2}{2 \cdot g} = h9 + \frac{v9^2}{2 \cdot g} + \frac{(v8 - v9)^2}{2 \cdot g} + ksi89 \cdot \frac{\left(\frac{v8 + v9}{2}\right)^2}{2 \cdot g}$$

$$h9 + \frac{v9^2}{2 \cdot g} = h10 + \frac{v10^2}{2 \cdot g} + \frac{(v9 - v10)^2}{2 \cdot g} + ksi910 \cdot \frac{\left(\frac{v9 + v10}{2}\right)^2}{2 \cdot g}$$

X(h0, v0, Q, ksi01, ksi12, ksi23, ksi34, ksi45, ksi56, ksi67, ksi78, ksi89, ksi910) := Find(h1, h2, h3, h4, h5, h6, h7, h8, h9, h10, v1

Variabele parameters:

$$n = 100$$

$$i := 0..n$$

$$v0_i := 0.655 + i \cdot 0.005$$

$$h0_i := H0 - \frac{(v0_i)^2}{2 \cdot g} \quad d0_i := h0_i - z0 \quad Q_i := d0_i \cdot b0 \cdot v0_i$$

$$ksi01_i := \frac{2 \cdot g \cdot L01}{(h0_i - z0) \cdot \left[18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot (h0_i - z0)}{k01} \right] \right]^2}$$

$$ksi12_i := \frac{2 \cdot g \cdot L12}{(h0_i - z1) \cdot \left[18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot (h0_i - z1)}{k12} \right] \right]^2}$$

$$ksi23_i := \frac{2 \cdot g \cdot L23}{(h0_i - z2) \cdot \left[18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot (h0_i - z2)}{k23} \right] \right]^2}$$

$$ksi34_i := \frac{2 \cdot g \cdot L34}{(h0_i - z3) \cdot \left[18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot (h0_i - z3)}{k34} \right] \right]^2}$$

$$ksi45_i := \frac{2 \cdot g \cdot L45}{(h0_i - z4) \cdot \left[18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot (h0_i - z4)}{k45} \right] \right]^2}$$

$$ksi56_i := \frac{2 \cdot g \cdot L56}{(h0_i - z5) \cdot \left[18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot (h0_i - z5)}{k56} \right] \right]^2}$$

$$ksi67_i := \frac{2 \cdot g \cdot L67}{(h0_i - z6) \cdot \left[18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot (h0_i - z6)}{k67} \right] \right]^2}$$

$$ksi78_i := \frac{2 \cdot g \cdot L78}{(h0_i - z7) \cdot \left[18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot (h0_i - z7)}{k78} \right] \right]^2}$$

$$ksi89_i := \frac{2 \cdot g \cdot L89}{(h0_i - z8) \cdot \left[18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot (h0_i - z8)}{k89} \right] \right]^2}$$

$$ksi910_i := \frac{2 \cdot g \cdot L910}{(h0_i - z9) \cdot \left[18 \cdot \log \left[\frac{12 \cdot (h0_i - z9)}{k910} \right] \right]^2}$$

Matrix met 30 opgeloste onbekenden voor n stroomsnelheden v0:

M := for r ∈ 0.. n

$$\begin{cases} Z^{\leftarrow r} \leftarrow X(h0_r, v0_r, Q_r, ksi01_r, ksi12_r, ksi23_r, ksi34_r, ksi45_r, ksi56_r, ksi67_r, ksi78_r, ksi89_r, ksi910_r) \\ Z^T \end{cases}$$

Matrix met snelheidshoogten voor n stroomsnelheden v0:

H := for r ∈ 0.. n

$$\begin{cases} H_{r,1} \leftarrow M_{r,0} + \frac{(M_{r,10})^2}{2 \cdot g} \\ H_{r,2} \leftarrow M_{r,1} + \frac{(M_{r,11})^2}{2 \cdot g} \\ H_{r,3} \leftarrow M_{r,2} + \frac{(M_{r,12})^2}{2 \cdot g} \\ H_{r,4} \leftarrow M_{r,3} + \frac{(M_{r,13})^2}{2 \cdot g} \\ H_{r,5} \leftarrow M_{r,4} + \frac{(M_{r,14})^2}{2 \cdot g} \\ H_{r,6} \leftarrow M_{r,5} + \frac{(M_{r,15})^2}{2 \cdot g} \\ H_{r,7} \leftarrow M_{r,6} + \frac{(M_{r,16})^2}{2 \cdot g} \\ H_{r,8} \leftarrow M_{r,7} + \frac{(M_{r,17})^2}{2 \cdot g} \\ H_{r,9} \leftarrow M_{r,8} + \frac{(M_{r,18})^2}{2 \cdot g} \\ H_{r,10} \leftarrow M_{r,9} + \frac{(M_{r,19})^2}{2 \cdot g} \\ H_{r,11} \leftarrow (H_{r,10} - zref) \left(\frac{\rho_{hoy}}{\rho_{how}} \right)^{0.5} + zref \\ H_{r,0} \leftarrow H0 \\ H \end{cases}$$

Matrix met afvoercoeff. voor n stroomsnelheden v0:

Mu := for r ∈ 0..n

$$\left| \begin{array}{l} \text{Mu}_{r,0} \leftarrow \frac{Q_r}{\text{bref} \cdot (H_{r,0} - \text{zref}) \cdot [2 \cdot g \cdot (H_{r,0} - H_{r,10})]^{0.5}} \\ \text{Mu}_{r,1} \leftarrow \frac{Q_r}{\text{bref} \cdot (H_{r,10} - \text{zref}) \cdot [2 \cdot g \cdot (H_{r,0} - H_{r,10})]^{0.5}} \\ \text{Mu}_{r,2} \leftarrow \frac{Q_r}{\text{bref} \cdot (H_{r,0} - \text{zref}) \cdot [2 \cdot g \cdot (H_{r,0} - H_{r,11})]^{0.5}} \\ \text{Mu}_{r,3} \leftarrow \frac{Q_r}{\text{bref} \cdot (H_{r,11} - \text{zref}) \cdot [2 \cdot g \cdot (H_{r,0} - H_{r,11})]^{0.5}} \\ \text{Mu} \end{array} \right.$$

Mu5 := 1

Given

$$Q = \text{Mu5} \cdot \text{bref} \cdot [\text{Hb} - \text{zref} - \text{Mu5}^2 \cdot (\text{Hb} - \text{He})] \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (\text{Hb} - \text{He})}$$

W(Hb, He, Q) := Find(Mu5)

i := 0..n

$$\text{Hb}_i := \text{H}_{n,0}$$

$$\text{He}_i := \text{H}_{n,11} \quad \text{Mu}_{i,4} := W(\text{Hb}_i, \text{He}_i, Q_i)$$

Wegschrijven van de resultaten in de array A:

A := for r ∈ 0..n

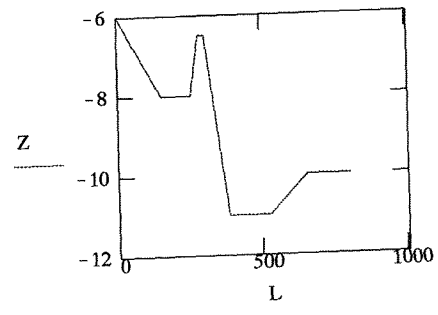
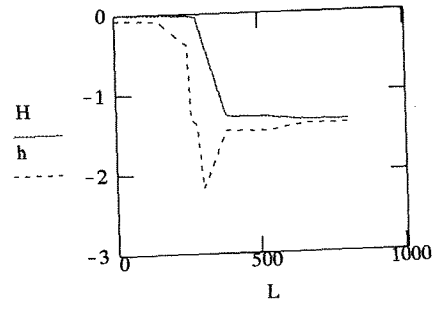
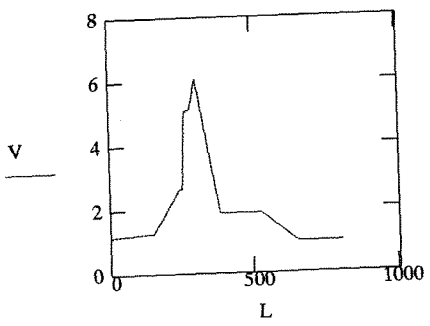
$$\left| \begin{array}{l} A_{r,0} \leftarrow H_{r,0} \\ A_{r,1} \leftarrow v0_r \\ A_{r,2} \leftarrow Q_r \\ A_{r,3} \leftarrow H_{r,10} \\ A_{r,4} \leftarrow H_{r,0} - H_{r,10} \\ A_{r,5} \leftarrow \text{Mu}_{r,0} \\ A_{r,6} \leftarrow \text{Mu}_{r,1} \\ A_{r,7} \leftarrow H_{r,11} \\ A_{r,8} \leftarrow H_{r,0} - H_{r,11} \\ A_{r,9} \leftarrow \text{Mu}_{r,2} \\ A_{r,10} \leftarrow \text{Mu}_{r,3} \\ A_{r,11} \leftarrow \text{Mu}_{r,4} \\ A \end{array} \right.$$

Resultaat van 1 stroomsnelheid in lengterichting spuisluis:

$r = n$

$L_0 := 0$	$D_{0,0} := 0$	$D_{1,0} := v0_r$	$D_{2,0} := h0_r$	$D_{3,0} := H0$	$D_{4,0} := z0$
$L_1 := L01$	$D_{0,1} := L_1$	$D_{1,1} := M_{r,10}$	$D_{2,1} := M_{r,0}$	$D_{3,1} := H_{r,1}$	$D_{4,1} := z1$
$L_2 := L12$	$D_{0,2} := L_2 + D_{0,1}$	$D_{1,2} := M_{r,11}$	$D_{2,2} := M_{r,1}$	$D_{3,2} := H_{r,2}$	$D_{4,2} := z2$
$L_3 := L23$	$D_{0,3} := L_3 + D_{0,2}$	$D_{1,3} := M_{r,12}$	$D_{2,3} := M_{r,2}$	$D_{3,3} := H_{r,3}$	$D_{4,3} := z3$
$L_4 := L34$	$D_{0,4} := L_4 + D_{0,3}$	$D_{1,4} := M_{r,13}$	$D_{2,4} := M_{r,3}$	$D_{3,4} := H_{r,4}$	$D_{4,4} := z4$
$L_5 := L45$	$D_{0,5} := L_5 + D_{0,4}$	$D_{1,5} := M_{r,14}$	$D_{2,5} := M_{r,4}$	$D_{3,5} := H_{r,5}$	$D_{4,5} := z5$
$L_6 := L56$	$D_{0,6} := L_6 + D_{0,5}$	$D_{1,6} := M_{r,15}$	$D_{2,6} := M_{r,5}$	$D_{3,6} := H_{r,6}$	$D_{4,6} := z6$
$L_7 := L67$	$D_{0,7} := L_7 + D_{0,6}$	$D_{1,7} := M_{r,16}$	$D_{2,7} := M_{r,6}$	$D_{3,7} := H_{r,7}$	$D_{4,7} := z7$
$L_8 := L78$	$D_{0,8} := L_8 + D_{0,7}$	$D_{1,8} := M_{r,17}$	$D_{2,8} := M_{r,7}$	$D_{3,8} := H_{r,8}$	$D_{4,8} := z8$
$L_9 := L89$	$D_{0,9} := L_9 + D_{0,8}$	$D_{1,9} := M_{r,18}$	$D_{2,9} := M_{r,8}$	$D_{3,9} := H_{r,9}$	$D_{4,9} := z9$
$L_{10} := L910$	$D_{0,10} := L_{10} + D_{0,9}$	$D_{1,10} := M_{r,19}$	$D_{2,10} := M_{r,9}$	$D_{3,10} := H_{r,10}$	$D_{4,10} := z10$

$$L := (D^T)^{<0>} \quad v := (D^T)^{<1>} \quad h := (D^T)^{<2>} \quad H := (D^T)^{<3>} \quad Z := (D^T)^{<4>}$$



,v2,v3,v4,v5,v6,v7,v8,v9,v10,d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,d8,d9,d10)

$M^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	-0.029	-0.03	-0.03	-0.031	-0.031	-0.032	-0.032	-0.032	-0.033	-0.033	-0.034
1	-0.114	-0.116	-0.118	-0.12	-0.122	-0.123	-0.125	-0.127	-0.129	-0.131	-0.133
2	-0.115	-0.117	-0.119	-0.121	-0.123	-0.124	-0.126	-0.128	-0.13	-0.132	-0.134
3	-0.322	-0.327	-0.333	-0.338	-0.344	-0.35	-0.355	-0.361	-0.367	-0.373	-0.379
4	-0.311	-0.316	-0.322	-0.327	-0.332	-0.338	-0.343	-0.349	-0.355	-0.36	-0.366
5	-0.365	-0.372	-0.378	-0.384	-0.391	-0.397	-0.404	-0.411	-0.418	-0.425	-0.432
6	-0.236	-0.24	-0.244	-0.248	-0.252	-0.257	-0.261	-0.265	-0.27	-0.274	-0.279
7	-0.239	-0.243	-0.248	-0.252	-0.256	-0.26	-0.265	-0.269	-0.274	-0.278	-0.283
8	-0.218	-0.222	-0.226	-0.229	-0.233	-0.237	-0.241	-0.245	-0.25	-0.254	-0.258
9	-0.219	-0.222	-0.226	-0.23	-0.234	-0.238	-0.242	-0.246	-0.25	-0.255	-0.259
10	0.719	0.724	0.73	0.735	0.741	0.746	0.752	0.757	0.763	0.768	0.774
11	1.453	1.465	1.476	1.487	1.499	1.51	1.522	1.533	1.544	1.556	1.567
12	1.454	1.465	1.476	1.488	1.499	1.51	1.522	1.533	1.544	1.556	1.567
13	2.48	2.5	2.521	2.542	2.563	2.583	2.604	2.625	2.646	2.667	2.689
14	2.422	2.442	2.463	2.483	2.504	2.524	2.545	2.566	2.587	2.608	2.629
15	2.443	2.464	2.485	2.507	2.528	2.549	2.57	2.592	2.614	2.635	2.657
16	0.949	0.956	0.964	0.972	0.979	0.987	0.994	1.002	1.01	1.017	1.025
17	0.949	0.957	0.964	0.972	0.98	0.987	0.995	1.002	1.01	1.018	1.025
18	0.48	0.484	0.488	0.492	0.496	0.5	0.503	0.507	0.511	0.515	0.519
19	0.48	0.484	0.488	0.492	0.496	0.5	0.503	0.507	0.511	0.515	0.519
20	7.971	7.97	7.97	7.969	7.969	7.968	7.968	7.968	7.967	7.967	7.966
21	7.886	7.884	7.882	7.88	7.878	7.877	7.875	7.873	7.871	7.869	7.867
22	7.885	7.883	7.881	7.879	7.877	7.876	7.874	7.872	7.87	7.868	7.866
23	7.178	7.173	7.167	7.162	7.156	7.15	7.145	7.139	7.133	7.127	7.121
24	6.189	6.184	6.178	6.173	6.168	6.162	6.157	6.151	6.145	6.14	6.134
25	6.135	6.128	6.122	6.116	6.109	6.103	6.096	6.089	6.082	6.075	6.068
26	10.764	10.76	10.756	10.752	10.748	10.743	10.739	10.735	10.73	10.726	10.721
27	10.761	10.757	10.752	10.748	10.744	10.74	10.735	10.731	10.726	10.722	10.717
28	9.782	9.778	9.774	9.771	9.767	9.763	9.759	9.755	9.75	9.746	9.742
29	9.781	9.778	9.774	9.77	9.766	9.762	9.758	9.754	9.75	9.745	9.741

$H =$

	0	1	2	3	4	5	6
0	0	-2.892·10 ⁻³	-6.705·10 ⁻³	-7.625·10 ⁻³	-8.729·10 ⁻³	-0.012	-0.061
1	0	-2.937·10 ⁻³	-6.809·10 ⁻³	-7.743·10 ⁻³	-8.866·10 ⁻³	-0.012	-0.062
2	0	-2.982·10 ⁻³	-6.914·10 ⁻³	-7.863·10 ⁻³	-9.004·10 ⁻³	-0.012	-0.063
3	0	-3.027·10 ⁻³	-7.02·10 ⁻³	-7.983·10 ⁻³	-9.143·10 ⁻³	-0.013	-0.064
4	0	-3.072·10 ⁻³	-7.126·10 ⁻³	-8.104·10 ⁻³	-9.283·10 ⁻³	-0.013	-0.065
5	0	-3.118·10 ⁻³	-7.234·10 ⁻³	-8.227·10 ⁻³	-9.424·10 ⁻³	-0.013	-0.066
6	0	-3.165·10 ⁻³	-7.342·10 ⁻³	-8.35·10 ⁻³	-9.566·10 ⁻³	-0.013	-0.067
7	0	-3.211·10 ⁻³	-7.451·10 ⁻³	-8.474·10 ⁻³	-9.71·10 ⁻³	-0.013	-0.068
8	0	-3.258·10 ⁻³	-7.561·10 ⁻³	-8.6·10 ⁻³	-9.854·10 ⁻³	-0.014	-0.07
9	0	-3.305·10 ⁻³	-7.672·10 ⁻³	-8.726·10 ⁻³	-0.01	-0.014	-0.071

Mu =

	0	1	2	3
0	1.087	1.123	0.982	1.022
1	1.086	1.122	0.983	1.023
2	1.085	1.122	0.983	1.024
3	1.084	1.121	0.983	1.025
4	1.082	1.12	0.984	1.026
5	1.081	1.12	0.984	1.027
6	1.08	1.119	0.984	1.028
7	1.078	1.118	0.985	1.029
8	1.077	1.118	0.985	1.03
9	1.076	1.117	0.985	1.031
10	1.074	1.116	0.985	1.031
11	1.073	1.116	0.985	1.032
12	1.072	1.115	0.985	1.033
13	1.07	1.114	0.985	1.034
14	1.069	1.114	0.985	1.034
15	1.067	1.113	0.985	1.035

A =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0.655	469.881	-0.207	0.207	1.087	1.123	-0.254	0.254
1	0	0.66	473.442	-0.211	0.211	1.086	1.122	-0.257	0.257
2	0	0.665	477.001	-0.214	0.214	1.085	1.122	-0.261	0.261
3	0	0.67	480.56	-0.218	0.218	1.084	1.121	-0.265	0.265
4	0	0.675	484.119	-0.222	0.222	1.082	1.12	-0.268	0.268
5	0	0.68	487.677	-0.225	0.225	1.081	1.12	-0.272	0.272
6	0	0.685	491.234	-0.229	0.229	1.08	1.119	-0.276	0.276
7	0	0.69	494.791	-0.233	0.233	1.078	1.118	-0.28	0.28
8	0	0.695	498.347	-0.237	0.237	1.077	1.118	-0.284	0.284
9	0	0.7	501.902	-0.241	0.241	1.076	1.117	-0.288	0.288
10	0	0.705	505.457	-0.245	0.245	1.074	1.116	-0.292	0.292
11	0	0.71	509.011	-0.249	0.249	1.073	1.116	-0.296	0.296
12	0	0.715	512.564	-0.253	0.253	1.072	1.115	-0.3	0.3
13	0	0.72	516.117	-0.258	0.258	1.07	1.114	-0.304	0.304
14	0	0.725	519.669	-0.262	0.262	1.069	1.114	-0.308	0.308
15	0	0.73	523.221	-0.266	0.266	1.067	1.113	-0.312	0.312

$$D^T = \begin{bmatrix} 0 & 1.155 & -0.068 & 0 & -6 \\ 150 & 1.268 & -0.091 & -9.08 \cdot 10^{-3} & -8 \\ 240 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 150 & 240 & 250 & 260 & 280 & 300 & 380 & 520 \\ 1.155 & 1.268 & 2.63 & 2.631 & 5.044 & 5.122 & 6.083 & 1.875 & 1.878 \\ -0.068 & -0.091 & -0.374 & -0.377 & -1.325 & -1.38 & -2.188 & -1.467 & -1.482 \\ 0 & -9.08 \cdot 10^{-3} & -0.021 & -0.024 & -0.029 & -0.043 & -0.303 & -1.288 & -1.302 \\ -6 & -8 & -8 & -8 & -7.5 & -6.5 & -6.5 & -11 & -11 \end{bmatrix}$$

Resultaat naar spreadsheet schrijven:



Werkblad



Werkblad

D^T

A

$$\text{Alain}^{<2>} := \text{Mu}^{<2>}$$

$$\text{Alain}_{i,0} := v0_i$$

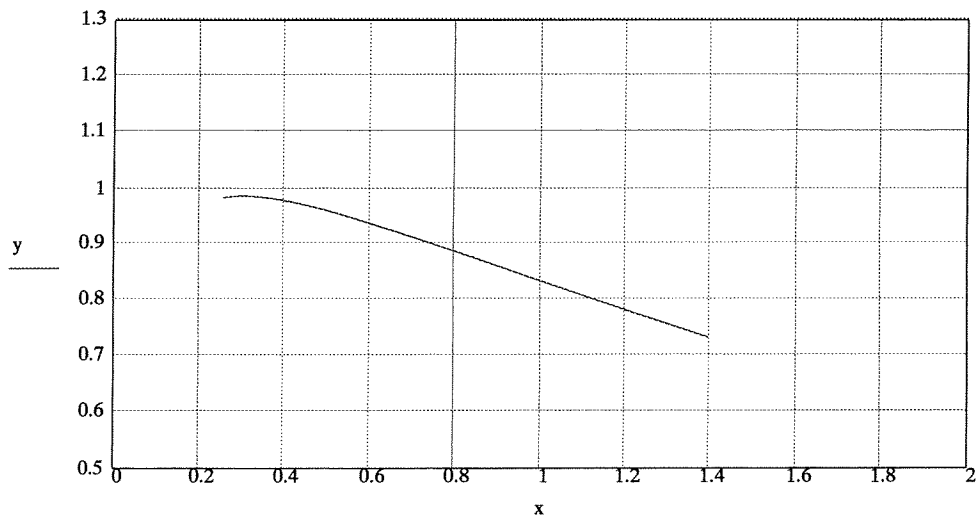
$$\text{Alain}_{i,1} := A_{i,8}$$

$$x := \text{Alain}^{<1>}$$

$$y := \text{Alain}^{<2>}$$

Alain =

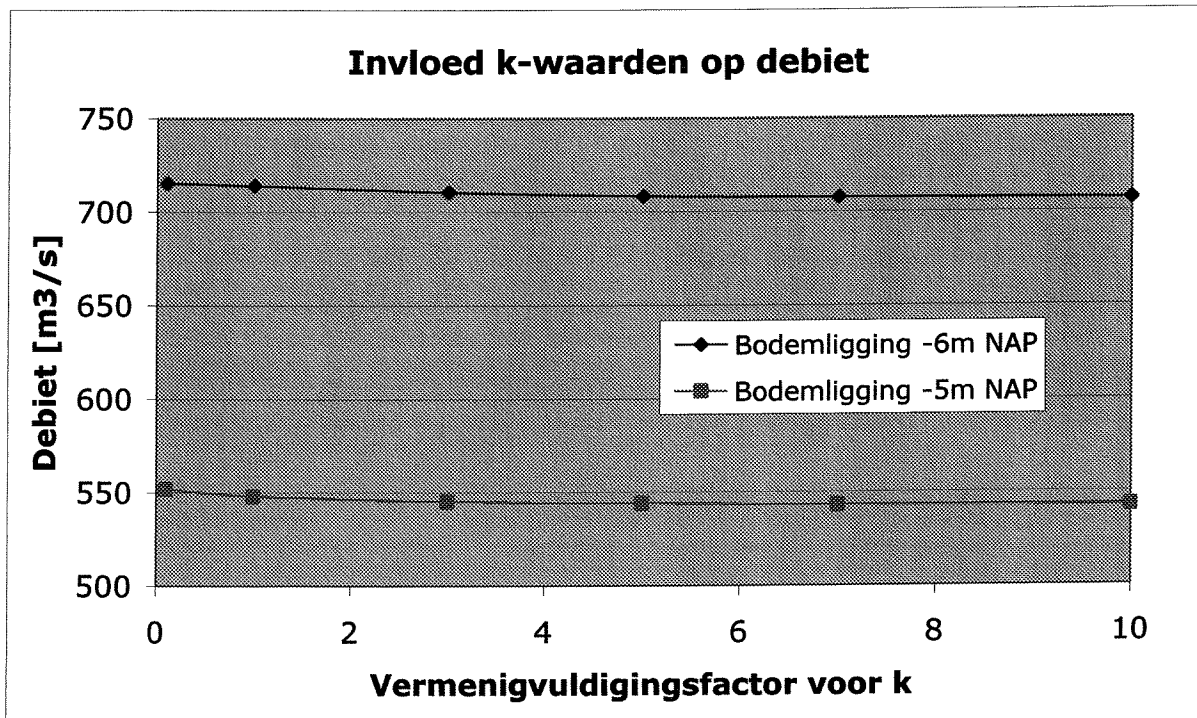
	0	1	2
0	0.655	0.254	0.982
1	0.66	0.257	0.983
2	0.665	0.261	0.983
3	0.67	0.265	0.983
4	0.675	0.268	0.984
5	0.68	0.272	0.984
6	0.685	0.276	0.984
7	0.69	0.28	0.985
8	0.695	0.284	0.985
9	0.7	0.288	0.985
10	0.705	0.292	0.985
11	0.71	0.296	0.985
12	0.715	0.3	0.985
13	0.72	0.304	0.985
14	0.725	0.308	0.985
15	0.73	0.312	0.985



2. Invloed aantal pijlers op netto spuubreedte

Invloed aantal pijlers op netto spuibreedte : Invloed n op NB

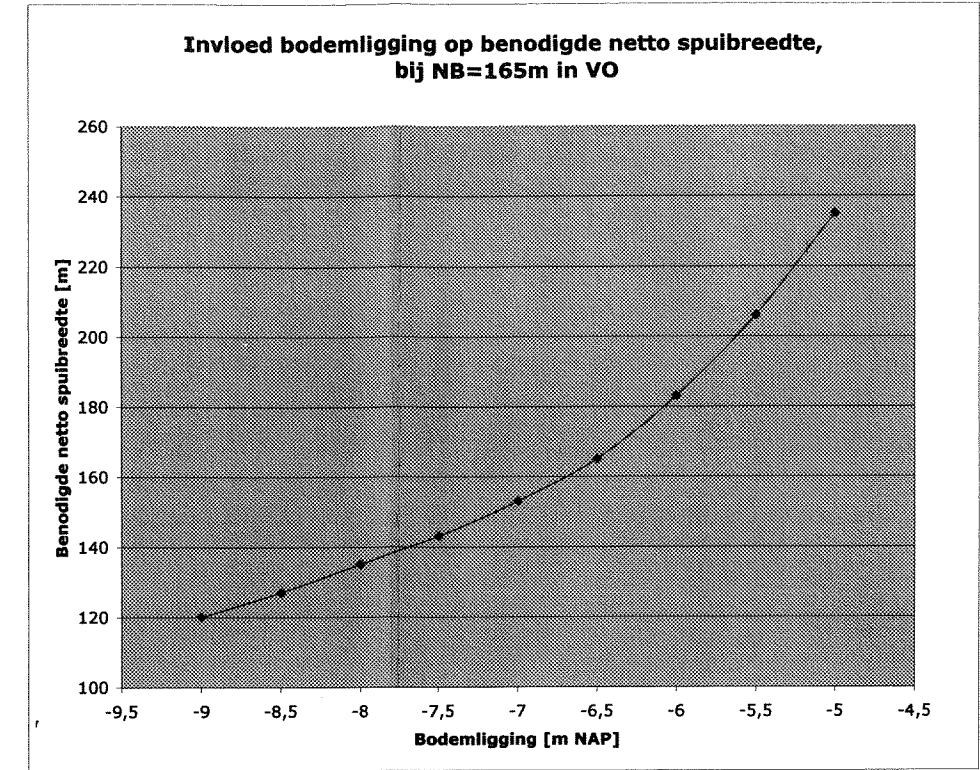
Vermenigv. Factor k-waarden	Q bij -6m NAP [m3/s]	relatief verschil [%]	Q bij -5m NAP [m3/s]	relatief verschil [%]
0,1	715,3	0,2	551,6	0,6
1	713,9	0,0	548,1	0,0
3	710,4	-0,5	545,2	-0,5
5	708,3	-0,8	544,2	-0,7
7	707,6	-0,9	543,1	-0,9
10	706,9	-1,0	542,7	-1,0



3. Invloed bodemligging op netto spuibreedte

Involed bodemligging op netto spuibreedte: **Involed N2 op NB**
 Bij NB=165

Bodemligging N2	Spuiconditie		nr	VO	Q per strekkende meter vlg. model MathC	snelheid t.p.v schuif volgens model MathC	grens-snelheid t.p.v. schuif	Test stromend of schietend water	Afvoer bij stromend cq. Schiet. water	Q gemiddeld	NB	Totaal debiet (NB*Qgem)	Debiet bij spuiconditie	Minimale eis per spuiconditie	Voldaan aan eis per spuiconditie	Benodigde NB voor eisen per spuiconditie	Uitkomst NB afhank. van N2
	H0	H10															
[m NAP]	[m NAP]	[m NAP]	[-]	[m/s]	[m3/s/m]	[m/s]	[m/s]		[m3/s/m]	[m3/s/m]	[m]	[m3/s]	[m3/s]	[m3/s]		[m]	[m]
-5	-0,4	-0,8	1	0,59	10,80	3,13	5,48	stromend	10,80	15,01	235	3530	2539,47	2050	OK	235	
	-0,4	-1,0	2	0,66	12,17	3,79	5,48	stromend	12,17				2862,67	2510	OK		
	0	-1,0	3	0,77	15,10	5,00	5,72	stromend	15,10				3551,41	3140	OK		
	0,4	-0,6	4	0,80	16,88	5,06	5,94	stromend	16,88				3970,81	3420	OK		
	1,0	-0,5	5	0,87	20,09	6,03	6,26	stromend	20,09				4725,64	4220	OK		
-5,5	-0,4	-0,8	6	0,67	12,35	3,20	5,77	stromend	12,35	17,10	206	3530	2550,51	2050	OK	206	
	-0,4	-1,0	7	0,77	14,00	3,96	5,77	stromend	14,00				2890,57	2510	OK		
	0	-1,0	8	0,88	17,34	5,09	6,00	stromend	17,34				3580,17	3140	OK		
	0,4	-0,6	9	0,91	19,13	5,11	6,21	stromend	19,13				3948,93	3420	OK		
	1,0	-0,5	10	0,99	22,67	5,86	6,52	stromend	22,67				4679,83	4220	OK		
-6	-0,4	-0,8	11	0,76	14,00	3,28	6,05	stromend	14,00	19,32	183	3530	2556,87	2050	OK	183	
	-0,4	-1,0	12	0,87	16,00	4,01	6,05	stromend	16,00				2922,27	2510	OK		
	0	-1,0	13	1,00	19,67	5,21	6,26	stromend	19,67				3592,96	3140	OK		
	0,4	-0,6	14	1,03	21,61	5,31	6,47	stromend	21,61				3947,76	3420	OK		
	1,0	-0,5	15	1,11	25,34	5,93	6,77	stromend	25,34				4630,14	4220	OK		
-6,5	-0,4	-0,8	16	0,85	15,63	3,34	6,32	stromend	15,63	21,44	165	3530	2573,64	2050	OK	165	
	-0,4	-1,0	17	0,97	17,80	4,03	6,32	stromend	17,80				2930,58	2510	OK		
	0	-1,0	18	1,12	21,98	5,30	6,52	stromend	21,98				3618,44	3140	OK		
	0,4	-0,6	19	1,14	23,87	5,32	6,72	stromend	23,87				3929,78	3420	OK		
	1,0	-0,5	20	1,23	27,93	6,16	7,00	stromend	27,93				4597,55	4220	OK		
-7	-0,4	-0,8	21	0,94	17,26	3,39	6,57	stromend	17,26	23,14	153	3530	2633,47	2050	OK	153	
	-0,4	-1,0	22	1,08	19,78	4,11	6,57	stromend	19,78				3017,77	2510	OK		
	0	-1,0	23	1,24	24,35	5,32	6,77	stromend	24,35				3714,81	3140	OK		
	0,4	-0,6	24	1,26	25,90	5,39	6,96	stromend	25,90				3951,28	3420	OK		
	1,0	-0,5	25	1,30	28,40	6,05	7,23	stromend	28,40				4332,67	4220	OK		
-7,5	-0,4	-0,8	26	1,04	19,06	3,47	6,81	stromend	19,06	25,12	141	3530	2678,71	2050	OK	143	
	-0,4	-1,0	27	1,20	21,84	4,19	6,81	stromend	21,84				3068,23	2510	OK		
	0	-1,0	28	1,33	26,09	4,93	7,00	stromend	26,09				3665,44	3140	OK		
	0,4	-0,6	29	1,36	29,05	5,12	7,19	stromend	29,05				4081,52	3420	OK		
	1,0	-0,5	30	-	-	-	7,45	schietend	29,58				4156,10	4220	NIET OK		
-8	-0,4	-0,8	31	1,13	20,68	3,49	7,05	stromend	20,68	26,21	135	3530	2784,86	2050	OK	135	
	-0,4	-1,0	32	1,28	23,80	4,10	7,05	stromend	23,80				3205,64	2510	OK		
	0	-1,0	33	-	-	-	7,23	schietend	26,62				3585,47	3140	OK		
	0,4	-0,6	34	-	-	-	7,41	schietend	28,64				3857,71	3420	OK		
	1,0	-0,5	35	-	-	-	7,67	schietend	31,30				4216,33	4220	NIET OK		
-8,5	-0,4	-0,8	36	1,23	22,37	3,53	7,28	stromend	22,37	28,11	126	3530	2809,09	2050	OK	127	
	-0,4	-1,0	37	-	-	-	7,28	schietend	26,33				3307,23	2510	OK		
	0	-1,0	38	-	-	-	7,45	schietend	28,31				3555,21	3140	OK		
	0,4	-0,6	39	-	-	-	7,63	schietend	30,33				3809,10	3420	OK		
	1,0	-0,5	40	-	-	-	7,88	schietend	33,20				4169,36	4220	NIET OK		
-9	-0,4	-0,8	41	1,31	23,99	3,54	7,50	stromend	23,99	29,77	119	3530	2844,56	2050	OK	120	
	-0,4	-1,0	42	-	-	-	7,50	schietend	27,95				3314,27	2510	OK		
	0	-1,0	43	-	-	-	7,67	schietend	29,92				3548,17	3140	OK		
	0,4	-0,6	44	-	-	-	7,84	schietend	31,94				3787,33	3420	OK		
	1,0	-0,5	45	-	-	-	8,09	schietend	35,05				4155,67	4220	NIET OK		



Benaderingsformule:
 $y = 0,0233x^4 + 2,2352x^3 + 46,185x^2 + 372,49x + 1207,8$

***4. Invloed bodemligging op spuiwenster
Invloed spuiwenster op netto spuibreedte***

$\rho_y := 1000$

$\rho_w := 1020$

$N_2 := 500, 520.. 900$

$v_{zak_water} := 0.004$ $v_{dalen_schuif} := 0.027$

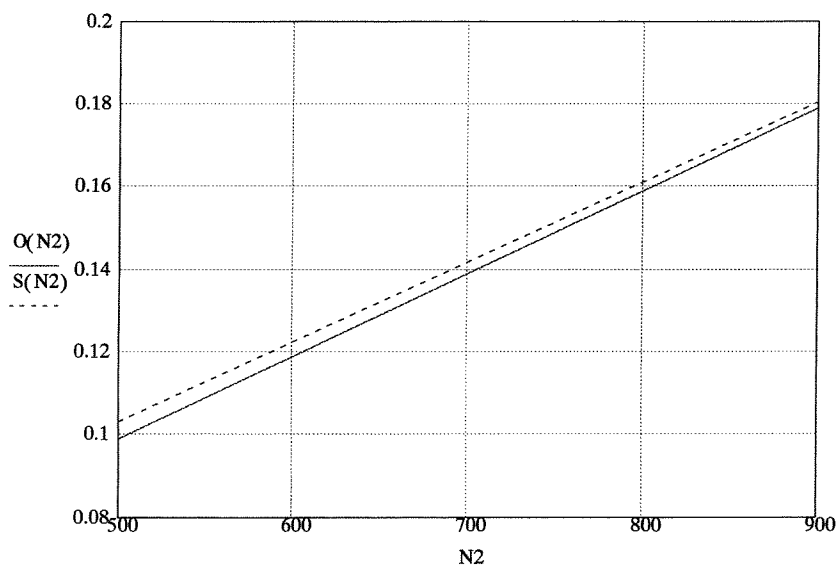
$v_{stijg_water} := 0.007$ $v_{stijgen_schuif} := 0.018$

$$\text{Verval_bij_openen}(N_2) := \frac{\rho_w - \rho_y}{\rho_y} \cdot \left[-0.05 - \left(\frac{-N_2}{100} \right) \right]$$

$$\text{Verval_bij_sluiten}(N_2) := \frac{3}{4} \cdot \left[\frac{\rho_w - \rho_y}{\rho_y} \cdot \left[-0.05 - \left(\frac{-N_2}{100} \right) \right] \right] + 0.007 \cdot \frac{\left[1.7 - \left(\frac{-N_2}{100} \right) \right]}{0.027 \cdot 60}$$

$O(N_2) := \text{Verval_bij_openen}(N_2)$

$S(N_2) := \text{Verval_bij_sluiten}(N_2)$



TO1(N2) = Tijd (vanaf T(Δh=0)) dat er gewacht moet worden met openen ivm dichtheidsverschil
 TS1(N2) = Tijd (vanaf T(Δh=0)) dat er eerder gesloten moet worden ivm dichtheidsverschil
 TO2(N2) = Tijd (vanaf TO1) dat benodigd is om de schuif uit het water omhoog te hijsen
 TS2(N2) = Tijd (voor TS1) dat benodigd is om de schuif tot op de bodem te laten zakken

$$TO1(N2) := \frac{O(N2)}{v_zak_water}$$

$$TO2(N2) := \frac{-0.05 - \left(\frac{-N2}{100}\right)}{v_stijgen_schuif \cdot 60}$$

$$TS1(N2) := \frac{S(N2)}{v_stijg_water}$$

$$TS2(N2) := \frac{-0.05 - \left(\frac{-N2}{100}\right)}{v_dalen_schuif \cdot 60}$$

$$Tijd1(N2) := TO1(N2) + TS1(N2)$$

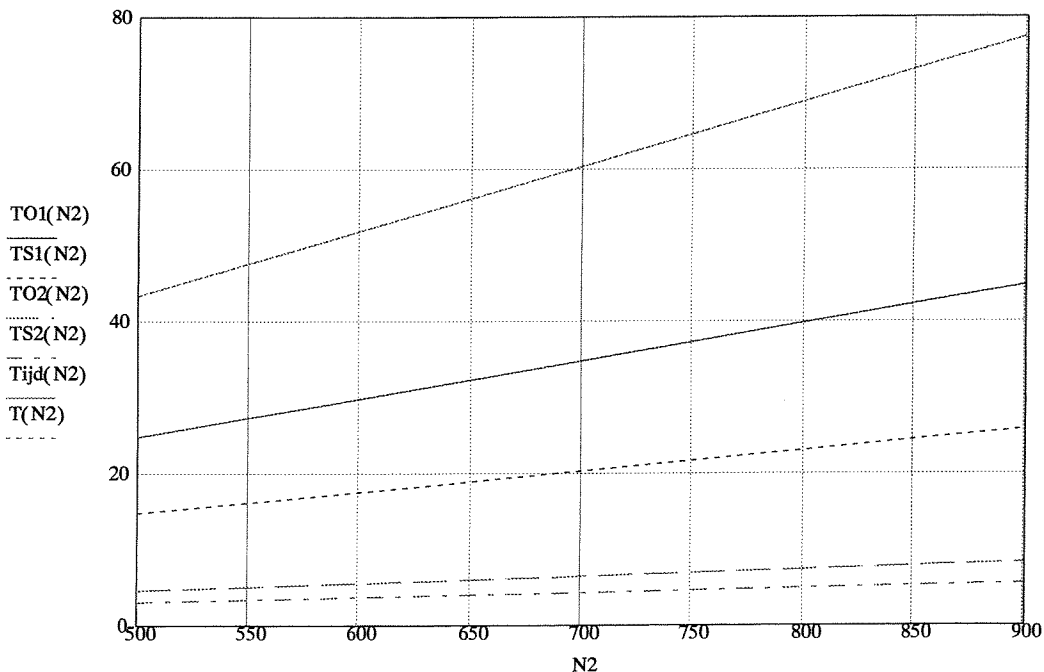
$$Tijd2(N2) := TO2(N2) + TS2(N2)$$

$$Tijd(N2) := Tijd1(N2) + \frac{Tijd2(N2)}{2} \quad \text{(Gedeeld door twee omdat de schuif gemiddeld half open is tijdens openen en sluiten)}$$

$$T(N2) := -8.5318 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right) + 0.6537 \quad \text{(Benadering)}$$

$$\text{gemiddelde_duur_spuicyclus} := \frac{3.10 + 3.10 + 3.8 + 4.3}{4} \quad \text{(Zie grafieken twee pagina's verder)}$$

$$D2002 := \text{gemiddelde_duur_spuicyclus} \quad D2050 := 0.5 \cdot \text{gemiddelde_duur_spuicyclus}$$



$$\text{Percentage_tijd_niet_spuien_2050}(N2) := \frac{T(N2)}{D2050}$$

$$P2050(N2) := \text{Percentage_tijd_niet_spuien_2050}(N2)$$

Beperking in spuibolumes in procenten = BSV%

$$\text{BSV}\%2050(N2) := \frac{P2050(N2)}{3} \quad \text{Vuistregel afgeleid uit Hydraulische Aspecten Nieuwe Spuisluis Afsluitdijk.}$$

Aanname $Q = \mu A \cdot U$, dus ook $\Delta Q = \mu \cdot \Delta A \cdot U$
dus compensatie van de beperking in het spuibolume door dichtheidsverschillen en bewegingstijd van de schuiven is $\Delta Q(\%) = \Delta A(\%)$
(vergelijk: $y = 8 \cdot x$ met 1) $32 = 8 \cdot 4$
en 2) $64 = 8 \cdot 8$
hiervoor geldt $\Delta x(\%) = (8-4)/4 \cdot 100 = 100 \%$
 $\Delta y(\%) = (64-32)/32 \cdot 100 = 100 \%$

$$\text{DeltaQ}\%(N2) := \text{BSV}\%2050(N2)$$

$$\text{DeltaA}\%(N2) := \text{DeltaQ}\%(N2)$$

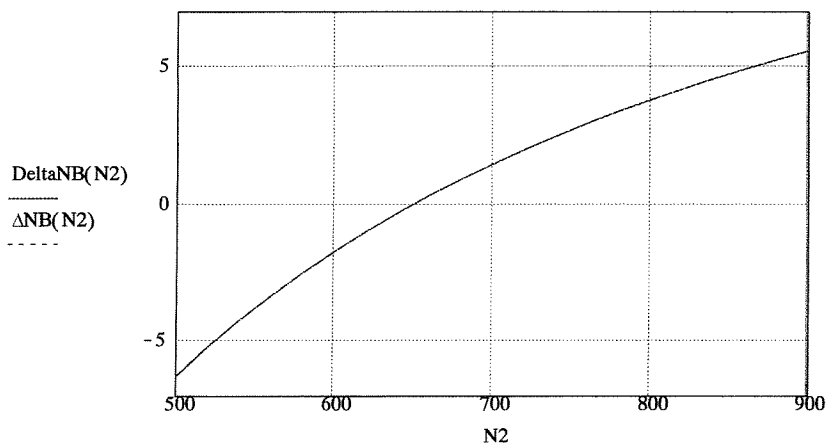
$$\text{DeltaA}(N2) := \frac{\text{DeltaA}\%(N2)}{100} \cdot (6.1 \cdot 165)$$

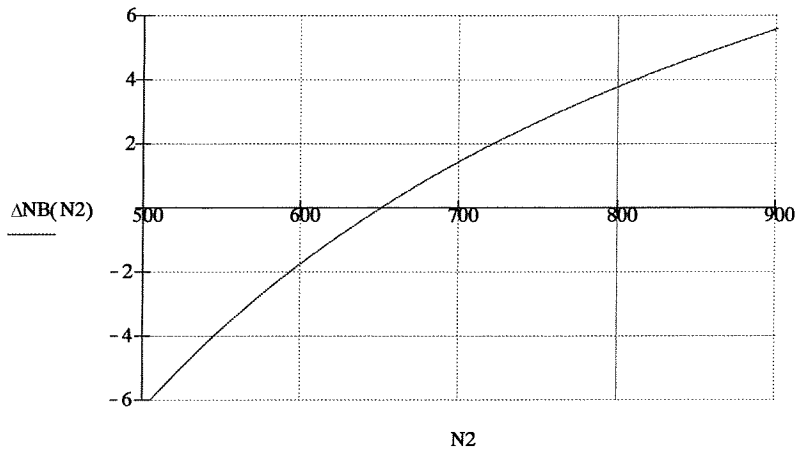
$$\text{DeltaA}(650) = 105.315$$

$$\text{DeltaAreal}(N2) := 1.2 \cdot (\text{DeltaA}(N2) - \text{DeltaA}(650)) \quad \text{(Calibreren voor } N2 = -6,5\text{m NAP (VO) en extra veiligheidsfactor van 1,2)}$$

$$\text{DeltaNB}(N2) := \frac{\text{DeltaAreal}(N2)}{\left[-0.4 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right]}$$

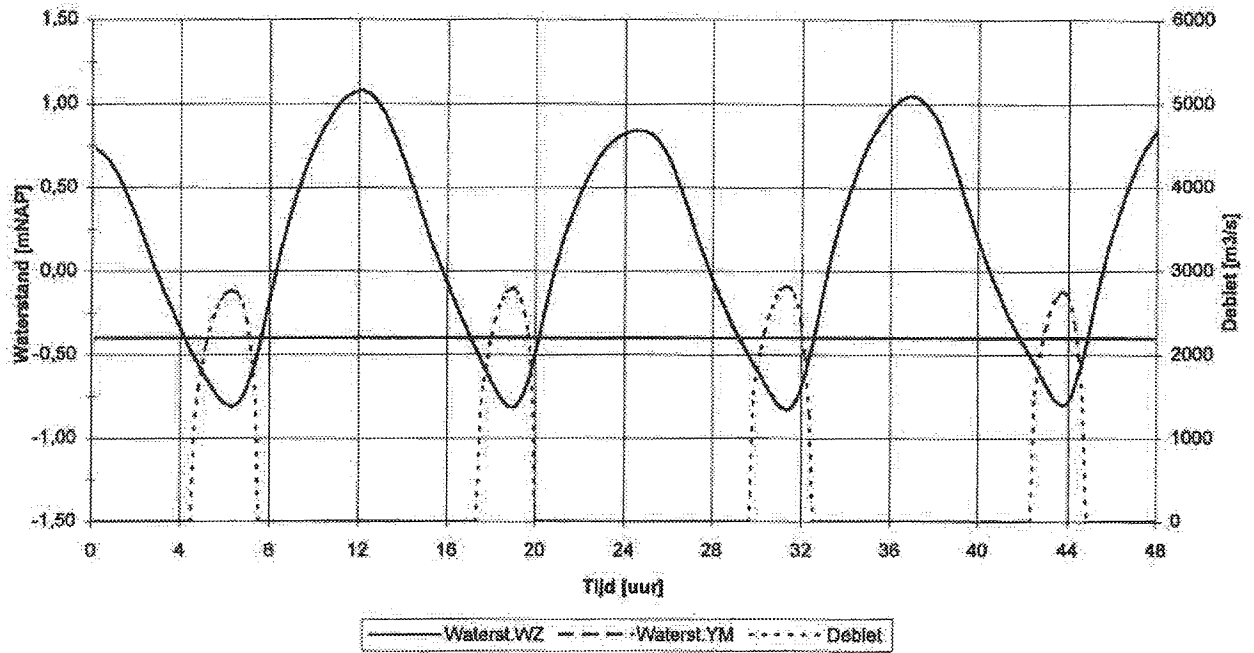
$$\Delta\text{NB}(N2) := \frac{-19.2 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) - 124.8}{-0.4 - \left(\frac{-N2}{100} \right)} \quad \text{(Benaderingsformule)}$$



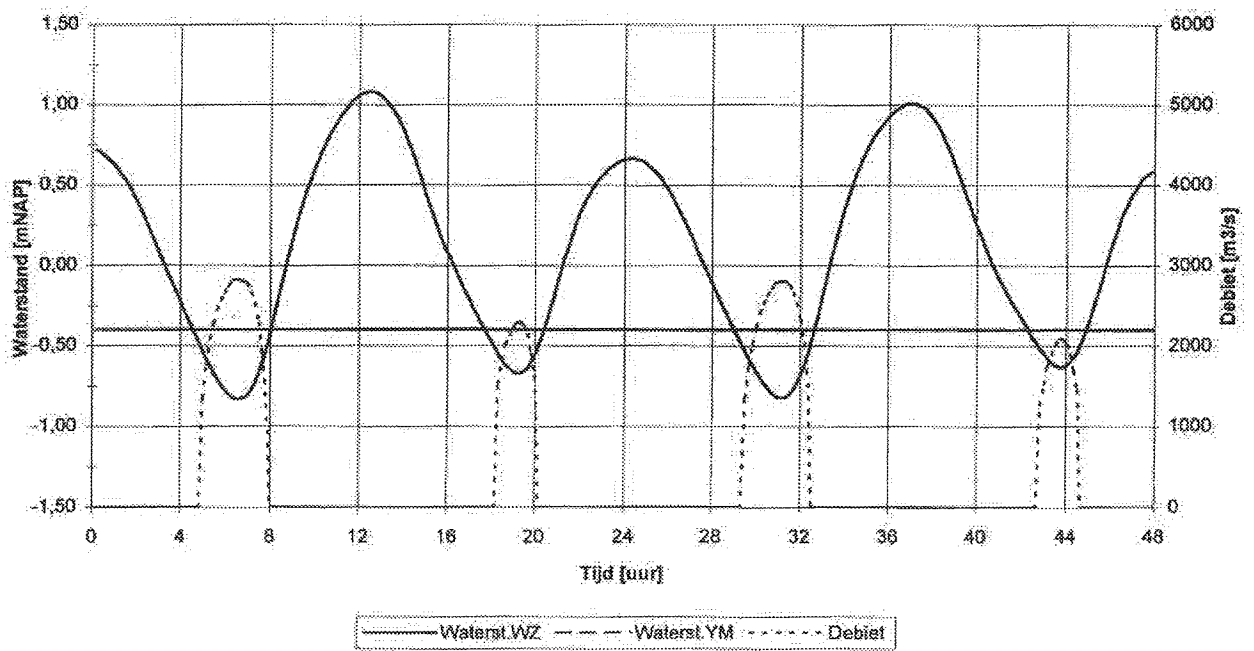


5. Voorbeeld spuicyclus

Waterstand en debiet als functie van tijd
 Getij Kornwerderzand 12/14-12-2001, nieuwe spuisluis met 5 kokers open



Waterstand en debiet als functie van tijd
 Getij Kornwerderzand 19/21-12-2001, nieuwe spuisluis met 5 open kokers

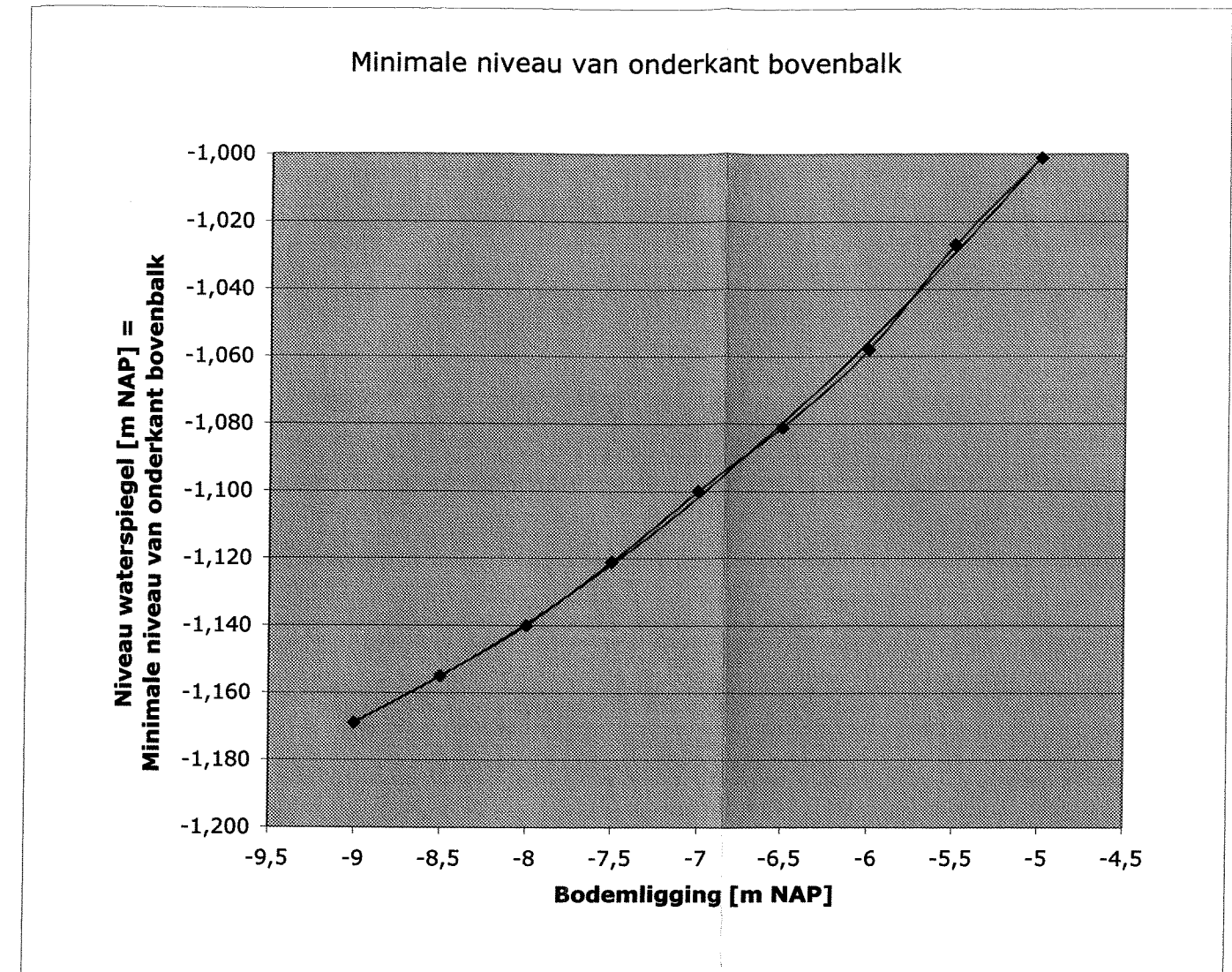


6. Invloed bodemligging op niveau onderkant bovenbalk

Berekening minimaal niveau onderkant bovenbalk

Bodem ligging N2	Spuiconditie		Energie niveau t.p.v. schuif	snelheid t.p.v. schuif volgens model MathC	grens- snelheid t.p.v. schuif	Hoogte waterspiegel t.p.v. schuif	Maatgevende stand waterspiegel
	H0	H10					
[m NAP]	[m NAP]	[m NAP]	[m NAP]	[m/s]	[m/s]	[m NAP]	[m NAP]
-5	-0,4	-0,8	-0,50	3,13	5,48	-1,00	-1,00
	-0,4	-1,0	-0,55	3,79	5,48	-1,28	
	0	-1,0	-0,23	5,00	5,72	-1,50	
	0,4	-0,6	0,17	5,06	5,94	-1,14	
	1,0	-0,5	0,71	6,03	6,26	-1,14	
-5,5	-0,4	-0,8	-0,51	3,20	5,77	-1,03	-1,03
	-0,4	-1,0	-0,56	3,96	5,77	-1,36	
	0	-1,0	-0,24	5,09	6,00	-1,56	
	0,4	-0,6	0,16	5,11	6,21	-1,17	
	1,0	-0,5	0,70	5,86	6,52	-1,05	
-6	-0,4	-0,8	-0,51	3,28	6,05	-1,06	-1,06
	-0,4	-1,0	-0,56	4,01	6,05	-1,38	
	0	-1,0	-0,24	5,21	6,26	-1,62	
	0,4	-0,6	0,15	5,31	6,47	-1,29	
	1,0	-0,5	0,68	5,93	6,77	-1,11	
-6,5	-0,4	-0,8	-0,51	3,34	6,32	-1,08	-1,08
	-0,4	-1,0	-0,56	4,03	6,32	-1,39	
	0	-1,0	-0,25	5,30	6,52	-1,68	
	0,4	-0,6	0,15	5,32	6,72	-1,30	
	1,0	-0,5	0,66	6,16	7,00	-1,27	
-7	-0,4	-0,8	-0,51	3,39	6,57	-1,10	-1,10
	-0,4	-1,0	-0,57	4,11	6,57	-1,43	
	0	-1,0	-0,26	5,32	6,77	-1,70	
	0,4	-0,6	0,14	5,39	6,96	-1,34	
	1,0	-0,5	0,64	6,05	7,23	-1,23	
-7,5	-0,4	-0,8	-0,51	3,47	6,81	-1,12	-1,121
	-0,4	-1,0	-0,57	4,19	6,81	-1,47	
	0	-1,0	-0,23	4,93	7,00	-1,47	
	0,4	-0,6	0,16	5,12	7,19	-1,17	
	1,0	-0,5	0,62	-	7,45	-2,21	
-8	-0,4	-0,8	-0,52	3,49	7,05	-1,14	-1,140
	-0,4	-1,0	-0,58	4,10	7,05	-1,43	
	0	-1,0	-0,22	-	7,23	-2,89	
	0,4	-0,6	0,17	-	7,41	-2,63	
	1,0	-0,5	0,60	-	7,67	-2,40	
-8,5	-0,4	-0,8	-0,52	3,53	7,28	-1,15	-1,15
	-0,4	-1,0	-0,58	-	7,28	-3,28	
	0	-1,0	-0,23	-	7,45	-3,06	
	0,4	-0,6	0,18	-	7,63	-2,79	
	1,0	-0,5	0,58	-	7,88	-2,58	
-9	-0,4	-0,8	-0,53	3,54	7,50	-1,17	-1,17
	-0,4	-1,0	-0,59	-	7,50	-3,46	
	0	-1,0	-0,22	-	7,67	-3,22	
	0,4	-0,6	0,19	-	7,84	-2,94	
	1,0	-0,5	0,56	-	8,09	-2,77	

ge-extrapeleerd uit grafiek



Trendlijn: $y = 0,0043x^2 + 0,1015x - 0,5994$

***7. Afleiding formules
Invloed hoofdvariabelen op hoofdonderdelen***

Algemene variabelen:

n :Aantal schuiven

$N2$:Bodemligging

$N1$:Niveau onderkant bovenbalk

Constructieve Waterbouwkunde

Bovenbalk

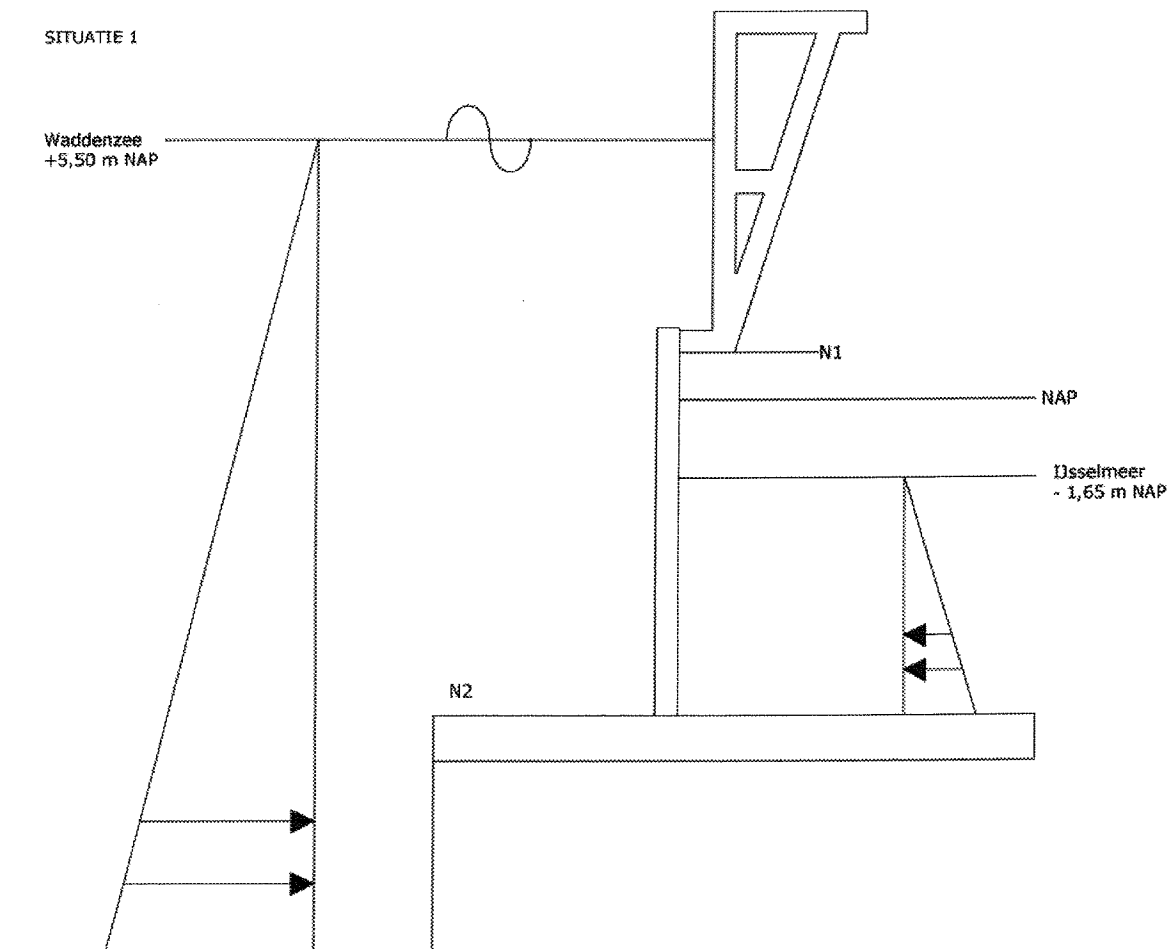
$x1$: Vaste kosten bovenbalk

Aantal maal vaste kosten bovenbalk is gelijk aan aantal schuiven:

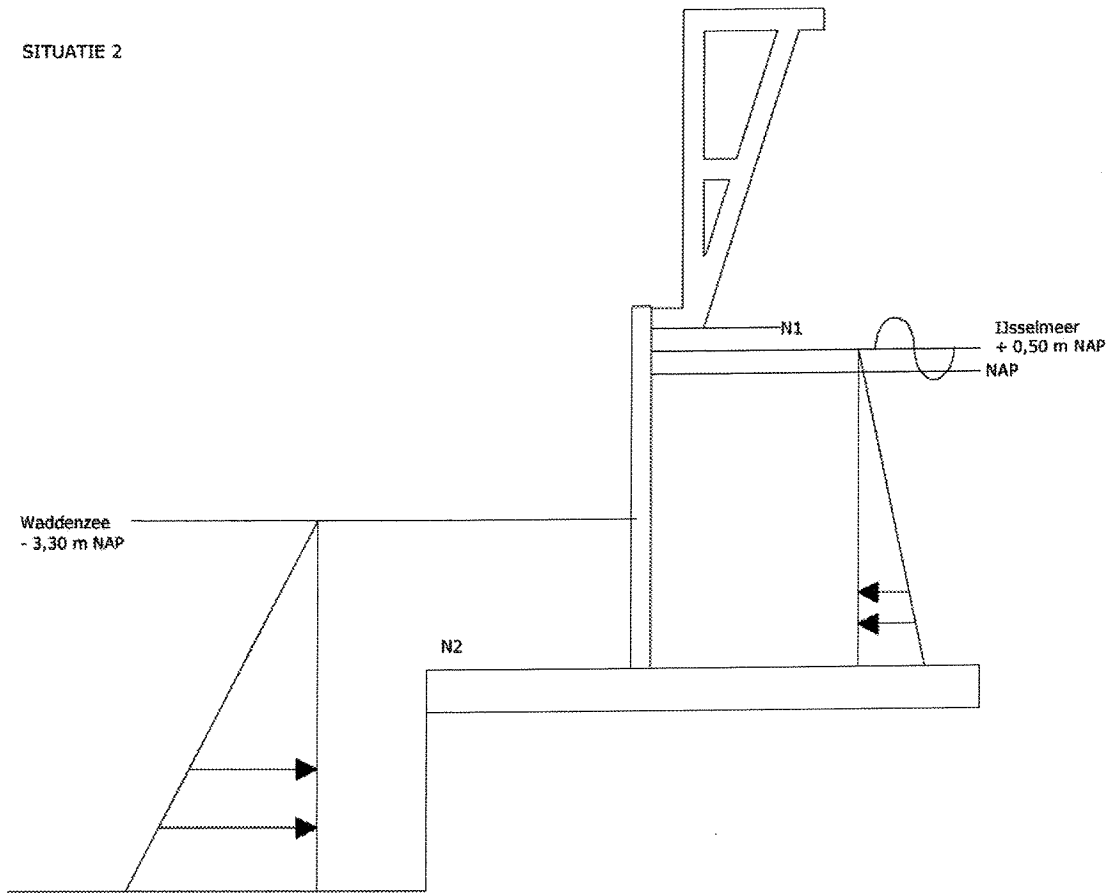
$$x1 = n$$

$$x1 = n$$

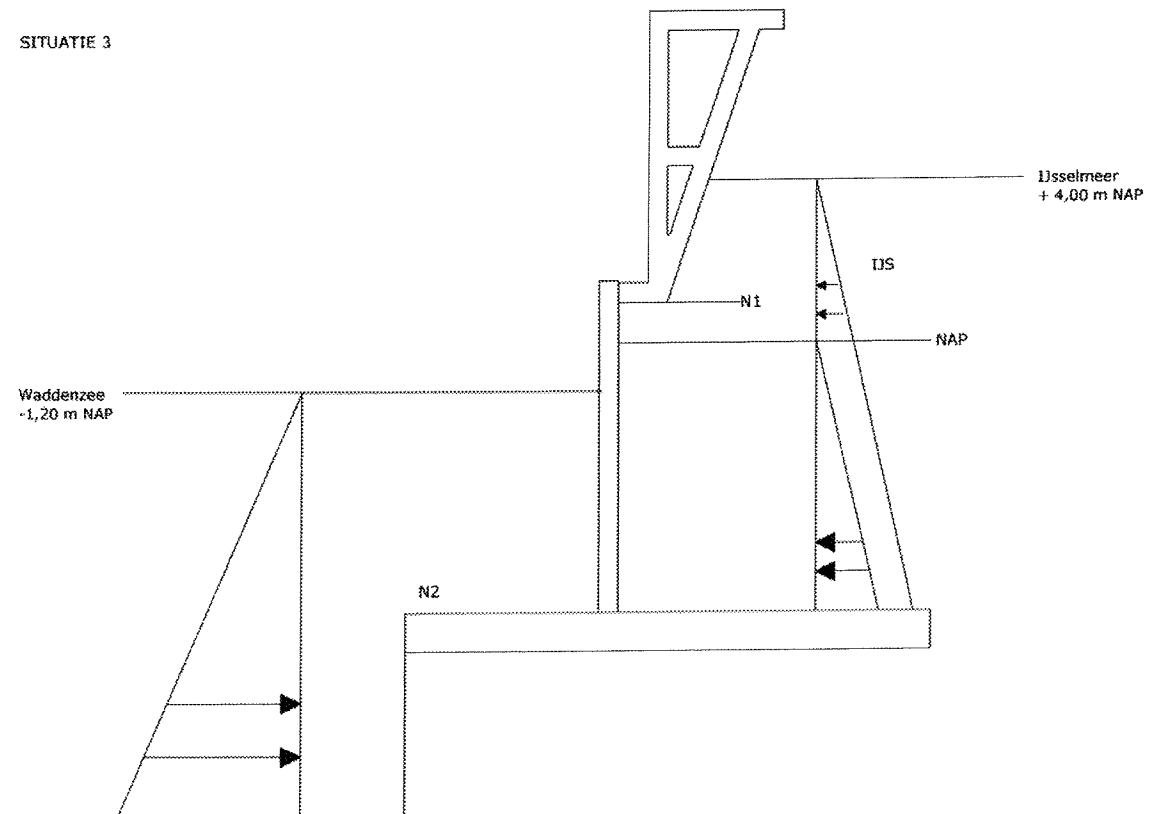
$x2$: Materiaalgebruik bovenbalk : Voorspanstaal



SITUATIE 2



SITUATIE 3



- Methode: 1. Bepalen maatgevend belastinggeval
 2. Berekenen Mhor en Mvert
 3. Bepalen van totale vereiste voorspankracht
 4. Bepalen van aantal voorspankabels
 5. Bepalen gewicht van voorspankabels

ad 1. *Vervalbelasting*

$$\begin{aligned} \text{horizontaal: } f_{\text{balk,verval,hor}} &= 0,5 \cdot 10 \cdot (5,5 - (N1 + 0,5)) \cdot (5,5 - (N1 + 0,5)) \\ &= 5 \cdot (5 - N1)^2 \\ A &= 5 \cdot N1^2 - 50N1 + 125 \\ \text{verticaal: } f_{\text{balk,verval,vert}} &= (5,5 - (N1 + 0,5)) \cdot 10 \\ B &= 50 - 10 \cdot N1 \end{aligned}$$

Golfbelasting

$$\begin{aligned} \text{horizontaal: } f_{\text{balk,golf,hor}} &= \\ &= 0,5 \cdot 5,95 \cdot 23,9 + 0,5 \cdot (23,9 + (23,9 - 1,188 \cdot (5,5 - (N1 + 0,5)))) \cdot (5 - N1) \\ &= 70,98 + (11,95 + (11,95 - 0,594 \cdot (5 - N1))) \cdot (5 - N1) \\ &= 70,98 + (11,95 + (11,95 - 2,97 + 0,594 \cdot N1)) \cdot (5 - N1) \\ &= 70,98 + (11,95 + (8,98 + 0,594 \cdot N1)) \cdot (5 - N1) \\ &= 70,98 + (20,93 + 0,594 \cdot N1) \cdot (5 - N1) \\ &= 70,98 + 104,65 - 0,594 \cdot N1^2 + 2,97 \cdot N1 - 20,93 \cdot N1 \\ C &= -0,594 \cdot N1^2 - 17,96 \cdot N1 + 175,63 \\ \text{verticaal: } f_{\text{balk,golf,vert}} &= 23,9 - 1,188 \cdot (5,5 - (N1 + 0,5)) \\ &= 23,9 - 5,94 + 1,188 \cdot N1 \\ D &= 17,96 + 1,188 \cdot N1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ad 2. } M_{\text{max,hor}} &= 0,125 \cdot q_h \cdot b^2 + 0,25 \cdot F_b \\ &= 0,125 \cdot 1,25 \cdot (A + C) \cdot b^2 + 0 \\ &= \\ &= 0,125 \cdot 1,25 \cdot (8 + 5 \cdot N1^2 - 50N1 + 125 - 0,594 \cdot N1^2 - 17,96 \cdot N1 + 175,63) \cdot b^2 \\ &= 0,125 \cdot 1,25 \cdot (4,406 \cdot N1^2 - 67,96 \cdot N1 + 308,63) \cdot b^2 \\ E &= 0,125 \cdot (5,5075 \cdot N1^2 - 84,95 \cdot N1 + 385,79) \cdot b^2 \\ \\ M_{\text{max,ver}} &= 0,125 \cdot q_v \cdot b^2 + 0,25 \cdot F_b \\ &= 0,125 \cdot (1,15 \cdot 240 + 1,25 \cdot (12 + C + D)) \cdot b^2 + 0 \\ &= 0,125 \cdot (276 + 99,95 - 11,015 \cdot N1) \cdot b^2 \\ F &= 0,125 \cdot (375,95 - 11,015 \cdot N1) \cdot b^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ad 3. Vertikaal } \sigma_{lo} &:= \frac{-F_{pw,v}}{A_b} - \frac{F_{pw,v} \cdot e_{po}}{W_{bo}} + \frac{M_{rep}}{W_{bo}} \leq 0 \\ \sigma_{lo} &:= \frac{-0,8 \cdot F_{pi,v}}{10,37} - \frac{0,8 \cdot F_{pi,v} \cdot 0,5 \cdot (9 - N1)}{16,35} + \frac{M_{\text{maxvert}}}{16,36} \leq 0 \\ \sigma_{lo} &:= -0,297 \cdot F_{pi,v} + 0,0245 \cdot N1 \cdot F_{pi,v} + 0,061 \cdot M_{\text{maxvert}} \leq 0 \\ \sigma_{lo} &:= (0,297 - 0,0245 \cdot N1) \cdot F_{pi,v} \geq 0,061 \cdot M_{\text{maxvert}} \\ F_{pi,v} &\geq \frac{0,061}{0,297 - 0,0245 \cdot N1} \cdot M_{\text{maxvert}} \\ F_{pi,v} &\geq \frac{0,061}{0,297 - 0,0245 \cdot N1} \cdot (0,125 \cdot (375,95 - 11,015 \cdot N1)) \cdot b^2 \\ F_{pi,v} &\geq \frac{2,867 - 0,084 \cdot N1}{0,297 - 0,0245 \cdot N1} \cdot b^2 \quad \alpha_{pi,v} := \frac{2,867 - 0,084 \cdot N1}{0,297 - 0,0245 \cdot N1} \end{aligned}$$

$$\text{horizontaal } \sigma_{rb} := \frac{-F_{pw,h}}{A_b} - \frac{F_{pw,h} \cdot e_{po}}{W_{bb}} + \frac{M_{rep}}{W_{bb}} \leq 0$$

$$\sigma_{rb} := \frac{-0.8 \cdot F_{pi,h}}{10.37} - \frac{0.8 \cdot F_{pi,h} \cdot 1.5}{4.40} + \frac{M_{maxhor}}{4.40} \leq 0$$

$$\sigma_{rb} := -0.35 \cdot F_{pi,h} + 0.227 \cdot M_{maxhor} \leq 0$$

$$F_{pi,h} \geq 0.649 \cdot M_{maxhor}$$

$$F_{pi,h} \geq 0.649 \cdot 0.125 \cdot (5.5075 \cdot N1^2 - 84.95 \cdot N1 + 385.79) \cdot b^2$$

$$F_{pi,h} \geq (0.447 \cdot N1^2 - 7.212 \cdot N1 + 42.29) \cdot b^2$$

$$\text{totaal } F_{pi,tot} := F_{pi,v} + F_{pi,h}$$

$$F_{pi,tot} := (0.447 \cdot N1^2 - 7.212 \cdot N1 + 42.29 + \alpha_{pi,v}) \cdot b^2$$

$$\text{ad 4. Aantalkabels}_{5_22} := \frac{F_{pi,tot}}{(1450 \cdot 1000)} \cdot 10^6$$

$$\text{Aantalkabels}_{5_22} := 2.398 \cdot 10^{-4} \cdot F_{pi,tot}$$

$$\text{Aantalkabels}_{5_22} := 2.398 \cdot 10^{-4} \cdot [(0.447 \cdot N1^2 - 7.212 \cdot N1 + 42.29 + \alpha_{pi,v}) \cdot b^2]$$

$$\text{ad 5. Gewichtskabels} := 0.001 \cdot n \cdot \text{Aantalkabels}_{5_22} \cdot b \cdot 130.7 \cdot \frac{22}{10^6} \cdot 7950$$

$$\text{Gewichtskabels} := 0.02286 \cdot n \cdot b \cdot [2.398 \cdot 10^{-4} \cdot [(0.447 \cdot N1^2 - 7.212 \cdot N1 + 42.29 + \alpha_{pi,v}) \cdot b^2]]$$

$$\text{Gewichtskabels} := 5.4829 \cdot 10^{-6} \cdot NB \cdot b^2 \cdot (0.447 \cdot N1^2 - 7.212 \cdot N1 + 42.29 + \alpha_{pi,v})$$

$$x2 := 5.4829 \cdot 10^{-6} \cdot NB \cdot b^2 \cdot (0.447 \cdot N1^2 - 7.212 \cdot N1 + 42.29 + \alpha_{pi,v})$$

x3: Materiaalgebruik bovenbalk: Beton

Betondoorsnede bij VO (N1=+1,5 m NAP) : 10,37 m²

Bij variatie in N1: Oppervlakte = (9-N1-2*0,5)*0,5*(1+1,1)+R

Invullen VO, hieruit volgt R=3,55

Oppervlakte beton = (9-N1-2*0,5)*0,5*(1+1,1)+3,55

= (11,95-1,05*N1)

Volume beton = Oppervlakte beton * Netto spuubreedte

Volume beton = (11,95-1,05*N1)*NB

$$x3 := (11.95 - 1.05 \cdot N1) \cdot NB$$

x4: Materieelgebruik bovenbalk: Bekisting

Bekistingsoppervlak is repeterend inzetbaar, dus er wordt gerekend voor 1 bovenbalk (verloren bekisting wel voor hele constructie):

$$\begin{aligned} \text{Bekisting} &= \text{Omtrek bovenbalk} * b + \text{Verloren bekisting totale constructie} \\ &= (\text{Afhankelijk deel (tov N1)} + \text{Onafhankelijk deel}) * b + \text{Verloren bek.} \\ &= (2,1 * (9 - (N1 + 0,5)) + 19,66) * b + 500 \\ &= 39,61 * b - 2,1 * N1 * b + 500 \end{aligned}$$

$$x4 = 39,61 \cdot b - 2,1 \cdot N1 \cdot b + 500$$

x5: Materieelgebruik bovenbalk: Ondersteuningsconstructie

De ondersteuningsconstructie is volledig repeterend inzetbaar; daarom wordt er gerekend voor de lengte van 1 bovenbalk:
Ondersteuningsconstructie = b

$$x5 = b$$

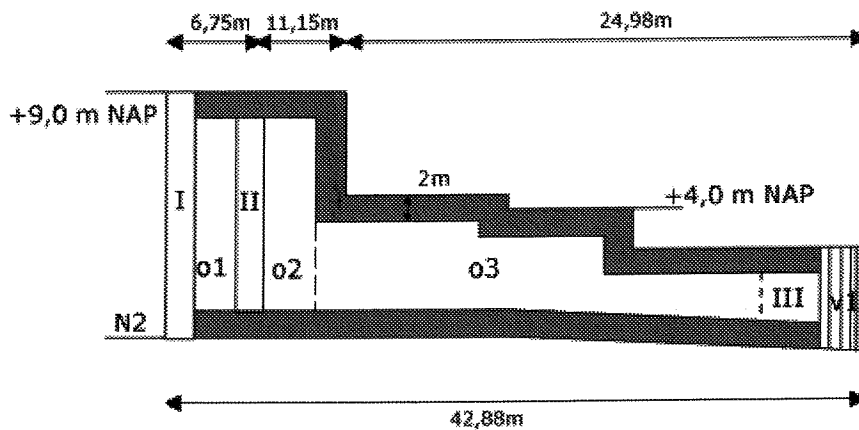
Pijlers

x6: Vaste kosten pijler

Aantal maal vaste kosten pijler is gelijk aan aantal schuiven + 1:
 $x6 = n + 1$

$$x6 = n + 1$$

x7: Materiaalgebruik pijler: Beton



4 verschillende delen voor betontelling:

1. Het gearceerde deel is onafhankelijk van de bodemligging van de spuisluis;
2. De delen met de romeinse cijfers (behalve v1) zijn wanden over de hele breedte van de pijler;
3. De delen genummerd met 'O' zijn holle ruimten in de pijler, maar de delen tellen wel mee als oppervlakte van de twee buitenwanden;
4. Deel v1 werkt ook over de hele breedte van de pijler, maar wordt door zijn afwijkende vorm toch apart berekend.

ad 1. Het gearceerde deel heeft een oppervlak van $162,35 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} \text{ad 2. I} & : (9 - (N2 - 1,5)) * 1,5 = 15,75 - 1,5 * N2 \\ \text{II} & : (9 - (N2 - 1,5) - 4) * 2 = 13 - 2 * N2 \\ \text{III} & : (9 - (N2 - 1,5) - 6,5 - 4) * 2,25 = -2,25 * N2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ad 3. O1} & : (9 - (N2 - 1,5) - 4,5) * 6 = 36 - 6 * N2 \\ \text{O2} & : 1,5 * O1 = 54 - 9 * N2 \\ \text{O3} & : 13 * (9 - (N2 - 1,5) - 6,5 - 4) = -13 * N2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ad 4. Inhoud v1} & = 0,75 * \text{Bpijler} * 0,5 * \text{Bpijler} - (9 - (N2 - 1,5) - 6,5) \\ & = -0,375 * \text{Bpijler}^2 * N2 + 1,5 * \text{Bpijler}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A & = \text{opp}(I + II + III) + \text{gearceerde deel} + \text{verrekening voor schuine delen en oplegging weg} \\ A & = 28,75 - 5,75 * N2 + 162,35 + 21,75 - 40 - 30 + 15,65 = 158,5 - 5,75 * N2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B & = \text{opp}(O1 + O2 + O3) \\ B & = 90 - 28 * N2 \end{aligned}$$

$$C = A + B = 257,5 - 32,75 * N2$$

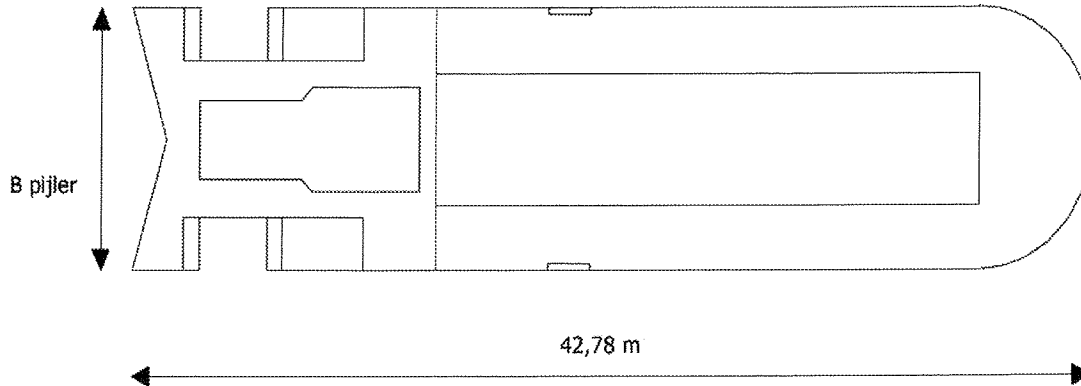
$$\begin{aligned} Z & = \text{Inhoud beton zijkanten pijler (onafhankelijk van pijlerbreedte)} \\ Z & = 2 * \text{wanden} * 2,5 * C = 5 * C = 1287,5 - 163,75 * N2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V & = \text{Inhoud beton 'binnenkant' pijler (afhankelijk van pijlerbreedte)} \\ V & = (\text{Bpijler} - 5) * A + \text{Inhoud v1} \\ V & = -0,375 * \text{Bpijler}^2 * N2 + 1,5 * \text{Bpijler}^2 + (\text{Bpijler} - 5) * (158,5 - 5,75 * N2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{beton, pijler}} & = 1,1 * (Z + V) \quad (1,1 \text{ is ijkning modellering aan VO}) \\ V_{\text{beton, pijler}} & = 1416 - 180,125 * N2 + (-0,4125 * N2 + 1,65) * \text{Bpijler}^2 + (174,35 - 6,325 * N2) * (\text{Bpijler} - 5) \end{aligned}$$

$$V_{\text{beton,totaal}} = V_{\text{beton,pijler}} * \text{aantal pijlers} = V_{\text{beton,pijler}} * (n+1)$$

$$x7 = (n + 7) (1416,25 - 180,125 N2) + (-0,4125 N2 + 1,65) B_{\text{pijler}}^2 + (174,35 - 6,325 N2) (B_{\text{pijler}} - 5)$$



$$\begin{aligned} \text{Inhoud pijler} &= 1,24 * C * B_{\text{pijler}} + 0,25 * \pi * 5 * B_{\text{pijler}} * (N2 - 4) \\ &= 319,3 * B_{\text{pijler}} - 40,61 * N2 * B_{\text{pijler}} + (15,71 - 3,93 * N2) * B_{\text{pijler}} \\ y4 &= 335 * B_{\text{pijler}} - 44,54 * N2 * B_{\text{pijler}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bodemoppervlak pijler} &= (42,78 - 0,75) * B_{\text{pijler}} - ((1 - 0,25 * \pi) * 5 * B_{\text{pijler}}) - 18 \\ y5 &= 40,957 * B_{\text{pijler}} - 18 \end{aligned}$$

x8: Materiaalgebruik pijler : Wapeningsstaal

Uitgegaan wordt van een wapeningspercentage van 2,5%
 Dan wordt de omvang van de wapening inclusief bijkomende wapening:

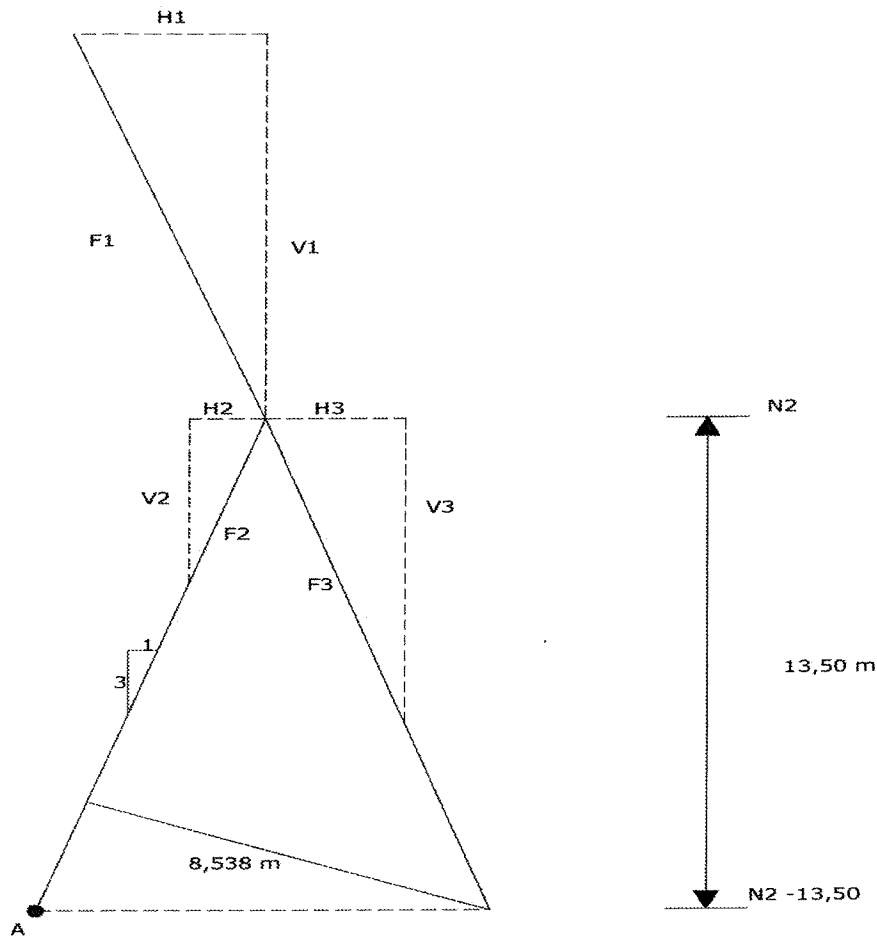
$$\begin{aligned} \text{Wapening,pijler} &= 0,025 * V_{\text{beton,pijler}} * 7,950 + 150 + 5 * (B_{\text{pijler}} - 5) \\ &= 0,2 * V_{\text{beton,pijler}} + 150 + 5 * (B_{\text{pijler}} - 5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wapening,totaal} &= \text{Wapening,pijler} * \text{aantal pijlers} = \text{Wapening,pijler} * (n+1) \\ &= 0,2 * x7 + (n+1) * (150 + 5 * (B_{\text{pijler}} - 5)) \end{aligned}$$

$$x8 := 0,2 * x7 + (n + 1) (150 + 5 (B_{\text{pijler}} - 5))$$

Fundering

x9: Aantal heipalen



De heijukken moeten voldoen aan 3 evenwichtsvoorwaarden:

$$\sum F_h = 0$$

$$\sum F_v = 0$$

$$\sum M = 0$$

Werkwijze voor bepaling aantal heijukken:

1. Bepalen F_1 door het gewicht van alle onderdelen en hun belastingen op te tellen
2. Met behulp van een opgesteld iteratie-model een beginhoeveelheid opgeven
3. Past deze hoeveelheid heipalen onder het pijleroppervlak ?
4. Wordt de maximale drukkracht in de heipalen niet overschreden ?
5. Wordt de maximale trekkracht in de heipalen niet overschreden ?
6. Wordt voldaan aan de drie evenwichtsvoorwaarden ?
7. Kan de combinatie van horizontale en verticale krachten worden opgenomen ?
8. Indien het aantal benodigde heipalen niet direct onder de pijler past:
Hoeveel heipalen zijn er dan onder de vloer nodig: Hier heerst een andere belastingconfiguratie (geen bovenbelasting leidt tot een vermindering in de maximaal opneembare horizontale kracht)

9. Optimaliseren naar zoveel mogelijk palen onder de pijlers

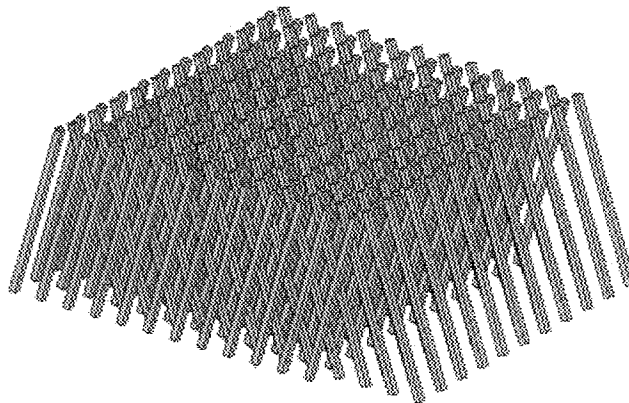
10. Na iteratie en optimalisatie in Excel volgt er na "curve-fitting" dat het aantal heijukken per pijler (dit is de breedte van de pijler incl. het bijbehorende naastliggende vloerdeel) benaderd kan worden met:

$$\#heijukken, pijler = 6 \cdot 10^{-5} b^4 - 0,003 b^3 + 0,083 b^2 + 1,565 b + 22,51$$

11. Het aantal heipalen in totaal is dan:

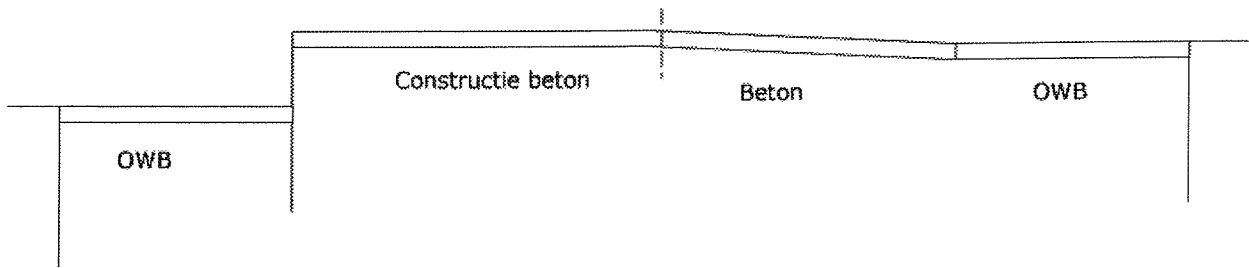
$$2[\text{palen/juk}] \cdot (\text{aantal pijlers} - 1) \cdot \#heijukken, pijler \\ = 2 \cdot n \cdot \#heijukken, pijler$$

12. Proefondervindelijk is vastgesteld dat vanaf schuifbreedtes van 55 meter een ander (zwaarder) type heipalen gebruikt moet worden, omdat er vanaf deze breedte problemen ontstaan met het opnemen van de krachten. Daarom geldt vanaf deze breedte een ander functievoorschrift voor het bepalen van het aantal heipalen. Alle functievoorschriften zijn bepaald door in Excel trendlijnen te tekenen langs de gevonden curves. Zie bijlage 8.



$$x_9 = \begin{cases} 2 \cdot n \cdot (6 \cdot 10^{-5} b^4 - 0,003 b^3 + 0,083 b^2 + 1,565 b + 22,51) & \text{if } b \leq 55 \\ 2 \cdot n \cdot (30(b - 55) + 400) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Vloerconstructies



x10: Materiaalgebruik spuisluisbodembodem

In de modellering is als volgt gerekend:

De vloeren lopen over de hele constructie door en de pijlers staan erop. Op die manier wordt het volume van de pijlers onderschat en het volume van de vloeren met dezelfde waarde overschat. Deze afwijking wordt voor de kostenberekening gecompenseerd door voor het verschilvolume de kosten in rekening te brengen met een eenheidsprijs die zo groot is als het verschil tussen de eenheidsprijzen van de pijlers en de vloeren.

Volume beton spuisluisbodembodem = $b * h * d$

b = Bruto breedte van de constructie

h = dikte vloer = 1,5 meter

d = diepte vloer = lengte constructie = 42,78 meter

Volume beton spuisluisbodembodem = $1,5 * 42,78 * \text{BrutoBreedte} = 64,17 * \text{BrBr}$

x10 = 64.17 BrBr

x11: Materiaalgebruik onderwaterbetonvloeren

De onderwaterbetonvloeren bevinden zich aan beide zijden van de constructie:

Aan de bovenstroomse zijde zorgt het onderwaterbeton voor de garantie van de stabiliteit van de spuisluis wanneer de bodembescherming wordt weggespoeld als gevolg van zeer hoge stroomsnelheden bij een weigerende (=niet-sluitende) schuif en stormsituatie op de Waddenzee. De onderwaterbetonvloer in het VO is gedimensioneerd met een dikte van 1 meter en een lengte van 30 meter. Aan de benedenstroomse zijde geldt hetzelfde, behalve dat hier gedimensioneerd moet worden op hoge stroomsnelheden als gevolg van spuien. Direct achter het schuivenhuis, ter plaatse van de bodemsprong van 4,5 meter is de aanval op de bodem en de turbulentie zo groot dat een onderwaterbetonvloer van 40 meter lengte de beste optie is.

Volume onderwaterbetonvloeren = $b * h * d$

b = Bruto breedte van de constructie

h = dikte vloer = 1,0 meter

d = diepte vloer = lengte constructie = 30 meter bovenstrooms + 40 meter benedenstrooms = 70 meter.

Volume beton spuisluisbodembodem = $1,0 * 70 * \text{BrutoBreedte} = 70 * \text{BrBr}$

x11 = 70 BrBr

Damwanden

x12: Oppervlakte damwanden

In de modellering zijn op vier plaatsen damwanden gerekend:

1. Damwand aan het begin van de onderwaterbetonvloer bovenstrooms;
van (N2-1)m NAP tot -18m NAP;
2. Damwand aan het einde van de onderwaterbetonvloer benedenstrooms;
van (N2-4,5)m NAP tot -18m NAP;
3. Damwanden bovenstrooms links en rechts van de constructie ter bescherming van het nieuwe deel van de Afsluitdijk en werkend tegen achterloopsheid;
van 3m NAP tot -15m NAP;
4. Damwanden benedenstrooms links en rechts van de constructie ter bescherming van het nieuwe deel van de Afsluitdijk en de leidammen en werkend tegen achterloopsheid;
van 3m NAP tot -15m NAP.

De oppervlakten zijn respectievelijk:

1. $1,15 \cdot \text{Bruto breedte} \cdot (\text{N2}-1--18) = 1,15 \cdot \text{BrBr} \cdot (\text{N2}+17)$
2. $1 \cdot \text{Bruto breedte} \cdot (\text{N2}-4,5--18) = 1 \cdot \text{BrBr} \cdot (\text{N2}+13,5)$
3. $2 \cdot 200 \cdot (3--15) = 400 \cdot 18 = 7200$
4. $2 \cdot 215 \cdot (3--15) = 430 \cdot 18 = 7740$

Het totaal van de oppervlakten als maat voor de kosten van de damwanden zijn:

$$\text{Opp} = 1,15 \cdot \text{BrBr} \cdot (\text{N2}+17) + 1 \cdot \text{BrBr} \cdot (\text{N2}+13,5) + 7200 + 7740$$

$$\text{Opp} = 2,15 \cdot \text{BrBr} \cdot \text{N2} + 33,05 \cdot \text{BrBr} + 14940$$

$$\text{x12} = 2,15 \cdot \text{BrBr} \cdot \text{N2} + 33,05 \cdot \text{BrBr} + 14940$$

Staal

Schuiven

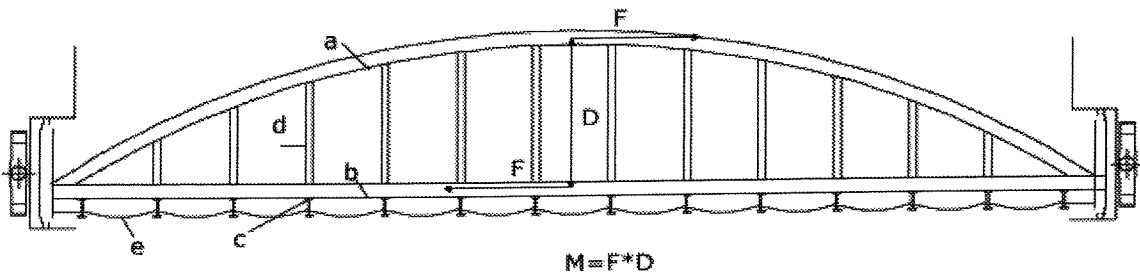
x13: Vaste kosten schuiven

Aantal maal vaste kosten schuiven is gelijk aan aantal schuiven:

$$x13 = n$$

$$x13 = n$$

x14: Materiaalgebruik schuiven



- Werkwijze:
1. Bepaal maatgevende situatie
 2. Bepaal moment
 3. Stel moment uitwendig = moment inwendig, met $M = F * D$
 4. Stel $F = f_y * A_{tot}$, $A_{tot} = 2 * A_{buis}$
 5. Stel $D = \beta * b$
 6. Bereken A_{tot} en A_{buis}
 7. Verdeel de constructie in verschillende typen materiaal
 8. Bereken volumes materiaal
 9. Tel volumes materialen bij elkaar
 10. Reken de volumes om naar gewichten

ad 1. Belastingssituaties als bij bovenbalk.

Vervalbelasting

$$\begin{aligned} f_{\text{schuif,verval,hor}} &= 0,5 * ((5,5 - (N1 + 0,5)) * 10 + (5,5 - N2) * 10) * (N1 + 0,5 - N2) - 0,5 * (-1,65 - N2)^2 * 10 / 1,02 \\ &= 0,5 * (55 - 10 * N1 - 5 + 55 - 10 * N2) * (N1 - N2 + 0,5) - 4,9 * (-1,65 - N2)^2 \\ &= (52,5 - 5 * N1 - 5 * N2) * (N1 - N2 + 0,5) - 4,9 * (-1,65 - N2)^2 \end{aligned}$$

Golfbelasting

$$\begin{aligned} f_{\text{schuif,golf,hor}} &= 0,5 * ((23,9 - 1,188 * (5,5 - (N1 + 0,5))) * 2 - 1,188 * (N1 + 0,5 - N2)) * (N1 + 0,5 - N2) \\ &= 0,5 * (2 * (23,9 - 6,534 + 1,188 * N1 + 0,594) - 1,188 * (N1 + N2) - 0,594 * (N1 + 0,5 - N2)) \\ &= (17,96 + 1,188 * N1 - 0,594 * N1 + 0,594 * N2 - 0,297) * (N1 + 0,5 - N2) \\ &= (17,663 + 0,594 * N1 + 0,594 * N2) * (N1 - N2 + 0,5) \end{aligned}$$

$$q = 1,25 * (f_{\text{schuif,verval,hor}} + f_{\text{schuif,golf,hor}})$$

ad 2.

$$M = 0,125 * q * b^2 + 0,25 * F * b + 1,25 * F \quad (F \text{ a.g.v. golfklappen})$$

$$M = 0,125 * 1,25 * ((52,5 - 5 * N1 - 5 * N2) * (N1 - N2 + 0,5) - 4,9 * (-1,65 - N2)^2 +$$

$$(17,663 + 0,594 * N1 + 0,594 * N2) * (N1 - N2 + 0,5)) * b^2 + 187,5 * b - 937,5$$

$$M = (-0,688 * N1^2 - 0,0761 * N2^2 + 10,619 * N1 - 13,829 * N2 + 3,402) * b^2 + 187,5 * b - 937,5$$

ad 3.

$$F * D = (-0,688 * N1^2 - 0,0761 * N2^2 + 10,619 * N1 - 13,829 * N2 + 3,402) * b^2 + 187,5 * b - 937,5$$

ad 4.

$$F = f_y \cdot A_{tot} = 2 \cdot f_y \cdot A_{buis}$$

Neem staal Fe355, dan $f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 355.000 \text{ kN/m}^2$

$$F = 2 \cdot 355.000 \cdot A_{buis} = 710.000 \cdot A_{buis}$$

ad 5.

$$D = \beta \cdot b$$

Uit VO en enige schetsen bij andere schuifbreedtes wordt voor β de waarde 0,125 (1/8) aangenomen. Dit is de verhouding tussen de constructiehoogte en de breedte van de schuif (zie figuur).

$$D = 0,125 \cdot b$$

ad 6.

$$F \cdot D = (-0,688 \cdot N_1^2 - 0,0761 \cdot N_2^2 + 10,619 \cdot N_1 - 13,829 \cdot N_2 + 3,402) \cdot b^2 + 187,5 \cdot b - 937,5$$

$$F \cdot D = 710.000 \cdot A_{buis} \cdot 0,125 \cdot b$$

Gelijk stellen en oplossen levert:

$$A_{buis} = 1,1737 \cdot 10^{-5} \cdot ((-0,688 \cdot N_1^2 - 0,0761 \cdot N_2^2 + 10,619 \cdot N_1 - 13,829 \cdot N_2 + 3,402) \cdot b + 187,5 - 937,5/b)$$

ad 7.

6 verschillende typen materiaal:

a Boogconstructie van 2 holle buizen boven elkaar

b Rechte overspannende constructie van 2 holle buizen boven elkaar (als a)

c IPE profielen verticaal hoh afstand 2,5m

d Rechte staalbuizen tussen delen a en b met doorsnede de helft van buizen a en b

e Plaatmateriaal als afdichting van de schuif

f Zijharren als overgang tussen schuif en geleiding

ad 8.

$$V_a = 1,3 \cdot b^2 \cdot A_{buis}$$

$$V_b = 2 \cdot b \cdot A_{buis}$$

$$V_c = (1 + b/2,5) \cdot (N_1 + 0,5 \cdot N_2) \cdot \text{opp IPE}$$

$$V_d = (1 + b/2,5) \cdot (0,125 \cdot b) \cdot 45/56,232 \cdot 0,5 \cdot A_{buis}$$

$$V_e = 0,03 \cdot (N_1 + 0,5 \cdot N_2) \cdot b$$

$$V_f = 5$$

ad 9.

$$\Sigma V = V_a + V_b + V_c + V_d + V_e + V_f$$

$$= (4,648 + 0,01921 \cdot b) \cdot b \cdot A_{buis} + (0,4 \cdot b + 1) \cdot (N_1 + 0,5 \cdot N_2) \cdot \text{opp IPE} + 0,03 \cdot (N_1 + 0,5 \cdot N_2) \cdot b + 5$$

$$\text{Opp IPE wordt in Excel (bijlage 8) benaderd met } (5 \cdot 10^{-6} \cdot b^2 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot b + 3 \cdot 10^{-4})$$

ad 10.

$$\text{Gewicht van 1 schuif} = \Sigma V \cdot 78,5/10 = G_1 \text{ schuif}$$

$$G_1 \text{ schuif} = 7,85 \cdot ((4,648 + 0,01921 \cdot b) \cdot 1,1737 \cdot 10^{-5} \cdot ((-0,688 \cdot N_1^2 - 0,0761 \cdot N_2^2 + 10,619 \cdot N_1 - 13,829 \cdot N_2 + 3,402) \cdot b^2 + 187,5 \cdot b - 937,5) + (0,4 \cdot b + 1) \cdot (N_1 + 0,5 \cdot N_2) \cdot (5 \cdot 10^{-6} \cdot b^2 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot b + 3 \cdot 10^{-4}) + 0,03 \cdot (N_1 + 0,5 \cdot N_2) + 5)$$

$$\text{Gewicht alle schuifmateriaal} = G_1 \text{ schuif} \cdot n$$

$$x_{14} = n \cdot (7,85 \cdot (x_{14a1}(N_2, n) + x_{14a2}(N_2, n) + x_{14a3}(N_2, n)))$$

$$x_{14a1} = (4,648 + 0,01921 \cdot b) \cdot 1,1737 \cdot 10^{-5} \cdot x_{14a1a}$$

$$x_{14a1a} = (-0,688 \cdot N_1^2 - 0,076 \cdot N_2^2 + 10,62 \cdot N_1 - 13,83 \cdot N_2 + 3,4) \cdot b^2 + 187,5 \cdot b - 937,5$$

$$x_{14a2} = (0,4 \cdot b + 1) \cdot (N_1 - N_2 + 0,5) \cdot (5 \cdot 10^{-6} \cdot b^2 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot b + 3 \cdot 10^{-4})$$

$$x_{14a3} = 0,03 \cdot (N_1 - N_2 + 0,5) \cdot b + 5$$

x15: Transportmaterieel: Hijskranen

Benodigde hijscapaciteit=1,25*G1schuif

Aanname: Inzet van 2 hijskranen

Bij inzet van 2 hijskranen mag voor beide kranen slechts 75% van de hijscapaciteit ingezet worden.

Het gevraagde hijsvermogen per kraan wordt dan:

$$1,25*G1schuif / (2 * 0,75) = 0,833 * G1schuif$$

Hierbij geldt een aanname van een maximum van 125 ton hijslast per kraan

De totale hijslast indien alle schuiven met de twee hijskranen worden ingehangen

$$\text{is: } 0,833*G1schuif*2*n = 1,67*Gschuif=1,67*x14$$

$$x15 = 1,67 \cdot x14$$

x16: Transportmaterieel: Bokken

Benodigde hijscapaciteit=1,25*G1schuif

Aanname: Inzet van 1 hijsbok

Het gevraagde hijsvermogen voor de bok wordt dan: 1,25*G1schuif

De totale hijslast indien alle schuiven met de bok worden ingehangen is:

$$1,25*G1schuif*n=1,25*Gschuif=1,25*x14$$

$$x16 = 1,25 \cdot x14$$

x17: Onderhoud schuiven

Onderhoud aan de schuiven wordt opgedeeld als volgt:

schuiven: 40% van nieuwwaarde iedere 25 jaar

conservering 40% van nieuwwaarde iedere 16 jaar

Nieuwwaarde schuiven en conservering = 100%

Uit vergelijking met VO: schuiven 76,9%

conservering 23,1%

Hieruit volgt voor het onderhoud in 100 jaar tijd:

$$0,769*0,4=0,3077 \quad 0,3077*4=1,2306$$

$$0,231*0,4=0,0924 \quad 0,0924*6=0,5544$$

$$1,2306+0,5544=1,785$$

1,785 maal de nieuwwaarde aan onderhoud in 100 jaar

is gemiddeld 1,8% per jaar. Rekening houdend met extra kosten voor

onvoorzienheden en extra inspecties van 1% is het totaal aan onderhoudskosten

3% van de nieuwwaarde van de schuiven per jaar

$$x17 = 0,03 \cdot \text{nieuwwaarde(schuiven)}$$

Geleiding en afdichtingen

x18: Omvang geleidingen en afdichtingen schuiven

Lengte geleiding en afdichting per schuif wordt benaderd als:

dubbele uitvoering (kant van IJsselmeer en kant van Waddenzee)

2*hoogte (2 zijkant)

2*breedte (1xonderkant en 1x bovenkant)

$$\text{dus: } L(\text{gel+afd}) = 2*(2*(N1+0,5-N2)+2*b) \\ = 4*(N1+0,5-N2+b)$$

De totale lengte voor alle schuiven wordt dan:

$$L(\text{gel+afd}) = 4*n*(N1+0,5-N2+b)$$

$$x18 = 4 \cdot n \cdot (N1 + 0,5 - N2 + b)$$

x19: Onderhoud aan geleidingen en afdichtingen

Onderhoud aan geleidingen en afdichtingen wordt opgedeeld als volgt:

geleidingen: 60% van nieuwwaarde iedere 25 jaar
afdichtingen: 60% van nieuwwaarde iedere 25 jaar

Nieuwwaarde geleidingen en afdichtingen = 100%

Uit vergelijking met VO: geleidingen 50%
afdichtingen 50%

Hieruit volgt voor het onderhoud in 100 jaar tijd:

$$0,5 \cdot 0,6 = 0,30 \quad 0,30 \cdot 4 = 1,20$$

$$0,5 \cdot 0,6 = 0,30 \quad 0,30 \cdot 4 = 1,20$$

$$1,20 + 1,20 = 2,40$$

2,40 maal de nieuwwaarde aan onderhoud in 100 jaar is gemiddeld 2,4% per jaar. Rekening houdend met extra kosten voor onvoorzienheden en extra inspecties is het totaal aan onderhoudskosten 3% van de nieuwwaarde van de geleidingen en afdichtingen per jaar

$$x_{19} = 0.03 \text{ nieuwwaarde}(\text{geleidingen} + \text{afdichtingen})$$

Bruggen

Verkeersweg

x20: Vaste kosten verkeersweg

Aantal maal vaste kosten verkeersweg is gelijk aan aantal schuiven:
 $x_{20} = n$

$$x_{20} = n$$

x21: Materiaalgebruik verkeersweg: Beton

Overspanning verkeersweg = schuifbreedte + breedte pijler
Constructiehoogte verkeersweg = $1/37$ * overspanning (vuistregel)
Volume beton per wegdeel (tussen 2 pijlers)
 $V = \text{Overspanning} * \text{constructiehoogte} * \text{breedte weg} * \text{correctiefactor voor verlopende doorsnede}$
(in het midden is de weg hoger)

$$V = (b + B_{\text{pijler}}) * 1/37 * (b + B_{\text{pijler}}) * 28,4 * 0,81$$

$$V = 0,62 * (b + B_{\text{pijler}})^2$$

Totaal volume is Volume per wegdeel maal het aantal wegdelen (n)

$$V_{\text{beton, verkeersweg}} = 0,62 * (b + B_{\text{pijler}})^2 * n$$

$$x_{21} = 0,62 * (b + B_{\text{pijler}})^2 * n$$

x22: Materieelgebruik verkeersweg: Ondersteuningsconstructie

De ondersteuningsconstructie is repeterend inzetbaar.
De lengte voor de ondersteuningsconstructie wordt afgestemd op de overspanning van de verkeersweg;
deze is gelijk aan de schuifbreedte vermeerderd met 4 meter aan beide kanten
Londersteuning = $b + 4$

$$x_{22} = b + 4$$

x23: Materieelgebruik verkeersweg: Bekisting

Ook de bekisting is repeterend inzetbaar en er is geen sprake van verloren bekisting
Bekistingsoppervlak voor de verkeersweg is groot:
1 keer de breedte maal de lengte (ondervlak)
2 keer de hoogte maal de lengte (zijvlakken)
De lengte aan de onderzijde is iets kleiner in verband met de reeds aanwezige oplegnok;
hier is geen bekisting nodig

$$Opp = (b + 4) * 28,4 + 2 * (b + 4) * 1/37 * (b + B_{\text{pijler}})$$

$$Opp = (b + 4) * (2/37 * (b + B_{\text{pijler}}) + 28,4)$$

$$x_{23} = (b + 4) * \left[\frac{2}{37} (b + B_{\text{pijler}}) + 28,4 \right]$$

x24: Afbouw wegen

De post afbouw wegen omvat de volgende onderdelen:

- Verwijderen wegdek Afsluitdijk
- Aanbrengen nieuw wegdek
- Aanbrengen vangrail en lichtmasten
- Aanbrengen leuning en geleidingen
- Aanbrengen markeringen

De omvang van de afbouw van de wegen wordt lineair afhankelijk verondersteld van de lengte van het kunstwerk : de bruto breedte (netto breedte + breedte pijlers)

$$x_{24} = BB$$

Onderhoudsweg

x25: Vaste kosten onderhoudsweg

Aantal maal vaste kosten onderhoudsweg is gelijk aan aantal schuiven:
 $x_{25} = n$

$$x_{25} = n$$

x26: Materiaalgebruik onderhoudsweg: Prefab betonelementen

Het materiaalgebruik voor de prefab betonelementen wordt berekend door het volume aan beton voor de prefab elementen te berekenen.

De aannames zijn :

- * Gebruik van kokerprofielen met een betondoorsnede van 40% van de hele doorsnede
- * 3 liggers van 1,5 m breedte naast elkaar
- * Overspanning van de schuifbreedte plus 2 meter aan iedere kant
- * Constructiehoogte = $1/30 \times$ de overspanning
- * Liggers zijn van het type SKK
- * Boven een constructiehoogte van 2,0 meter is dit type niet leverbaar
- * Dit laatste wordt gecompenseerd door een factor 1,5 bij de hoeveelheden te implementeren bij hoogtes boven de 2,0 meter.

Het volgende beeld ontstaat:

Constructiehoogte = $h = 1/30 * (b+4) = 1/30*b + 4/30$ voor $h < 2,0$ m
 $h = 1,5 * (1/30*b + 4/30)$ voor $h > 2,0$ m

Oppervlak betondoorsnede van 1 ligger = $1,5 * 0,4 * h$

Oppervlak betondoorsnede van 3 liggers = $4,5 * 0,4 * h = 1,8 * h$

Totale lengte = $(b+4) * n$

Totaal volume beton = $1,8 * (b+4) * n * h$

$$x_{26} = \begin{cases} 1,8 \cdot (b+4) \cdot n \cdot \left(\frac{1}{30}b + \frac{4}{30} \right) & \text{if } \frac{1}{30}b + \frac{4}{30} \leq 2,0 \\ 1,8 \cdot (b+4) \cdot n \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{1}{30}b + \frac{4}{30} \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

x27: Materieelgebruik onderhoudsweg: Hijskranen

Benodigde hijscapaciteit = $1,25 * \text{Gelement}$

Aanname: Inzet van 2 hijskranen

Bij inzet van 2 hijskranen mag voor beide kranen slechts 75% van de hijscapaciteit ingezet worden.

Het gevraagde hijsvermogen per kraan wordt dan:

$1,25 * \text{Gelement} / (2 * 0,75) = 0,833 * \text{Gelement}$

Hierbij geldt een aanname van een maximum van 125 ton hijslast per kraan

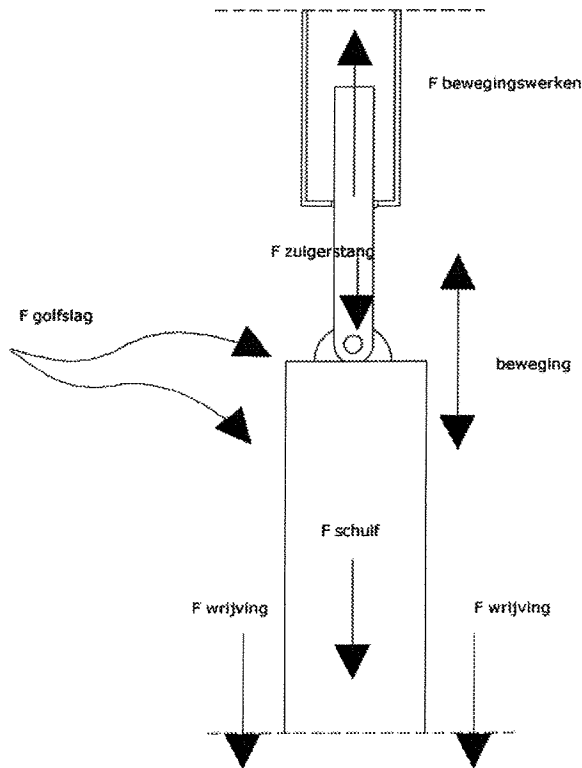
Het gewicht van alle elementen als maat voor de totale hijslast is
 $2 * 0,833 * 2,4 * x_{26}$ [ton]

$$x_{27} = 2 \cdot 0,833 \cdot 2,4 \cdot x_{26}$$

Installatietechniek

Bewegingswerken

x28: Capaciteit bewegingswerken



Hefvermogen wordt gelijk gesteld aan de som van:

1. Gewicht schuif
2. Gewicht zuigerstangen
3. Wrijvingskrachten schuiven
4. Golfkrachten

$$F_{\text{schuif}} := 10 \cdot G_{\text{schuif}}$$

1 ton = 10 kN
lineare afhankelijkheden tov VO:
105 kN bij $G_{\text{schuif}} = 175$ ton

$$F_{\text{zuigerstang}} := \frac{105}{1750} \cdot F_{\text{schuif}}$$

1320 kN bij $G_{\text{schuif}} = 175$ ton

$$F_{\text{wrijving}} := \frac{1320}{1750} \cdot F_{\text{schuif}}$$

470 kN bij $G_{\text{schuif}} = 175$ ton

$$F_{\text{golf}} := \frac{470}{1750} \cdot F_{\text{schuif}}$$

$$F_{\text{bewegingswerken}} := 2 \cdot (F_{\text{schuif}} + F_{\text{zuigerstang}} + F_{\text{wrijving}} + F_{\text{golf}})$$

$$F_{\text{bewegingswerken}} := 41.66 \cdot G_{\text{schuif}} \quad [\text{kN}]$$

$$P_{\text{bewegingswerken}} := 0.3586 \cdot G_{\text{schuif}} \quad [\text{kW}] \quad \text{Omrekening van kN naar kW als in VO:}$$

33,32 kW bij 3640 kN

$$x28 := 0.3586 \cdot G_{\text{schuif}}$$

x29: Onderhoud bewegingswerken

Parallel aan getallen voor het VO:
Onderhoudskosten bewegingswerken : 60% van nieuwwaarde iedere 25 jaar
Uit kostengegevens VO: 2.702.260 € voor 10 * 31,32 kW = 8627,9 € / kW
Bij x28 bleek Capaciteit bewegingswerken = 0,3586 * Gschuif, dus
de kosten van de bewegingswerken zijn:
0,3586 * Gschuif * 8627,9 = 3094 * Gschuif
Onderhoudskosten per 25 jaar:
60% * 3094 * Gschuif = 1856 * Gschuif
Totaal in 100 jaar : 4 * 1856 * Gschuif = 7424 * Gschuif
Gemiddeld per jaar : 74,24 * Gschuif

$$x29 = 74,24 \text{ Gschuif}$$

x30: Energieverbruik bewegingswerken

Energieverbruik = Energieverbruik per operaties * aantal operaties

$$\begin{aligned} \text{Energieverbruik per operatie} &= E \\ E &= \frac{2[\text{bewegingen}] * 10[\text{min/beweging}] * 60 [\text{s/min}] * \text{Cap,bew (x28)} [\text{kW}]}{3600 [\text{kJ/kWh}]} \\ E &= 0,333 * \text{Cap,bew} = 0,333 * x28 \end{aligned}$$

Aantal operaties = Aantal maal openen en sluiten van 100% van de spuurbreedte. Dit betekent dat bekeken wordt hoe vaak welk deel van de spuurbreedte ingezet wordt in 100 jaar tijd. Vervolgens is in een Excel-rekensheet een trendlijn gezocht bij deze functie. Zie bijlage 8.

Hieruit volgt de volgende vergelijking:
Aantal operaties = $0,1917 * b^2 - 8,4556 * b + 26720$

$$\begin{aligned} \text{Energieverbruik} &= E * \text{aantal operaties} = \\ &(0,333 * x28) * (0,1917 * b^2 - 8,4556 * b + 26720) \end{aligned}$$

$$x30 = (0,333 * x28) * (0,1917 * b^2 - 8,4556 * b + 26720)$$

Elektro-installatie

x31: Omvang elektro-installatie

Afleiding in samenwerking met dhr. G. Bruggink
Kosten Elektro-installatie bij VO, met schuifbreedte $b=33\text{m}$ en bodemligging op -6,5m NAP wordt op 100% gesteld
Onderverdeling naar:

1. Energievoorziening
2. Energiedistributie
3. Aansturing
4. Lokale bediening
5. Centrale bediening
6. Afstandsbediening
7. Ontwerp
8. Overige (veiligheid, communicatie, hydro-installatie, in bedrijfsstelling)

Voor deze acht onderdelen is de gevoeligheid voor variatie in de schuifbreedte onderzocht. De invloed van variatie in de bodemligging is niet meegenomen.

Na bewerking en optellen van de resultaten volgt een evenredigheidsfactor ten opzichte van de kosten bij het VO.

Deze factor is Omvang,E-install = $0,7 + 0,06 * n$

$$x31 = 0,7 + 0,06 * n$$

x32: Onderhoud elektro-installatie

Uit gegevens van dhr. G. Bruggink:

Onderhoud E-installatie = 10% van nieuwwaarde iedere 10 jaar
60% van nieuwwaarde iedere 25 jaar
30% van nieuwwaarde iedere 50 jaar

Nieuwwaarde = $x_{31} \cdot k_{31} = (0,7 + 0,06 \cdot n) \cdot k_{31}$

Onderhoud:

In 100 jaar is dit $0,1 \cdot 10 + 0,6 \cdot 4 + 0,3 \cdot 2 = 4 \cdot$ de nieuwwaarde

Totaal in 100 jaar: $4 \cdot (0,7 + 0,06 \cdot n) \cdot k_{31} = (2,8 + 0,24 \cdot n) \cdot k_{31}$

Gemiddeld per jaar: $(0,028 + 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot n) \cdot k_{31}$

$$x_{32} = (0,028 + 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot n) \cdot k_{31}$$

Waterbouw

Bodembescherming

x33: Vaste kosten bodembescherming

Aantal maal vaste kosten voor bodembescherming wordt op 1 gesteld

$$x33 = 1$$

x34: Materiaalgebruik bodembescherming



Teneinde de hoeveelheid materiaal voor de bodembescherming te kunnen inschatten als functie van de bodemligging zijn de maatgevende spuicondities in het stromingsmodel (bijlage 1) doorgerekend. De snelheden ter plaatse van de bodembescherming benedenstrooms zijn bij dit onderdeel de relevante resultaten. De bodembescherming bovenstrooms wordt niet variabel veronderstelt ten opzichte van de schuifbreedte of de bodemligging.

In de Excel sheet (bijlage 8) worden vervolgens de kosten van de bodembescherming benedenstrooms per meter bruto breedte als functie van de bodemligging afgeleid. De tussenstappen hierin zijn: omrekenen van snelheden naar 'korreldiameter' d_{50} m.b.v. de formule $d = C/\Delta \cdot v^2/(2 \cdot g)$, met $C=1,4$ (grote turbulentie en nog geen logaritmisch snelheidsprofiel) en $\Delta=1,65$. Vervolgens worden de diameters omgerekend naar 'korrel'gewichten m.b.v. de formule $M = (d^3 \cdot \pi \cdot \rho_s)/6$, met $\rho_s=2650 \text{ kg/m}^3$. Door dit voor openvolgende raaien benedenstrooms te doen ontstaat er een beeld van het te gebruiken materiaal tussen raai x en y en bij bodemligging N2 (zie bijlage 8).

Dit beeld is nog niet verder uitgewerkt. Er is wel, op basis van het verkregen inzicht, een simpele handformule aangenomen: De hoeveelheden gebruikt materiaal t.b.v. de bodembescherming nemen toe bij een toenemende bruto breedte (meer m^2) en bij een zakkend niveau van de bodemligging (bij een lagere bodemligging treden grotere stroomsnelheden op en moet een zwaardere en omvangrijkere bodembescherming worden toegepast. Het absolute deel van de hoofdvariabele N2 neemt toe bij dalende bodemligging. Daarom wordt als volgt gesteld:

Hoeveelheden materiaal bodembescherming = - BrBr * N2 * alpha

alpha wordt gekozen als ijkingsfactor t.o.v. het VO:

Totale kosten bodembescherming benedenstrooms in VO gedeeld door de bruto breedte van het VO (225m) en gedeeld door de bodemligging van het VO (-6,5 m NAP) en gedeeld door de gemiddelde kosten per ton materiaal (21 € / ton) levert voor alpha de waarde $(2548772/(225 \cdot 6.5 \cdot 21))=82.988$

$$x34 = - \text{BrBr} \cdot N2 \cdot 82.988$$

x35: Onderhoud bodembescherming

Op basis van ervaringsgetallen en vergelijkbare voorbeeldprojecten wordt er een jaarlijks kostenpercentage van 3% van de nieuwwaarde uitgetrokken voor onderhoud aan de bodembescherming.

$$x35 = 0.03$$

Geleidedammen

x36: Materiaalgebruik leidammen

Het materiaalgebruik van de leidammen is evenredig met de ligging van de bodem van de spuisluis. Het gebied benedenstrooms van de spuisluis wordt qua diepte aangepast op deze bodemligging. De bodemsprong blijft 4,5 meter bij alle bodemliggingen. De geleidedammen strekken van deze diepte (N2-4,5m) tot +1,5m NAP, dit is (6-N2) meter hoogte. De doorsnede van de geleidedammen wordt bij hellingen van 1:3 : $Opp=3*(6-N2)^2+(6-N2)$. De lengte blijft gelijk, dus de invloed hiervan wordt verdisconteerd in de prijs per meter lengte.

$$x36 := 3 \cdot (6 - N2)^2 + (6 - N2)$$

Uitvoering

Grondwerk

x37: Grondwerk Afsluitdijk

Het grondwerk voor de Afsluitdijk wordt opgedeeld in 3 onderdelen:

1. Het afgraven van het deel bestaande Afsluitdijk
2. Het verbreden van de Afsluitdijk ter plaatse van het kunstwerk
3. Het aanvullen van grond voor taluds en afwerking (restpost)

Aan de hand van het tekenen van doorsneden, het berekenen van de bijbehorende oppervlaktes en te vermenigvuldigen met de bijbehorende lengtes waarover het grondwerk geschied, is gekomen tot de volgende resultaten:

- | | |
|--|-------------------|
| ad 1. Opp= $2,5 \cdot N_2^2 - 77,5 \cdot N_2 + 301$ m ² | lengte=BrBr+160 m |
| ad 2. Opp= $50 \cdot (5 + N_2)$ m ² | lengte=2*250 m |
| ad 3. Volume = $5325 \cdot N_2^2 + 100000$ | |

$$x_{37} = (2,5 \cdot N_2^2 - 77,5 \cdot N_2 + 301) \cdot (BrBr + 160) + 50 \cdot (5 + N_2) \cdot 500 + (5325 \cdot N_2^2 + 100000)$$

x38: Grondwerk Ringdijk

Het grondwerk voor de Ringdijk wordt opgedeeld in 3 onderdelen:

1. Het aanbrengen van de ringdijk; materiaal: zand
2. Het aanbrengen van de ringdijk; materiaal: klei
3. Het verwijderen van de ringdijk

Op dezelfde manier als bij variabele x37 zijn de volumes grondwerk vastgesteld:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| ad 1. Opp= $\frac{9}{6} \cdot (3 \cdot (1,5 - N_2)^2 + (1,5 - N_2))$ | lengte= $0,73 \cdot (BrBr + 160)$ |
| ad 2. Opp= $3 \cdot (1,5 - N_2)^2 + (1,5 - N_2)$ | lengte= $0,73 \cdot (BrBr + 160)$ |
| ad 3. Opp= $\frac{8}{3} \cdot (1,5 - N_2)^2 + (1,5 - N_2)$ | lengte= $0,73 \cdot (BrBr + 160)$ |

$$x_{38} = \frac{31}{6} \cdot [3 \cdot (1,5 - N_2)^2 + (1,5 - N_2)] \cdot 0,73 \cdot (BrBr + 160)$$

x39: Grondwerk t.b.v bodembescherming

Boven- en benedenstreams wordt er grond weggehaald, zodat de spuistroom meer ruimte krijgt en de stroomsnelheden afnemen. Vooral benedenstreams moet er veel grond weggehaald worden. In het model wordt de hoeveelheid grondwerk ingedeeld in 2 delen:

1. Over een lengte (haaks op de weg) van 130 meter wordt de Afsluitdijk afgegraven van het niveau tot waar al was afgegraven bij variabele x37 tot 1,3 meter beneden de bovenkant van de bodembescherming.
2. Het tweede deel betreft eveneens een gebied met een lengte van 130 meter aanliggend in stroomafwaartse richting t.o.v. deel 1. Hier moet worden ontgraven van de huidige Waddenzee bodem tot 1,3 meter beneden de bovenkant van de bodembescherming.

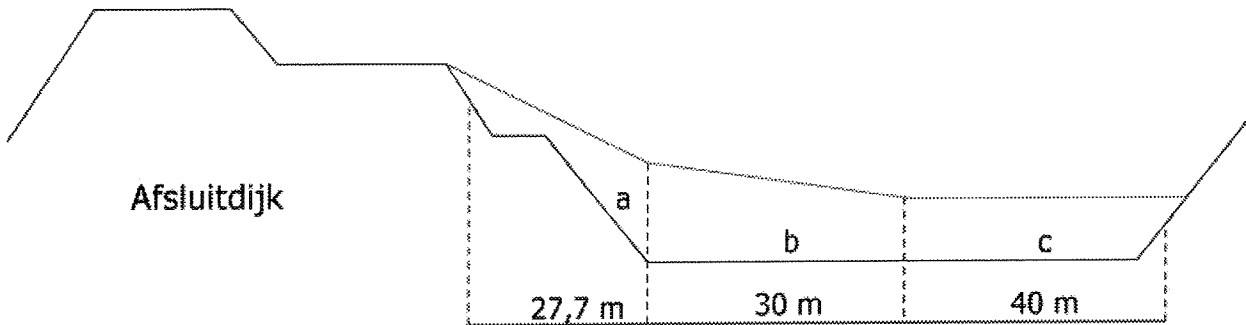
De volgende hoeveelheden zijn vastgesteld:

- | | |
|---|------------------|
| ad 1. Opp= $(N_2 - (N_3 - 1,3)) \cdot BrBr$ | lengte=130 meter |
| ad 2. Opp= $(-6 - (N_3 - 1,3)) \cdot BrBr$ | lengte=130 meter |

Hierin is N3 het niveau van de bovenkant van de bodembescherming. Dit is 4,5 meter onder de spuisluisbodem.

$$x_{39} = 130 \cdot BrBr \cdot (N_2 - 2 \cdot N_3 - 3,4)$$

x40: Bouwput en baggerwerk



Voor het grondwerk voor het creeren van de bouwput en de baggerwerkzaamheden is het volgende afgeleid:

Bouwput: (zie tekening)

deel a: Opp= $13,85 \cdot (-N^2 + 0,5)$ lengte= $1,1 \cdot \text{BrBr}$
 deel b: Opp= $-30 \cdot N^2 - 52,5$ lengte= $1,1 \cdot \text{BrBr}$
 deel c: Opp= $40 \cdot (-N^2 - 4)$ lengte= $1,1 \cdot \text{BrBr}$
 Totaal deel a+b+c = $(-83,85 \cdot N^2 - 205,575) \cdot \text{BrBr}$

Baggerwerkzaamheden:

Volume is afhankelijk van bodemligging volgens
 Volume = $7100 \cdot N^2 + 200.000$

$$x40 := -83,85 \cdot N^2 - 205,575 \cdot \text{BrBr} + 7100 \cdot N^2 + 200000$$

Bemaling

x41: Bemalingsvolume

Totaal bemalingsvolume = volume bouwput + volume lekwater tijdens bouwperiode

Volume bouwput :

Hoogte van -0,2 meter NAP tot $(N^2 - 2)$ meter NAP

Lengte (dwars op weg) 70 meter

Breedte = $1,1 \cdot \text{Bruto breedte}$

Hellingen taluds 1:3

Berekening volume resulteert in :

Volume bouwput = $((2,5 \cdot N^2 - 79 \cdot N + 134,1) \cdot 1,1 \cdot \text{BrBr}) \text{ [m}^3\text{]}$

Volume lekwater tijdens bouwperiode :

Wet van Darcy: $v = k \cdot dh/dx$

$1/6 \cdot 0,0001 \cdot (-N^2 + 3,5) \cdot 1,35 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 5 \cdot 0,001 \cdot (2 \cdot \text{Bkuip} + 320) =$

$3,5478 \cdot (-N^2 + 3,5) \cdot (2 \cdot 1,1 \cdot \text{BrBr} + 320)$

Totaal bemalingsvolume =

$27,32 \cdot \text{BrBr} - 11,35,3 \cdot N^2 - 7,81 \cdot N^2 \cdot \text{BrBr} + 3973,54 + 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot N^2 \cdot 2 \cdot \text{BrBr} - (0,0869 \cdot N^2 + 0,1475) \cdot \text{BrBr}$

$$x41 = 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot N^2 \cdot \text{BrBr} - 7,892 \cdot N^2 \cdot \text{BrBr} + 27,47 \cdot \text{BrBr} - 1135,3 \cdot N^2 + 3973,5$$

x42: Capaciteit bemalingspompen

De capaciteit van de bemalingspompen in [m3/uur] kan als volgt berekend worden:
 $Cap = 1,25 \cdot (2 \cdot B_{kuip} + 320) \cdot 1/6 \cdot 0,0001 \cdot (-N2 + 3,5) \cdot 1,5 \cdot 3600$
 $Cap = (0,2025 \cdot B_{kuip} + 32,37) \cdot (-N2 + 3,5)$

$$x42 = (0,2025 \cdot 1,1 \cdot BrBr + 32,37) \cdot (-N2 + 3,5)$$

x43: Energieverbruik bemalingspompen

Uit GWW kosten tabellen zijn de volgende gegevens afgeleid:

bemaling 120 m3/uur = 1350 kW/week

bemaling 300 m3/uur = 2000 kW/week

relatie: $cap_pompen [kW] = 3,611 \cdot cap_pompen [m3/uur] + 916,67$

Energieverbruik = $(3,611 \cdot cap_pompen [m3/uur] + 916,67) \cdot 52 \cdot 5 / 1000$

Energieverbruik = $0,939 \cdot cap_pompen [m3/uur] + 238,33$

$$x43 = 0,939 \cdot x42 + 238,33$$

Hulpvariabelen

y1: Pijlerbreedte

De pijlerbreedte wordt lineair evenredig verondersteld met de schuifbeedte.

De evenredigheidsfactor wordt afgeleid uit het VO:

daar is de pijlerbreedte 10 meter bij een schuifbreedte van 33 meter;

de verhouding is $10/33 = 0,303$.

De wanden zijn 2,5 meter dik, dus de minimale breedte van de pijler wordt aangenomen op 5 meter.

In formulevorm:

$$y1 = \begin{cases} 5 & \text{if } 0,303 \cdot b < 5 \\ 0,303 \cdot b & \text{otherwise} \end{cases}$$

BrBr: Bruto breedte

De bruto breedte is de netto spuubreedte vermeerderd met de totale breedte van de pijlers

In formulevorm:

$$BrBr = NB + y1 \cdot (n + 1)$$

y2: Breedte bouwput

De breedte van de bouwput wordt aangenomen gelijk te zijn aan de bruto breedte van de constructie, vermeerderd met 10 % werkruimte:

$$y2 = 1,1 \cdot BrBr$$

y3: Aantal heijukken

Reeds beschreven bij variabele x9

y4: Inhoud pijler

Reeds beschreven bij variabele x7

y5: Bodemoppervlak pijler

Reeds beschreven bij variabele x7

y6: Onderdeel bemalingsvolume

Reeds beschreven bij variabele x41

y7: Onderdeel betonvolume pijler

Reeds beschreven bij variabele x7

y8: Constructiehoogte SKK liggers onderhoudsweg

Reeds beschreven bij variabele x26

8. Excel modellering optimalisatie afmetingen spuiopeningen

De relevante onderdelen van de sheets gemaakt in Excel zijn in deze bijlage Ingevoegd.
De onderdelen zijn gerangschikt naar het nummer van de variabelen

x2: Materiaalgebruik bovenbalk

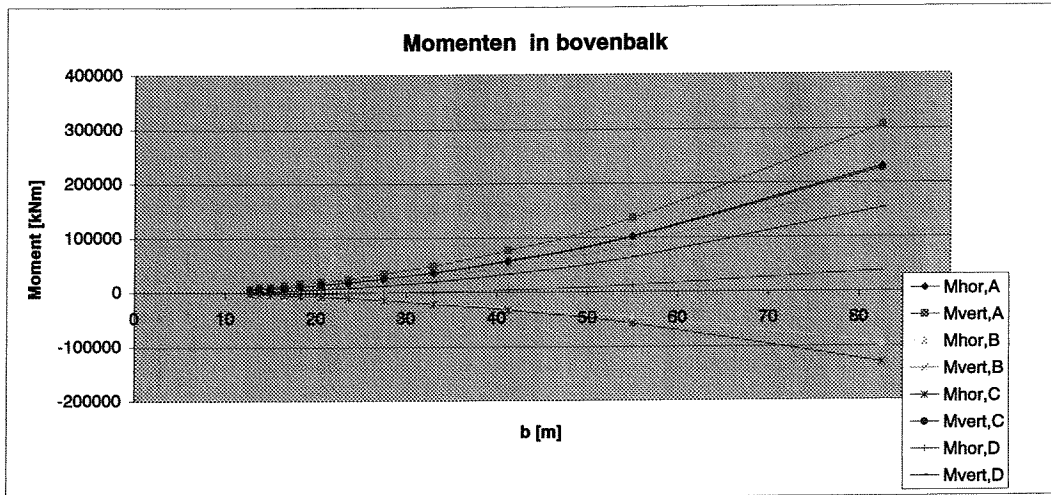
1. Maximale horizontale belastingen

		belasting	
		horizontaal [kN/m]	verticaal [kN/m]
Permanente belasting			
- Eigen gewicht ds:	10 m2		240
Veranderlijke belasting			
- Statische vervalbelasting		61	35
- Quasi-statische golfbelasting 1	top	145	20
	dal	-60	-20
- Quasi-statische golfbelasting 2	top	65	-69
	dal	0	0
- Golfklap-belasting		100kN/m2,max 10m2	
- Windbelasting		10	
- Verkeersbelasting			12
- Demontage bewegingswerken			0
- Oplegkracht schuifafslchting			0
Bijzondere belastingen			
- Ijsbelasting van NAP+1,50 tot 4,00m		-67	0
- Aanvarings-belasting		0	0

2. Extreme belastingcombinaties

		qhor[kN/m]	qvert[kN/m]	Fhor[kN]	Fvert[kN]
A	Totale belasting zonder golfklappen,max vervalbelasting,geen ijs,top1:	270,8	359,4	0	0
B	Totale belasting met golfklappen, geen vervalbelasting,geen ijs, dal1:	-87,3	266,3	-1000	-1000
C	Totale belasting zonder golfklappen,geen vervalbelasting,met ijs,dal1:	-154,0	266,3	0	0
D	Totale belasting met golfklappen,geen vervalbelasting,geen ijs,top2:	68,9	204,8	-1000	-1000

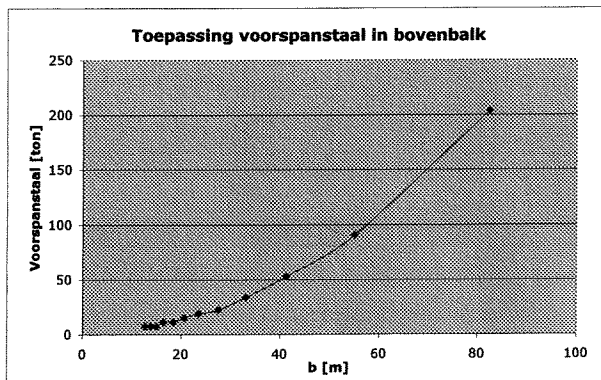
b [m]	A		B		C		D	
	Mhor [kNm]	Mvert [kNm]	Mhor [kNm]	Mvert [kNm]	Mhor [kNm]	Mvert [kNm]	Mhor [kNm]	Mvert [kNm]
12,7	5452	7238	-4931	2190	-3100	5363	-1786	950
13,8	6399	8494	-5501	2856	-3639	6294	-1809	1401
15,0	7615	10109	-6205	3740	-4330	7490	-1812	2009
16,5	9214	12232	-7096	4938	-5240	9063	-1780	2843
18,3	11375	15101	-8251	6606	-6469	11189	-1689	4019
20,6	14397	19112	-9799	9005	-8187	14161	-1493	5731
23,6	18804	24963	-11956	12604	-10694	18497	-1108	8327
27,5	25595	33977	-15128	18301	-14555	25176	-362	12480
33,0	36856	48927	-20134	28003	-20959	36253	1129	19622
41,3	57588	76449	-28882	46333	-32749	56646	4342	33237
55,0	102379	135909	-46762	86953	-58220	100703	12303	63671
82,5	230353	305794	-94902	205957	-130996	226582	37994	153572



3. Maatgevende momenten en inschatting benodigde hoeveelheid voorspanstaal

b	Mmax,hor	Mmax,vert	Fpl,min hor	Fpl,min vert	Fpl,trln totaal	Ap	# kabels VMA-E 5-22	Gewicht aan voorspanstaal per bovenbalk	Gewicht aan voorspanstaal totaal
[m]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm ²]	[st]	[kg]	[ton]
12,7	5452	7238	3538	1696	5235	3610	2	580	7,5
13,8	6399	8494	4153	1991	6144	4237	2	629	7,5
15,0	7615	10109	4942	2369	7312	5042	2	686	7,5
16,5	9214	12232	5980	2867	8847	6101	3	1132	11,3
18,3	11375	15101	7383	3540	10922	7533	3	1257	11,3
20,6	14397	19112	9344	4480	13823	9533	4	1886	15,1
23,6	18804	24963	12204	5851	18055	12452	5	2694	18,9
27,5	25595	33977	16611	7964	24575	16948	6	3772	22,6
33,0	36856	48927	23920	11468	35388	24405	9	6789	33,9
41,3	57588	76449	37375	17919	55294	38133	14	13201	52,8
55,0	102379	135909	66444	31856	98300	67793	24	30174	90,5
82,5	230353	305794	149499	71675	221174	152534	54	101837	203,7

Opmerking: De hoogte van de bovenbalk is constant aangenomen (van NAP+1,50m tot NAP +9,00m). Een oriënterende vergelijking tussen de krachtsverdeling in de bovenbalk in het voorontwerp (VO) van de Bouwdienst, RWS en de krachtsverdeling in de bovenbalk bij variërende schuifbreedtes wordt gemaakt op basis van vergelijking van het maximale horizontale en verticale momenten.



Relatie: $Mat1,balk = 5,4829e-6 * NB * b^2 * (0,477 * N1^2 - 7,212 * N1 + 42,29 + alpha)$

x9: Fundering

ALLES IS PER PIJLER!!

Belastinggeval 1a: fig 3.1 a,b; bij max golfbelasting
 IJsselmeervaterstand: -1,65 NAP
 Waddenzeewaterstand: 5,50 NAP

b [m]	Krachten water,hor [kN]	Krachten water,vert [kN]	Krachten gewicht pijler [kN]	Krachten gewicht schuif [kN]	Krachten gewicht weg verk [kN]	Krachten gewicht weg ond [kN]	Krachten gewicht balk [kN]	Krachten gewicht betonbak [kN]	Opwaartse kracht pijlers [kN]	Sigma Fv per pijler [kN]	Sigma Fh per pijler [kN]	Sigma Fh / Sigma Fv [-]
12,7	20691	1716	67711	741	6511	721	3159	27248	27090	80716	20891	0,26
13,8	21928	1619	67711	779	7153	766	3422	28877	27769	82759	21628	0,26
15,0	23990	1940	67711	826	7958	820	3733	30802	28671	85220	23390	0,27
16,5	25144	2086	67711	886	8988	932	4107	33112	29533	88288	25144	0,28
18,3	27938	2317	71237	963	11096	1016	4563	36791	32963	94908	27938	0,29
20,6	31430	2607	75643	1064	14043	1177	5133	41390	37296	103761	31430	0,30
23,6	35920	2979	81309	1203	18342	1381	5866	47302	42840	115543	35920	0,31
27,5	43906	3476	88853	1419	24966	1724	6844	55186	50233	132245	43906	0,32
33,0	50288	4171	99439	1743	35950	2110	8213	66223	60583	157287	50288	0,32
41,3	62860	5214	115303	2349	56173	2894	10266	82779	76108	188870	62860	0,32
55,0	83813	6952	141743	3581	99862	4455	13688	110372	101982	278671	83813	0,30
82,5	125719	10428	194623	7385	224690	8330	20533	165559	159732	477816	125719	0,28

Belastinggeval 1b: fig 3.1 a,b; bij min golfbelasting
 IJsselmeervaterstand: -1,65 NAP
 Waddenzeewaterstand: 5,50 NAP

b [m]	Krachten water,hor [kN]	Krachten water,vert [kN]	Krachten gewicht pijler [kN]	Krachten gewicht schuif [kN]	Krachten gewicht weg verk [kN]	Krachten gewicht weg ond [kN]	Krachten gewicht balk [kN]	Krachten gewicht betonbak [kN]	Opwaartse kracht pijlers [kN]	Sigma Fv [kN]	Sigma Fh [kN]	Sigma Fh / Sigma Fv [-]
12,7	10699	-265	67711	741	6511	721	3159	27248	27090	78735	10699	0,14
13,8	11297	-281	67711	779	7153	766	3422	28877	27769	80808	11297	0,14
15,0	12050	-300	67711	826	7958	820	3733	30802	28671	82860	12050	0,15
16,5	12953	-323	67711	886	8988	932	4107	33112	29533	85880	12953	0,15
18,3	14393	-358	71237	963	11096	1016	4563	36791	32963	92323	14393	0,16
20,6	16192	-403	75643	1064	14043	1177	5133	41390	37296	100751	16192	0,16
23,6	18505	-461	81309	1203	18342	1381	5866	47302	42840	112103	18505	0,17
27,5	21589	-538	88853	1419	24966	1724	6844	55186	50233	126322	21589	0,17
33,0	25907	-645	99439	1743	35950	2110	8213	66223	60583	142841	25907	0,17
41,3	32383	-806	115303	2349	56173	2894	10266	82779	76108	162860	32383	0,17
55,0	43178	-1075	141743	3581	99862	4455	13688	110372	101982	217405	43178	0,18
82,5	64767	-1613	194623	7385	224690	8330	20533	165559	153732	486776	64767	0,14

Belastinggeval 2a: fig 3.2 a,b; bij max golfbelasting
 IJsselmeervaterstand: 0,50 NAP
 Waddenzeewaterstand: -3,30 NAP

b [m]	Krachten water,hor [kN]	Krachten water,vert [kN]	Krachten gewicht pijler [kN]	Krachten gewicht schuif [kN]	Krachten gewicht weg verk [kN]	Krachten gewicht weg ond [kN]	Krachten gewicht balk [kN]	Krachten gewicht betonbak [kN]	Opwaartse kracht pijlers [kN]	Sigma Fv [kN]	Sigma Fh [kN]	Sigma Fh / Sigma Fv [-]
12,7	-7365	-513	67711	741	6511	721	3159	27248	20879	84697	-7365	0,09
13,8	-7806	-544	67711	779	7153	766	3422	28877	21558	86607	-7806	0,09
15,0	-8326	-580	67711	826	7958	820	3733	30802	22360	88611	-8326	0,09
16,5	-8951	-624	67711	886	8988	932	4107	33112	23223	91788	-8951	0,10
18,3	-9945	-693	71237	963	11096	1016	4563	36791	26016	98958	-9945	0,10
20,6	-11188	-779	75643	1064	14043	1177	5133	41390	29383	108288	-11188	0,10
23,6	-12787	-891	81309	1203	18342	1381	5866	47302	33711	120802	-12787	0,11
27,5	-14918	-1039	88853	1419	24966	1724	6844	55186	39483	136460	-14918	0,11
33,0	-17901	-1247	99439	1743	35950	2110	8213	66223	47563	164608	-17901	0,11
41,3	-22377	-1559	115303	2349	56173	2894	10266	82779	59683	206522	-22377	0,11
55,0	-29835	-2078	141743	3581	99862	4455	13688	110372	79884	291740	-29835	0,10
82,5	-44753	-3118	194623	7385	224690	8330	20533	165559	120285	497718	-44753	0,09

Belastinggeval 2b: fig 3.2 a,b; bij min golfbelasting
 IJsselmeervaterstand: 0,50 NAP
 Waddenzeewaterstand: -3,30 NAP

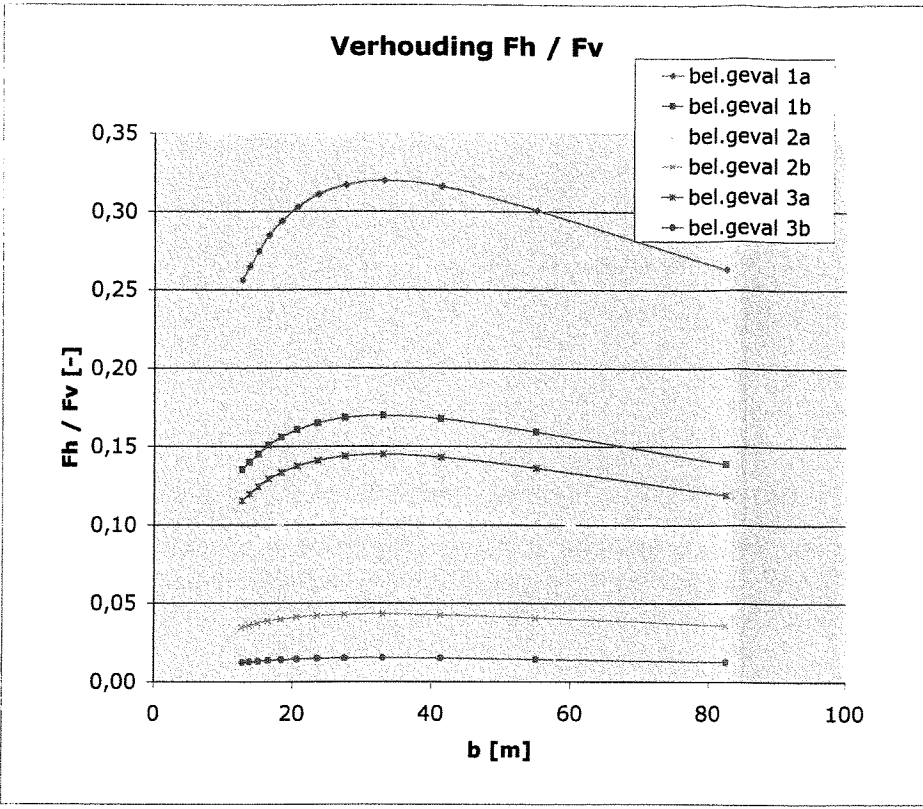
b [m]	Krachten water,hor [kN]	Krachten water,vert [kN]	Krachten gewicht pijler [kN]	Krachten gewicht schuif [kN]	Krachten gewicht weg verk [kN]	Krachten gewicht weg ond [kN]	Krachten gewicht balk [kN]	Krachten gewicht betonbak [kN]	Opwaartse kracht pijlers [kN]	Sigma Fv [kN]	Sigma Fh [kN]	Sigma Fh / Sigma Fv [-]
12,7	-2960	0	67711	741	6511	721	3159	27248	20879	85211	-2960	0,03
13,8	-3137	0	67711	779	7153	766	3422	28877	21558	87151	-3137	0,04
15,0	-3346	0	67711	826	7958	820	3733	30802	22360	88951	-3346	0,04
16,5	-3597	0	67711	886	8988	932	4107	33112	23223	92413	-3597	0,04
18,3	-3997	0	71237	963	11096	1016	4563	36791	26016	99641	-3997	0,04
20,6	-4496	0	75643	1064	14043	1177	5133	41390	29383	109087	-4496	0,04
23,6	-5139	0	81309	1203	18342	1381	5866	47302	33711	121862	-5139	0,04
27,5	-5995	0	88853	1419	24966	1724	6844	55186	39483	138519	-5995	0,04
33,0	-7194	0	99439	1743	35950	2110	8213	66223	47563	166118	-7194	0,04
41,3	-8993	0	115303	2349	56173	2894	10266	82779	59683	210081	-8993	0,04
55,0	-11990	0	141743	3581	99862	4455	13688	110372	79884	283818	-11990	0,04
82,5	-17986	0	194623	7385	224690	8330	20533	165559	120285	500835	-17986	0,04

Belastinggeval 3a: fig 3.3 a,b; bij max golfbelasting
 IJsselmeervaterstand: 1,60 NAP
 Waddenzeewaterstand: -1,20 NAP

b [m]	Krachten water,hor [kN]	Krachten water,vert [kN]	Krachten gewicht pijler [kN]	Krachten gewicht schuif [kN]	Krachten gewicht weg verk [kN]	Krachten gewicht weg ond [kN]	Krachten gewicht balk [kN]	Krachten gewicht betonbak [kN]	Opwaartse kracht pijlers [kN]	Sigma Fv [kN]	Sigma Fh [kN]	Sigma Fh / Sigma Fv [-]
12,7	-9322	-1522	67711	741	6511	721	3159	27248	23868	80700	-8322	0,12
13,8	-9879	-1613	67711	779	7153	766	3422	28877	24546	82550	-9879	0,12
15,0	-10538	-1720	67711	826	7958	820	3733	30802	25349	84782	-10538	0,12
16,5	-11328	-1849	67711	886	8988	932	4107	33112	26311	87876	-11328	0,13
18,3	-12587	-2054	71237	963	11096	1016	4563	36791	29369	94241	-12587	0,13
20,6	-14160	-2311	75643	1064	14043	1177	5133	41390	33190	102948	-14160	0,14
23,6	-16183	-2641	81309	1203	18342	1381	5866	47302	38104	114656	-16183	0,14
27,5	-18861	-3082	88853	1419	24966	1724	6844	55186	44656	131286	-18861	0,14
33,0	-22657	-3698	99439	1743	35950	2110	8213	66223	53828	156193	-22657	0,15
41,3	-28221	-4623	115303	2349	56173	2894	10266	82779	67587	197655	-28221	0,14
55,0	-37761	-6163	141743	3581	99862	4455	13688	110372	90518	277021	-37761	0,14
82,5	-56642	-9245	194623	7385	224690	8330	20533	165559	136380	478485	-56642	0,12

Belastinggeval 3b: fig 3.3 a,b; bij min golfbelasting
 IJsselmeervaterstand: 1,60 NAP
 Waddenzeewaterstand: -1,20 NAP

b [m]	Krachten water,hor [kN]	Krachten water,vert [kN]	Krachten gewicht pijler [kN]	Krachten gewicht schuif [kN]	Krachten gewicht weg verk [kN]	Krachten gewicht weg ond [kN]	Krachten gewicht balk [kN]	Krachten gewicht betonbak [kN]	Opwaartse kracht pijlers [kN]	Sigma Fv [kN]	Sigma Fh [kN]	Sigma Fh / Sigma Fv [-]
12,7	-1007	0	67711	741	6511	721	3159	27248	23868	82222	-1007	0,01
13,8	-1067	0	67711	779	7153	766	3422	28877	24546	84162	-1067	0,01
15,0	-1138	0	67711	826	7958	820	3733	30802	25349	86202	-1138	0,01
16,5	-1223	0	67711	886	8988	932	4107	33112	26311	88424	-1223	0,01
18,3	-1359	0	71237	963	11096	1016	4563	36791	29369	96296	-1359	0,01
20,6	-1529	0	75643	1064	14043	1177	5133	41390	33190	105259	-1529	0,01
23,6	-1748	0	81309	1203	18342	1381	5866	47302	38104	117300	-1748	0,01
27,5	-2039	0	88853	1419	24966	1724	6844	55186	44656	134388	-2039	0,02
33,0	-2447	0	99439	1743	35950	2110	8213	66223	53828	160851	-2447	0,02
41,3	-3058	0	115303	2349	56173	2894	10266	82779	67587	201777	-3058	0,02
55,0	-4078	0	141743	3581	99862	4455	13688	110372	90518	283184	-4078	0,01
82,5	-6117	0	194623	7385	224690	8330	20533	165559	136380	484740	-6117	0,01



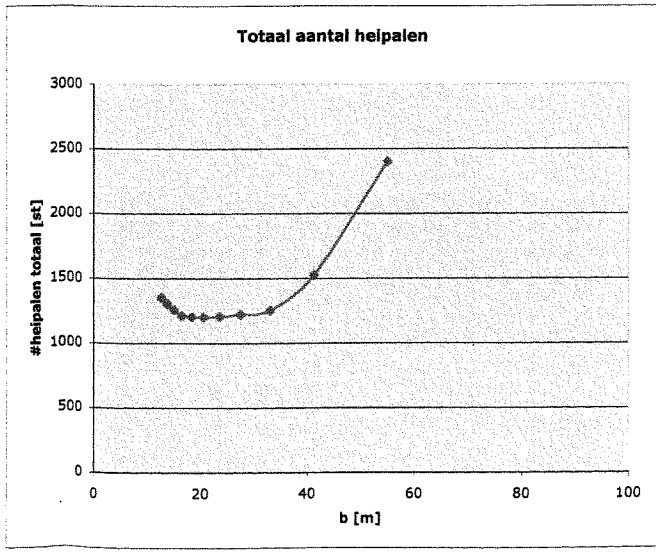
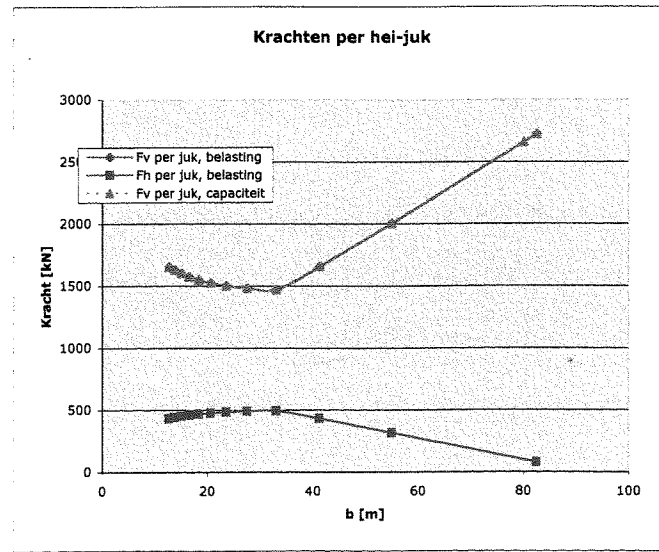
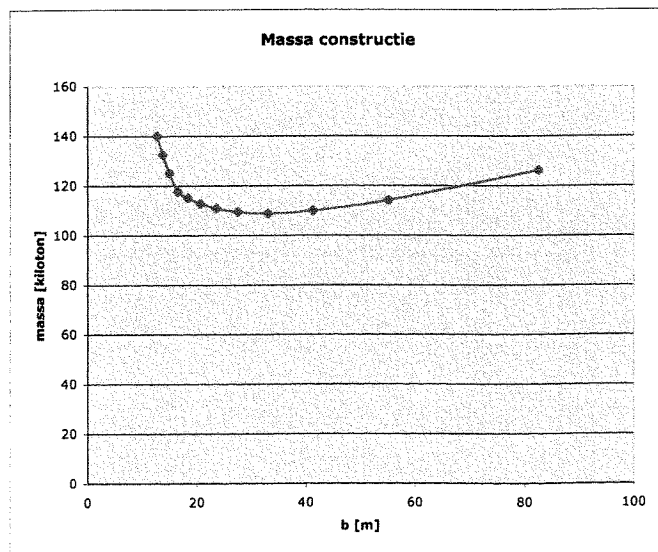
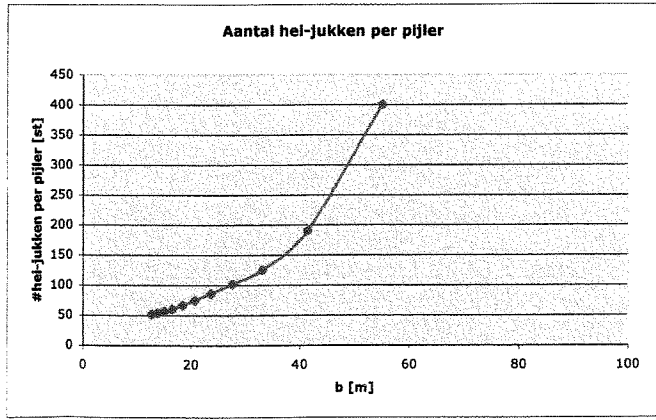
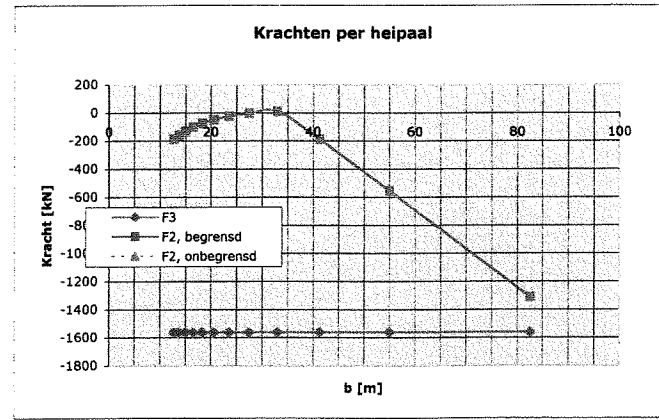
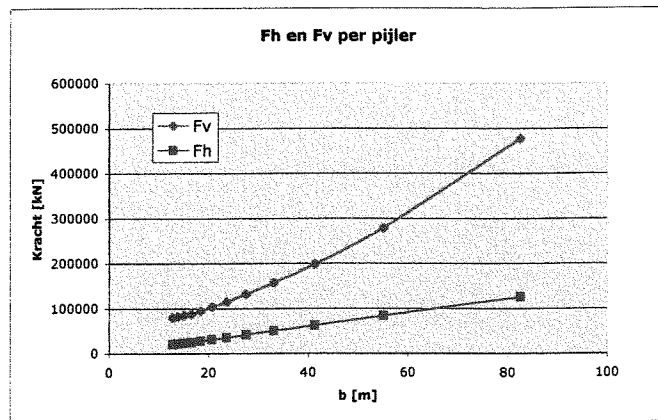
Conclusie:
 Voor de horizontale stabiliteit van de constructie is belastinggeval 1a maatgevend; de lijn Fh / Fv bereikt bij dit belastinggeval hogere waarden dan bij de andere belastinggevallen, wat erop duidt dat de funderingsconstructie bij dit belastinggeval relatief grote horizontale krachten moeten opnemen met een relatief kleine bovendruk (verticale krachten). De constructie heeft bij deze hogere Fh / Fv -waarden minder 'weerstand' tegen afschuiven. Daarom zullen er meer behouwen schoor geheid moeten worden, of wanneer uitgegaan wordt van het gebruik van hel-jukken, zullen er mogelijk meer hel-jukken gebruikt moeten worden om de horizontale krachten op te nemen. Of dit het geval is en hoeveel jukken dit scheelt wordt in de volgende spreadsheet berekend. Hierbij wordt uitgegaan van de berekende parameters bij het maatgevende belastinggeval 1a.

b [m]	Sigma Fv per pijler [kN]	Opwaartse kracht constructie [kN]	Gewicht per pijler [kN]	Gewicht hale constructie [kN]	Massa hale constructie [kiloton]
12,7	80716	27090	107806	1401477	140,1
13,8	82759	27769	110527	1326330	132,6
15,0	85220	28571	113791	1251696	125,2
16,5	88288	29533	117821	1178210	117,8
18,3	94998	32963	127962	1151834	115,2
20,6	103761	37296	141057	1128453	112,8
23,6	115543	42840	158383	1108682	110,9
27,5	132245	50233	182478	1094868	109,5
33,0	157287	60583	217850	1089	

x9: Fundering

b	Sigma Fv belasting per pijler	Sigma Fh belasting per pijler	Sigma Fh / Sigma Fv	# hei-jukken onder pijler = n beginpunt iteratie	Fv per juk belasting	Fh,pijler per juk Bij moment om A onder pijler	F3 [kN] Bij moment om B onder pijler Contr. F3> 0,6*-2600=-1560	F3 reactiekracht	F2 reactiekracht	Situatie OK ligt F2 en F3 tussen -1820 en +224 kN ? 1=Y; 0=N	Fv per juk opneembaar	Fv per juk (opneembaar - belasting)	dan is Fh,pijler,max;opn per juk	Sigma Fh,pijler opneembaar per pijler	Fh,vloer= sigma Fh - sigma Fh,pijler
[m]	[kN]	[kN]	[-]	[st]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
12,7	80716	20691	0,26	86	938	465	-1229	-1229	240	1	938	0	465	39965	-19274
13,8	82759	21928	0,26	86	962	472	-1254	-1254	240	1	962	0	472	40646	-18718
15,0	85220	23390	0,27	86	991	482	-1284	-1284	240	1	991	0	482	41466	-18076
16,5	88288	25144	0,28	86	1026	494	-1322	-1322	240	1	1026	0	494	42489	-17345
18,3	94998	27938	0,29	89	1073	509	-1371	-1371	240	1	1073	0	509	45107	-17170
20,6	103761	31430	0,30	92	1132	529	-1433	-1433	240	1	1132	0	529	48505	-17076
23,6	115543	35920	0,31	96	1207	554	-1512	-1512	240	1	1207	0	554	53047	-17127
27,5	132245	41906	0,32	101	1308	588	-1618	-1618	182	1	1308	0	551	55692	-13785
33,0	157267	50288	0,32	109	1447	634	-1765	-1560	35	1	1447	0	504	54797	-4509
41,3	198870	62860	0,32	120	1657	704	-1987	-1560	-187	1	1657	0	434	52098	10762
55,0	278671	83813	0,30	139	2007	821	-2355	-1560	-555	1	2007	0	318	44112	39701
82,5	477816	125719	0,26	177	2706	1054	-3092	-1560	-1292	1	2706	0	85	14959	110760

b	# hei-jukken onder pijler = n eindpunt iteratie	Fv per juk belasting	Fh,pijler per juk Bij moment om A onder pijler	F3 [kN] Bij moment om B onder pijler Contr. F3> -0,6*2600 =-1560	F3 reactiekracht	F2 reactiekracht	Situatie OK ligt F2 en F3 tussen -1560 en +240kN ? 1=Y; 0=N	dan is Fh,pijler,max;opn per juk	dan is Fv,max;opn per juk	Sigma Fh,pijler	Fh,vloer= sigma Fh - sigma Fh,pijler	abs Fh,vloer= sigma Fh - sigma Fh,pijler	extra hei- jukken in vloer	Totaal hei-jukken pijler + vloer 'per pijler'	Totaal helpalen pijler + vloer hele constructie
[m]	[st]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[st]	[st]	[st]
12,7	49	1655	704	-1985	-1560	-185	1	435	1655	21200	-509	509	3	52	1355
13,8	51	1631	695	-1959	-1560	-159	1	443	1631	22487	-559	559	4	54	1306
15,0	53	1604	686	-1931	-1560	-131	1	452	1604	24012	-622	622	4	57	1259
16,5	56	1576	677	-1901	-1560	-101	1	461	1576	25847	-703	703	5	61	1213
18,3	61	1550	668	-1874	-1560	-74	1	470	1550	28805	-868	868	6	67	1206
20,6	68	1525	660	-1848	-1560	-48	1	478	1525	32528	-1098	1098	7	75	1204
23,6	77	1503	653	-1824	-1560	-24	1	486	1503	37354	-1434	1434	9	86	1209
27,5	89	1484	646	-1804	-1560	-4	1	492	1484	43858	-1952	1952	13	102	1224
33,0	107	1470	642	-1790	-1560	10	1	496	1470	53099	-2811	2811	19	125	1255
41,3	120	1657	704	-1987	-1560	-187	1	434	1657	52098	10762	10762	71	191	1527
55,0	139	2007	821	-2355	-1560	-555	1	318	2007	44112	39701	39701	262	400	2402
82,5	175	2724	1060	-3111	-1560	-1311	1	79	2724	13808	-	-	-	-	-



Conclusies:
Vanaf b= 80 m
dient een ander paalttype gebruikt te gaan worden i.v.m.
een tekort in draagkracht

Relatie:

$$\#hei\jukken,pijler = 6E-05 * b^4 - 0,0029 * b^3 + 0,0829 * b^2 + 1,5651 * b + 22,51$$

$$\#hei\jukken,totaal = \#hei\jukken,pijler * NB / b$$

x14: Materiaalgebruik schuiven

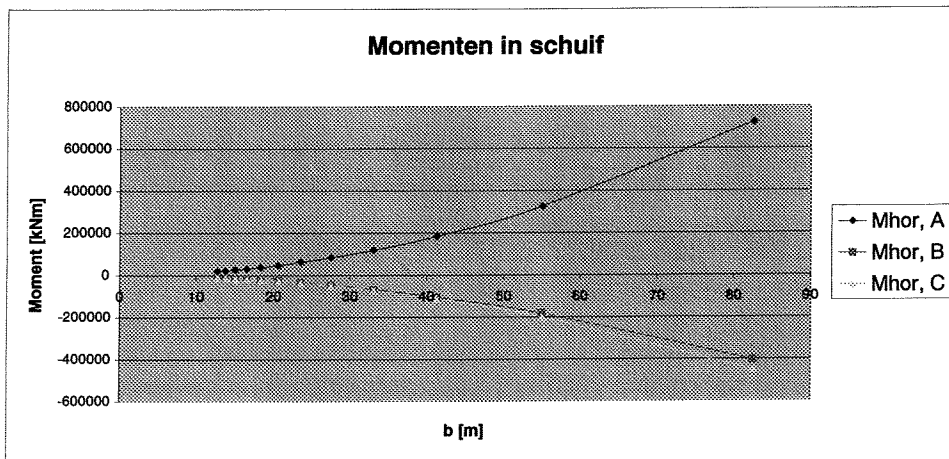
1. Maximale horizontale belastingen

	belasting		
	horizontaal [kN/m]	verticaal [kN/m]	
Permanente belasting - Eigen gewicht ca		50	
Veranderlijke belastingen			
- Statische vervalbelasting 1	544		
- Statische vervalbelasting 2	-189		
- Quasi-statische golfbelasting 1: f _{de}	124	25	
- Quasi-statische golfbelasting 2: f _{de}	-124	-25	
- Quasi-statische golfbelasting 2: f _{de}	-172	0	
- Quasi-statische golfbelasting 2: f _{de}	139	0	
- Golfklap-belasting vanuit WZ	75kN/m ² , max 10m ²		
- Golfklap-belasting vanuit IJM	100kN/m ² , max 10m ²		
- Windbelasting	10		alleen bij geopende schuif
- IJsbelasting		10	
- Demontage bewegingswerken		0	
- Oplegkracht schuifafdichting		0	
Bijzondere belastingen			
- IJsbelasting	-25		van NAP-1,00 tot +1,00m
- Aanvarings-belasting	0		

2. Extreme belastingcombinaties

	qhor[kN/m]	Fhor[kN]
A Belasting met golfklappen uit WZ, geen IJs, top1, max pos vervalbelasting	835,2693438	750
B Belasting met golfklappen uit IJM, geen IJs, top 2, max neg vervalbelasting	-451,82125	-1000
C Belasting zonder golfklappen, met IJs, top 2	-531,25	0

b [m]	A Mhor [kNm]	B Mhor [kNm]	C Mhor [kNm]
	12,7	18262	-11021
13,8	21380	-12865	-12555
15,0	25367	-15207	-14941
16,5	30582	-18251	-18079
18,3	37593	-22316	-22320
20,6	47344	-27931	-28249
23,6	61493	-36023	-36896
27,5	83178	-48336	-50220
33,0	118951	-68504	-72316
41,3	184455	-105163	-112994
55,0	325211	-183345	-200879
82,5	725163	-403776	-451978

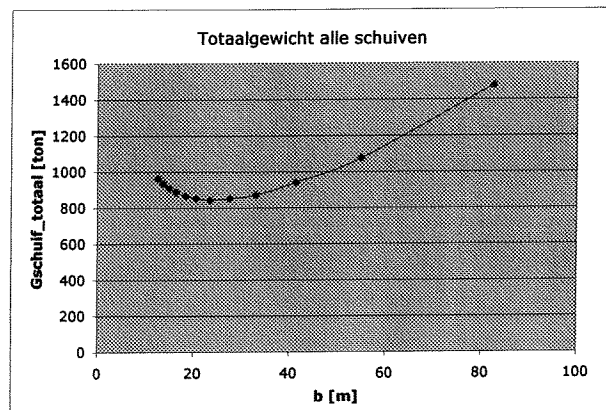
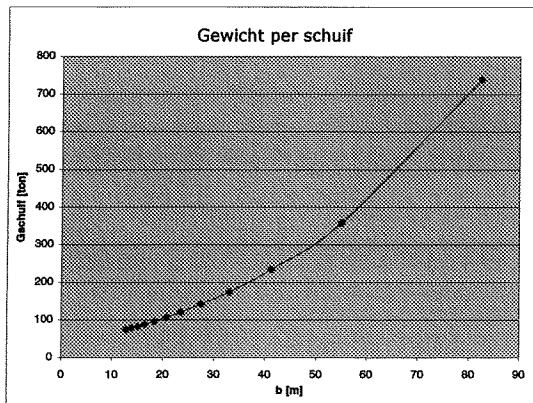


3. Maatgevende momenten en inschatting dimensionering materiaal

b [m]	Mtot [kNm]	Apr [m ²]	lameter buis [m uitwendig bij 1 wanddikte(mn 20	IPE [-]	Opp. IPE [m ²]
12.7	18262	0,0169	0,14	200	0,00295
13.8	21380	0,0183	0,16	220	0,00340
15.0	25367	0,0198	0,17	240	0,00387
16.5	30582	0,0218	0,18	270	0,00461
18.3	37593	0,0241	0,20	300	0,00539
20.6	47344	0,0269	0,22	330	0,00622
23.6	61493	0,0306	0,25	360	0,00709
27.5	83178	0,0355	0,29	450	0,00994
33.0	118951	0,0423	0,35	500	0,01169
41.3	184455	0,0525	0,43	650	0,01763
55.0	325211	0,0694	0,56	800	0,02462
82.5	725163	0,1032	0,83	1250	0,05189

4. Materiaalgebruik schuiven

b [m]	Mat A: buis		Mat C: IPE		Mat D: buis		Mat E: plaat dik 0,03 m [m ²]	Gewicht per schuif [ton]	Totaalgewicht alle schuiven [ton]
	diameter [m]	totale lengte [m]	IPE -type [-]	totale lengte [m]	diameter [m]	totale lengte [m]			
12.7	0,14	58,38	200	51,65	0,07	7,41	107,88	74,1	963,1
13.8	0,16	63,25	220	55,25	0,08	8,58	116,88	77,9	935,1
15.0	0,17	69,00	240	59,50	0,08	10,08	127,50	82,6	908,8
16.5	0,18	75,90	270	64,60	0,09	12,04	140,25	88,6	886,1
18.3	0,20	84,33	300	70,83	0,10	14,67	155,83	96,3	866,4
20.6	0,22	94,88	330	78,63	0,11	18,32	175,31	106,4	851,0
23.6	0,25	108,43	360	88,64	0,13	23,61	200,36	120,3	841,9
27.5	0,29	126,50	450	102,00	0,15	31,69	233,75	141,9	851,6
33.0	0,35	151,80	500	120,70	0,17	45,00	280,50	174,3	871,3
41.3	0,43	189,75	650	148,75	0,21	69,32	350,63	234,9	939,5
55.0	0,56	253,00	800	195,50	0,28	121,48	467,50	358,1	1074,2
82.5	0,83	379,50	1250	289,00	0,42	269,37	701,25	738,5	1477,1



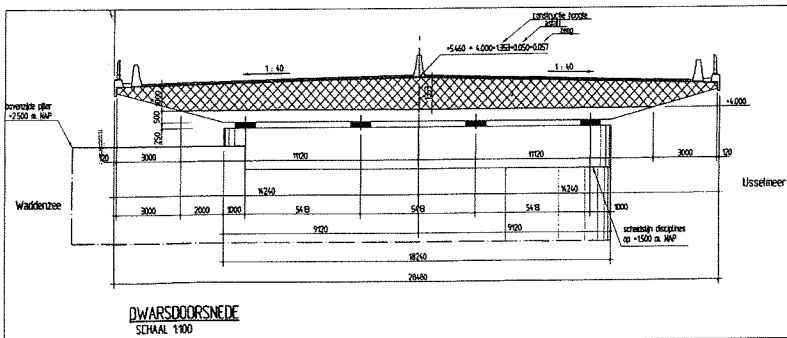
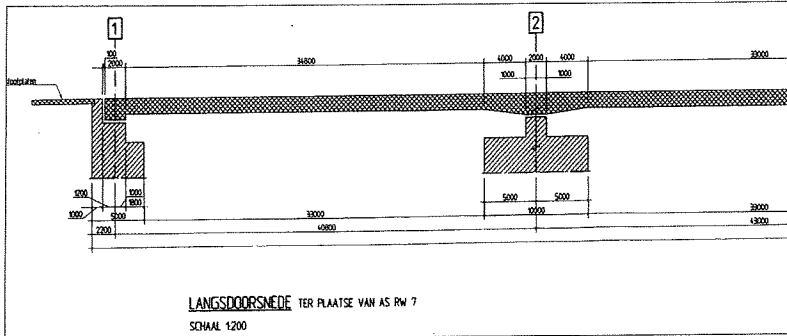
Relaties:

$$Gschuif = ((4,648 + 0,01921 * b) * 0,000011737 * ((-0,688 * N1^2 - 0,0761 * N2^2 + 10,619 * N1 - 13,829 * N2 + 3,402) * b^2 + 187 * b - 937,5) + (0,4 * b + 1) * (N1 - N2 + 0,5) * (0,000005 * b^2 + 0,0002 * b + 0,0003) + 0,03 * (N1 - N2 + 0,5) * b + 5) * 7,85$$

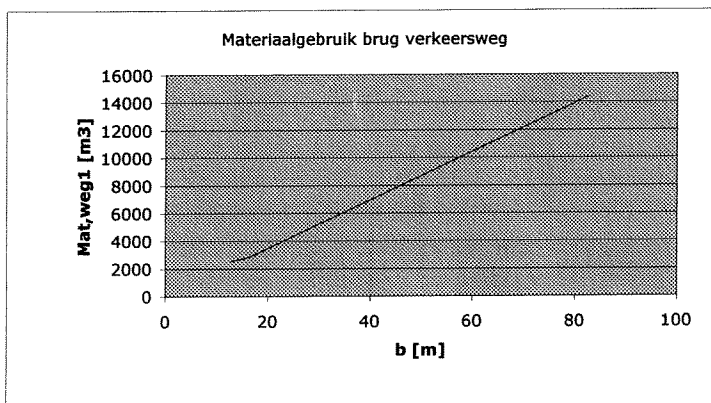
$$Gschuif_totaal = NB / b * Gschuif$$

x21 en x26: Materiaalgebruik bruggen voor wegen

1. Verkeersweg
 breedte: 28,4 m
 verkeersklasse 60
 Constructiemethode: in het werk gestort beton

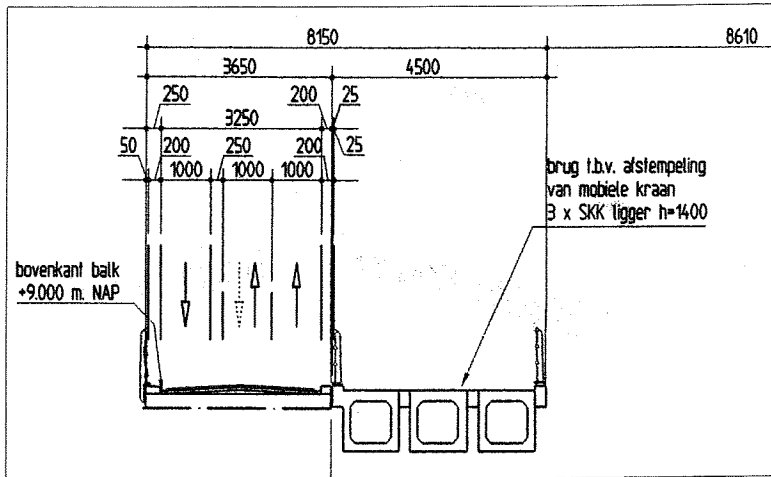


b [m]	Bpijler [m]	Overspanning brug [m]	Geschatte constr.hoogte [m]	Tot. inhoud wegconstr. [m3]
12,7	5,00	17,69	0,48	2530,0
13,8	5,00	18,75	0,51	2622,9
15,0	5,00	20,00	0,54	2735,6
16,5	5,00	21,50	0,58	2873,9
18,3	5,56	23,89	0,65	3193,3
20,6	6,25	26,88	0,73	3592,4
23,6	7,14	30,71	0,83	4105,6
27,5	8,33	35,83	0,97	4789,9
33,0	10,00	43,00	1,16	5747,9
41,3	12,50	53,75	1,45	7184,9
55,0	16,67	71,67	1,94	9579,8
82,5	25,00	107,50	2,91	14369,7



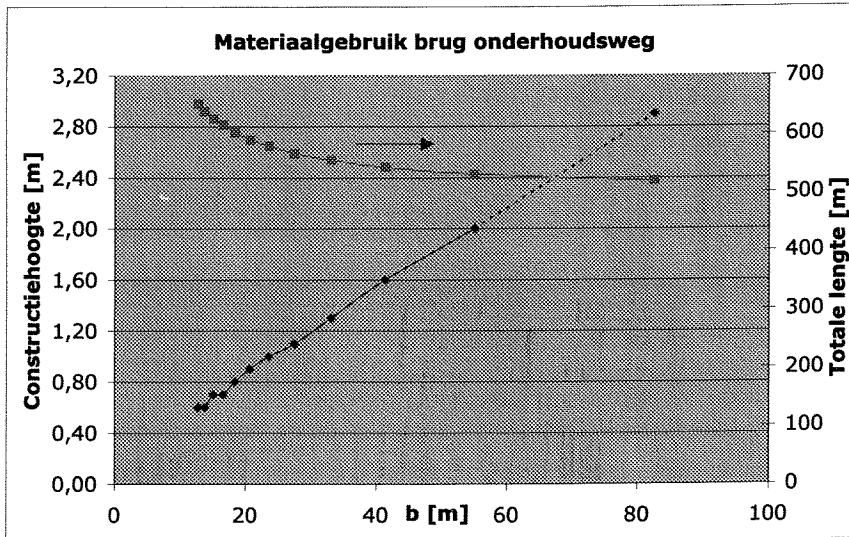
Relatie: $Mat.weg1 = 0,62 * (b + Bpijler)^2 * NB / b$

2. Onderhoudsweg (t.b.v. afstempeling kranen)
 breedte: 4,5 m
 Constructiemethode: prefab kokerligger SKK



b [m]	Overspanning [m]	Geschatte constr. hoogte [m]	Benodigd materiaal [type]	Benodigd materiaal (lengte) [m]	Benodigd materiaal (aantal) [st]	Tot. aantal strekk. meter [st]*[m]=[m]
12,7	16,7	0,60	SKK	600	39	651,00
13,8	17,8	0,60	SKK	600	36	639,00
15,0	19,0	0,70	SKK	700	33	627,00
16,5	20,5	0,70	SKK	700	30	615,00
18,3	22,3	0,80	SKK	800	27	603,00
20,6	24,6	0,90	SKK	900	24	591,00
23,6	27,6	1,00	SKK	1000	21	579,00
27,5	31,5	1,10	SKK	1100	18	567,00
33,0	37,0	1,30	SKK	1300	15	555,00
41,3	45,3	1,60	SKK	1600	12	543,00
55,0	59,0	2,00	ander type	59,00	9	531,00
82,5	86,5	2,90	ander type	86,50	6	519,00

Relatie: $Mat, weg2, hoogte = 1/30 * b + 0,133$
 $Mat, weg2, lengte = 12 * NB / b + 3 * NB$



x30: Energieverbruik bewegingswerken per levenscyclus

Cap,bew [kW]	E,bew [kWh]
80	26,67
100	33,33
120	40,00
140	46,67
160	53,33
180	60,00
200	66,67
220	73,33
240	80,00
260	86,67
280	93,33
300	100,00
320	106,67

Definitie: 1 operatie staat voor het sluiten en weer openen van 100% van de spuibreedte
Relatie: $E_{,bew} = 0,333 * Cap_{,bew}$

b [m]	# schuifbeweg. per jaar t=0 rek. gem. [st]	# schuifbeweg. per jaar t=0 rek.met afr. [st]	# schuifbeweg. per jaar t=50 (=100% v cap) [st]	gem. # schuif- bewegingen per jaar rek.gem [st]	gem. # schuif- bewegingen per jaar rek.met afr. [st]	gem # schuif bewegingen in 50 jaar tijd [st]	# operaties in 50 jaar tijd (zie definitie) [st]
12,7	4713	4750	9100	6925	6906	345781	26599
13,8	4350	4350	8400	6375	6375	318750	26563
15,0	3988	4050	7700	5875	5844	292969	26634
16,5	3625	3750	7000	5375	5313	267188	26719
18,3	3263	3300	6300	4800	4781	239531	26615
20,6	2900	2900	5600	4250	4250	212500	26563
23,6	2538	2600	4900	3750	3719	186719	26674
27,5	2175	2300	4200	3250	3188	160938	26823
33,0	1813	1850	3500	2675	2656	133281	26656
41,3	1450	1450	2800	2125	2125	106250	26563
55,0	1088	1150	2100	1625	1594	80469	26823
82,5	725	850	1400	1125	1063	54688	27344

Relatie: $Bew_{,bew} = 0,1917 * b^2 - 8,4556 * b + 26720$

x34: Materiaalgebruik bodembescherming

v	raai 0	raai 1	raai 2	raai 3	raai 4	raai 5	raai 6	raai 7	raai 8	raai 9	raai 10
-5,0	0,873	1,198	2,481	2,482	4,736	4,923	5,951	1,747	1,75	0,757	0,757
-5,5	0,9865	1,268	2,631	2,632	5,046	5,125	6,096	1,877	1,88	0,857	0,857
-6,0	1,105	1,335	2,774	2,776	5,35	5,32	6,104	2,01	2,013	0,965	0,965
-6,5	1,22	1,39	2,891	2,892	5,576	5,433	6,175	2,092	2,095	1,053	1,054
-7,0	1,35	1,454	3,029	3,031	5,883	5,636	6,448	2,228	2,231	1,175	1,176
-7,5	1,46	1,551	3,213	3,214	5,981	5,795	6,558	2,298	2,301	1,261	1,261
-8,0											
-8,5											
-9,0											

v * f, I	raai 0	raai 1	raai 2	raai 3	raai 4	raai 5	raai 6	raai 7	raai 8	raai 9	raai 10
-5,0	0,96	1,32	2,73	2,73	5,21	5,42	6,55	1,92	1,93	0,83	0,83
-5,5	1,09	1,39	2,89	2,90	5,55	5,64	6,71	2,06	2,07	0,94	0,94
-6,0	1,22	1,47	3,05	3,05	5,89	5,85	6,71	2,21	2,21	1,06	1,06
-6,5	1,34	1,53	3,18	3,18	6,13	5,98	6,79	2,30	2,30	1,16	1,16
-7,0	1,49	1,60	3,33	3,33	6,47	6,20	7,09	2,45	2,45	1,29	1,29
-7,5	1,61	1,71	3,53	3,54	6,58	6,37	7,21	2,53	2,53	1,39	1,39
-8,0											
-8,5											
-9,0											

raai		6,5-7	7-7,5	7,5-8	8-9	9-10
afstand[m]	0 tot 40	40-80	80-150	150-220	220-350	350-500
v						
-5,0	6,55	4,23	3,46	1,93	1,38	0,83
-5,5	6,71	4,39	3,61	2,07	1,50	0,94
-6,0	6,71	4,46	3,71	2,21	1,64	1,06
-6,5	6,79	4,55	3,80	2,30	1,73	1,16
-7,0	7,09	4,77	4,00	2,45	1,87	1,29
-7,5	7,21	4,87	4,09	2,53	1,96	1,39
-8,0						
-8,5						
-9,0						

raai		6,5-7	7-7,5	7,5-8	8-9	9-10
afstand[m]	0 tot 40	40-80	80-150	150-220	220-350	350-500
d						
-5,0	OWB	0,78	0,52	0,16	0,08	0,03
-5,5	OWB	0,83	0,56	0,18	0,10	0,04
-6,0	OWB	0,86	0,60	0,21	0,12	0,05
-6,5	OWB	0,89	0,62	0,23	0,13	0,06
-7,0	OWB	0,98	0,69	0,26	0,15	0,07
-7,5	OWB	1,03	0,72	0,28	0,17	0,08
-8,0	OWB					
-8,5	OWB					
-9,0	OWB					

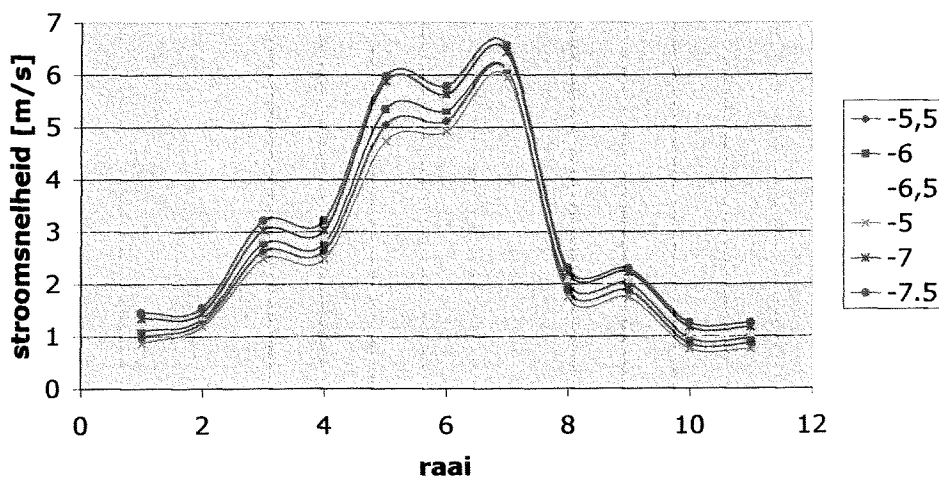
raai		6,5-7	7-7,5	7,5-8	8-9	9-10
afstand[m]	0 tot 40	40-80	80-150	150-220	220-350	350-500
M						
-5,0	OWB	646	194	6	82	30
-5,5	OWB	798	250	9	98	38
-6,0	OWB	886	294	13	116	49
-6,5	OWB	992	338	17	130	58
-7,0	OWB	1325	459	25	5	72
-7,5	OWB	1499	526	30	6	83
-8,0	OWB					
-8,5	OWB					
-9,0	OWB					

raai		6,5-7	7-7,5	7,5-8	8-9	9-10
afstand[m]	0 tot 40	40-80	80-150	150-220	220-350	350-500
Categorie						
-5,0	OWB	B	C	E	F	G
-5,5	OWB	B	C	E	F	G
-6,0	OWB	B	B	D	F	G
-6,5	OWB	B	B	D	F	G
-7,0	OWB	A	B	D	E	F
-7,5	OWB	A	B	D	E	F
-8,0	OWB	A	B	C	E	F
-8,5	OWB	A	B	C	D	E
-9,0	OWB	A	A	B	D	E

cursief is in mm

Categorie	'korrel'
A	1000-3000kg
B	300-1000kg
C	60-300kg
D	10-60kg
E	5-40kg
F	40/100mm
G	30/60mm
K	extrapolatie kg/m2

Stroomsnelheden bij raai i-1 bij verschillende bodemliggingen



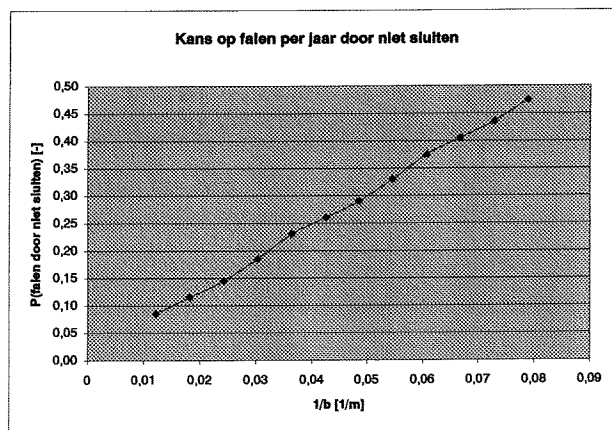
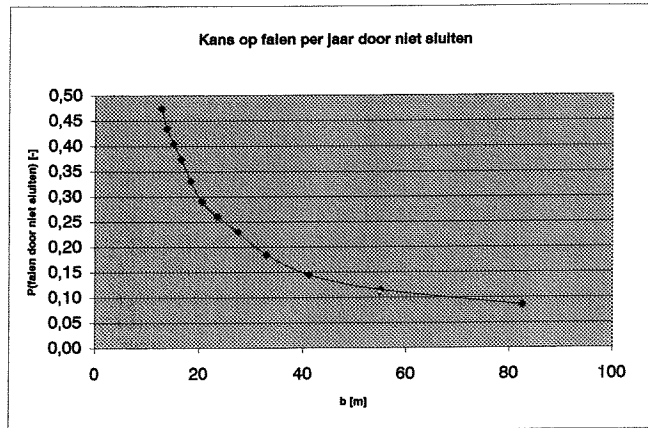
x35: Onderhoud bodembescherming

Schade aan bodembescherming bij niet-sluitende schuif

A: Kans op een weigerende schuif

kans op niet sluiten van een schuif 1,00E-04

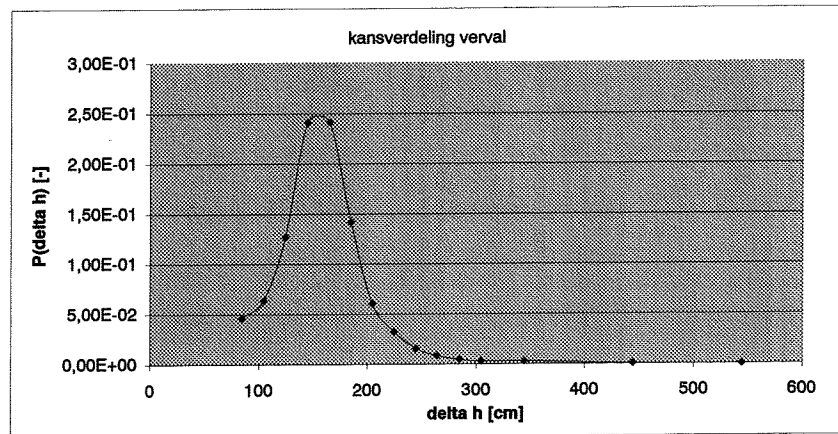
b [m]	percentage van max. spulcapaciteit					Aantal schuif bewegingen per jaar [st]	Kans op falen per jaar door niet sluiten 1 schuif
	0%: 150x p.i.	25%:150xp.i.	50%:100xp.i.	75%:100xp.i.	100%:200xp.i.		
	150	150	100	100	200		
12,7	0	3	7	10	13	4750	0,48
13,8	0	3	6	9	12	4350	0,44
15,0	0	3	6	8	11	4050	0,41
16,5	0	3	5	8	10	3750	0,38
18,3	0	2	5	7	9	3300	0,33
20,6	0	2	4	6	8	2900	0,29
23,6	0	2	4	5	7	2600	0,26
27,5	0	2	3	5	6	2300	0,23
33,0	0	1	3	4	5	1850	0,19
41,3	0	1	2	3	4	1450	0,15
55,0	0	1	2	2	3	1150	0,12
82,5	0	1	1	2	2	850	0,09



Conclusie: Nagenoeg lineaire afhankelijkheid van kans op falen t.o.v. 1/b
 (#schuifbewegingen_per_jaar=51617 * b^-0,9444)

B: Kans op een bepaald verval vanuit Waddenzee

delta h [cm]	P(delta h) [-]
84,5	4,67E-02
104,5	6,37E-02
124,5	1,27E-01
144,5	2,41E-01
164,5	2,41E-01
184,5	1,42E-01
204,5	6,02E-02
224,5	3,26E-02
244,5	1,56E-02
264,5	8,50E-03
284,5	4,60E-03
304,5	2,83E-03
344,5	2,80E-03
444,5	3,69E-04
544,5	1,63E-05



C: Kans op een bepaald verval vanuit Waddenzee gecombineerd met de faalkans van de schuiven bij verschillende schuifbreedtes
zie volgende pagina

D: Omvang wegspoeling van bodembescherming

Afhankelijkheid D t.o.v. verval : niet schuifbreedte-afhankelijk (afhankelijk van $\sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$)
 Afhankelijkheid D t.o.v. materiaal bodembescherming : niet schuifbreedte-afhankelijk
 Afhankelijkheid D t.o.v. schuifbreedte : lineair afhankelijk van schuifbreedte
Conclusie: Totaal van afhankelijkheden: lineair afhankelijk van schuifbreedte

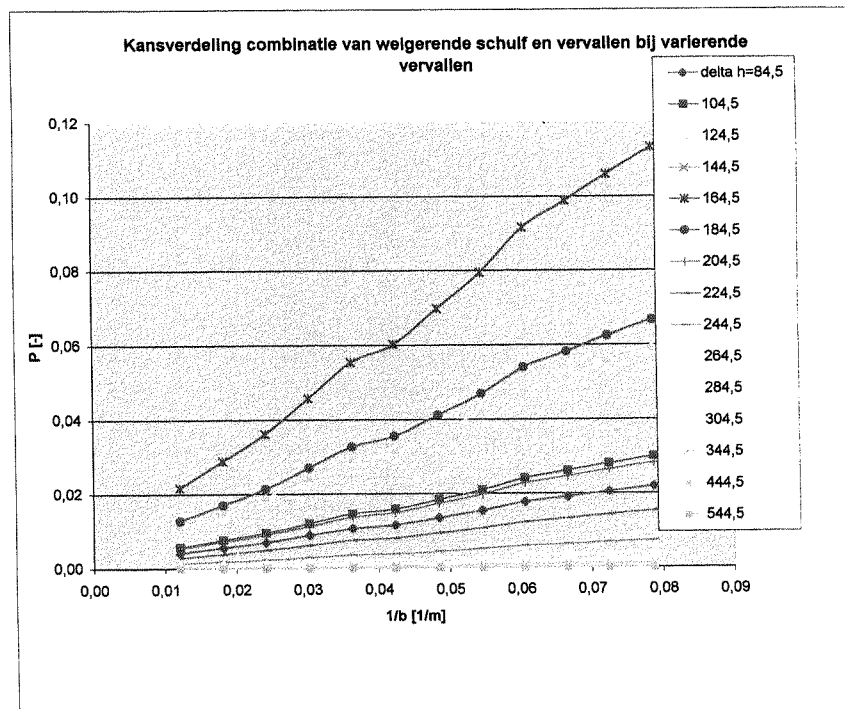
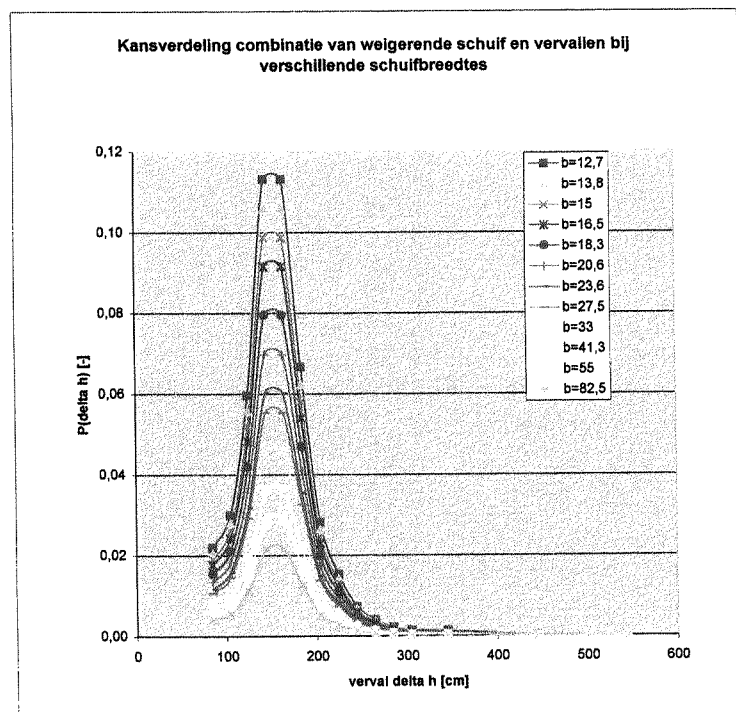
E: Schade aan bodembescherming

Deze variabele is te zien als het risico, met $\text{risico} = \text{kans} \cdot \text{gevolg}$; met kans is beschreven bij C en gevolg beschreven bij D;
 daarom $\text{Schade} = \text{Risiko} = \text{Kans} \cdot \text{Gevolg} = C \cdot D \Rightarrow C \cdot D \sim 1/b \cdot b = 1$
 Dit betekent dat de verwachte schade aan de bodembescherming onafhankelijk is van de schuifbreedte

x35: Onderhoud bodembescherming

Kans op een bepaald verval vanuit Waddenzee gecombineerd met de faalkans van de schuiven bij verschillende schuifbreedtes

delta h [cm]	kans op combinatie weigerende schuif en variërende delta h bij verschillende schuifbreedtes												
	b	12,7	13,8	15,0	16,5	18,3	20,6	23,6	27,5	33,0	41,3	55,0	82,5
	1/b	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
	P(weigeren schuif)	0,48	0,44	0,41	0,38	0,33	0,29	0,26	0,23	0,19	0,15	0,12	0,09
84,5		2,2E-02	2,0E-02	1,9E-02	1,8E-02	1,5E-02	1,4E-02	1,2E-02	1,1E-02	8,6E-03	6,8E-03	5,4E-03	4,0E-03
104,5		3,0E-02	2,8E-02	2,6E-02	2,4E-02	2,1E-02	1,8E-02	1,7E-02	1,5E-02	1,2E-02	9,2E-03	7,3E-03	5,4E-03
124,5		6,0E-02	5,5E-02	5,1E-02	4,8E-02	4,2E-02	3,7E-02	3,3E-02	2,9E-02	2,3E-02	1,8E-02	1,5E-02	1,1E-02
144,5		1,1E-01	1,0E-01	9,8E-02	9,0E-02	8,0E-02	7,0E-02	6,3E-02	5,5E-02	4,5E-02	3,5E-02	2,8E-02	2,0E-02
164,5		1,1E-01	1,0E-01	9,8E-02	9,0E-02	8,0E-02	7,0E-02	6,3E-02	5,5E-02	4,5E-02	3,5E-02	2,8E-02	2,0E-02
184,5		6,7E-02	6,2E-02	5,8E-02	5,3E-02	4,7E-02	4,1E-02	3,7E-02	3,3E-02	2,6E-02	2,1E-02	1,6E-02	1,2E-02
204,5		2,9E-02	2,6E-02	2,4E-02	2,3E-02	2,0E-02	1,7E-02	1,6E-02	1,4E-02	1,1E-02	8,7E-03	6,9E-03	5,1E-03
224,5		1,5E-02	1,4E-02	1,3E-02	1,2E-02	1,1E-02	9,5E-03	8,5E-03	7,5E-03	6,0E-03	4,7E-03	3,7E-03	2,8E-03
244,5		7,4E-03	6,8E-03	6,3E-03	5,9E-03	5,1E-03	4,5E-03	4,1E-03	3,6E-03	2,9E-03	2,3E-03	1,8E-03	1,3E-03
264,5		4,0E-03	3,7E-03	3,4E-03	3,2E-03	2,8E-03	2,5E-03	2,2E-03	2,0E-03	1,6E-03	1,2E-03	9,8E-04	7,2E-04
284,5		2,2E-03	2,0E-03	1,9E-03	1,7E-03	1,5E-03	1,3E-03	1,2E-03	1,1E-03	8,5E-04	6,7E-04	5,3E-04	3,9E-04
304,5		1,3E-03	1,2E-03	1,1E-03	1,1E-03	9,3E-04	8,2E-04	7,4E-04	6,5E-04	5,2E-04	4,1E-04	3,3E-04	2,4E-04
344,5		1,3E-03	1,2E-03	1,1E-03	1,1E-03	9,2E-04	8,1E-04	7,3E-04	6,4E-04	5,2E-04	4,1E-04	3,2E-04	2,4E-04
444,5		1,8E-04	1,6E-04	1,5E-04	1,4E-04	1,2E-04	1,1E-04	9,6E-05	8,5E-05	6,8E-05	5,4E-05	4,2E-05	3,1E-05
544,5		7,7E-06	7,1E-06	6,6E-06	6,1E-06	5,4E-06	4,7E-06	4,2E-06	3,7E-06	3,0E-06	2,4E-06	1,9E-06	1,4E-06



Conclusie: Nagenoeg lineaire afhankelijkheid van combinatie van kans op falen met weigerende schuif t.o.v. 1/b

Paragraaf 7.9 Onderdeel A: Risico's bij weigerende (=niet sluitende) schuif, I

Invloed van de schuifbreedte op de grootte van een IJsselmeerpeil-stijging bij een weigerende schuif situatie

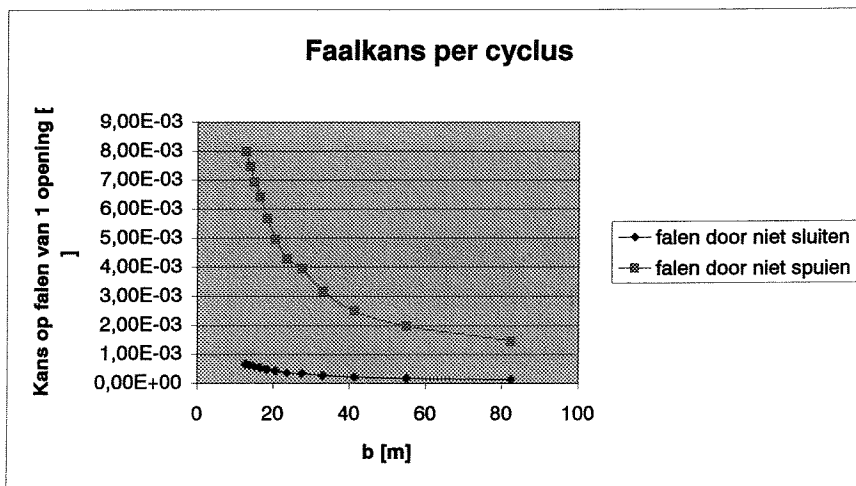
1. Kans dat een schuif weigert a.g.v. weigerende bewegingswerken

Afhankelijk van betrouwbaarheid en aantal van bewegingswerken

(on)betrouwbaarheid sluitingsoperatie	1 opening	1,00E-04
(on)betrouwbaarheid openingsoperatie	1 opening	1,20E-03

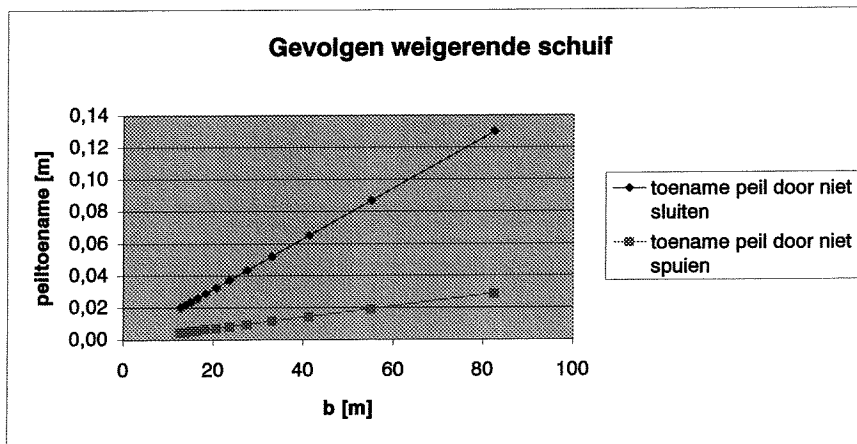
b [m]	percentage van max. spuicapaciteit				
	0%: 150x p.j.	25%:150xp.j.	50%:100xp.j.	75%:100xp.j.	100%:200xp.j.
	150	150	100	100	200
	0	25	50	75	100
12,7	0	3	7	10	13
13,8	0	3	6	9	12
15,0	0	3	6	8	11
16,5	0	3	5	8	10
18,3	0	2	5	7	9
20,6	0	2	4	6	8
23,6	0	2	4	5	7
27,5	0	2	3	5	6
33,0	0	1	3	4	5
41,3	0	1	2	3	4
55,0	0	1	2	2	3
82,5	0	1	1	2	2

b [m]	Aantal operaties per jaar	Kans op falen van 1 opefing per jaar door niet sluiten	Kans op falen van 1 opening per cyclus door niet sluiten	Kans op falen van 1 opening per jaar door niet spuien	Kans op falen van 1 opening per cyclus door niet spuien
12,7	4750	0,48	6,79E-04	5,70	8,14E-03
13,8	4350	0,44	6,21E-04	5,22	7,46E-03
15,0	4050	0,41	5,79E-04	4,86	6,94E-03
16,5	3750	0,38	5,36E-04	4,50	6,43E-03
18,3	3300	0,33	4,71E-04	3,96	5,66E-03
20,6	2900	0,29	4,14E-04	3,48	4,97E-03
23,6	2600	0,26	3,71E-04	3,12	4,46E-03
27,5	2300	0,23	3,29E-04	2,76	3,94E-03
33,0	1850	0,19	2,64E-04	2,22	3,17E-03
41,3	1450	0,15	2,07E-04	1,74	2,49E-03
55,0	1150	0,12	1,64E-04	1,38	1,97E-03
82,5	850	0,09	1,21E-04	1,02	1,46E-03



2. Gevolgen van een weigerende schuif

b	aantal m3 door niet sluiten van 1 opening bij verval 7m [x10 ⁶ m3]	Toename peil IJsselmeer [m]	aantal m3 door niet spuien van 1 opening bij verval 1m [x10 ⁶ m3]	Toename peil IJsselmeer [m]
12,7	23,98	0,02	5,31	0,00
13,8	25,98	0,02	5,75	0,00
15,0	28,34	0,02	6,28	0,01
16,5	31,17	0,03	6,90	0,01
18,3	34,64	0,03	7,67	0,01
20,6	38,96	0,03	8,63	0,01
23,6	44,53	0,04	9,86	0,01
27,5	51,95	0,04	11,51	0,01
33,0	62,34	0,05	13,81	0,01
41,3	77,93	0,06	17,26	0,01
55,0	103,91	0,09	23,01	0,02
82,5	155,86	0,13	34,52	0,03

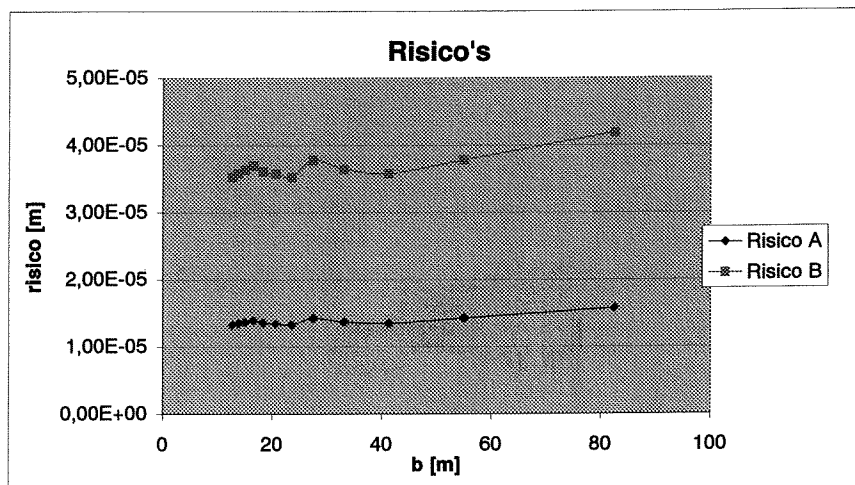


3. Risico

A : Risico = (kans x gevolg) als invloed van een weigerende schuif (niet sluiten) op toename IJsselmeerpeil

B : Risico = (kans x gevolg) als invloed van een weigerende schuif (niet spuien) op toename IJsselmeerpeil

b [m]	A [m]	B [m]
12,7	1,36E-05	3,60E-05
13,8	1,35E-05	3,57E-05
15,0	1,37E-05	3,63E-05
16,5	1,39E-05	3,70E-05
18,3	1,36E-05	3,62E-05
20,6	1,35E-05	3,57E-05
23,6	1,38E-05	3,66E-05
27,5	1,42E-05	3,78E-05
33,0	1,37E-05	3,65E-05
41,3	1,35E-05	3,57E-05
55,0	1,42E-05	3,78E-05
82,5	1,58E-05	4,19E-05



4. Conclusie

Afgeleid is het risico op een IJsselmeerpeilstijging uitgedrukt in meters waterstijging. Het risico varieert licht met de schuifbreedte; echter de absolute waarde van het risico bedraagt nooit meer dan $4,2 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,042 \text{ mm}$. Een dergelijk lichte waterspiegelstijging is te verwaarlozen, waarmee verondersteld wordt aangetoond te hebben dat de risico's van een weigerende schuif op het IJsselmeerpeil van verwaarloosbare invloed zijn op de optimalisering van de schuifbreedte.

Paragraaf 7.9: Onderdeel B: Risico's bij weigerende (=niet sluitende) schuif, II

Invloed van de schuifbreedte op de grootte van het zoutbezwaar door lek en bij een weigerende schuif situatie

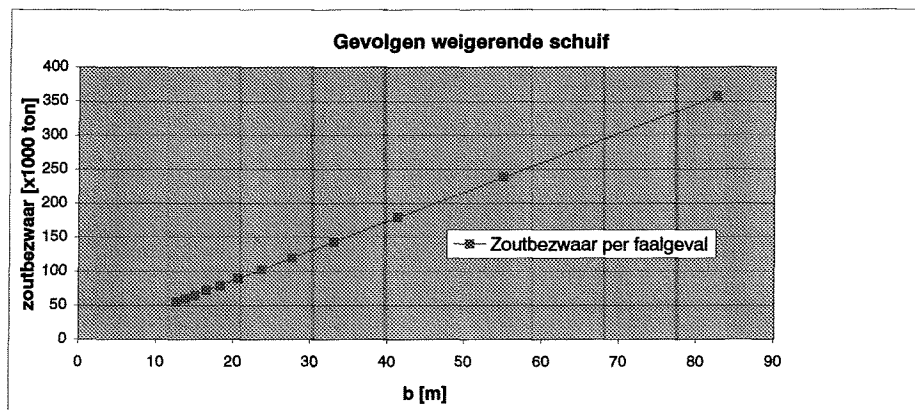
1. Kans dat een schuif weigert a.g.v. weigerende bewegingswerken

Afhankelijk van betrouwbaarheid, aantal bewegingswerken en aantal spul-operaties per jaar

(on)betrouwbaarheid sluitingsoperatie 1 opening 1,00E-04

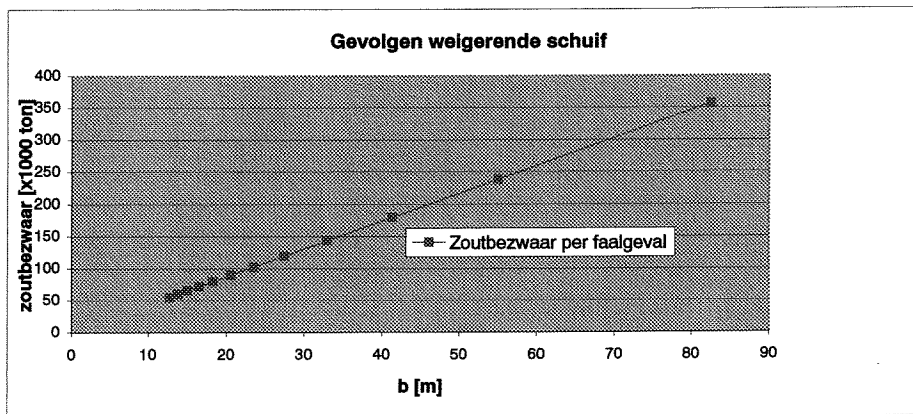
b [m]	percentage van max. spulcapaciteit				
	0%: 150x p.i.	25%: 150xp.i.	50%: 100xp.i.	75%: 100xp.i.	100%: 200xp.i.
	150	150	100	100	200
	0	25	50	75	100
12,7	0	3	7	10	13
13,8	0	3	6	9	12
15,0	0	3	6	8	11
16,5	0	3	5	8	10
18,3	0	2	5	7	9
20,6	0	2	4	6	8
23,6	0	2	4	5	7
27,5	0	2	3	5	6
33,0	0	1	3	4	5
41,3	0	1	2	3	4
55,0	0	1	2	2	3
82,5	0	1	1	2	2

b [m]	Aantal operaties per jaar	Kans op falen van 1 opening per jaar door niet sluiten	Kans op falen van 1 opening per cyclus door niet sluiten
12,7	4750	0,48	6,79E-04
13,8	4350	0,44	6,21E-04
15,0	4050	0,41	5,79E-04
16,5	3750	0,38	5,36E-04
18,3	3300	0,33	4,71E-04
20,6	2900	0,29	4,14E-04
23,6	2600	0,26	3,71E-04
27,5	2300	0,23	3,29E-04
33,0	1850	0,19	2,64E-04
41,3	1450	0,15	2,07E-04
55,0	1150	0,12	1,64E-04
82,5	850	0,09	1,21E-04



2. Gevolgen van een weigerende schuif

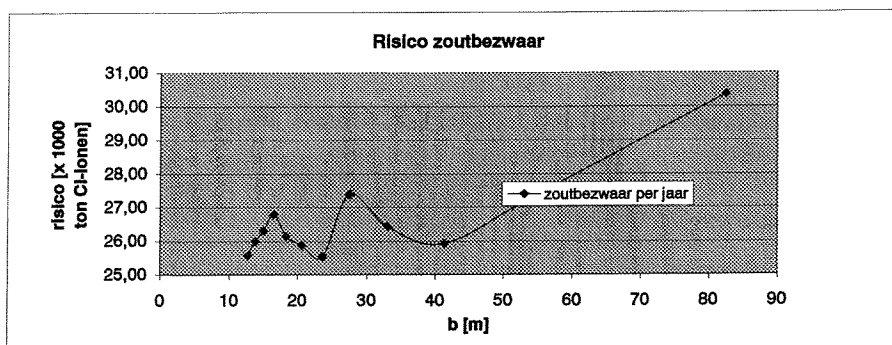
b [m]	Totale instroom zout water in IJsselmeer bij verval 1,2 m per faalgeval [$\times 10^6$ m ³]	Zoutbezwaar per faalgeval [10^3 tonnen Cl-ionen]
12,7	5,13	54,96
13,8	5,56	59,54
15,0	6,06	64,95
16,5	6,67	71,44
18,3	7,41	79,38
20,6	8,34	89,31
23,6	9,53	102,06
27,5	11,11	119,07
33,0	13,34	142,89
41,3	16,67	178,61
55,0	22,23	238,15
82,5	33,34	357,22



3. Risico

Risico = (kans x gevolg) als invloed van een weigerende schuif (niet sluiten) op zoutbezwaar

b [m]	Zoutbezwaar per faalgeval [10^3 tonnen Cl-ionen]	Kans op falen van 1 opening per jaar door niet sluiten	Zoutbezwaar per jaar [10^3 tonnen Cl-ionen]
12,7	54,96	0,48	26,10
13,8	59,54	0,44	25,90
15,0	64,95	0,41	26,30
16,5	71,44	0,38	26,79
18,3	79,38	0,33	26,20
20,6	89,31	0,29	25,90
23,6	102,06	0,26	26,54
27,5	119,07	0,23	27,39
33,0	142,89	0,19	26,43
41,3	178,61	0,15	25,90
55,0	238,15	0,12	27,39
82,5	357,22	0,09	30,36

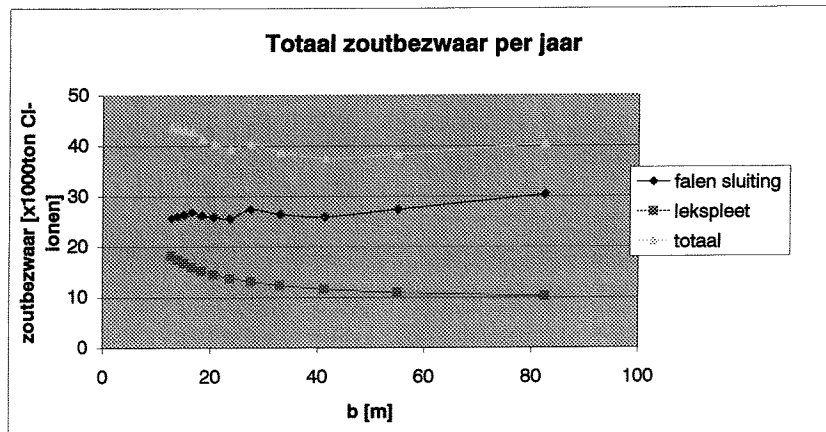


4. Zoutindringing langs lekspleet

b [m]	Volume water per cyclus [x 1000 m ³]	Volume water per jaar [x 10 ⁶ m ³]	Zoutbezwaar per jaar [x 1000ton Cl-ionen]	Zoutbezwaar per jaar bij gebruik van afdichtingsprofielen [x 1000ton Cl-ionen]
12,7	24,33	17,03	182,45	18,24
13,8	23,35	16,34	175,09	17,51
15,0	22,36	15,65	167,73	16,77
16,5	21,38	14,97	160,37	16,04
18,3	20,40	14,28	153,00	15,30
20,6	19,42	13,59	145,64	14,56
23,6	18,44	12,91	138,28	13,83
27,5	17,46	12,22	130,92	13,09
33,0	16,48	11,53	123,56	12,36
41,3	15,49	10,85	116,20	11,62
55,0	14,51	10,16	108,84	10,88
82,5	13,53	9,47	101,48	10,15

5. Totaal zoutbezwaar per jaar

b [m]	Zoutbezwaar door falen sluiting [x 1000ton Cl-ionen]	Zoutbezwaar door lekspleet [x 1000ton Cl-ionen]	Zoutbezwaar totaal [x 1000ton Cl-ionen]
12,7	26,10	18,24	44,35
13,8	25,90	17,51	43,41
15,0	26,30	16,77	43,08
16,5	26,79	16,04	42,83
18,3	26,20	15,30	41,50
20,6	25,90	14,56	40,46
23,6	26,54	13,83	40,36
27,5	27,39	13,09	40,48
33,0	26,43	12,36	38,79
41,3	25,90	11,62	37,52
55,0	27,39	10,88	38,27
82,5	30,36	10,15	40,51



9. Optimalisatiemodel in MathCad

Model optimalisatie schuifafmetingen bij NB(VO) = 165 m

Begingegevens

ORIGIN = 1

n := 2.. 13

N1 := 1.5

N2 := 500, 510.. 900

$N3(N2) := \left(\frac{-N2}{100}\right) - 4.5$

r := 0.04

tb := 4

te := 50

R1 := 0

R2 := 0

R3 := 0

R4 := 0

R5 := 0

$NB1(N2) := 0.0233 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right)^4 + 2.2352 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right)^3 + 46.185 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right)^2 + 372.49 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right) + 1207.8$

$NB2(N2) := \frac{-19.2 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right) - 124.8}{-0.4 - \left(\frac{-N2}{100}\right)}$

$NB(N2) := NB1(N2) + NB2(N2)$

$b(N2, n) := \frac{NB(N2)}{n}$

Benoeming variabelen

Var	Cat.	Beschrijving
x1	A	Vaste kosten bovenbalk
x2	A	Materiaalgebruik bovenbalk : Voorspanstaal
x3	A	Materiaalgebruik bovenbalk : Beton
x4	A	Materieelgebruik bovenbalk : Bekisting
x5	A	Materieelgebruik bovenbalk : Ondersteuningsconstructie
x6	A	Vaste kosten pijler
x7	A	Materiaalgebruik pijler : beton
x8	A	Materiaalgebruik pijler : Wapeningsstaal
x9	A	Aantal heipalen
x10	A	Materiaalgebruik spuisluisbodern
x11	A	Materiaalgebruik onderwaterbetonvloeren
x12	A	Oppervlakte damwanden
x13	A	Vaste kosten schuiven
x14	A	Materiaalgebruik schuiven
x15	A	Transportmaterieel : Hijskranen
x16	A	Transportmaterieel : Bokken
x17	B	Onderhoud schuiven
x18	A	Omvang geleidingen en afdichtingen schuiven
x19	B	Onderhoud geleidingen en afdichtingen
x20	A	Vaste kosten verkeersweg
x21	A	Materiaalgebruik verkeersweg : Beton
x22	A	Materieelgebruik verkeersweg : Ondersteuningsconstructie
x23	A	Materieelgebruik verkeersweg : Bekisting
x24	A	Afbouw wegen
x25	A	Vaste kosten onderhoudsweg
x26	A	Materiaalgebruik verkeersweg : Prefab Beton
x27	A	Materieelgebruik verkeersweg : Hijskranen
x28	A	Capaciteit bewegingswerken
x29	B	Onderhoud bewegingswerken
x30	C	Energieverbruik bewegingswerken
x31	A	Omvang elektro-installatie
x32	B	Onderhoud elektro-installatie
x33	A	Vaste kosten bodembescherming
x34	A	Materiaalgebruik bodembescherming
x35	B	Onderhoud bodembescherming
x36	A	Materiaalgebruik leidammen
x37	A	Grondwerk Afsluitdijk
x38	A	Grondwerk Ringdijk
x39	A	Grondwerk bouwput
x40	A	Baggerwerk
x41	A	Bemalingsvolume
x42	A	Capaciteit bemalingspompen
x43	C	Energieverbruik bemalingspompen

Vergelijkingen

Hulpvariabelen

$$y1(N2, n) := \begin{cases} 5 & \text{if } 0.303 \cdot b(N2, n) < 5 \\ 0.303 \cdot b(N2, n) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{BrBr}(N2, n) := (\text{NB}(N2) + y1(N2, n) \cdot (n + 1))$$

$$y2(N2, n) := 1.1 \cdot \text{BrBr}(N2, n)$$

$$y3(N2, n) := \begin{cases} 6 \cdot 10^{-5} \cdot b(N2, n)^4 - 0.003 \cdot b(N2, n)^3 + 0.083 \cdot b(N2, n)^2 + 1.565 \cdot b(N2, n) + 22.51 & \text{if } b(N2, n) \leq 55 \\ 30 \cdot (b(N2, n) - 55) + 400 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y4(N2, n) := 335 \cdot y1(N2, n) - 44.54 \cdot -N2/100 \cdot y1(N2, n)$$

$$y5(N2, n) := 40.957 \cdot y1(N2, n) - 18$$

$$y6(N2, n) := 27.47 \cdot \text{BrBr}(N2, n) - 1135.3 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right) + 3973.5$$

$$y7(N2, n) := \left[174.35 - 6.325 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right) \right] \cdot (y1(N2, n) - 5)$$

$$y8(N2, n) := \begin{cases} \frac{1}{30} \cdot b(N2, n) + \frac{4}{30} & \text{if } \left(\frac{1}{30} \cdot b(N2, n) + \frac{4}{30}\right) \leq 2.0 \\ \left[1.5 \cdot \left(\frac{1}{30} \cdot b(N2, n) + \frac{4}{30}\right) \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x14a1a(N2, n) := \left[-0.688 \cdot N1^2 - 0.076 \cdot \left(\frac{N2}{100}\right)^2 + 10.62 \cdot N1 - 13.83 \cdot \frac{-N2}{100} + 3.4 \right] \cdot b(N2, n)^2 + 187.5 \cdot b(N2, n) - 937.5$$

$$x14a1b(N2, n) := (4.648 + 0.01921 \cdot b(N2, n)) \cdot 1.1737 \cdot 10^{-5} \cdot x14a1a(N2, n)$$

$$x14a2(N2, n) := (0.4 \cdot b(N2, n) + 1) \cdot (N1 - -N2/100 + 0.5) \cdot (5 \cdot 10^{-6} \cdot b(N2, n)^2 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot b(N2, n) + 3 \cdot 10^{-4})$$

$$x14a3(N2, n) := 0.03 \cdot (N1 - -N2/100 + 0.5) \cdot b(N2, n) + 5$$

$$x14a(N2, n) := 7.85 \cdot (x14a1b(N2, n) + x14a2(N2, n) + x14a3(N2, n))$$

$$x14(N2, n) := n \cdot x14a(N2, n)$$

Discipline Constructieve Waterbouw

Bovenbalken

$$x1(N2, n) := n$$

$$\alpha(N2, n) := \frac{(2.867 - 0.084 \cdot N1)}{(0.297 - 0.0245 \cdot N1)}$$

$$x2(N2, n) := 5.4829 \cdot 10^{-6} \cdot NB(N2) \cdot b(N2, n)^2 \cdot (0.477 \cdot N1^2 - 7.212 \cdot N1 + 42.29 + \alpha(N2, n))$$

$$x3(N2, n) := (11.95 - 1.05 \cdot N1) \cdot NB(N2)$$

$$x4(N2, n) := 39.61 \cdot b(N2, n) - 2.1 \cdot N1 \cdot b(N2, n) + 500$$

$$x5(N2, n) := b(N2, n)$$

Pijlers

$$x6(N2, n) := n + 1$$

$$x7(N2, n) := (n + 1) \cdot \left[1416.25 - 180.125 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) + \left[-0.4125 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) + 1.65 \right] \cdot (y1(N2, n))^2 + y7(N2, n) \right]$$

$$x8(N2, n) := 0.2 \cdot x7(N2, n) + (n + 1) \cdot (150 + 5 \cdot (y1(N2, n) - 5))$$

Fundering

$$x9(N2, n) := 2 \cdot y3(N2, n) \cdot n$$

Vloerconstructies

$$x10(N2, n) := 64.17 \cdot BrBr(N2, n)$$

$$x11(N2, n) := 70 \cdot BrBr(N2, n)$$

Damwanden

$$x12(N2, n) := 2.15 \cdot BrBr(N2, n) \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) + 33.05 \cdot BrBr(N2, n) + 14940$$

Discipline Staal

Schuiven

$$x13(N2, n) := n$$

$$x15(N2, n) := \begin{cases} 2 \cdot n \cdot (0.8333 \cdot x14a(N2, n)) & \text{if } x14a(N2, n) \leq 150 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x16(N2, n) := \begin{cases} n \cdot (1.25 \cdot x14a(N2, n)) & \text{if } x14a(N2, n) > 150 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x17(N2, n) := 0.03$$

Geleidingen en afdichtingen

$$x18(N2, n) := 4 \cdot n \cdot (N1 - N2/100 + 0.5 + b(N2, n))$$

$$x19(N2, n) := 0.03$$

Discipline Bruggen

Verkeersweg

$$x20(N2, n) := n$$

$$x21(N2, n) := 0.62 \cdot (b(N2, n) + y1(N2, n))^2 \cdot n$$

$$x22(N2, n) := b(N2, n) + 4$$

$$x23(N2, n) := (b(N2, n) + 4) \cdot \left[\frac{2}{37} \cdot (b(N2, n) + y1(N2, n) + 28.4) \right]$$

$$x24(N2, n) := \text{BrBr}(N2, n)$$

Onderhoudsweg

$$x25(N2, n) := n$$

$$x26(N2, n) := 1.8 \cdot y8(N2, n) \cdot n \cdot (b(N2, n) + 4)$$

$$x27(N2, n) := 2 \cdot 0.833 \cdot 2.4 \cdot x26(N2, n)$$

Discipline Installatietechniek

Bewegingswerken

$$x28(N2, n) := 0.3586 \cdot x14(N2, n)$$

$$x29(N2, n) := 74.24 \cdot x14(N2, n)$$

$$x30(N2, n) := (0.1917 \cdot b(N2, n)^2 - 8.4556 \cdot b(N2, n) + 26720) \cdot (0.333 \cdot x28(N2, n))$$

Elektro – installatie

$$x31(N2, n) := 0.7 + n \cdot 0.06$$

$$x32(N2, n) := (0.028 + 2.4 \cdot 10^{-3} \cdot n)$$

Discipline Waterbouw

Bodembescherming

$$x33(N2, n) := 1$$

$$x34(N2, n) := -\text{BrBr}(N2, n) \cdot 82.988 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right)$$

$$x35(N2, n) := 0.03$$

Geleidedammen

$$x36(N2, n) := 3 \cdot \left[6 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right]^2 + \left[6 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right]$$

Discipline Uitvoering

Grondwerk

$$x37a(N2, n) := 25000 \cdot \left[5 + \left(\frac{-N2}{100} \right) \right] + \left[5325 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right)^2 + 100000 \right]$$

$$x37(N2, n) := \left[2.5 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right)^2 - 77.5 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) + 301 \right] \cdot (\text{BrBr}(N2, n) + 160) + x37a(N2, n)$$

$$x38(N2, n) := \frac{31}{6} \cdot \left[\left[3 \cdot \left[1.5 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right]^2 + \left[1.5 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right] \right] \cdot 0.73 \cdot (\text{BrBr}(N2, n) + 160) \right]$$

$$x39(N2, n) := 130 \cdot \text{BrBr}(N2, n) \cdot \left[\left(\frac{-N2}{100} \right) - 2 \cdot N3(N2) - 3.4 \right]$$

$$x40(N2, n) := \left[-83.85 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) - 205.575 \right] \cdot \text{BrBr}(N2, n) + \left[7100 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right)^2 + 200000 \right]$$

Bemaling

$$x41(N2, n) := 2.75 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right)^2 \cdot \text{BrBr}(N2, n) - 7.892 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) \cdot \text{BrBr}(N2, n) + y6(N2, n)$$

$$x42(N2, n) := (0.2025 \cdot y2(N2, n) + 32.37) \cdot \left[\left(\frac{N2}{100} \right) + 3.5 \right]$$

$$x43(N2, n) := 0.939 \cdot x42(N2, n) + 238.33$$

Definiëren kosten

k1 := 40547.5	k23 := 64.5
k2 := 1950	k24 := 5047.6
k3 := 468.90	k25 := 19412
k4 := 172	k26 := 750
k5 := 500	k27 := 150
k6 := 21485	k28 := 8627.9
k7 := 147.41	k29 := 1
k8 := 975	k30 := 0.08
k9 := 1173.7	k31 := 5066036
k10 := 104.28	k32 := 1
k11 := 119.68	k33 := 1239167
k12 := 151.9	k34 := 21
k13 := 124598	k35 := 1
k14 := 3060	k36 := 6574
k15 := 150	k37 := 7.14
k16 := 400	k38 := 6.108
k17 := 1	k39 := 6.05
k18 := 317.65	k40 := 13.91
k19 := 1	k41 := 0.045
k20 := 57060	k42 := 3054.34
k21 := 567.23	k43 := 80
k22 := 125	

Bepaling onderdelen kostentabel Ai, Bi, Ci

Discipline Constructieve Waterbouw

Bovenbalken

$$AC1(N2, n) := x1(N2, n) \cdot k1 + x2(N2, n) \cdot k2 + x3(N2, n) \cdot k3 + x4(N2, n) \cdot k4 + x5(N2, n) \cdot k5$$

$$BC1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AC1(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CC1(N2, n) := 0$$

Pijlers

$$AC2(N2, n) := x6(N2, n) \cdot k6 + x7(N2, n) \cdot k7 + x8(N2, n) \cdot k8$$

$$BC2(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AC2(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CC2(N2, n) := 0$$

Fundering

$$AC3(N2, n) := x9(N2, n) \cdot k9$$

$$BC3(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AC3(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CC3(N2, n) := 0$$

Vloerconstructies

$$AC4(N2, n) := x10(N2, n) \cdot k10 + x11(N2, n) \cdot k11$$

$$BC4(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AC4(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CC4(N2, n) := 0$$

Damwanden

$$AC5(N2, n) := x12(N2, n) \cdot k12$$

$$BC5(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.02 \cdot AC5(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CC5(N2, n) := 0$$

$$AC(N2, n) := AC1(N2, n) + AC2(N2, n) + AC3(N2, n) + AC4(N2, n) + AC5(N2, n)$$

$$BC(N2, n) := BC1(N2, n) + BC2(N2, n) + BC3(N2, n) + BC4(N2, n) + BC5(N2, n)$$

$$CC(N2, n) := CC1(N2, n) + CC2(N2, n) + CC3(N2, n) + CC4(N2, n) + CC5(N2, n)$$

Discipline Staal

Schuiven

$$AS1(N2, n) := x13(N2, n) \cdot k13 + x14(N2, n) \cdot k14 + x15(N2, n) \cdot k15 + x16(N2, n) \cdot k16$$

$$BS1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x17(N2, n) \cdot AS1(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CS1(N2, n) := 0$$

Geleidingen en afdichtingen

$$AS2(N2, n) := x18(N2, n) \cdot k18$$

$$BS2(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x19(N2, n) \cdot AS2(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CS2(N2, n) := 0$$

$$AS(N2, n) := AS1(N2, n) + AS2(N2, n)$$

$$BS(N2, n) := BS1(N2, n) + BS2(N2, n)$$

$$CS(N2, n) := CS1(N2, n) + CS2(N2, n)$$

Discipline Bruggen

Verkeersweg

$$AB1a(N2, n) := x22(N2, n) \cdot k22 + x23(N2, n) \cdot k23 + x24(N2, n) \cdot k24$$

$$AB1(N2, n) := x20(N2, n) \cdot k20 + x21(N2, n) \cdot k21 + AB1a(N2, n)$$

$$BB1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AB1(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CB1(N2, n) := 0$$

Onderhoudsweg

$$AB2(N2, n) := x25(N2, n) \cdot k25 + x26(N2, n) \cdot k26 + x27(N2, n) \cdot k27$$

$$BB2(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AB2(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CB2(N2, n) := 0$$

$$AB(N2, n) := AB1(N2, n) + AB2(N2, n)$$

$$BB(N2, n) := BB1(N2, n) + BB2(N2, n)$$

$$CB(N2, n) := CB1(N2, n) + CB2(N2, n)$$

Discipline Installatietechniek

Bewegingswerken

$$AI1(N2, n) := x28(N2, n) \cdot k28$$

$$BI1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x29(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CI1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x30(N2, n) \cdot k30}{(1+r)^t} dt$$

Elektro – installatie

$$AI2(N2, n) := x31(N2, n) \cdot k31$$

$$BI2(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x32(N2, n) \cdot AI2(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CI2(N2, n) := 0$$

$$AI(N2, n) := AI1(N2, n) + AI2(N2, n)$$

$$BI(N2, n) := BI1(N2, n) + BI2(N2, n)$$

$$CI(N2, n) := CI1(N2, n) + CI2(N2, n)$$

Discipline Waterbouw

Bodembescherming

$$AW1(N2, n) := x33(N2, n) \cdot k33 + x34(N2, n) \cdot k34$$

$$BW1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x35(N2, n) \cdot AW1(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CW1(N2, n) := 0$$

Leidammen

$$AW2(N2, n) := x36(N2, n) \cdot k36$$

$$BW2(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.02 \cdot AW2(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CW2(N2, n) := 0$$

$$AW(N2, n) := AW1(N2, n) + AW2(N2, n)$$

$$BW(N2, n) := BW1(N2, n) + BW2(N2, n)$$

$$CW(N2, n) := CW1(N2, n) + CW2(N2, n)$$

Discipline Uitvoering

Grondwerk

$$AU1(N2, n) := x37(N2, n) \cdot k37 + x38(N2, n) \cdot k38 + x39(N2, n) \cdot k39 + x40(N2, n) \cdot k40$$

$$BU1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.02 \cdot x40(N2, n) \cdot k40}{(1+r)^t} dt$$

$$CU1(N2, n) := 0$$

Bemaling

$$AU2(N2, n) := x41(N2, n) \cdot k41 + x42(N2, n) \cdot k42$$

$$BU2(N2, n) := 0$$

$$CU2(N2, n) := \int_0^{tb} \frac{x43(N2, n) \cdot k43}{(1+r)^t} dt$$

$$AU(N2, n) := AU1(N2, n) + AU2(N2, n)$$

$$BU(N2, n) := BU1(N2, n) + BU2(N2, n)$$

$$CU(N2, n) := CU1(N2, n) + CU2(N2, n)$$

Berekening Staartkosten

$$DC(N2, n) := 1.19 \cdot (1.2 \cdot (1.1 \cdot (1 + 0.052 + 0.11 + 0.035 + 0.084 + 0.068) \cdot AC(N2, n))) \quad YC := 2.1190$$

$$DS(N2, n) := 1.19 \cdot ((1 + 0.02 + 0.03 + 0.08 + 0.01 + 0.04 + 0.04) \cdot AS(N2, n)) \quad YS := 1.4518$$

$$DB(N2, n) := 1.19 \cdot 1.1 \cdot (1.2 \cdot (1.06 \cdot (1.08 \cdot (1 + 0.10 + 0.06 + 0.05 + 0.08)))) \cdot AB(N2, n) \quad YB := 2.3197$$

$$DI(N2, n) := 1.19 \cdot ((1 + 0.02 + 0.03 + 0.08 + 0.10 + 0.03) \cdot AI(N2, n)) \quad YI := 1.4994$$

$$DW(N2, n) := 1.19 \cdot (1.2 \cdot (1.1 \cdot (1 + 0.05 + 0.05 + 0.14 + 0.08 + 0.06) \cdot AW(N2, n))) \quad YW := 2.1677$$

$$DU(N2, n) := 1.19 \cdot (1.2 \cdot (1.1 \cdot (1 + 0.052 + 0.11 + 0.035 + 0.084 + 0.068) \cdot AU(N2, n))) \quad YU := 2.1190$$

$$DC1(N2, n) := YC \cdot AC1(N2, n)$$

$$DB2(N2, n) := YB \cdot AB2(N2, n)$$

$$DC2(N2, n) := YC \cdot AC2(N2, n)$$

$$DI1(N2, n) := YI \cdot AI1(N2, n)$$

$$DC3(N2, n) := YC \cdot AC3(N2, n)$$

$$DI2(N2, n) := YI \cdot AI2(N2, n)$$

$$DC4(N2, n) := YC \cdot AC4(N2, n)$$

$$DW1(N2, n) := YW \cdot AW1(N2, n)$$

$$DC5(N2, n) := YC \cdot AC5(N2, n)$$

$$DW2(N2, n) := YW \cdot AW2(N2, n)$$

$$DS1(N2, n) := YS \cdot AS1(N2, n)$$

$$DU1(N2, n) := YU \cdot AU1(N2, n)$$

$$DS2(N2, n) := YS \cdot AS2(N2, n)$$

$$DU2(N2, n) := YU \cdot AU2(N2, n)$$

$$DB1(N2, n) := YB \cdot AB1(N2, n)$$

$$Project_overall(N2, n) := R1(N2, n)$$

$$PVE(N2, n) := R2(b, N2)$$

$$Rest_lijsten_tov_VO(N2, n) := R3(N2, n)$$

$$BD(N2, n) := R4(b, N2)$$

$$Rest_MathCad_tov_VO(N2, n) := R5(N2, n)$$

$$R1(N2, n) := 4024580$$

$$R2(N2, n) := 1893647$$

$$R3(N2, n) := 2238724$$

$$R4(N2, n) := 13399995$$

$$R5(N2, n) := 3320415$$

$$R_tot(N2, n) := R1(N2, n) + R2(N2, n) + R3(N2, n) + R4(N2, n) + R5(N2, n)$$

Berekening Totaalkosten

$$KC1(N2, n) := DC1(N2, n) + BC1(N2, n) + CC1(N2, n)$$

$$KC2(N2, n) := DC2(N2, n) + BC2(N2, n) + CC2(N2, n)$$

$$KC3(N2, n) := DC3(N2, n) + BC3(N2, n) + CC3(N2, n)$$

$$KC4(N2, n) := DC4(N2, n) + BC4(N2, n) + CC4(N2, n)$$

$$KC5(N2, n) := DC5(N2, n) + BC5(N2, n) + CC5(N2, n)$$

$$KC(N2, n) := KC1(N2, n) + KC2(N2, n) + KC3(N2, n) + KC4(N2, n) + KC5(N2, n)$$

$$KS1(N2, n) := DS1(N2, n) + BS1(N2, n) + CS1(N2, n)$$

$$KS2(N2, n) := DS2(N2, n) + BS2(N2, n) + CS2(N2, n)$$

$$KS(N2, n) := KS1(N2, n) + KS2(N2, n)$$

$$KB1(N2, n) := DB1(N2, n) + BB1(N2, n) + CB1(N2, n)$$

$$KB2(N2, n) := DB2(N2, n) + BB2(N2, n) + CB2(N2, n)$$

$$KB(N2, n) := KB1(N2, n) + KB2(N2, n)$$

$$KI1(N2, n) := DI1(N2, n) + BI1(N2, n) + CI1(N2, n)$$

$$KI2(N2, n) := DI2(N2, n) + BI2(N2, n) + CI2(N2, n)$$

$$KI(N2, n) := KI1(N2, n) + KI2(N2, n)$$

$$KW1(N2, n) := DW1(N2, n) + BW1(N2, n) + CW1(N2, n)$$

$$KW2(N2, n) := DW2(N2, n) + BW2(N2, n) + CW2(N2, n)$$

$$KW(N2, n) := KW1(N2, n) + KW2(N2, n)$$

$$KU1(N2, n) := DU1(N2, n) + BU1(N2, n) + CU1(N2, n)$$

$$KU2(N2, n) := DU2(N2, n) + BU2(N2, n) + CU2(N2, n)$$

$$KU(N2, n) := KU1(N2, n) + KU2(N2, n)$$

$$\text{TTKA}(N2, n) := \text{DC}(N2, n) + \text{DS}(N2, n) + \text{DB}(N2, n) + \text{DI}(N2, n) + \text{DW}(N2, n) + \text{DU}(N2, n)$$

$$\text{TTTKA}(N2, n) := \text{TTKA}(N2, n) + \text{R_tot}(N2, n)$$

$$\text{K_cat_A}(N2, n) := \text{TTTKA}(N2, n)$$

K_cat_A = Totale Stichtingskosten

$$\text{TTKB}(N2, n) := \text{BC}(N2, n) + \text{BS}(N2, n) + \text{BB}(N2, n) + \text{BI}(N2, n) + \text{BW}(N2, n) + \text{BU}(N2, n)$$

$$\text{K_cat_B}(N2, n) := \text{TTKB}(N2, n)$$

K_cat_B = Totale Gekapitaliseerde Onderhoudskosten

$$\text{TTKC}(N2, n) := \text{CC}(N2, n) + \text{CS}(N2, n) + \text{CB}(N2, n) + \text{CI}(N2, n) + \text{CW}(N2, n) + \text{CU}(N2, n)$$

$$\text{K_cat_C}(N2, n) := \text{TTKC}(N2, n)$$

K_cat_C = Totale Gekapitaliseerde Energiekosten

$$\text{Lifecycle_Kosten_Spuisluis}(N2, n) := \text{K_cat_A}(N2, n) + \text{K_cat_B}(N2, n) + \text{K_cat_C}(N2, n)$$

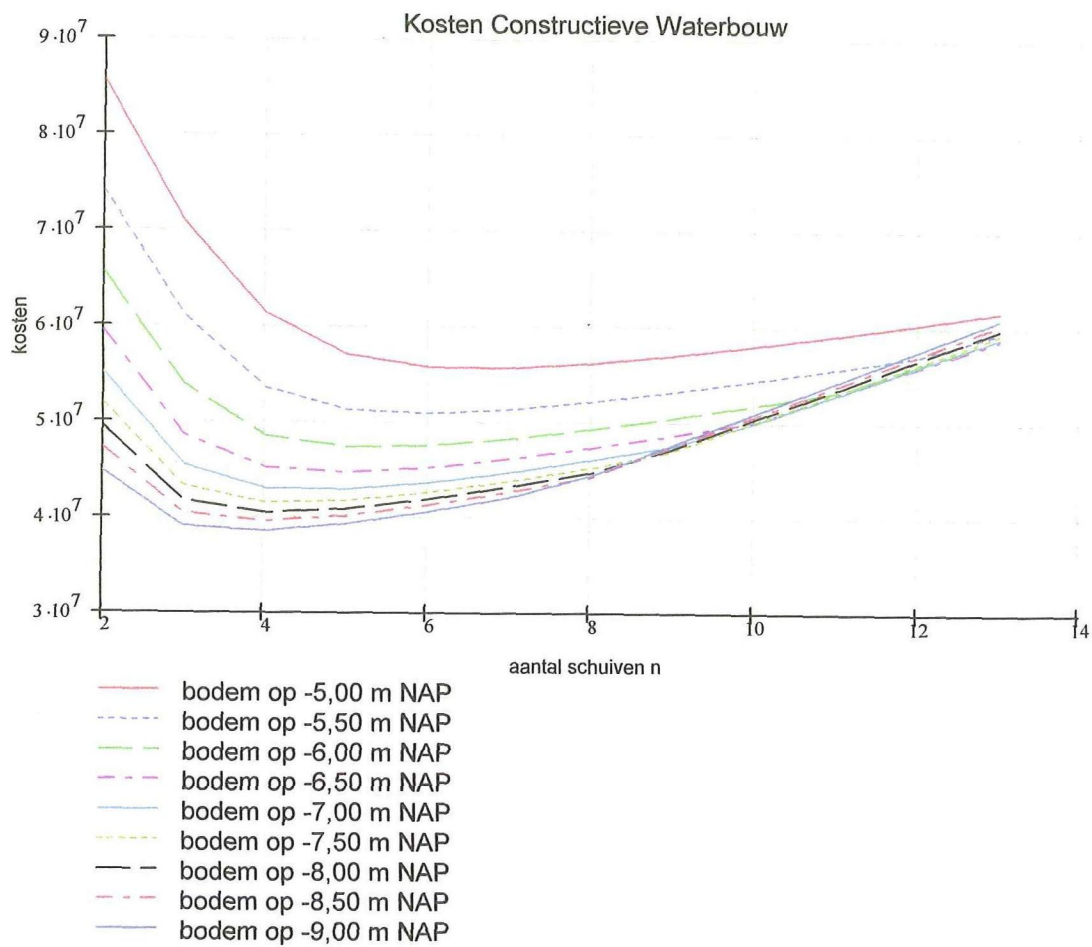
$$\text{Q}(N2, n) := \text{Lifecycle_Kosten_Spuisluis}(N2, n)$$

$$\text{Lifecycle_Kosten_Spuisluis_in_miljoenen_Euro's}(N2, n) := \frac{\text{Lifecycle_Kosten_Spuisluis}(N2, n)}{10^6}$$

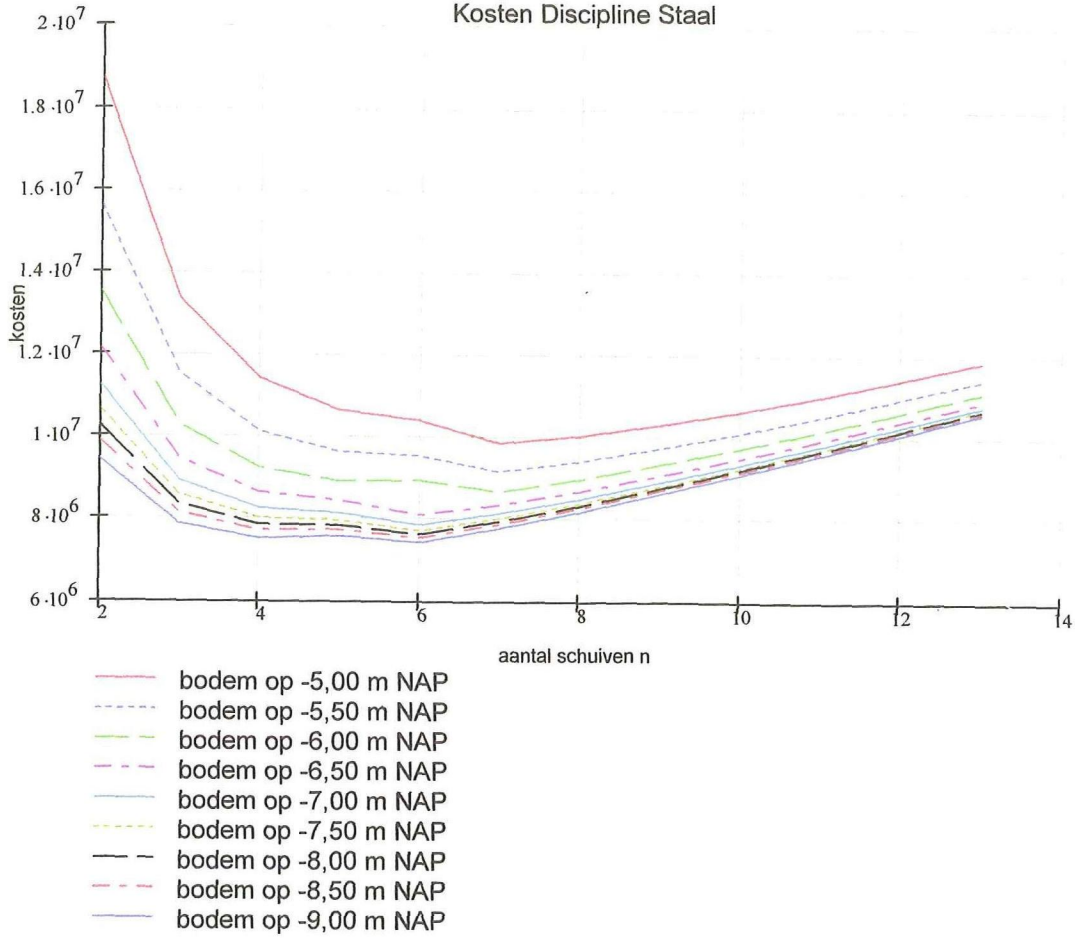
$$\text{Stichtingskosten_Spuisluis_in_miljoenen_Euro's}(N2, n) := \frac{\text{K_cat_A}(N2, n)}{10^6}$$

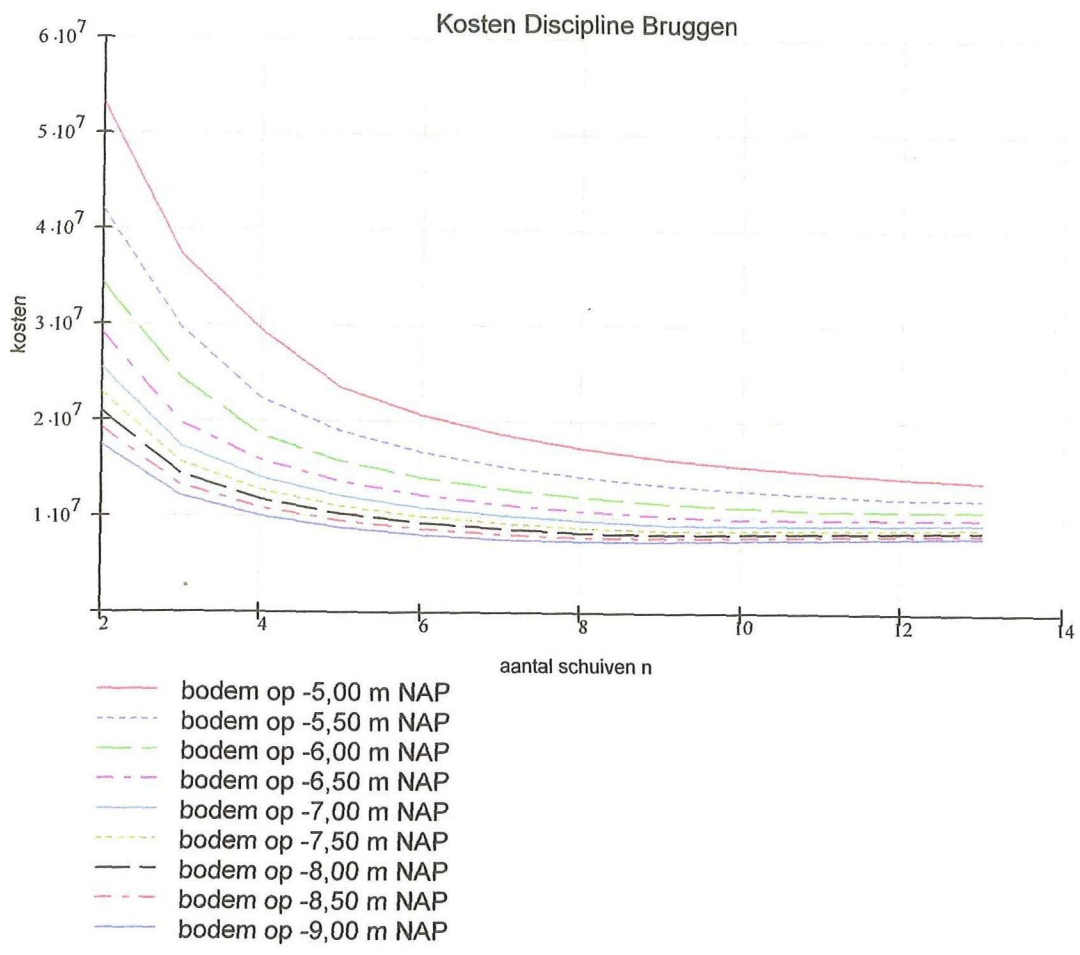
$$\text{M2}_{N2, n+1} := \text{Q}(N2, n)$$

Grafieken van kosten van disciplines als functie van n en N2

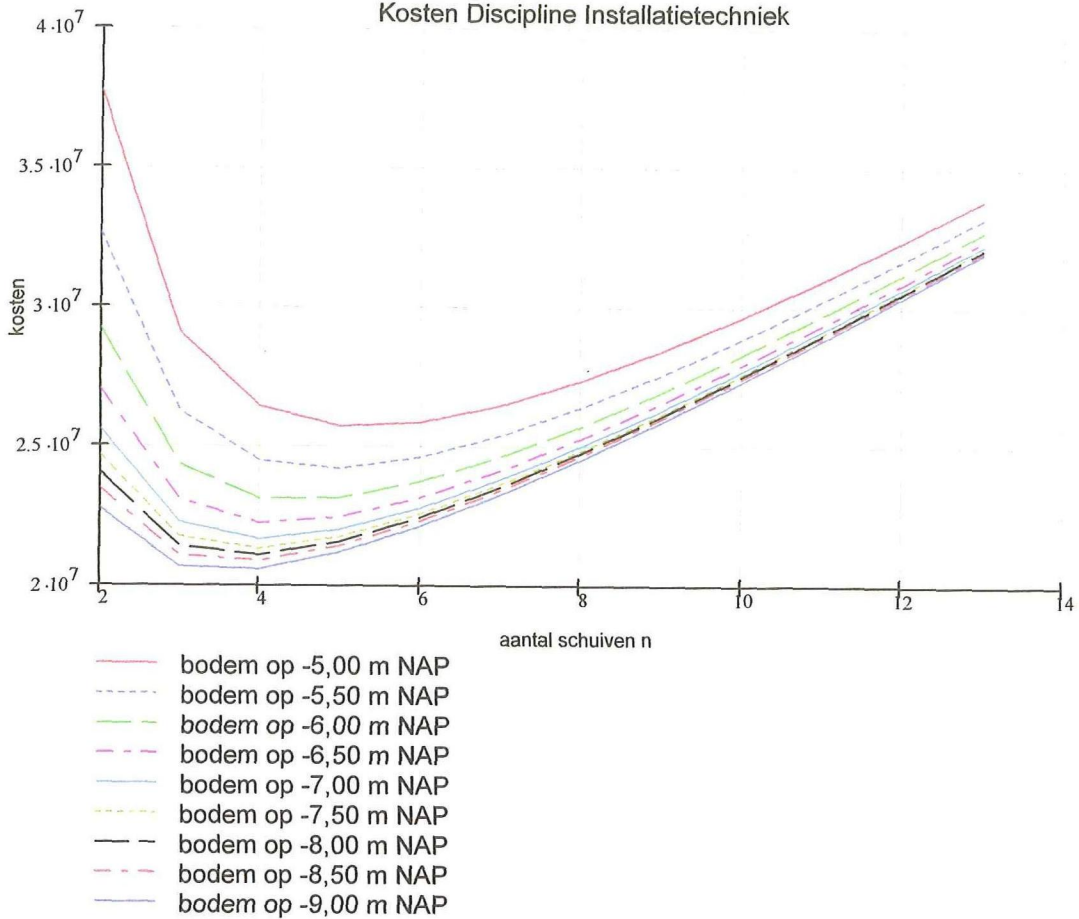


Kosten Discipline Staal

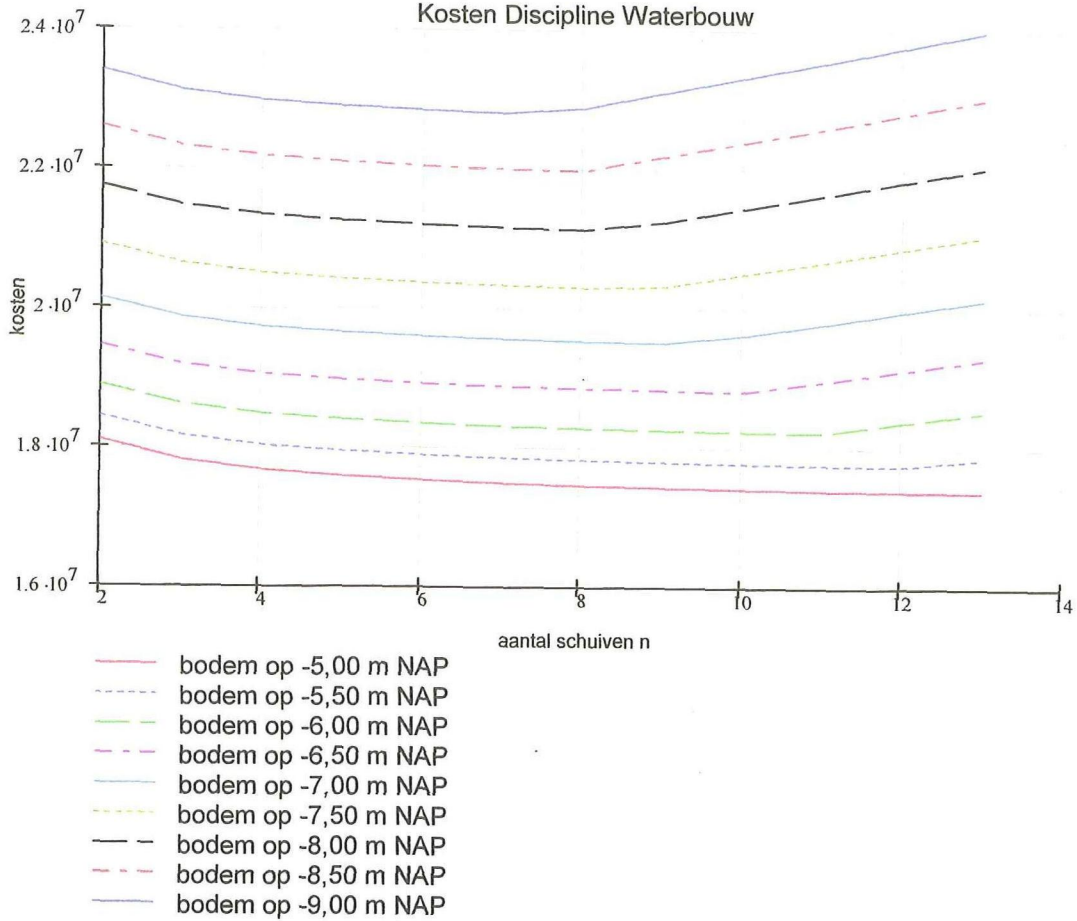




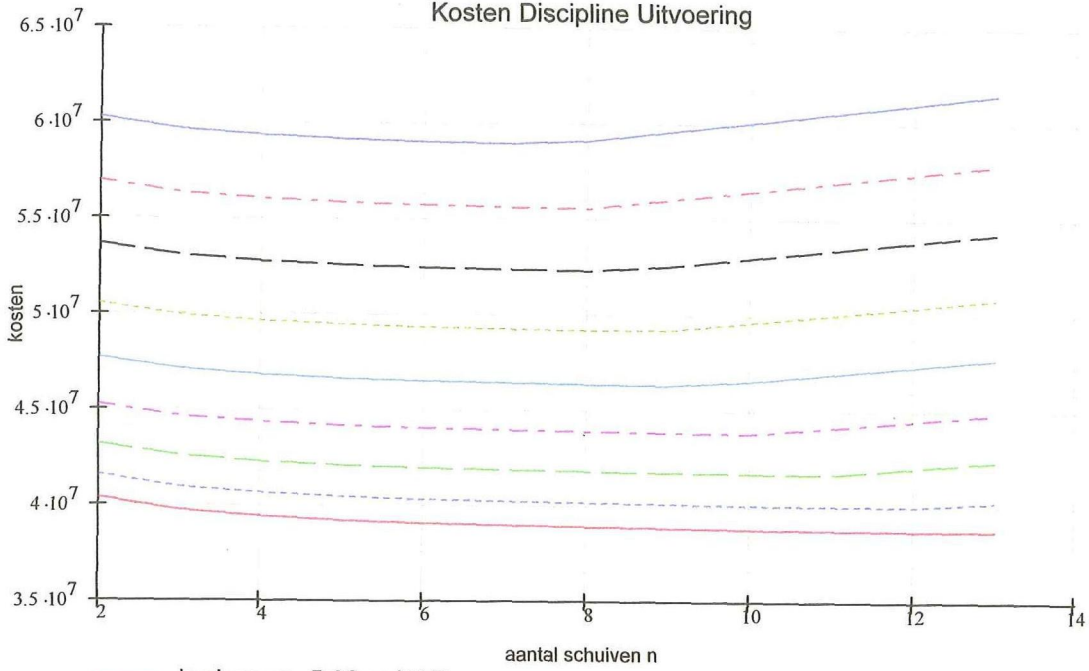
Kosten Discipline Installatietechniek



Kosten Discipline Waterbouw

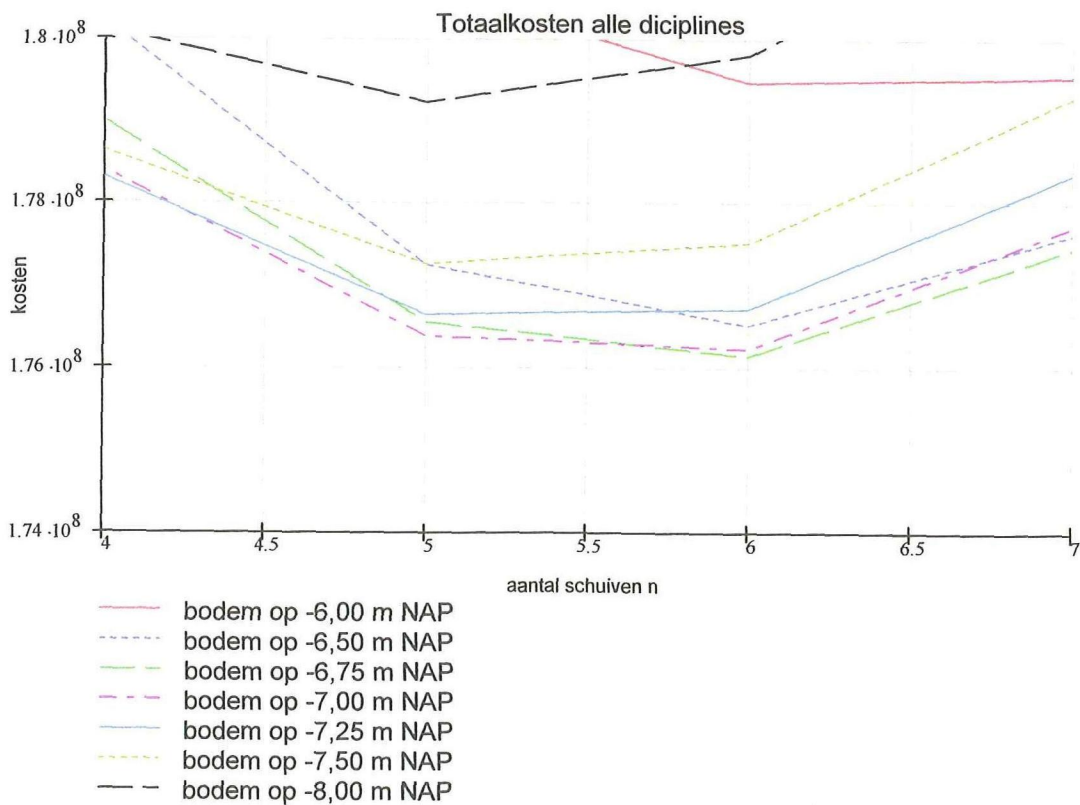
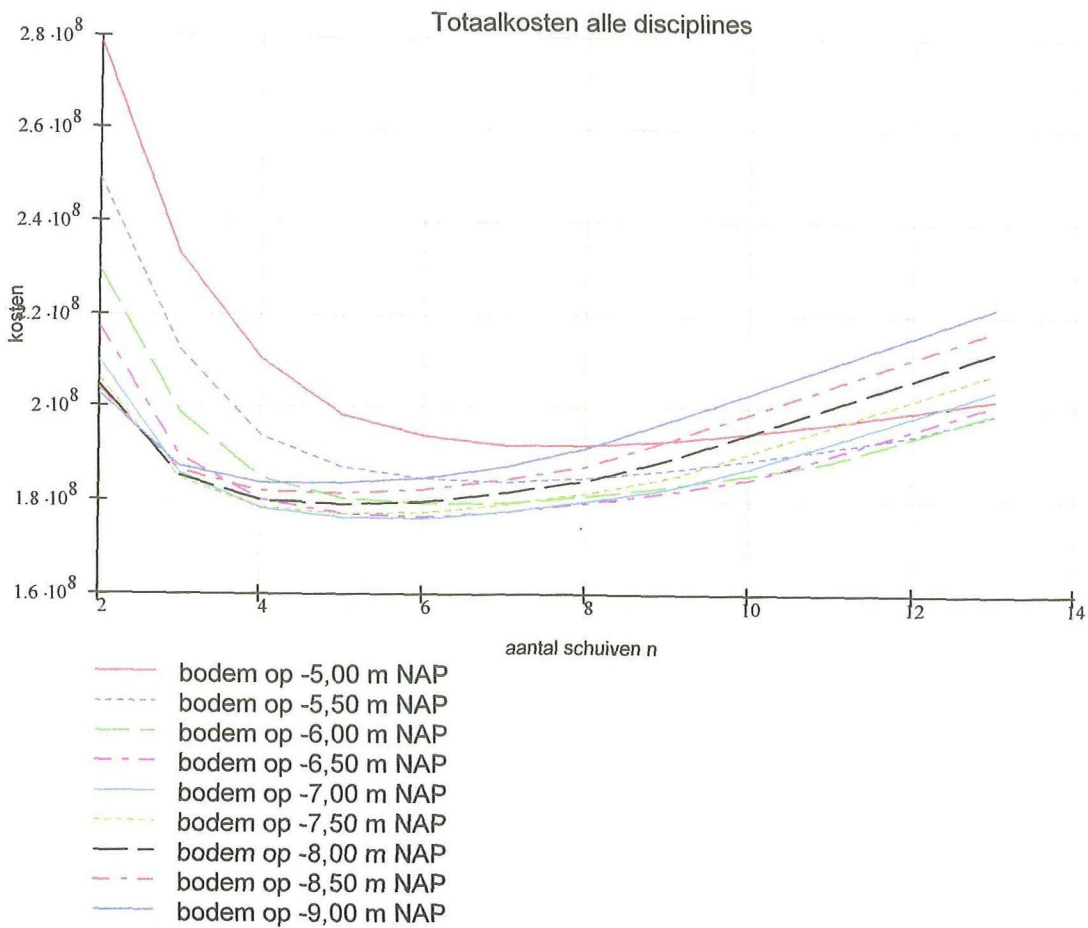


Kosten Discipline Uitvoering

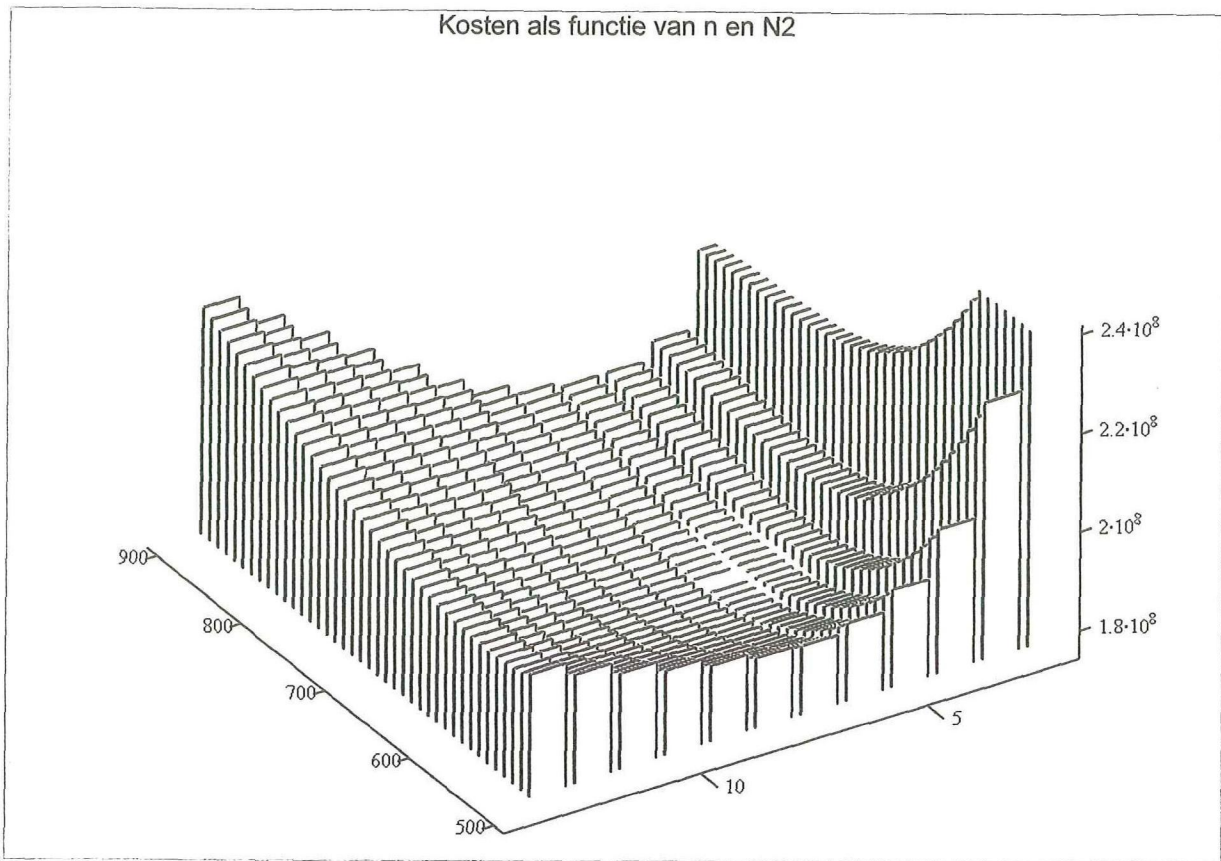


- bodem op -5,00 m NAP
- - - bodem op -5,50 m NAP
- - - bodem op -6,00 m NAP
- - - bodem op -6,50 m NAP
- bodem op -7,00 m NAP
- - - bodem op -7,50 m NAP
- - - bodem op -8,00 m NAP
- - - bodem op -8,50 m NAP
- bodem op -9,00 m NAP

Bepaling optimale schuifbreedte

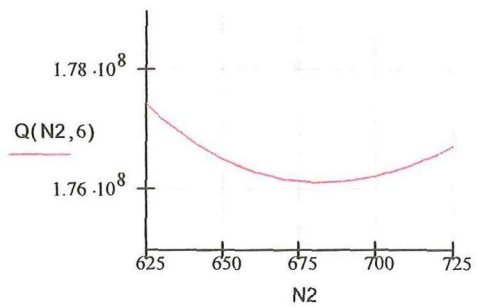
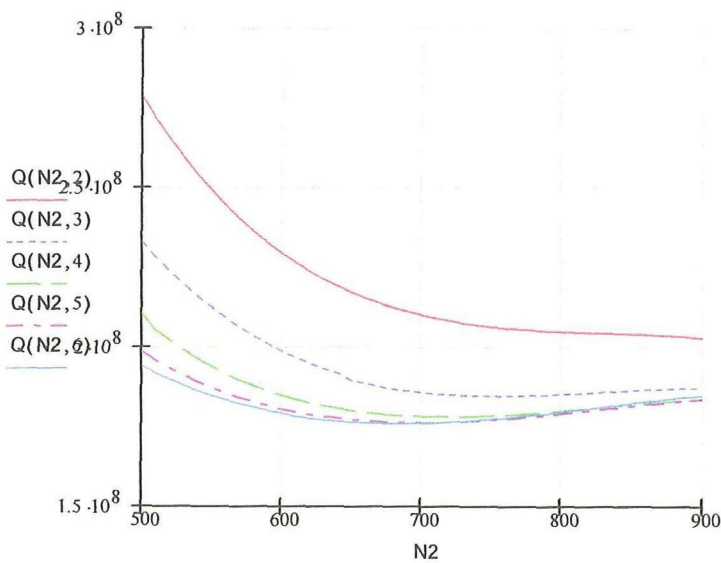


3-D Weergave kosten



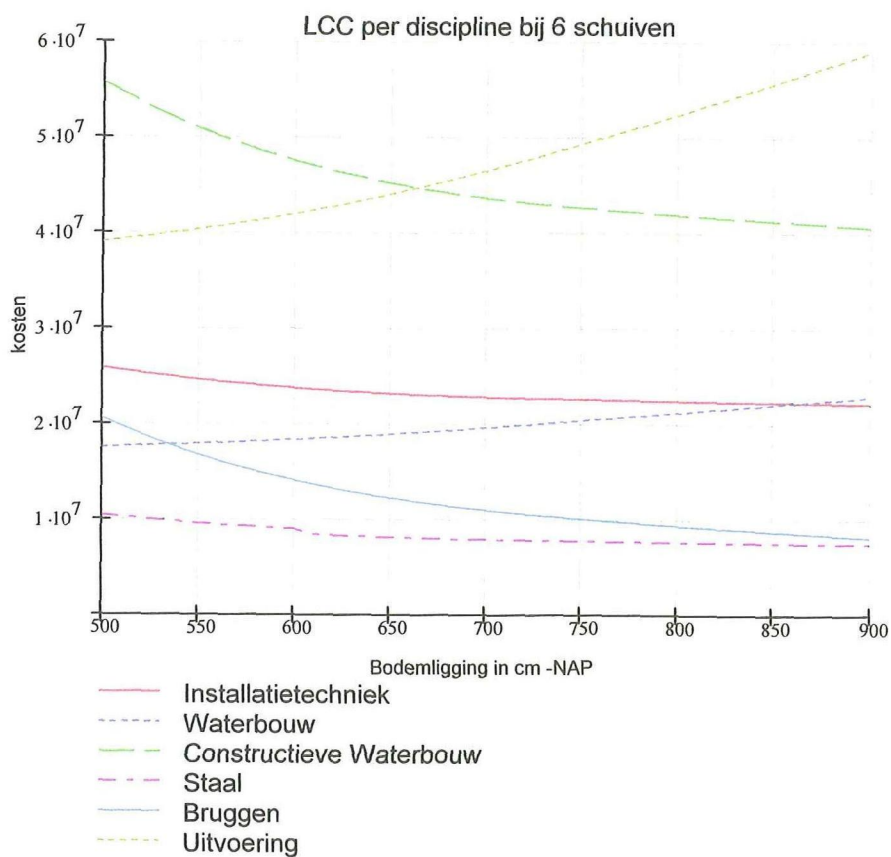
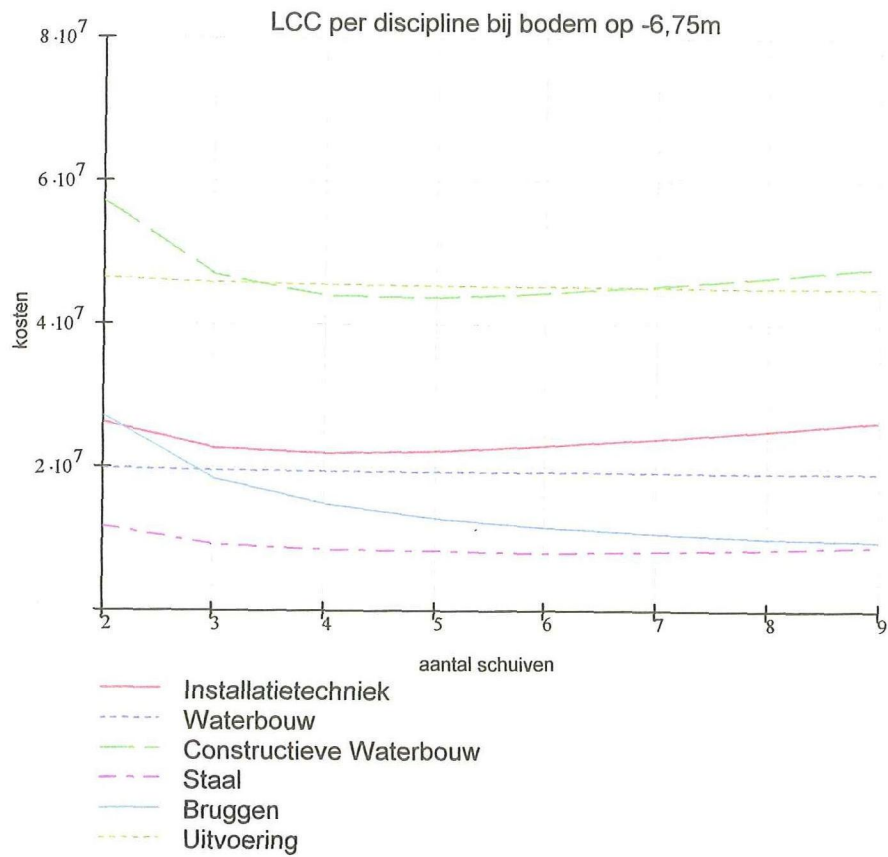
M2 y-as: Bodemligging (N2) in cm -NAP

x-as: Aantal schuiven (n)



N2opt := 675 nopt := 6
 c := N2opt d := nopt

**Resultaat: Optimale bodemligging op -6,75m NAP
 Optimaal aantal schuiven: 6 stuks**



Invullen kostentabel

$Z_{1,1} := DC1(c, d)$	$Z_{1,2} := BC1(c, d)$	$Z_{1,3} := CC1(c, d)$	$Z_{1,4} := Z_{1,1} + Z_{1,2} + Z_{1,3}$
$Z_{2,1} := DC2(c, d)$	$Z_{2,2} := BC2(c, d)$	$Z_{2,3} := CC2(c, d)$	$Z_{2,4} := Z_{2,1} + Z_{2,2} + Z_{2,3}$
$Z_{3,1} := DC3(c, d)$	$Z_{3,2} := BC3(c, d)$	$Z_{3,3} := CC3(c, d)$	$Z_{3,4} := Z_{3,1} + Z_{3,2} + Z_{3,3}$
$Z_{4,1} := DC4(c, d)$	$Z_{4,2} := BC4(c, d)$	$Z_{4,3} := CC4(c, d)$	$Z_{4,4} := Z_{4,1} + Z_{4,2} + Z_{4,3}$
$Z_{5,1} := DC5(c, d)$	$Z_{5,2} := BC5(c, d)$	$Z_{5,3} := CC5(c, d)$	$Z_{5,4} := Z_{5,1} + Z_{5,2} + Z_{5,3}$
$Z_{6,1} := DS1(c, d)$	$Z_{6,2} := BS1(c, d)$	$Z_{6,3} := CS1(c, d)$	$Z_{6,4} := Z_{6,1} + Z_{6,2} + Z_{6,3}$
$Z_{7,1} := DS2(c, d)$	$Z_{7,2} := BS2(c, d)$	$Z_{7,3} := CS2(c, d)$	$Z_{7,4} := Z_{7,1} + Z_{7,2} + Z_{7,3}$
$Z_{8,1} := DB1(c, d)$	$Z_{8,2} := BB1(c, d)$	$Z_{8,3} := CB1(c, d)$	$Z_{8,4} := Z_{8,1} + Z_{8,2} + Z_{8,3}$
$Z_{9,1} := DB2(c, d)$	$Z_{9,2} := BB2(c, d)$	$Z_{9,3} := CB2(c, d)$	$Z_{9,4} := Z_{9,1} + Z_{9,2} + Z_{9,3}$
$Z_{10,1} := DI1(c, d)$	$Z_{10,2} := BI1(c, d)$	$Z_{10,3} := CI1(c, d)$	$Z_{10,4} := Z_{10,1} + Z_{10,2} + Z_{10,3}$
$Z_{11,1} := DI2(c, d)$	$Z_{11,2} := BI2(c, d)$	$Z_{11,3} := CI2(c, d)$	$Z_{11,4} := Z_{11,1} + Z_{11,2} + Z_{11,3}$
$Z_{12,1} := DW1(c, d)$	$Z_{12,2} := BW1(c, d)$	$Z_{12,3} := CW1(c, d)$	$Z_{12,4} := Z_{12,1} + Z_{12,2} + Z_{12,3}$
$Z_{13,1} := DW2(c, d)$	$Z_{13,2} := BW2(c, d)$	$Z_{13,3} := CW2(c, d)$	$Z_{13,4} := Z_{13,1} + Z_{13,2} + Z_{13,3}$
$Z_{14,1} := DU1(c, d)$	$Z_{14,2} := BU1(c, d)$	$Z_{14,3} := CU1(c, d)$	$Z_{14,4} := Z_{14,1} + Z_{14,2} + Z_{14,3}$
$Z_{15,1} := DU2(c, d)$	$Z_{15,2} := BU2(c, d)$	$Z_{15,3} := CU2(c, d)$	$Z_{15,4} := Z_{15,1} + Z_{15,2} + Z_{15,3}$
$Z_{16,1} := TTKA(c, d)$	$Z_{16,2} := K_cat_B(c, d)$	$Z_{16,3} := K_cat_C(c, d)$	$Z_{16,4} := Z_{16,1} + Z_{16,2} + Z_{16,3}$
$Z_{17,1} := R_tot(c, d)$	$Z_{17,2} := 0$	$Z_{17,3} := 0$	$Z_{17,4} := Z_{17,1} + Z_{17,2} + Z_{17,3}$
$Z_{18,1} := K_cat_A(c, d)$	$Z_{18,2} := Z_{16,2}$	$Z_{18,3} := Z_{16,3}$	$Z_{18,4} := Z_{16,4} + Z_{17,4}$

Kostentabel: vergelijk hoofdrapport pagina 30

	A	B	C	Totaal		
	1	2	3	4		
	1	2.833·10 ⁶	2.929·10 ⁵	0	3.126·10 ⁶	1. Bovenbalken
	2	2.091·10 ⁷	2.161·10 ⁶	0	2.307·10 ⁷	2. Pijlers
	3	2.876·10 ⁶	2.974·10 ⁵	0	3.173·10 ⁶	3. Fundering
	4	6.893·10 ⁶	7.127·10 ⁵	0	7.606·10 ⁶	4. Vloerconstructies
	5	6.097·10 ⁶	1.261·10 ⁶	0	7.358·10 ⁶	5. Damwanden
	6	5.105·10 ⁶	2.311·10 ⁶	0	7.417·10 ⁶	6. Schuiven
	7	3.911·10 ⁵	1.77·10 ⁵	0	5.681·10 ⁵	7. Geleidingen – afdichtingen
	8	9.219·10 ⁶	8.707·10 ⁵	0	1.009·10 ⁷	8. Verkeersweg
Z =	9	1.324·10 ⁶	1.251·10 ⁵	0	1.449·10 ⁶	9. Onderhoudsweg
	10	3.881·10 ⁶	1.361·10 ⁶	4.663·10 ⁶	9.904·10 ⁶	10. Bewegingswerken
	11	8.052·10 ⁶	4.988·10 ⁶	0	1.304·10 ⁷	11. Elektro – installatie
	12	8.191·10 ⁶	2.484·10 ⁶	0	1.067·10 ⁷	12. Bodembescherming
	13	7.131·10 ⁶	1.442·10 ⁶	0	8.573·10 ⁶	13. Leidammen
	14	3.592·10 ⁷	3.665·10 ⁶	0	3.959·10 ⁷	14. Grondwerk
	15	5.34·10 ⁶	0	2.999·10 ⁵	5.64·10 ⁶	15. Bemaling
	16	1.242·10 ⁸	2.215·10 ⁷	4.963·10 ⁶	1.513·10 ⁸	Subtotaal
	17	2.488·10 ⁷	0	0	2.488·10 ⁷	Restposten
	18	1.49·10 ⁸	2.215·10 ⁷	4.963·10 ⁶	1.761·10 ⁸	Totaal

Verdeling kosten naar disciplines:



J:\..\kostentabel

	Stichtingskosten	LCC kosten
Constructieve Waterbouw	DC(c, d) = 3.961·10 ⁷	KC(c, d) = 4.433·10 ⁷
Staal	DS(c, d) = 5.496·10 ⁶	KS(c, d) = 7.985·10 ⁶
Bruggen	DB(c, d) = 1.054·10 ⁷	KB(c, d) = 1.154·10 ⁷
Installatietechniek	DI(c, d) = 1.193·10 ⁷	KI(c, d) = 2.294·10 ⁷
Waterbouw	DW(c, d) = 1.532·10 ⁷	KW(c, d) = 1.925·10 ⁷
Uitvoering	DU(c, d) = 4.126·10 ⁷	KU(c, d) = 4.523·10 ⁷

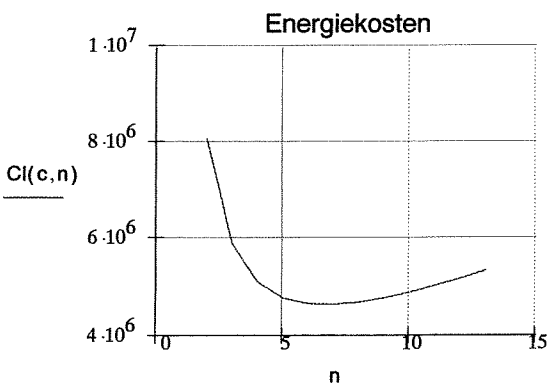
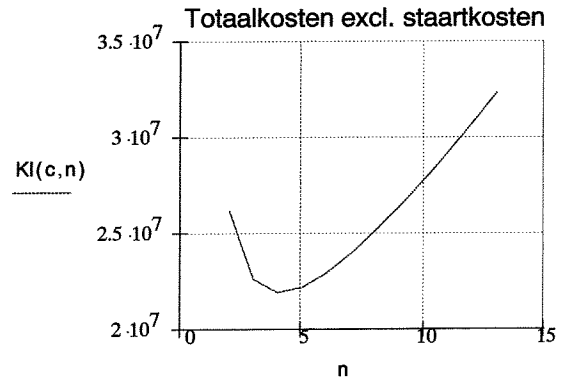
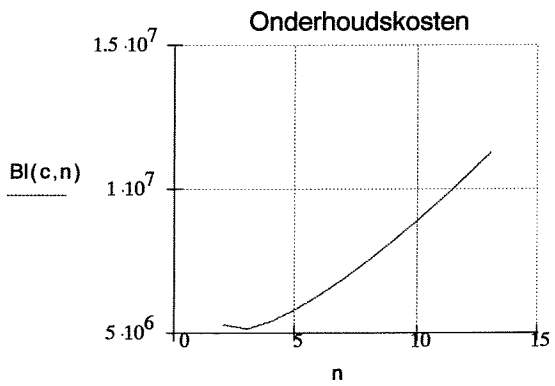
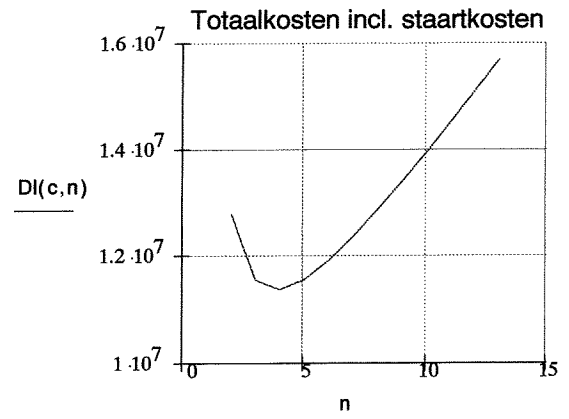
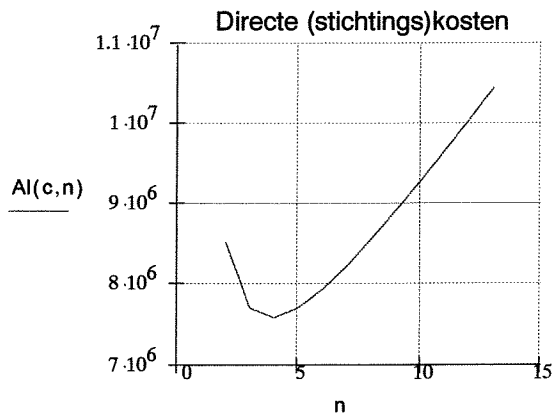
Z

Lifecycle_Kosten_Spuisluis(c, d) = 1.761·10⁸

Lifecycle_Kosten_Spuisluis_in_miljoenen_Euro's(c, d) = 176.149 M€

Stichtingskosten_Spuisluis_in_miljoenen_Euro's(c, d) = 149.038 M€

Voorbeeld Opbouw Totaalkosten Installatietechniek



10. Afleiding eenheidsprijzen

Afleiding eenheisprijzen

Disc. Nr.	Onderdeel	Var.	Cat.	Aspect	Eenheid	Afleiding eenheidsprijs	Eenheidsprijs €
Constructieve Waterbouw							
1 Bovenbalken							
	x1	A	Vaste kosten bovenbalk		[st]	(850581*0.9-x2k2-x3k3-x4k4) / (5 * 2)	40547.5
	x2	A	Materiaalgebruik bovenbalk : Voorspanstaal		[ton]	2 * k_wapening_pijler = 2 * 975	1950.0
	x3	A	Materiaalgebruik bovenbalk : Beton		[m3]	k_beton_balk = 468,90	468.9
	x4	A	Materieelgebruik bovenbalk : Bekisting		[m2]	2 * k_bekisting_pijler = 2 * 86	172.0
	x5	A	Materieelgebruik bovenbalk : Ondersteuningsconstructie		[m]	500	500.0
2 Pijlers							
	x6	A	Vaste kosten pijler		[st]	(TK_pijlers - x7k7 - x8k8) / (6 * 2)	21485.0
	x7	A	Materiaalgebruik pijler : beton		[m3]	(1053353+2713082+32479+113146)/(6860+18921+180.34+577.60)	147.4
	x8	A	Materiaalgebruik pijler : Wapeningsstaal		[ton]	k_wapening	975.0
3 Fundering							
	x9	A	Aantal heipalen		[st]	TK_fundering / aantal heipalen	1173.7
4 Vloerconstructies							
	x10	A	Materiaalgebruik spuisluisbodern		[m3]	k_spuisluisbodern	104.28
	x11	A	Materiaalgebruik onderwaterbetonvloeren		[m3]	k_onderwaterbetonvloer	119.68
5 Damwanden							
	x12	A	Oppervlakte damwanden		[m2]	TK_damwanden / opp. damwanden	151.90
Staal							
6 Schuiven							
	x13	A	Vaste kosten schuiven		[st]	TK_schuif-x14k14-x15k15-x16k16-x17k17	124598.0
	x14	A	Materiaalgebruik schuiven		[ton]	TK_schuif/gewicht_schuif	3060.0
	x15	A	Transportmaterieel : Hijskranen		[ton]	Kosten per ton per inzet	150.0
	x16	A	Transportmaterieel : Bokken		[ton]	Kosten per ton per inzet	400.0
	x17	B	Onderhoud schuiven		[-]	1	1.0
7 Geleidingen en afdichtingen							
	x18	A	Omvang geleidingen en afdichtingen schuiven		[m]	k_geleiding en afdichting	317.7
	x19	B	Onderhoud geleidingen en afdichtingen		[-]	1	1.0
Bruggen							
8 Verkeersweg							
	x20	A	Vaste kosten verkeersweg		[st]	Tkweg - x21*k21 - x22*k22 - x23*k23 - x24*k24	57060
	x21	A	Materiaalgebruik verkeersweg : Beton		[m3]	k_beton,weg	567.2
	x22	A	Materieelgebruik verkeersweg : Ondersteuningsconstructie		[m]	0,25 * k_ondersteuning_bovenbalk	125.0
	x23	A	Materieelgebruik verkeersweg : Bekisting		[m2]	0,375 * k_bekisting_bovenbalk	64.5
	x24	A	Afbouw wegen		[m]	(k_verw,wegdek+k_aanbr,wegdek / tot.lengte) + k_afbouw	5047.6
9 Onderhoudsweg/Fietspad							
	x25	A	Vaste kosten onderhoudsweg		[st]	TK onderhousweg - x26*k26 - x27*k27	19412
	x26	A	Materiaalgebruik verkeersweg : Prefab Beton		[m]	Uit verg. kosten SKK spanbeton	750.0
	x27	A	Materieelgebruik verkeersweg : Hijskranen		[ton]	Kosten per ton per inzet	150.0

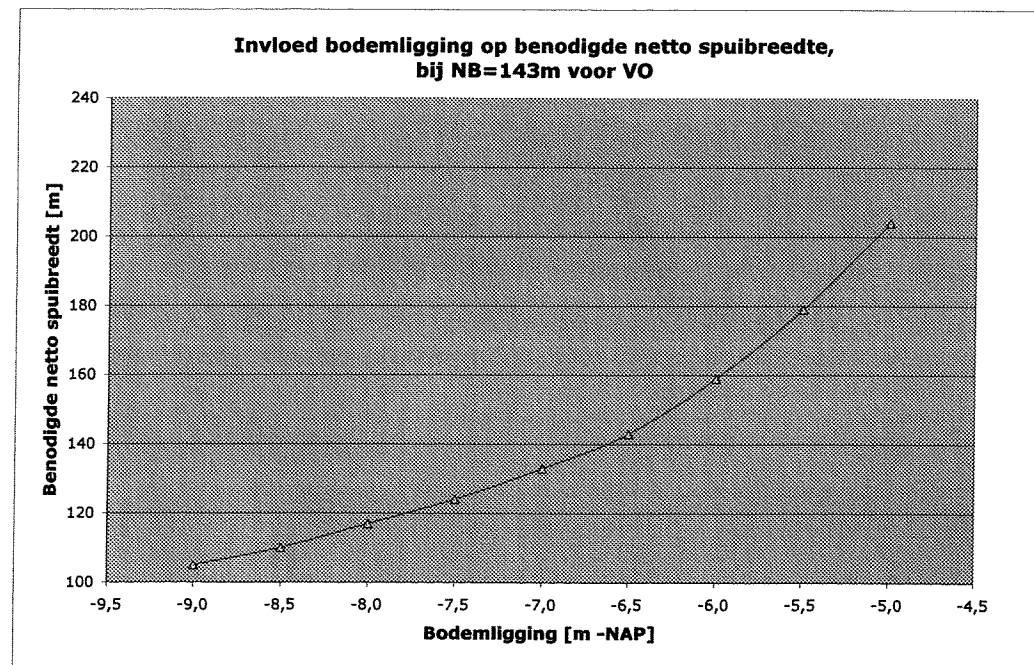
Installatietechniek						
10 Bewegingswerken						
	x28	A	Capaciteit bewegingswerken	[kW]	2702260 / (10 * 31,32)	8627.9
	x29	B	Onderhoud bewegingswerken	[-]	1	1.0
	x30	C	Energieverbruik bewegingswerken	[kWh]	0.08	0.08
11 Elektro-installatie						
	x31	A	Omvang elektro-Installatie	[-]	kosten E-installatie VO	5066036.0
	x32	B	Onderhoud elektro-Installatie	[-]	1	1.0
Waterbouw						
12 Bodembescherming						
	x33	A	Vaste kosten bodembescherming	[-]	15977744-9026047-986470-2177290-2548772	1239167.0
	x34	A	Materiaalgebruik bodembescherming	[m3]	kubieke meterprijs bodembescherming VO	21.0
	x35	B	Onderhoud bodembescherming	[%]	1	1.0
13 Geleidedammen						
	x36	A	Materiaalgebruik geleidedammen	[m3]	$k_{geleidedammen} = (986470 + 2177290) / 6.5$	6574.0
Uitvoering						
14 Grondwerk						
	x37	A	Grondwerk Afsluitdijk	[m3]	k_grondwerk ond. a	7.14
	x38	A	Grondwerk Ringdijk	[m3]	k_grondwerk ond. b	6.108
	x39	A	Grondwerk bouwput	[m3]	k_grondwerk ond. c	6.05
	x40	A	Baggerwerk	[m3]	k_grondwerk ond. d	13.91
15 Bemaling						
	x41	A	Bemalingsvolume	[m3]	Bemalingsbelasting per m3	0.05
	x42	A	Capaciteit bemalingspompen	[m3/uur]	$(TK_{bemaling} - x88bk88b) / pompcapaciteit$	3054.34
	x43	C	Energieverbruik bemalingspompen	[MWh]	k_energie_incl_korting	80.00

***deel 11-1: Invloed bodemligging op NB
voor NB(VO)=143m***

Invoed bodemligging op netto spuibreedte: **Invoed N2 op NB**
 Bij NB=143

Bodemligging N2 [m NAP]	Spulconditie		nr	VO	Q per strekkende meter vlg. model MathC [m3/s/m]	snelheid t.p.v schuif volgens model MathC [m/s]	grens-snelheid t.p.v. schuif [m/s]	Test stromend of schietend water	Afvoer bij stromend ca. Schiet. water [m3/s/m]	Q gemiddeld [m3/s/m]	NB	Totaal debiet (NB*Qgem) [m3/s]	Debiet bij spulconditie [m3/s]	Minimale eis per spulconditie bij 165m (oud) [m3/s]	Minimale eis per spulconditie 143m (nieuw) [m3/s]	Voldaan aan eis per spulconditie	Benodigde NB voor elsen per spulconditie [m]	Uitkomst NB afhank. van N2 [m]
	H0 [m NAP]	H10 [m NAP]																
-5	-0,4	-0,8	1	0,59	10,80	3,13	5,48	stromend	10,80	15,01	204	3066	2205,67	2050	1781	OK		235
	-0,4	-1,0	2	0,66	12,17	3,79	5,48	stromend	12,17									
	0	-1,0	3	0,77	15,10	5,00	5,72	stromend	15,10									
	0,4	-0,6	4	0,80	16,88	5,06	5,94	stromend	16,88									
	1,0	-0,5	5	0,87	20,09	6,03	6,26	stromend	20,09									
-5,5	-0,4	-0,8	6	0,67	12,35	3,20	5,77	stromend	12,35	17,10	179	3066	2215,26	2050	1781	OK		206
	-0,4	-1,0	7	0,77	14,00	3,96	5,77	stromend	14,00									
	0	-1,0	8	0,88	17,34	5,09	6,00	stromend	17,34									
	0,4	-0,6	9	0,91	19,13	5,11	6,21	stromend	19,13									
	1,0	-0,5	10	0,99	22,67	5,86	6,52	stromend	22,67									
-6	-0,4	-0,8	11	0,76	14,00	3,28	6,05	stromend	14,00	19,32	159	3066	2220,78	2050	1781	OK		183
	-0,4	-1,0	12	0,87	16,00	4,01	6,05	stromend	16,00									
	0	-1,0	13	1,00	19,67	5,21	6,26	stromend	19,67									
	0,4	-0,6	14	1,03	21,61	5,31	6,47	stromend	21,61									
	1,0	-0,5	15	1,11	25,34	5,93	6,77	stromend	25,34									
-6,5	-0,4	-0,8	16	0,85	15,63	3,34	6,32	stromend	15,63	21,44	143	3066	2235,35	2050	1781	OK		165
	-0,4	-1,0	17	0,97	17,80	4,03	6,32	stromend	17,80									
	0	-1,0	18	1,12	21,98	5,30	6,52	stromend	21,98									
	0,4	-0,6	19	1,14	23,87	5,32	6,72	stromend	23,87									
	1,0	-0,5	20	1,23	27,93	6,16	7,00	stromend	27,93									
-7	-0,4	-0,8	21	0,94	17,26	3,39	6,57	stromend	17,26	23,14	133	3066	2287,32	2050	1781	OK		153
	-0,4	-1,0	22	1,08	19,78	4,11	6,57	stromend	19,78									
	0	-1,0	23	1,24	24,35	5,32	6,77	stromend	24,35									
	0,4	-0,6	24	1,26	25,90	5,39	6,96	stromend	25,90									
	1,0	-0,5	25	1,30	28,40	6,05	7,23	stromend	28,40									
-7,5	-0,4	-0,8	26	1,04	19,06	3,47	6,81	stromend	19,06	25,12	122	3066	2326,61	2050	1781	OK		143
	-0,4	-1,0	27	1,20	21,84	4,19	6,81	stromend	21,84									
	0	-1,0	28	1,33	26,09	4,93	7,00	stromend	26,09									
	0,4	-0,6	29	1,36	29,05	5,12	7,19	stromend	29,05									
	1,0	-0,5	30	-	-	-	7,45	schietend	29,58									
-8	-0,4	-0,8	31	1,13	20,68	3,49	7,05	stromend	20,68	26,21	117	3066	2418,81	2050	1781	OK		135
	-0,4	-1,0	32	1,28	23,80	4,10	7,05	stromend	23,80									
	0	-1,0	33	-	-	-	7,23	schietend	26,62									
	0,4	-0,6	34	-	-	-	7,41	schietend	28,64									
	1,0	-0,5	35	-	-	-	7,67	schietend	31,30									
-8,5	-0,4	-0,8	36	1,23	22,37	3,53	7,28	stromend	22,37	28,11	109	3066	2439,85	2050	1781	OK		127
	-0,4	-1,0	37	-	-	-	7,28	schietend	26,33									
	0	-1,0	38	-	-	-	7,45	schietend	28,31									
	0,4	-0,6	39	-	-	-	7,63	schietend	30,33									
	1,0	-0,5	40	-	-	-	7,88	schietend	33,20									
-9	-0,4	-0,8	41	1,31	23,99	3,54	7,50	stromend	23,99	29,77	103	3066	2470,66	2050	1781	OK		120
	-0,4	-1,0	42	-	-	-	7,50	schietend	27,95									
	0	-1,0	43	-	-	-	7,67	schietend	29,92									
	0,4	-0,6	44	-	-	-	7,84	schietend	31,94									
	1,0	-0,5	45	-	-	-	8,09	schietend	35,05									

geen uitkomst MathCad



$$y = 0,0839x^4 + 3,6022x^3 + 56,119x^2 + 391,12x + 1154,6$$

***deel 11-2: Invloed bodemligging op NB
via spuiwenster voor NB(VO)=143m***

$\rho_y := 1000$

$\rho_w := 1020$

$N2 := 500, 520.. 900$

$v_{zak_water} := 0.004$ $v_{dalen_schuif} := 0.027$

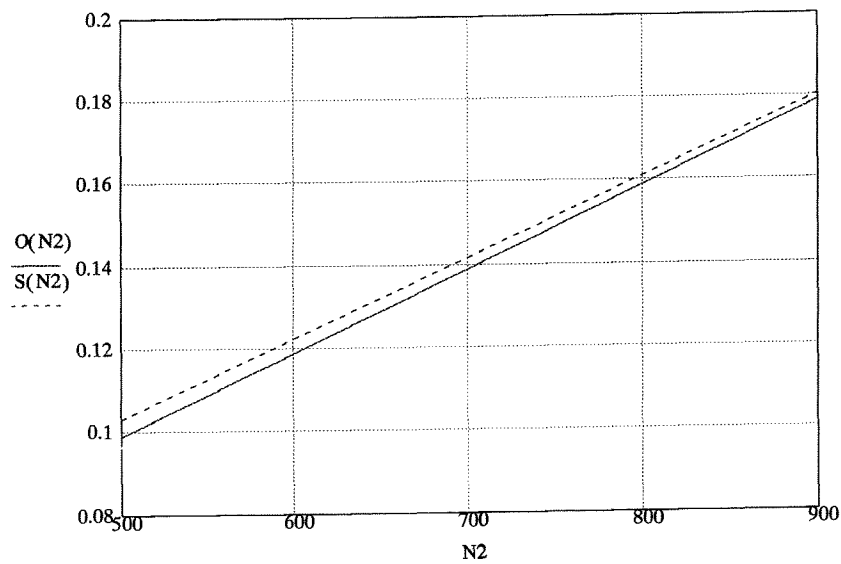
$v_{stijg_water} := 0.007$ $v_{stijgen_schuif} := 0.018$

$$\text{Verval_bij_openen}(N2) := \frac{\rho_w - \rho_y}{\rho_y} \cdot \left[-0.05 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right]$$

$$\text{Verval_bij_sluiten}(N2) := \frac{3}{4} \cdot \left[\frac{\rho_w - \rho_y}{\rho_y} \cdot \left[-0.05 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right] \right] + 0.007 \cdot \frac{\left[1.7 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right]}{0.027 \cdot 60}$$

$O(N2) := \text{Verval_bij_openen}(N2)$

$S(N2) := \text{Verval_bij_sluiten}(N2)$



TO1(N2) = Tijd (vanaf T(Δh=0)) dat er gewacht moet worden met openen ivm dichtheidsverschil
 TS1(N2) = Tijd (vanaf T(Δh=0)) dat er eerder gesloten moet worden ivm dichtheidsverschil
 TO2(N2) = Tijd (vanaf TO1) dat benodigd is om de schuif uit het water omhoog te hijsen
 TS2(N2) = Tijd (voor TS1) dat benodigd is om de schuif tot op de bodem te laten zakken

$$TO1(N2) := \frac{O(N2)}{v_zak_water} \qquad TO2(N2) := \frac{-0.05 - \left(\frac{-N2}{100}\right)}{v_stijgen_schuif \cdot 60}$$

$$TS1(N2) := \frac{S(N2)}{v_stijg_water} \qquad TS2(N2) := \frac{-0.05 - \left(\frac{-N2}{100}\right)}{v_dalen_schuif \cdot 60}$$

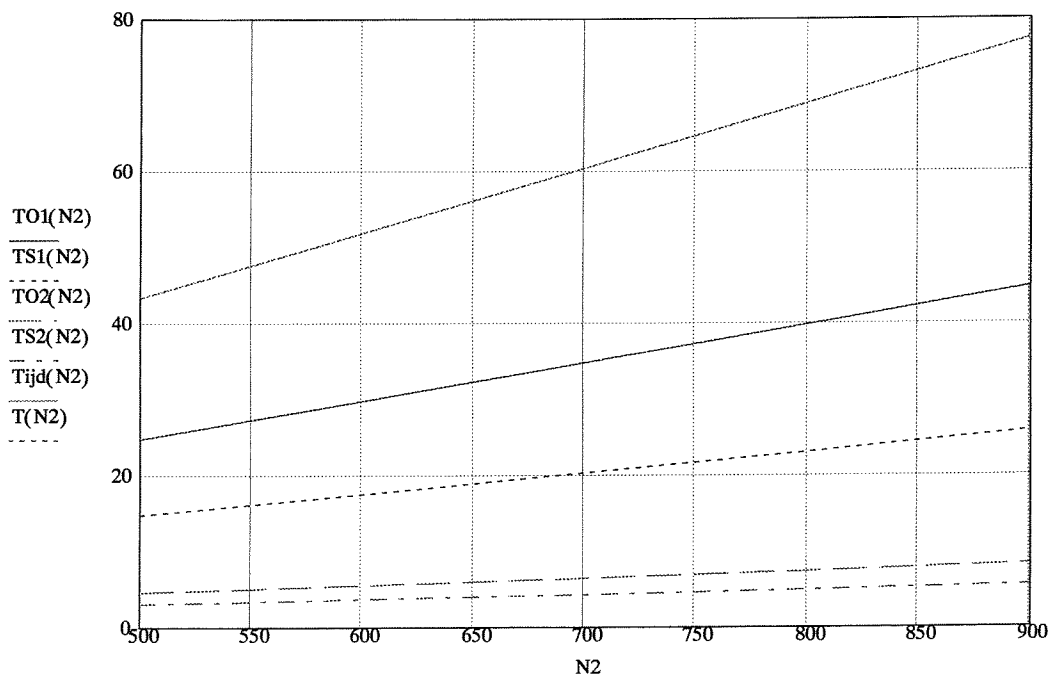
$$Tijd1(N2) := TO1(N2) + TS1(N2) \qquad Tijd2(N2) := TO2(N2) + TS2(N2)$$

$$Tijd(N2) := Tijd1(N2) + \frac{Tijd2(N2)}{2} \quad (\text{Gedeeld door twee omdat de schuif gemiddeld half open is tijdens openen en sluiten})$$

$$T(N2) := -8.5318 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right) + 0.6537 \quad (\text{Benadering})$$

$$\text{gemiddelde_duur_spuicyclus} := \frac{3.10 + 3.10 + 3.8 + 4.3}{4} \quad (\text{Zie grafieken twee pagina's verder})$$

$$D2002 := \text{gemiddelde_duur_spuicyclus} \qquad D2050 := 0.5 \cdot \text{gemiddelde_duur_spuicyclus}$$



$$\text{Percentage_tijd_niet_spuien_2050}(N2) := \frac{T(N2)}{D2050}$$

$$P2050(N2) := \text{Percentage_tijd_niet_spuien_2050}(N2)$$

Beperking in spuivolumes in procenten = BSV%

$$\text{BSV}\%2050(N2) := \frac{P2050(N2)}{3} \quad \text{Vuistregel afgeleid uit Hydraulische Aspecten Nieuwe Spuisluis Afsluitdijk.}$$

Aanname $Q = \mu A \cdot U$, dus ook $\Delta Q = \mu \cdot \Delta A \cdot U$
 dus compensatie van de beperking in het spuivolume door dichtheidsverschillen en bewegingstijd van de schuiven is $\Delta Q(\%) = \Delta A(\%)$
 (vergelijk: $y = 8 \cdot x$ met 1) $32 = 8 \cdot 4$
 en 2) $64 = 8 \cdot 8$
 hiervoor geldt $\Delta x(\%) = (8-4)/4 \cdot 100 = 100 \%$
 $\Delta y(\%) = (64-32)/32 \cdot 100 = 100 \%$

$$\text{Delta}Q\%(N2) := \text{BSV}\%2050(N2)$$

$$\text{Delta}A\%(N2) := \text{Delta}Q\%(N2)$$

$$\text{Delta}A(N2) := \frac{\text{Delta}A\%(N2)}{100} \cdot (6.1 \cdot 143)$$

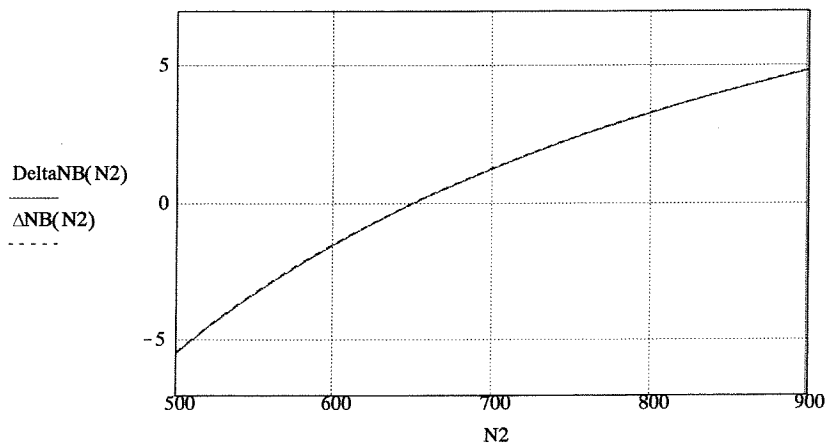
$$\text{Delta}A(650) = 91.273$$

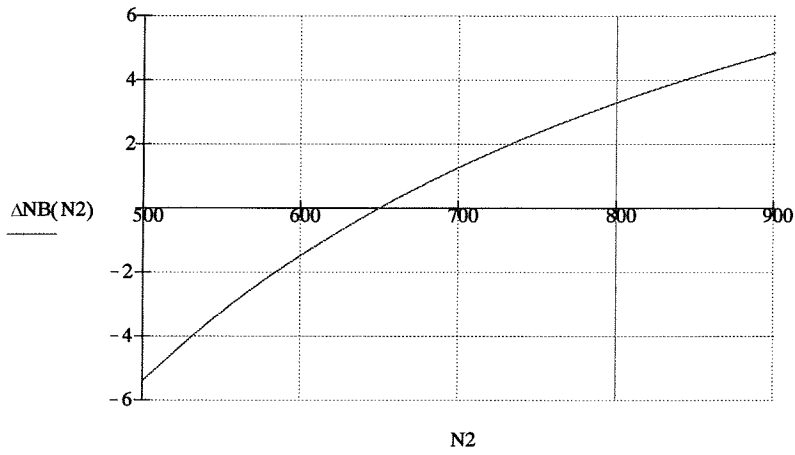
$$\text{Delta}A_{\text{real}}(N2) := 1.2 \cdot (\text{Delta}A(N2) - \text{Delta}A(650))$$

(Calibreren voor $N2 = -6,5\text{m NAP (VO)}$ en extra veiligheidsfactor van 1,2)

$$\text{Delta}NB(N2) := \frac{\text{Delta}A_{\text{real}}(N2)}{\left[-0.4 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right]}$$

$$\Delta NB(N2) := \frac{-16.64 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) - 108}{-0.4 - \left(\frac{-N2}{100} \right)} \quad \text{(Benaderingsformule)}$$





***deel 11-3: Optimalisatiemodel in MathCad
voor $NB(VO)=143$ m***

Model optimalisatie schuifafmetingen bij $NB(VO) = 143m$

Begingegevens

ORIGIN = 1

$n := 2..13$

$N1 := 1.5$

$N2 := 500, 510..900$

$N3(N2) := \left(\frac{-N2}{100}\right) - 4.5$

$r := 0.04$

$tb := 4$

$te := 50$

$R1 := 0$

$R2 := 0$

$R3 := 0$

$R4 := 0$

$R5 := 0$

$NB1(N2) := 0.0839 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right)^4 + 3.6022 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right)^3 + 56.119 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right)^2 + 391.12 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right) + 1154.6$

$NB2(N2) := \frac{-16.64 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right) - 108}{-0.4 - \left(\frac{-N2}{100}\right)}$

$NB(N2) := NB1(N2) + NB2(N2)$

$b(N2, n) := \frac{NB(N2)}{n}$

Benoeming variabelen

Var	Cat.	Beschrijving
x1	A	Vaste kosten bovenbalk
x2	A	Materiaalgebruik bovenbalk : Voorspanstaal
x3	A	Materiaalgebruik bovenbalk : Beton
x4	A	Materieelgebruik bovenbalk : Bekisting
x5	A	Materieelgebruik bovenbalk : Ondersteuningsconstructie
x6	A	Vaste kosten pijler
x7	A	Materiaalgebruik pijler : beton
x8	A	Materiaalgebruik pijler : Wapeningsstaal
x9	A	Aantal heipalen
x10	A	Materiaalgebruik spuisluisbodern
x11	A	Materiaalgebruik onderwaterbetonvloeren
x12	A	Oppervlakte damwanden
x13	A	Vaste kosten schuiven
x14	A	Materiaalgebruik schuiven
x15	A	Transportmaterieel : Hijskranen
x16	A	Transportmaterieel : Bokken
x17	B	Onderhoud schuiven
x18	A	Omvang geleidingen en afdichtingen schuiven
x19	B	Onderhoud geleidingen en afdichtingen
x20	A	Vaste kosten verkeersweg
x21	A	Materiaalgebruik verkeersweg : Beton
x22	A	Materieelgebruik verkeersweg : Ondersteuningsconstructie
x23	A	Materieelgebruik verkeersweg : Bekisting
x24	A	Afbouw wegen
x25	A	Vaste kosten onderhoudsweg
x26	A	Materiaalgebruik verkeersweg : Prefab Beton
x27	A	Materieelgebruik verkeersweg : Hijskranen
x28	A	Capaciteit bewegingswerken
x29	B	Onderhoud bewegingswerken
x30	C	Energieverbruik bewegingswerken
x31	A	Omvang elektro-installatie
x32	B	Onderhoud elektro-installatie
x33	A	Vaste kosten bodembescherming
x34	A	Materiaalgebruik bodembescherming
x35	B	Onderhoud bodembescherming
x36	A	Materiaalgebruik leidammen
x37	A	Grondwerk Afsluitdijk
x38	A	Grondwerk Ringdijk
x39	A	Grondwerk bouwput
x40	A	Baggerwerk
x41	A	Bemalingsvolume
x42	A	Capaciteit bemalingspompen
x43	C	Energieverbruik bemalingspompen

Vergelijkingen

Hulpvariabelen

$$y1(N2, n) := \begin{cases} 5 & \text{if } 0.303 \cdot b(N2, n) < 5 \\ 0.303 \cdot b(N2, n) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{BrBr}(N2, n) := (\text{NB}(N2) + y1(N2, n) \cdot (n + 1))$$

$$y2(N2, n) := 1.1 \cdot \text{BrBr}(N2, n)$$

$$y3(N2, n) := \begin{cases} 6 \cdot 10^{-5} \cdot b(N2, n)^4 - 0.003 \cdot b(N2, n)^3 + 0.083 \cdot b(N2, n)^2 + 1.565 \cdot b(N2, n) + 22.51 & \text{if } b(N2, n) \leq 55 \\ 30 \cdot (b(N2, n) - 55) + 400 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y4(N2, n) := 335 \cdot y1(N2, n) - 44.54 \cdot N2/100 \cdot y1(N2, n)$$

$$y5(N2, n) := 40.957 \cdot y1(N2, n) - 18$$

$$y6(N2, n) := 27.47 \cdot \text{BrBr}(N2, n) - 1135.3 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right) + 3973.5$$

$$y7(N2, n) := \left[174.35 - 6.325 \cdot \left(\frac{-N2}{100}\right) \right] \cdot (y1(N2, n) - 5)$$

$$y8(N2, n) := \begin{cases} \frac{1}{30} \cdot b(N2, n) + \frac{4}{30} & \text{if } \left(\frac{1}{30} \cdot b(N2, n) + \frac{4}{30}\right) \leq 2.0 \\ \left[1.5 \cdot \left(\frac{1}{30} \cdot b(N2, n) + \frac{4}{30}\right) \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x14a1a(N2, n) := \left[-0.688 \cdot N1^2 - 0.076 \cdot \left(\frac{N2}{100}\right)^2 + 10.62 \cdot N1 - 13.83 \cdot \frac{-N2}{100} + 3.4 \right] \cdot b(N2, n)^2 + 187.5 \cdot b(N2, n) - 937.5$$

$$x14a1b(N2, n) := (4.648 + 0.01921 \cdot b(N2, n)) \cdot 1.1737 \cdot 10^{-5} \cdot x14a1a(N2, n)$$

$$x14a2(N2, n) := (0.4 \cdot b(N2, n) + 1) \cdot (N1 - N2/100 + 0.5) \cdot (5 \cdot 10^{-6} \cdot b(N2, n)^2 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot b(N2, n) + 3 \cdot 10^{-4})$$

$$x14a3(N2, n) := 0.03 \cdot (N1 - N2/100 + 0.5) \cdot b(N2, n) + 5$$

$$x14a(N2, n) := 7.85 \cdot (x14a1b(N2, n) + x14a2(N2, n) + x14a3(N2, n))$$

$$x14(N2, n) := n \cdot x14a(N2, n)$$

Discipline Constructieve Waterbouw

Bovenbalken

$$x1(N2, n) := n$$

$$\alpha(N2, n) := \frac{(2.867 - 0.084 \cdot N1)}{(0.297 - 0.0245 \cdot N1)}$$

$$x2(N2, n) := 5.4829 \cdot 10^{-6} \cdot NB(N2) \cdot b(N2, n)^2 \cdot (0.477 \cdot N1^2 - 7.212 \cdot N1 + 42.29 + \alpha(N2, n))$$

$$x3(N2, n) := (11.95 - 1.05 \cdot N1) \cdot NB(N2)$$

$$x4(N2, n) := 39.61 \cdot b(N2, n) - 2.1 \cdot N1 \cdot b(N2, n) + 500$$

$$x5(N2, n) := b(N2, n)$$

Pijlers

$$x6(N2, n) := n + 1$$

$$x7(N2, n) := (n + 1) \cdot \left[1416.25 - 180.125 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) + \left[-0.4125 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) + 1.65 \right] \cdot (y1(N2, n))^2 + y7(N2, n) \right]$$

$$x8(N2, n) := 0.2 \cdot x7(N2, n) + (n + 1) \cdot (150 + 5 \cdot (y1(N2, n) - 5))$$

Fundering

$$x9(N2, n) := 2 \cdot y3(N2, n) \cdot n$$

Vloerconstructies

$$x10(N2, n) := 64.17 \cdot BrBr(N2, n)$$

$$x11(N2, n) := 70 \cdot BrBr(N2, n)$$

Damwanden

$$x12(N2, n) := 2.15 \cdot BrBr(N2, n) \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) + 33.05 \cdot BrBr(N2, n) + 14940$$

Discipline Staal

Schuiven

$$x13(N2, n) := n$$

$$x15(N2, n) := \begin{cases} 2 \cdot n \cdot (0.8333 \cdot x14a(N2, n)) & \text{if } x14a(N2, n) \leq 150 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x16(N2, n) := \begin{cases} n \cdot (1.25 \cdot x14a(N2, n)) & \text{if } x14a(N2, n) > 150 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x17(N2, n) := 0.03$$

Geleidingen en afdichtingen

$$x18(N2, n) := 4 \cdot n \cdot (N1 - N2/100 + 0.5 + b(N2, n))$$

$$x19(N2, n) := 0.03$$

Discipline Bruggen

Verkeersweg

$$x20(N2, n) := n$$

$$x21(N2, n) := 0.62 \cdot (b(N2, n) + y1(N2, n))^2 \cdot n$$

$$x22(N2, n) := b(N2, n) + 4$$

$$x23(N2, n) := (b(N2, n) + 4) \cdot \left[\frac{2}{37} \cdot (b(N2, n) + y1(N2, n) + 28.4) \right]$$

$$x24(N2, n) := BrBr(N2, n)$$

Onderhoudsweg

$$x25(N2, n) := n$$

$$x26(N2, n) := 1.8 \cdot y8(N2, n) \cdot n \cdot (b(N2, n) + 4)$$

$$x27(N2, n) := 2 \cdot 0.833 \cdot 2.4 \cdot x26(N2, n)$$

Discipline Installatietechniek

Bewegingswerken

$$x28(N2, n) := 0.3586 \cdot x14(N2, n)$$

$$x29(N2, n) := 74.24 \cdot x14(N2, n)$$

$$x30(N2, n) := (0.1917 \cdot b(N2, n)^2 - 8.4556 \cdot b(N2, n) + 26720) \cdot (0.333 \cdot x28(N2, n))$$

Elektro - installatie

$$x31(N2, n) := 0.7 + n \cdot 0.06$$

$$x32(N2, n) := (0.028 + 2.4 \cdot 10^{-3} \cdot n)$$

Discipline Waterbouw

Bodembescherming

$$x33(N2, n) := 1$$

$$x34(N2, n) := -BrBr(N2, n) \cdot 82.988 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right)$$

$$x35(N2, n) := 0.03$$

Geleidedammen

$$x36(N2, n) := 3 \cdot \left[6 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right]^2 + \left[6 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right]$$

Discipline Uitvoering

Grondwerk

$$x37a(N2, n) := 25000 \cdot \left[5 + \left(\frac{-N2}{100} \right) \right] + \left[5325 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right)^2 + 100000 \right]$$

$$x37(N2, n) := \left[2.5 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right)^2 - 77.5 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) + 301 \right] \cdot (\text{BrBr}(N2, n) + 160) + x37a(N2, n)$$

$$x38(N2, n) := \frac{31}{6} \cdot \left[3 \cdot \left[1.5 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right]^2 + \left[1.5 - \left(\frac{-N2}{100} \right) \right] \right] \cdot 0.73 \cdot (\text{BrBr}(N2, n) + 160)$$

$$x39(N2, n) := 130 \cdot \text{BrBr}(N2, n) \cdot \left[\left(\frac{-N2}{100} \right) - 2 \cdot N3(N2) - 3.4 \right]$$

$$x40(N2, n) := \left[-83.85 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) - 205.575 \right] \cdot \text{BrBr}(N2, n) + \left[7100 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right)^2 + 200000 \right]$$

Bemaling

$$x41(N2, n) := 2.75 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right)^2 \cdot \text{BrBr}(N2, n) - 7.892 \cdot \left(\frac{-N2}{100} \right) \cdot \text{BrBr}(N2, n) + y6(N2, n)$$

$$x42(N2, n) := (0.2025 \cdot y2(N2, n) + 32.37) \cdot \left[\left(\frac{N2}{100} \right) + 3.5 \right]$$

$$x43(N2, n) := 0.939 \cdot x42(N2, n) + 238.33$$

Definiären kosten

k1 := 40547.5	k23 := 64.5
k2 := 1950	k24 := 5047.6
k3 := 468.90	k25 := 19412
k4 := 172	k26 := 750
k5 := 500	k27 := 150
k6 := 21485	k28 := 8627.9
k7 := 147.41	k29 := 1
k8 := 975	k30 := 0.08
k9 := 1173.7	k31 := 5066036
k10 := 104.28	k32 := 1
k11 := 119.68	k33 := 1239167
k12 := 151.9	k34 := 21
k13 := 124598	k35 := 1
k14 := 3060	k36 := 6574
k15 := 150	k37 := 7.14
k16 := 400	k38 := 6.108
k17 := 1	k39 := 6.05
k18 := 317.65	k40 := 13.91
k19 := 1	k41 := 0.045
k20 := 57060	k42 := 3054.34
k21 := 567.23	k43 := 80
k22 := 125	

Bepaling onderdelen kostentabel Ai, Bi, Ci

Discipline Constructieve Waterbouw

Bovenbalken

$$AC1(N2, n) := x1(N2, n) \cdot k1 + x2(N2, n) \cdot k2 + x3(N2, n) \cdot k3 + x4(N2, n) \cdot k4 + x5(N2, n) \cdot k5$$

$$BC1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AC1(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CC1(N2, n) := 0$$

Pijlers

$$AC2(N2, n) := x6(N2, n) \cdot k6 + x7(N2, n) \cdot k7 + x8(N2, n) \cdot k8$$

$$BC2(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AC2(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CC2(N2, n) := 0$$

Fundering

$$AC3(N2, n) := x9(N2, n) \cdot k9$$

$$BC3(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AC3(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CC3(N2, n) := 0$$

Vloerconstructies

$$AC4(N2, n) := x10(N2, n) \cdot k10 + x11(N2, n) \cdot k11$$

$$BC4(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AC4(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CC4(N2, n) := 0$$

Damwanden

$$AC5(N2, n) := x12(N2, n) \cdot k12$$

$$BC5(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.02 \cdot AC5(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CC5(N2, n) := 0$$

$$AC(N2, n) := AC1(N2, n) + AC2(N2, n) + AC3(N2, n) + AC4(N2, n) + AC5(N2, n)$$

$$BC(N2, n) := BC1(N2, n) + BC2(N2, n) + BC3(N2, n) + BC4(N2, n) + BC5(N2, n)$$

$$CC(N2, n) := CC1(N2, n) + CC2(N2, n) + CC3(N2, n) + CC4(N2, n) + CC5(N2, n)$$

Discipline Staal

Schuiven

$$AS1(N2, n) := x13(N2, n) \cdot k13 + x14(N2, n) \cdot k14 + x15(N2, n) \cdot k15 + x16(N2, n) \cdot k16$$

$$BS1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x17(N2, n) \cdot AS1(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CS1(N2, n) := 0$$

Geleidingen en afdichtingen

$$AS2(N2, n) := x18(N2, n) \cdot k18$$

$$BS2(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x19(N2, n) \cdot AS2(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CS2(N2, n) := 0$$

$$AS(N2, n) := AS1(N2, n) + AS2(N2, n)$$

$$BS(N2, n) := BS1(N2, n) + BS2(N2, n)$$

$$CS(N2, n) := CS1(N2, n) + CS2(N2, n)$$

Discipline Bruggen

Verkeersweg

$$AB1a(N2, n) := x22(N2, n) \cdot k22 + x23(N2, n) \cdot k23 + x24(N2, n) \cdot k24$$

$$AB1(N2, n) := x20(N2, n) \cdot k20 + x21(N2, n) \cdot k21 + AB1a(N2, n)$$

$$BB1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AB1(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CB1(N2, n) := 0$$

Onderhoudsweg

$$AB2(N2, n) := x25(N2, n) \cdot k25 + x26(N2, n) \cdot k26 + x27(N2, n) \cdot k27$$

$$BB2(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.01 \cdot AB2(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CB2(N2, n) := 0$$

$$AB(N2, n) := AB1(N2, n) + AB2(N2, n)$$

$$BB(N2, n) := BB1(N2, n) + BB2(N2, n)$$

$$CB(N2, n) := CB1(N2, n) + CB2(N2, n)$$

Discipline Installatietechniek

Bewegingswerken

$$AI1(N2, n) := x28(N2, n) \cdot k28$$

$$BI1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x29(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CI1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x30(N2, n) \cdot k30}{(1+r)^t} dt$$

Elektro – installatie

$$AI2(N2, n) := x31(N2, n) \cdot k31$$

$$BI2(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x32(N2, n) \cdot AI2(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CI2(N2, n) := 0$$

$$AI(N2, n) := AI1(N2, n) + AI2(N2, n)$$

$$BI(N2, n) := BI1(N2, n) + BI2(N2, n)$$

$$CI(N2, n) := CI1(N2, n) + CI2(N2, n)$$

Discipline Waterbouw

Bodembescherming

$$AW1(N2, n) := x33(N2, n) \cdot k33 + x34(N2, n) \cdot k34$$

$$BW1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{x35(N2, n) \cdot AW1(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CW1(N2, n) := 0$$

Leidammen

$$AW2(N2, n) := x36(N2, n) \cdot k36$$

$$BW2(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.02 \cdot AW2(N2, n)}{(1+r)^t} dt$$

$$CW2(N2, n) := 0$$

$$AW(N2, n) := AW1(N2, n) + AW2(N2, n)$$

$$BW(N2, n) := BW1(N2, n) + BW2(N2, n)$$

$$CW(N2, n) := CW1(N2, n) + CW2(N2, n)$$

Discipline Uitvoering

Grondwerk

$$AU1(N2, n) := x37(N2, n) \cdot k37 + x38(N2, n) \cdot k38 + x39(N2, n) \cdot k39 + x40(N2, n) \cdot k40$$

$$BU1(N2, n) := \int_0^{te} \frac{0.02 \cdot x40(N2, n) \cdot k40}{(1+r)^t} dt$$

$$CU1(N2, n) := 0$$

Bemaling

$$AU2(N2, n) := x41(N2, n) \cdot k41 + x42(N2, n) \cdot k42$$

$$BU2(N2, n) := 0$$

$$CU2(N2, n) := \int_0^{tb} \frac{x43(N2, n) \cdot k43}{(1+r)^t} dt$$

$$AU(N2, n) := AU1(N2, n) + AU2(N2, n)$$

$$BU(N2, n) := BU1(N2, n) + BU2(N2, n)$$

$$CU(N2, n) := CU1(N2, n) + CU2(N2, n)$$

Berekening Startkosten

$$DC(N2, n) := 1.19 \cdot (1.2 \cdot (1.1 \cdot (1 + 0.052 + 0.11 + 0.035 + 0.084 + 0.068) \cdot AC(N2, n))) \quad YC := 2.1190$$

$$DS(N2, n) := 1.19 \cdot ((1 + 0.02 + 0.03 + 0.08 + 0.01 + 0.04 + 0.04) \cdot AS(N2, n)) \quad YS := 1.4518$$

$$DB(N2, n) := 1.19 \cdot 1.1 \cdot (1.2 \cdot (1.06 \cdot (1.08 \cdot (1 + 0.10 + 0.06 + 0.05 + 0.08))) \cdot AB(N2, n)) \quad YB := 2.3197$$

$$DI(N2, n) := 1.19 \cdot ((1 + 0.02 + 0.03 + 0.08 + 0.10 + 0.03) \cdot AI(N2, n)) \quad YI := 1.4994$$

$$DW(N2, n) := 1.19 \cdot (1.2 \cdot (1.1 \cdot (1 + 0.05 + 0.05 + 0.14 + 0.08 + 0.06) \cdot AW(N2, n))) \quad YW := 2.1677$$

$$DU(N2, n) := 1.19 \cdot (1.2 \cdot (1.1 \cdot (1 + 0.052 + 0.11 + 0.035 + 0.084 + 0.068) \cdot AU(N2, n))) \quad YU := 2.1190$$

$$DC1(N2, n) := YC \cdot AC1(N2, n)$$

$$DB2(N2, n) := YB \cdot AB2(N2, n)$$

$$DC2(N2, n) := YC \cdot AC2(N2, n)$$

$$DI1(N2, n) := YI \cdot AI1(N2, n)$$

$$DC3(N2, n) := YC \cdot AC3(N2, n)$$

$$DI2(N2, n) := YI \cdot AI2(N2, n)$$

$$DC4(N2, n) := YC \cdot AC4(N2, n)$$

$$DW1(N2, n) := YW \cdot AW1(N2, n)$$

$$DC5(N2, n) := YC \cdot AC5(N2, n)$$

$$DW2(N2, n) := YW \cdot AW2(N2, n)$$

$$DS1(N2, n) := YS \cdot AS1(N2, n)$$

$$DU1(N2, n) := YU \cdot AU1(N2, n)$$

$$DS2(N2, n) := YS \cdot AS2(N2, n)$$

$$DU2(N2, n) := YU \cdot AU2(N2, n)$$

$$DB1(N2, n) := YB \cdot AB1(N2, n)$$

$$Project_overall(N2, n) := R1(N2, n)$$

$$PVE(N2, n) := R2(b, N2)$$

$$Rest_lijsten_tov_VO(N2, n) := R3(N2, n)$$

$$BD(N2, n) := R4(b, N2)$$

$$Rest_MathCad_tov_VO(N2, n) := R5(N2, n)$$

$$R1(N2, n) := 4024580$$

$$R2(N2, n) := 1893647$$

$$R3(N2, n) := 2238724$$

$$R4(N2, n) := 13399995$$

$$R5(N2, n) := 3320415$$

$$R_tot(N2, n) := R1(N2, n) + R2(N2, n) + R3(N2, n) + R4(N2, n) + R5(N2, n)$$

Berekening Totaalkosten

$$KC1(N2, n) := DC1(N2, n) + BC1(N2, n) + CC1(N2, n)$$

$$KC2(N2, n) := DC2(N2, n) + BC2(N2, n) + CC2(N2, n)$$

$$KC3(N2, n) := DC3(N2, n) + BC3(N2, n) + CC3(N2, n)$$

$$KC4(N2, n) := DC4(N2, n) + BC4(N2, n) + CC4(N2, n)$$

$$KC5(N2, n) := DC5(N2, n) + BC5(N2, n) + CC5(N2, n)$$

$$KC(N2, n) := KC1(N2, n) + KC2(N2, n) + KC3(N2, n) + KC4(N2, n) + KC5(N2, n)$$

$$KS1(N2, n) := DS1(N2, n) + BS1(N2, n) + CS1(N2, n)$$

$$KS2(N2, n) := DS2(N2, n) + BS2(N2, n) + CS2(N2, n)$$

$$KS(N2, n) := KS1(N2, n) + KS2(N2, n)$$

$$KB1(N2, n) := DB1(N2, n) + BB1(N2, n) + CB1(N2, n)$$

$$KB2(N2, n) := DB2(N2, n) + BB2(N2, n) + CB2(N2, n)$$

$$KB(N2, n) := KB1(N2, n) + KB2(N2, n)$$

$$KI1(N2, n) := DI1(N2, n) + BI1(N2, n) + CI1(N2, n)$$

$$KI2(N2, n) := DI2(N2, n) + BI2(N2, n) + CI2(N2, n)$$

$$KI(N2, n) := KI1(N2, n) + KI2(N2, n)$$

$$KW1(N2, n) := DW1(N2, n) + BW1(N2, n) + CW1(N2, n)$$

$$KW2(N2, n) := DW2(N2, n) + BW2(N2, n) + CW2(N2, n)$$

$$KW(N2, n) := KW1(N2, n) + KW2(N2, n)$$

$$KU1(N2, n) := DU1(N2, n) + BU1(N2, n) + CU1(N2, n)$$

$$KU2(N2, n) := DU2(N2, n) + BU2(N2, n) + CU2(N2, n)$$

$$KU(N2, n) := KU1(N2, n) + KU2(N2, n)$$

$$\text{TTKA}(\text{N2}, n) := \text{DC}(\text{N2}, n) + \text{DS}(\text{N2}, n) + \text{DB}(\text{N2}, n) + \text{DI}(\text{N2}, n) + \text{DW}(\text{N2}, n) + \text{DU}(\text{N2}, n)$$

$$\text{TTTKA}(\text{N2}, n) := \text{TTKA}(\text{N2}, n) + \text{R_tot}(\text{N2}, n)$$

$$\text{K_cat_A}(\text{N2}, n) := \text{TTTKA}(\text{N2}, n)$$

K_cat_A = Totale Stichtingskosten

$$\text{TTKB}(\text{N2}, n) := \text{BC}(\text{N2}, n) + \text{BS}(\text{N2}, n) + \text{BB}(\text{N2}, n) + \text{BI}(\text{N2}, n) + \text{BW}(\text{N2}, n) + \text{BU}(\text{N2}, n)$$

$$\text{K_cat_B}(\text{N2}, n) := \text{TTKB}(\text{N2}, n)$$

K_cat_B = Totale Gekapitaliseerde Onderhoudskosten

$$\text{TTKC}(\text{N2}, n) := \text{CC}(\text{N2}, n) + \text{CS}(\text{N2}, n) + \text{CB}(\text{N2}, n) + \text{CI}(\text{N2}, n) + \text{CW}(\text{N2}, n) + \text{CU}(\text{N2}, n)$$

$$\text{K_cat_C}(\text{N2}, n) := \text{TTKC}(\text{N2}, n)$$

K_cat_C = Totale Gekapitaliseerde Energiekosten

$$\text{Lifecycle_Kosten_Spuisluis}(\text{N2}, n) := \text{K_cat_A}(\text{N2}, n) + \text{K_cat_B}(\text{N2}, n) + \text{K_cat_C}(\text{N2}, n)$$

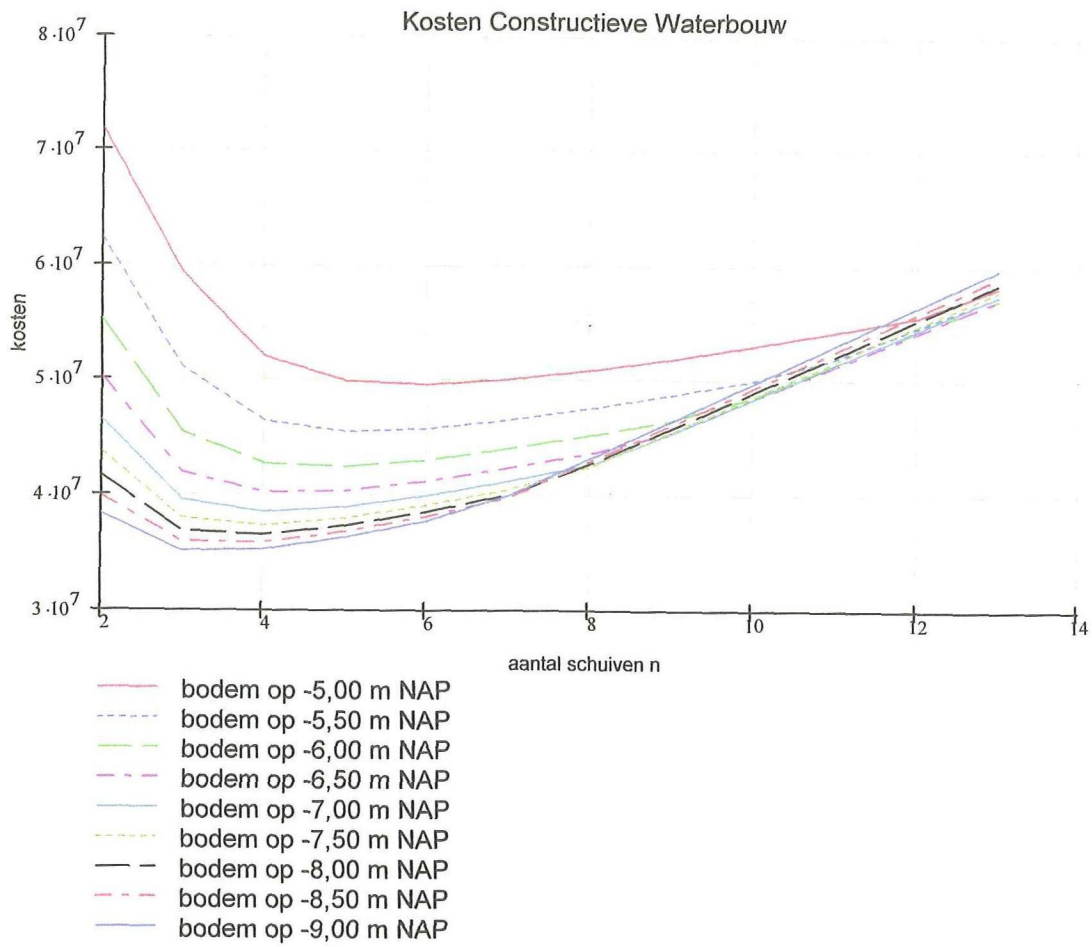
$$\text{Q}(\text{N2}, n) := \text{Lifecycle_Kosten_Spuisluis}(\text{N2}, n)$$

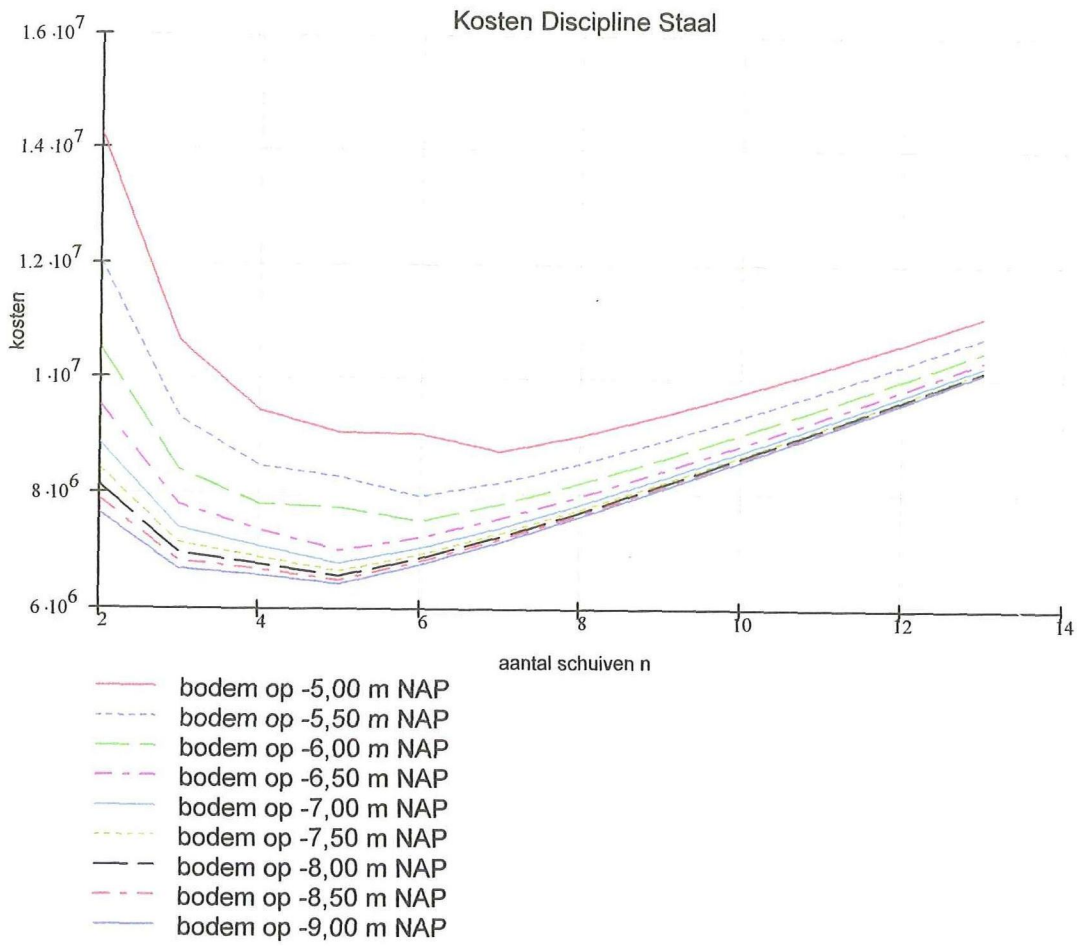
$$\text{Lifecycle_Kosten_Spuisluis_in_miljoenen_Euro's}(\text{N2}, n) := \frac{\text{Lifecycle_Kosten_Spuisluis}(\text{N2}, n)}{10^6}$$

$$\text{Stichtingskosten_Spuisluis_in_miljoenen_Euro's}(\text{N2}, n) := \frac{\text{K_cat_A}(\text{N2}, n)}{10^6}$$

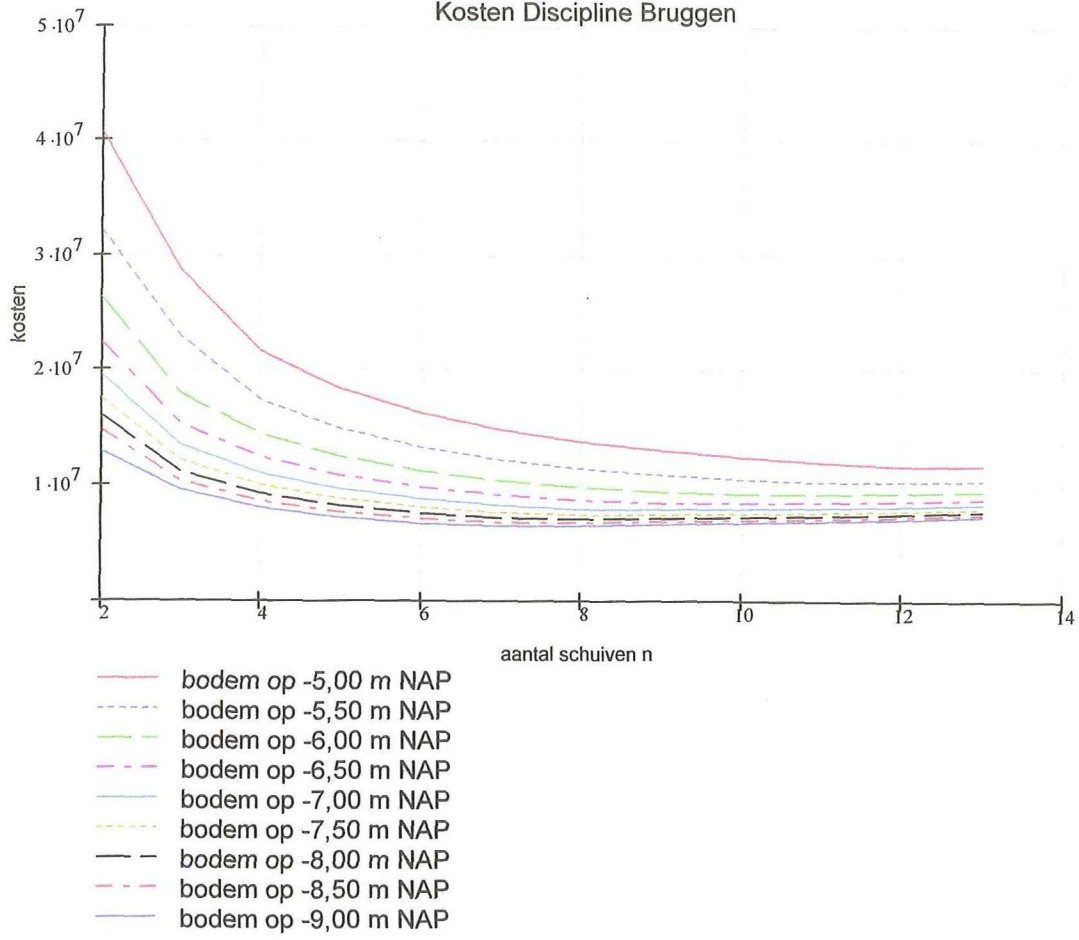
$$\text{M2}_{\text{N2}, n+1} := \text{Q}(\text{N2}, n)$$

Grafieken van kosten van disciplines als functie van n en N2

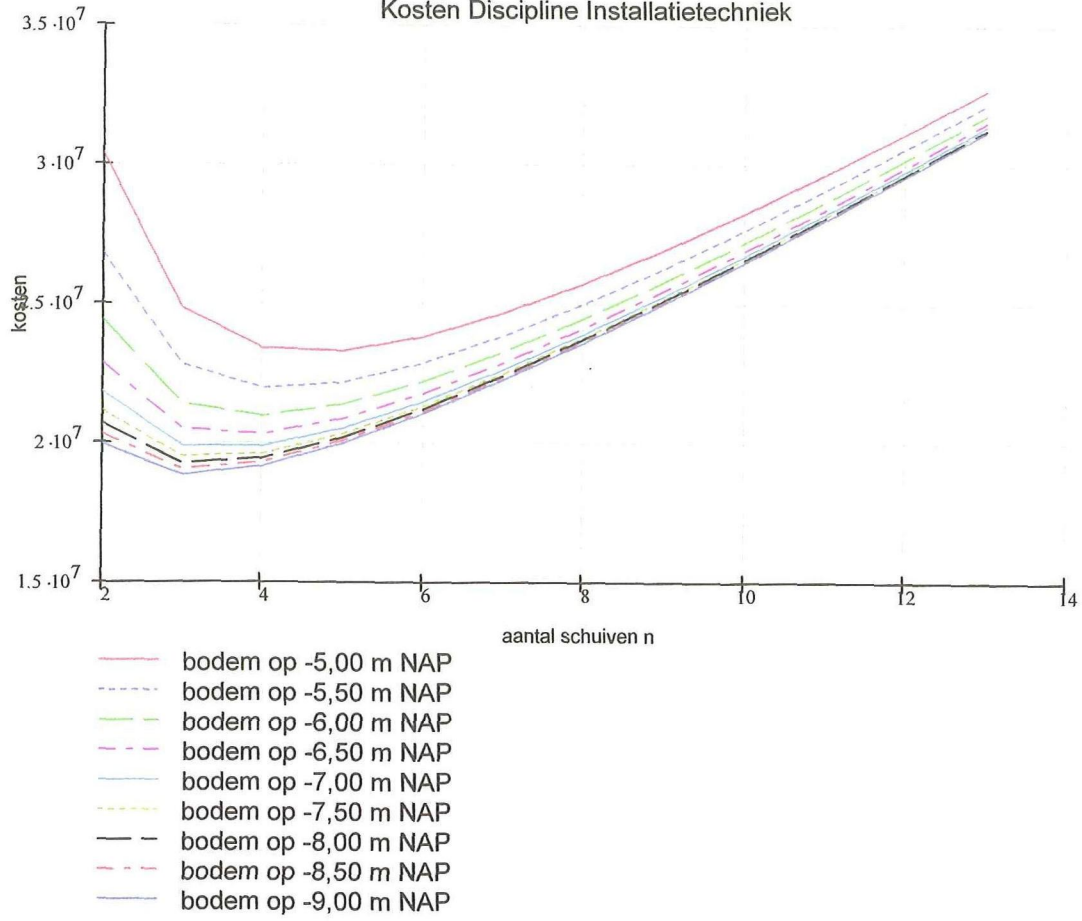


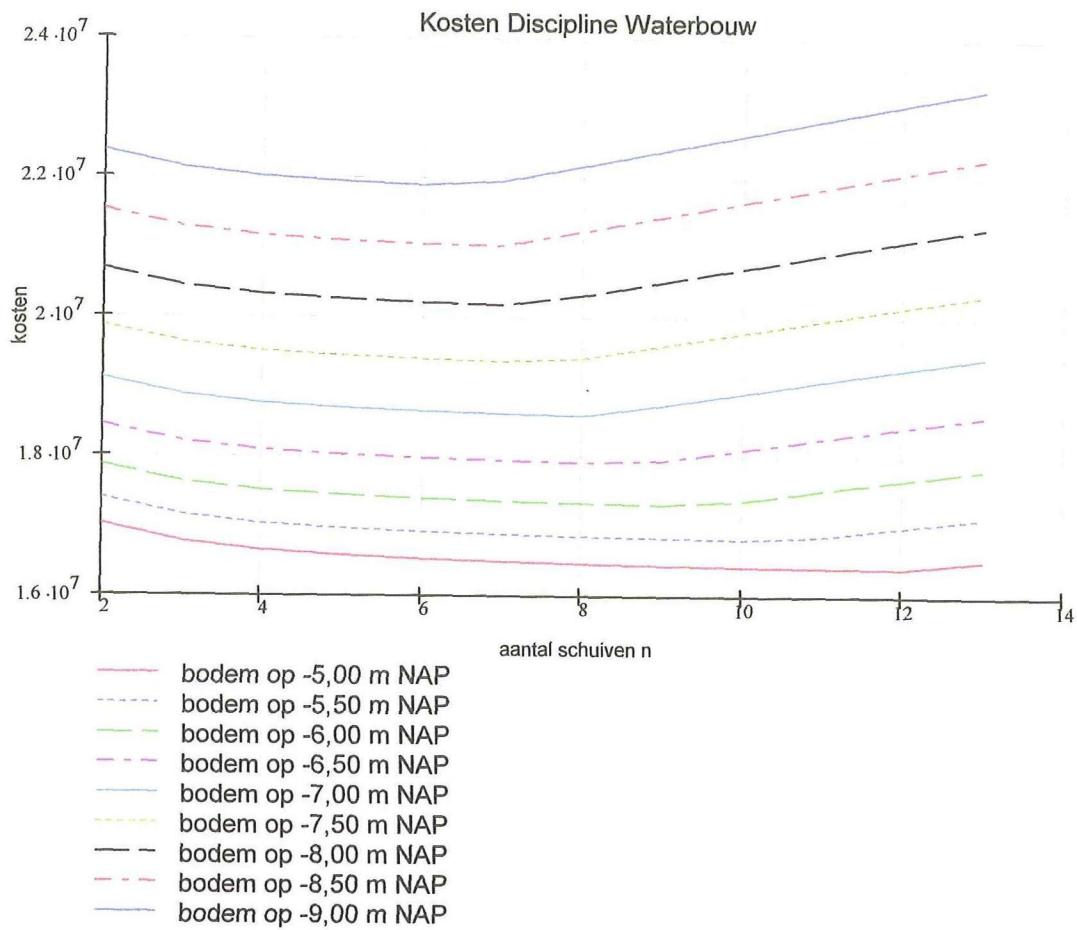


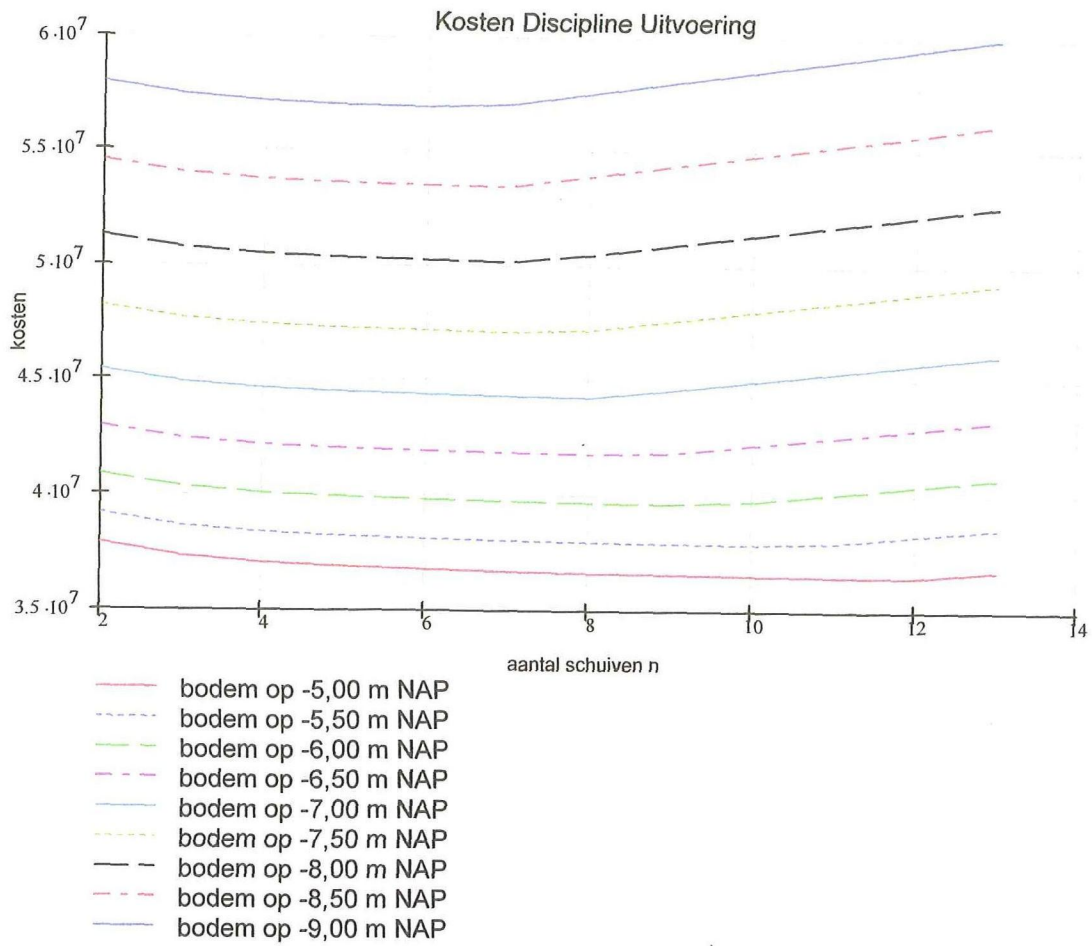
Kosten Discipline Bruggen



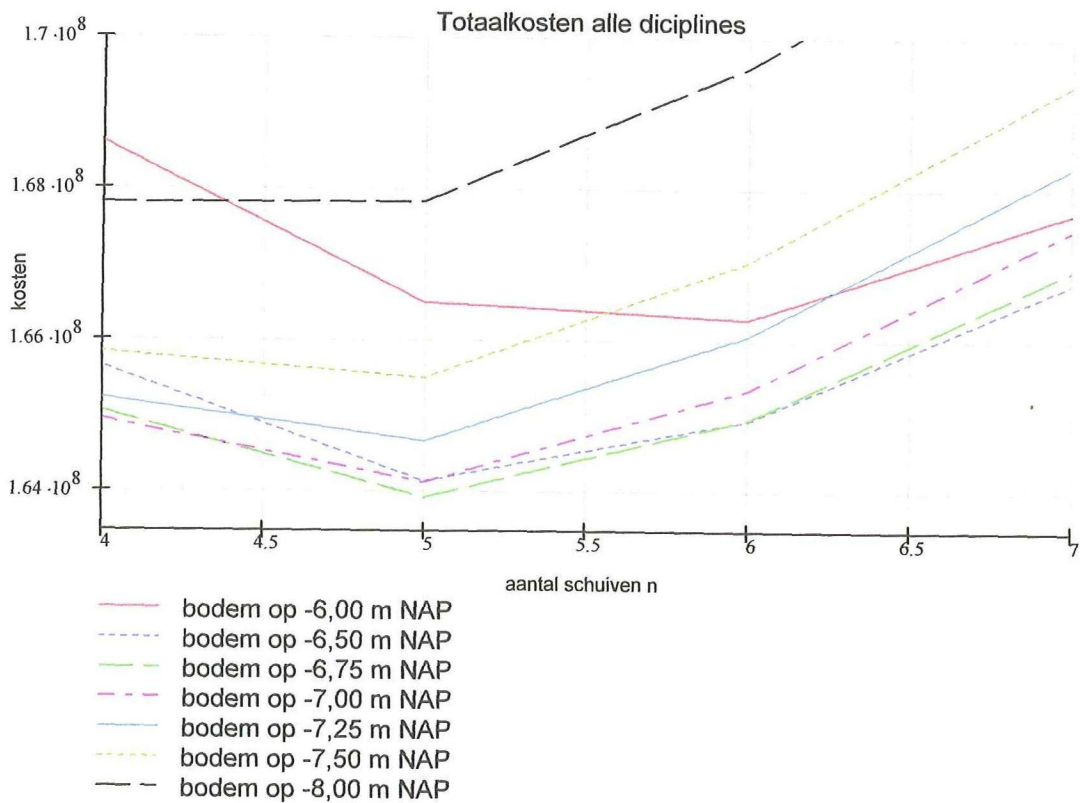
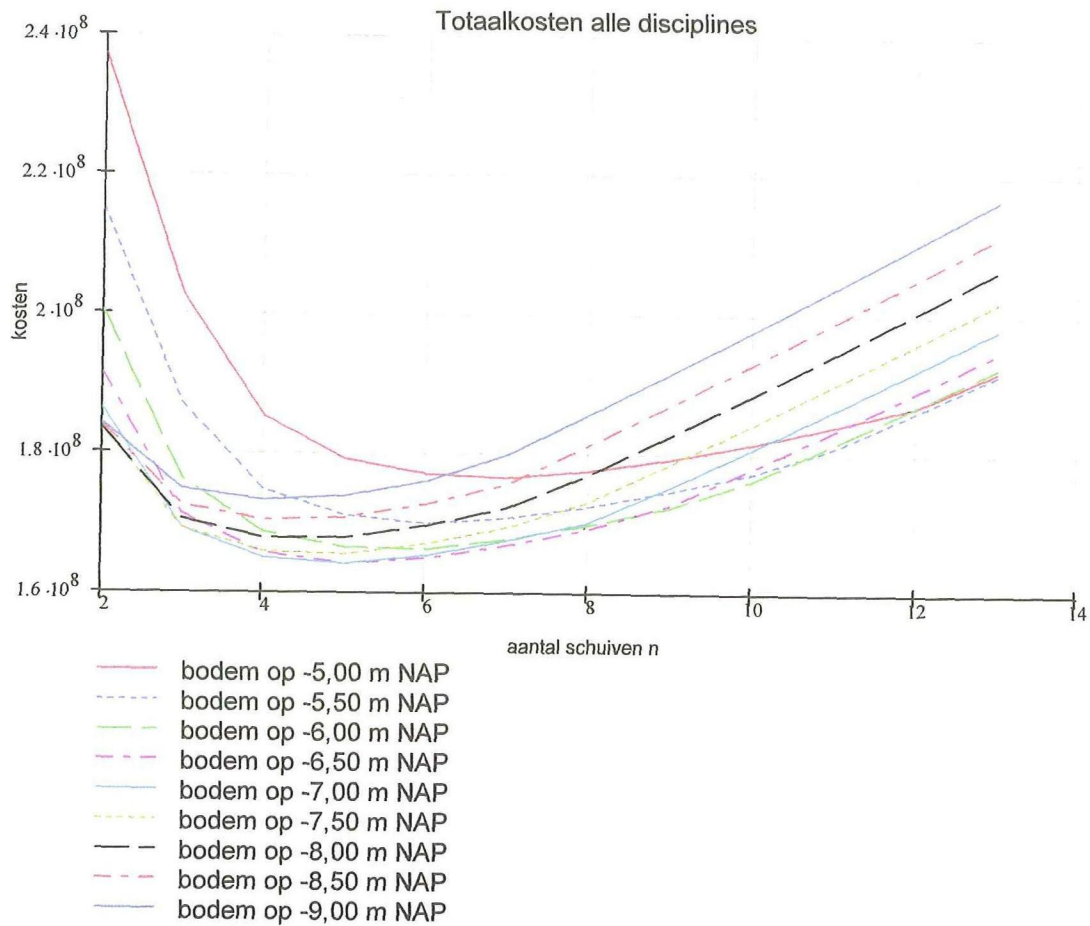
Kosten Discipline Installatietechniek



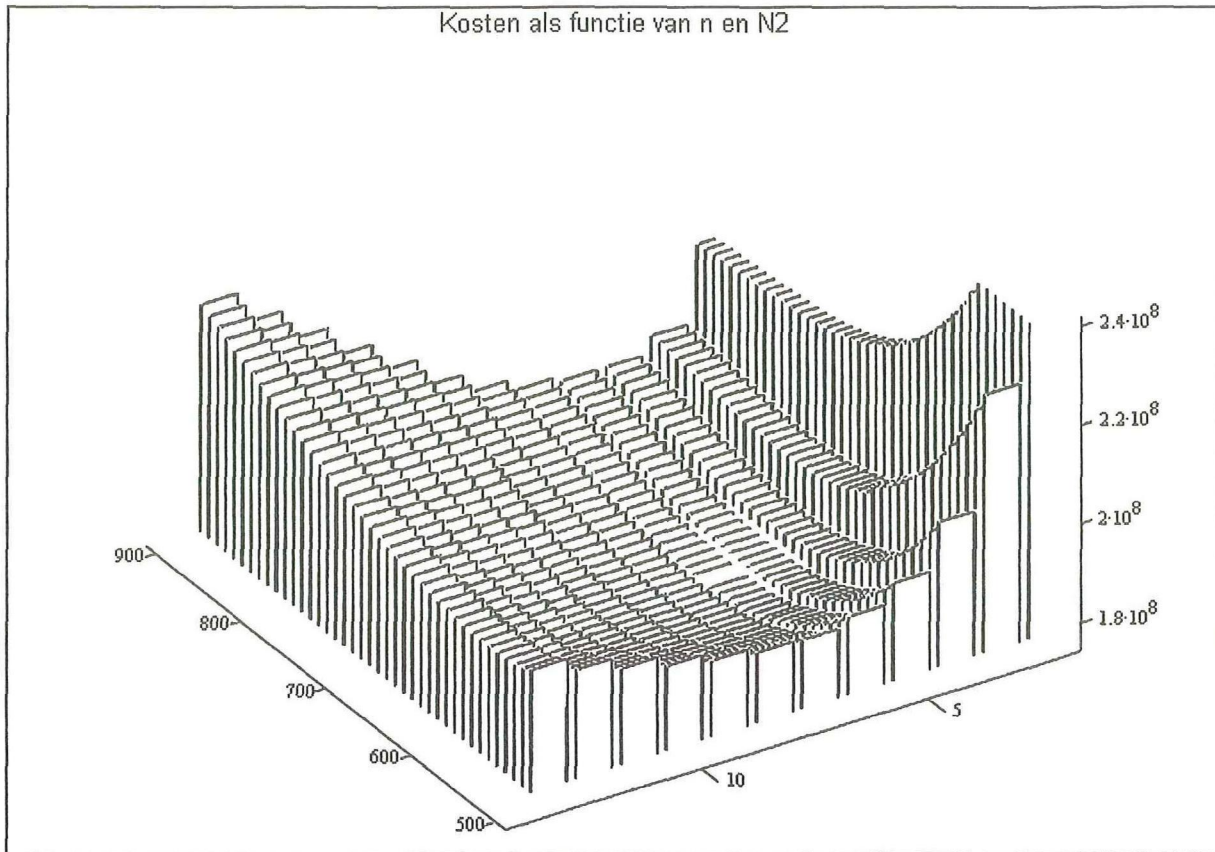




Bepaling optimale schuifbreedte

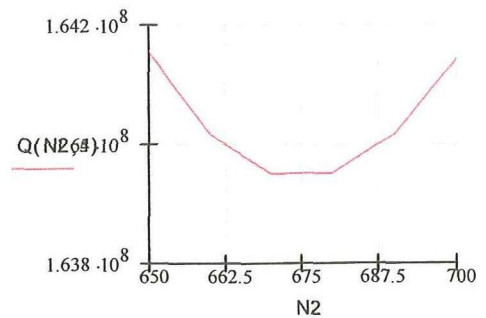
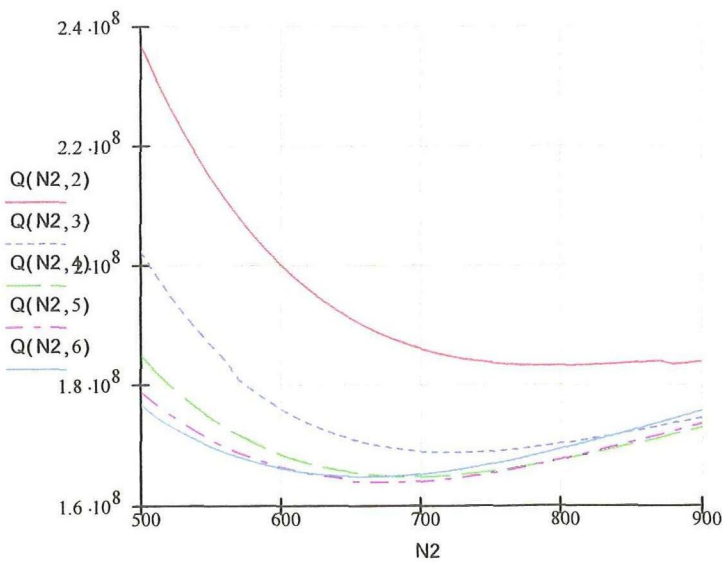


3-D Weergave kosten



M2 y-as: Bodemligging (N2) in cm -NAP

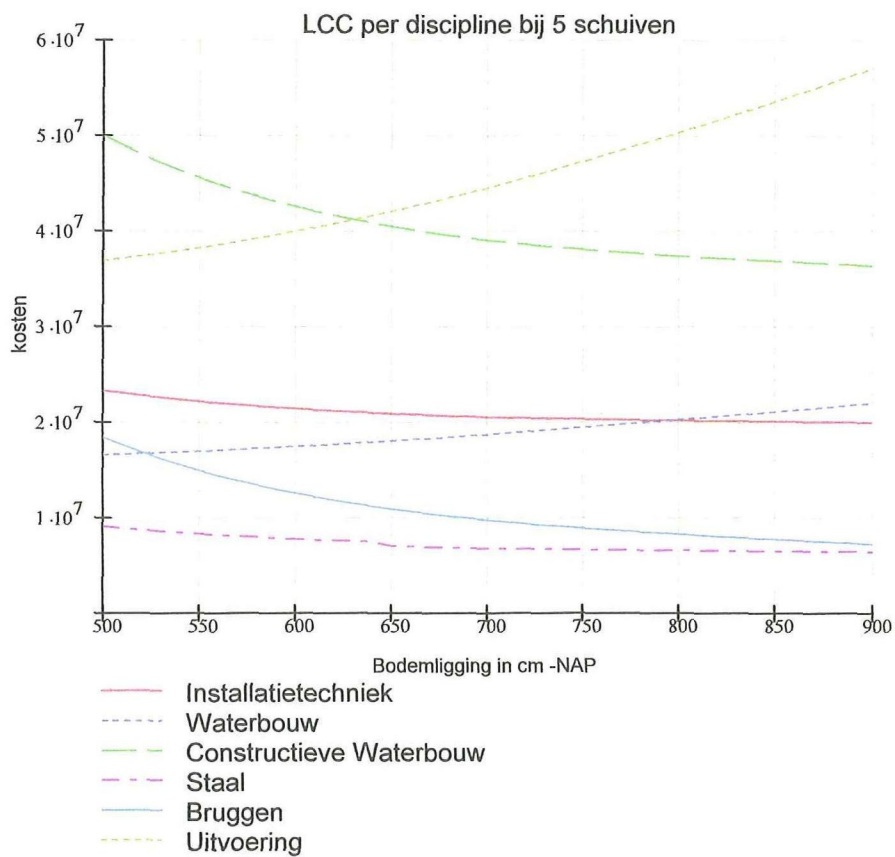
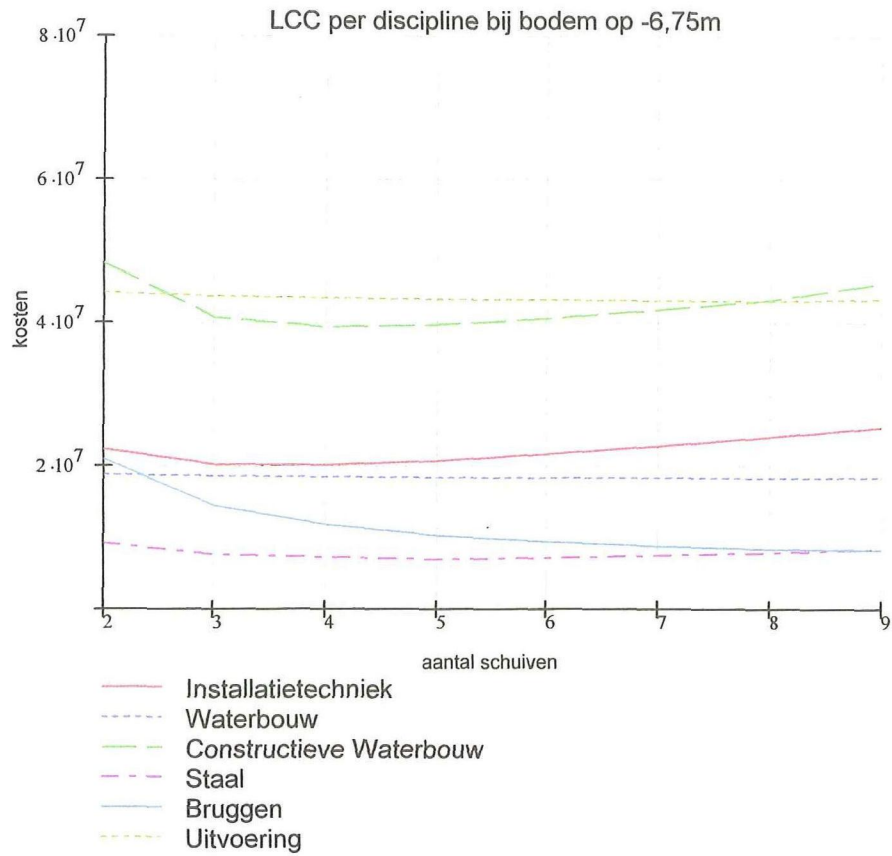
x-as: Aantal schuiven (n)



N2opt := 675 nopt := 5

c := N2opt d := nopt

**Resultaat: Optimale bodemligging op -6,75m NAP
Optimaal aantal schuiven: 5 stuks**



Invullen kostentabel

$Z_{1,1} := DC1(c, d)$	$Z_{1,2} := BC1(c, d)$	$Z_{1,3} := CC1(c, d)$	$Z_{1,4} := Z_{1,1} + Z_{1,2} + Z_{1,3}$
$Z_{2,1} := DC2(c, d)$	$Z_{2,2} := BC2(c, d)$	$Z_{2,3} := CC2(c, d)$	$Z_{2,4} := Z_{2,1} + Z_{2,2} + Z_{2,3}$
$Z_{3,1} := DC3(c, d)$	$Z_{3,2} := BC3(c, d)$	$Z_{3,3} := CC3(c, d)$	$Z_{3,4} := Z_{3,1} + Z_{3,2} + Z_{3,3}$
$Z_{4,1} := DC4(c, d)$	$Z_{4,2} := BC4(c, d)$	$Z_{4,3} := CC4(c, d)$	$Z_{4,4} := Z_{4,1} + Z_{4,2} + Z_{4,3}$
$Z_{5,1} := DC5(c, d)$	$Z_{5,2} := BC5(c, d)$	$Z_{5,3} := CC5(c, d)$	$Z_{5,4} := Z_{5,1} + Z_{5,2} + Z_{5,3}$
$Z_{6,1} := DS1(c, d)$	$Z_{6,2} := BS1(c, d)$	$Z_{6,3} := CS1(c, d)$	$Z_{6,4} := Z_{6,1} + Z_{6,2} + Z_{6,3}$
$Z_{7,1} := DS2(c, d)$	$Z_{7,2} := BS2(c, d)$	$Z_{7,3} := CS2(c, d)$	$Z_{7,4} := Z_{7,1} + Z_{7,2} + Z_{7,3}$
$Z_{8,1} := DB1(c, d)$	$Z_{8,2} := BB1(c, d)$	$Z_{8,3} := CB1(c, d)$	$Z_{8,4} := Z_{8,1} + Z_{8,2} + Z_{8,3}$
$Z_{9,1} := DB2(c, d)$	$Z_{9,2} := BB2(c, d)$	$Z_{9,3} := CB2(c, d)$	$Z_{9,4} := Z_{9,1} + Z_{9,2} + Z_{9,3}$
$Z_{10,1} := DI1(c, d)$	$Z_{10,2} := BI1(c, d)$	$Z_{10,3} := CI1(c, d)$	$Z_{10,4} := Z_{10,1} + Z_{10,2} + Z_{10,3}$
$Z_{11,1} := DI2(c, d)$	$Z_{11,2} := BI2(c, d)$	$Z_{11,3} := CI2(c, d)$	$Z_{11,4} := Z_{11,1} + Z_{11,2} + Z_{11,3}$
$Z_{12,1} := DW1(c, d)$	$Z_{12,2} := BW1(c, d)$	$Z_{12,3} := CW1(c, d)$	$Z_{12,4} := Z_{12,1} + Z_{12,2} + Z_{12,3}$
$Z_{13,1} := DW2(c, d)$	$Z_{13,2} := BW2(c, d)$	$Z_{13,3} := CW2(c, d)$	$Z_{13,4} := Z_{13,1} + Z_{13,2} + Z_{13,3}$
$Z_{14,1} := DU1(c, d)$	$Z_{14,2} := BU1(c, d)$	$Z_{14,3} := CU1(c, d)$	$Z_{14,4} := Z_{14,1} + Z_{14,2} + Z_{14,3}$
$Z_{15,1} := DU2(c, d)$	$Z_{15,2} := BU2(c, d)$	$Z_{15,3} := CU2(c, d)$	$Z_{15,4} := Z_{15,1} + Z_{15,2} + Z_{15,3}$
$Z_{16,1} := TTKA(c, d)$	$Z_{16,2} := K_cat_B(c, d)$	$Z_{16,3} := K_cat_C(c, d)$	$Z_{16,4} := Z_{16,1} + Z_{16,2} + Z_{16,3}$
$Z_{17,1} := R_tot(c, d)$	$Z_{17,2} := 0$	$Z_{17,3} := 0$	$Z_{17,4} := Z_{17,1} + Z_{17,2} + Z_{17,3}$
$Z_{18,1} := K_cat_A(c, d)$	$Z_{18,2} := Z_{16,2}$	$Z_{18,3} := Z_{16,3}$	$Z_{18,4} := Z_{16,4} + Z_{17,4}$

Kostentabel: vergelijk hoofdrapport pagina 30

	A	B	C	Totaal		
	1	2	3	4		
	1	$2.54 \cdot 10^6$	$2.626 \cdot 10^5$	0	$2.803 \cdot 10^6$	1. Bovenbalken
	2	$1.836 \cdot 10^7$	$1.899 \cdot 10^6$	0	$2.026 \cdot 10^7$	2. Pijlers
	3	$2.514 \cdot 10^6$	$2.599 \cdot 10^5$	0	$2.774 \cdot 10^6$	3. Fundering
	4	$6.029 \cdot 10^6$	$6.234 \cdot 10^5$	0	$6.653 \cdot 10^6$	4. Vloerconstructies
	5	$5.935 \cdot 10^6$	$1.227 \cdot 10^6$	0	$7.163 \cdot 10^6$	5. Damwanden
	6	$4.407 \cdot 10^6$	$1.995 \cdot 10^6$	0	$6.402 \cdot 10^6$	6. Schuiven
	7	$3.361 \cdot 10^5$	$1.522 \cdot 10^5$	0	$4.883 \cdot 10^5$	7. Geleidingen – afdichtingen
	8	$8.21 \cdot 10^6$	$7.754 \cdot 10^5$	0	$8.985 \cdot 10^6$	8. Verkeersweg
Z =	9	$1.169 \cdot 10^6$	$1.104 \cdot 10^5$	0	$1.279 \cdot 10^6$	9. Onderhoudsweg
	10	$3.382 \cdot 10^6$	$1.186 \cdot 10^6$	$4.063 \cdot 10^6$	$8.63 \cdot 10^6$	10. Bewegingswerken
	11	$7.596 \cdot 10^6$	$4.44 \cdot 10^6$	0	$1.204 \cdot 10^7$	11. Elektro – installatie
	12	$7.501 \cdot 10^6$	$2.274 \cdot 10^6$	0	$9.775 \cdot 10^6$	12. Bodembescherming
	13	$7.131 \cdot 10^6$	$1.442 \cdot 10^6$	0	$8.573 \cdot 10^6$	13. Geleidedammen
	14	$3.441 \cdot 10^7$	$3.606 \cdot 10^6$	0	$3.802 \cdot 10^7$	14. Grondwerk
	15	$4.94 \cdot 10^6$	0	$2.827 \cdot 10^5$	$5.223 \cdot 10^6$	15. Bemaling
	16	$1.145 \cdot 10^8$	$2.025 \cdot 10^7$	$4.346 \cdot 10^6$	$1.391 \cdot 10^8$	Subtotaal
	17	$2.488 \cdot 10^7$	0	0	$2.488 \cdot 10^7$	Restposten
	18	$1.393 \cdot 10^8$	$2.025 \cdot 10^7$	$4.346 \cdot 10^6$	$1.639 \cdot 10^8$	Totaal

Verdeling kosten naar disciplines:

J.V. kostentabel143

Z

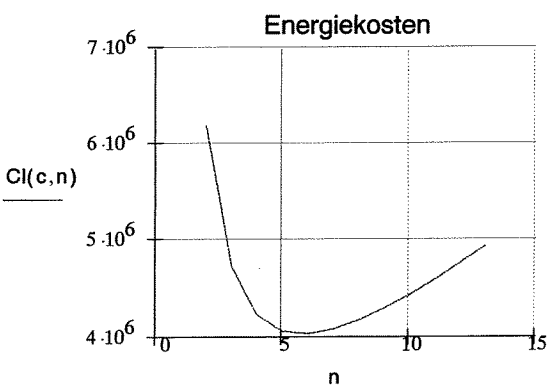
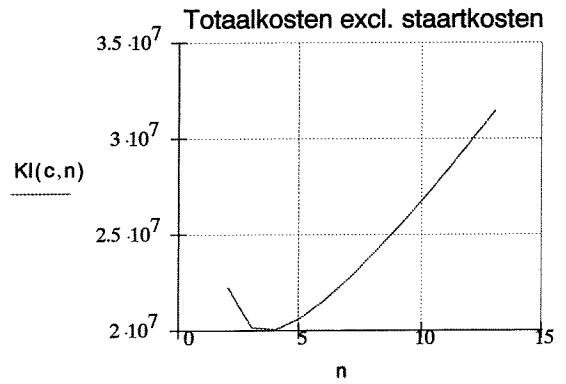
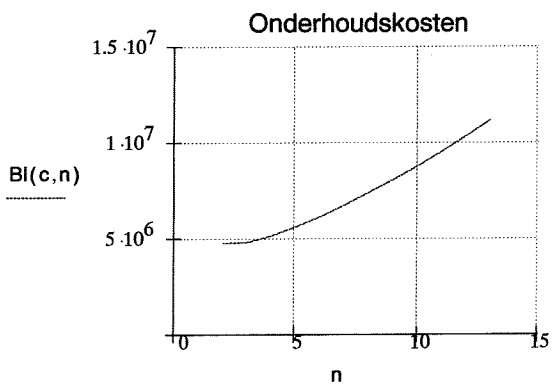
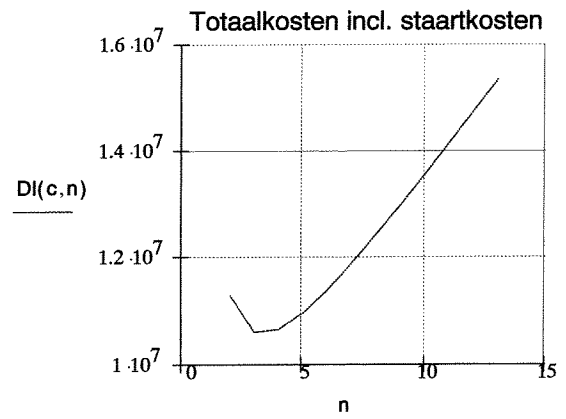
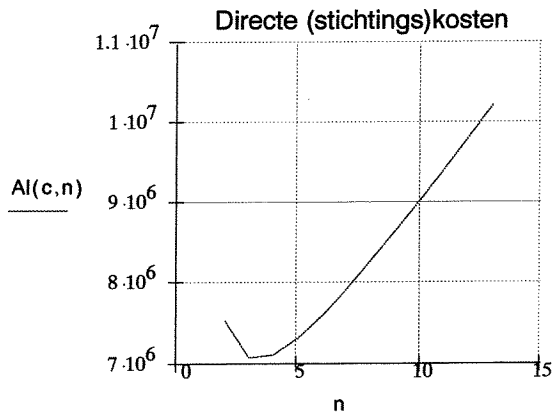
	Stichtingskosten	LCC kosten
Constructieve Waterbouw	$DC(c, d) = 3.538 \cdot 10^7$	$KC(c, d) = 3.966 \cdot 10^7$
Staal	$DS(c, d) = 4.743 \cdot 10^6$	$KS(c, d) = 6.891 \cdot 10^6$
Bruggen	$DB(c, d) = 9.379 \cdot 10^6$	$KB(c, d) = 1.026 \cdot 10^7$
Installatietechniek	$DI(c, d) = 1.098 \cdot 10^7$	$KI(c, d) = 2.067 \cdot 10^7$
Waterbouw	$DW(c, d) = 1.463 \cdot 10^7$	$KW(c, d) = 1.835 \cdot 10^7$
Uitvoering	$DU(c, d) = 3.935 \cdot 10^7$	$KU(c, d) = 4.324 \cdot 10^7$

Lifecycle_Kosten_Spuisluis(c, d) = $1.639 \cdot 10^8$

Lifecycle_Kosten_Spuisluis_in_miljoenen_Euro's(c, d) = 163.943 M€

Stichtingskosten_Spuisluis_in_miljoenen_Euro's(c, d) = 139.345 M€

Voorbeeld Opbouw Totaalkosten Installatietechniek



12. Gevoeligheidsanalyse

Vermenigvuldigingsfactoren ten behoeve van gevoeligheidsanalyse

Var	Beschrijving	Hoeveelheden					Eenheidsprijzen				
		Lage schatting model	Lage schatting VO	Midden schatting VO	Hoge schatting VO	Hoge schatting model	Lage schatting model	Lage schatting VO	Midden schatting VO	Hoge schatting VO	Hoge schatting model
x1	Vaste kosten bovenbalk	1	1	1	1	1	0,75	-	-	-	1,25
x2	Materiaalgebruik bovenbalk : Voorspanstaal	0,70	-	-	-	1,30	0,70	-	-	-	1,30
x3	Materiaalgebruik bovenbalk : Beton	0,75	0,80	1	1,20	1,25	0,90	0,95	1	1,15	1,20
x4	Materieelgebruik bovenbalk : Bekisting	0,85	0,90	1	1,10	1,15	0,75	-	-	-	1,25
x5	Materieelgebruik bovenbalk : Ondersteuningsconstructie	0,80	-	-	-	1,20	0,70	-	-	-	1,30
x6	Vaste kosten pijler	1	1	1	1	1	0,70	-	1	-	1,30
x7	Materiaalgebruik pijler : beton	0,80	0,85	1	1,15	1,20	0,90	0,95	1	1,15	1,20
x8	Materiaalgebruik pijler : Wapeningsstaal	0,75	0,80	1	1,10	1,15	0,90	0,95	1	1,15	1,20
x9	Aantal heipalen	0,80	0,85	1	1,35	1,40	0,85	0,90	1	1,15	1,20
x10	Materiaalgebruik spuisluisbodemp	0,80	0,85	1	1,40	1,45	0,90	0,95	1	1,15	1,20
x11	Materiaalgebruik onderwaterbetonvloeren	0,85	0,90	1	1,50	1,55	0,85	0,90	1	1,10	1,15
x12	Oppervlakte damwanden	0,85	0,90	1	1,20	1,25	0,87	0,92	1	1,10	1,15
x13	Vaste kosten schuiven	1	1	1	1	1	0,75	-	-	-	1,25
x14	Materiaalgebruik schuiven	0,83	0,88	1	1,18	1,23	0,74	0,79	1	1,24	1,29
x15	Transportmaterieel : Hijskranen	0,75	-	-	-	1,25	0,60	-	-	-	1,40
x16	Transportmaterieel : Bokken	0,75	-	-	-	1,25	0,60	-	-	-	1,40
x17	Onderhoud schuiven	0,83	0,88	1	1,24	1,29	0,69	0,74	1	1,30	1,35
x18	Omvang geleidingen en afdichtingen schuiven	0,81	0,86	1	1,20	1,25	0,81	0,86	1	1,36	1,41
x19	Onderhoud geleidingen en afdichtingen	0,83	0,88	1	1,24	1,29	0,69	0,74	1	1,30	1,35
x20	Vaste kosten verkeersweg	1	1	1	1	1	0,75	-	-	-	1,25
x21	Materiaalgebruik verkeersweg : Beton	0,75	0,80	1	1,20	1,25	0,85	0,90	1	1,20	1,25
x22	Materieelgebruik verkeersweg : Ondersteuningsconstructie	0,90	0,95	1	1,05	1,10	0,75	-	1	-	1,25
x23	Materieelgebruik verkeersweg : Bekisting	0,85	0,90	1	1,10	1,15	0,75	-	1	-	1,25
x24	Afbouw wegen	0,75	0,80	1	1,20	1,25	0,80	0,85	1	1,15	1,20
x25	Vaste kosten onderhoudsweg	1	1	1	1	1	0,75	-	-	-	1,25
x26	Materiaalgebruik verkeersweg : Prefab Beton	0,85	0,90	1	1,10	1,15	0,60	-	1	-	1,40
x27	Materieelgebruik verkeersweg : Hijskranen	0,75	-	-	-	1,25	0,60	-	-	-	1,40
x28	Capaciteit bewegingswerken	0,82	0,87	1	1,23	1,28	0,82	0,87	1	1,23	1,28
x29	Onderhoud bewegingswerken	0,60	-	-	-	1,40	0,75	-	-	-	1,25
x30	Energieverbruik bewegingswerken	0,75	-	-	-	1,25	0,75	-	-	-	1,25
x31	Omvang elektro-installatie	0,77	0,82	1	1,20	1,25	0,77	0,82	1	1,20	1,25
x32	Onderhoud elektro-installatie	0,75	-	-	-	1,25	0,75	-	-	-	1,25
x33	Vaste kosten bodembescherming	1	1	1	1	1	0,75	-	-	-	1,25
x34	Materiaalgebruik bodembescherming	0,70	0,75	1	1,25	1,30	0,85	0,90	1	1,10	1,15
x35	Onderhoud bodembescherming	0,60	-	-	-	1,40	0,75	-	-	-	1,25
x36	Materiaalgebruik leidammen	0,75	0,80	1	1,20	1,25	0,85	0,90	1	1,10	1,15
x37	Grondwerk Afsluitdijk	0,77	0,82	1	1,18	1,23	0,82	0,87	1	1,13	1,18
x38	Grondwerk Ringdijk	0,77	0,82	1	1,18	1,23	0,82	0,87	1	1,13	1,18
x39	Grondwerk bouwput	0,80	0,85	1	1,15	1,20	0,82	0,87	1	1,13	1,18
x40	Baggerwerk	0,83	0,88	1	1,20	1,25	0,82	0,87	1	1,13	1,18
x41	Bemalingsvolume	0,75	-	-	-	1,25	0,75	-	-	-	1,25
x42	Capaciteit bemalingspompen	0,65	0,70	1	2,00	2,05	0,80	0,85	1	1,15	1,20
x43	Energieverbruik bemalingspompen	0,75	-	-	-	1,25	0,75	-	-	-	1,25

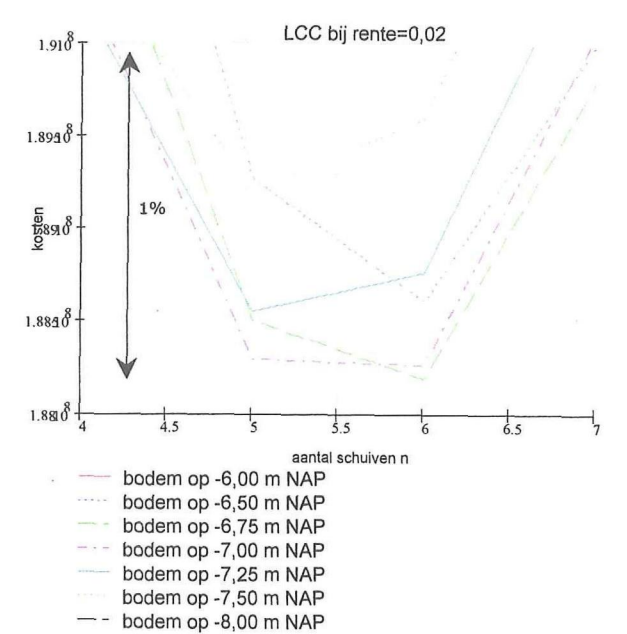
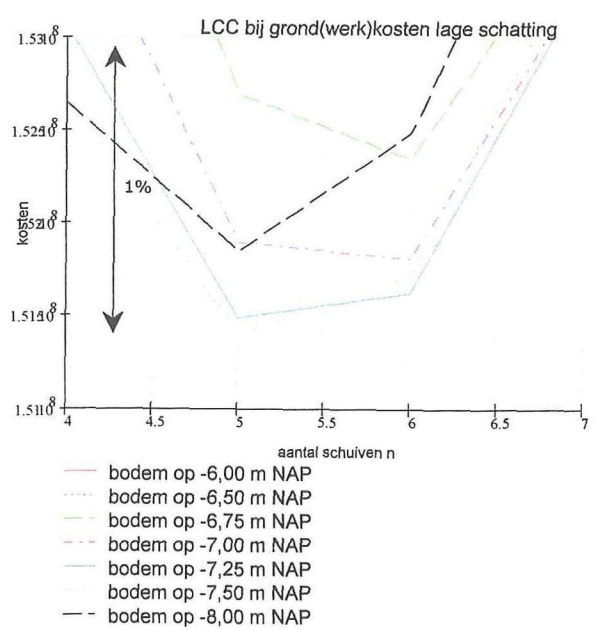
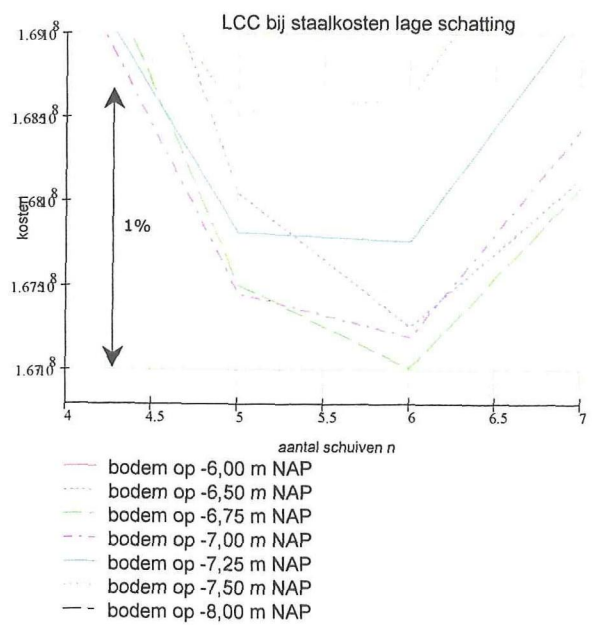
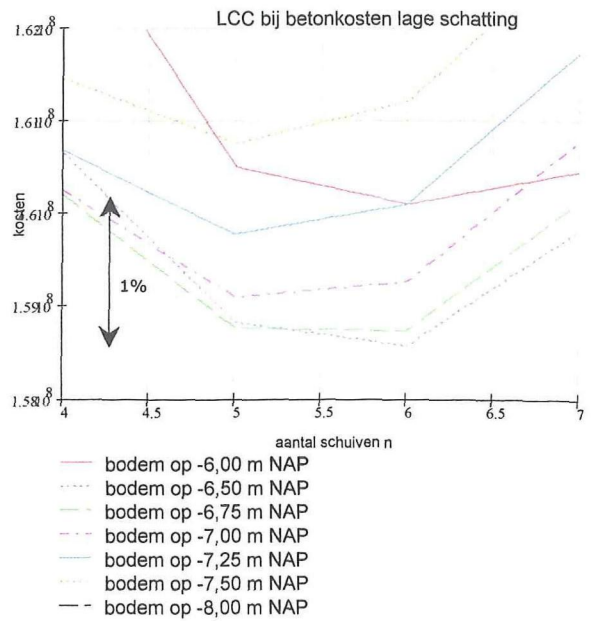
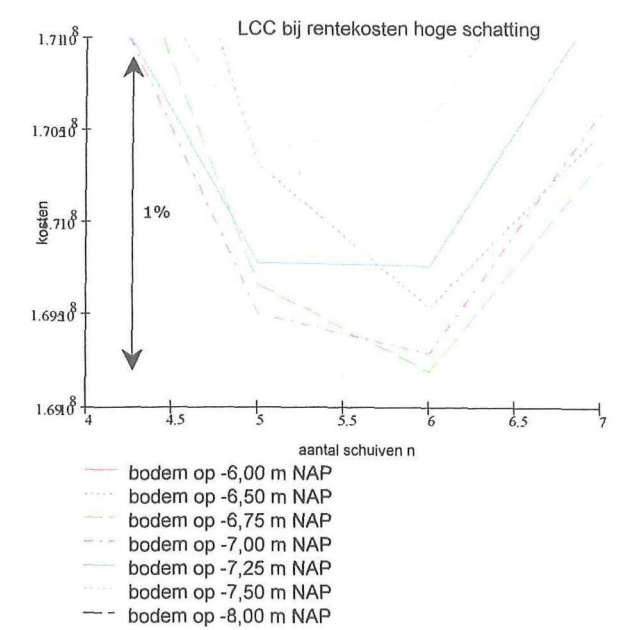
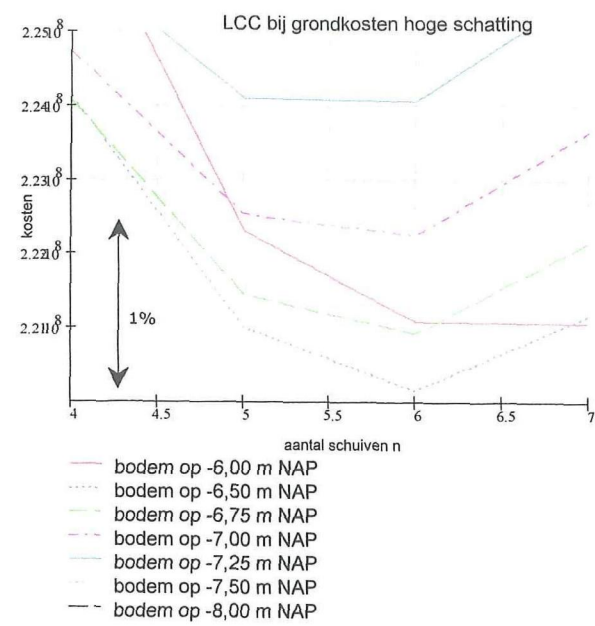
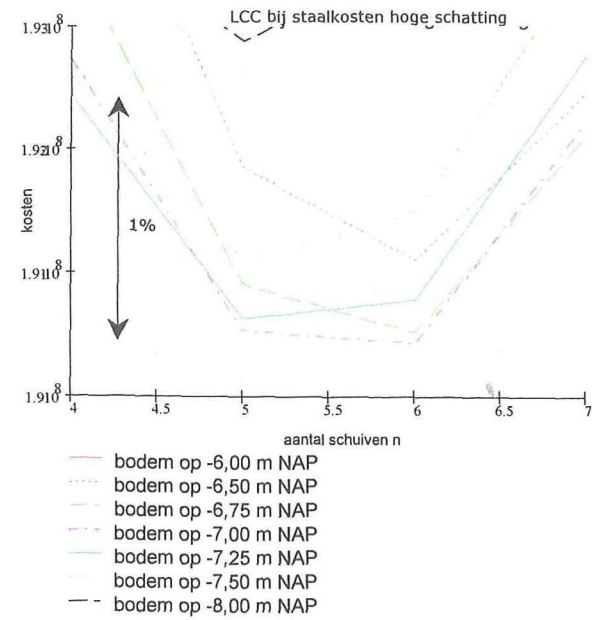
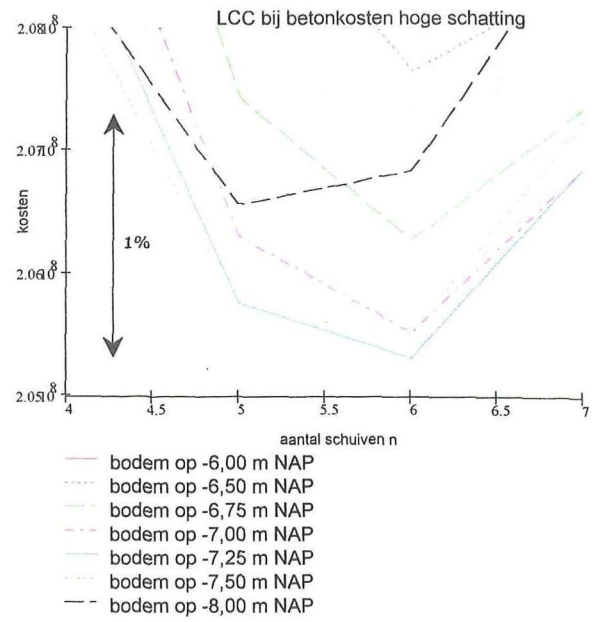
Staartkosten Constructieve Waterbouw	0,75	0,79	1	1,21	1,25
Staartkosten Staal	0,85	0,90	1	1,25	1,30
Staartkosten Bruggen	0,85	0,90	1	1,25	1,30
Staartkosten Installatietechniek	0,85	0,90	1	1,25	1,30
Staartkosten Waterbouw	0,87	0,92	1	1,08	1,20
Staartkosten Uitvoering	0,90	-	-	-	1,30

Werkwijze:

Voor de hoeveelheden en eenheidsprijzen wordt op basis van de lage en hoge schattingen uit het VO van de Bouwdienst nieuwe schattingscijfers berekend: de lage schattingen worden verlaagd met 0,05 en de hoge schattingen worden verhoogd met 0,05 om de extra onnauwkeurigheden t.o.v. het VO te verdisconteren

Bij zelf ingevulde schattingen wordt 1 van de drie volgende betrouwbaarheden ingeschat:

lage schatting	hoge schatting	betrouwbaarheid
0,60	1,40	laag
0,70	1,30	gemiddeld
0,75	1,25	hoog



Scorekaart gevoeligheidsanalyse

	Configuratie		Variabele grootheid				
	n	N2	Beton	Staal	Grond	Rente	Subtotaal
Hoge schattingen	5	6,50	-	1	8	3	12
		6,75	-	5	6	6	17
		7,00	4	9	-	8	21
		7,25	6	7	-	4	17
		7,50	7	4	-	2	13
	6	6,50	-	3	10	7	20
		6,75	5	8	9	10	32
		7,00	8	10	4	9	31
		7,25	10	6	-	5	21
		7,50	9	2	-	1	12
Lage schattingen	5	6,50	7	3	-	2	12
		6,75	8	6	1	7	22
		7,00	6	7	4	8	25
		7,25	4	4	9	6	23
		7,50	-	2	10	3	15
	6	6,50	10	8	-	5	23
		6,75	9	10	3	10	32
		7,00	5	9	6	9	29
		7,25	3	5	8	4	20
		7,50	-	1	7	1	9

10 beste score
1 laagste score

Configuratie		
n	N2	
5	6,50	24
	6,75	39
	7,00	46
	7,25	40
	7,50	28
6	6,50	43
	6,75	64
	7,00	60
	7,25	41
	7,50	21

