

## **Bepaling afvoercoëfficiënt doorlaatmiddel Brouwersdam**

11202901-002

**Titel**

Bepaling afvoercoëfficiënt doorlaatmiddel Brouwersdam

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Provincie Zeeland	11202901-002	11202901-002-ZKS-0002	20

**Trefwoorden**

Spuisluis, Brouwersdam, SPUIS, afvoercoëfficiënt

**Samenvatting**

Ter bevordering van de waterkwaliteit van het Grevelingenmeer zijn er plannen voor het terugbrengen van een gedeeltelijk getij in het meer. Om dit getij mogelijk te maken biedt de bestaande spuisluis te weinig capaciteit. Daarvoor dient een nieuwe spuisluis aangelegd te worden. Dit doorlaatmiddel is gepland in het noordelijke deel van de Brouwersdam. Tevens is het plan om de spuisluis te combineren met een getijdecentrale, maar dat is verder geen onderdeel van dit onderzoek.

Het doel van dit onderzoek is het afleiden van de afvoercoëfficiënt van het nieuwe doorlaatmiddel in de Brouwersdam in beide stroomrichtingen voor een bereik aan vervallen over het doorlaatmiddel.

Met behulp van het rekenprogramma SPUIS zijn berekeningen gemaakt van de afvoer door het nieuw te bouwen doorlaatwerk in de Brouwersdam. De afvoer is bepaald voor een bereik aan vervallen welke kunnen optreden over het doorlaatwerk. Uit de bepaalde afvoeren zijn vervolgens afvoercoëfficiënten bepaald. Tevens zijn de berekeningen voor beide stroomrichtingen uitgevoerd.




In overleggen op 16 en 25 juli zijn de randvoorwaarden voor de berekeningen afgestemd met het projectteam van de opdrachtgever bestaande uit, in alfabetische volgorde, Jacob van Berkel, Gert Jan Hof, Jan Jaap Tiemersma en Marinus de Vries.

De resultaten tonen, zoals verwacht, een verschil in afvoercoëfficiënt tussen de beide stroomrichtingen. Bij spuien van Grevelingen naar zee varieert de bepaalde afvoercoëfficiënt van circa 1.10 tot circa 1.11. Voor de stroomrichting van zee naar Grevelingen varieert de bepaalde afvoercoëfficiënt van circa 1.07 tot circa 1.10. In de resultaten wordt geen rekening gehouden met de invloed van traagheid van het stromende water op de afvoercoëfficiënt.

**Referenties**

11202901-000-ZKS-0002-o-Offerte bepaling afvoercoëfficiënt Brouwersdam

Inkooporder 00096255 d.d. 12-07-2018, Provincie Zeeland

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	aug. 2018	A. De Loor		A. De Fockert		B. van Vossen	

**Status**

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

## Contents

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Algemeen	1
1.2	Doel	1
<b>2</b>	<b>Randvoorwaarden en modelopzet</b>	<b>3</b>
2.1	Hydraulische randvoorwaarden	3
2.2	Beschrijving doorlaatwerk	3
<b>3</b>	<b>Berekeningen afvoercoëfficiënt</b>	<b>7</b>
3.1	Gebruik SPUIS	7
3.2	Schematisatie doorlaatwerk	7
3.2.1	Stroomrichting Grevelingen naar zee	8
3.2.2	Stroomrichting zee naar Grevelingen	8
3.3	Resultaten	9
3.3.1	Stroomrichting Grevelingen naar zee	10
3.3.2	Stroomrichting zee naar Grevelingen	11
<b>4</b>	<b>Overige berekeningen en aandachtspunten</b>	<b>13</b>
4.1	Risico op luchtaanzuiging	13
4.2	Stromingsregime	15
4.3	Verdere aandachtspunten	16
4.3.1	Fuikwanden	16
4.3.2	Schuiven	17
4.3.3	Tussenwanden kokers	17
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>18</b>
5.1	Afvoercoëfficiënt	18
5.2	Luchtaanzuiging	18
5.3	Stromingsregime	19
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>20</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A</b>	<b>Invoer SPUIS</b>	<b>A-1</b>
A.1	Grevelingen naar zee	A-1
A.1.1	Beschrijving raaien	A-1
A.1.2	Invoerbestand	A-5
A.2	Zee naar Grevelingen	A-9
A.2.1	Beschrijving raaien	A-9
A.2.2	Invoerbestand	A-11
<b>B</b>	<b>Uitvoer SPUIS</b>	<b>B-1</b>
B.1	Grevelingen naar zee	B-1
B.1.1	Grafische uitvoer	B-1
B.2	Zee naar Grevelingen	B-10
B.2.1	Grafische uitvoer	B-10

# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

Voor de verbetering van de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer wordt gewerkt aan oplossing waarbij er een beperkt getij wordt aangebracht. Om voor voldoende verversing van de diepste geulen te zorgen is er in eerdere studies bepaald dat hiervoor een getijslag van circa 0.5 m benodigd is [1-3]. De bestaande spuisluis in de Brouwersdam biedt hiervoor te weinig capaciteit en derhalve wordt er gewerkt aan het realiseren van een nieuwe (tweezijdige) spuisluis. Deze nieuwe spuisluis is geprojecteerd aan de noordzijde van de Brouwersdam, ten noorden van de jachthaven Port Zelande. Naast het spuien van water ten behoeve van verversing van de Grevelingen zijn er ook plannen om de spuisluis te combineren met een getijdecentrale waarbij de vloedstroom gebruikt wordt voor het opwekken van energie met behulp van turbines in de spuikokers. De haalbaarheid hiervan wordt op een later moment getoetst, waarbij de in dit onderzoek bepaalde afvoercoëfficiënt o.a. als invoer dient. In dit onderzoek wordt verder geen rekening gehouden met de eventuele aanwezigheid van een getijdecentrale.

In het huidige schetsontwerp, waarop de berekeningen worden gebaseerd, bestaat het doorlaatwerk uit 18 rechthoekige kokers van  $8 \times 8 \text{ m}^2$ . De tussenwanden zijn 1.25 m. De kruinhoogte bevindt zich op NAP-11.15 m. De ontvangen tekeningen zijn getoond in Figuur 2.1 t/m Figuur 2.3.

## 1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is het afleiden van de afvoercoëfficiënt van het nieuwe doorlaatmiddel in de Brouwersdam in beide stroomrichtingen voor een bereik aan vervallen over het doorlaatmiddel.

## 1.3 Aanpak

De afvoer door de spuisluis zal worden bepaald met behulp van het rekenprogramma SPUIS. Dit programma berekent waterstanden en profiel-gemiddelde stroomsnelheden in spuisluizen. Hierbij mag sprake zijn van een vrije waterspiegel alsook gesloten kokers. Verder kunnen er eventueel regelconstructies worden opgenomen d.m.v. extra subroutines. Wanneer er een vrije waterspiegel aanwezig is, biedt SPUIS de mogelijkheid tot het doorrekenen van overgangen van stromend naar schietend water en andersom. Een volledige beschrijving van SPUIS en de achterliggende rekenmethode wordt beschreven in [4, 5]. Het rekenprogramma is lange tijd niet actief ontwikkeld of gebruikt. Het voor zover bekend meest recente project waarin SPUIS is gebruikt betreft [6]. Verder is de werking van SPUIS nog getest in het kader van een TOW onderzoek waarin oude rekenprogramma's opnieuw voor gebruik ter beschikking zijn gesteld [7]. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de hierin genoemde versie 4.01. De broncode alsook een gecompileerde versie is beschikbaar. Het maken van aanpassingen aan de code vormt geen onderdeel van dit project en versie 4.01 zal as-is gebruikt worden.

Naast het afleiden van de afvoercoëfficiënt zullen tevens enige berekeningen om de werking van de spuisluis te controleren. Het betreft dan het risico tot aanzuigen van lucht bij de inlaten en of het stromingsregime bij de aanwezige hydraulische randvoorwaarden gegarandeerd is. Deze controles worden gedaan aan de hand van beschikbare rekenregels uit relevante literatuur [8, 9]. Tevens zullen nog enkele aandachtspunten worden gegeven waar eventueel

in een volgende fase van het project rekening gehouden kan worden, maar buiten de scope van dit onderzoek vallen.

De randvoorwaarden voor de berekeningen zijn in overleggen op 16 en 25 juli zijn afgestemd met het projectteam van de opdrachtgever bestaande uit, in alfabetische volgorde, Jacob van Berkel, Gert Jan Hof, Jan Jaap Tiemersma en Marinus de Vries.

## 2 Randvoorwaarden en modelopzet

### 2.1 Hydraulische randvoorwaarden

De spuisluis wordt tweezijdig ingezet. Er wordt derhalve voor beide stroomrichtingen een set (hydraulische) randvoorwaarden gedefinieerd, deze zijn gegeven in . Van de gegeven waterpeilen wordt aangenomen dat deze op een locatie zijn gedefinieerd waarbij deze niet worden beïnvloed door de spuiroming, oftewel dat het waterpeil gelijk kan worden genomen aan de energiehoogte. SPUIS werkt echter met waterstanden in zijn randvoorwaarden waardoor er nog een verstaalslag nodig zal zijn tussen de uitkomsten van SPUIS en de gebruikte randvoorwaarden. Dit zal verder aan bod komen bij het bespreken van de rekenresultaten.

In de gegeven randvoorwaarden wordt nog geen rekening gehouden met de verwachte zeespiegelrijzing. Echter, bij gelijk stromingsregime en vormgeving wordt verwacht dat een hogere waterstand aan de zeezijde de afvoercoëfficiënt niet significant zal veranderen.

Om het verloop van de afvoercoëfficiënt als functie van het verval te bepalen zal een bereik aan vervallen worden doorgerekend. Hierbij zal de waterstand op de Grevelingen min of meer constant worden gehouden op NAP-0.163 m en NAP-0.254 m bij respectievelijk spuien naar en van de Grevelingen. Het gewenste bereik aan vervallen om door te rekenen is 0.2 m tot 1.6 m voor zover dit een oplossing oplevert met SPUIS.

### 2.2 Beschrijving doorlaatwerk

De ontvangen tekeningen van de spuisluis zijn gegeven in Figuur 2.1 t/m Figuur 2.3. Hieronder volgt een nadere beschrijving.

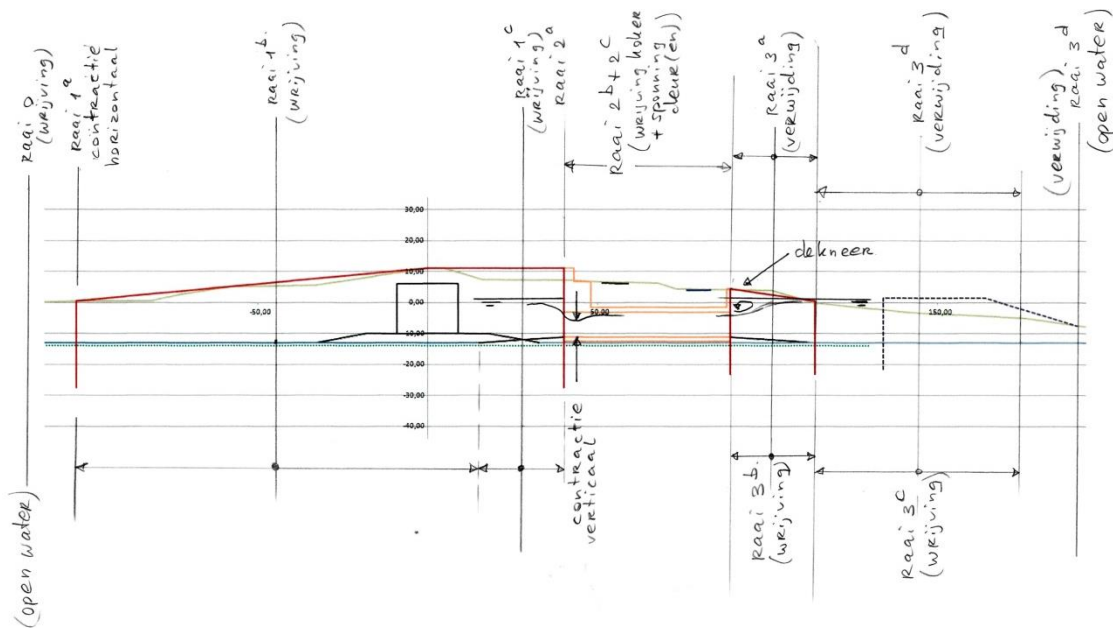
De spuisluis bestaat uit 18 rechthoekige kokers met een afmeting van  $8 \times 8 \text{ m}^2$ . De kokers zijn allen identiek uitgevoerd met een constante doorsnede en volledig recht. De bodem van de kokers, en daarmee de kruinhoogte van de spuisluis, ligt op NAP-11.15 m. Daarmee ligt het plafond van de kokers op NAP-3.15 m. De tussenwanden tussen de kokers zijn 1.25 m. Bij de inlaten van de kokers geeft dit derhalve een totale breedte van 165.25 m wanneer de fuiken netjes aansluiten op de buitenste kokers. De kokers hebben een lengte van 49 m. De schuif bevindt zich aan de zeezijde van de kokers. Er wordt naast de sponning voor de reguliere regelschuif nog rekening gehouden met de aanwezigheid van 2 andere schuifspanningen voor bijvoorbeeld schotbalken t.b.v. onderhoud.

De inlaten van de kokers zijn recht uitgevoerd, dit zowel voor de bovenzijde van de kokers als voor de tussenwanden tussen de kokers. Aan de onderzijde sluit de koker aan op een betonnen bodemplaat welke onder een hoek ligt om het hoogteverschil tussen de kokers en de bodem in de fuik te overbruggen. Het uiteinde van deze bodemplaat ligt op 25 m van de kokerinlaten.

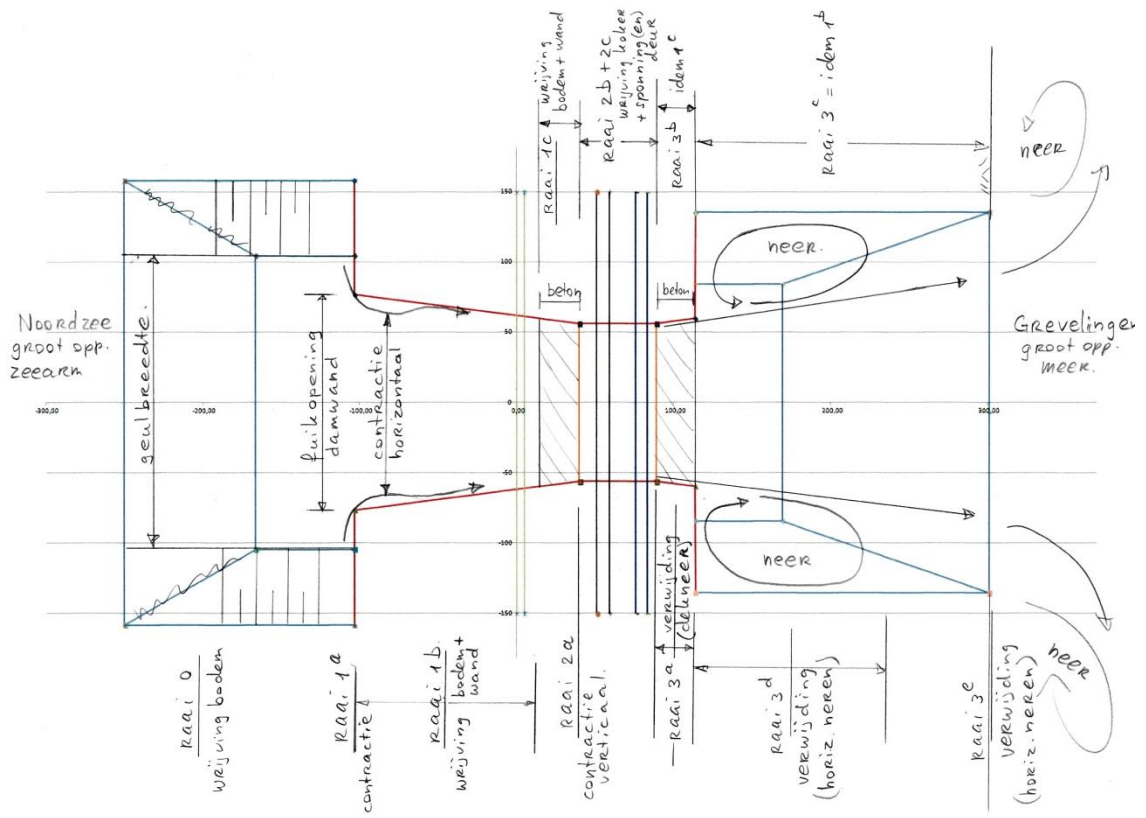
Aan de zeezijde bevindt zich een fuik van 143.4 m ter geleiding van de stroming. Beide wanden verwijden zich onder een hoek van 1:7 (op basis van informatie van RWS). Daarmee bedraagt de breedte aan het uiteinde van de fuik 206.22 m.

Op de tekeningen bevindt zich een vrij korte fuik van 25 m met wederom de wanden onder een hoek van 1:7. Echter, na het overleg van 25 juli is besloten dat er afrondingen met een straal van 20 m zullen worden toegepast om de instroom vanuit de Grevelingen te verbeteren. In de berekeningen zal van deze configuratie worden uitgegaan.

In het schetsontwerp wordt ervan uit gegaan dat de fuik aan de zeezijde en de afronding aan de Grevelingenzijde uit damwanden worden opgetrokken.

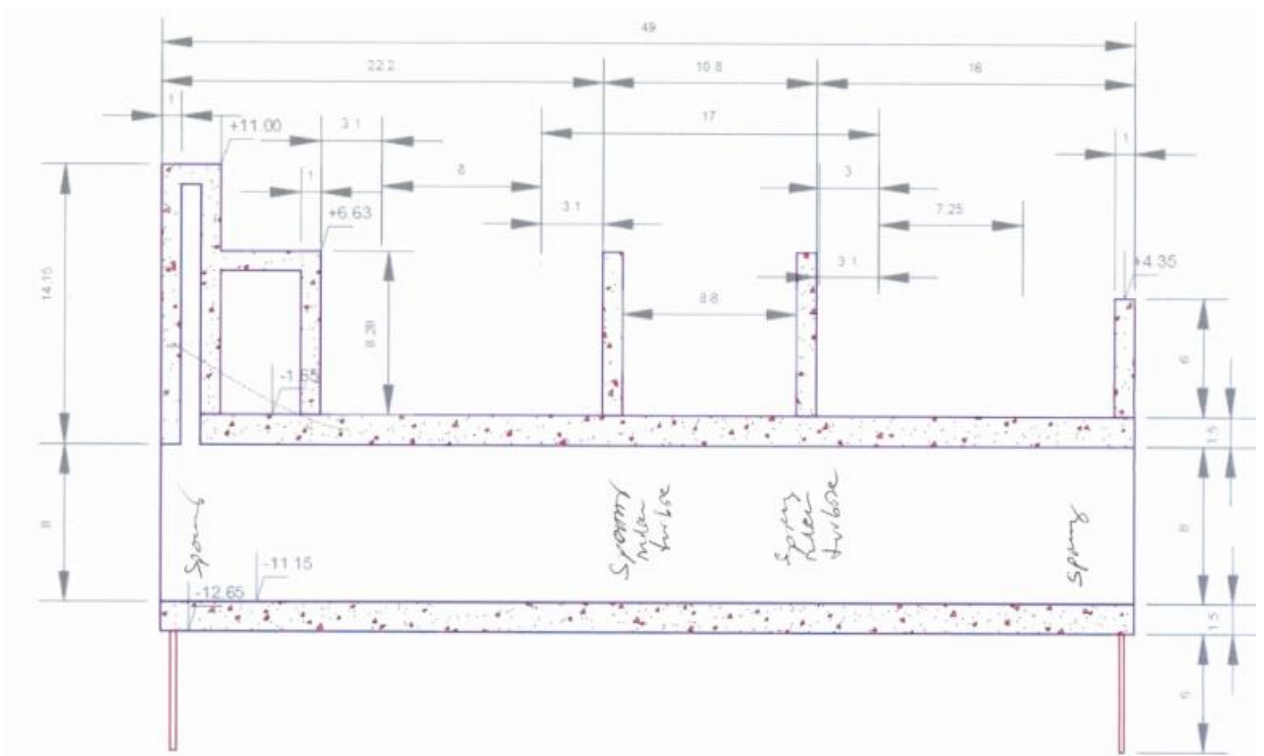


Figuur 2.1 Schematische verticale langdoorsnede van het doorlaatmiddel.



Figuur 2.2 Schematische horizontale doorsnede van het doorlaatmiddel.





a)



b)

Figuur 2.3 a) Verticale langsdoorsnede van de kokers b) Verticale dwarsdoorsnede van de kokers.

## 3 Berekeningen afvoercoëfficiënt

### 3.1 Gebruik SPUIS

SPUIS is een eenvoudig, 1-dimensionaal rekenmodel voor het bepalen van de stroming door een spuisluis. Voor het gebruik van SPUIS dient de spuisluis te worden opgedeeld in verschillende moten waartussen veranderingen van de stroomvoerende breedte kunnen worden verwacht. Per raai kan vervolgens de positie (in stroomrichting), het bodemniveau, het profiel, de ruwheid en de natte omtrek worden opgegeven. Als randvoorwaarden worden de benedenwaterstand en het gewenste debiet opgegeven. Met behulp van stuwkrommes wordt vervolgens van beneden- naar bovenstrooms gerekend en per raai een waterstand en gemiddelde snelheid berekend. In het geval er een watersprong wordt gevonden, wordt de rekenrichting omgedraaid en wordt de stromingssituatie opgelost m.b.v. de Bernoulli-vergelijking.

Als uitvoer levert SPUIS naast de bovenwaterstand nog waterstanden, energiehogte, gemiddelde stroomsnelheden, grensdiepte en Froude-getallen per raai. Voor het selecteren van een invoerbestand, het aanroepen van het programma en ter visualisatie van de uitvoer is een script in Python geschreven. De hieronder getoonde figuren zijn hieruit afkomstig.

Aangezien het rekenprogramma SPUIS lange tijd niet gebruikt is en oud-gebruikers reeds met pensioen zijn, is er voor het gebruik van SPUIS zwaar geleund op de documentatie en methodes beschreven in [5, 6]. Ook bleek het rekenprogramma enkele beperkingen wat betreft mogelijkheden te kennen; zo bleek regelmatig de berekening af te breken bij het bereiken van de laatste (bovenstroomse) raai. Hierbij werd dan de foutmelding gegeven dat er geen oplossing kon worden gevonden binnen 1000 iteraties. Dit bleek dan opgelost te kunnen worden door een verkleining van de raai breedte of een verandering van het opgelegde debiet of benedenwaterstand. De achterliggende reden waarom er geen oplossing kon worden gevonden blijft echter redelijk onduidelijk aangezien slechts kleine verschillen in breedte, debiet of waterstand wel tot een oplossing leidden zonder een te verwachten verandering in de stroming. Dit probleem is uiteindelijk op te lossen door in de broncode de iteratielimiet te verhogen van 1000 naar 10000. Op hedendaagse hardware levert dit geen significante toename van de rekentijd op.

Ook werd de berekening gestopt wanneer er een watersprong bij de inlaat van de koker plaatsvond, terwijl het programma wel in staat zou moeten zijn om watersprongen door te rekenen. Aangezien dit geen wenselijke situatie is, is indien nodig doorgerekend tot een maximaal debiet waarbij geen watersprong ontstaat.

SPUIS bleek wel een snel en eenvoudig op te zetten rekenmethode gebleken, mits de berekeningen succesvol waren. De rekentijd is zeer kort en de randvoorwaarden zijn eenvoudig aan te passen en uit te breiden met nieuwe waardes. Ook de flexibiliteit om eventuele watersprongen te kunnen berekenen biedt voordelen boven een standaard aanpak.

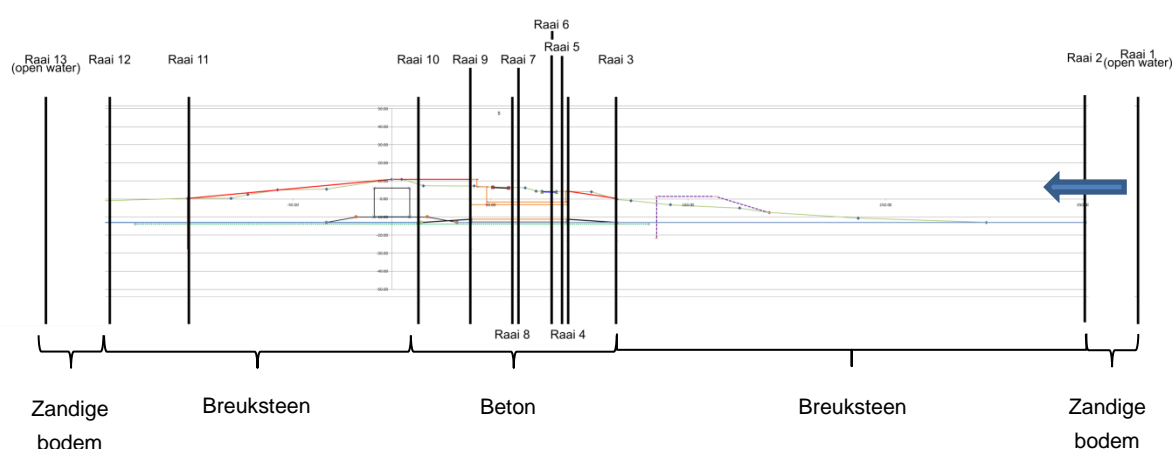
### 3.2 Schematisatie doorlaatwerk

Hieronder volgt voor beide stromingsrichtingen een overzicht van de schematisatie van het doorlaatwerk. De uiteindelijke invoerbestanden zijn opgenomen in Appendix A. Het is niet geheel duidelijk hoe de voor de raaien opgegeven ruwheid precies wordt gebruikt in de

tussenliggende secties. Dit geldt met name rond de grote overgangen in ruwheid tussen de bodembescherming en de betonnen bodemdelen en het 'verre veld'. Binnen dit project bleek het niet mogelijk om dit nauwkeurig uit te zoeken in de broncode. Enige testberekeningen geven aanleiding tot een mogelijke gevoeligheid rond 0.01 in de berekende afvoercoëfficiënt als gevolg hiervan.

### 3.2.1 Stroomrichting Grevelingen naar zee

Voor deze stromingsrichting wordt de spuisluis opgedeeld 11 moten (12 raaien). Zie voor een schematisch overzicht van de plaatsing van de raaien ook Figuur 3.1. Een gedetailleerdere beschrijving van elke raai wordt gegeven in Appendix A.1.1. Hieronder volgt in Tabel 3.1 slechts een overzicht van de raaien en de in SPUIS opgegeven doorstroombreedtes.



Figuur 3.1 Overzicht van de plaatsing van de raaien voor de stroomrichting van Grevelingen naar zee.

Tabel 3.1 Beknopt overzicht van de invoer per raai voor de stroomrichting van Grevelingen naar zee.

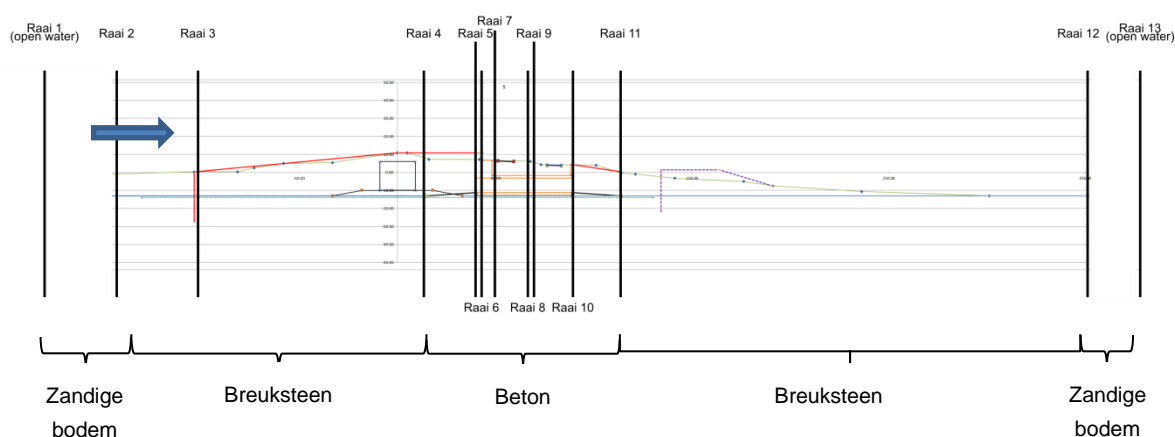
Raai #	X-positie [m]	Breedte [m]	Bodemniveau [NAP+m]	Ruwheid [m]
1	-1020.0	10.000	-13	0.01
2	-215.0	695.25	-13	0.6 <sup>1</sup>
3	-25.0	130.55	-13	0.6 <sup>1</sup>
4	0.0	165.25	-11.15	0.002
5	5.0	97.92	-11.15	0.002
6	22.8	144	-11.15	0.002
7	30.0	113.76	-11.15	0.002
8	31.4	144	-11.15	0.002
9	49.0	144	-11.15	0.002
10	74.0	172.39	-13	0.6 <sup>1</sup>
11	192.4	206.22	-13	0.6 <sup>1</sup>
12	339.0	206.22	-13	0.6 <sup>1</sup>
13	1339.0	10.000	-13	0.01

### 3.2.2 Stroomrichting zee naar Grevelingen

Voor deze stromingsrichting wordt de spuisluis opgedeeld 11 moten (12 raaien). Zie voor een schematisch overzicht van de plaatsing van de raaien ook Figuur 3.2. Een gedetailleerdere

<sup>1</sup> Ruwheid voor breuksteen in overleg met RWS bepaald.

beschrijving van elke raai wordt gegeven in Appendix A.2.1. Hieronder volgt in Tabel 3.2 slechts een overzicht van de raaien en de in SPUIS opgegeven doorstroombreedtes.



Figuur 3.2 Overzicht van de plaatsing van de raaien voor de stroomrichting van zee naar Grevelingen.

Tabel 3.2 Beknopt overzicht van de invoer per raai voor de stroomrichting van zee naar Grevelingen.

Raai #	X-positie [m]	Breedte [m]	Bodemniveau [NAP+m]	Ruwheid [m]
1	-11143.4	10.000	-13	0.01
2	-290.4	866.22	-13	0.6 <sup>1</sup>
3	-143.4	120.8	-13	0.6 <sup>1</sup>
4	-25.0	172.39	-13	0.6 <sup>1</sup>
5	0.0	165.25	-11.15	0.002
6	5.0	97.92	-11.15	0.002
7	22.8	144	-11.15	0.002
8	30.0	113.76	-11.15	0.002
9	31.4	144	-11.15	0.002
10	49.0	144	-11.15	0.002
11	74.0	170.96	-13	0.6 <sup>1</sup>
12	311.24	194.42	-13	0.6 <sup>1</sup>
13	1311.24	10.000	-13	0.01

### 3.3 Resultaten

Hieronder volgt een overzicht van de bepaalde afvoercoëfficiënten voor beide stroomrichtingen voor een bereik aan vervallen. De afvoercoëfficiënt is bepaald volgens  $\mu = \frac{Q}{A\sqrt{2g\Delta h}}$ . Hierin is Q het debiet door de spuisluis, A het oppervlak van de kokers (18x8x8 m<sup>2</sup>) en  $\Delta h$  het verval tussen de eerste en laatste raai. Aangezien de raaien zeer breed zijn is de snelheid daar zodanig laag is de waterstand in deze raaien zo goed als gelijk als de energiehoogte en is deze aanpak gerechtvaardigd.

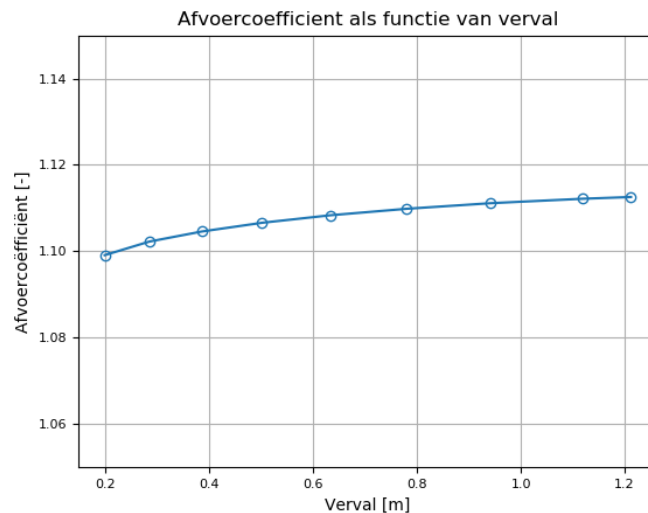
In berekening van de afvoercoëfficiënten wordt geen rekening gehouden met effecten door traagheid. In de berekeningen wordt in feite uitgegaan van een tijdsafhankelijke stroming. Dit effect zal met name rond de start van het spuien een significante invloed geven op de afvoercoëfficiënt waardoor deze tijdelijk lager zal zijn dan verwacht. Dit effect wordt ook toegelicht in het kader van de ijkmetingen aan de Afsluitdijk [10].

### 3.3.1 Stroomrichting Grevelingen naar zee

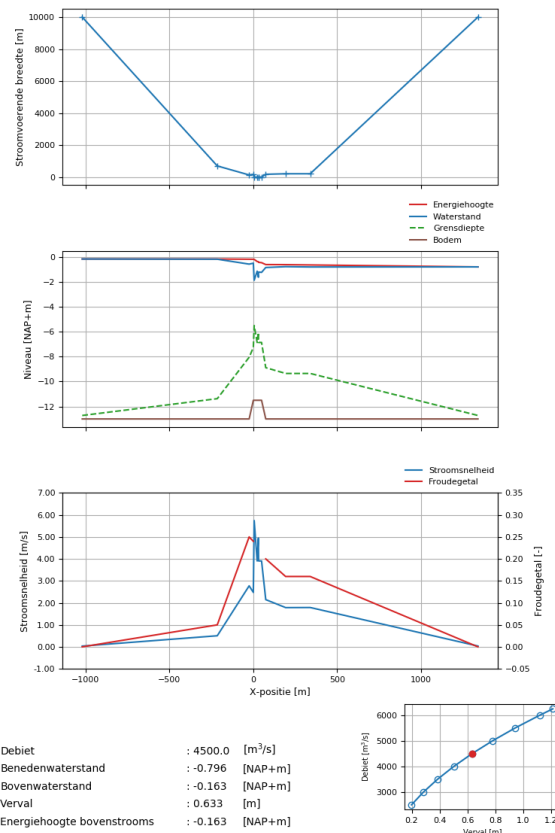
Voor de stroomrichting van Grevelingen naar zee zijn berekeningen uitgevoerd van 2500 tot 6250 m<sup>3</sup>/s. Dit komt overeen met vervallen van 0.2 tot 1.2 m. Een groter debiet leidt tot een superkritische stroming bij de inlaat van de kokers waardoor de berekening stopt. Dit is ook te zien aan de waterstand bij de inlaat die de kritische diepte nadert bij een debiet van 6250 m<sup>3</sup>/s.

De resulterende afvoercoëfficiënten als functie van verval zijn gegeven in Figuur 3.3. Hierin is te zien dat de afvoercoëfficiënt voor bijna alle beschouwde condities hoger is dan 1.10 en bij hogere vervallen oploopt tot boven 1.11. Bij alle berekeningen is getracht om de bovenwaterstand (Grevelingenzijde) op een niveau van NAP-0.163 m te houden. Het rekenresultaat bij een debiet van 4500 m<sup>3</sup>/s is gegeven in .

De overige rekenresultaten en de tekstuele invoer is gegeven in Appendix B.1.



Figuur 3.3 Berekende afvoercoëfficiënten als functie van verval voor de stroomrichting Grevelingen naar zee.



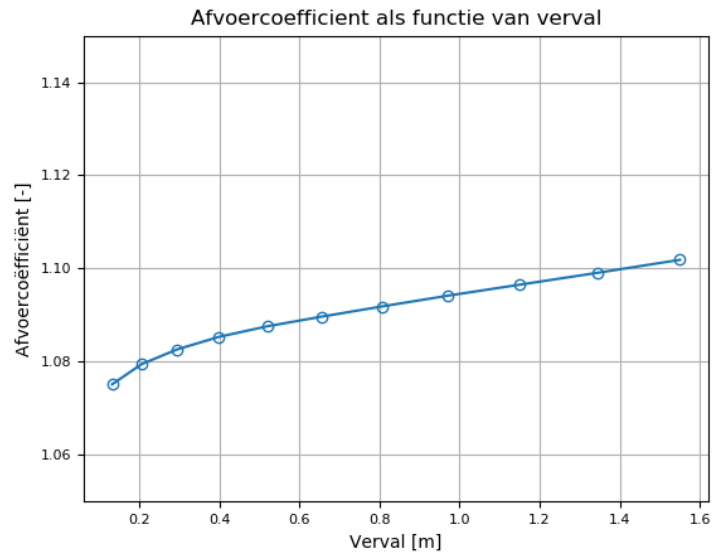
Figuur 3.4 Rekenresultaat voor stroming van Grevelingen naar zee bij een debiet van 4500 m<sup>3</sup>/s. De bovenste figuur toont de effectieve doorstroomde breedte zoals opgegeven in de invoer van SPUIS, de middelste figuur toont het verloop van de energiehoogte, de waterstand, de grensdiepte (kritische diepte) en de bodemligging en de onderste figuur toont het verloop van de raai-gemiddelde stroomsnelheid en het Froude-getal.

### 3.3.2 Stroomrichting zee naar Grevelingen

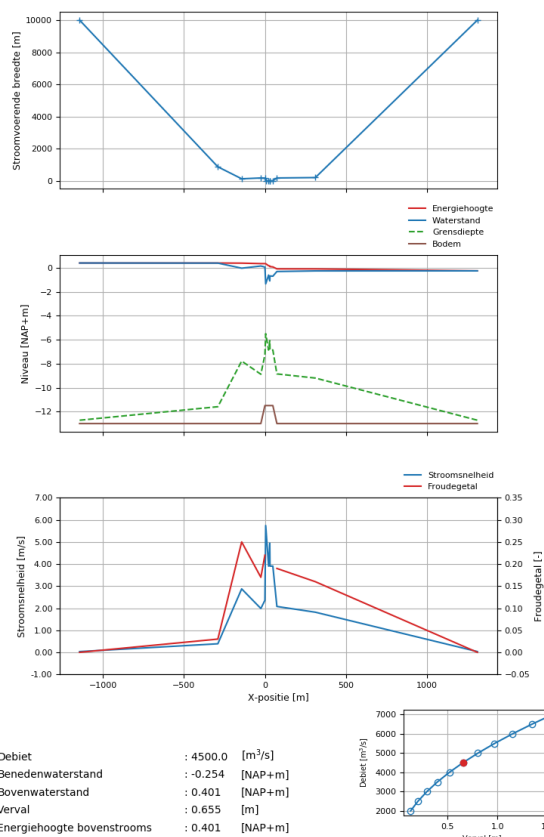
Voor de stroomrichting van zee naar Grevelingen naar zee zijn berekeningen uitgevoerd van 2000 tot 7000 m<sup>3</sup>/s. Dit komt overeen met vervallen van 0.13 tot 1.5 m. Een groter debiet leidt tot een superkritische stroming bij de inlaat van de kokers waardoor de berekening stopt. Dit is ook te zien aan de waterstand bij de inlaat die de kritische diepte nadert bij een debiet van 7000 m<sup>3</sup>/s.

De resulterende afvoercoëfficiënten als functie van verval zijn gegeven in Figuur 3.5. Hierin is te zien dat de afvoercoëfficiënt voor alle beschouwde condities hoger is dan 1.07 en bij hogere vervallen oploopt tot 1.10. Bij alle berekeningen is de benedenwaterstand (Grevelingenzijde) op een niveau van NAP-0.254 m gehouden. Het rekenresultaat bij een debiet van 4500 m<sup>3</sup>/s is gegeven in Figuur 3.6.

De overige rekenresultaten en de tekstuele invoer is gegeven in Appendix B.2.



Figuur 3.5 Berekende afvoercoëfficiënten als functie van verval voor de stroomrichting zee naar Grevelingen.



Figuur 3.6 Rekenresultaat voor stroming van zee naar Grevelingen bij een debiet van 4500 m<sup>3</sup>/s. De bovenste figuur toont de effectieve doorstroomde breedte zoals opgegeven in de invoer van SPUIS, de middelste figuur toont het verloop van de energiehoogte, de waterstand, de grensdiepte (kritische diepte) en de bodemligging en de onderste figuur toont het verloop van de raai-gemiddelde stroomsnelheid en het Froude-getal.

## 4 Overige berekeningen en aandachtspunten

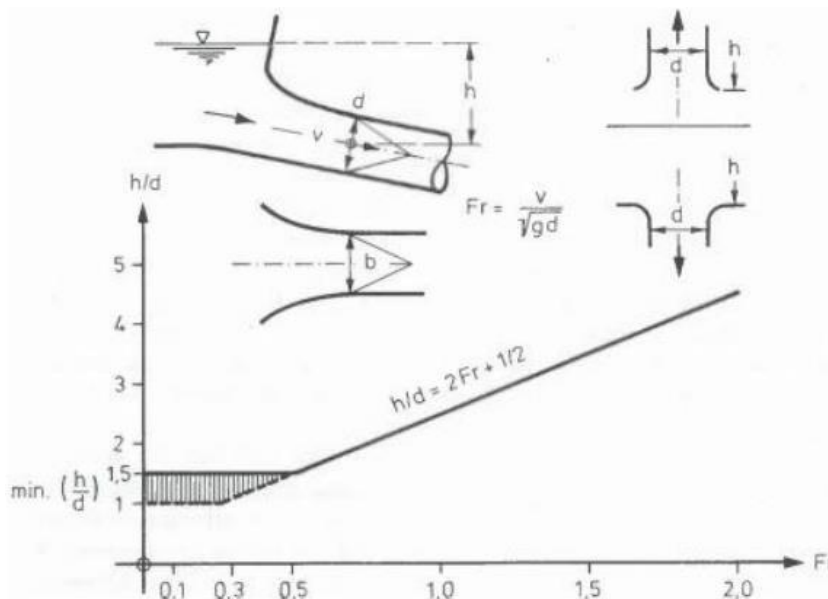
Binnen dit hoofdstuk komen enkele zaken aan de orde welke niet onderzocht kunnen worden met behulp van SPUIS. Allereerst betreft wordt er gekeken het risico op luchtaanzuiging bij de inlaten. Luchtaanzuiging wordt bij voorkeur voorkomen aangezien dit leidt tot een verlaging van de capaciteit van spuisluizen. Anders dan bij pompstations is er geen direct risico op schade, maar een verlaging van de afvoercoëfficiënt is niet gewenst. Ten tweede wordt er gekeken of het stromingsregime van de kokers goed gedefinieerd is voor het bereik van waterstanden. Afgaande op het ontwerp en de gevoerde discussies met de opdrachtgever is een type 4 stroming (subkritische, verdrongen stroming) gewenst. Verder heeft het de voorkeur dat het stromingsregime constant is gedurende operatie, omdat anders het debiet door de spuisluis niet goed te bepalen valt. Verder zullen nog enige aandachtspunten benoemd worden die opvallen aan het schetsontwerp en waar eventueel in een vervolg verdere aandacht aan gegeven kan worden.

### 4.1 Risico op luchtaanzuiging

Luchtaanzuiging is afhankelijk van de aanstroomcondities, vormgeving en waterdekking van de instroommond en de stroomsnelheid. Er bestaan meerdere vuistregels om de benodigde waterdekking te bepalen, echter de aanstroomcondities worden vaak niet meegenomen in deze vuistregels. Een veelgebruikte vuistregel is die uit [8], welke is weergegeven in Figuur 4.1. Deze zal hier gebruikt worden om de benodigde waterdekking af te leiden. Afgaande op de resultaten uit Hoofdstuk 3 kunnen, afhankelijk van de stroomrichting, debieten worden verwacht tussen 2000 en 7000 m/s<sup>3</sup>. Bij de bepaling van het Froude-getal in de kokers wordt aangenomen dat het debiet goed verdeeld is over alle kokers. De resultaten zijn gegeven in Figuur 4.2. Hieruit blijkt dat de minimaal vereiste waterdekking in alle uitgevoerde berekeningen ver boven de daadwerkelijk aanwezige waterdekking ligt. Dit betekent dat er het zeer waarschijnlijk is dat er met de huidige kokerligging luchtaanzuiging zal optreden.

Echter, de vuistregels houden geen rekening met de aanstroomcondities en ervaringen in schaalmodellen hebben laten zien dat de gebruikte vuistregel kan leiden tot een overschatting van de benodigde waterdekking. Daartegenover staat weer de recente ervaring met hevel in de Grevelingendam, waar weldegelijk sprake is van luchtaanzuiging wat op basis van deze vuistregel ook verwacht werd [11]. Concluderend geeft de gebruikte vuistregel een indicatie of er een risico op luchtaanzuiging aanwezig is. Of dit uiteindelijk ook het geval zal zijn is situatie specifiek. Eventueel kan dit in een schaalmodel worden beproefd, maar er kan ook de afweging worden gemaakt om na de bouw een aanpassing uit te voeren indien er daadwerkelijk sprake blijkt te zijn van luchtaanzuiging.



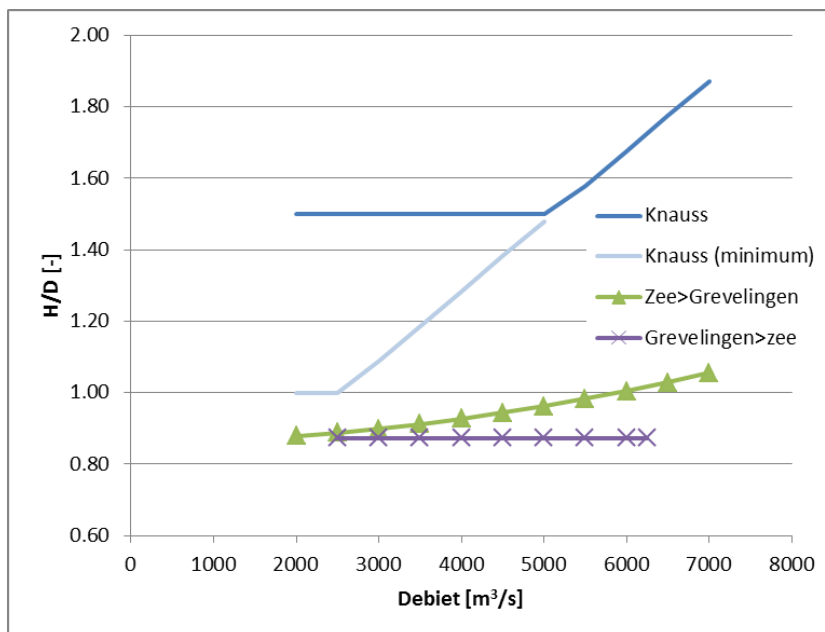


Figuur 4.1 Criterium voor luchtaanzuiging bij inlaten (uit [8]).

Een remedie voor luchtaanzuiging is het dieper leggen van de kokers, maar gezien de vereiste waterdekking kan dit betekenen dat de kokers zo'n 5 m lager dienen te komen. Een andere oplossing is het verlagen van het plafond van de kokers, dit heeft echter als nadeel dat de spuisluis daarmee met meer kokers zal moeten worden uitgerust om dezelfde afvoer capaciteit te behalen.

Ook zou de vorm van de inlaten nog aangepast kunnen worden. Hierbij kan worden gedacht aan een andere vormgeving van de bovenzijde van de kokers om de stroming beter de koker in te geleiden. Echter gezien het grote verschil tussen de optredende waterstanden en de minimaal vereiste waterstand zal dit vermoedelijk nog steeds gecombineerd moeten worden met een verlaging van de kokers. Verder dient er bij een andere vormgeving van inlaten er rekening mee gehouden te worden dat de spuisluis tweezijdig gebruikt wordt.

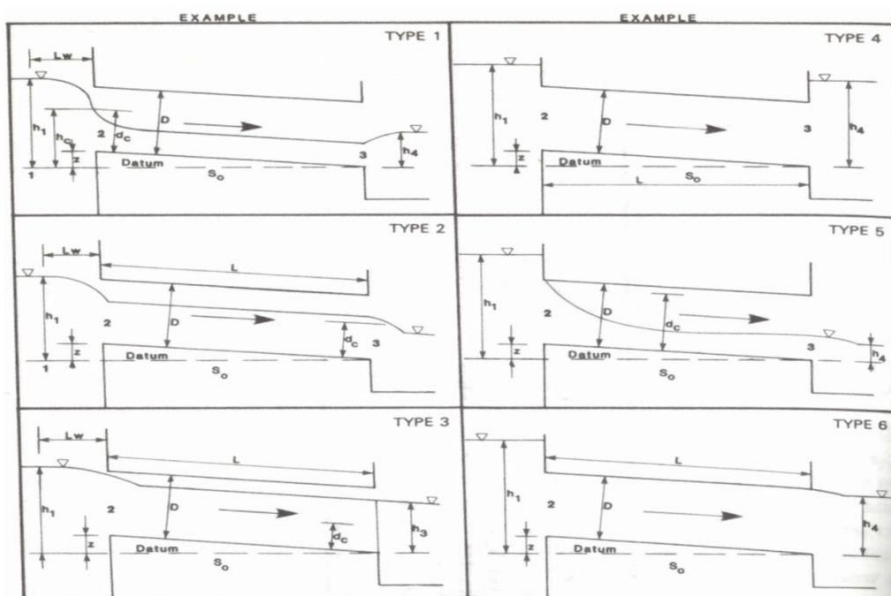
Een andere optie is om het kokerplafond juist te verhogen tot een niveau zodat er een spuisluis met een open stroming ontstaat waarbij er altijd sprake is van een vrije waterspiegel in de kokers, zoals in bijvoorbeeld de spuisluizen in de Afsluitdijk. Dit betekent wel dat de afvoerrelatie van het doorlaatmiddel zal wijzigen.



Figuur 4.2 Vereiste en behaalde waterdekking ( $H/D$ ) voor alle uitgevoerde berekeningen.

## 4.2 Stromingsregime

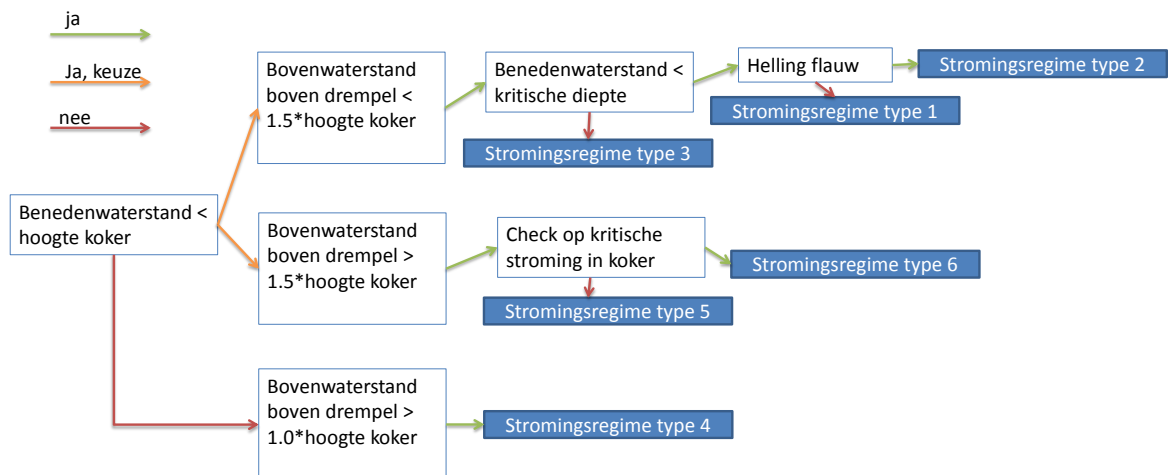
De stroming door kokers kan worden gecategoriseerd in 6 verschillende stromingsregimes. Deze 6 regimes worden beschreven in o.a. [9, 12]. Hierin worden ook de grenzen van deze regimes gegeven op basis van de hoogte van de koker en de boven- en benedenwaterstanden. Deze controle kan eenvoudig worden weergegeven d.m.v. een stroomschema zoals gegeven in Figuur 4.4. Voor de nummering van de verschillende regimes wordt de nummering zoals gebruikt in [12] aangehouden, zie ook Figuur 4.3. Deze controle zal ook voor het doorlaatmiddel worden uitgevoerd. Het dient aanbeveling de kokers op een zodanig niveau te plaatsen dat de doorstroming altijd volgens een enkel regime plaatsvindt. Indien dit niet het geval is, is de afvoer gedurende de operatie niet goed in te schatten.



Figuur 4.3 De zes verschillende stromingsregimes door duikers (Uit [12]).

De bovenzijde van de koker bevindt zich bij de huidige diepteligging op NAP-3.15 m. De benedenwaterstand bevindt zich dus altijd boven de koker, ook bij een lage waterstand op zee. Logischerwijs bevindt de bovenwaterstand zich ook boven de koker. Hieruit kan worden afgeleid dat de stroming door de koker zich altijd in regime 4 zal bevinden.

Hoewel er dus wel een risico op luchtaanzuiging aanwezig is, ligt de koker (aan de benedenstroomse zijde) voldoende diep zodat er geen volledige waterspiegel over de lengte van de koker zal ontstaan.



Figuur 4.4 Stroomschema ter bepaling van het stromingsregime door een koker.

### 4.3 Verdere aandachtspunten

#### 4.3.1 Fuikwanden

In de huidige schetsen liggen de uiteinden van de fuikwanden aan zeezijde op een niveau van NAP+0 m. Dit betekent dat bij het spuien richting de Grevelingen het waterniveau hoger kan liggen dan de uiteinden van de fuikwanden. Dit zal lokaal leiden tot een overstortende stroming over de fuikwanden. Dit zal leiden tot een enigszins verstoorde aanstroom richting de kokers, hoewel het uiteindelijke effect vermoedelijk klein zal zijn gezien de grote afstand tot de kokers.

Verder zijn de wanden aan de kant van de kokers vrij hoog en recht uitgevoerd. Dit zal leiden tot significante krachten door golfslag bij stormcondities. Hier dient bij de dimensionering rekening gehouden te worden. Mogelijk kan er inspiratie opgedaan worden bij de inlaat van de bestaande spuisluis in de Brouwersdam waarbij zich taluds in de fuik bevinden. Tevens zijn de inlaten van de fuik hierbij afgerond wat tot een lager inlaatverlies zal leiden. Deze maatregelen zouden wel kunnen leiden tot een hoger uitstroomverlies.

In de overleggen is naar voren gekomen dat de fuikwanden voorlopig gekozen is deze met damwanden uit te voeren. Hoewel dit materiaal wel kan leiden tot een eenvoudige en kosteneffectieve constructie bestaat de vrees dat het 'golfpatroon' in de damwanden kan leiden tot een minder goed aanliggende stroming langs de fuikwanden. Eventueel zouden de damwanden kunnen worden voorzien van een betonnen schort. Echter, in schaalmodelproeven waarin damwanden (eenvoudige) zijn gemodelleerd is dit fenomeen niet waargenomen en het risico op een niet aanliggende stroming wordt daarom klein geacht.

#### 4.3.2 Schuiven

De schuiven bevindt zich in de huidige vormgeving aan de zeezijde, een meter vanaf de inlaat van de kokers. Dit betekent dat de schuiven forse golfbelastingen kunnen verwachten wanneer deze gesloten zijn. Dit wordt ook als een reden genoemd om de Brouwerssluis als duikersluis uit te voeren met dieper liggende schuiven in het midden van de constructie [13]. Het dient dan ook aanbeveling om het lokale golfklimaat te bepalen om te verifiëren of de schuif geen directe golfklappen te verduren krijgt. Indien dit het geval is zou het plafond verlaagd moeten worden. Naast directe golfklappen zal de bewegende watermassa ook een kracht uitoefenen op de schuif [14]. Dit dient in de ontwerpfase verder gekwantificeerd te worden.

Naast luchtaanzuiging bij de inlaten dient rekening gehouden te worden met het risico op luchtaanzuiging via de schuivenhuizen. Gezien de locatie van de schuif zal er door contractie rond de inlaat een drukverlaging bij de kokerinlaat optreden wat mogelijk leidt tot het aanzuigen van lucht via de schuifschacht. Hiervoor zou de lokale drukverlaging rond de kokerinlaat bepaald moeten worden. Ook in het geval de schuif gebruikt wordt als regelschuif kan er een kans op luchtaanzuiging via de schuifschacht bestaan door de drukverlaging direct achter de schuif. Dit kan op schematische wijze gecontroleerd met de methode uit [15, 16]. Deze controle dient ook uitgevoerd te worden wanneer de schuiven zich verderop in de koker bevinden. Het wordt geadviseerd deze controle in de ontwerpfase verder te kwantificeren.

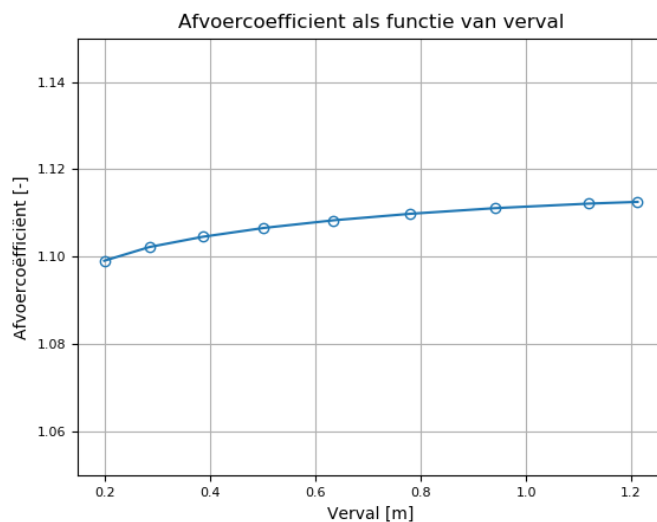
#### 4.3.3 Tussenwanden kokers

De tussenwanden van de kokers zijn ter plaatse van de inlaten recht uitgevoerd. De scherpe hoeken zullen leiden tot een extra drukverlies. Mocht het nodig zijn het verlies bij de inlaten verder te verkleinen zou overwogen kunnen worden om de tussenwanden ellipsvormig af te ronden.

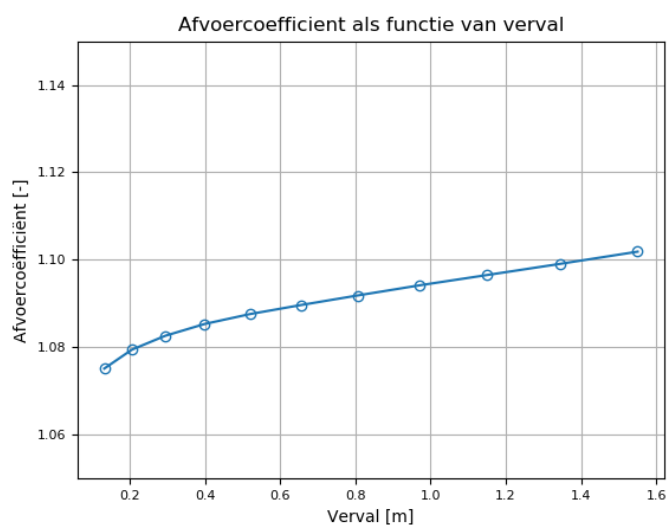
## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Afvoercoëfficiënt

Met behulp van SPUIS zijn er afvoerberekeningen gedaan aan het schetsontwerp van het nieuwe doorlaatmiddel in de Brouwersdam. Uit de resulterende vervallen zijn afvoercoëfficiënten bepaald voor een bereik aan vervallen. Hierbij zijn beide stroomrichtingen beschouwd. Voor de stroomrichting van Grevelingen naar zee ligt de afvoercoëfficiënt tussen 1.10 en 1.11 voor vervallen tussen 0.2 en 1.2 m. Voor de stroomrichting van zee naar Grevelingen ligt de afvoercoëfficiënt tussen 1.07 en 1.10 voor vervallen tussen 0.13 en 1.5 m. Deze resultaten zijn grafisch weergegeven in Figuur 5.1 en Figuur 5.2.



Figuur 5.1 Berekende afvoercoëfficiënten als functie van verval voor de stroomrichting Grevelingen naar zee.



Figuur 5.2 Berekende afvoercoëfficiënten als functie van verval voor de stroomrichting zee naar Grevelingen.

### 5.2 Luchtaanzuiging

Verder is gecontroleerd of er risico is op luchtaanzuiging bij het huidige niveau van de kokers. Een controle m.b.v. een eenvoudige relatie uit [8] laat zien dat het waarschijnlijk is dat er

luchtaanzuiging op zal treden gezien de grote diameter van de kokers en beperkte waterdekking. Dit zal een negatieve impact hebben op de daadwerkelijke afvoercoëfficiënt aangezien luchtaanzuiging niet kan worden meegenomen in SPUIS. Mogelijk dat luchtaanzuiging kan worden beperkt met behulp van een wijziging van de inlaatgeometrie, maar dit vergt een aparte studie. Een meer ingrijpende aanpassing zou zijn om het doorlaatmiddel met open kokers uit te voeren, indien dit mogelijk is op de projectlocatie.

### **5.3 Stromingsregime**

Daarnaast is gecontroleerd of er sprake is van een goed gedefinieerd stromingsregime door de kokers. Aangezien de kokers zodanig diep liggen dat de uitstroomzijde zich altijd onder water bevindt, kan er vanuit worden gegaan dat er altijd sprake is van een type IV stroming (verdrongen koker).

## 6 Referenties

1. Nolte, A. and C. Spiteri, *Verkenning van de waterkwaliteit en ecologische toestand bij een open verbinding tussen het Grevelingenmeer en een (zout) Volkerak-Zoommeer*. 2009, Deltares.
2. Nolte, A.J. and C. Spiteri, *Effect van herintroductie van getij op waterkwaliteit en ecologische toestand van het Grevelingenmeer*. 2011, Deltares.
3. Nolte, A.J. and O.G. Lagendijk, *Grevelingenmeer van Stagnant naar Beperkt Getij - Synthesedocument 'Beschikbare kennis en resterende kennisvragen met betrekking tot het effect van introductie beperkte getijslag op het natuurlijke systeem van Grevelingenmeer en Voordelta*. 2016, Deltares.
4. van Kleef, E.A., *Berekening van de afvoer van spuisluizen met behulp van een rekenmodel*. 1986, Waterloopkundig Laboratorium.
5. van Kleef, E.A., *Berekening van de afvoer van spuisluizen bij schietend water situaties*. 1989, Waterloopkundig Laboratorium.
6. Vrijburcht, A., *Aflaatwerk en gemaal te Oosterhout*. 1995, Waterloopkundig Laboratorium.
7. Jongeling, T.H.G. and C. van der Schelde, *Sluisprogrammatuur REN*. 1997, Waterloopkundig Laboratorium.
8. Knauss, J., *Swirling Flow Problems at Intakes*. 1987, Rotterdam: A.A. Balkema.
9. Chow, V.T., *Open-Channel Hydraulics*. 1985, Singapore: McGraw-Hill Book Co.
10. Pothof, I.W.M.P. and C.L. Lubbers, *IJkmetingen Spuisluizen Afsluitdijk – Meetmethode, calibratie en dataverwerking*. 2003.
11. Verhaart, F., *Haalbaarheidsstudie 2-zijdig spuiend maken van de Flakkeese spuisluis*. 2014, Deltares.
12. French, R.H., *Open-Channel Hydraulics*. 1994, Singapore: McGraw-Hill Book Co.
13. Ligteringen, H., *Stroomsluis in de Brouwersdam - Afvoer karakteristieken sluisontwerp*. 1975, WL|Delft Hydraulics: Delft.
14. Ligteringen, H., *Stroomsluis Noordland in de Oosterscheldedam - Afvoer karakteristieken sluisontwerp*. 1974, Waterloopkundig Laboratorium.
15. Oudshoorn, C.R.M., *Duwvaartsluizen in de Philipsdam Maximale krachten op schuiven*. 1981, Waterloopkundig Laboratorium: Delft.
16. de Loor, A., *Sluis III - Wilhelminakanaal*. 2013, Deltares: Delft.
17. Miller, D.S., *Internal flow systems*. 1978: BHRA.
18. Kolkman, P.A., *Discharge relations for hydraulic structures and head losses from different components*. 1989, WL|Delft Hydraulics.

## A Invoer SPUIS

### A.1 Grevelingen naar zee

#### A.1.1 Beschrijving raaien

##### **Raai 1**

De eerste raai bevindt zich op ongeveer 1 km bovenstrooms van de volgende raai. Hierbij zal een stroomvoerende breedte van 10 km worden gebruikt in SPUIS. Dit betreft in feite een 'far-field' rand waar er geen significante stroming meer aanwezig is. De gevoeligheid voor deze keus kan eventueel nog gecontroleerd worden.

Er wordt uitgegaan van een vlakke bodem van NAP-13 m. Voor de ruwheid wordt 0.01 m gebruikt, uitgaande van grove zandbodem.

##### **Raai 2**

De tweede raai bevindt zich op bij de rand van de bodembescherming, ongeveer 190 m van afrondingen aan de inlaat van het doorlaatmiddel. Bij deze raai wordt aangenomen dat water van alle kanten richting de inlaat stroomt. De stroomvoerende breedte is dan ook gelijk aan de omtrek van de bodembescherming wat neerkomt op een waarde van circa 695.22 m.

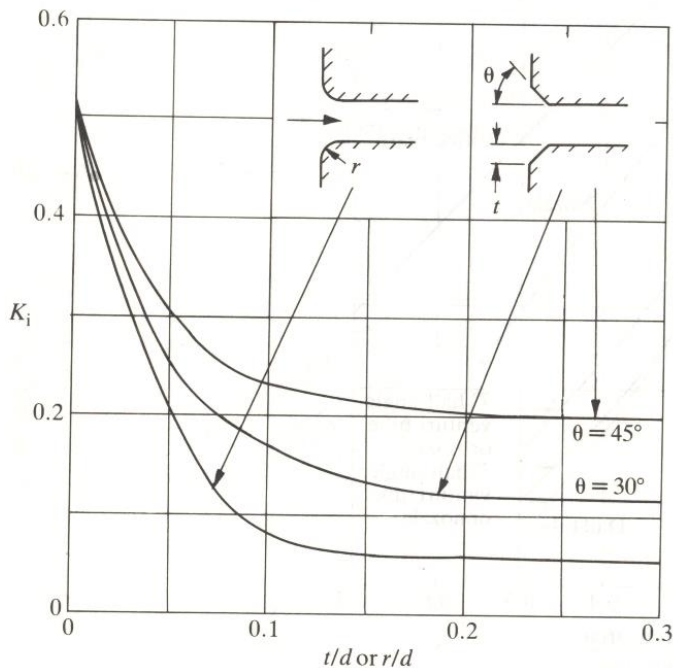
Er wordt uitgegaan van een vlakke bodem van NAP-13 m. Voor de ruwheid wordt 0.6 m gebruikt, uitgaande van een bodembescherming van breuksteen.

##### **Raai 3**

De tweede raai betreft de contractie rond de afrondingen aan de inlaat aan de Grevelingenzijde. De afrondingen hebben een straal van  $r=20$  m bij een totale breedte van 165.25 m. Dit geeft een waarde voor  $r/D$  van  $\sim 0.12$ . De waarde voor de verliescoëfficiënt kan dan afgeleid worden uit [17] (Fig. 14.11) en levert een waarde op van 0.07. Deze figuur is overgenomen in . Dit vertaalt zich naar een contractiecoëfficiënt van 0.79 (volgens  $K = (C_c^{-1} - 1)^2$ ). Hiermee wordt de stroomvoerende breedte gereduceerd tot 130.55 m.

Bij de inlaat van de fuik bevindt de bodem zich nog op NAP-13 m. Op de bodem bevindt zich een betonplaat, de wanden zijn uitgevoerd in damwanden. De ruwheid van damwanden is moeilijk in te schatten, maar gezien de beperkte diepte wordt de bodem als maatgevend gezien. Er wordt daarom de ruwheid van breuksteen gebruikt van 0.6 m.





Figuur 6.1 Inlaatverlies als functie van de afrondingsstraal (Fig. 14.11 in [17]).

#### Raai 4

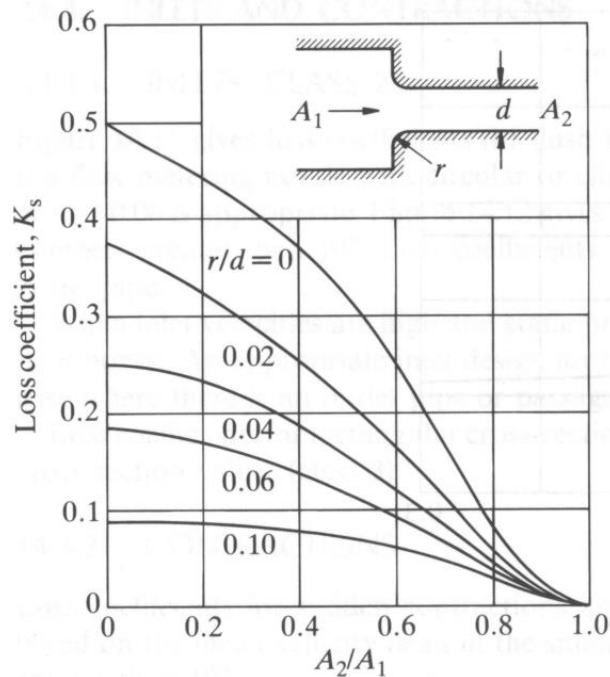
De derde raai bevindt net voor de inlaten van de kokers. Hierbij wordt de aanname gemaakt dat de stroming zich weer verdeeld heeft over de totale breedte. Gezien de contractie rond de fuik is het mogelijk dat dit niet geheel opgaat en dat daarmee niet alle kokers gelijk worden aangestroomd. Dit is een aandachtspunt voor de volgende fase van het project.

De bodem ligt hier op kruinhoogte, NAP-11.15 m. Er wordt een betonruwheid van 2 mm gebruikt.

#### Raai 5

De vierde raai bevindt zich net na de inlaat van de kokers, in de contractie die zal ontstaan rond de kokerinlaten. De kokers zijn volledig rechthoekig uitgevoerd. Voor de contractiecoëfficiënt wordt gebruik gemaakt van [17] (Fig 14.14). Deze figuur is overgenomen in . Er wordt rekening gehouden met zowel de horizontale als verticale contractie, daarmee is  $r/d=0$  en wordt  $A2/A1=0.63$ . Dit levert een verliescoëfficiënt van 0.23 op, wat overeenkomt met een contractiecoëfficiënt van 0.68. Dit geeft een stroomvoerende breedte van 97.92 m.

De bodem ligt op NAP-11.15 m, de bodem en wanden zijn uitgevoerd in beton en hiervoor wordt een ruwheid van 2 mm aangehouden.

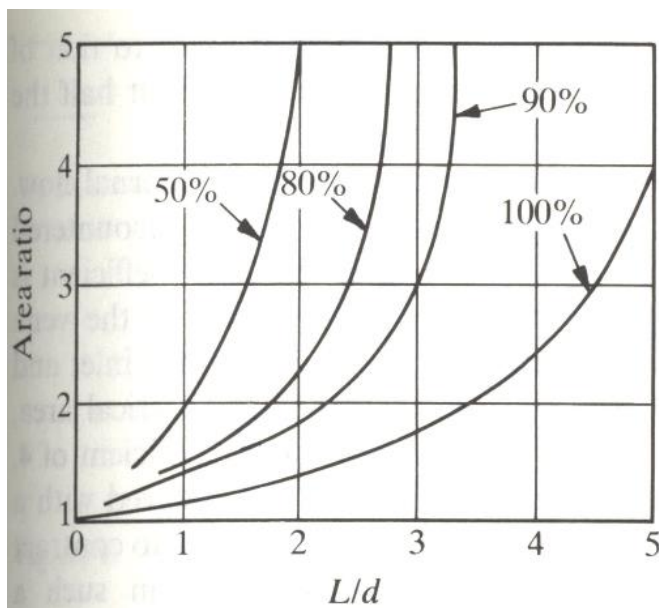


Figuur 6.2 Contractieverlies als functie van relatieve verandering doorsnede (Fig. 14.14 in [17]).

### Raai 6

De vijfde raai bevindt zich enige afstand in de kokers waarbij de stroming weer geheel verwijd is. De benodigde lengte kan worden afgeschat aan de hand van de verhouding tussen de contractie en het kokeroppervlak (Fig. 5.67 uit [17]). Deze figuur is overgenomen in . Deze verhouding is te bepalen uit de bij de kokerinlaten bepaalde contractiecoëfficiënt voor raai 4 en bedraagt  $0.68^{-1}$ , oftewel 1.47. Dit geeft een voor volledig drukherstel benodigde lengte van 2.22 maal de (hydraulische) diameter, oftewel 17.8 m. Hierbij zal dus de volledige kokerdoorsnede worden opgegeven. De bodem ligt op NAP-11.15 m. Er wordt een betonruwheid van 2 mm gebruikt.

SPUIS beschouwt slechts een enkele doorsnede per raai, waardoor er slechts een enkele koker kan worden geschematiseerd. Hier wordt omheen gewerkt door wel de daadwerkelijke natte omtrek op te geven per raai. In dit geval zal dus de natte omtrek van 18 kokers worden opgegeven om te zorgen dat de wrijvingsberekening correct wordt uitgevoerd.



Figuur 6.3 Benodigde lengte voor verschillende percentages van drukherstel na een contractie (Fig. 5.67 uit [17]).

### **Raai 7**

In de kokers bevinden zich nog enige sponningen. In [18] wordt hier enige informatie over gegeven gebaseerd op metingen door Levin. Er zijn echter nog wel enige vraagtekens bij deze metingen gezien de Reynoldsafhankelijkheid bij hoge snelheden. Uit de beschikbare data kan worden opgemaakt dat voor sponningen met rechte hoeken en met een enigszins vierkante vorm de verliescoëfficiënt bij hoge Reynolds getallen rond de 0.025 (contractiecoëfficiënt van 0.86) kan liggen. Dit geeft voor drie sponningen een totaal verlies van 0.075 (dus een contractiecoëfficiënt van 0.79).

De sponningen bevinden zich in de kokers. Het bodemniveau van deze raai is daarom NAP-11.15 m en de ruwheid is 2 mm.

### **Raai 8**

De zevende raai geeft weer een volledige verwijding na de sponningen weer. Wanneer alle sponningen samen worden genomen is hiervoor een lengte van 1.4 m benodigd wanneer de methode voor raai 5 wordt gevolgd. Wanneer elke sponning apart wordt beschouwd is er voor elke sponningen een lengte van 1 m benodigd. Voorlopig worden de sponningen samen genomen.

### **Raai 9**

De achtste raai bevindt zich aan het einde van de kokers en heeft dezelfde eigenschappen als raai 5.

Voor de fuik aan de zeezijde wordt, dankzij de beperkte hoek, uitgegaan dat de stroming blijft aanliggen en dat dus de volledig beschikbare breedte wordt benut.

### **Raai 10**

De negende raai bevindt zich aan het einde van de drempel, in de fuik. De bodem ligt hier weer op NAP-13 m. Deze raai bevindt zich 25 m van de uitlaat, de breedte van de fuik is hierbij 7.14 m toegenomen tot een totale breedte van 172.39 (bij verwijding van 1:7). Er wordt een ruwheid van 0.6 m gebruikt.

**Raai 11**

De tiende raai bevindt zich aan het einde van de fuik. De breedte is 206.22 m. De bodem bevindt zich hier op NAP-13 m. Er wordt een ruwheid van 0.6 m toegepast.

**Raai 12**

De elfde raai bevindt zich aan het einde van de bodembescherming op een afstand van 146.6 m van het uiteinde van de fuik. Vanwege de ondiepe bodem nabij de Brouwersdam is een aanstroomkanaal benodigd, wat de verwijding van het uitstromende water beperkt. Er wordt daarom de conservatieve aanname gedaan dat de stroming tussen het uiteinde van de fuik en het einde van de bodembescherming niet verder verwijdt.

De bodem bevindt zich hier op NAP-13 m. Er wordt een ruwheid van 0.6 m toegepast.

**Raai 13**

De twaalfde raai krijgt dezelfde eigenschappen als de eerste raai.

**A.1.2 Invoerbestand**

```

**#####
**Date           : 20-08-2018
**Filename      : grev_zee.in
**Sluice        : Doorlaatmiddel Brouwersdam
**
**Input file for program SPUIS version 4.01, March 1995.
**Calculation of discharge relations of discharge sluices.
**
**Remark : Lines starting with '**' are for comments.
**#####
**
**
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Calculation method                bm [-]
** 0 = method backwater curves
** 1 = method Bernoulli/momentum equation
**
0
**
** Number of runs                    nr [-]
** Minimum 1, maximum 100.
**
9
**
** FOR EACH RUN:
**
** downstream water level           wsbe [m]
** flow rate                         qt [m3/s]
**
** Column 1      Column 2
** wsbe          qt
**
-0.362 2500.0
-0.447 3000.0
-0.549 3500.0
-0.665 4000.0
-0.796 4500.0

```

```

-0.942 5000.0
-1.104 5500.0
-1.281 6000.0
-1.375 6250.0
**
**
** GEOMETRY OF SLUICE
**
** The geometrie of the sluice is defined by slices in the
** longitudinal direction of the sluice. The relevant slices
** need to be defined here.
**
**
** EXAMPLE top view of sluice:
**      ++++++
**
**                                     +
**      ++++++                                     +
**                                     ++++++
**                                     |||||
**      |-----> X
**                                     |||||
**                                     ++++++
**      ++++++                                     +
**      ^           ^           ^ +
**      |           |           | ++++++
**      |           |           | ^
**      |           |           | |
**      |           |           | |
**      1 <----slices----> 2 3           4           5 6           7
**
**
** A slice defines a change in lateral profile and a section
** of the sluice for which a discharge relation exists.
** Define number of slices minimum 2, maximum 50.
**
** Number of slices           nx [-]
**
13
**
** FOR EVERY SLICE:
**
** slice number           id [-]
** X-distance             xd [m]
** Bottom level          zb [m]
** Profile number         pn [-]
**
** Define slices with increasing number!
**
** Column 1           Column 2           Column 3           Column 4
** id-number         X-distance         Bottom level         Profile number
** id                 xd                 zb                 pn
**
1 -1020.0 -13.0 1
2 -215.0 -13.0 9
3 -25.0 -13.0 2
4 0.0 -11.5 3
5 5.0 -11.5 4
6 22.8 -11.5 5

```

```

7      30.0 -11.5 6
8      31.4 -11.5 5
9      49.0 -11.5 5
10     74.0 -13.0 7
11    192.4 -13.0 8
12    339.0 -13.0 8
13  1339.0 -13.0 1
**
**
**  FOR EVERY SLUICE SECTION:
**
**    A section of the sluice is the part between 2 slices.
**    There are nx-1 sections.
**
**  Discharge relation                ar  [-]
**  Only use discharge relation 0 (backwater curve).
**
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
**
**
**  DESCRIPTION PROFILES
**
**    The geometry of a slice is described using a profile.
**    Define number of profiles minimum 2, maximum 20.
**
**  Number of profiles                np  [-]
**
9
**
**  FOR EVERY PROFILE:
**
**    A profile has an identification number (profile number).
**    The number of corner points (y-values) has to be entered
**    for every profile. At minimum 2 and maximum 20.
**    The roughness has to be entered for every profile, this
**    then holds for the entire profile. The roughness is defined
**    as a Nikuradse k-value. For every corner point a height
**    level relative to the bottom level has to be entered (>0).
**    For every corner point of every profile a width of the
**    water surface has to be entered. For every corner point the
**    wet perimeter (for a water level at this level) has to be
**    entered.
**
**    Order for every profile:
**    1 row with 3 number
**          profile number                ip  [-]
**          number of points              ny  [-]
**          roughness                     rb  [m]
**  ny rows with 3 number
**          level of each point           dp  [m]
**          width at each point           bp  [m]
**          wet perimeter at each point   op  [m]
**
**
**    Enter the profile in increasing order!
**
**  profile 1
**

```

```
1 3 0.010
0.00 0.000 0.0
0.01 10000.0 10000.0
15.0 10000.0 10030.0
```

\*\*

\*\*

\*\* profile 2

\*\*

```
2 3 0.600
0.00 0.0000 0.0
0.01 130.55 130.55
15.0 130.55 160.55
```

\*\*

\*\*

\*\* profile 3

\*\*

```
3 3 0.002
0.00 0.0000 0.0
0.01 165.25 165.25
15.0 165.25 195.25
```

\*\*

\*\*

\*\* profile 4

\*\*

```
4 4 0.002
0.00 0.000 0.0
0.01 97.92 97.92
8.00 97.92 385.92
8.01 0.000 529.92
```

\*\*

\*\*

\*\* profile 5

\*\*

```
5 4 0.002
0.00 0.000 0.0
0.01 144.0 144.0
8.00 144.0 432.0
8.01 0.000 576.0
```

\*\*

\*\*

\*\* profile 6

\*\*

```
6 4 0.002
0.00 0.000 0.0
0.01 113.76 113.76
8.00 113.76 401.76
8.01 0.000 545.76
```

\*\*

\*\*

\*\* profile 7

\*\*

```
7 3 0.600
0.00 0.0000 0.0
0.01 172.39 172.39
15.0 172.39 202.39
```

\*\*

\*\*

\*\* profile 8

```

**
 8 3 0.600
 0.00 0.0000 0.0
 0.01 206.22 206.22
 15.0 206.22 236.22
**
**
** profile 9
**
 9 3 0.600
 0.00 0.0000 0.0
 0.01 695.25 695.25
 15.0 695.25 695.25

```

## A.2 Zee naar Grevelingen

### A.2.1 Beschrijving raaien

#### **Raai 1**

De eerste raai bevindt zich op ongeveer 1 km bovenstrooms van de volgende raai. Hierbij zal een stroomvoerende breedte van 10 km worden gebruikt in SPUIS. Dit betreft in feite een 'far-field' rand waar er geen significante stroming meer aanwezig is. De gevoeligheid voor deze keus kan eventueel nog gecontroleerd worden.

Er wordt uitgegaan van een vlakke bodem van NAP-13 m. Voor de ruwheid wordt 0.01 m gebruikt, uitgaande van grove zandbodem.

#### **Raai 2**

De tweede raai bevindt zich op bij de rand van de bodembescherming, ongeveer 150 m van de inlaat van de fuik. Bij deze raai wordt aangenomen dat water van alle kanten richting de inlaat stroomt. De stroomvoerende breedte is dan ook gelijk aan de omtrek van de bodembescherming wat neerkomt op een waarde van circa 866.22 m.

Er wordt uitgegaan van een vlakke bodem van NAP-13 m. Voor de ruwheid wordt 0.6 m gebruikt, uitgaande van een bodembescherming van breuksteen.

#### **Raai 3**

De tweede raai betreft de contractie rond de inlaat van de fuik aan de zeezijde. De breedte aan het uiteinde van de fuik is 206.22 m. De waarde voor de verliescoëfficiënt kan afgeleid worden uit [17] (Fig. 14.11), voor een  $r/D$  van 0. Deze figuur is overgenomen in . Dit levert een waarde voor de verliescoëfficiënt op van  $\sim 0.5$ . Dit vertaalt zich naar een contractiecoëfficiënt van 0.59 (volgens  $K = (C_c^{-1} - 1)^2$ ). Hiermee wordt de stroomvoerende breedte gereduceerd tot 120.80 m.

Mogelijk dat het daadwerkelijke instroomverlies iets lager zal liggen aangezien er zich een verdiepte geul richting de spuilsuis zal bevinden. Dit beperkt de aanstroom vanaf de zijkant en daarmee de contractie.

Bij de inlaat van de fuik bevindt de bodem zich nog op NAP-13 m. Op de bodem bevindt zich zware breuksteen, de wanden zijn uitgevoerd in damwanden. De ruwheid van damwanden is moeilijk in te schatten, maar gezien de beperkte diepte wordt de bodem als maatgevend gezien. Er wordt daarom een ruwheid gebruikt van 0.6 m.



**Raai 4**

De derde raai bevindt net voor de drempel in de fuik. Hierbij wordt de aannahme gemaakt dat de stroming zich weer verdeeld heeft over de totale breedte van de fuik op dit punt. Het uiteinde van de betonnen plaat bevindt zich 25 m van de kokerinlaten. De fuikbreedte op dit punt bedraagt 172.39 m.

De bodem ligt hier op NAP-13 m. Voor de ruwheid wordt 0.6 m gebruikt, uitgaande van zware breuksteen.

**Raai 5**

De vierde raai bevindt net voor de inlaten van de kokers, bovenaan de betonnen plaat voor de kokers. De bodem ligt hier op kruinhoogte, NAP-11.15 m. Er wordt een betonruwheid van 2 mm gebruikt.

**Raai 6**

De vijfde raai bevindt zich net na de inlaat van de kokers, in de contractie die zal ontstaan rond de kokerinlaten. De kokers zijn volledig rechthoekig uitgevoerd. Voor de contractiecoëfficiënt wordt gebruik gemaakt van [17] (Fig 14.14). Deze figuur is overgenomen in . Er wordt rekening gehouden met zowel de horizontale als verticale contractie, daarmee is  $r/d=0$  en wordt  $A2/A1=0.63$ . Dit levert een verliescoëfficiënt van 0.23 op, wat overeenkomt met een contractiecoëfficiënt van 0.68. Dit geeft een stroomvoerende breedte van 97.92 m.

De bodem ligt op NAP-11.15 m, de bodem en wanden zijn uitgevoerd in beton en hiervoor wordt een ruwheid van 2 mm aangehouden.

**Raai 7**

De zesde raai bevindt zich enige afstand in de kokers waarbij de stroming weer geheel verwijd is. De benodigde lengte kan worden afgeschat aan de hand van de verhouding tussen de contractie en het kokeroppervlak (Fig. 5.67 uit [17]). Deze figuur is overgenomen in . Deze verhouding is te bepalen uit de bij de kokerinlaten bepaalde contractiecoëfficiënt voor raai 4 en bedraagt  $0.68^{-1}$ , oftewel 1.47. Dit geeft een voor volledig drukherstel benodigde lengte van 2.22 maal de (hydraulische) diameter, oftewel 17.8 m. Hierbij zal dus de volledige kokerdoorsnede worden opgegeven. De bodem ligt op NAP-11.15 m. Er wordt een betonruwheid van 2 mm gebruikt.

**Raai 8**

In de kokers bevinden zich nog enige sponningen. In [18] wordt hier enige informatie over gegeven gebaseerd op metingen door Levin. Er zijn echter nog wel enige vraagtekens bij deze metingen gezien de Reynoldsafhankelijkheid bij hoge snelheden. Uit de beschikbare data kan worden opgemaakt dat voor sponningen met rechte hoeken en met een enigszins vierkante vorm de verliescoëfficiënt bij hoge Reynolds getallen rond de 0.025 (contractiecoëfficiënt van 0.86) kan liggen. Dit geeft voor drie sponningen een totaal verlies van 0.075 (dus een contractiecoëfficiënt van 0.79).

De sponningen bevinden zich in de kokers. Het bodemniveau van deze raai is daarom NAP-11.15 m en de ruwheid is 2 mm.

**Raai 9**

De achtste raai geeft weer een volledige verwijding na de sponningen weer. Wanneer alle sponningen samen worden genomen is hiervoor een lengte van 1.4 m benodigd wanneer de methode voor raai 5 wordt gevolgd. Wanneer elke sponning apart wordt beschouwd is er voor

elke sponningen een lengte van 1 m benodigd. Voorlopig worden de sponningen samen genomen.

### **Raai 10**

De negende raai bevindt zich aan het einde van de kokers en heeft dezelfde eigenschappen als raai 6.

### **Raai 11**

De tiende raai bevindt zich aan het einde van de bodemplaat. Het is niet aannemelijk dat de stroming volledig de afrondingen aan de inlaat zal volgen. Er wordt daarom uitgegaan van een spreiding van 1:7 langs de afrondingen. Dit geeft aan het einde van de bodemplaat een stroomvoerende breedte van 170.96 m. De bodem bevindt zich hier op NAP-13 m. Er wordt een ruwheid van 0.6 m toegepast.

### **Raai 12**

De elfde raai bevindt zich aan het einde van de bodembescherming. Hierbij wordt van een spreiding van de straal van 1:20 uitgegaan. Dit levert een breedte voor deze raai van 194.42 m op.

Er wordt uitgegaan van een vlakke bodem van NAP-13 m. Voor de ruwheid wordt een hoogte van 0.6 m gebruikt.

### **Raai 13**

De twaalfde raai bevindt zich verderop in de Grevelingen en krijgt dezelfde eigenschappen als raai 1.

## A.2.2 Invoerbestand

```

**#####
**Date           : 20-08-2018
**Filename      : zee_grev.in
**Sluice        : Doorlaatmiddel Brouwersdam
**
**Input file for program SPUI version 4.01, March 1995.
**Calculation of discharge relations of discharge sluices.
**
**Remark : Lines starting with '**' are for comments.
**#####
**
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Calculation method                bm  [-]
** 0 = method backwater curves
** 1 = method Bernoulli/momentum equation
**
0
**
** Number of runs                    nr  [-]
** Minimum 1, maximum 100.
**
11
**
** FOR EACH RUN:

```

```

**
** downstream water level          wsbe  [m]
** flow rate                       qt    [m3/s]
**
** Column 1      Column 2
** wsbe          qt
**
-0.254 2000.0
-0.254 2500.0
-0.254 3000.0
-0.254 3500.0
-0.254 4000.0
-0.254 4500.0
-0.254 5000.0
-0.254 5500.0
-0.254 6000.0
-0.254 6500.0
-0.254 7000.0
**
**
** GEOMETRY OF SLUICE
**
** The geometrie of the sluice is defined by slices in the
** longitudinal direction of the sluice. The relevant slices
** need to be defined here.
**
** A slice defines a change in lateral profile and a section
** of the sluice for which a discharge relation exists.
** Define number of slices minimum 2, maximum 50.
**
** Number of slices                nx  [-]
**
13
**
** FOR EVERY SLICE:
**
** slice number                    id  [-]
** X-distance                      xd  [m]
** Bottom level                    zb  [m]
** Profile number                   pn  [-]
**
** Define slices with increasing number!
**
** Column 1      Column 2      Column 3      Column 4
** id-number     X-distance   Bottom level   Profile number
** id            xd           zb              pn
**
1 -1143.4 -13.0 1
2 -290.4 -13.0 10
3 -143.4 -13.0 2
4 -25.0 -13.0 3
5 0.0 -11.5 4
6 5.0 -11.5 5
7 22.8 -11.5 6
8 30.0 -11.5 7
9 31.4 -11.5 6
10 49.0 -11.5 6
11 74.0 -13.0 8

```

```

12 311.24 -13.0 9
13 1311.24 -13.0 1
**
**
** FOR EVERY SLUICE SECTION:
**
** A section of the sluice is the part between 2 slices.
** There are nx-1 sections.
**
** Discharge relation ar [-]
** Only use discharge relation 0 (backwater curve).
**
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
**
**
** DESCRIPTION PROFILES
**
** The geometry of a slice is described using a profile.
** Define number of profiles minimum 2, maximum 20.
**
** Number of profiles np [-]
**
10
**
** FOR EVERY PROFILE:
**
** A profile has an identification number (profile number).
** The number of corner points (y-values) has to be entered
** for every profile. At minimum 2 and maximum 20.
** The roughness has to be entered for every profile, this
** then holds for the entire profile. The roughness is defined
** as a Nikuradse k-value. For every corner point a height
** level relative to the bottom level has to be entered (>0).
** For every corner point of every profile a width of the
** water surface has to be entered. For every corner point the
** wet perimeter (for a water level at this level) has to be
** entered.
**
** Order for every profile:
** 1 row with 3 number
** profile number ip [-]
** number of points ny [-]
** roughness rb [m]
** ny rows with 3 number
** level of each point dp [m]
** width at each point bp [m]
** wet perimeter at each point op [m]
**
**
** Enter the profile in increasing order!
**
** profile 1
**
1 3 0.010
0.00 0.000 0.0
0.01 10000.0 10000.0
15.0 10000.0 10030.0
**

```

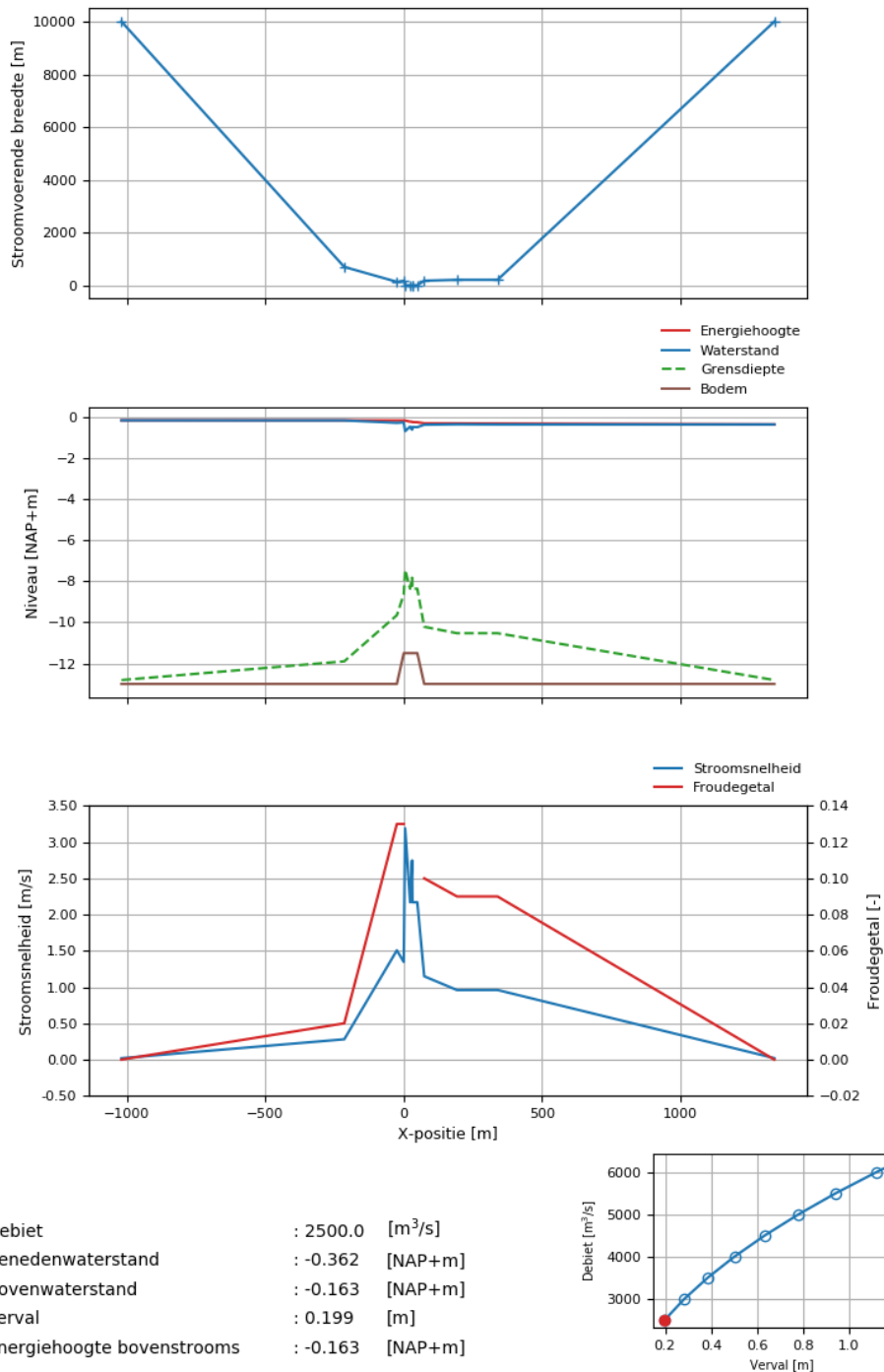
```
**
** profile 2
**
  2 3 0.60
  0.00 0.0000 0.0
  0.01 120.80 120.80
  15.0 120.80 150.80
**
**
** profile 3
**
  3 3 0.600
  0.00 0.0000 0.0
  0.01 172.39 172.39
  15.0 172.39 202.39
**
**
** profile 4
**
  4 3 0.002
  0.00 0.0000 0.0
  0.01 165.25 165.25
  15.0 165.25 195.25
**
**
** profile 5
**
  5 4 0.002
  0.00 0.000 0.0
  0.01 97.92 97.92
  8.00 97.92 385.92
  8.01 0.000 529.92
**
**
** profile 6
**
  6 4 0.002
  0.00 0.000 0.0
  0.01 144.0 144.0
  8.00 144.0 432.0
  8.01 0.000 576.0
**
**
** profile 7
**
  7 4 0.002
  0.00 0.0000 0.0
  0.01 113.76 113.76
  8.00 113.76 401.76
  8.01 0.0000 545.76
**
**
** profile 8
**
  8 3 0.600
  0.00 0.0000 0.0
  0.01 170.69 170.69
  15.0 170.69 200.69
```

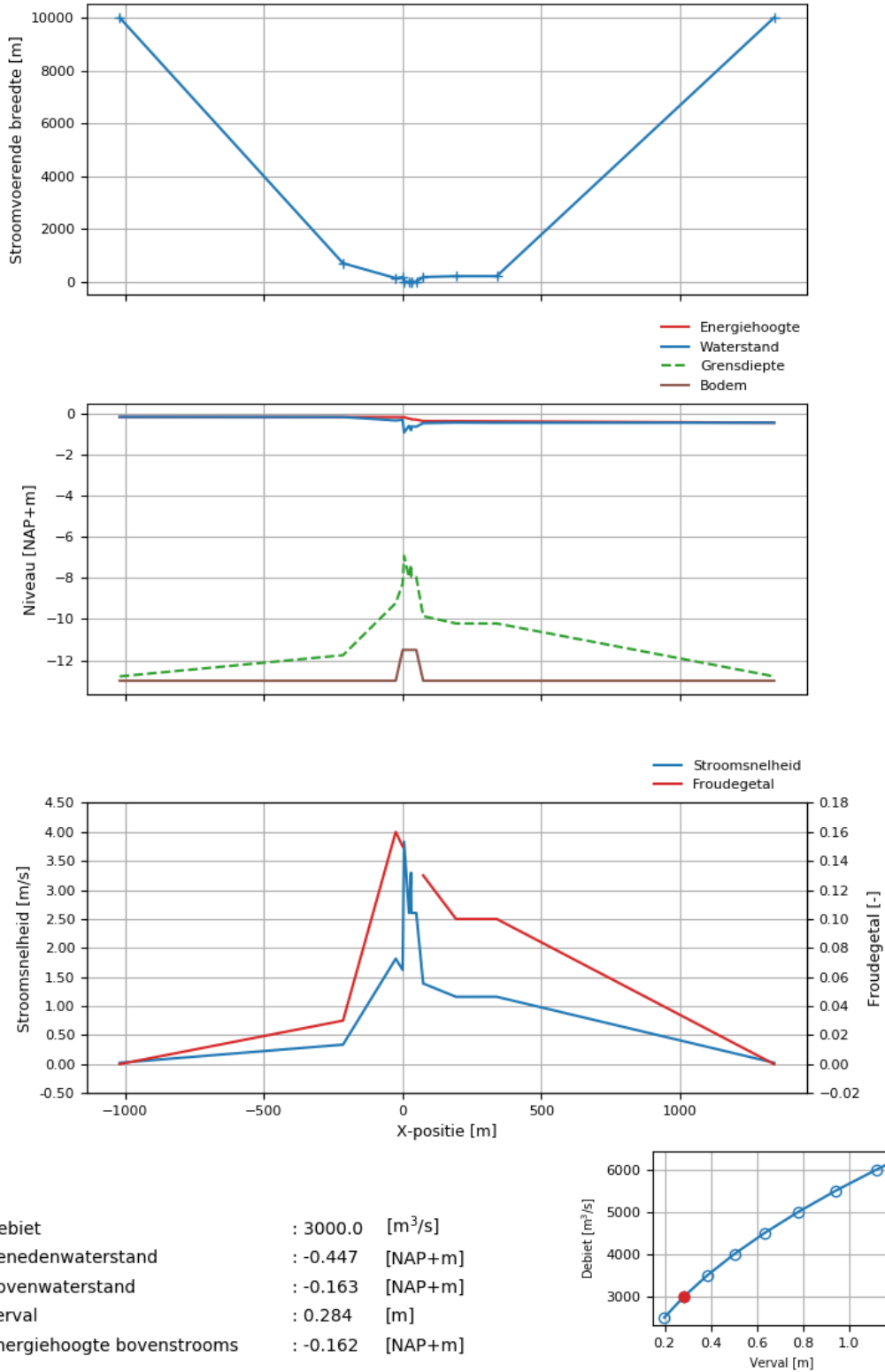
```
**
** profile 9
**
  9 3 0.600
  0.00 0.000 0.0
  0.01 194.42 194.42
  15.0 194.42 224.42
**
** profile 10
**
  10 3 0.600
  0.00 0.000 0.0
  0.01 866.22 866.22
  15.0 866.22 866.22
```

## B Uitvoer SPUIS

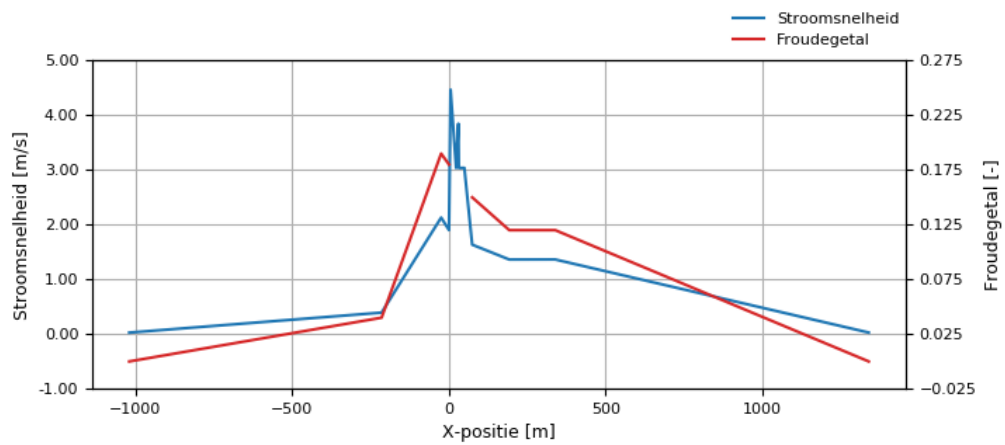
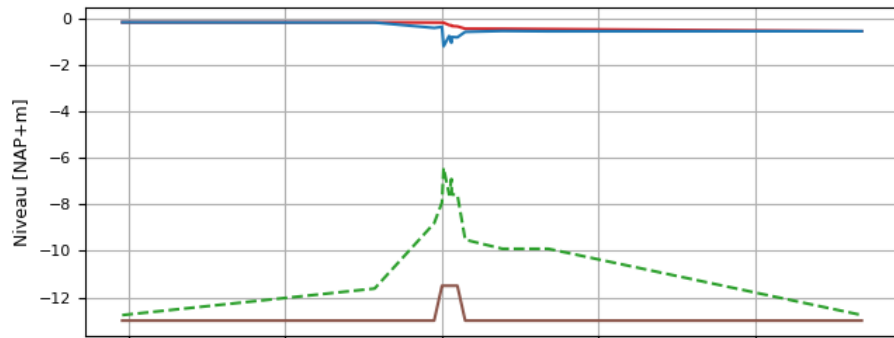
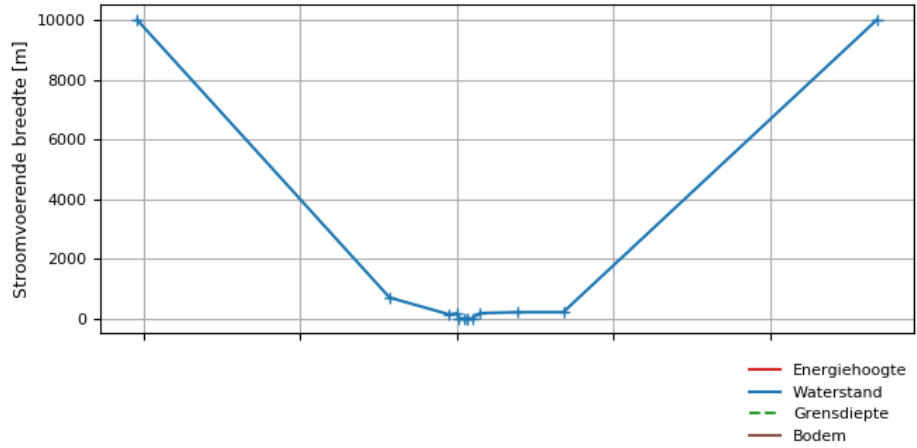
### B.1 Grevelingen naar zee

#### B.1.1 Grafische uitvoer

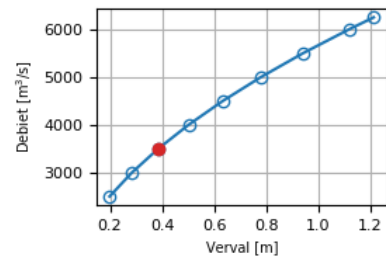


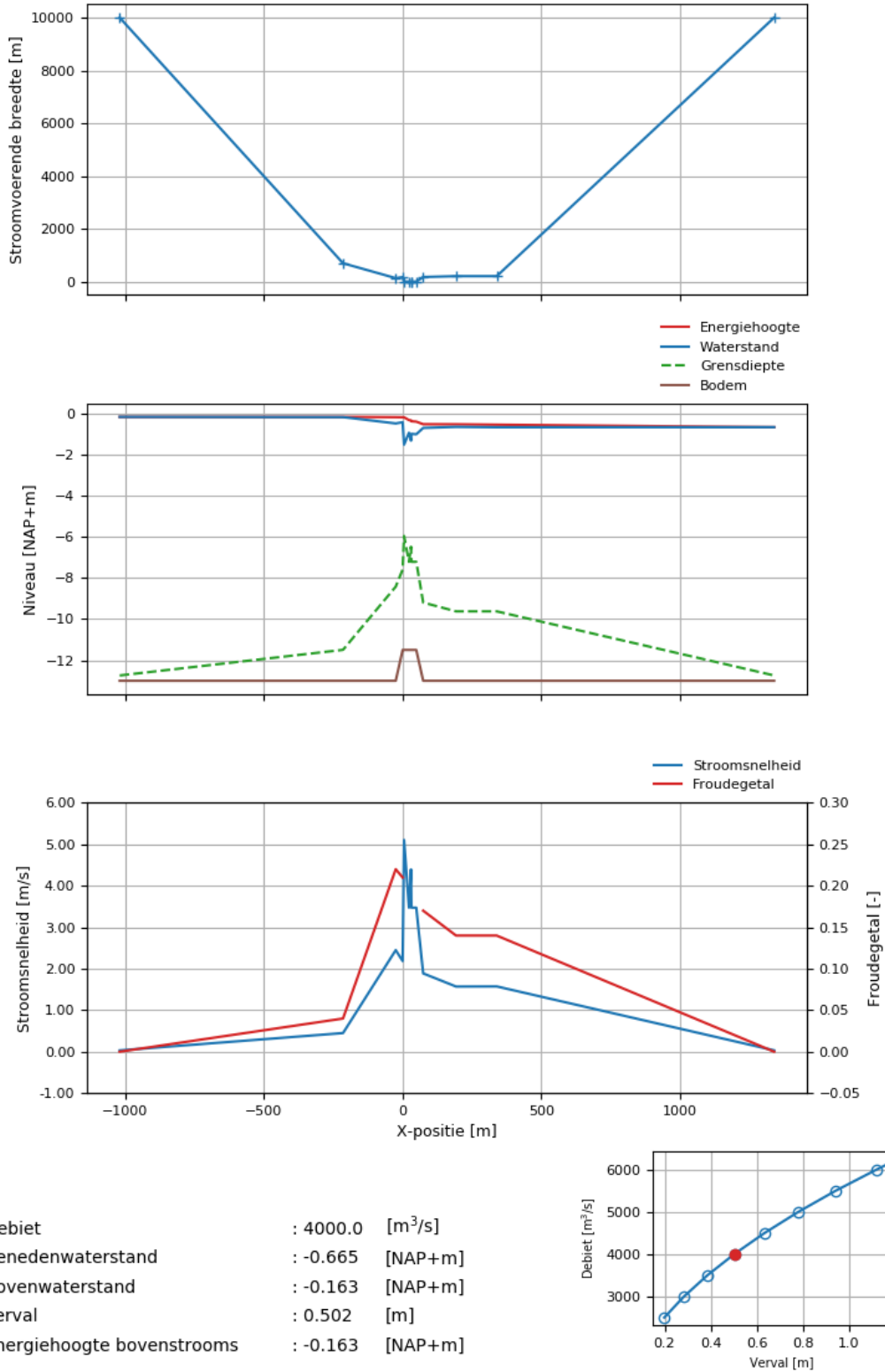


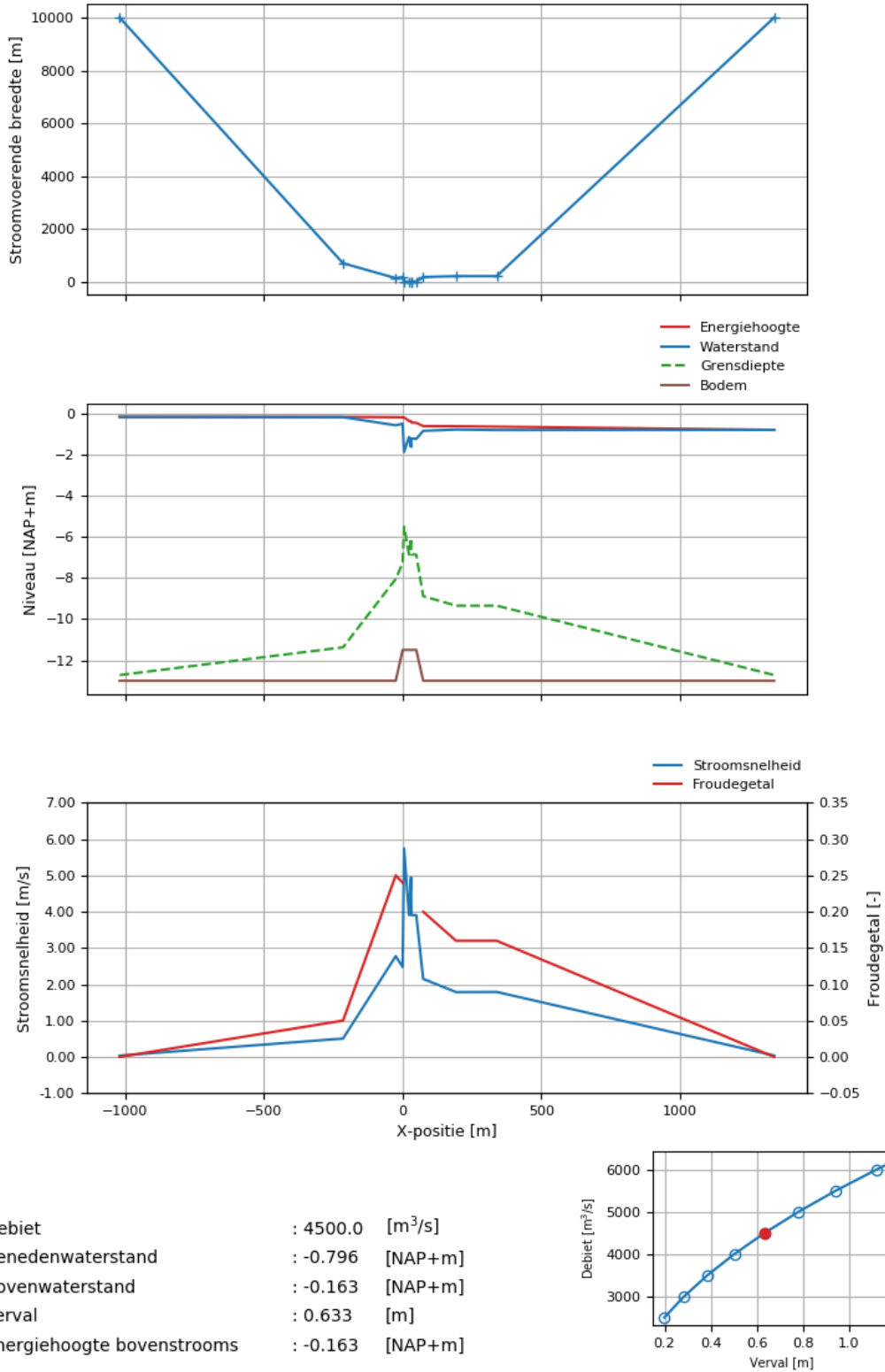


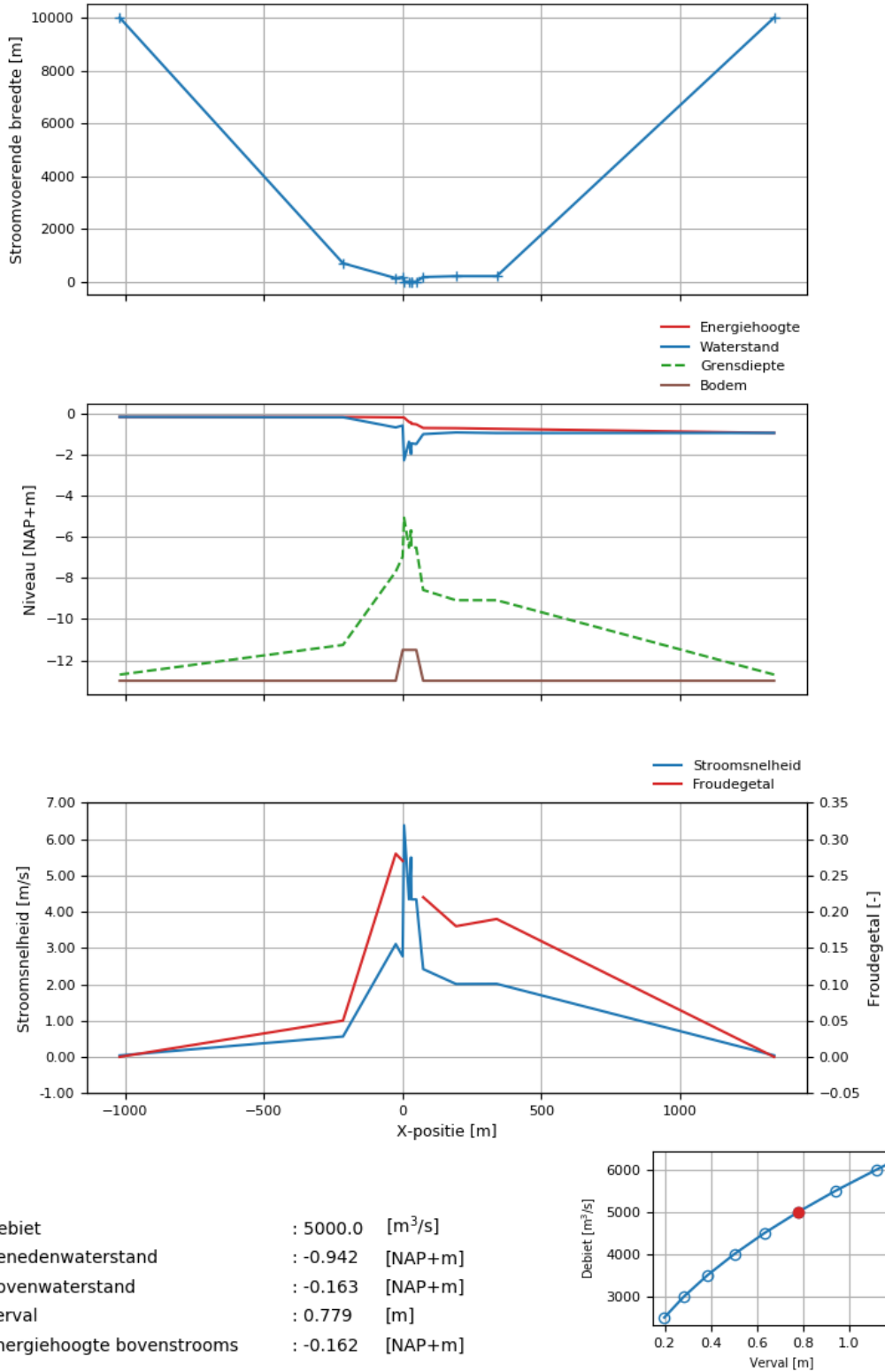


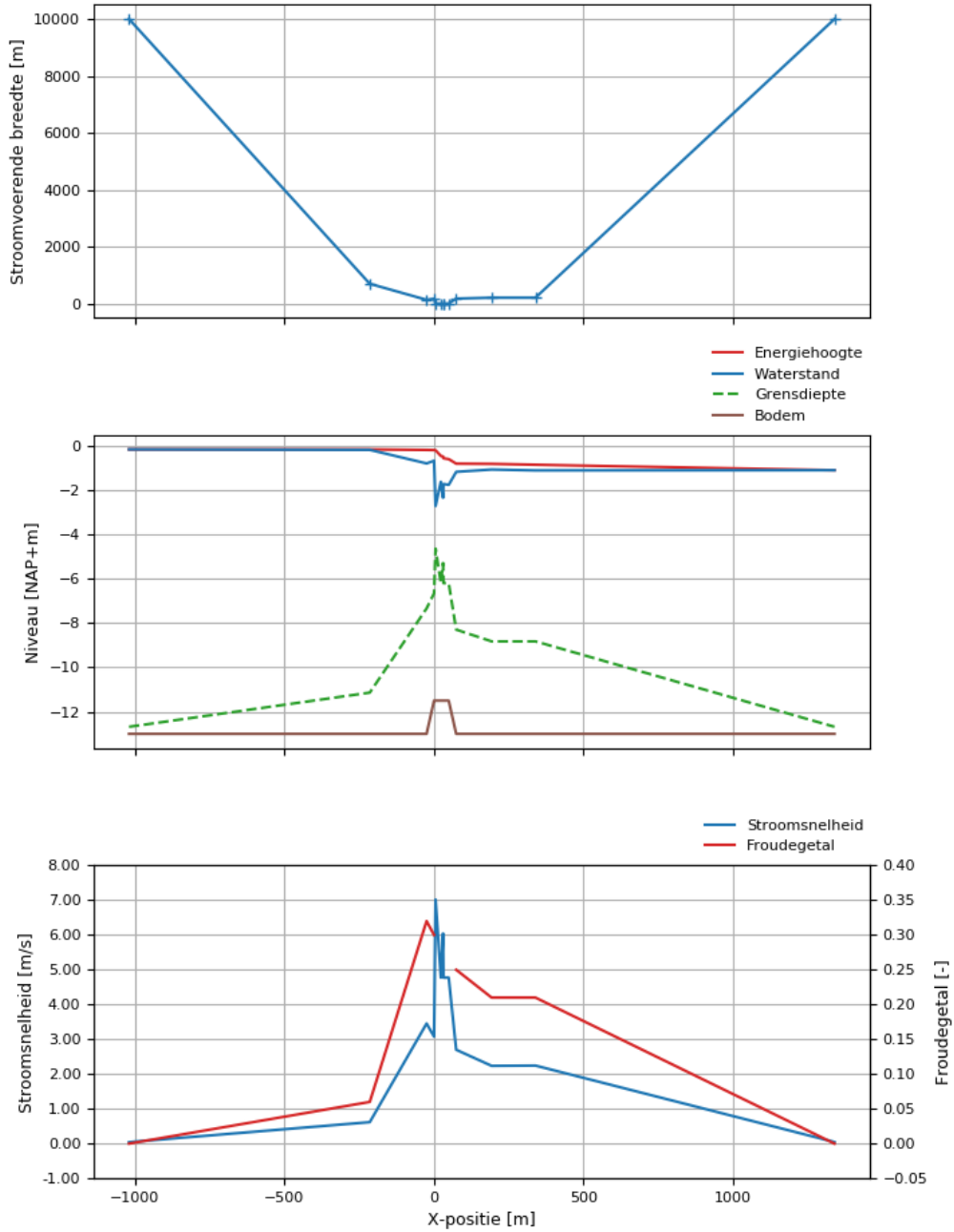
Debiet : 3500.0 [m<sup>3</sup>/s]  
 Benedenwaterstand : -0.549 [NAP+m]  
 Bovenwaterstand : -0.163 [NAP+m]  
 Verval : 0.386 [m]  
 Energiehoogte bovenstrooms : -0.163 [NAP+m]



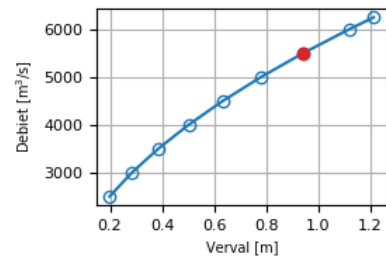


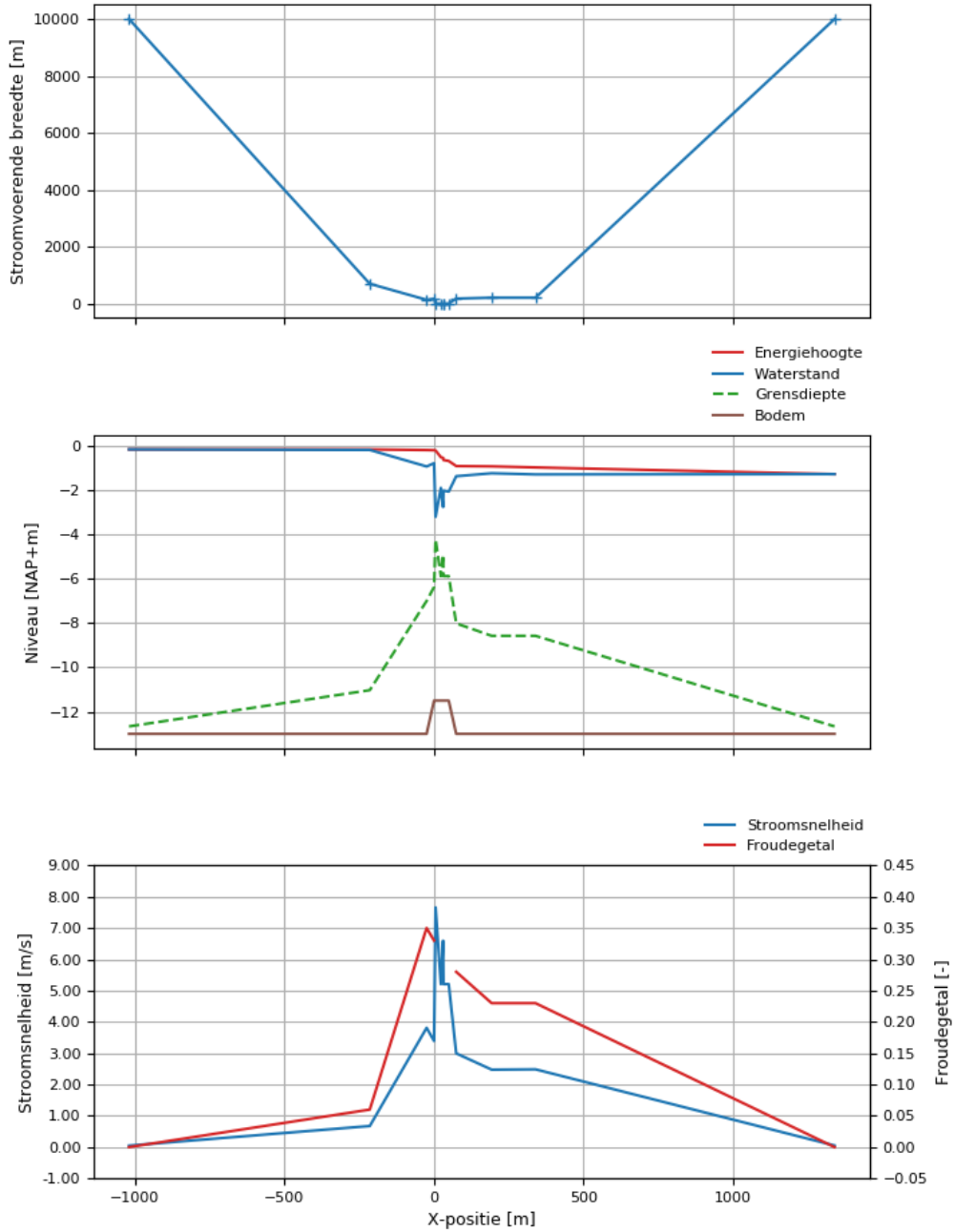




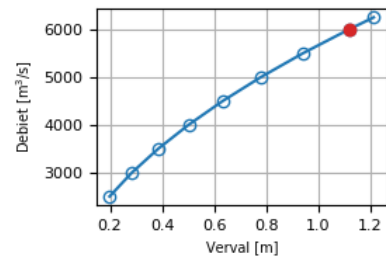


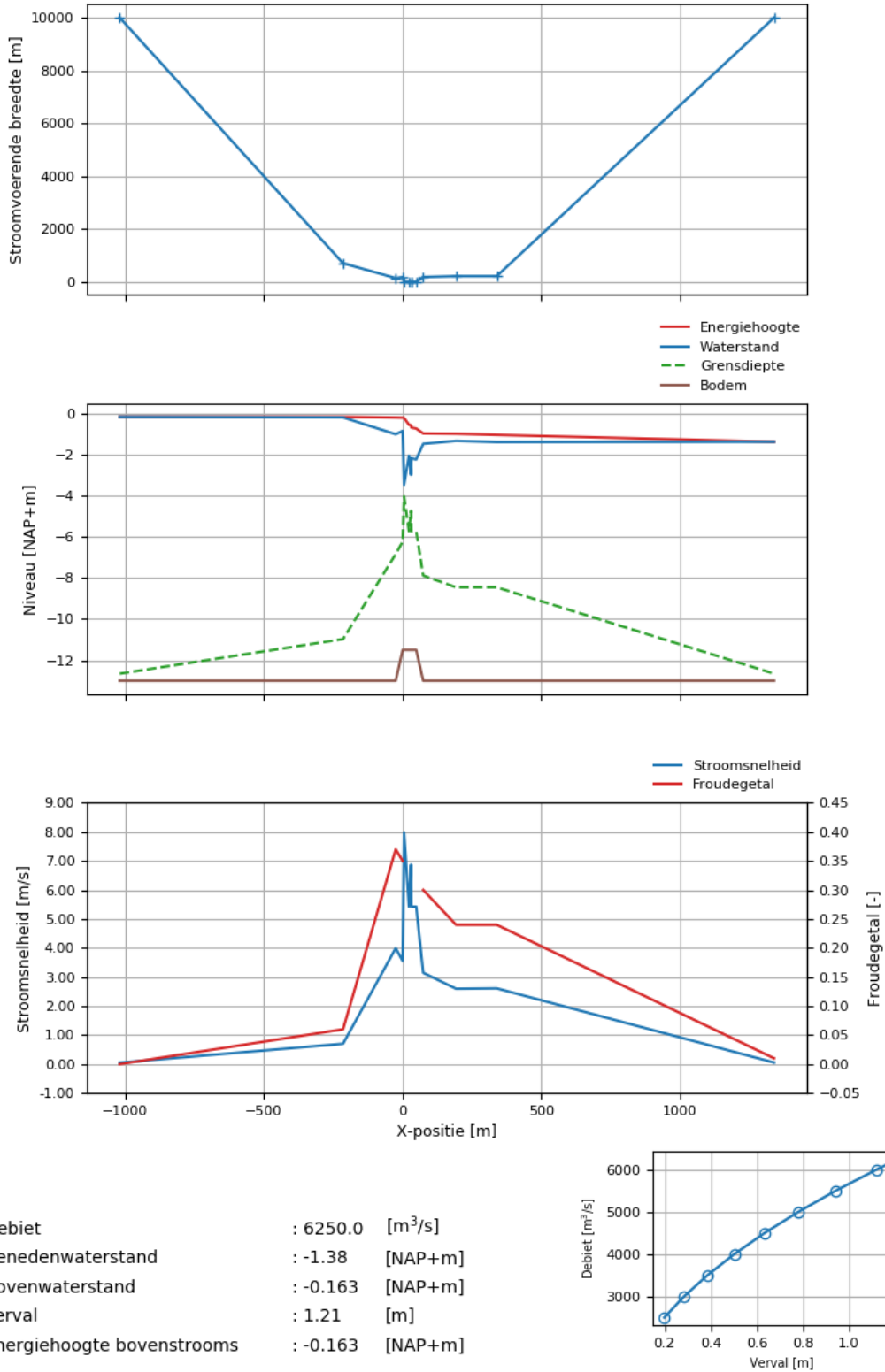
Debiet	: 5500.0	[m <sup>3</sup> /s]
Benedenwaterstand	: -1.1	[NAP+m]
Bovenwaterstand	: -0.163	[NAP+m]
Verval	: 0.941	[m]
Energiehoogte bovenstrooms	: -0.163	[NAP+m]





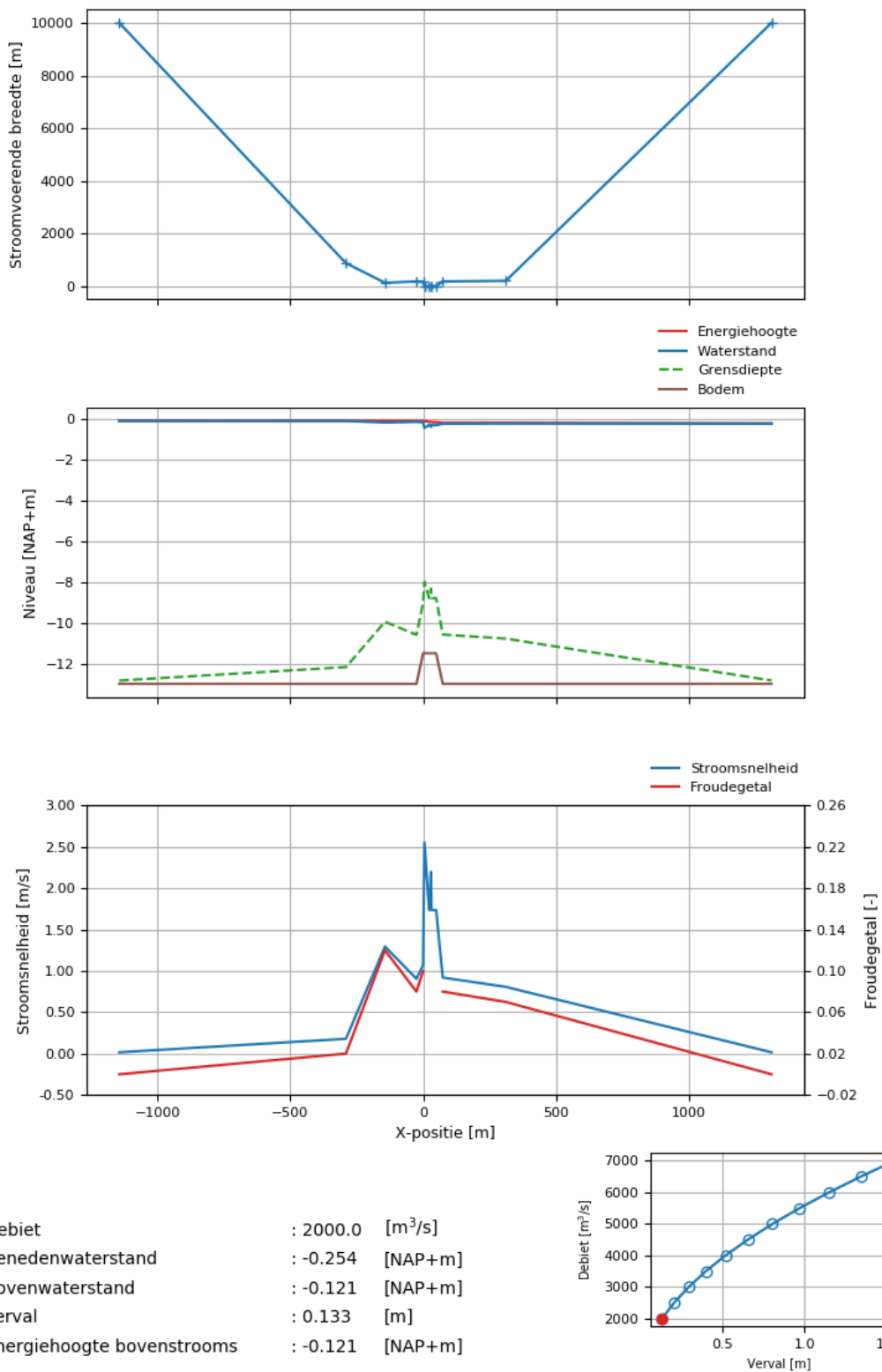
Debiet : 6000.0 [m<sup>3</sup>/s]  
 Benedenwaterstand : -1.28 [NAP+m]  
 Bovenwaterstand : -0.163 [NAP+m]  
 Verval : 1.12 [m]  
 Energiehoogte bovenstrooms : -0.163 [NAP+m]



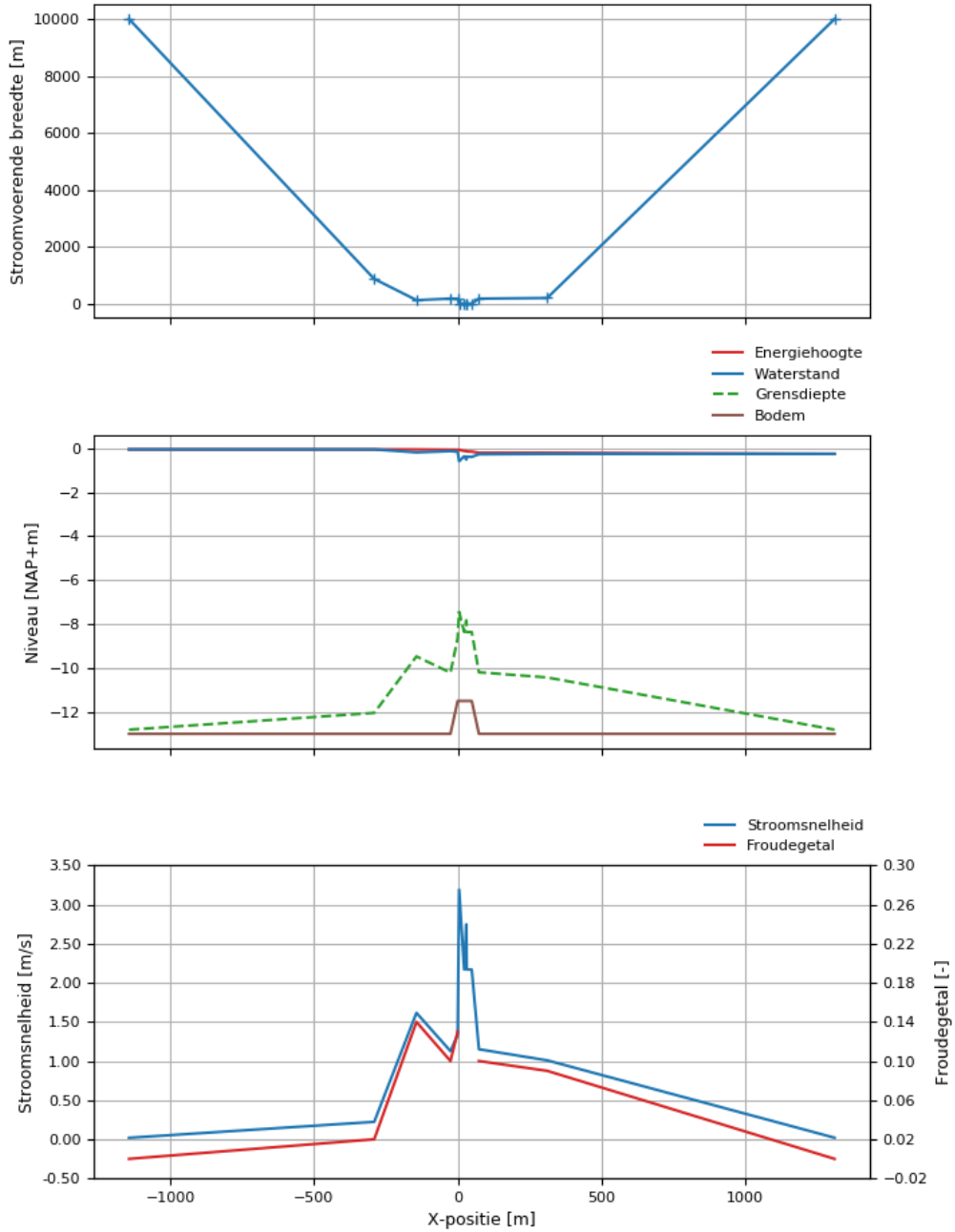


## B.2 Zee naar Grevelingen

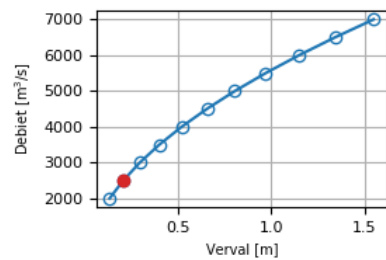
### B.2.1 Grafische uitvoer

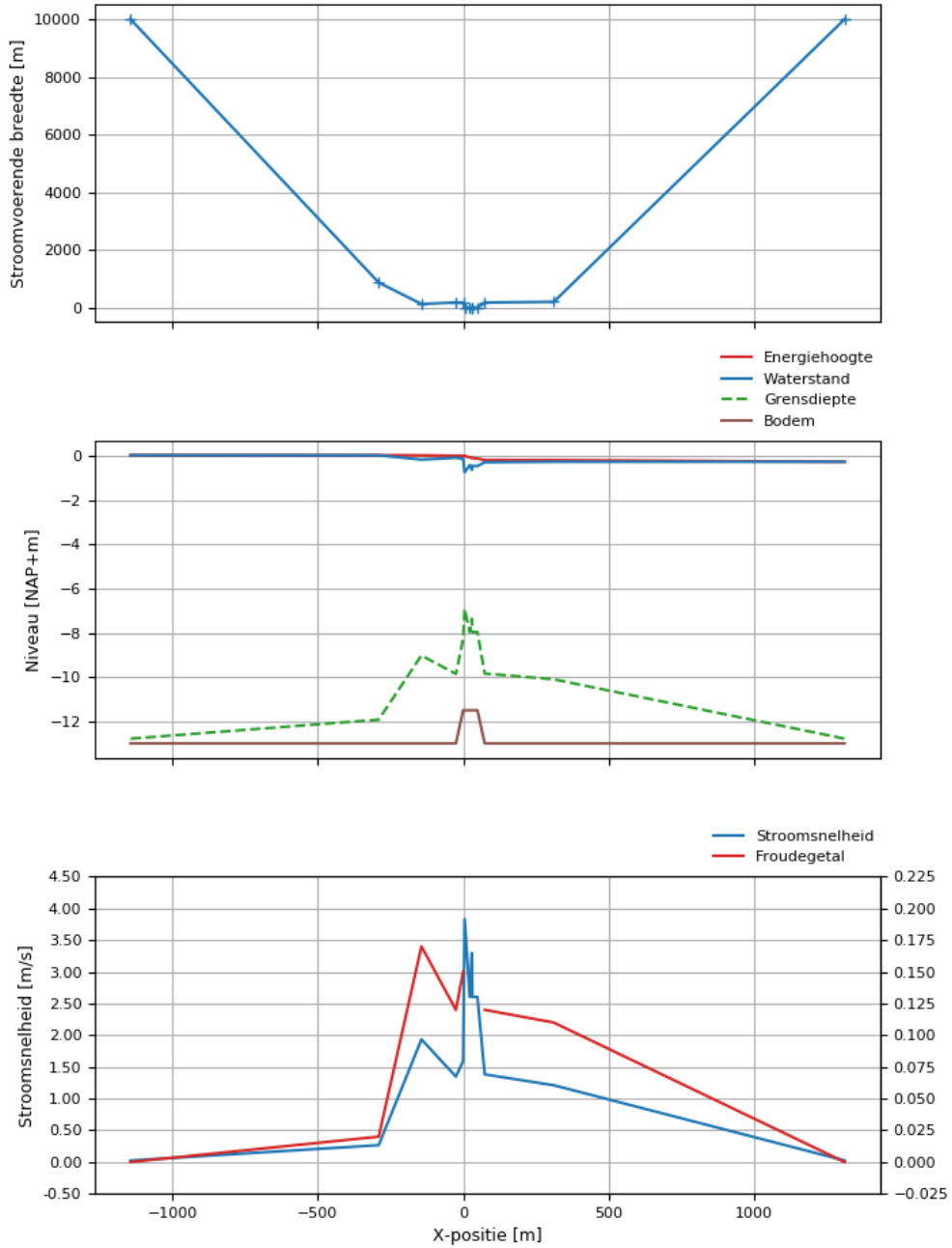




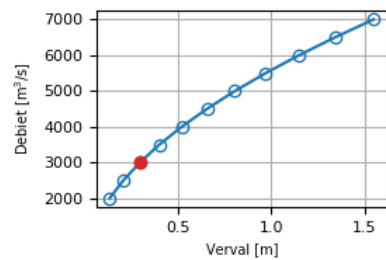


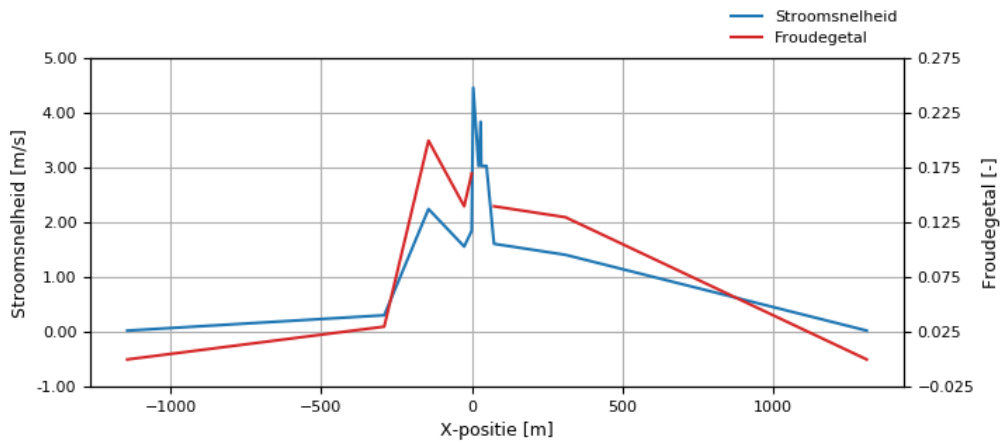
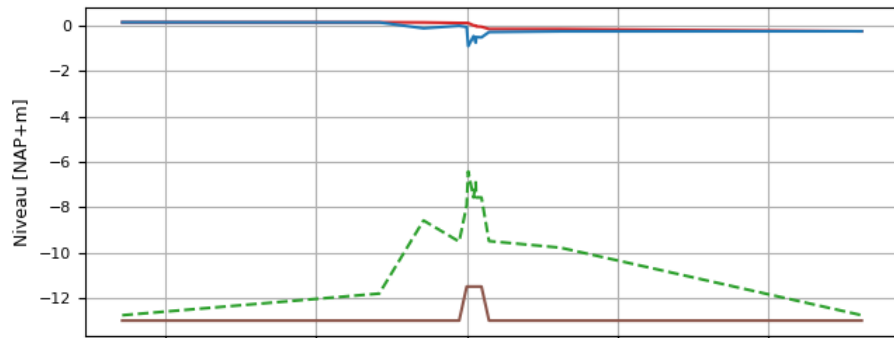
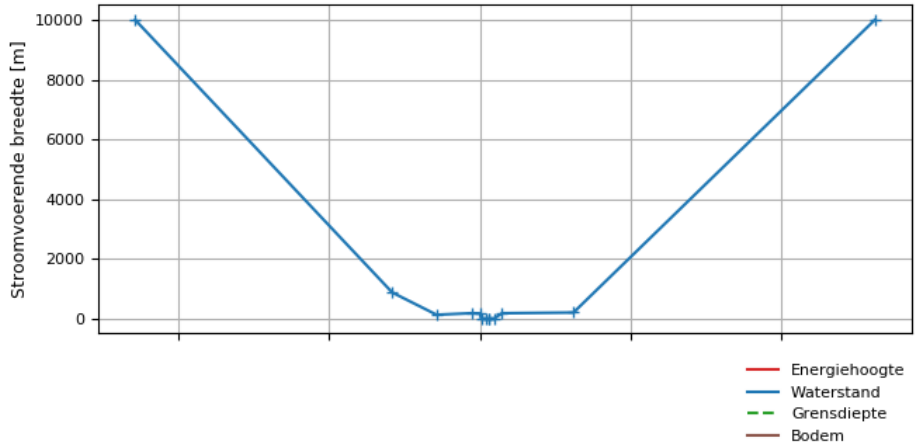
Debiet : 2500.0 [m<sup>3</sup>/s]  
 Benedenwaterstand : -0.254 [NAP+m]  
 Bovenwaterstand : -0.048 [NAP+m]  
 Verval : 0.206 [m]  
 Energiehoogte bovenstrooms : -0.048 [NAP+m]



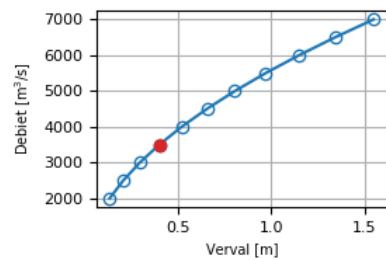


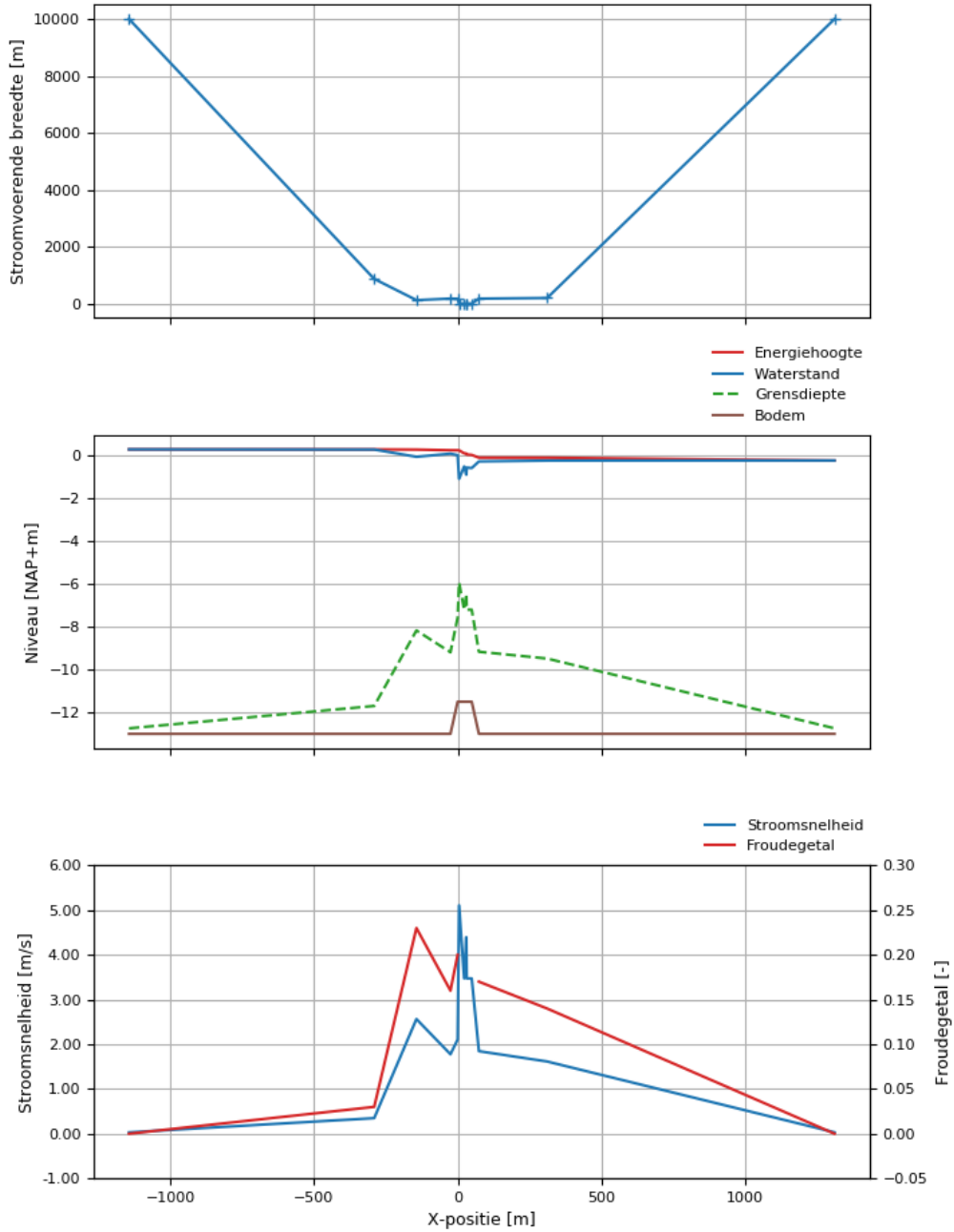
Debiet	: 3000.0	[m <sup>3</sup> /s]
Benedenwaterstand	: -0.254	[NAP+m]
Bovenwaterstand	: 0.0409	[NAP+m]
Verval	: 0.295	[m]
Energiehoogte bovenstrooms	: 0.041	[NAP+m]



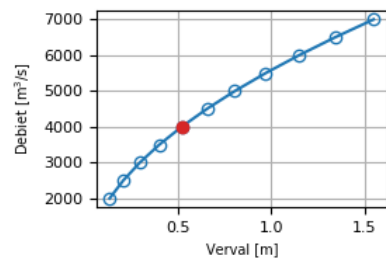


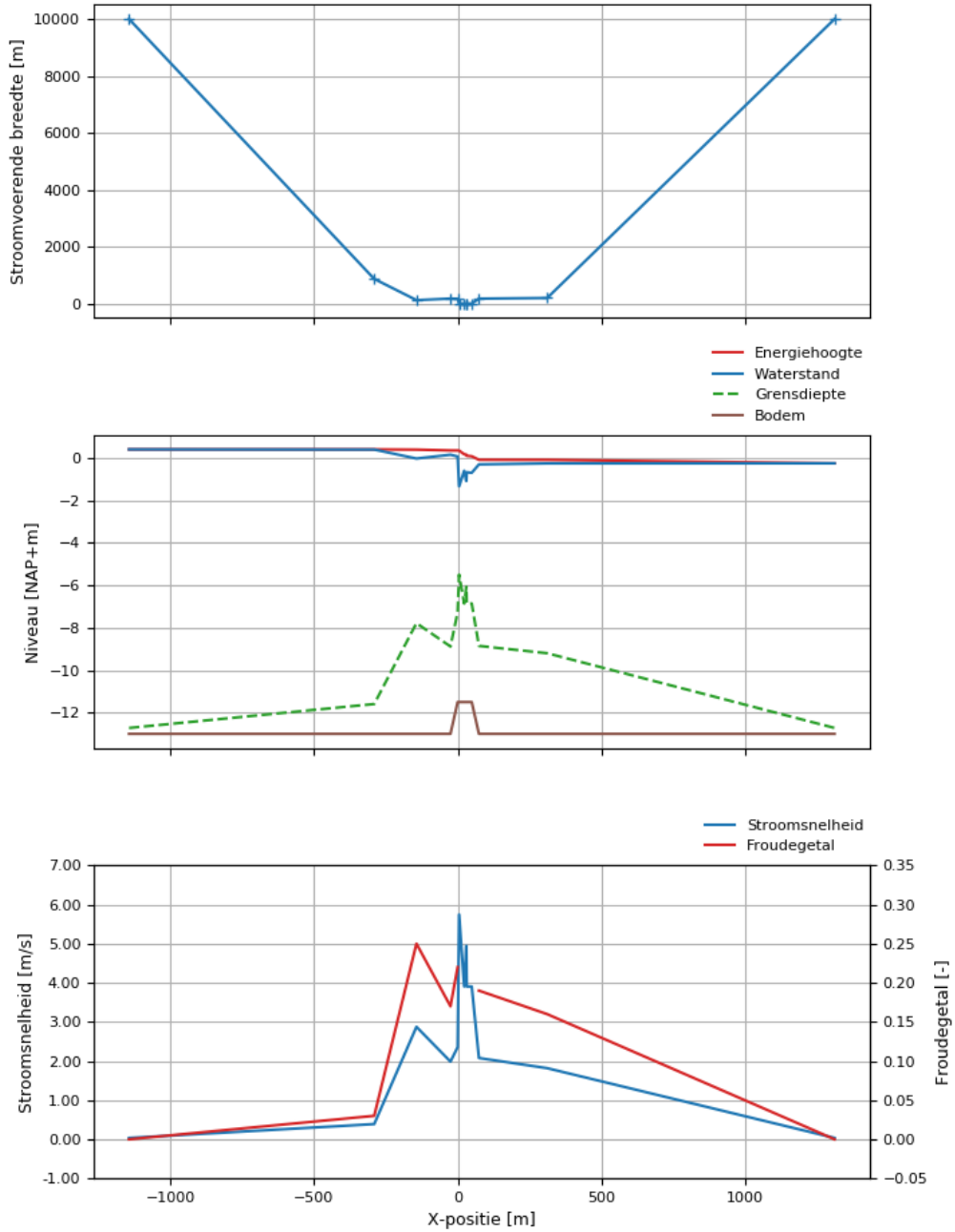
Debiet : 3500.0 [m<sup>3</sup>/s]  
 Benedenwaterstand : -0.254 [NAP+m]  
 Bovenwaterstand : 0.145 [NAP+m]  
 Verval : 0.399 [m]  
 Energiehoogte bovenstrooms : 0.145 [NAP+m]



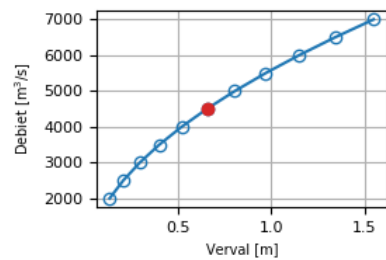


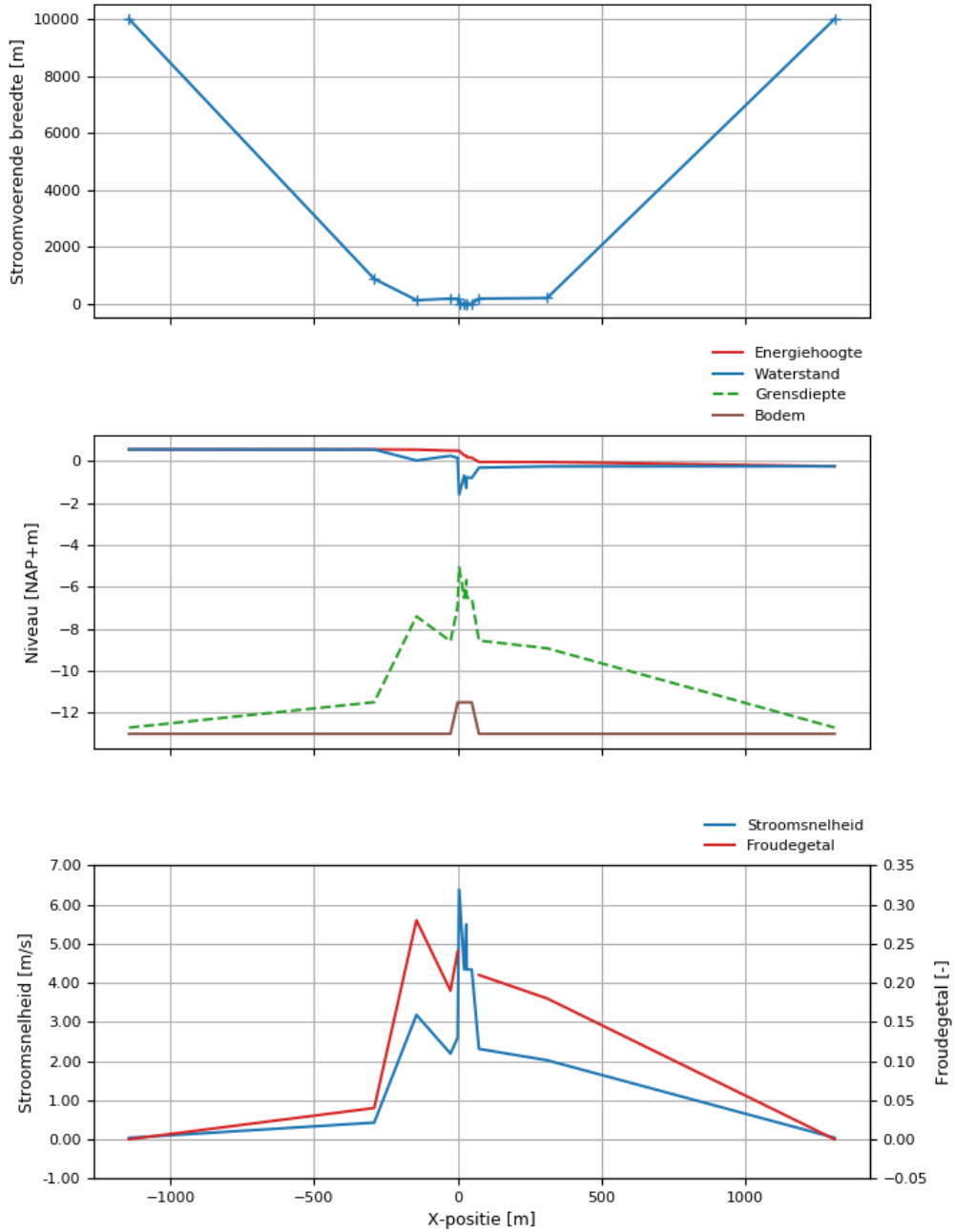
Debiet	: 4000.0	[m <sup>3</sup> /s]
Benedenwaterstand	: -0.254	[NAP+m]
Bovenwaterstand	: 0.266	[NAP+m]
Verval	: 0.519	[m]
Energiehoogte bovenstrooms	: 0.266	[NAP+m]



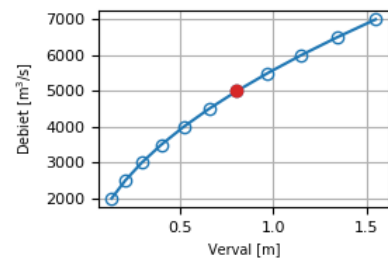


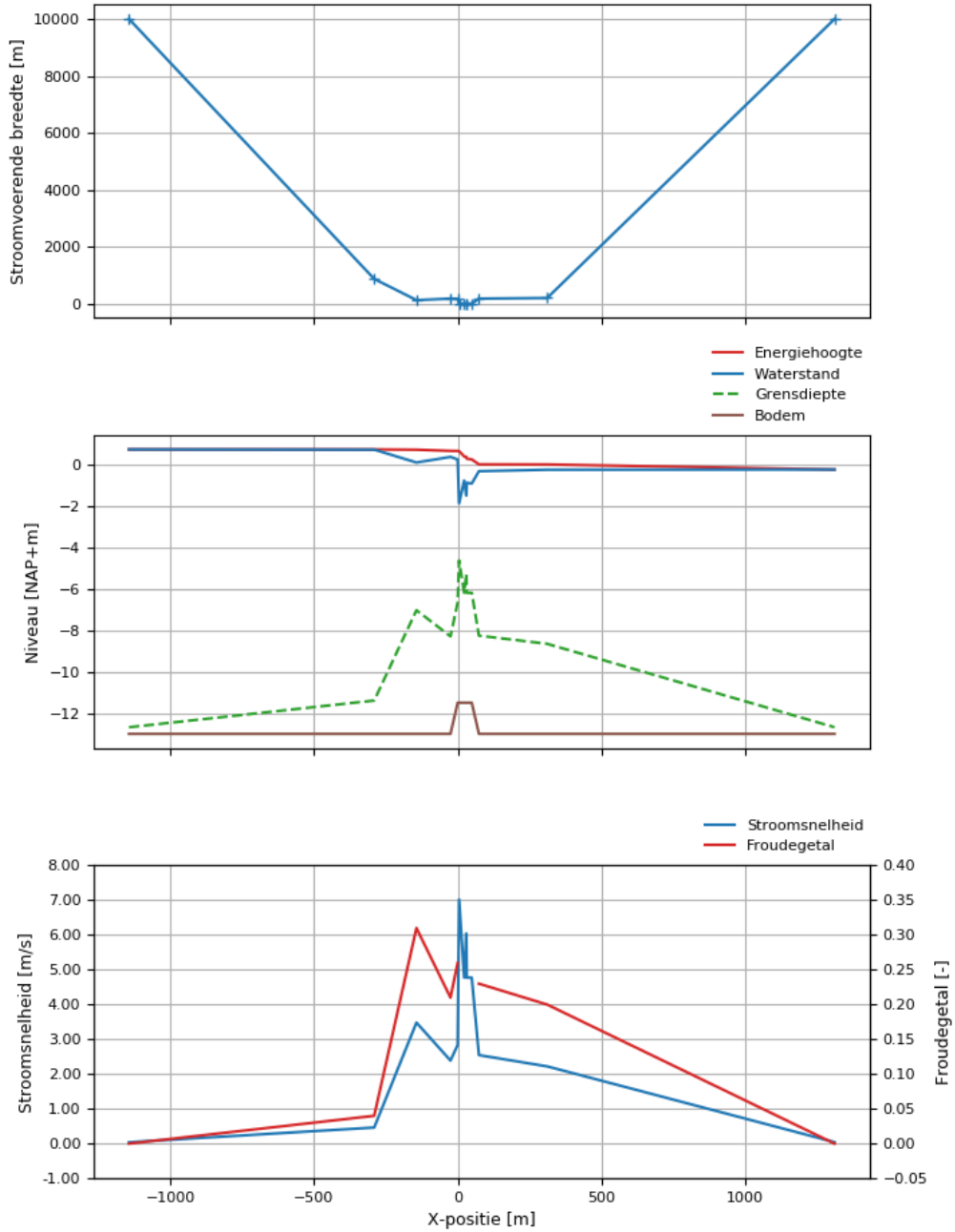
Debiet	: 4500.0	[m <sup>3</sup> /s]
Benedenwaterstand	: -0.254	[NAP+m]
Bovenwaterstand	: 0.401	[NAP+m]
Verval	: 0.655	[m]
Energiehoogte bovenstrooms	: 0.401	[NAP+m]



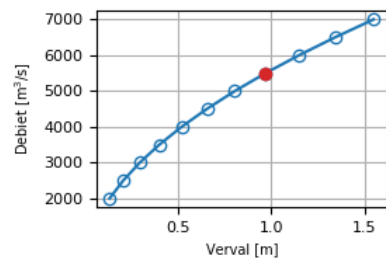


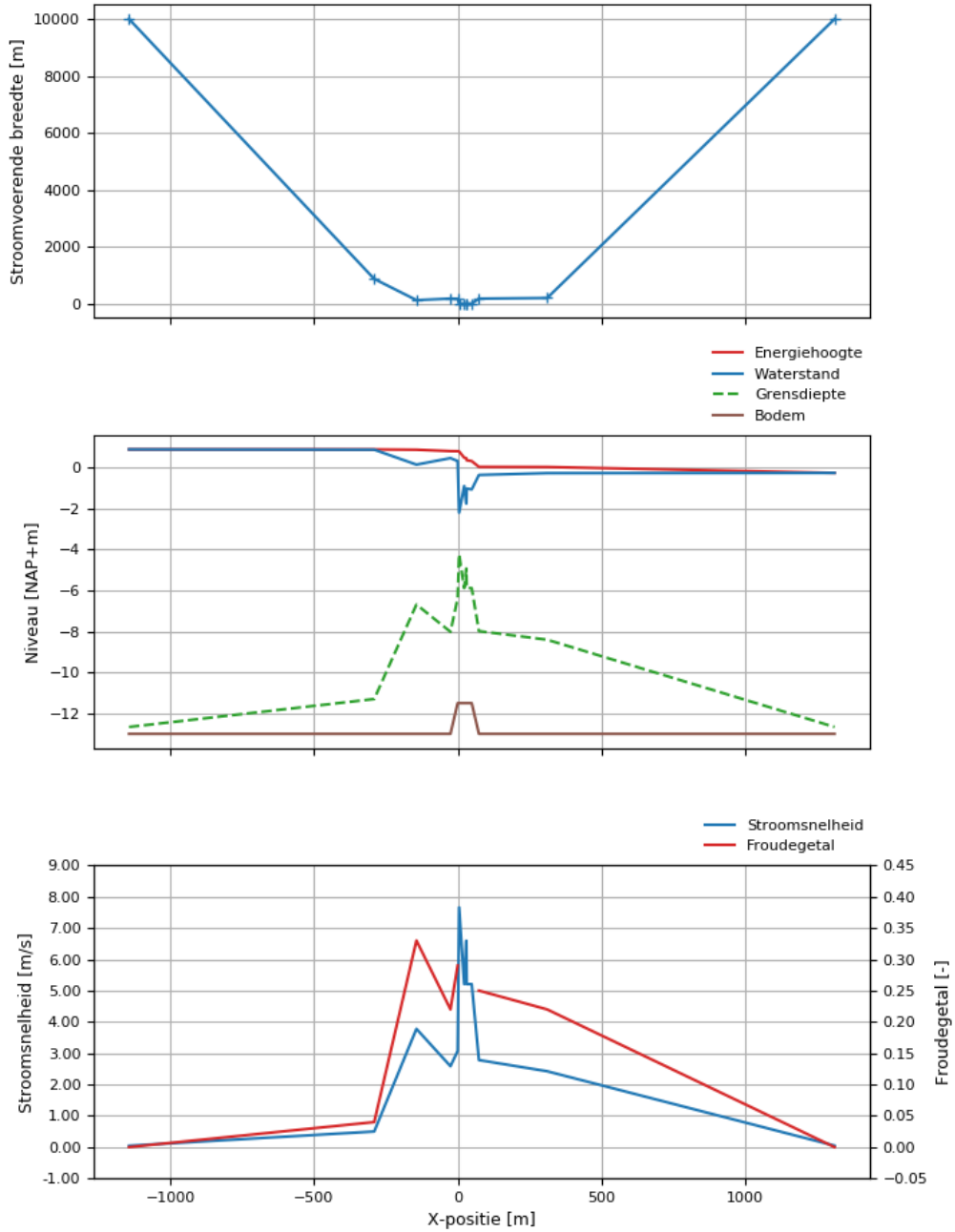
Debiet : 5000.0 [m<sup>3</sup>/s]  
 Benedenwaterstand : -0.254 [NAP+m]  
 Bovenwaterstand : 0.551 [NAP+m]  
 Verval : 0.805 [m]  
 Energiehoogte bovenstrooms : 0.551 [NAP+m]



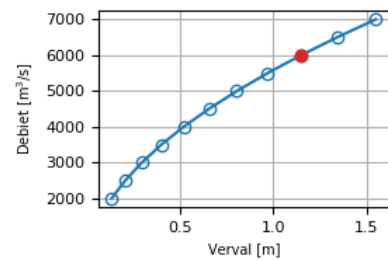


Debiet	: 5500.0	[m <sup>3</sup> /s]
Benedenwaterstand	: -0.254	[NAP+m]
Bovenwaterstand	: 0.716	[NAP+m]
Verval	: 0.97	[m]
Energiehoogte bovenstrooms	: 0.717	[NAP+m]

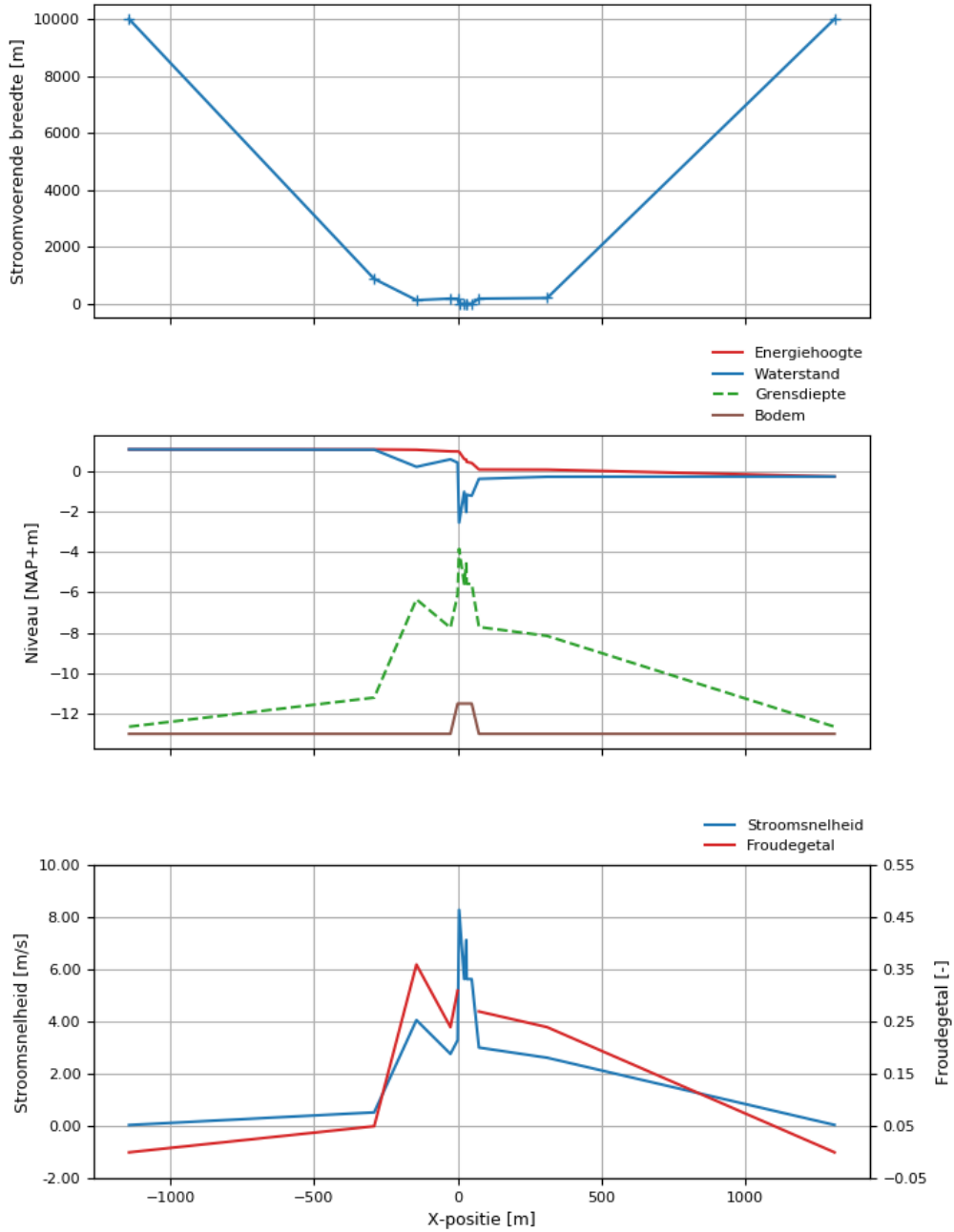




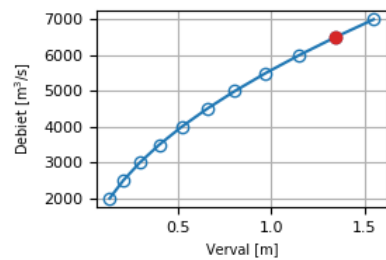
Debiet	: 6000.0	[m <sup>3</sup> /s]
Benedenwaterstand	: -0.254	[NAP+m]
Bovenwaterstand	: 0.896	[NAP+m]
Verval	: 1.15	[m]
Energiehoogte bovenstrooms	: 0.896	[NAP+m]

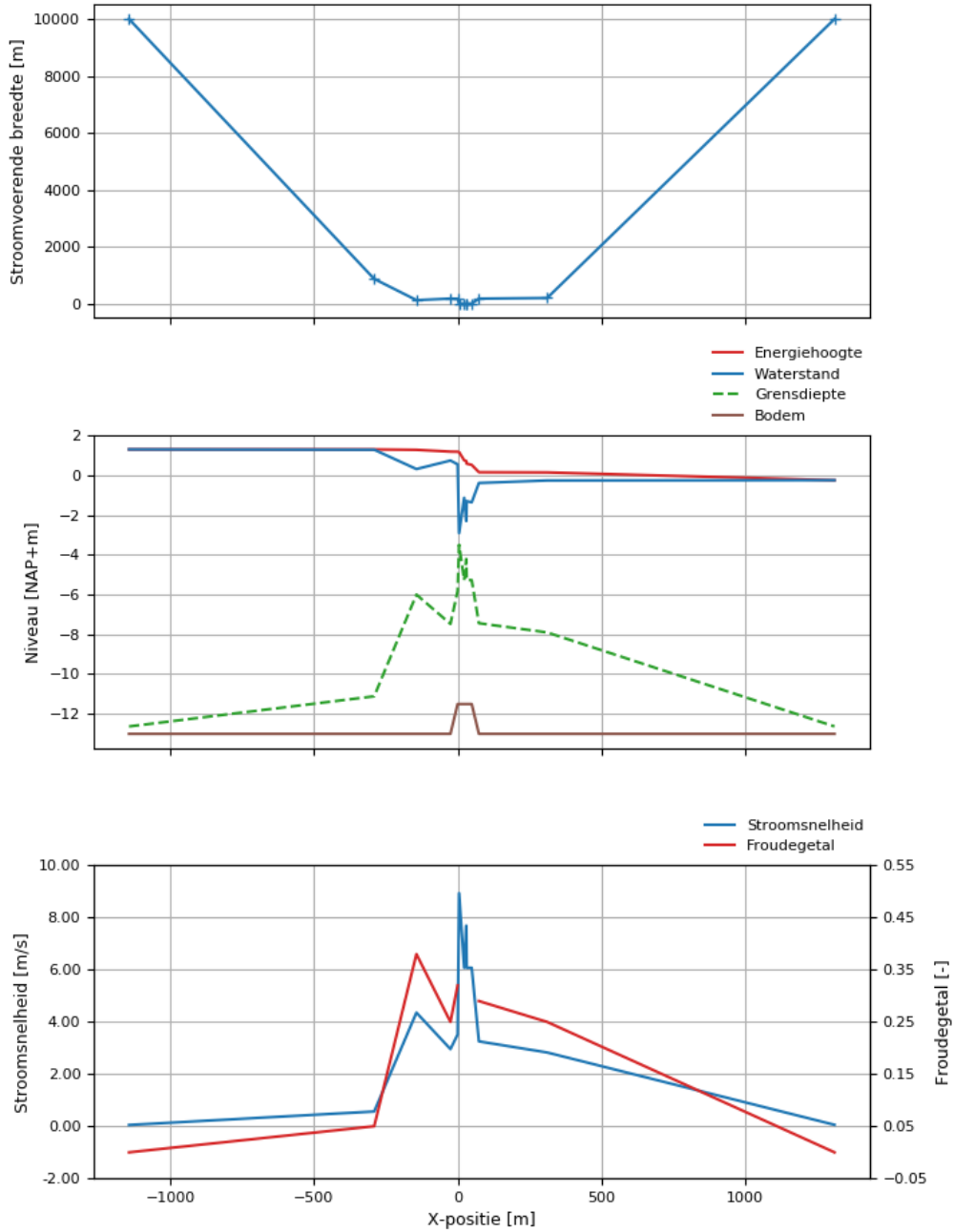






Debiet	: 6500.0	[m <sup>3</sup> /s]
Benedenwaterstand	: -0.254	[NAP+m]
Bovenwaterstand	: 1.09	[NAP+m]
Verval	: 1.34	[m]
Energiehoogte bovenstrooms	: 1.09	[NAP+m]





Debiet	: 7000.0	[m <sup>3</sup> /s]
Benedenwaterstand	: -0.254	[NAP+m]
Bovenwaterstand	: 1.3	[NAP+m]
Verval	: 1.55	[m]
Energiehoogte bovenstrooms	: 1.3	[NAP+m]

