

## Bijlagenboek 9.1



# Waterhuishouding Tussenwater

Projectomschrijving	Versterking Markermeerdijken		
Documentnummer	AMMD-000634		
Verantwoordelijk cluster	O&I		
Werkpakket	WP-20		
Object	Oeverdijk tussenwater		
Versienummer	1.0	Versiedatum	14-10-2016





### Autorisatiekader

Opsteller		Gecontroleerd		Vrijgegeven	
P.H. Roeleveld		R.J. Brederveld		V. Friedrich-Drouville	
J.J. Mandemakers		A. Hermans			
		P. van den Akker			

### Documenthistorie

Versienummer	Versiedatum	Omschrijving
0.1	01-07-2016	Eerste opzet
0.2	08-07-2016	Interne controle
1.0	14-10-2016	Definitief

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Algemeen	6
1.2	Methode	6
1.3	Opzet van de rapportage	7
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten</b>	<b>8</b>
2.1	Locaties	8
2.2	Waterstand Markermeer	8
2.3	Waterstanden polders HHNK	8
2.4	Voorlanden	8
2.5	Neerslag en verdamping	9
<b>3</b>	<b>Eisen</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Ontwerp waterhuishouding</b>	<b>11</b>
4.1	Algemeen	11
4.2	Grote Waal en de Hulk-Noord	11
4.3	Grote Waal en de Hulk-Zuid	12
4.4	Polder Zeevang	13
<b>5</b>	<b>Geohydrologische analyse</b>	<b>14</b>
5.1	Algemeen	14
5.2	Uitgangspunten	14
5.2.1	Ontwerp	14
5.2.2	Bodemopbouw	15
5.2.3	Waterpeilen	16
5.2.4	Grondwateraanvulling	16
5.3	Methode	16
5.3.1	Modelcode	16
5.3.2	Opzet model	17
5.4	Resultaten	18

5.5	Gevoeligheidsanalyse	20
5.6	Conclusie	23
<b>6</b>	<b>Analyse waterkwaliteit</b>	<b>24</b>
6.1	Algemeen	24
6.2	Waterbalans	25
6.2.1	Grote Waal en de Hulk-Noord	25
6.2.2	Grote Waal en de Hulk-Zuid	26
6.2.3	Polder Zeevang	28
6.3	Analyse nutriëntenbelasting Grote Waal en de Hulk-Noord	30
6.3.1	Aanpak en uitgangspunten	30
	Externe belasting: ingaande waterstromen	30
	Externe belasting: watervogels	31
	Kritische belasting	32
6.3.2	Resultaten	32
	Externe belasting: ingaande waterstromen	32
	Externe belasting: watervogels	33
	Kritische belasting	34
6.3.3	Conclusies en aandachtspunten inrichting	35
	Conclusies                      35	
	Aandachtspunten inrichting	36
6.3.4	Analyse doorspoelen	37
	Definities                      38	
	Effect van langdurig doorspoelen	38
	Aandachtspunten bij doorspoelen	39
	Conclusies doorspoelen	40
<b>7</b>	<b>Analyse constructies</b>	<b>41</b>
7.1	Algemeen	41
7.2	Maatgevende situatie	41
7.3	Resultaten waterbalans in maatgevende situatie	42
7.3.1	Grote Waal en de Hulk-Noord	42
7.3.2	Grote Waal en de Hulk-Zuid	42
7.3.3	Polder Zeevang	43
7.4	Analyse constructies	44
7.4.1	Type constructie	44
7.4.2	Capaciteit constructies	44
<b>8</b>	<b>Conclusies</b>	<b>46</b>

<b>9</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>47</b>
<b>10</b>	<b>Literatuur</b>	<b>48</b>

## 1 Inleiding

### 1.1 Algemeen

De Markermeerdijk tussen Hoorn en Amsterdam voldoet niet aan de veiligheidsnormen. Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft de verantwoordelijkheid om de Markermeerdijk aan de veiligheidsnorm te laten voldoen. Om hiervoor te zorgen heeft het hoogheemraadschap de Alliantie Markermeerdijk gevormd samen met Boskalis, KWS Infra en Van Hattum en Blankevoort.

Voor de versterking van de dijken van het Markermeer is op een aantal locaties het leggen van een nieuwe (primaire) waterkering (een zogenaamde oeverdijk) voor de bestaande kering het voorkeursalternatief. Bij dit alternatief hoeft de bestaande Markermeerdijken niet in stand gehouden te worden als primaire kering.

Doordat de nieuwe oeverdijk op enige afstand komt te liggen van de bestaande dijk ontstaat er een tussengebied. In het tussengebied dient een watersysteem ingericht worden dat goed beheersbaar is. Het watersysteem zal in beheer komen van het hoogheemraadschap. Voor het verdere ontwerp van het alternatief dient de waterhuishouding voor het tussengebied nader beschouwd te worden.

Bij de uitwerking van de waterhuishouding zijn de volgende vragen van belang:

- Welke peilen dienen in het tussengebied gehandhaafd worden?
- Wat is de maximale waterstand bij maatgevende situaties (1/10.000 jaar)?
- Wat zijn de benodigde constructies voor het peilbeheer en welke capaciteit hebben deze constructies nodig?
- Hoeveel water stroomt er naar de bestaande polder mocht de bestaande kering doorbreken?
- Is het aanbrengen van een 1 m dikke kleilaag aan de binnentalud van de oeverdijk noodzakelijk?
- Wat is de te verwachte waterkwaliteit in het tussengebied?

### 1.2 Methode

De bovenstaande vragen hebben een sterke onderlinge relatie. Het antwoord van de eerste vraag heeft direct effect op de beantwoording van de daaropvolgende vragen. De vragen zullen daarom beschouwd worden aan de hand van de volgende peilscenario's:

1. Open peil, met zomerpeil van NAP -0,2 m en winterpeil van NAP -0,4 m;
2. Natuurlijk peil, met minimaal peil van NAP -0,4 m en maximaal peil van NAP -0,2 m;
3. Gereduceerd natuurlijk peil, met minimaal peil van NAP -0,6 m en maximaal peil van NAP -0,4 m;
4. Verhoogd natuurlijk peil, met minimaal peil van NAP -0,2 m en maximaal peil van NAP 0,0 m.

Voor het beantwoorden van de vragen dient eerst het ontwerp van de waterhuishouding verder uitgewerkt te worden. Aan de hand van dit ontwerp worden de noodzakelijke water- en stoffenbalansen opgesteld. Met deze balansen zijn de vragen beantwoord. Voor de waterkwaliteitsanalyses is tevens gebruik gemaakt van de modelprogramma's PCLake en PCDitch.

De noodzaak van de 1 m dikke kleilaag aan het binnentalud van de oeverdijk is vastgesteld met behulp van berekeningen met het grondwatermodel Modflow.

### 1.3 Opzet van de rapportage

Deze notitie heeft de volgende opzet:

- In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten voor het ontwerp van de waterhuishouding weergegeven;
- Hoofdstuk 3 geeft de eisen weer;
- In hoofdstuk 4 is het voorlopige ontwerp voor de waterhuishouding beschouwd;
- In hoofdstuk 5 is de geohydrologische analyse opgenomen;
- In hoofdstuk 6 is de waterkwaliteit beschouwd;
- In hoofdstuk 7 zijn de constructies voor de waterhuishouding beschreven;
- Hoofdstuk 8 sluit af met de conclusies.



## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Locaties

Op twee locaties is de aanleg van de oeverdijken het voorkeursalternatief. In de onderstaande tabel zijn de kenmerken per locatie weergegeven. Doordat de locatie Grote Waal en de Hulk doorsnede wordt door de afvoer van gemaal Westerkogge wordt deze locatie opgedeeld in twee delen: noord en zuid. Het noordelijk deel wordt ook doorsnede door de aanvoerroute voor de inlaat Westerkogge. Er wordt echter vanuit gegaan dat deze inlaat verlegd gaat worden.

**Tabel 1** Overzicht locaties.

Module	Naam	Deelgebied	Lengte (m)	Oppervlak (ha)	Bijzonderheid
2/3	Grote Waal en de Hulk	Noord	3.140	29,9	Doorsnede door aanvoerroute voor inlaat
3	Grote Waal en de Hulk	Zuid	1.340	8,1	
7	Polder Zeevang	-	4.880	38,5	

### 2.2 Waterstand Markermeer

Op het Markermeer is het zomerpeil NAP -0,2 m en het winterpeil is NAP -0,4 m. Onder normale omstandigheden varieert in de praktijk de waterstand tussen NAP -0,5 m en NAP 0 m.

Bij maatgevende situaties (1/10.000 jaar) ligt de waterstand op NAP +0,7 m (op het traject 19A Westerkogge en 59D IJshoorn Zuid) en op NAP +1,2 m (op het traject Hoorn-Enkhuizen). Maatgevende situaties nemen met in 2071 met 30 cm toe. De maatgevende opzetduur bij maatgevende situaties bedraagt 48 uur.

### 2.3 Waterstanden polders HHNK

Bij de module Grote Waal en de Hulk variëren de vaste polderwaterstanden van NAP -3,20 m in het noorden naar NAP -3,55 m in het zuiden. Bij het gemaal ligt de polderwaterstand op NAP -4,20 m.

Bij de module Polder Zeevang is het zomerpeil in de polder NAP -2,26 m en het winterpeil NAP -2,31 m. Lokaal wordt een vast peil van NAP -4,60 m gehandhaafd.

### 2.4 Voorlanden

Voor de bestaande dijk liggen voorlanden. Dit zijn buitendijks gelegen gebieden. De voorlanden liggen boven het peil van het Markermeer, maar kunnen bij extreme omstandigheden onder water lopen. Op de locaties waar oeverdijken gepland zijn, liggen ook voorlanden. In het volgende hoofdstuk zijn de voorlanden weergegeven.

## 2.5 Neerslag en verdamping

Voor de neerslag en verdamping wordt gebruik gemaakt van de gegevens van klimaatstation Schiphol. Dit is het dichtstbijzijnde klimaatstation met een lange aaneengesloten meetreeks van neerslag en verdamping (vanaf 1990). Het klimaatstation Berkhout ligt dichterbij, maar is sinds 2007 niet meer operationeel. Over de periode 1990 tot 2007 waren de metingen voor neerslag en verdamping van beide stations vergelijkbaar. In de onderstaande tabel zijn de gemiddelde neerslag en verdamping weergegeven over de periode 1990-2016.

**Tabel 2 Gemiddelde neerslag en verdamping.**

<b>Maand</b>	<b>Neerslag (mm)</b>	<b>Verdamping(mm)</b>
Januari	65	9
Februari	55	16
Maart	50	37
April	39	63
Mei	57	90
Juni	63	97
Juli	86	101
Augustus	99	84
September	84	52
Oktober	85	28
November	89	11
December	80	7

### 3 Eisen

Voor het ontwerp uit 2015 zijn de onderstaande eisen als randvoorwaarden meegenomen:

1. Bij voorkeur dient het peilbeheer afgestemd te worden op de natuur. De minimale peilfluctuatie is 25 cm. Voor een goede ontwikkeling van het riet is een peilfluctuatie van 40 tot 60 cm wenselijk;
2. De kunstwerken dienen voldoende capaciteit te hebben voor de maatgevende afvoer (T=10 jaar). Dit is gelijk aan 10 mm/dag;
3. Er dient voldoende waterberging te zijn om bij beperkte of geen afvoer geen schade aan de kering te kunnen veroorzaken;
4. Het watersysteem dient doorspoelbaar te zijn. De maximale verblijftijd bedraagt 10 dagen;
5. De oevers dienen erosiebestendig te zijn. Maximaal onderwatertalud voor kleioevers bedraagt 1:3, voor zandoevers 1:4 en voor veenoevers 1:5;
6. De maximale stroomsnelheid bedraagt 0,2 m/s;
7. De maximale waterstand bij de bestaande kering bedraagt NAP 0 m;
8. De kunstwerken door de kering dienen dubbel afsluitbaar te zijn;
9. Migratie van vis dient mogelijk te zijn.

## 4 Ontwerp waterhuishouding

### 4.1 Algemeen

Bij het ontwerp van de oeverdijk is maar beperkt aandacht besteed aan de inrichting van het gebied tussen de oeverdijk en de bestaande dijk. Voor de benodigde analyses dient daarom het ontwerp voor het tussengebied verder uitgewerkt te worden. In dit hoofdstuk is het uitgewerkte ontwerp beschreven. Ondanks de verdere uitwerking dient in een later stadium het ontwerp in meer detail beschouwd te worden. Hierbij dient aandacht besteed te worden aan het verval dat optreedt tussen de kunstwerken in water aan- en afvoersituaties en dient het effect van windopzet verder beschouwd te worden. Daarnaast kan nagegaan worden of meer inlaatwerken nodig zijn voor het beheer.

### 4.2 Grote Waal en de Hulk-Noord

Onderstaand figuur geeft het eerste ontwerp voor de waterhuishouding weer. Het watersysteem bestaat uit een watergang en een plas. De plas is het voormalig Markermeer. Met een in- en uitlaatconstructie kan het waterpeil gehandhaafd en het watersysteem doorgespoeld worden. In het noorden komt de inlaatconstructie te staan, in het zuiden de uitlaatconstructie. De watergang krijgt een breedte van 10 m op de waterlijn. De watergang loopt langs het voormalig voorland van het Markermeer (het voorland is in onderstaand figuur als natuur/recreatie aangegeven). De watergangen van het voormalig voorland worden hierop aangesloten.



**Figuur 1** Overzicht ontwerp Grote Waal en de Hulk-Noord

Voor de watergang gelden de volgende kenmerken:

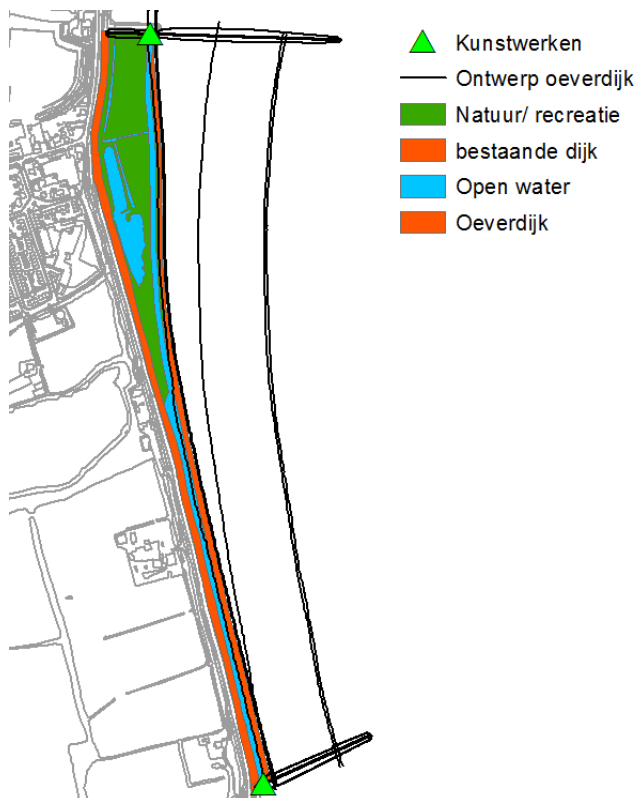
- Breedte op de waterlijn van ca. 10 m;
- Taluds van maximaal 1:3;
- Minimale waterdiepte gedurende winterhalf van 1 m, vanwege varend onderhoud;
- Huidige waterbodembodem varieert gemiddeld gezien tussen NAP -0,4 m en NAP.

Voor de plas gelden de volgende kenmerken:

- Oppervlak van circa 9,3 ha;
- Huidige waterbodembodem ligt gemiddeld gezien op circa NAP -2,3 m.

### 4.3 Grote Waal en de Hulk-Zuid

Onderstaand figuur geeft het eerste ontwerp voor de waterhuishouding van de Grote Waal en de Hulk-Zuid weer. Het watersysteem bestaat vooral uit een watergang. Met een in- en uitlaatconstructie kan het waterpeil gehandhaafd en het watersysteem doorgespoeld worden. De watergang krijgt een breedte van 10 m op de waterlijn. Op deze watergang sluiten de watergangen van het voormalige voorland af. Het voormalige voorland is in onderstaand figuur als natuur/recreatie aangegeven.



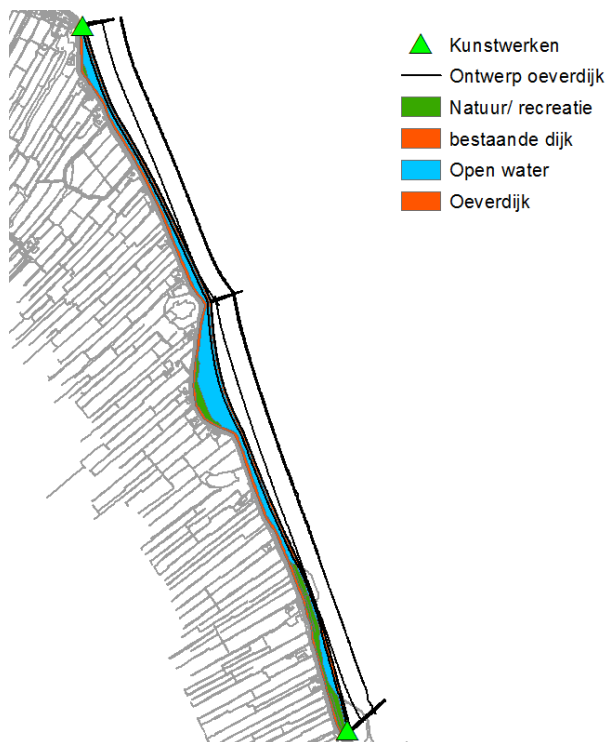
**Figuur 2** Overzicht ontwerp Grote Waal en de Hulk-Zuid

Voor de watergang gelden de volgende kenmerken:

- Breedte op de waterlijn van ca. 10 m;
- Taluds van maximaal 1:3;
- Minimale waterdiepte gedurende winterhalf van 1 m, vanwege varend onderhoud;
- Huidige waterbodembodem varieert gemiddeld gezien tussen NAP -0,5 m en NAP -0,1 m.

#### 4.4 Polder Zeevang

Onderstaand figuur geeft het eerste ontwerp voor de waterhuishouding van de Polder Zeevang weer. Het watersysteem bestaat vooral uit twee langgerekte plassen met daartussenin watergangen. Met een in- en uitlaatconstructie kan het waterpeil gehandhaafd en het watersysteem doorgespoeld worden. De watergang krijgt een breedte van 10 m op de waterlijn.



**Figuur 3** Overzicht ontwerp Polder Zeevang

De noordelijke plas heeft de volgende kenmerken:

- Oppervlak van circa 18,9 ha;
- Huidige waterbodem varieert gemiddeld gezien tussen NAP -1,4 m en NAP -0,5 m

De zuidelijke plas heeft de volgende kenmerken:

- Oppervlak van circa 1,6 ha;
- Huidige waterbodem ligt op circa NAP -0,3 m.

De watergangen hebben de volgende kenmerken:

- Breedte op de waterlijn van ca. 10 m;
- Taluds van maximaal 1:3;
- Minimale waterdiepte gedurende winterhalf van 1 m, vanwege varend onderhoud;
- Huidige waterbodem ligt gemiddeld gezien op NAP -0,1 m.

## 5 Geohydrologische analyse

### 5.1 Algemeen

Voor het opstellen van de waterbalansen dient inzicht verkregen te worden in de grondwaterstroming door de oeverdijk. Op basis van de geohydrologische analyses kan de omvang van de kwelstroom vanuit het Markermeer bepaald worden. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van deze analyse beschreven. Aan de hand van de resultaten is de noodzaak voor de kleilaag vastgesteld. Daartoe is in deze berekeningen ervan uitgegaan dat deze kleilaag niet toegepast wordt. Vervolgens is in de gevoeligheidsanalyse nagegaan wat het effect van de kleilaag zal zijn.

In de onderstaande analyses is de grondwaterstroom door de oeverdijk bij de Grote Waal en de Hulk - Noord beschouwd. Voor het opstellen van de waterbalansen zijn deze resultaten op basis van de lengte van de oeverdijk doorvertaald naar de andere twee locaties.

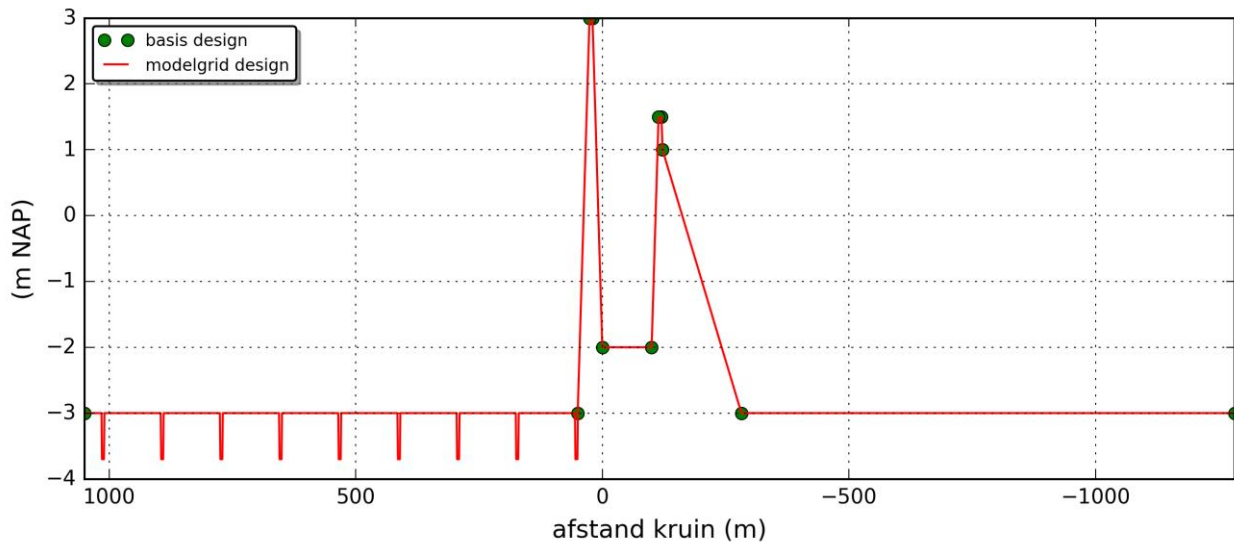
In onderstaande analyses is geen rekening gehouden met de introductie van flexibel peilbeheer op het Markermeer. Het effect van het flexibel peilbeheer zal in een later stadium van het ontwerp beschouwd dienen te worden.

### 5.2 Uitgangspunten

#### 5.2.1 Ontwerp

Onderstaand figuur geeft een doorsnede van het ontwerp weer. De belangrijkste uitgangspunten zijn voor de Oeverdijk een buitentalud van 1:40 tot NAP +1 m, daarboven 1:4. Het binnentalud van de Oeverdijk en de huidige dijk zijn met een talud van 1:4 gemodelleerd. Als bodemhoogte is voor het Tussenwater NAP +2 m aangehouden, met op de bodem een breedte van 100 m. De hoogte van het maaiveld in het achterland varieert tussen NAP -2,5 m en NAP -3 m. Bij de berekeningen is veiligheidshalve uitgegaan van NAP -3 m. De bodemhoogte van het Markermeer varieert rond NAP -2,5. Veiligheidshalve is in de berekeningen uitgegaan van een bodemhoogte van NAP -3 m.

Als lengte van het tussenwater is 3.135 m aangehouden, dit is de lengte in het huidige ontwerp voor de locatie nabij Hoorn.



**Figuur 4 Doorsnede model nabij Hoorn**

### 5.2.2 Bodemopbouw

Voor de grondwaterstroming tussen het Markermeer, tussenwater en het achterland is de bodemopbouw van de Oeverdijk, huidige dijk en de ondergrond van belang.

De basiswaarde voor de bodemopbouw van de Oeverdijk is een uniforme horizontale doorlaatfactor ( $kh$ ) van 12 m/d, gelijk aan de uitgangspunten van de eerdere analyse door Fugro. De verticale doorlaatfactor is 25% van de horizontale. In de gevoeligheidsanalyse wordt een variatie toegepast voor deze waarde gezien de onzekerheid van deze waarde en de mogelijke ruimtelijke spreiding. Daarnaast wordt het effect onderzocht van het aanbrengen van een slecht doorlatend gedeelte, bijvoorbeeld een kleischerm. In de analyse is verder geen rekening gehouden met een weerstand aan beide zijden van de dijk. Enige intrede weerstand door vegetatie en neerslag van slib mag worden verwacht, dit heeft een remmend effect op de grondwaterstroming.

De huidige dijk heeft een uniforme horizontale doorlaatfactor ( $kh$ ) van 0,05 m/d, gelijk aan de uitgangspunten van de eerdere analyse door Fugro. De verticale doorlaatfactor is 25% van de horizontale. Deze waarde wordt niet gevarieerd, omdat het geen gevoelige waarde is voor de waterbalans door de lage waarde.

De ondergrond wordt geschematiseerd in 2 pakketten: de deklaag en het watervoerende pakket. De deklaag is geschematiseerd tussen maaiveld (of bodemniveau) en NAP -10 m, op basis van een regionale analyse van de bodemopbouw. Hiervoor is een universele horizontale doorlaatfactor ( $kh$ ) van 0,005 m/d gehanteerd. Deze waarde is ook door Fugro toegepast voor de deklaag. Fugro heeft nog een nader onderscheid gemaakt in de Wadzandlaag en het basisveen. Deze onderverdeling is niet overgenomen, omdat de huidige schematisatie als een slecht doorlatende deklaag voldoende is geacht voor de huidige vraag. De verticale doorlaatfactor is 25% van de horizontale. Deze waarde wordt niet gevarieerd, omdat het geen gevoelige waarde is voor de waterbalans door de lage waarde.



Het watervoerende pakket is geschematiseerd via een dikte van 20 m en een universele horizontale doorlaatfactor (kh) van 10 m/d, gelijk aan de waarde van Fugro. De verticale doorlaatfactor is 25% van de horizontale.

### 5.2.3 Waterpeilen

Tabel 3 bevat de te beschouwen waterpeilen tijdens de dagelijkse situatie. Dit betreft 4 scenario's. Sommige scenario's hebben een gelijke combinatie van waterpeilen. Voor de volledigheid worden deze toch afzonderlijk doorgerekend. Tabel 4 bevat de peilen tijdens maatgevend hoogwater. Deze peilen worden doorgerekend voor de 4 unieke waterstanden in het tussenwater en een uniform peil in het achterland.

**Tabel 3 Waterpeilen dagelijkse situatie.**

naam seizoen	open zomer	open winter	natuurlijk zomer	natuurlijk winter	gereduceerd zomer	gereduceerd winter	verhoogd zomer	verhoogd winter
peil Markermeer	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4
peil Tussenwater	-0,2	-0,4	-0,4	-0,2	-0,6	-0,4	-0,2	0
peil achterland	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2

**Tabel 4 Waterpeilen maatgevend hoogwater.**

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
peil Markermeer	+1,2	+1,2	+1,2	+1,2
peil Tussenwater	0	-0,2	-0,4	-0,6
peil achterland	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2

### 5.2.4 Grondwateraanvulling

In alle berekeningen wordt rekening gehouden met een grondwateraanvulling van 0,7 mm/dag, dit is een gemiddelde jaarlijkse waarde in Nederland. Op het oppervlaktewater vindt geen grondwateraanvulling plaats.

## 5.3 Methode

De toestroming wordt berekend met een grondwatermodel. Dit is toegelicht in verschillende paragrafen.

### 5.3.1 Modelcode

De berekening wordt uitgevoerd met de modelcode Modflow-NWT. Het model berekent de grondwaterstroming en de waterbalans.

### 5.3.2 Opzet model

Het model wordt opzet als een 2D-doorsnede model, omdat zo snel inzicht kan worden verkregen in het systeem gedrag en de grondwaterstroming in het achterland direct achter de dijk haaks op het Markermeer plaatsvindt.

De doorsnede is weergegeven in figuur 4.

Het achterland en het Markermeer zijn in de doorsnede over 1 km afstand gemodelleerd. Op basis van aanvullende berekeningen blijkt dit voldoende voor het schematiseren van de regionale grondwaterstroming, omdat het verder vergroten niet tot significante veranderingen in het stromingsbeeld rond het tussenwater leidt.

In het achterland is een oppervlaktewater systeem gemodelleerd op afstanden van 120 m. Deze afstanden zijn indicatief afgeleid van het huidige oppervlaktewatersysteem nabij Hoorn.

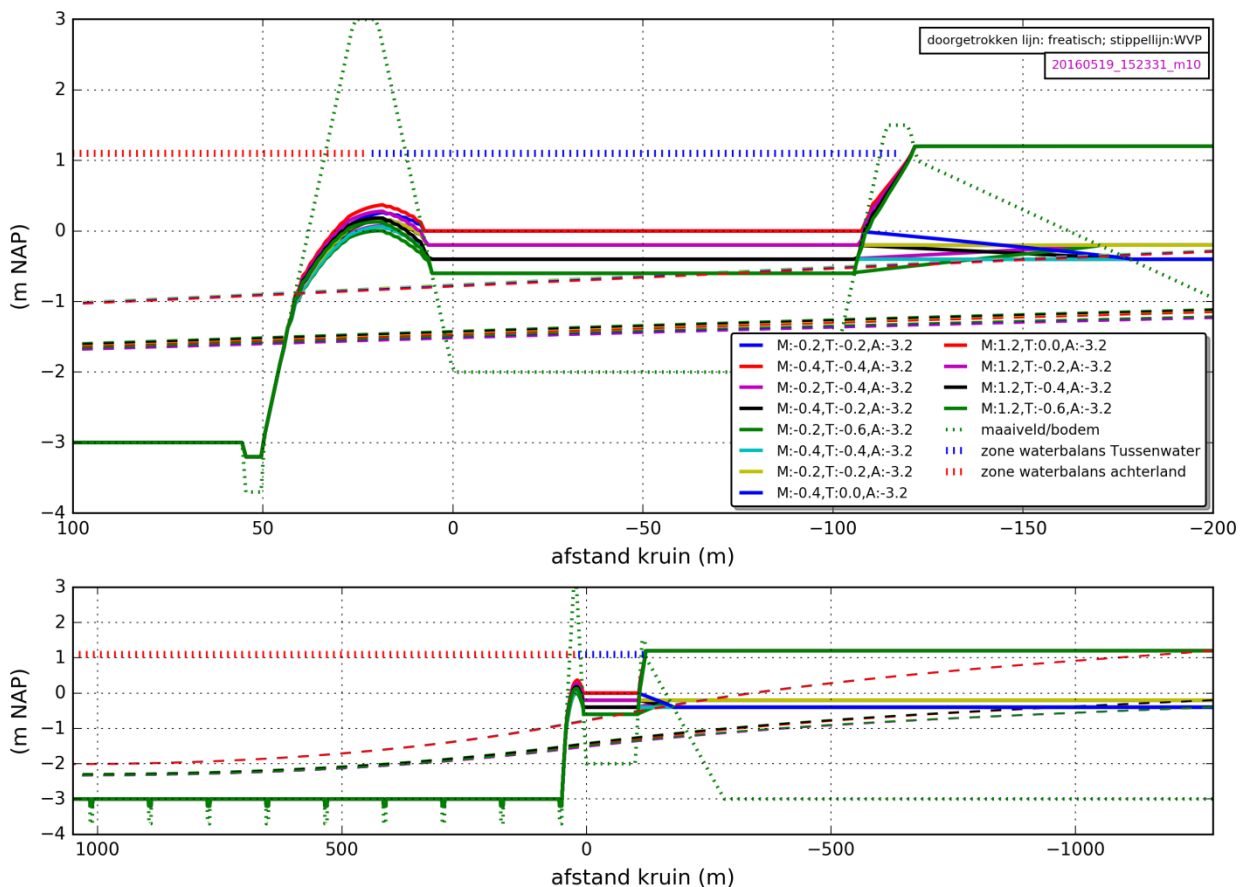
## 5.4 Resultaten

Figuur 5 geeft de berekende grondwaterstand en stijghoogte van het basis model weer. De grafieken zijn als volgt opgebouwd:

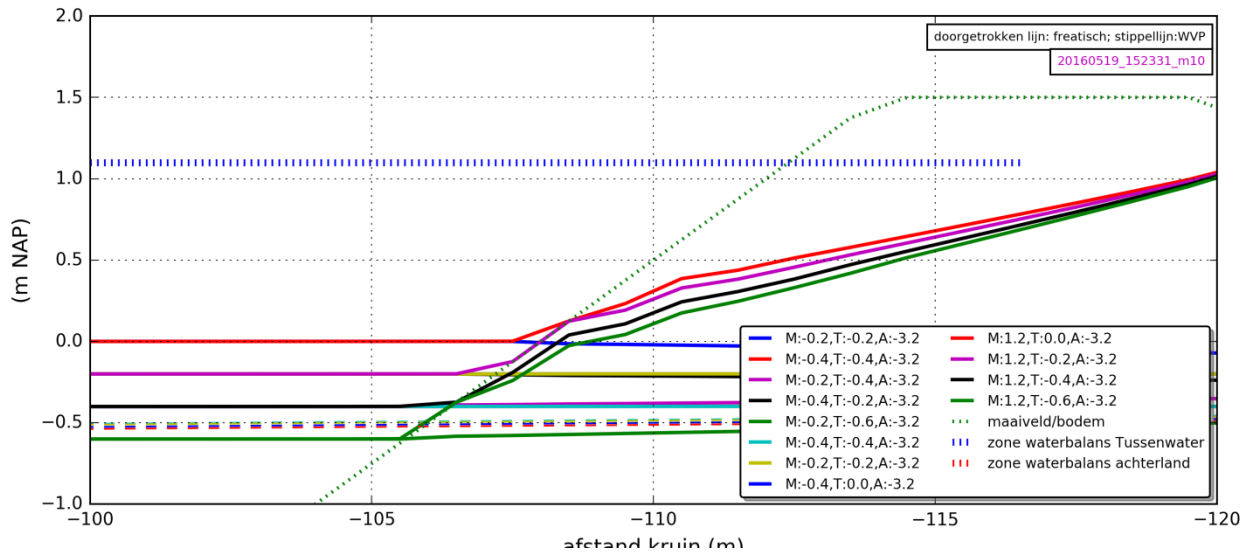
- De bovenste figuur is een detail over de bestaande dijk, het Tussenwater en de Oeverdijk. De onderste figuur geeft het hele modelgebied weer. Een detail van de Oeverdijk is opgenomen in figuur 5;
- De doorgetrokken lijnen geven de berekende freatische grondwaterstand weer, de stippellijnen zijn de stijghoogte in het 1e watervoerende pakket;
- De verschillende kleuren geven de scenario's weer, in de legenda zijn de peilen weer gegeven: M=Markermeer, T=Tussenwater, A=Achterland;
- De horizontale stippellijnen geven de deelgebieden van de waterbalans weer.

Zichtbaar is dat in de huidige dijk een opbolling ontstaat door de grondwateraanvulling. De opbolling in de Oeverdijk is beperkter door de relatief hoge doorlaatfactor. De grondwateraanvulling is jaarlijkse gemiddelde in Nederland, tijdens droge (zomer) en natte (winter) perioden zal de grondwateraanvulling en daarmee de grondwaterstand afwijken.

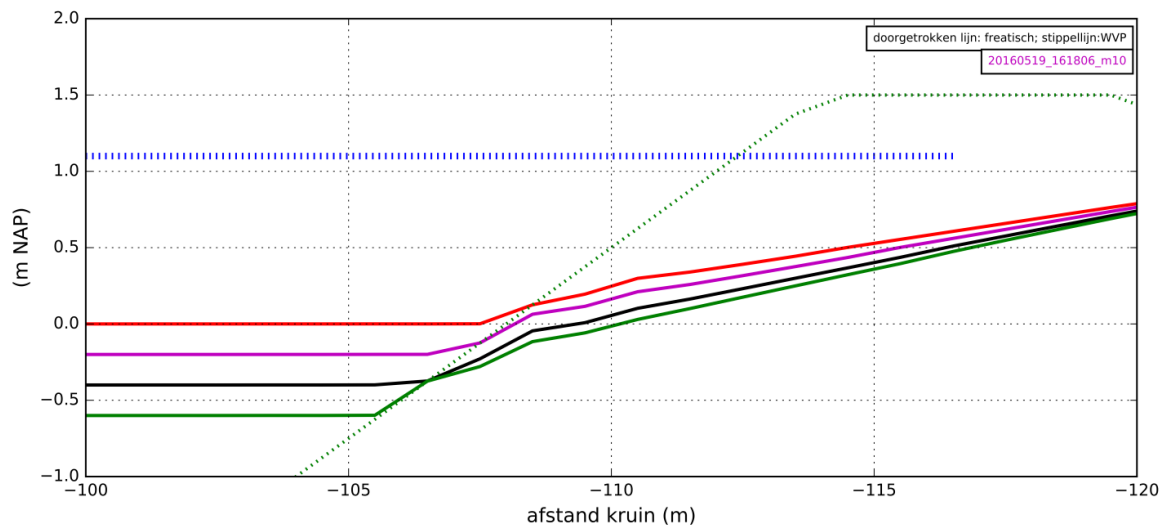
In figuur 5 is de berekende grondwaterstand opgenomen bij een hoge waterstand van NAP +1,0 m in plaats van +1,2 m. De berekende freatische grondwaterstand daalt hierdoor.



**Figuur 5 Modelresultaat basis model nabij Hoorn (boven: detail huidige dijk, Tussenwater en Oeverdijk)**



**Figuur 6 Modelresultaat basis model nabij Hoorn detail Oeverdijk**



**Figuur 7 Modelresultaat model met hoogwater NAP + 1,0 m nabij Hoorn detail Oeverdijk**

De berekende waterbalans is in Tabel 5 opgenomen. Het teken van de posten volgt uit het grondwater: een negatieve waarde is kwel (uitstroom van het grondwater naar het oppervlaktewater); een positieve waarde is infiltratie (vanuit het oppervlaktewater naar het grondwater). Voor het tussenwater (tw) is zowel de infiltratie, kwel als netto bijdrage opgenomen. Ter informatie is voor het achterland binnen het modelgebied (al) ook de netto waterbalans weergegeven.

**Tabel 5. Berekende waterbalans basis model voor tussenwater (tw) en achterland binnen modelgebied (al) nabij Hoorn.**

	open		natuurlijk		gereduceerd		verhoogd		sc 1	sc 2	sc 3	sc 4	eenheid
	zp	wp	zp	wp	zp	wp	zp	wp					
peil Markermeer	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4	1,2	1,2	1,2	1,2	m NAP
peil Tussenwater	-0,2	-0,4	-0,4	-0,2	-0,6	-0,4	-0,2	0	0	-0,2	-0,4	-0,6	m NAP
peil achterland	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	m NAP
Q tw: infiltratie	60	54	48	328	38	54	60	635	31	21	11	3	m3/d
Q tw: kwel	-21	-22	-317	-11	-596	-22	-21	-10	9.277	-9.979	-10.813	-11.465	m3/d
Q tw: netto	39	32	-268	316	-557	32	39	625	9.245	-9.958	-10.801	-11.462	m3/d
Q al: netto	-2.735	-	-	-	-2.706	-2.694	-	-	-	-2.971	-2.965	-2.960	m3/d

**Tabel 6 Berekende waterbalans bij hoogwater NAP + 1,0 m voor tussenwater en achterland binnen modelgebied nabij Hoorn.**

	Sc 1	Sc 2	Sc 3	Sc 4	Eenheid
peil Markermeer	1,0	1,0	1,0	1,0	m NAP
peil Tussenwater	0	-0,2	-0,4	-0,6	m NAP
peil achterland	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	m NAP
Q tw: infiltratie	37	26	17	7	m3/d
Q tw: kwel	-7.007	-7.831	-8.729	-9.321	m3/d
Q tw: netto	-6.970	-7.804	-8.712	-9.313	m3/d
Q al: netto	-2.936	-2.936	-2.930	-2.925	m3/d

## 5.5 Gevoeligheidsanalyse

De uitgangspunten voor de gevoeligheidsanalyse zijn gebaseerd op ervaring. In Tabel 7 is het resultaat opgenomen. Dit kan is als volgt samengevat:

- De weerstand van de Oeverdijk is een relevante parameter om de waterbalans te sturen. Deze waarde maakt onderdeel uit van het ontwerp. Dit is zichtbaar via de berekeningen 1, 2 en 3:
  - Een uniforme 1 m dikke kleilaag (berekening 1) verhindert de interactie tussen het Tussenwater en de omgeving aanzienlijk bij zowel de dagelijkse situatie als de hoogwater scenario's.
  - Het effect van een afsluitende laag is ook zichtbaar bij een slechter doorlatende zand laag (berekening 2), in dagelijkse omstandigheden vermindert de interactie dan tot 20% en tijdens de hoogwaterscenario's circa 40%;
  - Een uniform lagere doorlaatfactor voor de Oeverdijk (berekening 3) heeft een groter effect dan berekening 2, namelijk een reductie tot 61%.
- De breedte van het Tussenwater (berekening 4) heeft alleen effect bij een groot peilverschil met het Markmeer (gereduceerd zomerpeil), dan neemt de toestroming met 23% toe. Deze waarde maakt onderdeel uit van het ontwerp;
- De doorlaatfactor van de deklaag (berekening 5 en 6) heeft een significant effect op de waterbalans. Wanneer er behoefte is om deze onzekerheid te verkleinen, dan kan dit door het basis model te vergelijken met waarnemingen.

- Berekening 7 en 8 zijn uitgevoerd met een waterpeil gelijk aan de top van de basis hoogwatergolf. De kwel naar het Tussenwater neemt hierdoor met 19 tot 25% af (berekening 7). Wanneer de neerslag twee maal de gemiddelde neerslag is (berekening 8), dan neemt de kwel iets toe.
- In berekening 9 is het hoogwaterpeil gelijk aan de top van de basis hoogwatergolf (NAP + 1,0 m). Daarbij is een kleiafdekking van 1 m dikte met een c-waarde van 100 dagen meegenomen;
- Berekening 10 is gelijk aan berekening 9, maar met een doorlatendheid van het zandige deel van de Oeverdijk van 60 m/d. Dit komt overeen met de maximale D50 van de mogelijke winningslocatie, namelijk 450  $\mu$ m.
- Berekening 11 is gelijk aan berekening 10, behalve het maximale peil in het Markermeer dat is NAP +1,2 m.



## 5.6 Conclusie

Uit de eerste geohydrologische berekeningen volgt dat de grondwaterstroom door de oeverdijk voor de scenario's open peil en natuurlijk peil onder normale omstandigheden beperkt zal zijn. Voor de scenario's gereduceerd en verhoogd natuurlijk peil is de grondwaterstroom dusdanig groot dat de peilfluctuatie in het tussenwater beperkt wordt.

In de maatgevende situatie op het Markermeer neemt de grondwaterstroom naar het tussenwater echter sterk toe. Doordat de maatgevende situatie voor langere tijd kan aanhouden is de grondwaterstroom bepalend voor de benodigde afvoercapaciteit van de peilregulerende kunstwerken. Er is daarom besloten om een kleilaag op het binnentalud van de oeverdijk toe te passen. Voor de berekeningen is uitgegaan van een kleilaag met een weerstand van 100 dagen. In de onderstaande tabel zijn hiervan de resultaten weergegeven.

**Tabel 8. Berekende waterbalans model met kleilaag met een weerstand van 100 dagen voor tussenwater van Grote Waal en de Hulk - Noord**

	open		natuurlijk		gereduceerd		verhoogd		sc 1	sc 2	sc 3	sc 4	eenheid
	zp	wp	zp	wp	zp	wp	zp	wp					
peil Markermeer	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4	1,2	1,2	1,2	1,2	m NAP
peil Tussenwater	-0,2	-0,4	-0,4	-0,2	-0,6	-0,4	-0,2	0	0	-0,2	-0,4	-0,6	m NAP
peil achterland	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	m NAP
Q tw: infiltratie	60	55	49	87	38	55	61	132	30	20	10	2	m3/d
Q tw: kwel	-15	-17	-40	-11	-60	-17	-15	-10	-279	-309	-335	-357	m3/d
Q tw: netto	44	38	8	76	-21	38	46	122	-249	-289	-325	-355	m3/d
	-2735	-2693	-2716	-2698	-2709	-2693	-2720	-2705	-2975	-2974	-2972	-2968	

De waterbalans is gevoelig voor de gebruikte parameters van de huidige ondergrond en het ontwerp. Wanneer er behoefte is om deze onzekerheid te verkleinen, dan kan dit voor de huidige ondergrond door het basis model te vergelijken met waarnemingen. Voor het ontwerp kunnen parameters worden overgenomen uit de huidige ontwerpuitgangspunten. De uitgangspunten worden eisen voor uitvoering wanneer ze maatgevend zijn voor de waterbalans.



## 6 Analyse waterkwaliteit

### 6.1 Algemeen

‘Waterkwaliteit’ is een breed begrip. Om inzicht te verkrijgen in het functioneren van het ecologisch systeem en gevoel te krijgen voor de problematiek is het tussenwater geanalyseerd op hoofdlijnen. Hiervoor is de waterkwaliteit beschouwd in relatie tot de voedselrijkdom. Grofweg verkeren wateren ofwel in een voedselrijke situatie, ofwel in een voedselarme situatie. De voedselrijke situatie wordt gekenmerkt door troebel water waarbij overmatige (blauw)algenbloei optreedt. De voedselarme situatie wordt gekenmerkt door helder water waarin waterplanten groeien en geen overmatige (blauw)algenbloei optreedt. In deze analyse wordt onder een ‘goede waterkwaliteit’ de voedselarme situatie verstaan.

Door de STOWA zijn de belangrijkste factoren geïdentificeerd voor een goede waterkwaliteit: de zogenaamde Ecologische Sleutelfactoren (o.a. STOWA, 2014). Een goede waterkwaliteit (helder water met waterplanten) wordt vooral bepaald door de volgende drie factoren (genoemd in volgorde van belangrijkheid):

1. externe nutriëntenbelasting in relatie tot de draagkracht: in het water is een competitie om voedingsstoffen gaande tussen waterplanten en algen. Als er veel voedingsstoffen worden aangevoerd (‘een hoge externe belasting’) zullen algen deze competitie winnen (er is dan sprake van een slechte waterkwaliteit). De draagkracht van een watersysteem bepaalt hoeveel nutriënten aangevoerd kunnen worden zonder dat algen dominant worden (dit noemen we de ‘kritische belasting’). Met de ecologische modellen PCLake en PCDitch kan de kritische belasting van een specifiek watersysteem worden bepaald (STOWA, 2015). De vergelijking tussen de externe belasting (van stikstof en fosfor) en de kritische belasting, is de belangrijkste factor die bepaald of waterplanten of algen dominant worden;
2. lichtklimaat: waterplanten kunnen niet groeien als het water erg troebel is als gevolg van bijvoorbeeld bodemwoelende vis of door inlaat van erg troebel water. Ook algen hinderen het licht, maar deze worden al onder het vorige punt beschouwd;
3. voedselrijkdom van de waterbodem: de waterbodem is in staat om voedingsstoffen vast te leggen, maar ook om voedingsstoffen af te geven. Dit beïnvloedt de competitie tussen waterplanten en algen. Een erg voedselrijke bodem kan onder bepaalde omstandigheden leiden tot problematiek met de waterkwaliteit of uitbundige groei van waterplanten.

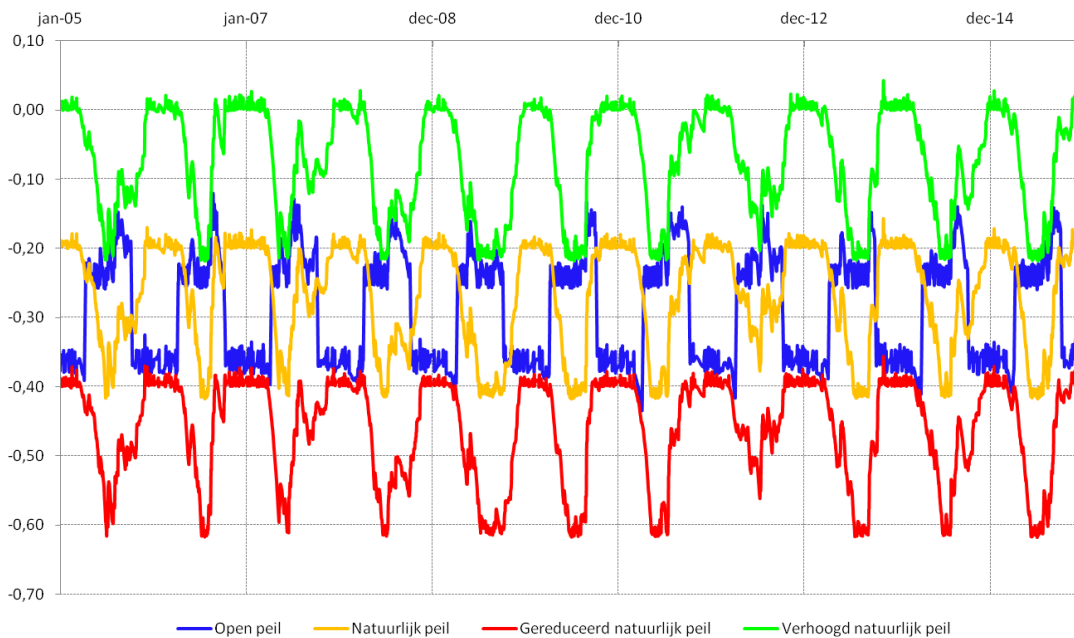
In dit hoofdstuk is de eerste (en belangrijkste) factor onderzocht voor de peilscenario’s open peil en natuurlijk peil van de locatie Grote Waal en de Hulk - Noord. Als eerste stap is hiervoor de waterbalans opgesteld. Vervolgens is de externe en kritische nutriëntenbelasting bepaald. De tweede en derde factor (lichtklimaat en waterbodem) zijn kwalitatief beschouwd.

Om de resultaten van de analyses door te vertalen naar de andere peilscenario’s en locaties is voor ieder peilscenario en voor iedere locatie een waterbalans opgesteld.

## 6.2 Waterbalans

### 6.2.1 Grote Waal en de Hulk-Noord

Onderstaand figuur geeft het peilverloop weer voor de verschillende scenario's. Het valt op dat voor de peilscenario's gereduceerd natuurlijk peil en verhoogd natuurlijk peil de waterstand vooral gelijk is aan respectievelijk het maximum peil en het minimum peil. Bij Gereduceerd natuurlijk peil ligt de waterstand alleen in periodes met een groot neerslagtekort rond het minimum peil. Bij Verhoogd natuurlijk peil ligt de waterstand alleen in periodes met een groot neerslagoverschot rond het maximum peil. Voor Natuurlijk peil varieert de waterstand meer tussen het maximum en het minimum peil.



**Figuur 8 Verloop waterstanden voor verschillende peilscenario's voor Grote Waal en de Hulk-Noord**

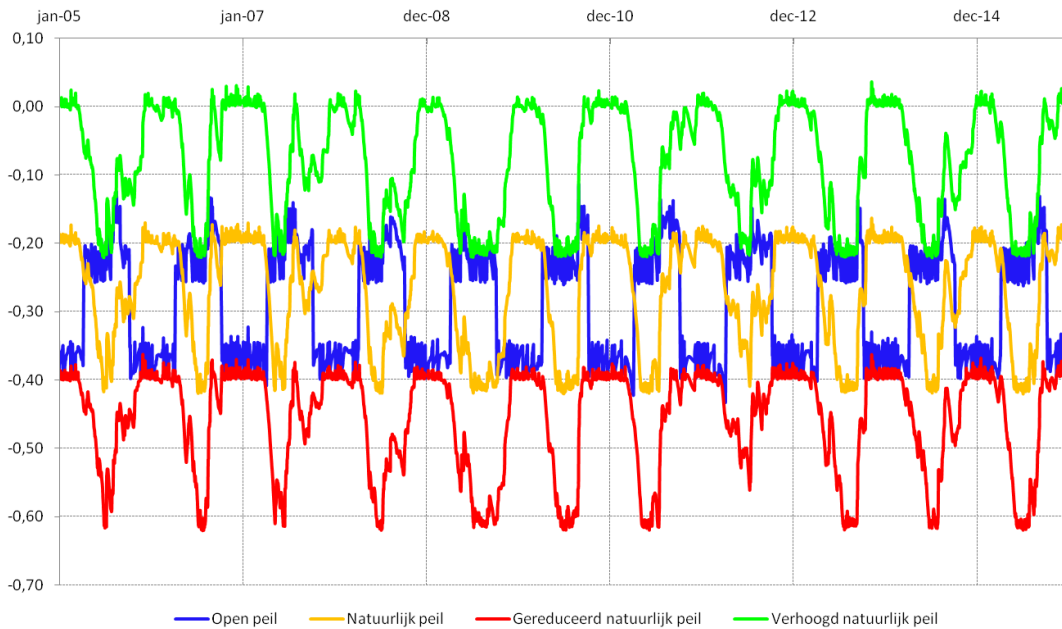
Onderstaande tabel geeft de uitgangspunten en resultaten van de waterbalans voor een gemiddeld jaar. Bij gemiddelde omstandigheden is bij de scenario's open peil, natuurlijk peil en gereduceerd natuurlijk peil sprake van een kwelstroom vanuit het Markermeer naar het tussenwater. Bij het scenario Verhoogd natuurlijk peil is in het zomerhalfjaar sprake van een kwelstroom vanuit het Markermeer naar het tussenwater. In het winterhalfjaar treedt een kwelstroom op vanuit het tussenwater naar het Markermeer.

**Tabel 9. Uitgangspunten en resultaten Grote Waal en de Hulk - Noord**

Omschrijving	Eenheid	Open peil	Natuurlijk peil	Gereduceerd natuurlijk peil	Verhoogd natuurlijk peil
Maximum peil	m NAP	-0,2 (zomerpeil)	-0,2	-0,4	0,0
Minimum peil	m NAP	-0,4 (winterpeil)	-0,4	-0,6	-0,2
Hoogte waterbodem watergang	m NAP	-1,2	-1,2	-1,4	-1,0
Hoogte waterbodem plas	m NAP	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
Gemiddelde waterstand	m NAP	-0,29	-0,27	-0,47	-0,08
Gemiddeld totaal wateroppervlak	ha	13,2	13,2	13,2	13,2
Gemiddeld wateroppervlak plas	ha	9,3	9,3	9,3	9,3
Gemiddeld wateroppervlak watergang	ha	3,9	3,9	3,9	3,9
Gemiddeld volume	m <sup>3</sup>	222.302	224.635	225.467	223.824
Gemiddelde neerslag	m <sup>3</sup> /d	309	309	309	309
Gemiddelde verdamping	m <sup>3</sup> /d	260	260	260	260
Gemiddelde grondwaterstroom vanuit Markermeer	m <sup>3</sup> /d	19	18	37	7
Gemiddelde grondwaterstroom naar Markermeer	m <sup>3</sup> /d	0	0	0	9
Gemiddelde grondwaterstroom vanuit Voorlanden	m <sup>3</sup> /d	113	114	104	123
Gemiddelde inlaathoeveelheid vanuit Markermeer	m <sup>3</sup> /d	209	64	53	76
Gemiddelde uitlaathoeveelheid naar Markermeer	m <sup>3</sup> /d	279	128	147	111

## 6.2.2 Grote Waal en de Hulk-Zuid

Onderstaand figuur geeft het peilverloop weer voor de verschillende scenario's. In Grote Waal en de Hulk-Zuid treedt een soortgelijk peilverloop op als in Grote Waal en de Hulk-Noord.



**Figuur 9 Verloop waterstanden voor verschillende peilscenario's voor Grote Waal en de Hulk-Zuid**

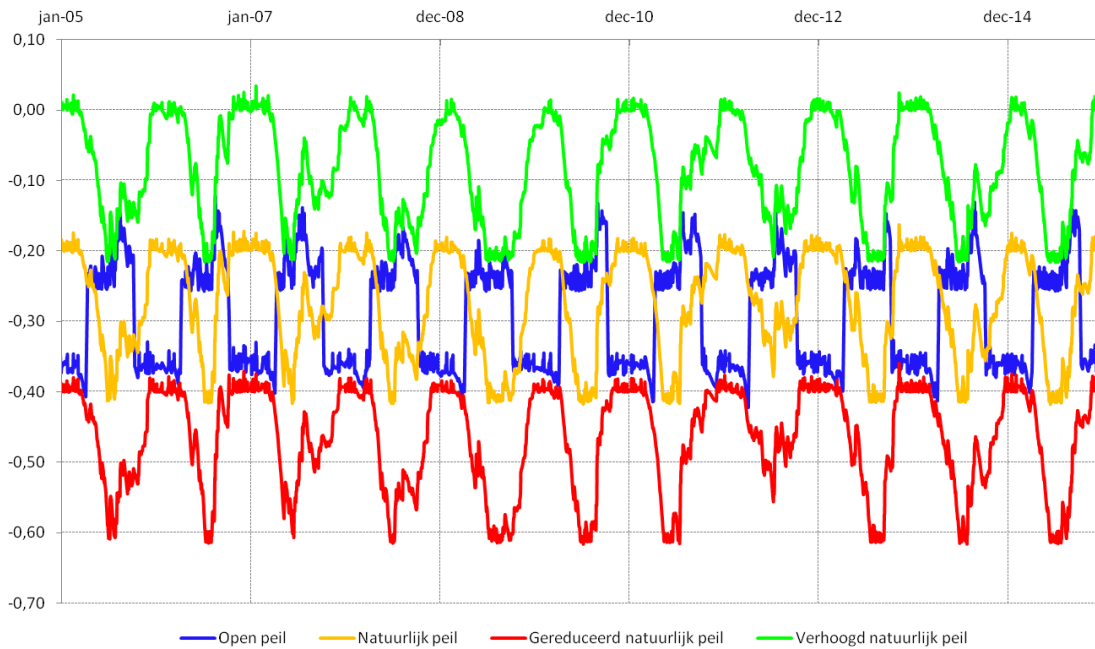
Onderstaande tabel geeft de resultaten voor een gemiddeld jaar. De resultaten voor Grote Waal en de Hulk-Zuid geven eenzelfde beeld als voor Grote Waal en de Hulk-Noord.

**Tabel 10. Uitgangspunten en resultaten Grote Waal en de Hulk - Zuid**

Omschrijving	Eenheid	Open peil	Natuurlijk peil	Gereduceerd natuurlijk peil	Verhoogd natuurlijk peil
Maximum peil	m NAP	-0,2 (zomerpeil)	-0,2	-0,4	0,0
Minimum peil	m NAP	-0,4 (winterpeil)	-0,4	-0,6	-0,2
Hoogte waterbodem watergang	m NAP	-1,2	-1,2	-1,4	-1,0
Hoogte waterbodem plas	m NAP	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Gemiddelde waterstand	m NAP	-0,29	-0,28	-0,47	-0,09
Gemiddeld totaal wateroppervlak	ha	2,3	2,3	2,3	2,3
Gemiddeld wateroppervlak plas	ha	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Gemiddeld wateroppervlak watergang	ha	2,3	2,3	2,3	2,3
Gemiddeld volume	m <sup>3</sup>	20.406	20.794	21.036	20.566
Gemiddelde neerslag	m <sup>3</sup> /d	53	53	53	53
Gemiddelde verdamping	m <sup>3</sup> /d	44	44	44	44
Gemiddelde grondwaterstroom vanuit Markermeer	m <sup>3</sup> /d	8	46	16	3
Gemiddelde grondwaterstroom naar Markermeer	m <sup>3</sup> /d	0	0	0	4
Gemiddelde grondwaterstroom vanuit Voorlanden	m <sup>3</sup> /d	45	8	42	50
Gemiddelde inlaathoeveelheid vanuit Markermeer	m <sup>3</sup> /d	47	17	12	22
Gemiddelde uitlaathoeveelheid naar Markermeer	m <sup>3</sup> /d	61	30	37	23

### 6.2.3 Polder Zeevang

Onderstaand figuur geeft het peilverloop weer voor de verschillende scenario's. Bij Polder Zeevang valt op dat de fluctuatie van de waterstand voor de peilscenario's natuurlijk peil, gereduceerd natuurlijk peil en verhoogd natuurlijk peil vergelijkbaar is. Bij de andere locaties verschilde de waterstandsfluctuatie per peilscenario.



**Figuur 10 Verloop waterstanden voor verschillende peilscenario's voor Polder Zeevang**

Onderstaande tabel geeft de resultaten voor een gemiddeld jaar. Het is opvallend dat voor Polder Zeevang de grondwaterstromen vanuit het Markermeer veel lager zijn dan de neerslag en de verdamping. Voor de andere locaties waren de grondwaterstromen van eenzelfde orde grootte als de neerslag en de verdamping.

**Tabel 11. Uitgangspunten en resultaten Polder Zeevang**

Omschrijving	Eenheid	Open peil	Natuurlijk peil	Gereduceerd natuurlijk peil	Verhoogd natuurlijk peil
Maximum peil	m NAP	-0,2 (zomerpeil)	-0,2	-0,4	0,0
Minimum peil	m NAP	-0,4 (winterpeil)	-0,4	-0,6	-0,2
Hoogte waterbodembodem watergang	m NAP	-1,2	-1,2	-1,4	-1,0
Hoogte waterbodembodem plas	m NAP	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
Gemiddelde waterstand	m NAP	-0,29	-0,28	-0,47	-0,08
Gemiddeld totaal wateroppervlak	ha	21,3	21,3	21,3	21,3
Gemiddeld wateroppervlak plas	ha	20,5	20,5	20,5	20,5
Gemiddeld wateroppervlak watergang	ha	0,8	0,8	0,8	0,8
Gemiddeld volume	m <sup>3</sup>	193.204	195.821	156.473	235.236
Gemiddelde neerslag	m <sup>3</sup> /d	497	497	497	497
Gemiddelde verdamping	m <sup>3</sup> /d	419	419	419	419
Gemiddelde grondwaterstroom vanuit Markermeer	m <sup>3</sup> /d	30	28	58	11
Gemiddelde grondwaterstroom naar Markermeer	m <sup>3</sup> /d	0	0	0	13
Gemiddelde grondwaterstroom vanuit Voorlanden	m <sup>3</sup> /d	126	126	111	141
Gemiddelde inlaathoeveelheid vanuit Markermeer	m <sup>3</sup> /d	292	84	66	104
Gemiddelde uitlaathoeveelheid naar Markermeer	m <sup>3</sup> /d	353	137	164	112

### 6.3 Analyse nutriëntenbelasting Grote Waal en de Hulk-Noord

#### 6.3.1 Aanpak en uitgangspunten

In deze paragraaf wordt de gehanteerde aanpak nader toegelicht. De externe belasting bestaat uit twee hoofdcomponenten, namelijk uit belasting door verschillende ingaande waterstromen en uit belasting door watervogels. De kritische grenzen zijn apart berekend voor de plassen (met PCLake) en voor de watergangen (met PCDitch). Hieronder volgt een toelichting op de uitgevoerde berekeningen.

#### *Externe belasting: ingaande waterstromen*

De externe fosfor- en stikstofbelasting door ingaande waterstromen in mg/m<sup>2</sup>/d is berekend op basis van de nutriëntconcentraties (tabel 12), de ingaande debieten (tabel 9) en het wateroppervlak (13.2 ha). Voor de P- en N-concentratie per waterstroom is een minimale, maximale en gemiddelde schatting gemaakt (Tabel 12).

**Tabel 12. Uitgangspunten geschatte minimale, maximale en gemiddelde concentraties N en P in ingaande waterstromen**

waterstroom	minimale-maximale schatting P (mg/l)	gemiddelde schatting P (mg/l)	minimale-maximale schatting N (mg/l)	gemiddelde schatting N (mg/l)	bron
neerslag	0.0016 <sup>1</sup> - 0.0124 <sup>2</sup>	0.0016	1.54 <sup>2</sup>	1.54	Landelijke metingen <sup>1,2</sup>
droge depositie	-	0	2.15 (mg N/m <sup>2</sup> /d)	2.15	inschatting aan de hand van landelijke totale N-depositie <sup>3</sup>
grondwaterstroom vanuit Markermeer	0.05 - 0.2	0.1	1 - 3	1.5	expert inschatting op basis van de waterkwaliteit in het Markermeer plus verrijking door kleilaag
grondwaterstroom vanuit Voorlanden	0.2 - 0.5	0.3	3 - 6	4	indicatieve landelijke getallen per grondsoort <sup>4</sup>
inlaat vanuit Markermeer	0.02 - 0.2	0.05	0.75 - 2	1.1	schatting op basis van waterkwaliteitsmetingen RWS Hoornse Hop 2010-2016

1. Milieu- en Natuurplanbureau 25 april 2007
2. RIVM rapport 723101 057, 2001
3. inschatting N-depositie aan de hand van CBS, PBL, Wageningen UR (2015). Vermestende depositie, 1990-2014 (indicator 0189, versie 14, 9 oktober 2015). [www.compendiumvoordeleefomgeving.nl](http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl).
4. Alterra-rapport 1700, 2008.

#### *Externe belasting: watervogels*

De externe belasting door watervogels is geschat aan de hand van geschatte vogelaantallen en kentallen voor de nutriëntenbelasting per vogelsoort per seizoen. De aantrekkingskracht van het Tussenwater voor watervogels is sterk afhankelijk van de inrichting. Enkele belangrijke voorwaarden voor watervogels zijn de breedte van het water, de vormgeving van de dijk, het percentage moeras, het al dan niet voorkomen van waterplanten in het watersysteem en het achterland (stedelijk, agrarisch, natuur etc.).

Samen met een expert van Rijkswaterstaat (Mennobart van Eerden) is een schatting gemaakt van de te verwachten vogelaantallen in de Grote Waal en Hulk Noord (figuur 1). Hierbij is uitgegaan van een oeverdijk met flauwe taluds, waardoor het Tussenwater als rustgebied voor vogels kan fungeren. Verder is rekening gehouden met het achterland (deels stedelijk gebied, deels agrarisch) en het seizoen. Met behulp van kentallen is vervolgens de bijbehorende externe nutriëntenbelasting bepaald (Hahn et al, 2007 & 2008).

NB! Bij een hoge en steile dijk zullen de vogelaantallen sterk teruglopen. Een afname van grofweg 50 procent is dan bijvoorbeeld realistisch. Deze afname verschilt echter sterk per soort. Voor een goede schatting zijn de precieze dimensies en vormgeving van de dijk cruciaal. Dit betekent dat de huidige schatting een grove benadering is van de maximaal te verwachten belasting door watervogels.



### *Kritische belasting*

De kritische P-belasting is apart berekend voor de watergangen en de plassen. Hiervoor zijn respectievelijk de ecologische modellen PCDitch en PCLake gebruikt. Voor de plassen zijn twee kritische belastingen berekend. Dit is omdat de draagkracht van een plas afhankelijk is van de begintoestand: bij een heldere, plantenrijke begintoestand is de draagkracht veel hoger dan bij een troebele begintoestand. Dit komt doordat zowel waterplanten als algen hun eigen aanwezigheid stimuleren. De gehanteerde uitgangspunten staan in Tabel 13. De berekende kritische belasting heeft een modelonzekerheid van ca. 40 procent (Janse et al., 2010).

**Tabel 13. Uitgangspunten PCLake en PCDitch**

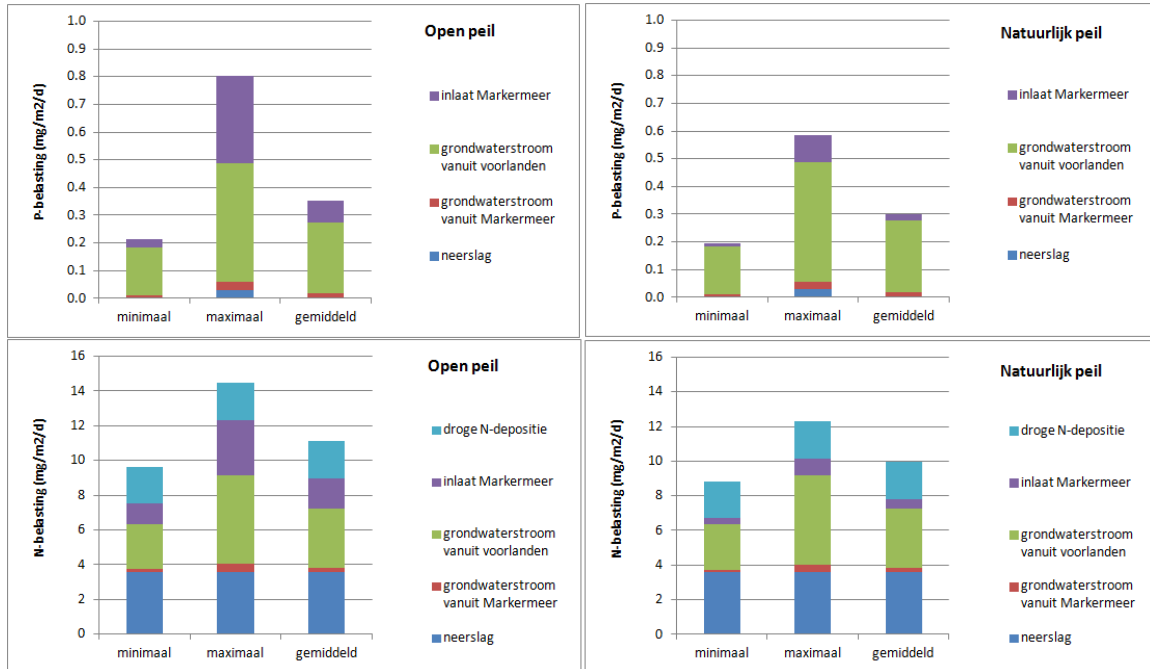
parameter	Open peil		Natuurlijk peil		bron
	PCLake	PCDitch	PCLake	PCDitch	
waterdiepte (m)	1.9 m (winter) 2.1 m (zomer)	0.8 m (winter) 1.0 m (zomer)	2.1 m (winter) 1.9 m (zomer)	1.0 m (winter) 0.8 m (zomer)	volgt uit waterbalans
hydraulische belasting (mm/d)	5	5	4	4	volgt uit waterbalans
strijklengte (m)	120	-	120	-	gemiddelde plas
bodemtype	zand	zand	zand	zand	aanname
fractie moeras (%)	0	-	2	-	moerasontwikkeling bij natuurlijk peil (aanname)
N/P-verhouding	ca. 34 (excl. vogels) 8 (incl. vogels)	ca. 34 (excl. vogels) 8 (incl. vogels)	ca. 34 (excl. vogels) 8 (incl. vogels)	ca. 34 (excl. vogels) 8 (incl. vogels)	volgt uit externe belasting

## 6.3.2 Resultaten

### *Externe belasting: ingaande waterstromen*

In figuur 11 staan de berekende externe P- en N-belastingen voor beide peilscenario's, exclusief de belasting door vogels. De P-belasting wordt vooral veroorzaakt door de grondwaterstroom vanuit de voorlanden en door de inlaat vanuit het Markermeer. De N-belasting wordt veroorzaakt door neerslag en droge (atmosferische) depositie, de grondwaterstroom vanuit de voorlanden en de inlaat vanuit het Markermeer.

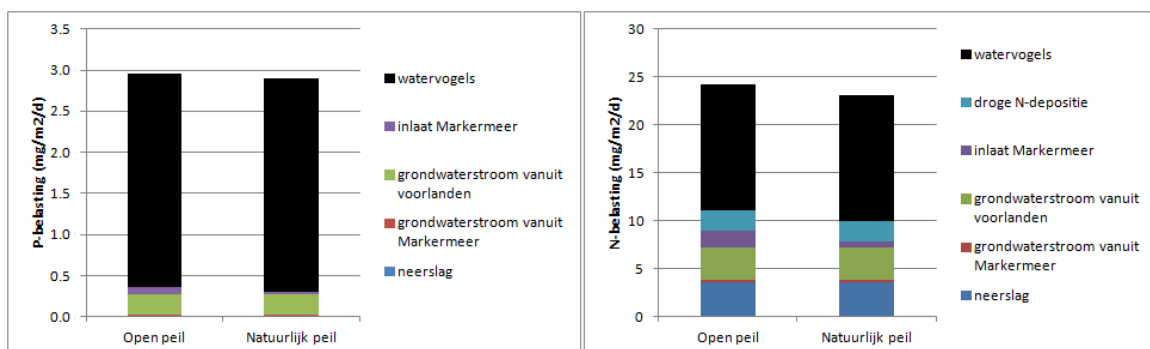
De gemiddelde externe P- en N-belasting is bij het natuurlijk peil circa tien à vijftien procent lager dan bij het open peil. Dit komt doordat er minder water wordt ingelaten vanuit het Markermeer. De berekende gemiddelde P-belasting bij het natuurlijk peil is 0.3 mg P/m<sup>2</sup>/d: dit is een lage externe belasting.



**Figuur 11 Berekende externe P-belasting (boven) en N-belasting (onder) in mg/m<sup>2</sup>/d op basis van ingaande waterstromen. De belasting is berekend voor een minimale, maximale en gemiddelde schatting (zie tabel 12)**

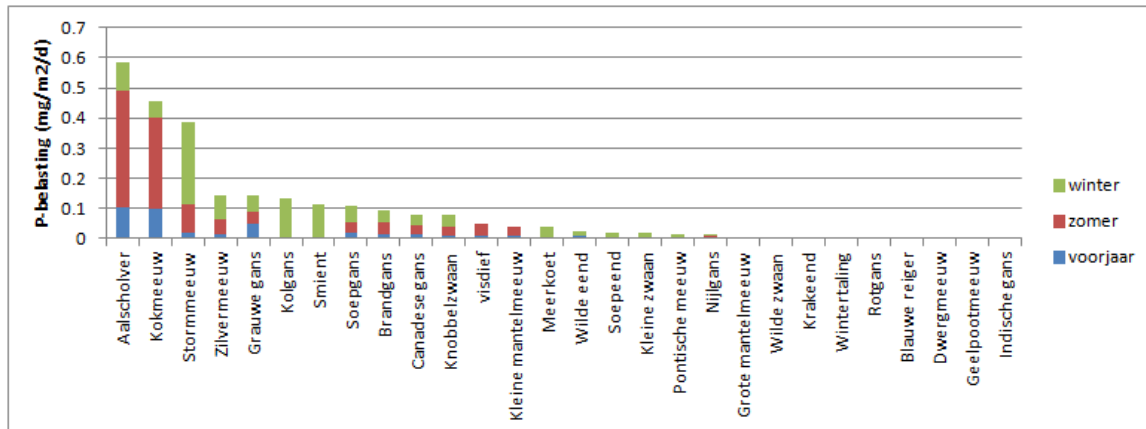
*Externe belasting: watervogels*

De totale externe nutriëntenbelasting door watervogels bedraagt 2.6 mg P/m<sup>2</sup>/d en 13 mg N/m<sup>2</sup>/d. Dit is een zeer hoge belasting in vergelijking met de externe P- en N-belasting door ingaande waterstromen: watervogels leveren een grote bijdrage aan de nutriëntenbelasting in het Tussenwater (figuur 12).



**Figuur 12 Berekende externe P-belasting (links) en N-belasting (rechts) in mg/m<sup>2</sup>/d voor ingaande waterstromen (gemiddelde schatting) plus de belasting door watervogels**

Een groot deel van de belasting wordt door slechts enkele soorten veroorzaakt: de aalscholver, kokmeeuw en stormmeeuw veroorzaken samen meer dan 50 procent van de P-belasting (figuur 13). Voor stikstof is dit vergelijkbaar.



**Figuur 13 Fosforbelasting per vogelsoort in mg/m<sup>2</sup>/d, uitgesplitst naar seizoen**

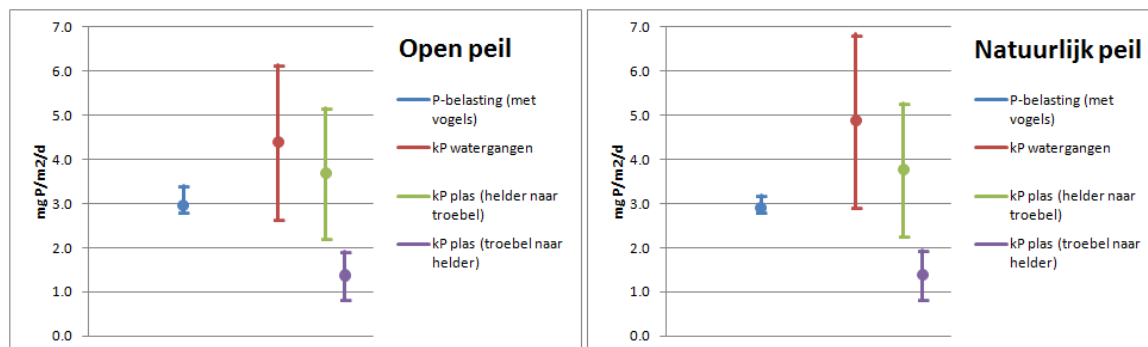
#### *Kritische belasting*

De kritische belasting van watergangen wordt beïnvloed door het peilscenario: bij het natuurlijk peil is de kritische belasting iets hoger dan bij het open peil. Dit komt door de lagere waterdiepte in de zomer (namelijk 80 cm bij natuurlijk peil en 100 cm bij open peil). De kritische belasting van de plassen wordt veel minder sterk beïnvloed door het peilscenario. Dit komt doordat de waterdiepte in de zomer nog altijd vrij groot is (namelijk 190 cm bij het natuurlijk peil). De gevoeligheid voor een verschil in waterpeil is kleiner naarmate de waterdiepte groter is.

In figuur 14 staat de vergelijking tussen de externe en kritische nutriëntenbelasting. Voor de externe belasting wordt de berekende range getoond (minimale, gemiddelde en maximale schatting). Er worden drie kritische belastingen getoond: voor de watergangen (in rood) en voor plassen vanuit een heldere begintoestand (in groen) en vanuit een troebele begintoestand (in paars). Uit de vergelijking tussen de externe en kritische belasting blijkt dat:

- voor watergangen er overlap is tussen de externe en kritische belasting. Dit betekent dat de externe belasting hoger kan uitvallen dan de kritische belasting. Bij het natuurlijk peil is minder overlap dan bij het open peil;
- voor plassen (vanuit heldere toestand) is er overlap tussen de externe en kritische belasting. Dit betekent dat de externe belasting hoger kan uitvallen dan de kritische belasting;
- voor plassen (vanuit troebele toestand) ligt externe belasting boven de kritische belasting.

Deze resultaten signaleren een risico. De draagkracht van het watersysteem wordt immers mogelijk overschreden door de externe nutriëntenbelasting. Dit kan leiden tot een troebele, algengedomineerde toestand.



**Figuur 14 Externe en kritische P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d) naast elkaar voor beide peilscenario's. De externe belasting (blauw) toont de gemiddelde belasting (ronde stip) en de minimale en maximale schatting (onder- en bovengrens). De berekende kritische belasting is weergegeven (ronde stip\_ met een onzekerheidsmarge van 40 procent (onder- en bovengrenzen)**

### 6.3.3 Conclusies en aandachtspunten inrichting

#### Conclusies

In deze notitie is de belangrijkste factor voor een goede waterkwaliteit van het Tussenwater in beeld gebracht, namelijk de externe nutriëntenbelasting in relatie tot de draagkracht.

De totale externe nutriëntenbelasting is relatief hoog en wordt grotendeels veroorzaakt door watervogels; de belasting door ingaande waterstromen vormt maar een klein deel van de totale nutriëntenbelasting. Een natuurlijk peilbeheer leidt tot een lagere externe belasting doordat minder water wordt ingelaten.

De draagkracht van de plassen is relatief laag, vooral vanwege de forse waterdiepte van gemiddeld circa twee meter. De watergangen daarentegen hebben een hogere draagkracht, doordat ze veel ondieper zijn. Een natuurlijk peilbeheer leidt tot een hogere draagkracht doordat de waterdiepte in de zomer afneemt.

In de watergangen ligt de externe nutriëntenbelasting grotendeels onder het bereik van de kritische belasting. In de plassen ligt de externe nutriëntenbelasting binnen het bereik van de kritische belasting. Dit betekent dat er een risico bestaat op een slechte waterkwaliteit in het Tussenwater. Dit risico geldt vooral voor de plassen. Een natuurlijk peilbeheer verkleint het risico op een slechte waterkwaliteit, doordat de externe belasting afneemt en de draagkracht toeneemt.

#### Lichtklimaat en waterbodem

De belangrijkste factor voor een goede waterkwaliteit (helder water met waterplanten en geen algenbloei) is de externe belasting in relatie tot de draagkracht. Daarnaast zijn het lichtklimaat en de waterbodem twee belangrijke factoren. Het lichtklimaat van het Tussenwater kan negatief beïnvloed worden door de inlaat van troebel water uit het Markermeer. In de Analyse doorspoelen (paragraaf 6.3.4) wordt hier verder op ingegaan.

Daarnaast vormt de waterbodem van het Tussenwater een aandachtspunt. In een deels vergelijkbaar watersysteem het Bovenwater (te Lelystad) is de externe belasting veel lager dan de kritische belasting. Doordat de waterbodem (klei) echter veel nutriënten bevat, treedt er iedere zomer een omslag op van een goede waterkwaliteit naar een slechte waterkwaliteit met overmatige blauwalgenbloei. De voedselrijkdom van de waterbodem van het Tussenwater is echter onbekend: metingen zouden hier meer inzicht in kunnen geven. Problemen met een voedselrijke bodem kunnen in sommige gevallen verholpen worden door de bodem af te dekken met laag zand (>20 cm). Deze maatregel wordt ook in het Bovenwater overwogen. Een bijkomend voordeel van deze maatregel is dat de waterdiepte afneemt, waardoor de kritische grens omhoog schuift. Het afzanden van de waterbodem is opgenomen als inrichtingsmaatregel in Tabel 14.

#### Aandachtspunten inrichting

Om het risico van een slechte waterkwaliteit zoveel als mogelijk te beperken, zijn diverse aanpassingen en maatregelen denkbaar. Dit betreft inrichtingsmaatregelen (Tabel 14), uitvoeringsmaatregelen (Tabel 15) en mitigerende maatregelen (Tabel 16).

**Tabel 14. Inrichtingsmaatregelen (gericht op het minimaliseren van het risico op een slechte waterkwaliteit)**

	<b>maatregel</b>	<b>mechanisme</b>
1	peilbeheer: (gereduceerd) natuurlijk peil	geringere waterdiepte (in de zomer) leidt tot hogere draagkracht en minder inlaat van water leidt tot een lagere belasting
2	verhoging bodemhoogte van watergangen en/of plassen	geringere waterdiepte leidt tot hogere draagkracht NB! minimale waterdiepte voor watergangen is ca. 60 cm en voor plassen ca. 100 cm
3	afzanden van de diepere plassen (ca. 30 cm zand aanbrengen)	1) geringere waterdiepte leidt tot hogere draagkracht 2) nalevering van fosfor uit de waterbodem wordt beperkt
4	aantrekkingskracht op vogels verminderen (of voor bepaalde soorten zoals aalscholvers en meeuwen)	de inrichting is van grote invloed op de daadwerkelijke vogelaantallen: bij een hoge, steile dijk zal de aantrekkingskracht op watervogels sterk afnemen en hiermee de nutriëntenbelasting
5	vergroten wateroppervlak	de nutriëntenbelasting per vierkante water neemt af NB! vogelaantallen zullen toenemen, waardoor dit effect waarschijnlijk teniet wordt gedaan

**Tabel 15. Uitvoeringsmaatregelen (gericht op zo min mogelijk verstoring tijdens de uitvoeringsfase)**

	<b>maatregel</b>	<b>mechanisme</b>
1	timing: geen versturende werkzaamheden tijdens de start van het groeiseizoen van waterplanten (circa van eind februari t/m april)	als planten de mogelijkheid krijgen om te groeien, zijn ze daarna minder kwetsbaar voor verstoring (zoals vertroebeling)
2	afscherming om te voorkomen dat er bodemmateriaal in het watersysteem terecht komt of het gebruik van milieuknijpers	tegengaan vertroebeling
3	tijdelijke peilverlaging; dusdanig dat voldoende zonlicht de bodem bereikt	betere kansen voor de groei van waterplanten (meer zonlicht bereikt de waterbodem). Eis: verhouding doorzicht/diepte > 0.6
4	inlaat/vullen met 'schoon' water (lage nutriëntconcentratie, weinig algen en zwevend stof)	voorkomen van sterke verrijking met nutriënten of vertroebeling, hiermee wordt een slechte start voorkomen

**Tabel 16. Mitigerende maatregelen (gericht op het forceren van een heldere toestand, een 'noodknop')**

	<b>maatregel</b>	<b>mechanisme</b>
1	baggeren van sliblaag	slib kan om twee redenen problemen veroorzaken: 1) slib kan een belemmering vormen voor de worteling van waterplanten 2) slib kan leiden tot zuurstofloze omstandigheden en daardoor fosforaflevering uit de bodem.
2	visstandbeheer (wegvangen van vis)	door het verwijderen van bodemwoelende vis (brasem, karper) en vis die watervlooien eet (brasem, blankvoorn) wordt minder slib opgewerveld, worden algen opgegeten en kunnen planten weer groeien
3	tijdelijke peilverlaging (in eind februari-april) dusdanig dat voldoende zonlicht de bodem bereikt	betere kansen voor de groei van waterplanten (meer zonlicht bereikt de waterbodem). Eis: verhouding doorzicht/diepte > 0.6
4	tijdelijk doorspoelen (verblijftijd circa 10 dagen)	blauwalgen worden uitgespoeld en kunnen bovendien niet meer tot ontwikkeling komen NB! zie Analyse doorspoelen (paragraaf 6.3.4)
5	tijdelijk doorspoelen (verblijftijd circa 3 dagen)	groen- en blauwalgen worden uitgespoeld en kunnen bovendien niet meer tot ontwikkeling komen NB! zie Analyse doorspoelen (paragraaf 6.3.4)

#### 6.3.4 Analyse doorspoelen

Vaak wordt gedacht dat de waterkwaliteit gebaat is bij enige doorstroming. In deze paragraaf worden hierbij enkele kanttekeningen geplaatst.

### *Definities*

Allereerst moet bij doorspoelen onderscheid gemaakt worden tussen langdurig doorspoelen en tijdelijk doorspoelen. Tijdelijk doorspoelen kan ingezet worden om een algenbloei uit het systeem te spoelen. Langdurig doorspoelen kan worden ingezet om de draagkracht van het watersysteem te vergroten.

Om algenbloei te voorkomen moet de verblijftijd sterk verkort worden:

- om te voorkomen dat er bloei optreedt van groenalgen, moet de verblijftijd verkort worden tot minder dan drie dagen (hiervoor moet bij Grote Waal en de Hulk - Noord ca. 75.000 m<sup>3</sup> per dag worden ingelaten). Bij deze verblijftijd wordt de waterkwaliteit van het Tussenwater volledig gestuurd door de kwaliteit van het inlaatwater;
- om te voorkomen dat er blauwalgenbloei optreedt, moet de verblijftijd verkort worden tot circa tien dagen (hiervoor moet bij Grote Waal en de Hulk - Noord ca. 22.000 m<sup>3</sup> per dag worden ingelaten).

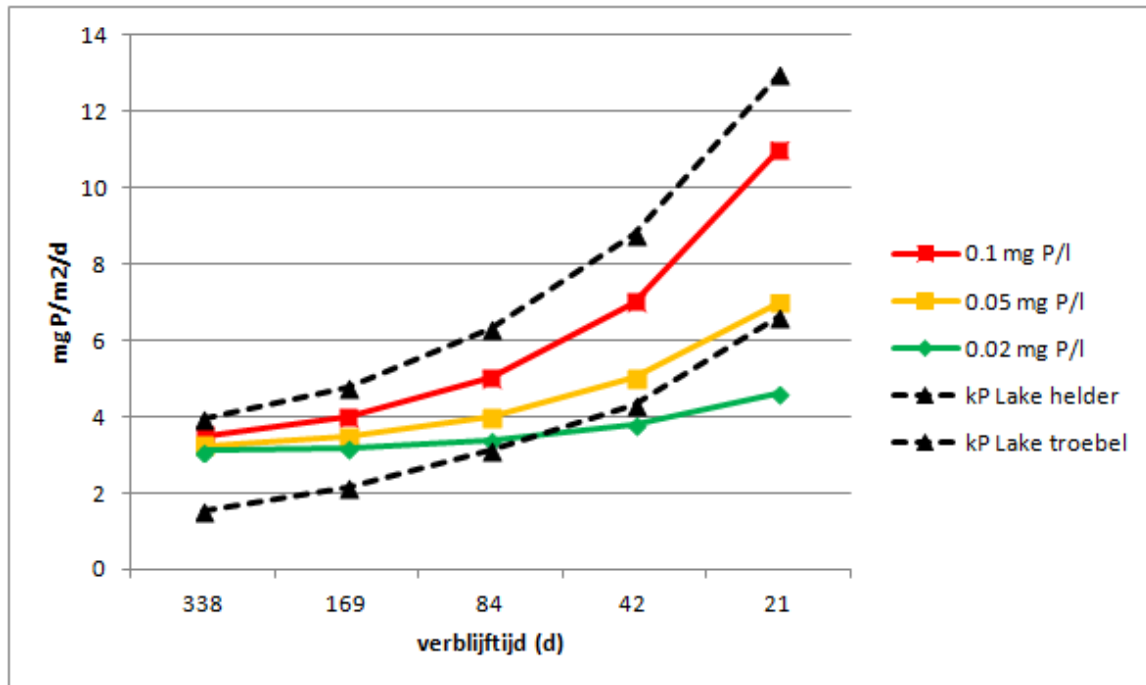
Als de verblijftijd niet tot onder deze grenzen wordt gebracht, hebben algen voldoende tijd om zich te vermenigvuldigen. Doorspoelen is dan niet zinvol. Deze grenzen (drie en tien dagen) zijn algemeen onderbouwd, maar zijn systeemspecifiek (bijvoorbeeld afhankelijk van het precieze type alg).

### *Effect van langdurig doorspoelen*

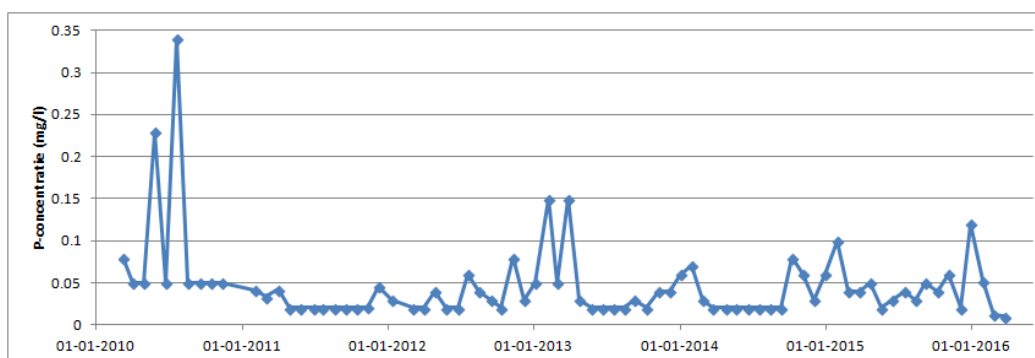
Met doorspoelen neemt zowel de externe nutriëntenbelasting toe (doordat extra water vanuit het Markermeer wordt ingelaten) als de kritische belasting (doordat de verblijftijd afneemt). Als de kritische belasting sterker toeneemt dan de externe belasting, neemt de robuustheid van het watersysteem toe: doorspoelen kan dan een gunstige uitwerking hebben op de waterkwaliteit. Een belangrijke kanttekening hierbij is de verhoogde externe nutriëntenbelasting leidt tot een hogere biomassa-productie, wat ongewenst kan zijn. In Figuur 15 wordt het effect van doorspoelen voor het Tussenwater weergegeven bij drie verschillende P-concentraties in het Markermeer:

- bij een zeer lage P-concentratie in het Markermeer (0.02 mg P/l) neemt de externe belasting minder sterk toe dan de kritische belastingen;
- bij een P-concentratie van 0.05 mg P/l neemt de externe belasting iets minder sterk toe dan de kritische belastingen;
- bij een P-concentratie van 0.1 mg P/l neemt de externe belasting ongeveer gelijk toe met de kritische belasting.

In 2015 bedroeg de P-concentratie in het Markermeer gemiddeld 0.05 mg P/l (figuur 16). Bij deze concentratie neemt de 'robuustheid' van het watersysteem toe met afnemende verblijftijd.



**Figuur 15** Het effect van doorspoelen op de externe belasting en de kritische belasting. De gekleurde lijnen tonen de externe P-belasting als wordt doorspoeld met water met diverse P-concentraties (0.02, 0.05 of 0.1 mg P/l). De zwarte lijnen tonen de kritische P-belasting (uitgaande van 1.9 m diepte in de zomer, bodemtype zand, strijklengte 120 m, twee procent moeras en 20 cm flexibel peil). De onderste zwarte lijn toont de kritische belasting voor een troebele begintoestand, de bovenste voor een heldere begintoestand



**Figuur 16** Gemeten fosforconcentratie (mg P/l) in het Markermeer, meetpunt Hoornse Hop

#### Aandachtspunten bij doorspoelen

Met doorspoelen worden echter niet alleen extra nutriënten aangevoerd, maar kunnen ook algen of andere opgeloste deeltjes worden ingelaten. Het Markermeer is regelmatig erg troebel door opgeloste deeltjes, vooral in de winter. In het hele jaar 2015 bedroeg het doorzicht zelden meer dan 50 cm. Als er veel water wordt ingelaten, wordt de waterkwaliteit in het Tussenwater min of meer gelijk aan de kwaliteit van het Markermeer. Dit is niet wenselijk in perioden dat de het Markermeer troebel is: bij een doorzicht van 50 cm kunnen in de plassen geen waterplanten tot ontwikkeling komen.



Een belangrijk nadeel van doorspoelen is de voordurende aanvoer van nutriënten. Zoals blijkt uit Figuur 15 neemt de externe nutriëntenbelasting in absolute zin hoe dan ook toe als gevolg van doorspoelen. Hierdoor zal de biomassaproductie toenemen, wat zich uit in woekering van waterplanten. Dit vergt dan extra beheer (zoals maaien, maar ook vaker baggeren). Daarnaast is onduidelijk wat er gebeurt zodra het doorspoelen wordt stop gezet. Doordat tijdens het doorspoelen extra nutriënten zijn aangevoerd, die mogelijk in de bodem zijn opgeslagen, vergroot dit het risico op algenbloei.

Een ander effect van doorspoelen betreft de waterdiepte. Als doorspoelen leidt tot een hoge waterdiepte (er wordt immers voortdurend water ingelaten; de hoogte van de uitlaatstuw bepaald het waterpeil), is dit ongunstig voor de ecologische ontwikkeling (waarvoor namelijk in de zomer een geringe waterdiepte gewenst is). Dit zou ondervangen moeten worden met kunstwerken (door net zo veel water uit te laten, als dat wordt ingelaten voor het doorspoelen).

Een ander belangrijke kanttekening bij doorspoelen is dat in de praktijk zelden het hele watersysteem wordt doorgespoeld. Delen die buiten de hoofdstroom liggen, zullen een bovengemiddelde verblijftijd houden. Dus ook als gestuurd wordt op een verblijftijd korter dan drie of tien dagen, kunnen er delen in het watersysteem zijn waar toch algenbloei optreedt.

#### *Conclusies doorspoelen*

Tijdelijk doorspoelen kan ingezet worden om een algenbloei uit het systeem te spoelen. Hiervoor is wel een groot doorspoeldebiet vereist. Bovendien moet rekening worden gehouden met de kwaliteit van het inlaatwater, het effect op de waterdiepte en ruimtelijke verschillen in de verblijftijd.

Langdurig doorspoelen kan worden ingezet om de draagkracht te vergroten ten opzichte van de externe belasting, mits de P-concentratie van het inlaatwater niet te hoog is. Uit de berekening blijkt dat het watersysteem robuuster wordt naarmate de verblijftijd afneemt. Er kleven echter enkele aandachtspunten en nadelen aan deze maatregel, zoals de toename van de biomassaproductie en hierdoor extra beheer en onderhoud.

Een ander belangrijk aandachtspunt is de troebelheid van het inlaatwater. Het water uit het Markermeer bevat weliswaar weinig nutriënten, maar is wel erg troebel. Als er stevig wordt doorgespoeld, kan dit leiden tot troebel systeem waarin geen algenbloei optreedt, maar waarin ook geen planten kunnen groeien. Daarnaast zijn het effect op de waterdiepte en de ruimtelijke verschillen binnen het watersysteem een belangrijk aandachtspunt bij het uitwerken van deze maatregel.

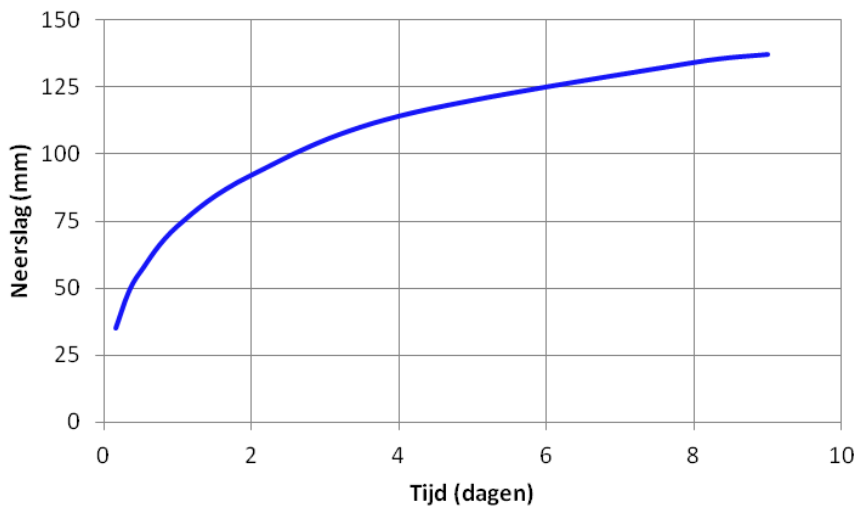
Kortom, doorspoelen kan helpen de robuustheid van het watersysteem te vergroten, maar doorspoelen is geen eenvoudige maatregel om een goede waterkwaliteit te garanderen. Door verschillende, hierboven genoemde aspecten, kan doorspoelen niet, of zelfs averechts werken. Daarom zijn wij terughoudend om deze maatregel aan te bevelen. Voor meer inzicht in de ruimtelijke effecten van langdurig of tijdelijk doorspoelen, is een ruimtelijke modellering op dagbasis nodig.

## 7 Analyse constructies

### 7.1 Algemeen

Om het waterstand in het tussenwater te kunnen controleren is een waterinlaat en een -uitlaat nodig. Het type kunstwerk en de benodigde capaciteit is afhankelijk van het peilscenario. In dit hoofdstuk is aan de hand van de waterbalans de benodigde capaciteit bepaald. Daarnaast is het type kunstwerk bepaald.

Eerst dient echter de maatgevende situatie vastgesteld worden. Dit is afhankelijk van de toekomstige status van de bestaande Markermeerdijk. De Markermeerdijk is in de huidige situatie de primaire waterkering. In de toekomstige situatie zal de oeverdijk deze functie overnemen. De bestaande dijk verliest daardoor zijn status als primaire waterkering. De bestaande dijk zou als regionale kering geclassificeerd kunnen worden. Vanwege de onzekerheden over de stabiliteit van de kering heeft HHNK het voornemen om de bestaande dijk niet meer als kering te classificeren. Door de bestaande dijk niet meer te classificeren, gelden er geen normen meer voor de dijk. Het niet stellen van deze normen zou betekenen dat de bestaande dijk in verval mag raken. Om dit te voorkomen heeft HHNK besloten een economische analyse uit te voeren naar het doorbreken van de bestaande dijk. Uit deze analyse zal een norm voor de doorbraakfrequentie van de bestaande dijk volgen. Doordat de resultaten van deze analyse vooralsnog niet beschikbaar zijn wordt ervan uitgegaan dat de norm voor de overschrijdingsfrequentie 1/1.000 jaar zal zijn. Bij deze overschrijdingsfrequentie treedt de bui in onderstaand figuur op. Gedurende de stormduur (48 uur) valt 92 mm neerslag.



**Figuur 17** Extreme neerslag met overschrijdingsfrequentie 1/1000 jaar

### 7.2 Maatgevende situatie

Door het aanbrengen van de kleilaag in de oeverdijk wordt de kwelstroom door de oeverdijk sterk gereduceerd. In tabel 17 is de kwelstroom bij de maatgevende waterstand op het Markermeer (NAP +1,2 m) vergeleken met de piekneerslag. Uit de tabel volgt dat de benodigde capaciteit voor de kunstwerken bepaald wordt door de neerslag.

**Tabel 17 Vergelijking kwelstroom en neerslaghoeveelheid.**

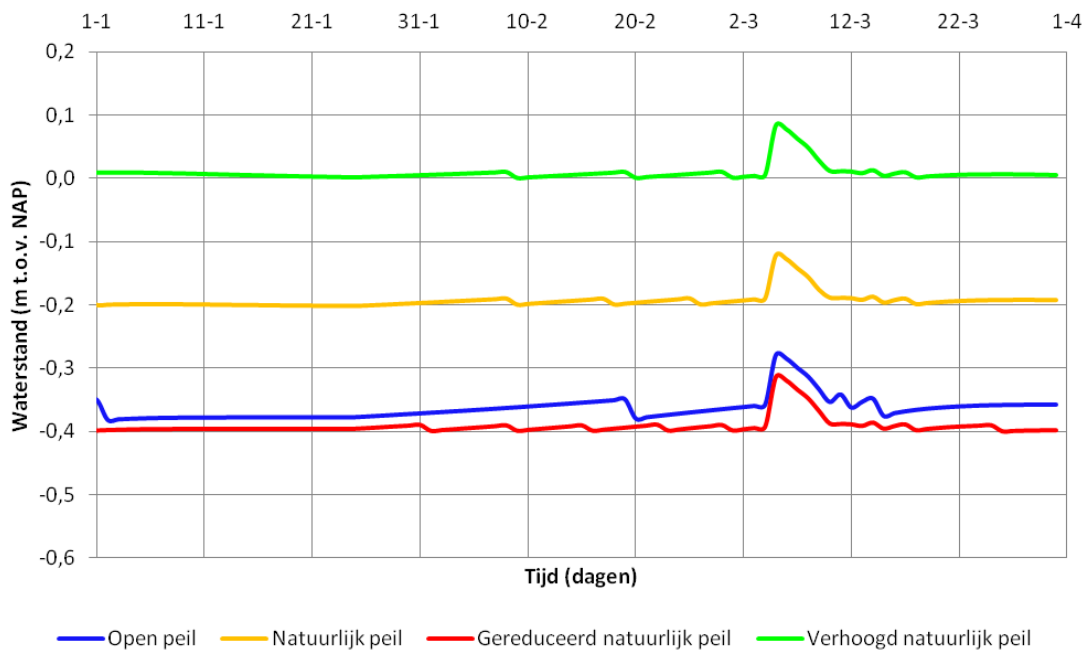
Locatie	Kwelstroom bij NAP +1,2 m (m <sup>3</sup> /d)	Neerslag (m <sup>3</sup> /d)
Grote Waal en de Hulk - Noord	357	9650
Grote Waal en de Hulk - Zuid	153	1644
Polder Zeevang	556	15541

### 7.3 Resultaten waterbalans in maatgevende situatie

Voor het bepalen van het verloop van de waterstand in de maatgevende situatie is uitgegaan van een afvoercapaciteit van 14,4 mm/d voor het uitlaatwerk. Dit is de door HHNK gehanteerde standaard capaciteit voor water aan- en afvoer.

#### 7.3.1 Grote Waal en de Hulk-Noord

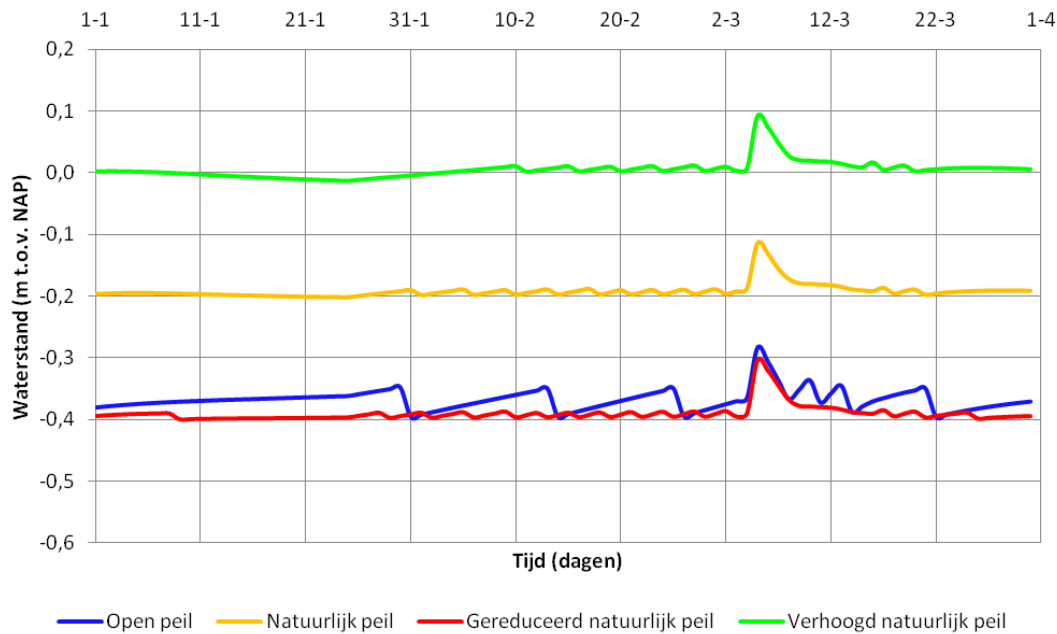
Op basis van de regenduurlijn is met de waterbalans voor de verschillende peilscenario's het verloop van de waterstand berekend. De maximale waterstand (NAP 0 m) wordt alleen in peilscenario verhoogd natuurlijk peil overschreden. De afvoercapaciteit komt op basis van het oppervlak overeen met 4.300 m<sup>3</sup>/d (ofwel 3 m<sup>3</sup>/min).



**Figuur 18 Verloop waterstanden bij extreme neerslag**

#### 7.3.2 Grote Waal en de Hulk-Zuid

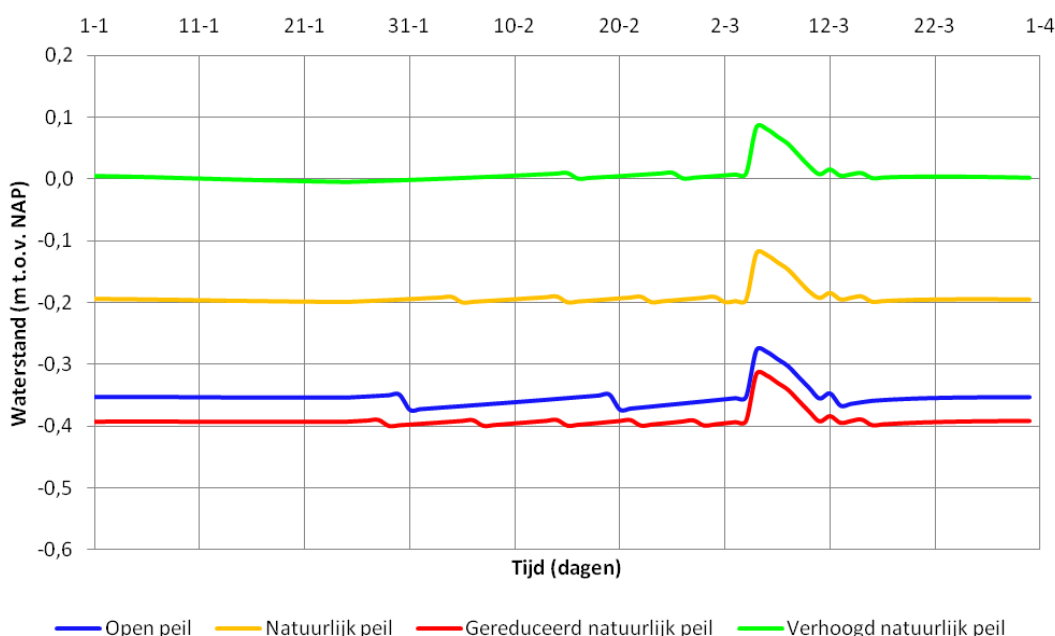
Op basis van de regenduurlijn is met de waterbalans voor de verschillende peilscenario's het verloop van de waterstand berekend. De maximale waterstand (NAP 0 m) wordt alleen in peilscenario verhoogd natuurlijk peil overschreden. De afvoercapaciteit komt op basis van het oppervlak overeen met 1.200 m<sup>3</sup>/d (ofwel 0,8 m<sup>3</sup>/min).



**Figuur 19 Verloop waterstanden bij extreme neerslag**

### 7.3.3 Polder Zeevang

Op basis van de regenduurlijn is met de waterbalans voor de verschillende peilscenario's het verloop van de waterstand berekend. De maximale waterstand (NAP 0 m) wordt alleen in peilscenario verhoogd natuurlijk peil overschreden. De afvoercapaciteit komt op basis van het oppervlak overeen met 5.600 m<sup>3</sup>/d (ofwel 3,8 m<sup>3</sup>/min).



**Figuur 20** Verloop waterstanden bij extreme neerslag

## 7.4 Analyse constructies

### 7.4.1 Type constructie

Voor peilbeheer hebben de locaties een in- en een uitlaatwerk nodig. In onderstaande tabel is per peilscenario het type constructie weergegeven. Omdat de maatgevende situatie voor een vrij lange periode (circa 10 weken) aanhoudt, is een gemaal nodig om het peil te handhaven.

**Tabel 18.** Overzicht toe te passen constructies

Omschrijving	Eenheid	Open peil	Natuurlijk peil	Gereduceerd natuurlijk peil	Verhoogd natuurlijk peil
Maximum peil	m NAP	-0,2 (zomer)	-0,2	-0,4	0,0
Minimum peil	m NAP	-0,4 (winter)	-0,4	-0,6	-0,2
Type inlaatwerk	-	doorlaatwerk	doorlaatwerk	doorlaatwerk	gemaal
Type uitlaatwerk	-	gemaal	gemaal	gemaal	gemaal

### 7.4.2 Capaciteit constructies

De benodigde capaciteit voor peilhandhaving is 14,4 mm/d nodig. Als overwogen wordt om het watersysteem te kunnen doorspoelen is een grotere capaciteit nodig. De onderstaande tabel toont per locatie de benodigde capaciteit om de verblijftijd in het watersysteem tot 3 of 10 dagen te kunnen beperken.

**Tabel 19. Overzicht benodigde capaciteit**

<b>Locatie</b>	<b>Benodigde capaciteit peilhandhaving (m3/d)</b>	<b>Benodigde capaciteit voor verblijftijd 3 dagen (m3/d)</b>	<b>Benodigde capaciteit voor verblijftijd 10 dagen (m3/d)</b>
Grote Waal en de Hulk - Noord	4.300	75.000	22.500
Grote Waal en de Hulk - Zuid	1.200	7.000	2.100
Polder Zeevang	5.600	65.300	19.600

## 8 Conclusies

De vragen relevant voor de uitwerking van de waterhuishouding zijn hieronder beantwoord:

- Welke peilen dienen in het tussengebied gehandhaafd worden?

Op basis van de analyses kan niet eenduidig aangegeven welk peilscenario uitgevoerd gaan worden. Alleen het peilscenario verhoogd natuurlijk peil valt op basis van de maximale waterstanden af.

- Wat is de maximale waterstand bij maatgevende situaties (1/10.000 jaar)?

De maatgevende situatie voor het tussenwater dient nader vastgesteld te worden. Bij een herhalingstijd van 1/1.000 jaar varieert afhankelijk van het peilscenario de maximale waterstand tussen NAP -0,3 m en +0,1 m.

- Wat zijn de benodigde constructies voor het peilbeheer en welke capaciteit hebben deze constructies nodig?

Voor alle peilscenario's dient het uitlaatwerk een gemaal te zijn. Voor de peilscenario's open peil, natuurlijk peil en gereduceerd natuurlijk peil kan het inlaatwerk een doorlaatconstructie zijn. Voor het peilscenario verhoogd natuurlijk peil dient het inlaatwerk een gemaal te zijn.

- Hoeveel water stroomt er naar de bestaande polder mocht de bestaande kering doorbreken?

Als de kering doorbreekt zal voor de Hulk en de Grote Waal - noord circa 225.000 m<sup>3</sup> naar de bestaande polder stroming. Voor de Hulk en de Grote Waal - zuid zal circa 21.000 m<sup>3</sup> naar de bestaande polder stromen. Voor de Polder Zeevang stroomt circa 196.000 m<sup>3</sup> naar de bestaande polder.

- Is het aanbrengen van een 1 m dikke kleilaag aan de binnentalud van de oeverdijk noodzakelijk?

Door het aanbrengen van een 1 m dikke kleilaag wordt de kwelstroom door de oeverdijk dusdanig teruggebracht. Hierdoor kan de capaciteit van de constructies voor peilbeheer beperkt worden.

- Wat is de te verwachte waterkwaliteit in het tussengebied?

Op basis van de analyses komt naar voren dat het risico op een slechte waterkwaliteit vooral optreedt bij de plassen. Dit wordt veroorzaakt door een hoge nutriëntenbelasting, die het gevolg is van aanvoer van nutriënten door watervogels.

## **9 Aanbevelingen**

In deze rapportage is de waterhuishouding voor het Tussenwater op hoofdlijnen beschouwd. In een later stadium van het ontwerp dient de waterhuishouding in meer detail uitgewerkt te worden. Hierbij dient aandacht besteed te worden aan het verval dat optreedt tussen de kunstwerken in wateraan- en afvoersituaties en dient het effect van windopzet verder beschouwd te worden. Daarnaast kan nagegaan worden of meer inlaatwerken nodig zijn voor het beheer.



## 10 Literatuur

1. Oeverdijkrapportage deel 2 - basisontwerp, HHNK, 21 mei 2015, registratienr. 15.0015937
2. Toelichting ontwerpbesluit waterverordening HHNK
3. Nieuwe neerslagstatistiek voor waterbeheerders, Stowa, 2004
4. Bepaling waterbezwaar afwateringssloot tussen oeverdijk en huidige markermeerdijk, Fugro, 2014, Opdrachtnummer: 1214-0007-020
5. Ecologische Sleutelfactoren. Begrip van het watersysteem als basis voor beslissingen. STOWA, 2014, STOWA-rapportnummer 2014-19
6. Ecologische Sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie. Toepassing van de Ecologische Sleutelfactoren in de praktijk, STOWA, 2015, STOWA-rapportnummer 2015-17
7. Quantification of allochthonous nutrient input into freshwater bodies by herbivorous waterbirds. Hahn et al., 2008. *Freshwater Biology* 53: 181-193.
8. Estimating the contribution of carnivorous waterbirds to nutrient loading in freshwater habitats, Hahn et al, 2007, *Freshwater Biology* 52: 2421-2433.
9. Estimating the critical phosphorus loading of shallow lakes with the ecosystem model PCLake: Sensitivity, calibration and uncertainty. Janse et al., 2010, *Ecological Modelling* 221: 654-665.