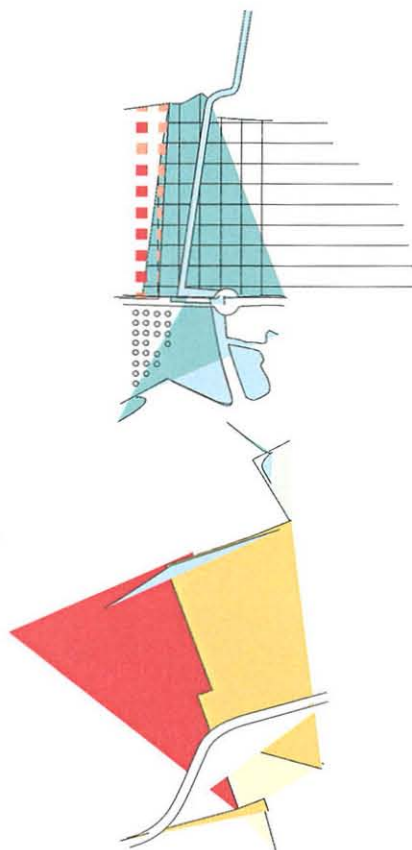


Milieueffectrapport Waalsprong 2003

Gemeente Nijmegen

Bijlage Water



Bijlage Water

De bijlage die nu voor u ligt, beschrijft het onderzoek dat we uitvoerden naar de verschillende varianten van watersystemen in de Waalsprong en hun invloed op de waterhuishouding en de waterkwaliteit.

In hoofdstuk 1 zetten we de doelstellingen en de opzet van het onderzoek voor u uiteen.

In hoofdstuk 2 beschrijven we de uitgangspunten en randvoorwaarden die we hebben gehanteerd in het onderzoek naar het watersysteem voor de Waalsprong. Eerst beschrijven we de uitgangssituatie. Daarna behandelen we achtereenvolgens de waterstanden, stroomsnelheden, grondwaterstanden, singels en helofytenfilters.

Hoofdstuk 3 beschrijft de verschillende varianten van watersystemen voor de Waalsprong die we hebben onderzocht. Eerst geven we de kenmerken van de varianten, daarna beschrijven we alle onderzochte varianten.

In hoofdstuk 4 vindt u de modelanalyses die we uitvoerden in dit onderzoek. We beschrijven de onderdelen van de analyses. Daarna beschrijven we de kwelsituatie in Lent, de afvoer van ontwerpbuien en kwantitatieve modelberekeningen. Tot slot informeren we u over de kwalitatieve modelberekeningen.

Hoofdstuk 5 beschrijft de invloed van de waterkwaliteit op de ecologie en de mitigerende maatregelen.

In hoofdstuk 6 vindt u de belangrijkste bevindingen van het onderzoek op thematische wijze geordend.

Inhoud

1	Doelstellingen en opzet onderzoek	3
2	Uitgangspunten voor toetsing en randvoorwaarden	4
2.1	Uitgangssituatie.....	4
2.2	Toetsing waterstanden en stroomsnelheden.....	5
2.3	Grondwaterstanden	7
2.4	Vorm en afmetingen van de singels.....	7
2.5	Helofytenfilters	8
3	Varianten.....	9
3.1	Kenmerken varianten	10
3.2	Beschrijving van de varianten.....	17
4	Modelanalyses.....	27
4.1	Onderdelen.....	27
4.2	Kwelsituatie Lent.....	37
4.3	Afvoer ontwerpbuizen via singels naar centrale berging	41
4.4	Kwantitatieve modelberekeningen periode 1990 t/m 2000	47
4.5	Kwalitatieve modelberekeningen.....	63
5	Ecologie en mitigering.....	71
5.1	Ecologie	71
5.2	Mitigerende maatregelen	74
6	Conclusies en aanbevelingen	78
	Achtergrondinformatie.....	81
1	Uitgangspunten en randvoorwaarden	81
2	Benodigde berging in wadi's	91
3	Aanpassingen rioolstelsel dorp Lent in geval van droogvallende singels	93
4	Geotechnische aspecten dijkeruglegging.....	94
5	Resultaten modelberekeningen afvoer bui T = 10 jaar (plus 10%)	99
6	Kwantitatieve modelberekeningen periode 1990 t/m 2000, resultaten grondwater ...	108
7	Kwantitatieve modelberekeningen periode 1990 t/m 2000, resultaten oppervlaktewater	114
8	Kwalitatieve modelberekeningen.....	123
9	Verkenning effecten helofytenfilter	129
10	Potentiële watertypen Waalsprong	137
11	Beoordeling bouwstenen Waalsprong	146
12	Tekeningen varianten.....	148
	Literatuur.....	149
	Index	150

1 Doelstellingen en opzet onderzoek

In dit hoofdstuk zetten we de doelstellingen en de opzet van het onderzoek voor u uiteen.

Het Structuurplan Het land over de Waal [1] en de daaropvolgende plannen gaan voor de Waalsprong uit van een duurzaam watersysteem. Dit systeem houdt regenwater en afvalwater zo veel mogelijk gescheiden, heeft seizoensopslag in de vorm van plassen, waterretentie in de vorm van waterpartijen (singels en vijvers) in de woon- en werkgebieden en het maakt gebruik van huishoudwater. De doelstellingen, uitgangspunten en principes daarvan zijn vastgelegd in het Integraal waterplan voor de Waalsprong [2].

In deze bijlage beschrijven we de effecten van een duurzaam watersysteem. We geven aan welke alternatieven er mogelijk zijn zonder seizoensopslag in de vorm van plassen. We geven een beeld van de belangrijkste uitvoeringsvarianten van een watersysteem voor de Waalsprong en de voor- en nadelen daarvan.

We inventariseren en categoriseren de verschillende mogelijke functies en doelen van het watersysteem. De inventarisatie is beperkt tot de kwantitatieve aspecten. Vervolgens hebben we gezocht naar logische en uitvoerbare combinaties. Op basis hiervan maakten we uitvoeringsvarianten. Deze hebben we tot hoofdprincipes uitgewerkt.

We hebben de varianten verder uitgewerkt en in modellen berekend. We hielden daarbij rekening met aspecten als waterkwaliteit, ecologie en stedenbouw.

We bespraken de hoofdelementen en de uitvoeringsvarianten die we op basis daarvan samenstellen in workshops met betrokkenen. De hoofdelementen werkten we tot hoofdprincipes uit, zodanig dat deze in modellen berekend kunnen worden.

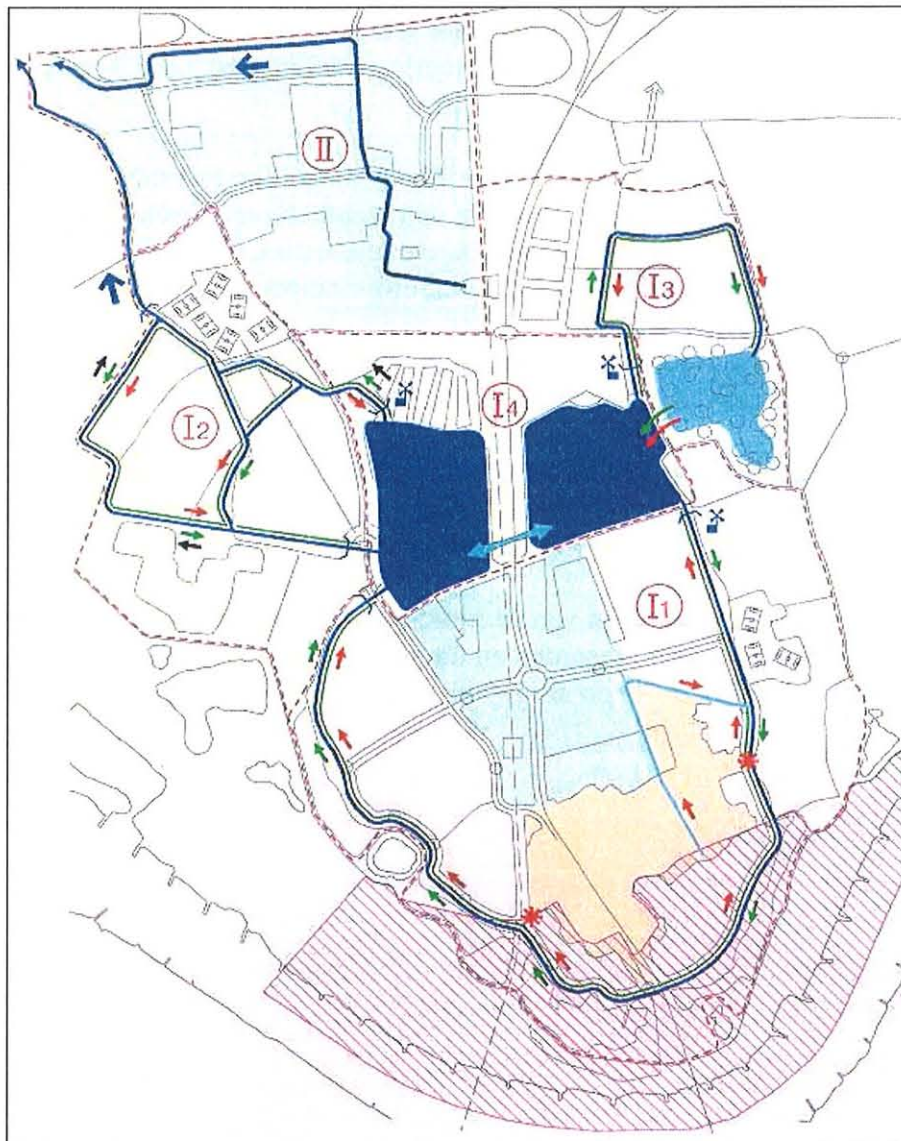
Een van de stappen in het opstellen van de uitvoeringsvarianten is het vaststellen van de waterhuishoudkundige randvoorwaarden en uitgangspunten die het Waterschap Rivierenland als wettelijke norm en als beleidsuitgangspunt heeft vastgesteld.

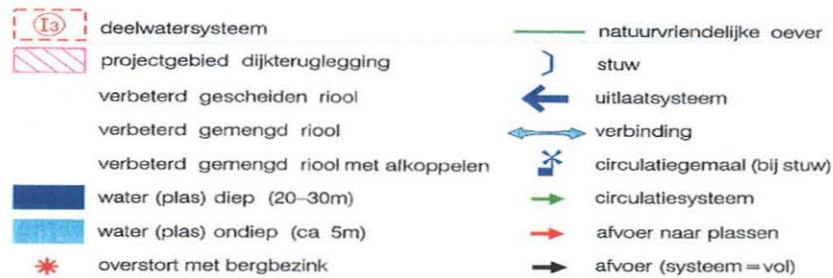
2 Uitgangspunten voor toetsing en randvoorwaarden

In dit hoofdstuk beschrijven de uitgangspunten en randvoorwaarden die we hebben gehanteerd in het onderzoek het watersysteem voor de Waalsprong. Eerst beschrijven we de uitgangssituatie. Daarna behandelen we achtereenvolgens de waterstanden, stroomsnelheden, grondwaterstanden, singels en helofytenfilters.

2.1 Uitgangssituatie

Uitgangspunt in deze bijlage is de Voorgenomen activiteit (zie figuur 1). Deze komt overeen met de situatie uit het *Integraal waterplan voor de Waalsprong* [2].





Figuur 1. Inrichting watersysteem Waalsprong bij Voorgenomen activiteit

In figuur 1 ziet u de volgende deelwatersystemen:

- I.1 Stadseiland;
- I.2 Oosterhout;
- I.3 Ressen;
- II Griftdijk.

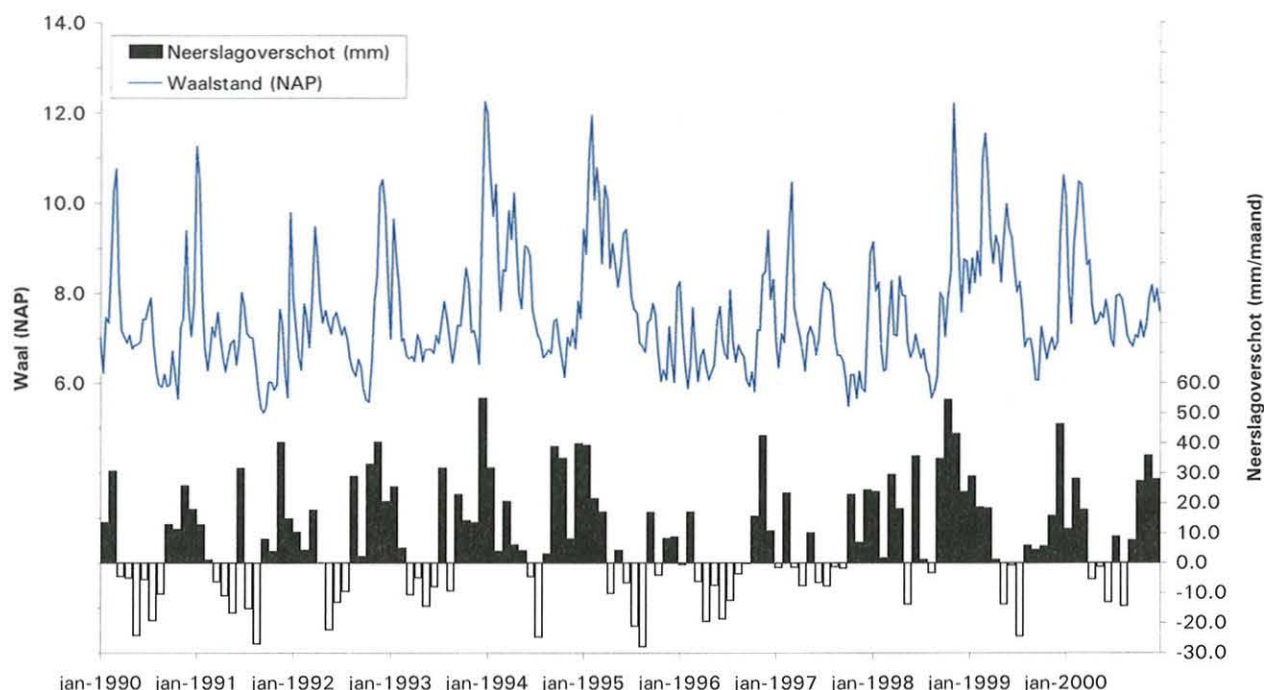
Als we in deze bijlage een vergelijking maken met de huidige situatie dan bedoelen we daarmee de situatie vóór aanleg van enig onderdeel van het watersysteem voor de Waalsprong.

2.2 Toetsing waterstanden en stroomsnelheden

We hebben de waterstanden en stromingssituaties in watergangen en centrale berging (plas of inundatiegebied) in de verschillende varianten getoetst met berekeningen van het gedrag van het watersysteem. De voornaamste randvoorwaarden en uitgangspunten voor de toetsing zijn:

- zombuibu Buishand & Velds T=10 jaar plus 10%, initiële waterstand NAP + 7,90 m;
- winterbui Buishand & Velds T=2 jaar plus 10%, initiële waterstand NAP + 8,30 m;
- Westlandbui, 100 mm in 24 uur, initiële waterstand NAP + 7,90 m;
- reeks neerslagoverschotten (verschil tussen neerslag en verdamping open water) en Waalstanden periode 1990 t/m 2000 (11 jaar), zie figuur 2.

Waalstand (decadecijfers) en Neerslagoverschot (maandcijfers) 1990-2000



Figuur 2. Reeks 1990 t/m 2000 (11 jaar) neerslagoverschot en Waalstand gebruikt bij berekeningen met gecombineerd grondwater- en oppervlaktewatermodel

We hebben de berekeningsresultaten onder meer getoetst op:

- drooglegging bij buien $T = 10$ jaar en $T = 2$ jaar $\geq 0,70$ m. Bij een minimale maaiveldhoogte NAP + 9,50 m (Stadseiland) betekent dit een maximale waterstand $\leq$ NAP + 8,80 m; voor Oosterhout een maximale waterstand $\leq$ NAP + 8,60 m;
- drooglegging bij reeks neerslag en Waalstanden 1990 t/m 2000 (11 jaar) gedurende maximaal 11 dagen $\leq 0,80$ m, 33 dagen $\leq 1,00$ m. Bij een minimale maaiveldhoogte NAP + 9,30 m (Oosterhout) betekent dit gedurende maximaal 11 dagen $\geq$ NAP + 8,50 m en maximaal 33 dagen $\geq$ NAP + 8,30 m;
- bij Westlandbui, 100 mm in 24 uur, minimale drooglegging 0,10 m;
- streefwaarde waterdiepte singels (niet droogvallend) $\geq 1,00$ m. Waterdiepte bij afvoerpeil 1,30 m. Waterdiepte bij reeks neerslag en Waalstanden 1990 t/m 2000 (11 jaar) gedurende maximaal 193 dagen (5%) $\leq 0,80$ m, 19 dagen (0,5%) $\leq 0,60$ m;
- maximale stroomsnelheid in singels bij bui $T = 10$ jaar is 0,40 m/s (duikers 0,80 m/s);
- minimale stroomsnelheid in singels bij droogweer situaties (circulatie) 0,01 m/s.
- overstortdrempels van rioolstelsels liggen minimaal 20 cm boven de berekende hoogste waterstand bij de bui $T = 10$ jaar. Als dit de maatgevende kritische factor blijkt en de maximale waterstand maar kort wordt bereikt moet er nader overleg plaatsvinden om dit criterium te nuanceren.

In het hoofdstuk Achtergrondinformatie (paragraaf 1) vindt u de gedetailleerde uitgangspunten voor berekeningen en toetsingsnormen.

2.3 Grondwaterstanden

Bij hoge Waalstanden is er in de huidige situatie in delen van Lent overlast door te hoge grondwaterstanden. Door de aanleg van het watersysteem van de Waalsprong in de Voorgenomen activiteit zullen de grondwaterstanden in de kern Lent bij hoge Waalstanden lager worden.

De eventuele dijkteruglegging veroorzaakt een toename van de kwel binnen het plangebied en Lent. We gaan er in deze bijlage van uit dat er binnendijs maatregelen worden getroffen zodat de kweloverlast in Lent niet ernstiger wordt dan in de Voorgenomen activiteit.

Bij het onderzoek naar deze maatregelen zijn we uitgegaan van de afvoergolf op de Waal van eind 1993 / begin 1994. De grondwaterstanden voor alle varianten hebben we berekend voor de reeks van neerslag en Waalstanden 1990 t/m 2000.

2.4 Vorm en afmetingen van de singels

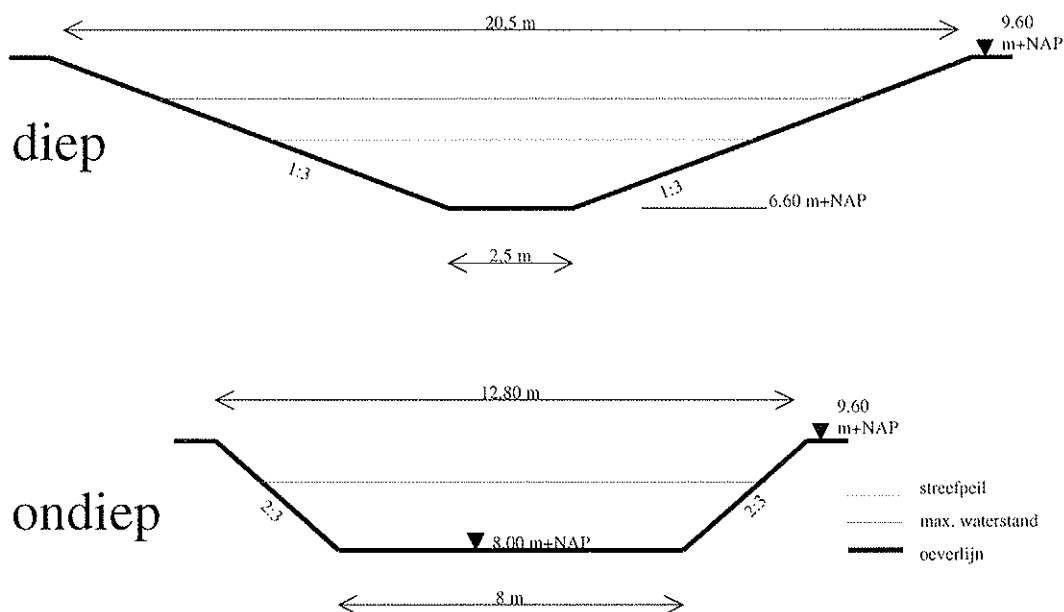
Voor de singels rond het Stadseiland zijn we bij de kwantitatieve berekeningen vooralsnog uitgegaan van de volgende minimale afmetingen van twee mogelijke uitvoeringsvormen (exclusief eventuele inspectiepaden).

1. Diep. Bodemniveau NAP + 6,60 m; bodembreedte = 2,5 m; taluds 1 op 3. Breedte insteek bij maaiveld op NAP + 9,60 m = 19,50 m.
2. Ondiep. Bodemniveau NAP + 8,00 m, breedte = 8 m, taluds 2 op 3. Breedte insteek bij maaiveld op NAP + 9,60 m = 11,80 m.

Deze afmetingen zijn definitief vast te stellen aan de hand van berekeningen. De minimale afmetingen zijn uitsluitend gebaseerd op stabiliteit- en veiligheidsoverwegingen. Aan de hand van andere overwegingen kunnen deze afmetingen bij nadere uitwerking van de varianten worden vergroot. Denk hierbij aan aspecten als waterkwantiteit, waterkwaliteit, ecologie en stedenbouw.

Indien bepaalde singels in de alternatieven groter zijn dan de hydraulisch noodzakelijke afmetingen of wanneer elementen worden toegevoegd, zal dit steeds onderbouwd dienen te worden.

Voor deze passen we het type rioolstelsel aan aan het water waarop wordt overgestort. Het is belangrijk dat we geen situaties accepteren waarin een gemengd rioolstelsel overstort op een mogelijk droogvallende watergang.



Figuur 3. Minimale afmetingen diepe en ondiepe droogvallende singels

2.5 Helofytenfilters

De Voorgenomen activiteit bevat 6,6 ha helofytenfilters in de vorm van natuurvriendelijke oevers in de singels van het Stadseiland en in woonpark Ressen. Andere varianten om de waterkwaliteit te verbeteren zijn mogelijk en we zullen deze nader onderzoeken. Denk bijvoorbeeld aan helofytenfilters in andere diepe singels, of geconcentreerd in de ecologische zone of de plassen.

We kunnen een helofytenfilter gebruiken voor de zuivering van water dat eventueel vanuit de Linge wordt aangevoerd, of voor de verbetering van de waterkwaliteit in plassen en singels in de perioden zonder aanvoer vanuit de Linge. De te onderzoeken varianten (ook de Voorgenomen activiteit) zijn alle zonder helofytenfilter. We zien de toepassing van zo'n filter als een mitigerende maatregel. We evalueren de effecten van deze filters.

3 Varianten

Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende varianten van het watersysteem voor de Waalsprong die we hebben onderzocht. Eerst geven we de kenmerken van de varianten, daarna beschrijven we alle onderzochte varianten.

Veel uitgangspunten en randvoorwaarden voor de waterhuishouding hebben betrekking op het bergen van water. Voor de Waalsprong onderscheiden we drie mogelijke functies van waterberging:

- retentie, voor het bergen van ontwerpbuizen (tijdschaal dagen tot 1 week);
- plusberging, voor lange natte perioden met veel kwel (tijdschaal maand);
- seizoensopslag, voor watergebruik in droge perioden (tijdschaal 1 jaar).

Een ontwerpbui is een maatgevende neerslaggebeurtenis die het watersysteem moet kunnen verwerken binnen gestelde normen. Retentie is de berging die nodig is om de afvoer vanuit de Waalsprong (naar de Linge) te beperken tot de afvoernorm van het waterschap.

Onder plusberging verstaan we een berging (boven de retentienorm van het waterschap) met het doel de benodigde afvoercapaciteit uit het gebied te verkleinen tot beneden de afvoernorm van het waterschap.

Seizoensopslag heeft tot doel om in droge perioden met lage Waalstanden het dalen van de waterspiegels in de watergangen te beperken. Het inlaten van water vanuit de Linge heeft datzelfde doel. We willen bepaalde minimale waterdieptes in de singels liever niet onderschrijven. Daarom verminderen we de benodigde in te laten hoeveelheden water met seizoensopslag en omgekeerd.

In de voorgaande studies is het inlaten van water vanuit de Linge in droge periodes niet als optie meegenomen. Het was onduidelijk of hiervoor voldoende water beschikbaar zou zijn. Daarnaast is water uit de Linge en in droge periodes ingelaten Rijnwater mogelijk van slechte kwaliteit.

Het gemaal bij Doornenburg zal waarschijnlijk de komende jaren worden vervangen en vergroot. Hierdoor wordt het waarschijnlijker dat water voor inlaten in de Waalsprong beschikbaar komt. Dit water is mogelijk van slechte kwaliteit en moet misschien gezuiverd worden. In de varianten hebben we nu wel rekening gehouden met de optie om water uit de Lingen in te laten.

We definiëren de varianten van het watersysteem op basis van de kwantitatieve aspecten van de waterhuishouding. Eerst bepalen we de afmetingen van de centrale buffer en singels op basis van noodzakelijke berging en hydraulische afmetingen. Bij de verdere uitwerking van de varianten kunnen we deze afmetingen bijstellen op grond van bijvoorbeeld waterkwaliteit, ecologie en stedenbouw.

3.1 Kenmerken varianten

Doelen en functies centrale berging

Een belangrijke vraag is of de plassen in de Waalsprong wel of niet aangelegd zouden moeten worden. De centrale berging heeft samen met de singels een retentiefunctie. De specifieke functies zijn plusberging en seizoensofslag. Deze moeten de afvoer uit het gebied en de opslag van water voor gebruik in droge perioden verminderen en aanvoer van water van elders voorkomen.

In de Waalsprong wordt het opgeslagen water vooral gebruikt om in droge perioden de singels op peil te houden. We onderscheiden drie combinaties van bergingsfuncties voor de centrale buffer in de varianten die we onderzoeken.

1. handhaven van alle functies retentie, plusberging en seizoensofslag;
2. laten vallen van de functie seizoensofslag water; de functies plusberging en retentie blijven gehandhaafd; afvoer uit het gebied: 0,5 l/s/ha (inclusief kwel);
3. laten vallen van de functies plusberging en seizoensofslag; de enige functie is retentie; afvoer uit gebied volgens normstelling van het waterschap: 1,5 l/s/ha (inclusief kwel).

We kunnen deze combinaties eventueel combineren met de aanvoer van water vanuit de Linge. Bij de combinatie met wateraanvoer voegen we de letter 'a' toe aan de code van de variant.

Uitvoeringsvormen open water

De varianten worden vooral gekenmerkt door de uitvoeringsvormen en afmetingen van de elementen van het oppervlaktewater (centrale buffer en singels). We onderscheiden drie uitvoeringsvormen met de volgende mogelijke variaties.

1. Uitvoeringsvorm centrale waterbuffer (al dan niet gecombineerd met waterinlaat vanuit de Linge)

- a. plassen diepte 30 m – mv (NAP – 20 m),
- b. plassen diepte 5 m – mv (NAP + 4 m),
- c. lokale maaiveldverlaging (NAP + 8,0 m),
- d. geen centrale buffer.

De diepte van de plassen is in het huidige plan circa 30 meter. Deze diepte is gebaseerd op zandwinning. Plassen met een geringere waterdiepte (circa 3 m, of 5 m beneden maaiveld) kunnen ook alle bergingsfuncties vervullen. De functies retentie en plusberging (maar niet de functie seizoensofslag) kunnen ook worden gerealiseerd door maaiveldverlaging van een inundatiegebied. Alle uitvoeringsvormen kunnen worden gecombineerd met waterinlaten vanuit de Linge.

2. Uitvoeringsvorm singels

- a. diepe singels, met een eigen stuwpeil, op peil gehouden met water vanuit de plas;
- b. diepe singels, in open verbinding met de plas;
- c. droogvallende (ondiepe) singels.

In het huidige plan hebben de singels een eigen stuwpeil. Zij blijven in droge perioden op peil met water uit de plassen. Als dat niet het geval is, dan zullen de waterpeilen in de singels (samen met het waterpeil in de plas) dalen. De frequentie van optreden van geringe waterdieptes zullen we nader onderzoeken en toetsen aan de gestelde normen. Als alternatief kunnen we singels bewust droogvallend maken bij het streefpeil, of nog dieper maken. De huidige singels liggen echter al zeer diep beneden het maaiveld (bodemniveau 3 m beneden maaiveld). Slechts een zeer beperkte verlaging van het bodemniveau is acceptabel.

3. Toedeling retentie oppervlak singels

- a. afvoernorm singels naar plassen,
- b. afvoerberekening singels naar plassen.

In de Voorgenomen activiteit is de benodigde retentie in de singels aan de hand van een afvoernorm vanuit de singels naar de plassen van 2,5 l/s/ha bepaald. Dit is iets hoger dan de norm voor de totale afvoer vanuit het plangebied. Het zorgt echter bij voldoende grootte van de centrale berging toch voor een aanzienlijke vergroting van de singels in vergelijking met de situatie waarin we de afmetingen van de singels baseren op afvoerberekeningen bij ontwerpbuilen. In alle varianten die we hebben bekeken – behalve de Voorgenomen activiteit – gaan we dan ook uit van optimalisering van de singels door een afvoerberekening.

Bij deze optimalisering van het singeloppervlak is het erg belangrijk dat we de centrale berging (plassen en inundatiegebied) tijdig aanleggen. Dit moet zo gebeuren dat het bergend oppervlak toeneemt tot de geplande eindwaarde, die evenredig is met de toename van het bebouwde oppervlak.

Tc onderzoeken varianten

Een variant bestaat uit een van de genoemde combinaties van functies van de centrale buffer, al dan niet in combinatie met wateraanvoer vanuit de Linge, plus een combinatie van de drie uitvoeringsvormen van open water (zie paragraaf 3.1). Bij iedere combinatie van functies is in principe iedere combinatie van uitvoeringsvormen mogelijk. Veel van deze combinaties zijn echter niet logisch, bijvoorbeeld de functie seizoensopslag met uitvoeringsvorm zonder centrale buffer.

We duiden varianten aan met een combinatie van twee codes. De eerste heeft betrekking op de functiecombinatie, de tweede op de combinatie van uitvoeringsvormen van open water.

De zuivering van eventuele wateraanvoer vanuit de Linge vergt relatief veel ruimte en is kostbaar. We zijn uitgegaan van zuivering in een helofytenfilter met een maximale grootte van 20 ha. Een dergelijk filter zuivert naar schatting per hectare 250 m³/dag. In varianten met aanvoer vanuit de Linge is de aanvoercapaciteit van gezuiverd water gesteld op maximaal 5000 m³/dag.

We hebben gezocht naar varianten die uitersten vormen, zodat we met een minimaal aantal varianten de belangrijkste effecten van de variaties goed konden weergeven.

Bij de toedeling van retentieoppervlak aan singels kiezen we bij alle varianten, behalve de Voorgenomen activiteit, voor de afvoerberekening als de basis. Daarmee kunnen we dan de minimaal noodzakelijke hydraulische afmetingen vaststellen. In vergelijking met de Voorgenomen activiteit kunnen we zo de consequenties duidelijk in beeld brengen.

Voor de functiecombinatie I komen logischerwijze uitsluitend de diepe plas en de ondiepe plas als centrale buffer in aanmerking in combinatie met diepe singels die op peil worden gehouden. De diepte van de centrale buffer is uitsluitend van belang voor de te berekenen waterhoeveelheden en -peilen door de iets grotere kwelhoeveelheden bij een diepe buffer. Functiecombinatie I heeft de volgende combinaties van uitvoeringsvormen.

1. diepe plas, diepe op peil gehouden singels, afvoernorm singels;
2. Ondiepe plas, diepe op peil gehouden singels, afvoerberekening.

Dit zijn de twee uiterste, logische combinaties van uitvoeringsvormen. Variant I.1 is de Voorgenomen activiteit. Deze veroorzaakt het grootste wateroppervlak en de grootste kwelhoeveelheden (bij een bepaalde waterstand). Variant I.2 wijkt hiervan af door de diepte van de plas en de optimalisering van het singeloppervlak.

Bij de functiecombinaties II en III (zonder seizoensopslag) zijn 'diepe op peil gehouden singels' ongewenst.

Bij de functiecombinatie II is de functie plusberging nog wel aanwezig. Er is meer berging nodig dan de normale retentie. Geen centrale buffer is voor deze varianten niet logisch. We kunnen de singels uitvoeren als diepe singels in open verbinding met de plas en als droogvallende singels. Functiecombinatie II heeft de volgende combinaties van uitvoeringsvormen.

3. diepe plas, diepe singels in open verbinding met plas, afvoerberekening;
4. verlaagd maaiveld, droogvallende singels, afvoerberekening.

Dit zijn de twee uiterste logische combinaties van uitvoeringsvormen. Deze varianten beschouwen we zowel zonder (II.3 en II.4) als met wateraanvoer vanuit de Linge (II.3.a en II.4.a). Bij variant II.3 zijn de waterverliezen bij lage Waalstanden veel groter dan bij variant II.4. Variant II.4 is de variant met de kleinste waterverliezen. Voor beide varianten stelden we de aanvoercapaciteit vanuit de Linge op maximaal 5000 m³/dag.

Bij de functiecombinatie III is, boven het normale retentieoppervlak binnen een plan, geen extra bergend oppervlak nodig. De afvoer vanuit het plangebied is hier gelijk aan de norm van de waterbeheerder.

Voor de centrale buffer komen alle uitvoeringsvormen in aanmerking. Functiecombinatie III heeft de volgende combinaties van uitvoeringsvormen.

3. diepe plas, diepe niet op peil gehouden singels, afvoerberekening;

5. geen plas, droogvallende singels, afvoerberekening.

Dit zijn de twee logische combinaties van uitvoeringsvormen (varianten III.3 en III.5). Geen plas immers betekent ook geen seizoensopslag. In dat verband zijn alleen droogvallende singels mogelijk. Op zijn beurt maakt een plas seizoensopslag en daarmee watervoerende singels mogelijk.

Naast de drie beschouwde functiecombinaties die gelden voor de totale Waalsprong zijn ook mengvormen mogelijk, waarbij verschillende functiecombinaties gelden voor verschillende gebieden. We duiden deze hierna aan met de code IV. Hoewel deze valt binnen de uitersten van de hiervoor beschreven varianten hebben we één logische combinatie als afzonderlijke variant beschreven: variant IV.6.

Variant IV.6 gaat uit van de volgende combinatie van uitvoeringsvormen.

6. Alle functies van de centrale berging handhaven, de seizoensopslag is echter uitsluitend bedoeld voor de reeds aangelegde diepe singels. Deze worden vanuit een relatief kleine plas op peil gehouden. De nog aan te leggen singels worden droogvallend. Als de afmetingen van de plas en singels onvoldoende plusberging omvatten om te voldoen aan de gereduceerde afvoernorm 0,5 l/s/ha dan zal naast de plas een inundatiegebied worden ingericht.

In totaal hebben we zeven basisvarianten geselecteerd om te onderzoeken. Deze varianten kunnen al dan niet worden gecombineerd met wateraanvoer of met de dijkteruglegging. In het geval van wateraanvoer wordt de codering uitgebreid met de letter a, bij dijkteruglegging met de letter D. We hebben de effecten van de dijkteruglegging en waterinlaat maar voor een beperkt aantal varianten berekend. Toch kunnen we hieruit voor alle varianten conclusies trekken.

Tabel 1 geeft een overzicht van de karakterisering van deze varianten. Deze tabel geeft de variatie van toedeling van retentieoppervlak aan de singels niet weer. In alle beschouwde varianten, behalve de Voorgenomen activiteit, gaan we uit van optimalisering van de singels door een afvoerberekening.

Voor de varianten hebben we typen rioolstelsels en stelsels voor afgekoppeld regenwater niet onderscheiden. We komen hierop terug in paragraaf 3.1.

Tabel 1. Te onderzoeken varianten

Variant	Functies van de centrale buffer	Uitvoeringsvormen											
		Centrale buffer				Linge		Singels		Dijk			
Code en karakterisering		Diepe plas	Ondiepe plas	Verlaagd maaiveld	Minimale plas	Geen wateraanvoer	Wel wateraanvoer	Diep / voeding plas	Diep / geen voeding	Ondiep / droogvallend	Niet teruggelegd	Wel teruggelegd	
I.1 Huidige plan	Retentie / Plusberging / Seizoensbuffer	X				X		X			X		
I.2 Ondiepe plas				X			X		X			X	
II.3 Alles diep	Retentie en Plusberging	X				X			X		X		
II.3.a		X					X		X		X		
II.3.aD		X					X		X			X	
II.4 Alles ondiep					X		X				X	X	
II.4.a					X			X			X	X	
II.4.D					X		X				X		X
II.4.aD					X			X			X		X
III.3 Alles diep	Retentie	X				X			X		X		
III.3.D		X				X			X			X	
III.5 Alles ondiep						X	X				X	X	
IV.6 Combinatie	R / P / S deel gebied		X	X		X		X		X	X		

Riolering

In dit onderzoek wordt het type rioolstelsel aangepast aan het water waarop wordt overgestort. Het is belangrijk dat we geen situaties accepteren waarin een gemengd rioolstelsel overstort op een mogelijk droogvallende watergang. In de Voorgenomen activiteit worden overal gemengde rioolstelsels toegepast, die overstorten op diep water.

Als we de singels rond het Stadseiland droogvallend aanleggen dan moeten we het bestaande rioolstelsel van de kern Lent aanpassen. De omvang van deze aanpassingen vindt u in het hoofdstuk Achtergrondinformatie, paragraaf 3.

Als de nog te ontwikkelen woon- en werkgebieden overstorten op droogvallende watergangen, dan moeten we deze voorzien van verbeterd gescheiden rioolstelsels. Naast de geplande gemengde rioolstelsels koppelen we binnen de woon- en werkgebieden circa 80% van het oppervlak van daken en wegen af. Ook binnen de verbeterd gescheiden rioolstelsels streven we naar maximaal afkoppelen.

We passen verbeterd gescheiden rioolstelsels toe in combinatie met een wadi-systeem. Omdat we in het overgrote deel van de woon- en werkgebieden geen verhard oppervlak op het riool aansluiten heeft het huidige gemengde stelsel toch al overwegend het karakter van een DWA-stelsel (Droog Weer of vuilwater Afvoer). Als we in de relatief kleine gebieden met verhard oppervlak, die we niet mogen of kunnen afkoppelen, een

apart RWA-rioolstelsel (RegenWaterAfvoer) met eigen overstorten leggen, kunnen de overstorten in het voormalig gemengde rioolstelsel verdwijnen en wordt dit een DWA-stelsel. Met als voorbeelden Visveld blijkt slechts op een beperkt aantal plaatsen een RWA-riool nodig te zijn (hetzij in te pompen op DWA of afvoeren naar gemaal met terugslagklep). Dit is goed uitvoerbaar.

Als we dat willen, kunnen we Visveld alsnog als verbeterd gescheiden uitvoeren. Dit moeten we wel op korte termijn beslissen.

Om beheertechnische redenen mogen geen drie soorten afvoerleidingen in één woon- en werkgebied voorkomen. Afvoer van daken die langs wegen ligt die aansluiten op een RWA-riool moet dan ook op dit RWA-riool aansluiten. Hierdoor neemt het verhard oppervlak waarvoor poc (pompoevercapaciteit in het rioostelsel) beschikbaar moet zijn iets toe. De relatieve poc neemt echter af van 0,75 mm/h tot 0,3 mm/h. Per saldo zullen de absolute pompcapaciteiten benodigd voor gemengde en verbeterd gescheiden stelsels ongeveer gelijk zijn.

Het is waarschijnlijk haalbaar om verbeterd gescheiden rioolstelsels toe te passen in de woon- en werkgebieden. In nagenoeg alle straten zal alleen maar een DWA-riool worden gelegd. In slechts enkele straten is ook een RWA-riool nodig.

Stelsel voor afgekoppeld regenwater

Volgens de Voorgenomen activiteit zal binnen de Waalsprong binnen de nieuwe woon- en werkgebieden circa 80% van het oppervlak van daken en wegen worden afgekoppeld van het rioolstelsel. Het waterschap en de gemeente hebben het transportsysteem naar de zuivering hierop afgestemd. Wadi's zuiveren het afstromende regenwater van straten voordat dit infiltreert en afstroomt naar de watergangen.

De Voorgenomen activiteit bevat een afvoerstelsel naar de wadi's waarbij de afstroming zo lang mogelijk zichtbaar en daardoor controleerbaar is. Nadeel is een lange afvoerweg over straten met noodzakelijke hoogteverschillen binnen het wegenplan en de bouwblokken. Als secundaire functie leveren de wadi's ook een bijdrage aan de retentie. Bij de kwantitatieve berekeningen houden we hiermee geen rekening. Deze bijdrage is wat ruimtegebruik betreft echter veel minder effectief dan berging in de watergangen.

Voor het afkoppelen zijn ook andere systemen mogelijk dan die we nu hebben gekozen. Het water moet wel voldoende zichtbaar zijn. Dat voorkomt (onbedoeld) misbruik. Foutieve aansluitingen zullen dan direct opvallen, en er is bij de bewoners een groter besef dat het water na inzameling niet 'weg' is.

Een alternatief dat hieraan voldoet en ook het zuiverende element handhaaft, is het water van daken per woning met open gootjes naar instroomelementen in de wegen af te voeren. Buizen voeren het afgekoppelde water van daken en wegen ondergronds af naar de watergangen, die zijn voorzien van filterbermen (achter zomerdijkjes). Deze

filterbermen fungeren bij laag water als wadi's; bij hoge afvoeren maken zij deel uit van de watergang.

Het is een nadeel dat filterbermen alleen functioneren als wadi's bij niet te grote buien en lage waterstanden. Bovendien vermengen hierdoor de functies en taken van beheerders binnen de singels. Ook het mogelijk opwoelen van uitgefilterd materiaal bij stijging van de waterspiegel en hogere stroomsnelheden in de singel is een nadeel. Voordelen zijn een belangrijke ruimtewinst en minder complexe situaties door het ontbreken van afschot in de straten.

Voor mogelijkheden van het ondergronds transport van afgekoppeld regenwater zijn drie aspecten van belang:

1. de beschikbare ondergrondse ruimte,
2. kruisingen met andere leidingen,
3. het beschikbare verval over het buizenstelsel.

Bij aspect 1 is het van belang dat alle soorten afvoerleidingen bijna nergens gelijktijdig in dezelfde straat voorkomen. Waar dit toch dreigt te gebeuren, kunnen we dit over het algemeen voorkomen met relatief kleine aanpassingen, zoals het aansluiten van geringe hoeveelheid schoon oppervlak op een verbeterd gescheiden stelsel. Toch zullen in combinatie met het rioolstelsel dan in bijna iedere straat twee waterafvoerleidingen voorkomen. De huidige wegprofielen zijn te krap voor deze beide leidingen en zullen moeten worden verbreed.

Bij aspect 2 komt de leiding voor afgekoppeld water op dezelfde hoogte te liggen als de stadsverwarming- en waterleidingen. Oplossing van deze knelpunten heeft financiële gevolgen.

Het beschikbare verval over het buizenstelsel (aspect 3) is zeer gering. De buizen van het afkoppelstelsel lozen op filterbermen in de singels met bok buis op NAP + 8,0 m. Er is slechts een bodemverhang van circa 0,5 ‰ beschikbaar als we uitgaan van een maximale buis PVC DN 630 mm, een minimale buis PVC DN 315 mm, een minimum straatniveau van NAP + 9,60 m, een dekking van circa 1 m en een afstand van 600 tot 700 m vanaf de verst weg gelegen woningen tot aan het lozingspunt op de filterberm in de singel. Een afschot van 0,5 ‰ is te gering om vervuiling te voorkomen.

Niet alle nadelen en bezwaren die we noemen zijn direct doorslaggevend voor afwijzing van de optie van ondergrondse afvoer naar filterbermen. Deze bezwaren moeten we verder onderzoeken om het gewicht ervan duidelijk te maken. Er zijn echter twee bezwaren die wel direct doorslaggevend zijn om zonder nader onderzoek de optie af te wijzen.

- Het waterschap ziet het risico van opwoelen van vuil uit filterbermen bij hogere afvoeren in de singels als een ernstige bedreiging voor de waterkwaliteit.
- Het te geringe afschot van het buizenstelsel veroorzaakt ongewenste sedimentatie en vervuiling van dit stelsel.

Het nu geplande wadi-stelsel heeft 20 mm berging. Deze berging wordt voor toekomstige plannen teruggebracht tot 10 mm. De onderbouwing hiervoor vindt u in het hoofdstuk Achtergrondinformatie, paragraaf [2]. Wadi's moeten voldoende 'slokops' hebben om opwoeling van gesedimenteerde stoffen te voorkomen.

Aanpassing bestaand gebied bij droogvallende watergangen

Om bij de varianten II.4, III.5 en IV.6, met ondiepe droogvallende singels, de diepe singel bij Visveld te kunnen circuleren moeten we een aparte kleine lus aanleggen. Daarvoor moeten we het benedenstrooms gelegen deel van de gracht door Lent verdiepen en een diepe verbinding maken naar de 'stadsvaart'. Deze verbinding kan er alleen komen als de Prins Mauritssingel niet verdiept aangelegd wordt. Voor deze watergangen is zeer weinig ruimte; alleen watergangen met harde kaden zijn mogelijk.

Het bergbezinkriool Laauwikstraat van de bestaande kern Lent ligt iets ten zuiden van het lozingspunt van de gracht door Lent op de singel rond het Stadseiland. Dit betekent dat bij toepassing van droogvallende singels vanaf dit basin naar dit lozingspunt een overstortleiding moet worden aangelegd.

De geplande gemengde overstort van Visveld op de 'stadsvaart' kunnen we eenvoudig opheffen.

De overstort bij de Parallelweg (bij de kruising van de singel met de spoorlijn) moet ook worden opgeheven. Paragraaf 3 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie geeft de resultaten van een berekening het rioolstelsel. De noodzakelijke aanpassingen houden in dat we:

- 715 m riool moeten vergroten tot DN 1000 mm en DN 1250 mm;
- het geplande bassin Parallelweg niet aanleggen, maar vervangen door een aanvullend bassin in de waterloop achter het bassin Laauwikstraat;
- de drempelhoogtes (intern en extern) van het bergbezinkriool Laauwikstraat aanpassen en de overstortleiding achter dit bassin verlengen tot in de diepe singel. In een bypass rond het eerste bassin realiseren we een aanvullende bergbezinkvoorziening.

De laagste maaiveldniveaus in de bestaande kern Lent liggen op NAP + 9,50 m. Bij de Parallelweg is één dipje naar NAP + 9,37 m aanwezig. De huizen liggen daar hoger en dit is dan ook geen maatgevende hoogte.

3.2 Beschrijving van de varianten

In deze paragraaf beschrijven we de te onderzoeken varianten. We geven de varianten schematisch weer in de figuren 4 t/m 10. Voor deze figuren geldt:

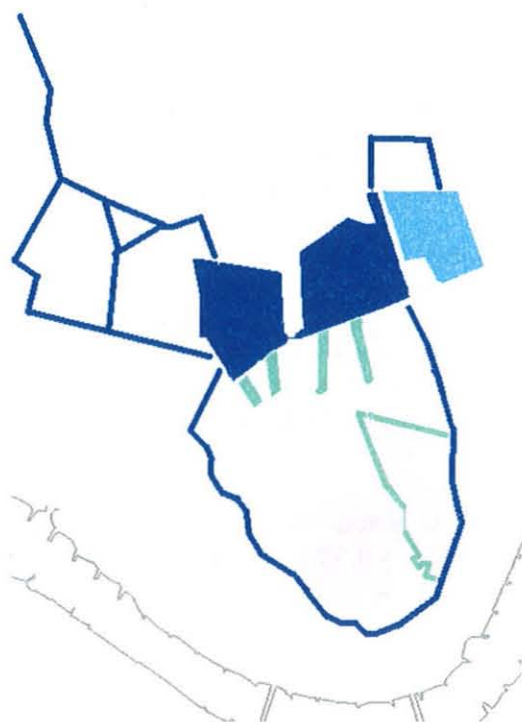
- donkerblauw: → diepe plas (30 m), of diepe singel (1 m) gestuwd en op peil NAP + 7,60 m gehouden;
- lichtblauw: → ondiepe plas (3m) of diepe singel in open verbinding met de plassen;
- groen: → inundatiegebied of droogvallende singel.

De figuren 4 t/m 10 zijn een globale visualisatie van de varianten en tonen alleen de uitvoeringsvormen van de centrale berging en de singels. Hierdoor kunnen bij één figuur verschillende varianten horen. De figuren zijn afgeleid van de Voorgenomen activiteit zonder dijkteruglegging. Om de wijzigingen in de loop van de singels te illustreren toont figuur 10 variant II.3 met dijkteruglegging.

De oppervlakken van plassen en singels zijn hier overal gelijk getekend. Tijdens het onderzoek hebben we deze op basis van berekeningsresultaten bijgesteld. Paragraaf 12 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie toont een meer gedetailleerde weergave van de verschillende varianten. In die tekeningen hebben we ook stroomrichtingen en kunstwerken opgenomen.

De wateroppervlakken in dit onderzoek liggen op het niveau NAP + 8,0 m. In niet-droogvallende singels creëren we een watercirculatie. In geen van de onderzochte varianten wordt water voor de levering van huishoudwater onttrokken.

Variant I.1



Figuur 4. Variant I.1

Variant I.1 is de Voorgenomen activiteit. In variant I.1 zijn alle singels diep (bodem op NAP + 6,60 m), behalve de bestaande gracht door Lent. De plassen zijn diep (circa 30 m), behalve de meest oostelijk gelegen Zandse plas (natuurontwikkeling).

In variant I.1 hebben de plassen de functies retentie, plusberging en seizoensopslag. Het water in de plassen houdt in droge perioden de singels op peil (stuwpeil NAP + 7,6 m).

Boven het niveau NAP + 7,90 m wordt met een beweegbare stuw water afgevoerd naar de Linge. De afvoer naar de Linge is beperkt tot 430 l/s (0,5 l/s/ha over bruto oppervlak 860 ha, inclusief kwel).

De singels hebben een totaal oppervlak van 17 ha, dat wordt bepaald door de benodigde retentie bij een afvoernorm van 2,5 l/s/ha voor de singels. De singels in het noordwesten van de Waalsprong (woonpark Oosterhout) en aan de noord-oostrand van het Stadseiland (Visveld) zijn al aangelegd. Deze zijn diep. Ook de nog aan te leggen singels rond het Stadseiland zullen diep zijn. De singels rond het Stadseiland krijgen een kleiafdichting. Het relatief vuile deel van het verhard oppervlak is gemengd gerioleerd.

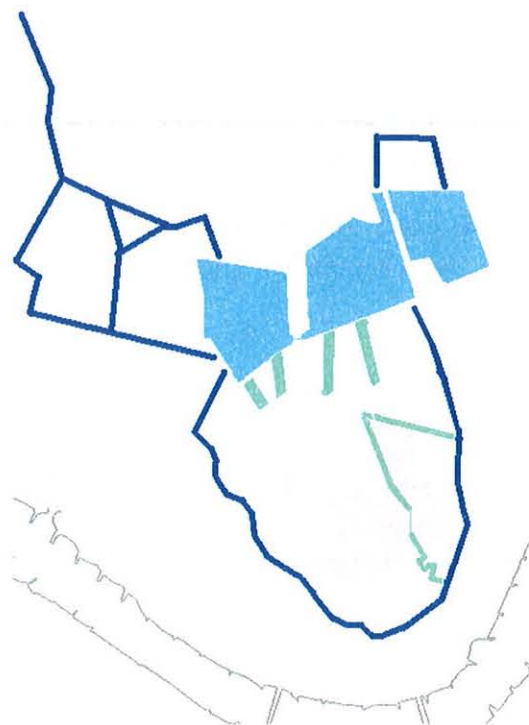
De plassen hebben een totaal oppervlak van 90 ha. Hiervan blijven 13 ha op peil. Die maken dus geen deel uit van de seizoensbuffer (Zandse Plas).

Variant I.2

Variant I.2 komt op twee uitzonderingen na overeen met het huidige plan.

- De plas is ondiep (bodem op NAP + 4 m).
- De singels worden gedimensioneerd op basis van een afvoerberekening en zijn daardoor kleiner.

Ook in variant I.2 hebben de plassen de functies retentie, plusberging en seizoensopslag. Het water in de plassen houdt in droge perioden de singels op peil (stuwpeil NAP + 7,6 m) en rond het Stadseiland krijgen de singels een kleiafdichting.



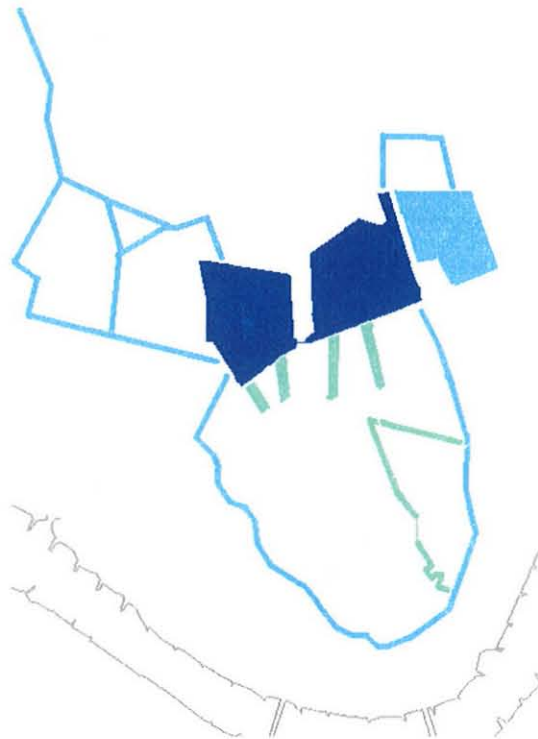
Figuur 5. Variant I.2

Variant II.3

In variant II.3 bestaat de centrale berging uit diepe plassen. De singels zijn diep, maar worden niet op peil gehouden (open verbinding met plassen). In variant II.3 hebben de plassen de functies retentie en plusberging. Boven het niveau NAP + 7,90 m wordt met een beweegbare stuw water afgevoerd naar de Linge. De afvoer naar de Linge is beperkt tot 430 l/s (0,5 l/s/ha over bruto oppervlak 860 ha, inclusief kwel).

Het oppervlak van plassen kan waarschijnlijk kleiner worden dan in variant I.2 (en variant I.1). Geen enkele singel krijgt een kleiafdichting (behalve waar deze al is aangebracht). De minimale waterdiepte in de singels stellen we vast door berekening.

Het relatief vuile deel van het verharde oppervlak is gemengd gerioleerd.



Figuur 6. Variant II.3

Variant II.3a

Variant II.3a stemt volledig overeen met variant II.3, behalve dat er in droge perioden water wordt aangevoerd vanuit de Linge (maximaal 5000 m³/dag). Hierdoor wordt de minimale waterdiepte in droge perioden minder kritisch. De schematische figuur is gelijk aan de figuur van variant II.3.

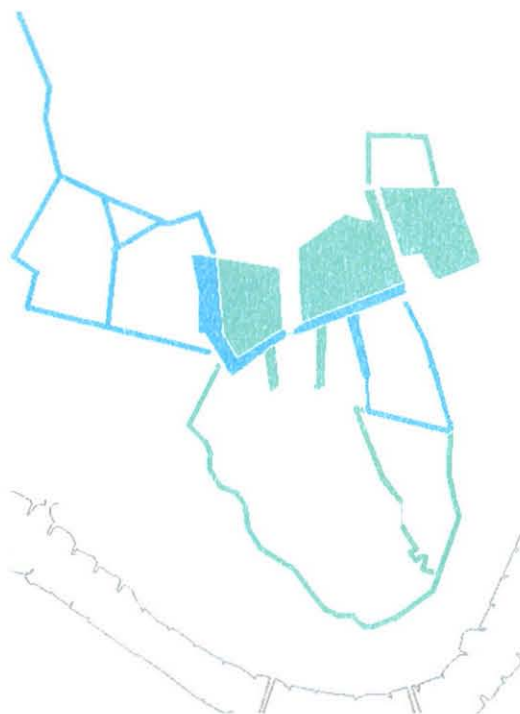
Variant II.4

In variant II.4 is de centrale berging een inundatiegebied (op NAP + 8,00 m) en zijn de singels zoveel mogelijk droogvallend. In variant II.4 heeft het inundatiegebied de functies retentie en plusberging. Boven het niveau NAP + 7,90 m wordt met een beweegbare stuw water afgevoerd naar de Linge. De afvoer naar de Linge is beperkt tot 430 l/s (0,5 l/s/ha over bruto oppervlak 860 ha, inclusief kwel).

De watergangen in het noordwesten van de Waalsprong (woonpark Oosterhout) en aan de noord-oostrand van het Stadseiland (Visveld) blijven diep. Om ook hier water te kunnen circuleren, creëren we rond Visveld een gesloten ring van diepe singels. Dit is echter alleen mogelijk als de Prins Mauritssingel niet verdiept wordt aangelegd. De diepe singels zijn al grotendeels aangelegd. Onder meer gemengde rioolstelsels van relatief vuile oppervlakken storten hierop over. Geen enkele singel krijgt een kleiafdichting

(behalve waar deze al is aangebracht).

De rioolstelsels in de nog aan te leggen gebieden worden verbeterd gescheiden. We laten het rioolstelsel van de bestaande kern Lent gemengd, maar passen het zodanig aan dat uitsluitend wordt overgestort op diepe watergangen (vergroten riolen en aanleg overstortleiding). Ook de recent gerealiseerde bebouwing (woonpark Oosterhout en Visveld) blijft gemengd gerioleerd (relatief vuile oppervlakken).



Figuur 7. Variant II.4

Variant II.4a

Variant II.4a stemt volledig overeen met variant II.4, behalve dat er in droge perioden water wordt aangevoerd vanuit de Linge (maximaal 5000 m³/dag). Hierdoor wordt de minimale waterdiepte in droge perioden minder kritisch. De schematische figuur is gelijk aan de figuur van variant II.4.

Variant III.3

In variant III.3 bestaat de centrale berging uit diepe plassen. De singels zijn diep maar worden niet op peil gehouden. De uitvoeringsvormen van centrale berging en singels zijn gelijk aan die van variant II.3. Hierdoor is ook de schematische figuur hetzelfde.

In variant III.3 hebben de plassen alleen nog de functie retentie. Boven het niveau NAP + 7,90 m wordt water afgevoerd naar de Linge met een beweegbare stuw. De afvoer naar de Linge is beperkt tot 1290 l/s (1,5 l/s/ha over bruto oppervlak 860 ha, inclusief kwel).

Het oppervlak van de plassen kan kleiner worden dan in variant II.3. Geen enkele singel krijgt een kleiafdichting (behalve waar deze al is aangebracht). Relatief vuile oppervlakken zijn gemengd gerioleerd.

Variant III.5

In variant III.5 is er geen centrale berging en zijn de singels zoveel mogelijk droogvallend. Alle retentie moet hier binnen de singels komen. Boven het niveau NAP + 7,90 m wordt met een beweegbare stuw water afgevoerd naar de Linge. De afvoer naar de Linge is beperkt tot 1290 l/s (1,5 l/s/ha over bruto oppervlak 860 ha, inclusief kwel).

De singels in het noordwesten van de Waalsprong (woonpark Oosterhout) en aan de noordostrand van het Stadseiland (Visveld) blijven diep. Om ook hier water te kunnen circuleren creëren we rond Visveld een gesloten ring van diepe singels. Dit is echter alleen mogelijk als Prins Mauritssingel niet verdiept aangelegd wordt. We hebben de diepe singels al grotendeels aangelegd. Hierop storten onder meer gemengde rioolstelsels van relatief vuile oppervlakken over. Geen enkele singel krijgt een kleiafdichting (behalve waar deze al is aangebracht).



Figuur 8. Variant III.5

De rioolstelsels in de nog aan te leggen gebieden worden verbeterd gescheiden. We laten het rioolstelsel van de bestaande kern Lent gemengd, maar passen het zodanig aan dat uitsluitend wordt overgestort op diepe watergangen (vergroten riolen en aanleg overstortleiding). Ook de recent gerealiseerde bebouwing (woonpark Oosterhout en Visveld) blijft gemengd gerioleerd.

Variant IV.6

In variant IV.6 bestaat de centrale berging uit een relatief kleine ondiepe plas, eventueel uitgebreid met een inundatiegebied. De plas heeft de functies retentie, plusberging en seizoensopslag. De seizoensopslag is echter uitsluitend bedoeld om de al aangelegde diepe singels op peil te houden. De nog aan te leggen singels worden droogvallend. Als de afmetingen van de plas en singels onvoldoende plusberging omvatten om te voldoen aan de gereduceerde afvoernorm 0,5 l/s/ha, dan richten we naast de plas een inundatiegebied in.

Boven het niveau NAP + 7,90 m wordt water afgevoerd naar de Linge met een beweegbare stuw. De afvoer naar de Linge is beperkt tot 500 l/s (0,5 l/s/ha over een bruto oppervlak 1000 ha, inclusief kwel).

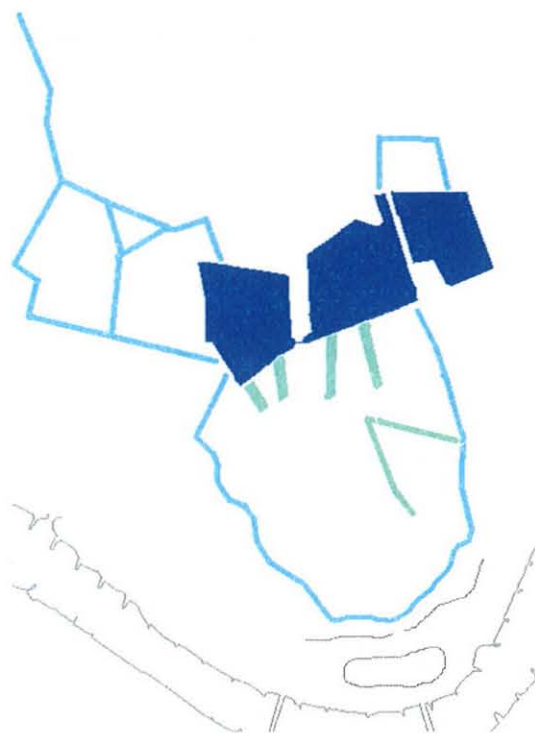
De singels in het noordwesten van de Waalsprong (woonpark Oosterhout) en aan de noordostrand van het Stadseiland (Visveld) blijven diep. Om ook hier water te kunnen circuleren creëren we rond Visveld een gesloten ring van diepe singels. Dit is echter alleen mogelijk als we de Prins Mauritssingel niet verdiept aanleggen. We hebben de diepe singels al grotendeels aangelegd. Hierop storten onder meer gemengde rioolstelsels van relatief vuile oppervlakken over. Geen enkele singel krijgt een kleiafdichting (behalve waar deze al is aangebracht).



Figuur 9. Variant IV.6

Varianten met dijkeruglegging

Voor een aantal varianten hebben we het effect van dijkeruglegging bepaald, met het doel dit effect voor alle varianten aan te geven. Bij een dijkeruglegging treffen we zodanige maatregelen dat bij hoge Waalstanden de grondwaterstanden in Lent niet zullen toenemen. In de berekeningen voor de varianten zijn we uitgegaan van binnendijkse maatregelen die we in hoofdstuk 7 noemen.



Figuur 10. Variant II.3.D

4 Modelanalyses

In dit hoofdstuk vindt u de modelanalyses die we uitvoerden in dit onderzoek. We beschrijven de onderdelen van de analyses. Daarna beschrijven we de kwelsituatie in Lent, de afvoer van ontwerpbuien en kwantitatieve modelberekeningen. Tot slot informeren we u over de kwalitatieve modelberekeningen.

4.1 Onderdelen

De beschreven varianten hebben we met modelberekeningen nader geanalyseerd. Voor we deze modelberekeningen voor de individuele varianten uitvoerden, hebben we met het grondwatermodel de kwelsituatie voor Lent na dijkverlegging geanalyseerd. Dat deden we om maatregelen vast te stellen die voorkomen dat de hoge grondwaterstanden bij hoge Waalstanden door de dijkverlegging toenemen in vergelijking met de Voorgenomen activiteit.

Er zijn drie modelanalyses. Deze hebben we voor alle varianten uitgevoerd.

De eerste analyse betreft afvoer ontwerpbuien in geheel model oppervlaktewater. Hiermee bepaalden we de benodigde retentie in de watergangen.

In de tweede analyse – berekening periode 1990 t/m 2000 met gecombineerd model grondwater en oppervlaktewater – simuleerden we grond- en oppervlaktewaterstromingen in het plangebied. Daarnaast simuleerden we waterspiegelvariëaties in plassen en watergangen in een overall model gedurende de periode 1990 t/m 2000. Hierin komen extreem droge en natte jaren en hoge en lage Waalstanden voor. Voor een aantal varianten voerden we simulaties uit bij verschillende plasoppervlakken en capaciteiten van het afwateringsgemaal. We stelden de benodigde grootte van de centrale buffer vast, en wanneer die ontbrak de te realiseren extra buffercapaciteit in de singels.

De derde analyse betreft de berekening van aspecten van waterkwaliteit periode 1996, 1997 en 1998 (droog, gemiddeld en nat jaar) in een gecombineerd model voor grondwater en oppervlaktewater. We hebben dit model uitgebreid met waterkwaliteitsparameters en -interacties. In deze fase is ook de invloed van helofytenfilters op de waterkwaliteit geëvalueerd.

In paragraaf 4.1 vindt u meer specifiek beschreven wat we toetsten met de kwantiteit- en kwaliteitmodellering, en wat we op een andere manier evalueerden.

Waterkwantiteitsmodellering

Het grondwatermodel

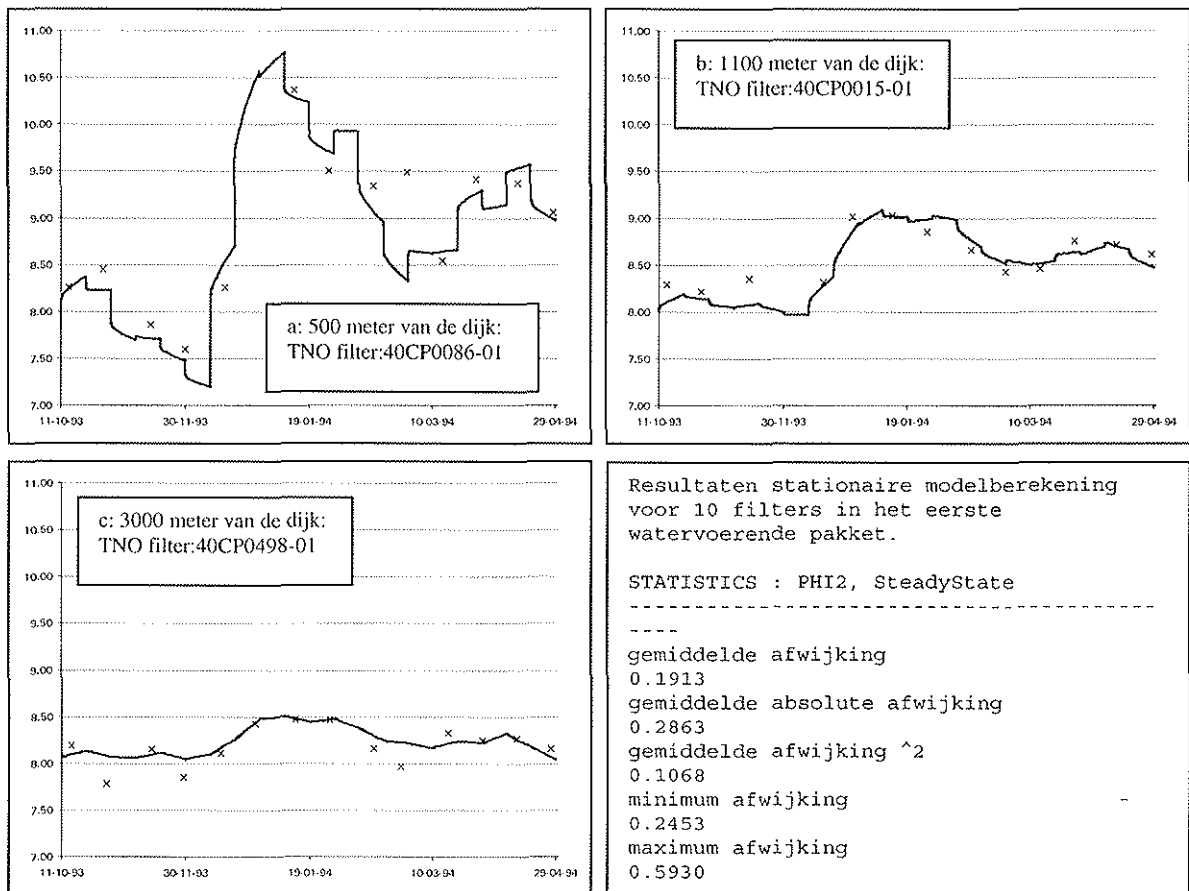
De grondwatermodellering als onderdeel van het algehele model grondwater en oppervlaktewater hebben we uitgevoerd met een 3D-grondwatermodel volgens de eindige elementen methode (Triwaco). Het model is samengesteld op basis van diverse inputgegevens voor de periode 1990-2001. In het hoofdstuk Achtergrondinformatie paragraaf 1 vindt u de belangrijkste bronnen van het model. Het grondwatermodel is opgebouwd uit vier modellen volgens de schematisering die tabel 2 weergeeft.

Het proces van grondwatermodellering is standaard opgebouwd uit verschillende stappen. In dit onderzoek hebben we de volgende stappen uitgevoerd:

1. conceptueel model opstellen,
2. modelinput checken en beoordelen,
3. bouw van het stationaire model (huidige situatie),
4. controle van het stationaire model,
5. bouw van het niet-stationaire model met tijdstappen van 10 dagen (huidige situatie),
6. kalibratie van de modeluitkomsten,
7. controle van het niet-stationaire model,
8. bouw van de varianten,
9. (gekoppeld) doorrekenen van varianten,

Tabel 2. Modelschematisering bodemlagen

modell laag	Belangrijkste formatie	doorlaatvermogen (kD)	weerstand
toplaag [1]	Betuwe formatie	k-waarde = 25 m/d (kD varieert)	25 tot 80 dagen met vlekken bij oosterhout tot 225 dagen
1e watervoerend pakket [2]	Kreftenhije en Drenthe	1200 m ² /d noord en midden tot 900 m ² /d zuid 1800 m ² /d west- en oost-randen	
1e scheidende laag [2]	Kedichem en Drenthe		150 tot 250 dagen
2e watervoerend pakket [3]	Harderwijk	700 tot 800 m ² /d	
2e scheidende laag [3]	Tegelen		100 tot 250 dagen
3e watervoerend pakket [4]	Tegelen	200 m ² /d	
Hydrologische basis [4]	Oosterhout en Breda		



Figuur 11. (a t/m c): Kalibratieresultaten voor hoogwatergolf in de Waal op verschillende afstand van de dijk ten zuidoosten van Lent (d geeft gemiddelde afwijkingen stationaire model voor 10 peilbuisfilters in het eerste watervoerende pakket)

Voor een hoogwatergolf op de Waal (zoals in het najaar van 1993) hebben we de modeluitkomsten van het niet-stationaire model van de huidige situatie vergeleken met de gemeten peilbuisgegevens.

Figuur 11 (a t/m c) geeft de kalibratieresultaten weer in de vorm van berekende grondwaterstand (lijn) ten opzichte van de gemeten grondwaterstanden (kruisjes) op verschillende afstand van de dijk aan de zuidoostzijde van het modelgebied.

Uit deze kalibratieresultaten blijkt dat het model de grondwaterdynamiek goed volgt. Vak d van figuur 11 toont de kalibratieresultaten voor het stationaire model. Een gemiddelde afwijking van ongeveer negentien centimeter en een gemiddelde absolute afwijking van ongeveer 29 centimeter zijn goede kalibratieresultaten voor dit semi-vrijafwaterende gebied met een hoge grondwaterdynamiek als gevolg van de Waal.

Het oppervlaktewatermodel

De berekeningen voor het oppervlaktewatermodel hebben we uitgevoerd met het softwarepakket Duflow. We hebben dit pakket gebruikt om twee typen kwantitatieve berekeningen mee uit te voeren.

Als eerste de retentieberekeningen. De resultaten beschrijven we in paragraaf 4.3. In deze berekening hebben we, vanwege de kortdurende neerslaggebeurtenis, gerekend met tijdstappen van vijf minuten. De output wordt voor iedere 10 minuten gegenereerd.

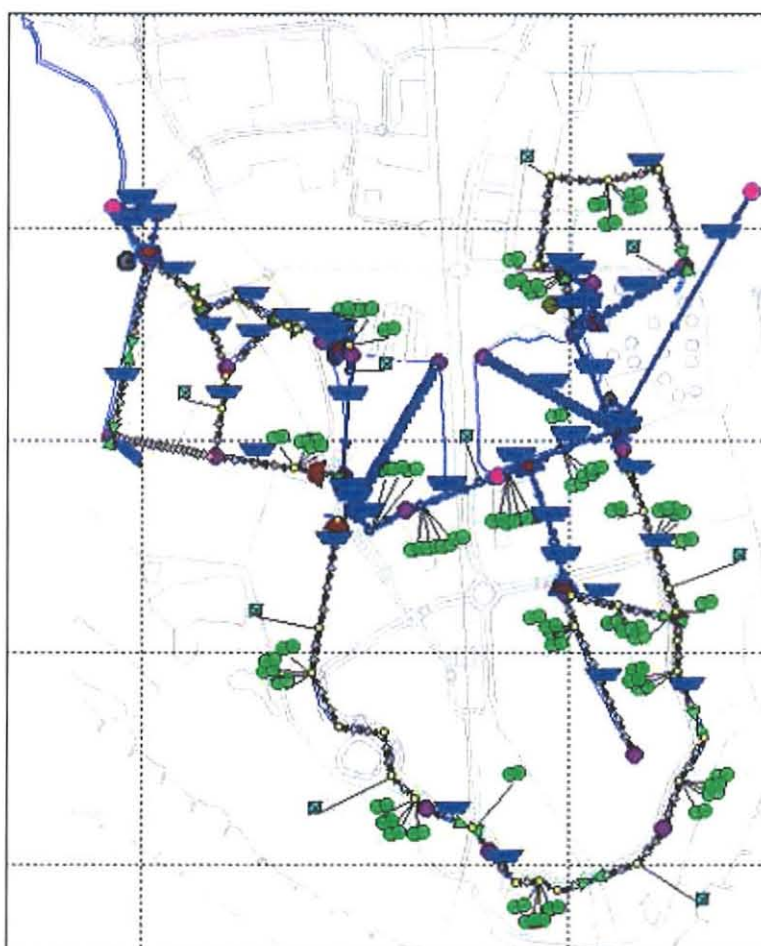
Het model wordt slechts gevoed door neerslag. De neerslag valt op verschillende typen oppervlakken. Deze komen ook op een andere manier tot afstroming in het watersysteem. Gegevens over percentages verhard-onverhard en gemengd gerioleerd met of zonder afkoppeling voerden we in in de regenafvoermodule (RAM) van Duflow. Het model berekent vervolgens de debieten die van de verschillende oppervlakken tot afstroming komen in de singels. De uitgangspunten die we hierbij hanteerden vindt u in het hoofdstuk Achtergrondinformatie, paragraaf 1.

De verdamping speelt gezien de korte tijdsduur geen rol in de retentieberekeningen en is dus niet in de berekeningen meegenomen.

Het tweede type kwantitatieve berekening zijn de gecombineerde oppervlaktewater-grondwaterberekeningen. De resultaten beschrijven we in paragraaf 4.4. De gecombineerde berekening heeft betrekking op een periode van elf jaar (1990-2001) en is doorerekend met tijdstappen van een half uur. De output wordt per dag gegenereerd.

Het oppervlaktewatermodel wordt gevoed door grondwater en neerslag. De uitwisseling met het grondwater lichten we in paragraaf 4.1 toe. De voeding door neerslag berekenen we, net als voor de retentieberekeningen, met de RAM van Duflow. Ook deze uitgangspunten vindt u in het hoofdstuk Achtergrondinformatie, paragraaf 1.

Kalibratie van het oppervlaktewatermodel aan metingen is niet mogelijk omdat het een nieuw aan te leggen watersysteem betreft. De modelberekeningen geven echter een goede inschatting van de te verwachten waterstanden en stroomsnelheden. Deze hangen onder andere af van de locaties van de aanvoer van afstromende neerslag op het watersysteem vanuit het wadi- en rioolsysteem. In het model nemen we de overstortlocaties uit de waterplannen per woon- en werkgebieden over. Als er voor een woon- en werkgebieden geen waterplan voorhanden was, kozen we de meest logische plek voor de overstortlocatie.



Figuur 12. Modelschematisering van het oppervlaktewaterstelsel in de Waalsprong in DufLOW

De groene balletjes () geven de verschillende componenten van de regenafvoermodule (RAM) weer. Iedere set van vier groene balletjes behoort bij een cluster van woon- en werkgebieden (Achtergrondinformatie, paragraaf 1). Een groep van vier balletjes staat voor de oppervlakkige uitstroming van de wadi, de uitstroming via de drain onder de wadi, de riooloverstort en de neerslag op open water.

Op de locatie van het symbool  is een bepaalde dwarsdoorsnede voor de singel gedefinieerd. De dwarsdoorsneden variëren per variant.

Het symbool  geeft de locatie van de stuwen weer. Indien voor een variant op deze locatie geen stuw noodzakelijk is, stellen we de stuwhoogte op bodemniveau.

Het symbool  geeft gemalen weer voor afvoer en circulatie.

Het symbool  representeert de locatie van een duiker. Voor de duikers zijn afmetingen en energieverliescoëfficiënten opgegeven.

Het symbool  geeft de locaties weer waar het grondwatermodel aan het oppervlaktewatermodel is gekoppeld.

De overige symbooltjes, geven de modelknooppunten weer. De grotere bruine bollen zijn de hoofdknooppunten van het model.

Het gecombineerde oppervlaktewater-grondwatermodel

Het gecombineerde oppervlaktewater-grondwatermodel hebben we ingezet om het effect van het de sterk fluctuerende grondwaterstanden op het oppervlaktewater voor een langjarige reeks (1990-2001) door te rekenen. Het is noodzakelijk dat het grondwatermodel en oppervlaktewatermodel met elkaar communiceren. Voor dit doel is een computerprogramma ontwikkeld, die het rekenen van de modellen en de communicatie tussen de modellen in goede banen leidt. Het programma heet TriDuflo.

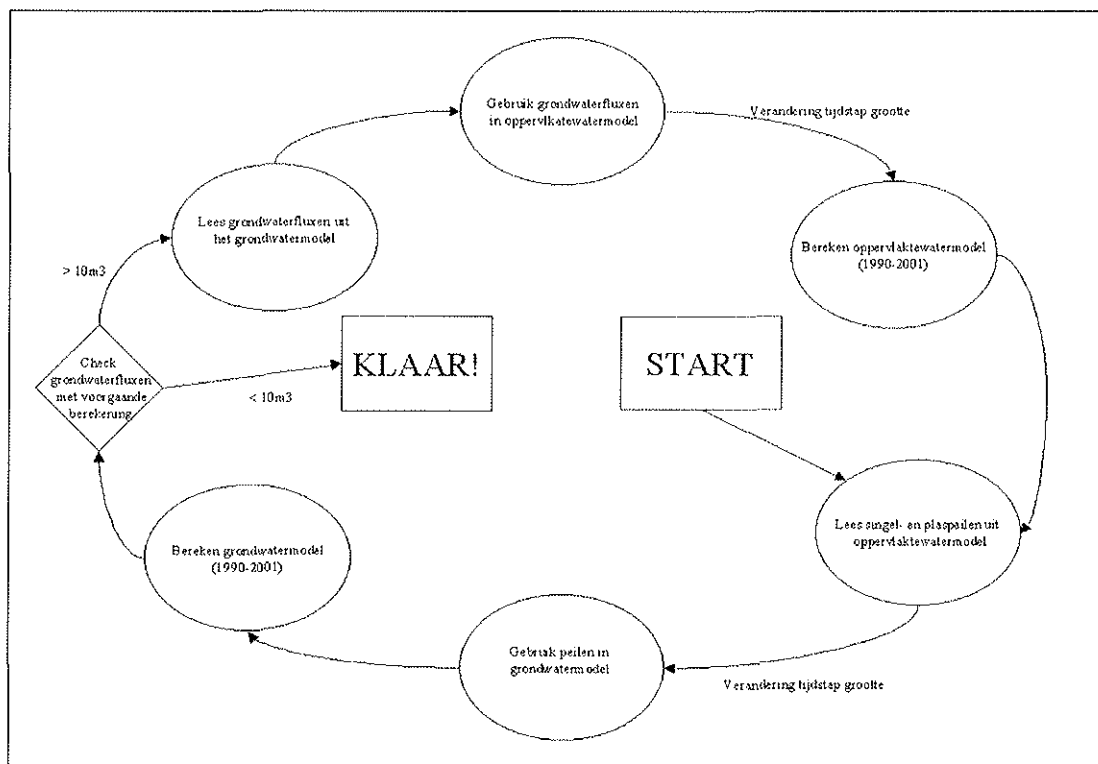
Het gecombineerde model rekent beide modellen na elkaar door voor de gehele periode van elf jaar in een iteratief proces. Voordat het grondwatermodel wordt gestart leest TriDuflo de singel- en plaspeilen uit het oppervlaktewatermodel. Het grondwatermodel rekent met tijdstappen van tien dagen. Dat houdt in dat ook het singel- en plaspeil gedurende tien dagen constant wordt gehouden.

Het oppervlaktewatermodel levert per modelknooppunt per dag één waarde voor de singel- en plaspeilen. Voordat de peilen in het grondwatermodel bruikbaar zijn, moeten per periode van tien dagen de singel- en plaspeilen gemiddeld worden. TriDuflo berekent de gemiddelden en schrijft deze weg naar een voor het grondwatermodel leesbaar formaat. Het grondwatermodel kan nu starten.

Als het grondwatermodel gereed is, moet de grondwaterflux naar de ontwateringsmiddelen, singels en plassen uit de resultaten van het grondwatermodel gelezen worden. De grondwaterflux varieert per tien dagen. TriDuflo schrijft de flux weg naar een voor het oppervlaktewatermodel leesbaar formaat, met daarin telkens de grondwaterflux voor tien dagen constant. Het oppervlaktewatermodel kan nu starten. Daarna volgt de hele cyclus opnieuw.

In het stroomschema van figuur 13 ziet u deze cyclus schematisch weergegeven.

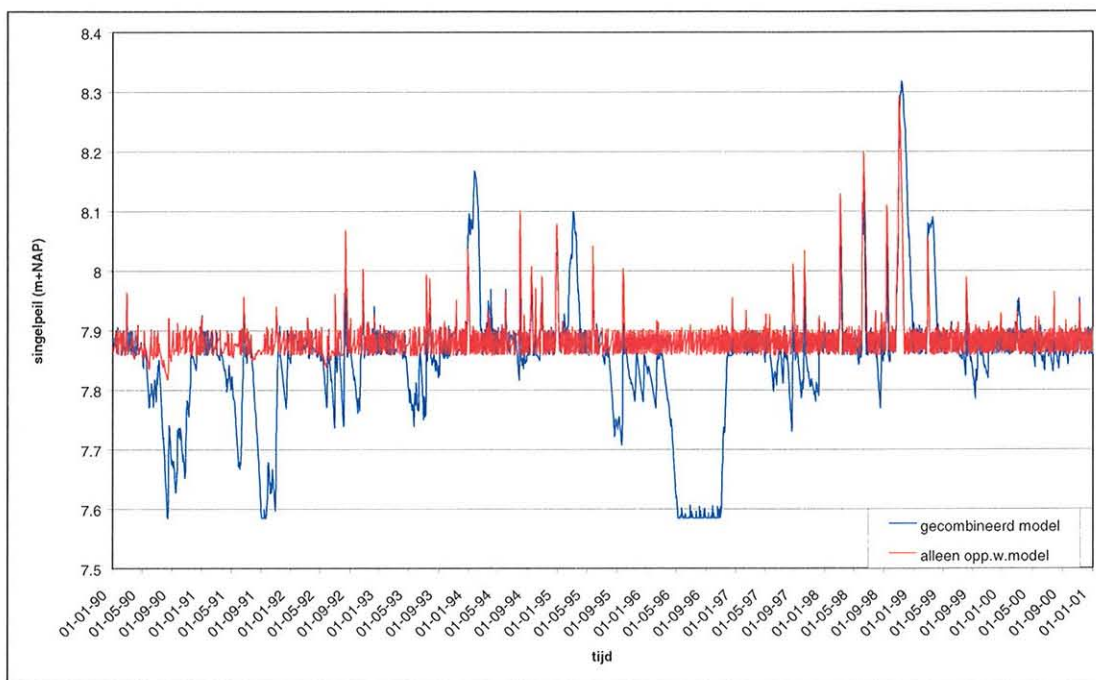
We doorlopen de cyclus een aantal malen, totdat de resultaten van het grondwatermodel in evenwicht zijn met de resultaten van het oppervlaktewatermodel. Het verschil in grondwaterflux tussen laatste en voorlaatste cyclus mag niet meer zijn dan 10 m^3 gemiddeld per knooppunt, per tijdstap voor de gehele berekeningsperiode van elf jaar. Uit analyse van de laatste en voorlaatste stap bleek dat dit criterium een maximale fout oplevert van +/- twee centimeter in de peilen van het oppervlaktewatersysteem.



Figuur 13. Stroomschema gecombineerde oppervlaktewater-grondwaterberekeningen

Figuur 14 laat het verschil zien tussen de singelpeilen berekend met het oppervlaktewatermodel (rood) en het gecombineerde oppervlaktewater-grondwatermodel. (blauw). De figuur laat zien dat de meerwaarde van het gecombineerde model ligt in de simulatie van lage waterstanden. Het uitzakken van het watersysteem als gevolg van de drainerende werking van de Waal is goed zichtbaar. Ook de hoogwatersituaties van 1993 en 1995 geven een verbetering van het model. De singelpeilen in het watersysteem van de Waalsprong zijn hoger dan bij een oppervlaktewatermodellering alleen.

Door de aanwezigheid van de Waal kent het grondwaterregime een grote dynamiek. De sterke fluctuaties in de grondwaterstand hebben een grote invloed op het oppervlaktewatersysteem. Gecombineerd rekenen met een grond- en oppervlaktewatermodel levert een meerwaarde op.



Figuur 14. Verschil tussen resultaten van het oppervlaktewatermodel en het gecombineerde model

Waterkwaliteitsmodellering

Beperkingen

We modelleren in dit onderzoek de waterkwaliteit van een niet-bestaand systeem. Dit heeft als nadeel dat kalibratie van het model niet mogelijk is. We hebben gebruikgemaakt van algemeen erkende en toegepaste waterkwaliteitsbeschrijvingen, maar de foutenmarge bij een dergelijke modellering kan groot zijn. De waarden van diverse parameters, zoals sedimentatiesnelheden van vaste deeltjes, verschillen van systeem tot systeem.

Bovendien is er een onzekerheid in de randvoorwaarden van het model. De kwaliteit van het water aan de randen van het gemodelleerde systeem (het water dat het systeem instroomt) is niet bekend en berust op metingen uit het verleden of (in verschillende mate gefundeerde) aannamen. Al met al zijn de onzekerheden in het model nogal groot. Hoe groot, is op voorhand niet in te schatten, maar we moeten rekening houden met foutenmarges van 50 – 100%.

Een model met veel waterkwaliteitsparameters en processen is daarom zinloos. Omdat het te modelleren systeem nog niet bestaat, hebben we gekozen voor:

- beperken van het aantal te modelleren stoffen;
- beperken van de te modelleren processen (met name processen met een grote onzekerheid, zoals algengroei, zijn vermeden);
- eenvoudige procesbeschrijvingen, die echter wel in het verleden hun waarde hebben bewezen.

Tabel 3. Afbakening waterkwaliteitsmodel

Wel in waterkwaliteitsmodel	Niet in waterkwaliteitsmodel
• Circulatie van het watersysteem • Verdunning in het watersysteem • Overstorten van rioolwater en (afgekoppeld) hemelwater • Interactie tussen grondwater en oppervlaktewater • Fysisch-chemische waterkwaliteitsprocessen: - Zuurstof- en stikstofhuishouding - Fosfaathuishouding - Hygiëne (E.coli) • Invloed van watertemperatuur op waterkwaliteitsprocessen	• IJking van het model op basis van actuele waterkwaliteitsparameters • Voorspelling absolute waarden van de waterkwaliteit • Invloed van biologische en ecologische processen en inrichting (b.v. natuurvriendelijke oevers of helofytenfilters) • Thermische stratificatie • Oplading van het watersysteem in de tijd

Methodiek

In de watersysteemvarianten onderscheiden we voor de waterkwaliteitsprognose twee watertypen: Plassen en Watervoerende Singels. Beide watertypen kenmerken zich kwalitatief door verschillende waterkwaliteitsprocessen die zich (kunnen) afspelen. Een zuiveringssysteem (helofytenfilter) is een mogelijke mitigerende maatregel. Bij de varianten waarbij de watertypen aan elkaar zijn gekoppeld, gaan we ervan uit dat de waterkwaliteit van het uitgaande water uit de plassen gelijk is aan het ingaande water in de Singels en vice versa.

Overschrijdingskansen MTR

Waar we oordelen over de waterkwaliteit in absolute zin baseren we ons op *expert judgement*, ondersteund door de resultaten van een dynamische waterkwaliteitsmodellering van enige jaren terug [3]. Ook deze modellering maakte destijds gebruik van het programma DufLOW en een speciaal voor diepe, stratificerende plassen ontwikkelde kwaliteitsmodule.

Vergelijking van varianten

De vergelijking van de waterkwaliteit in verschillende varianten baseerden we op *expert judgement*, ondersteund door een dynamisch waterkwaliteitsmodel in DufLOW 3.5 inclusief RAM-Module. Dit model is geïntegreerd in het DufLOW/Triwaco-kwantiteitsmodel. Met dit model hebben we de waterkwaliteitseffecten van circulatie, verdunning, emissies door bronnen en grondwaterinteractie van de varianten indicatief vergeleken.

Stoffen en waterkwaliteitsprocessen

Het gebruikte DufLOW/Triwaco-model bevat de volgende waterkwaliteitsparameters:

- zuurstof;
- stikstof;
- fosfor;
- E. coli.

Paragraaf 8 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie geeft onder meer procesbeschrijvingen en de waterkwaliteitsbeschrijvingen van het DufLOW-model.

Modelopbouw

De Duflow-modelschematisering van het oppervlaktewater in de Waalsprong geeft de plassen vereenvoudigd weer. Deze functioneren in het model alleen voor verdunning en bezinking. De plassen functioneren als één gemengde eenheid (geen secties die achtereenvolgens worden doorstroomd).

Een uitgebreide studie naar de voorspelling van de waterkwaliteit van de Lentse Plassen is al voorhanden [3]. Deze studie hebben we gebruikt bij de interpretatie van de modelresultaten.

Naast plassen moesten we ook singels in het model opnemen. Het was daarom niet mogelijk om het model PUT te gebruiken. We namen de effecten van stratificatie om die reden niet op in het model.

De hemelwatergerelateerde bronnen en riooloverstorten koppelden we met behulp van de regenafvoermodule (RAM) aan het model. De RAM berekent de inkomende debieten per tijdseenheid aan de hand van bepaalde oppervlakken (verhard, onverhard, open water), neerslag, pompovercapaciteit (POC) in rioolstelsel, andere soorten berging (wadi's, et cetera) en de ondervonden vertraging. Voor de kwaliteitsberekening is aan iedere bron een bepaalde kwaliteit gekoppeld. Afhankelijk van de hoeveelheid neerslag imiteerden we via de diverse bronnen stofvrachten in het watersysteem. In het hoofdstuk Achtergrondinformatie, paragraaf 8, staan de concentraties per bron.

De grondwaterstroming die Triwaco berekende en die we koppelden aan het Duflow-model kan zowel positief als negatief zijn. Positieve grondwaterinput is kwel het openwatersysteem in, en negatieve grondwaterinput betekent dat water uit het openwatersysteem wegzijgt. Kwel heeft hier echter een geheel andere waterkwaliteit dan het water dat wegzijgt. Water dat via kwel vanuit het grondwatermodel binnenkomt krijgt de opgegeven kwaliteit mee. Water dat wegzijgt (wordt onttrokken door het grondwatermodel) krijgt de actuele waterkwaliteit mee die op dat moment is berekend.

Het waterschap leverde de initiële concentraties. Bij het instellen van de parameterwaarden van de procesbeschrijvingen zijn we zoveel mogelijk uitgegaan van de standaardinstellingen die Duflow aangaf. Waar nodig zijn de parameterwaarden aangepast, zodanig dat we bij een testrun met de basisvariant (variant I.1) realistische concentraties bereikten. Op die manier lieten we het model zo stabiel mogelijk draaien zonder dat concentraties onmogelijk hoge of lage waarden kregen. Deze aanpak is noodzakelijk, omdat het onmogelijk is te kalibreren aan meetwaarden.

De verkregen concentraties achten we voldoende betrouwbaar om verschillende varianten met elkaar te vergelijken. Omdat de concentraties gebaseerd zijn op aannemelijke concentraties in het oppervlaktewater, geven de verschillen in berekende concentraties tussen de verschillende varianten een redelijk goed beeld van de te verwachten verschillen in de daadwerkelijk optredende concentraties.

In het hoofdstuk Achtergrondinformatie, paragraaf 8, vindt u de instellingen waarmee we realistische concentraties in het watersysteem hebben gesimuleerd.

De volgende bronnen zijn (afhankelijk van de variant) in de kwaliteitsmodellen geïntegreerd:

- grondwater (vanuit het grondwatermodel);
- hemelwater direct op oppervlaktewater;
- riooloverstort gemengd stelsel;
- riooloverstort gescheiden stelsel;
- afgekoppeld hemelwater na wadi;
- afgekoppeld hemelwater via wadi slokop (zonder bodempassage);
- Inlaatwater vanuit de Linge.

In het kwaliteitsmodel hebben we de volgende verliesposten opgenomen. Deze kunnen de waterkwaliteit beïnvloeden:

- wegzijging,
- verdamping.

In het model nemen we aan dat de waterkwaliteit van de bronnen constant is. Voor de waterkwaliteit van de verliesposten geldt dit niet; de kwaliteit van water dat wegzijgt heeft de actuele concentratie van het watersysteem en fluctueert in de tijd. We zijn ervan uitgegaan dat verdamping voor 100% uit zuiver water bestaat. De stofconcentraties in waterdamp zijn voor alle parameters dus nul. In paragraaf 1d van het hoofdstuk Achtergrondinformatie vindt u de waterkwaliteitsuitgangspunten van de bronnen.

Gebruik modelresultaten

Vanwege de genoemde relatief grote foutenmarge vergelijken we de resultaten van verschillende varianten onderling en doen we op basis van modelresultaten alleen geen uitspraken over absolute concentraties.

Aan de hand van de berekende waarden doen we met behulp van *expert judgement* toch uitspraken over onze verwachtingen over het al dan niet halen van normen.

Zuiveringssysteem

Integratie van een zuiveringssysteem zoals helofytenfilters kan de waterkwaliteit in de verschillende watersysteemvarianten verbeteren. Op basis van literatuurgegevens hebben we het zuiveringsrendement, ruimtebeslag, enzovoort van een helofytenfilter onderzocht. Met het waterkwaliteitsmodel hebben we een uitspraak gedaan over het mogelijke effect op de waterkwaliteit.

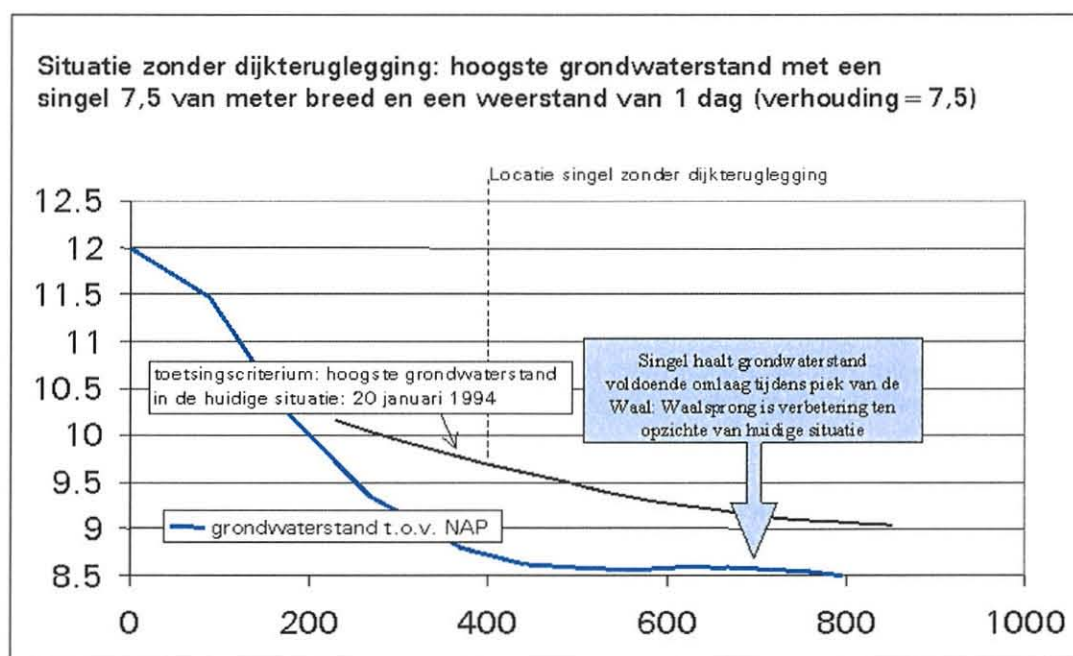
4.2 Kwelsituatie Lent

Gevolgen van Voorgenomen activiteit en dijkteruglegging

Om de effecten van het watersysteem van de Waalsprong en de dijkteruglegging op hoge grondwaterstanden in Lent te bepalen en maatregelen vast te stellen voor het beperken

van de invloed van de dijkteruglegging hebben we berekeningen uitgevoerd met het niet-stationaire 3D grondwatermodel TRIWACO. Paragraaf 4.1 geeft een nadere beschrijving van dit model, de input en kalibratie. We hebben de grondwaterstanden bij de afvoergolf van de Waal eind 1994 / begin 1994 berekend.

De figuren 15 t/m 18 geven over raai loodrecht op de dijk en Waal ter hoogte van de verkeersbrug berekende grondwaterstanden. Het nulpunt van de raai is de as van de Waal. In alle figuren gebruiken we als toetsingscriterium het berekende verloop van de maximale grondwaterstanden bij de afvoergolf voor de huidige situatie (voor aanleg van de singel).



Figuur 15. Vergelijking berekende maximale grondwaterstanden bij situatie met diepe singel (afmetingen figuur 3) evenwijdig aan dijk en bij huidige situatie

Figuur 15 laat zien dat door de aanleg van de singel de maximale grondwaterstanden binnendijks lager worden dan in de huidige situatie.

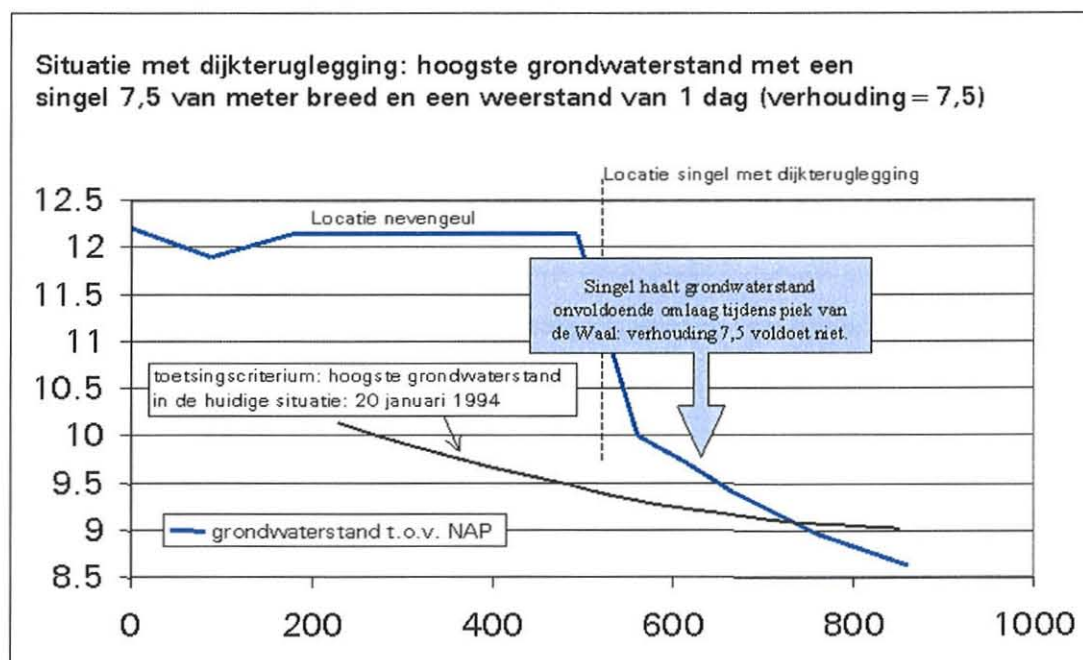
Door de dijkteruglegging komt de nieuwe nevengeul van de Waal veel dichterbij de bestaande kern Lent. De dijk en singel schuiven ook op in noordelijke richting. Om het effect van de grotere kweldruk bij hoge Waalstanden op de grondwaterstanden te reduceren, moet bij een binnendijkse oplossing meer water door de singel worden afgevoerd. Voldoende reduceren betekent dat de grondwatersituatie ten opzichte van de huidige situatie niet mag verslechteren.

Om de drainerende werking van de singel te vergroten hebben we twee hydrologische eigenschappen van de singel in het grondwatermodel gevarieerd: de breedte van de singel

en de drainageweerstand van de singelbodem. Modelmatig zijn dit twee parameters die (binnen bepaalde modelafhankelijke marges) omgekeerd evenredig doorwerken. Dat wil zeggen dat een tweemaal zo brede singel ongeveer gelijke uitkomsten oplevert als een singel met een tweemaal zo lage drainageweerstand. Het gaat daarom om de verhouding tussen de breedte en weerstand van de singelbodem. Een realistisch ingeschatte weerstand van de singelbodem bedraagt 5 tot 10 dagen. Kleinere weerstanden kunnen alleen worden bereikt door bijzondere constructies als drainkoffers toe te passen. Tabel 4 geeft een overzicht van de doorgerekende combinaties.

Tabel 4. Doorgerkende combinaties singeleigenschappen

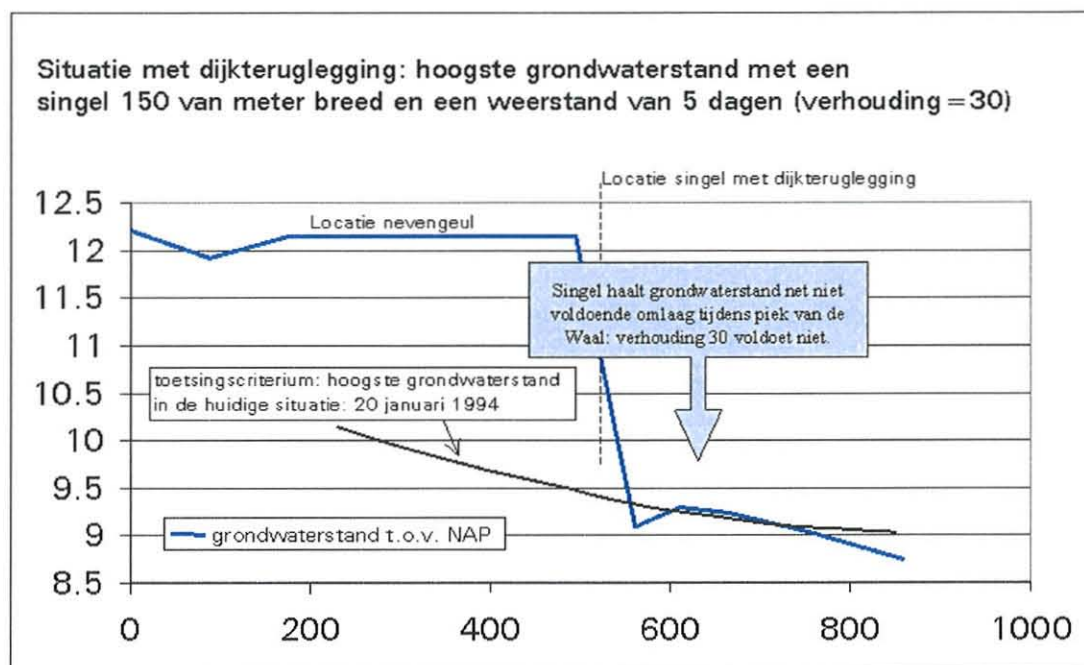
Weerstand	breedte	breedte/weerstand	voldoet
10 dagen	50 meter	5	niet
1 dag	7,5 meter	7,5	niet
5 dagen	50 meter	10	niet
10 dagen	100 meter	10	niet
5 dagen	150 meter	30	niet
1 dag	50 meter	50	wel



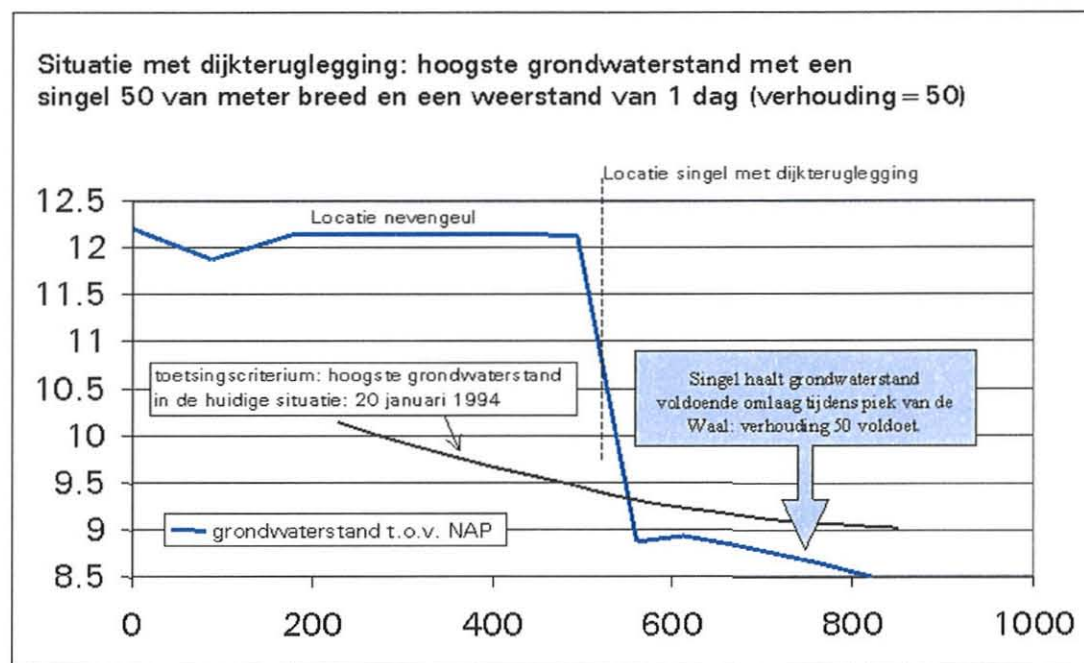
Figuur 16. Vergelijking berekende maximale grondwaterstanden bij singel evenwijdig aan dijk met verhouding $b/w = 7,5$ en bij huidige situatie

De figuren 16, 17 en 18 geven de berekende maximale grondwaterstanden bij de verhoudingen $b/w = 7,5$, 30 en 50 en vergelijken deze met de huidige situatie. Uit deze figuren blijkt dat een verhouding $b/w = 50$ nodig is om aan de gestelde eisen te voldoen. Dat wil zeggen dat de grondwaterstanden nergens in de bestaande kern hoger worden dan in de bestaande situatie. Wel zijn zelfs bij een verhouding $b/w = 50$ de maximale

grondwaterstanden nog steeds hoger dan in de situatie zonder dijkeruglegging.



Figuur 17. Vergelijking berekende maximale grondwaterstanden bij singel evenwijdig aan dijk met verhouding $b/w = 30$ en bij huidige situatie



Figuur 18. Vergelijking berekende maximale grondwaterstanden bij singel

evenwijdig aan dijk met verhouding $b/w = 50$ en bij huidige situatie

Als we geen bijzondere constructies in de vorm van drainkoffers toepassen, zijn extreem brede singels (250 tot 500 m) nodig. Dergelijke singels toepassen is niet realistisch vanwege het zeer grote ruimtebeslag en het feit dat een groot deel van de huidige kern binnen deze singel zou liggen en dus zou moeten worden gesloopt.

Om hetzelfde effect te bereiken zijn zeer omvangrijke drainerende constructies onder of nabij de singels nodig. Denk hierbij aan omvangrijke en diepe drainkoffers onder de singels. Deze zijn bijvoorbeeld aan te brengen in de vorm van op korte afstand van elkaar geboorde drainpalen.

Stabiliteit dijk

In paragraaf 4 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie vindt u een analyse van de stabiliteit van de dijk bij dijkteruglegging. De teruglegging beïnvloedt de binnenwaartse stabiliteit van de dijk niet ongunstig, maar 'piping' kan kritisch zijn en moet nader worden onderzocht. Ook bij het ontwerp van een eventuele drainconstructie onder de singel moeten we hieraan grote aandacht besteden.

Maatregelen in verband met kwel

Er is een zeer omvangrijke en kostbare drainconstructie onder de singels nodig. Daarnaast zullen de kwelhoeveelheden sterk toenemen. Gegeven de afvoercapaciteit van het gebied is aanvullend oppervlak van de centrale berging (plas of inundatiegebied) nodig om de maximale waterstanden in het gebied te beperken tot acceptabele waarden.

Hoewel we in de berekeningen voor varianten met dijkteruglegging uitgaan van binnendijkse maatregelen ter beperking van hoge grondwaterstanden, is het in verschillende opzichten beter om met buitendijkse maatregelen de hoge grondwaterstanden en kwel bij hoge Waalstanden te verminderen. Denk hierbij aan:

- het afdekken van het totale buitendijkse gebied tot aan het nieuwe eiland (inclusief de bodem van de nevengeul) met een kleilaag;
- het aanbrengen van een (bijna) waterdicht scherm aan de buitenzijde van de dijk tot aan de scheidende laag naar het tweede watervoerende pakket (bijvoorbeeld als mixed-in-place boorpalenwand).

4.3 Afvoer ontwerpbuien via singels naar centrale berging

In alle varianten komen slechts drie opties voor de singels voor. Hieronder analyseren we de afvoer van water bij ontwerpbuien naar de centrale buffer voor deze opties.

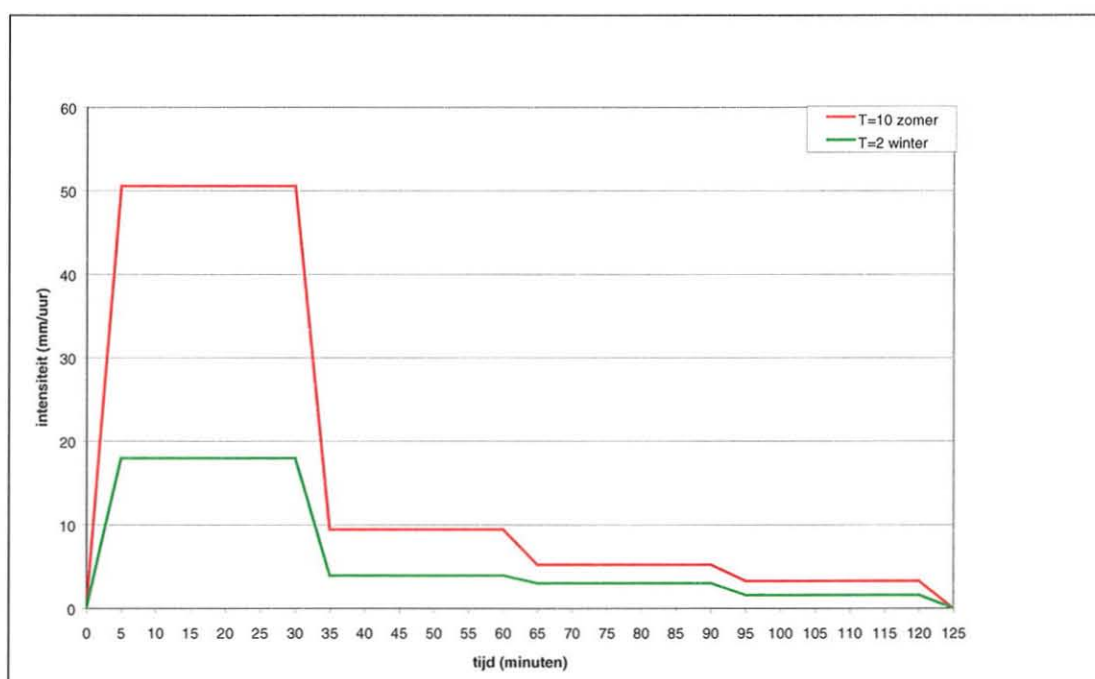
Als we het watersysteem te krap maken, zullen de stroomsnelheid en maximale waterdiepte worden overschreden. Is het watersysteem ruimer dan nodig, dan heeft dit een groter ruimtebeslag binnen de woon- en werkgebieden tot gevolg en zullen de circulatiesnelheden in het systeem afnemen. Doel van de afvoerberekening is een minimumprofiel voor de singels te bepalen, waarmee wordt voldaan aan de kwantitatieve normen voor de singels.

Uitgangspunten

We hebben de afvoer via de singels naar de centrale berging geanalyseerd voor drie verschillende ontwerpbuien.

1. T=2 jaar winterbui +10%, begin waterstand is NAP + 8,30 m;
2. T=10 jaar zomerbui +10%, begin waterstand is NAP + 7,90 m;
3. Westlandbui, 100 mm in 24 uur, beginwaterstand NAP + 8,00 m.

De ontwerpbuien 1 en 2 zijn een bewerking van de regenduurlijnen afkomstig uit [6]. Deze zijn in figuur 19 en tabel 5 weergegeven.



Figuur 19. Ontwerpbuien T=10 zomerhalfjaar en T=2 winterhalfjaar

Tabel 5. Ontwerpbuien

Duur Uur	T = 10 jaar zomerhalfjaar			T = 2 jaar winterhalfjaar			Westlandbui	
	Buishand en Velds (mm)	Neerslag(+ 10%) (mm)	Regenin- tensiteit (mm/h)	Buishand en Velds (mm)	Neerslag(+ 10%) (mm)	Regenin- tensiteit (mm/h)	Neerslag (mm)	Regenin- tensiteit (mm/h)
0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
0,5	23,0	25,3	50,58	8,2	9,0	18,00	2,1	4,17
1,0	27,3	30,0	9,46	10,0	11,0	3,96	4,2	4,17
1,5	29,7	32,7	5,25	11,4	12,5	3,04	6,3	4,17
2,0	31,2	34,3	3,29	12,3	13,5	1,63	8,3	4,17
24,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	100,0	4,17

Hoewel we alle watergangen hebben beschouwd, blijken alleen de stromingssituaties in de singels rond het Stadseiland kritisch en maatgevend. De singels ten noordwesten (woonpark Oosterhout) en ten noordoosten (woonpark Ressen) van de centrale berging zijn relatief ruim.

Figuur 20 is een schema van de singels van het Stadseiland. Het grote wateroppervlak van de bestaande singel aan de oostzijde van het Stadseiland speelt een belangrijke rol bij de beperking van stroomsnelheden. In deze singelsectie vinden ook de grootste lozingen plaats. De parameters die de stromingsweerstand in watergangen en duikers bepalen vindt u in paragraaf 1 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie.

De duikers die aan weerszijden van het Stadseiland de verbinding vormen naar de centrale berging hebben een relatief klein nat oppervlak om de afvoer naar de centrale berging te vertragen en zo de stroomsnelheden in de singels te beperken. In plaats van relatief kleine verbindingsduikers (vierkant, 0,6 x 0,6 m) kunnen we ook kiezen voor geregelde stuwen die het debiet beperken.

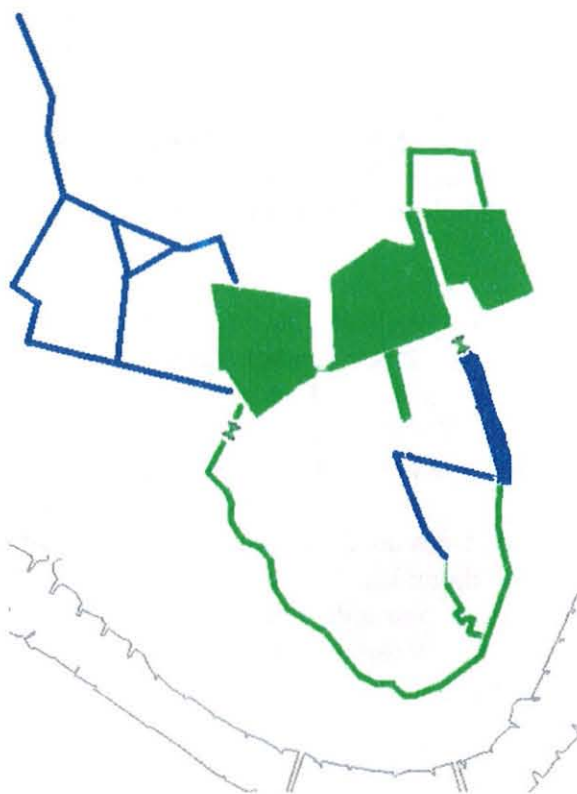
De verharde oppervlakken in het plangebied zijn afgeleid van de door de gemeente verstrekte 'matjes'. De 'matjes' verdelen het bruto-oppervlak in een verhard oppervlakdeel dat is aangekoppeld op de riolering en een verhard oppervlakdeel dat is afgekoppeld en via wadi's op de singels loost. Tabel 6 geeft een overzicht van de oppervlakken aangesloten op de verschillende singelsystemen in de Voorgenomen activiteit (I.1). Waar in andere varianten het oppervlak van open water is verminderd hebben we dit omgezet in afgekoppeld verhard oppervlak.

Tabel 6. Totale verharde oppervlakken per singelsysteem (op basis van variant I.1)

Singel systeem	Totaal verhard oppervlak (ha)	Totaal oppervlak open water (ha)	Bruto oppervlak (ha)
Stadseiland*	232,6	15,4	361,6
Oosterhout	50,0	14,2	150,0
Ressen	24,3	1,6	70,3
Griftdijk	74,0	4,3	140,0
Totaal	380,9	37,3	721,9

* inclusief Vossenpels

Voor deze afvoerberekeningen zijn we ervan uitgegaan dat in de wadi's geen berging plaatsvindt. In verband met de korte relevante tijdsduur van de buien namen we bovendien aan dat langzame processen in het watersysteem geen invloed hebben op de piekbelasting van het watersysteem. Denk hierbij aan infiltratie in de bodem, grondwaterstroming en infiltratie vanaf het onverhard oppervlak.



Figuur 20. Schema singels Stadseiland

Blauw: bestaande singels. De reeds aangelegde singel aan de oostzijde van het Stadseiland is zeer breed (gemiddeld 26 m over 840 m lengte).

Groen: (plassen en) nog aan te leggen singels.

Alleen de debietlimiterende duikers zijn aangegeven.

Berekeningen en toetsing

Bij de afvoerberekeningen gaan we uit van drie verschillende uitvoeringsvormen van singels.

1. diepe en brede singels, plaatselijk zeer brede singels; de watergangen zijn gebaseerd op de eerder aangegeven afmetingen en van de Voorgenomen activiteit;
2. diepe, smalle singels, minimumprofiel volgens figuur 3; de bodembreedte van de singels is 2,5 m en het talud is 1:3; de bodemdiepte is NAP + 6,6 m;

3. ondiepe droogvallende singels, minimumprofiel volgens figuur 3; de bodembreedte van de singels is 8 m en het talud is 2:3; de bodemdiepte is NAP + 8 m.

De uitvoeringsvormen 2 en 3 passen we alleen toe waar we nieuwe watergangen graven, dus steeds in combinatie met al aangelegde ruimere singels. De bestaande singels behouden hun huidige dimensies. De singels van Oosterhout zijn al vrij ver gereed en worden in alle varianten volledig als diepe singels uitgevoerd.

We toetsten de berekeningsresultaten op maximale stroomsnelheden en minimale droogleggingen oftewel maximale waterstanden. Voor de singels rond het Stadseiland is het maatgevende minimale maaiveld NAP + 9,50 m. Tabel 7 geeft de voornaamste toetsingscriteria.

Tabel 7. Voornaamste toetsingscriteria afvoer singels

	Maximale stroom-snelheid (m/s)	Minimale drooglegging (m)	Maximale water-stand (m+NAP)
Singel	0,4	0,70	8,70
Duiker	0,8	n.v.t.	n.v.t.

Berekeningsresultaten

Gebied Griftdijk

Het gebied Griftdijk watert af met een eigen watersysteem dat afzonderlijk lost op het watersysteem dat het waterschap beheert. Dit gebied heeft geen verbinding met de centrale buffer. We houden hiervoor dan ook een afvoernorm van 1,5 l/s.ha aan (210 l/s). Ook voor dit gebied wordt boven het peil NAP + 7,90 m met een beweegbare stuw water afgelaten naar de Linge. De minimale maaiveldhoogte is NAP + 9,30 m.

Voor het bergen van de 10-jaars zomerbui is circa 21.500 m³ berging nodig; bij een schildikte (dikte van de laag te bergen water) van 0,7 m is dan een oppervlak nodig van circa 3,1 ha. Om de Westlandbui te bergen is circa 56.000 m³ berging nodig; bij een schildikte van 1,3 m is dan een oppervlak nodig van circa 4,3 ha. Alle aangegeven wateroppervlakken gelden op het niveau NAP + 8,0 m.

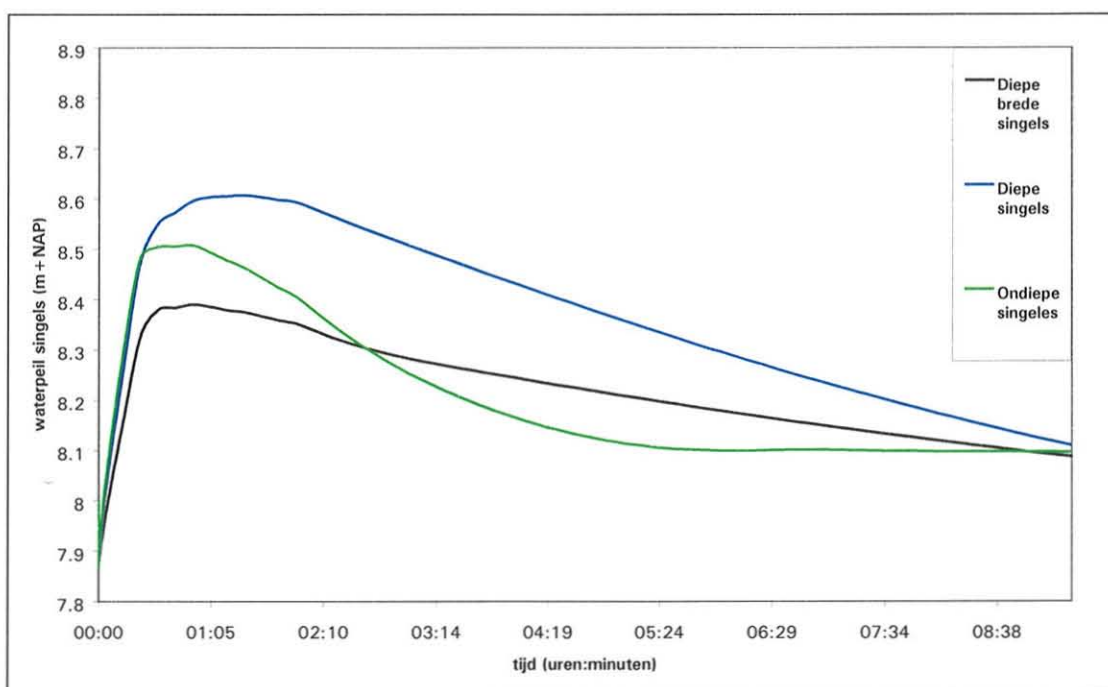
Overige gebieden

Voor de Westlandbui is eigenlijk alleen de berging in het systeem van belang. Bij een minimaal oppervlak van het totale watersysteem van 20 hectare is de peilstijging bij de Westlandbui voor alle varianten minder dan 1 m en daarmee ruim toelaatbaar.

Uit de berekeningen blijkt dat de T=2 jaar winterbui niet maatgevend is voor de dimensies van de singels in de Waalsprong. De beginwaterstand in de wintersituatie is hoger, maar de waterstanden berekend met de T=10 jaar zomerbui zijn duidelijk hoger dan bij de winterbui. Om die reden presenteren we de resultaten voor de T=2 jaar winterbui en de Westlandbui verder niet in dit hoofdstuk.

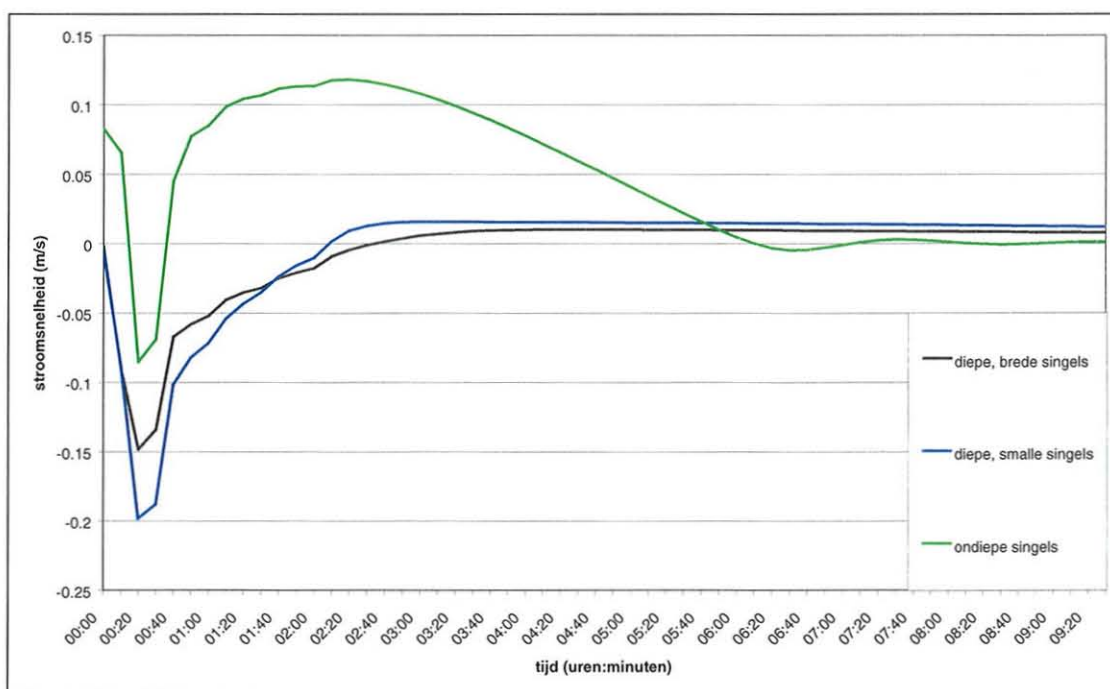
We presenteren alleen resultaten voor de maatgevende singel rond het Stadseiland (de singels van Oosterhout zijn niet maatgevend). Een uitgebreidere presentatie van berekeningsresultaten vindt u in paragraaf 5 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie.

Figuur 21 toont het verloop van de maximale waterstand in de singels bij de T=10 jaar zomerbui voor de drie uitvoeringsvormen van de singels. De figuur geeft het verloop van de peilen vanaf het begin van de ontwerpbui tot ongeveer 8 uur erna. Het meetpunt is in de singel rond het Stadseiland ter hoogte van de instroming van de Gracht door Lent. De figuur laat zien dat in de singels circa één uur na aanvang van de bui de hoogste waterstand optreedt. Ook toont de figuur dat beide minimale singelprofielen voldoende groot zijn. De maximale waterstand van NAP + 8,70 m wordt niet overschreden.



Figuur 21. Verloop maatgevende waterstand singels bij T=10 jaar zomerbui

Figuur 22 geeft de maximale stroomsnelheid in de singels bij dezelfde zomerbui op de dezelfde locatie. De positieve en negatieve waarden in de figuur representeren verschillende stromingsrichtingen (positief is een zuidelijke stroomrichting, negatief is een noordelijke stroomrichting). De figuur toont onder meer dat de maximale stroomsnelheid in de singels ruim beneden de norm 0,4 m/s blijft.



Figuur 22. Verloop maatgevende stroomsnelheid singels voor T=10 jaar zomerbui

Uit de gedetailleerde resultaten van paragraaf 5 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie blijkt dat de maximale stroomsnelheden in de verbindingsduikers naar de centrale buffer, aan weerszijden van het Stadseiland, de normsnelheid 0,8 m/s ruim overschrijden. Deze snelheden zijn voor de duikers zelf toelaatbaar, maar zullen erosie bij de uitstroming veroorzaken. We moeten aan de zijde van de centrale buffer maatregelen treffen om deze erosie tegen te gaan (bestorting).

Een alternatief voor de kleine verbindingsduikers zijn regelbare stuwen die het debiet op een maximale waarde beperken. Deze moeten dan zorgen dat de stroomsnelheid in de singels niet de 0,4 m/s overschrijdt. In droge perioden kan de stuw zodanig worden ingesteld dat een minimumwaterstand in de singel wordt gehandhaafd. Ook bij de stuw zijn erosiewerende maatregelen noodzakelijk.

4.4 Kwantitatieve modelberekeningen periode 1990 t/m 2000

Beschouwde situaties

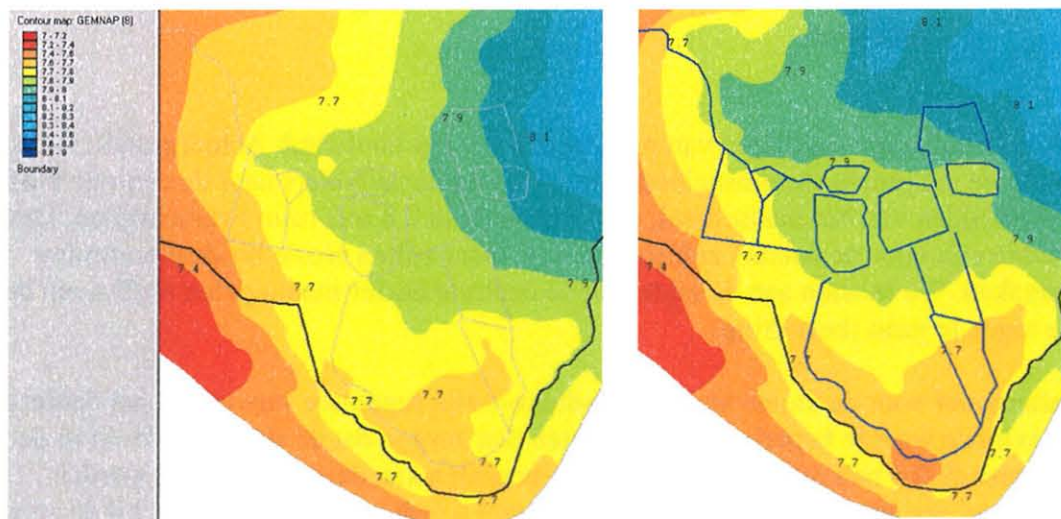
Binnen de varianten uit paragraaf 3.2 hebben we gevarieerd met het oppervlak van de centrale berging. Het oppervlak kan bestaan uit een plas (diep dan wel ondiep) of uit inundatiegebied. Hierna geven we in de codes van de varianten steeds het oppervlak van de centrale berging aan. Tussen haakjes geven we twee getallen. Het eerste getal geeft het oppervlak in ha van de plas en het tweede van het inundatiegebied. Bijvoorbeeld:

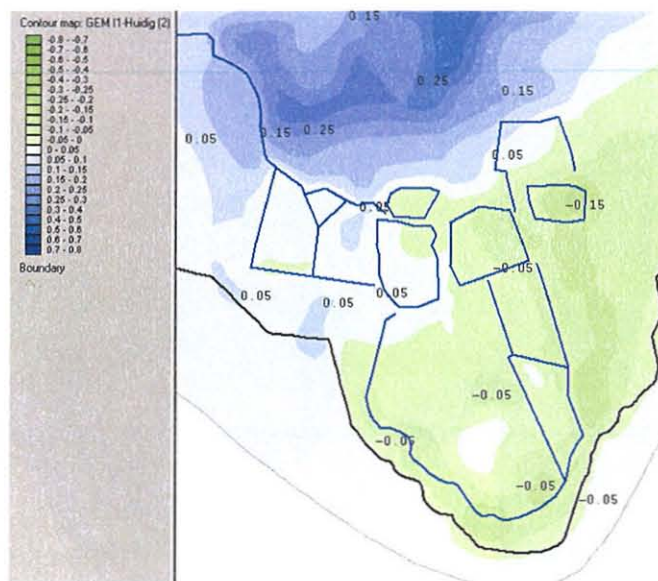
- variant II.3(90-0) is variant II.3 met 90 ha plas en 0 ha inundatiegebied;
- variant II.4(0-90) is variant II.4 met 0 ha plas (wel minimale verbindingssingel) en 90 ha inundatiegebied;
- variant IV.6(40-40) is variant IV.6 met 40 ha plas en 40 ha inundatiegebied.

Grondwater

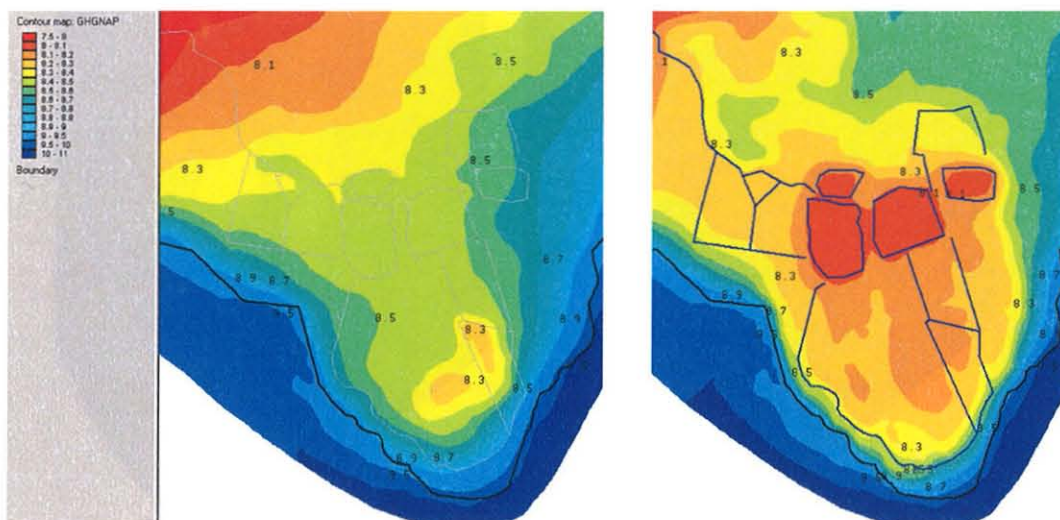
Met het gekoppelde grondwater-oppervlaktewatermodel hebben we de freatische grondwaterstanden voor de berekende varianten in beeld gebracht. De resultaten geven een beeld van de invloed van de aanleg van het watersysteem ten opzichte van de huidige situatie voor het gehele gebied. Zij maken het ook mogelijk de invloed van specifieke aspecten te tonen, zoals de invloed van de centrale plassen en van de dijkteruglegging.

De maximale grondwaterstand in de periode 1990-2000(MAX), de gemiddelde grondwaterstand (GEM), de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) zijn berekende modeluitkomsten. Zij geven een goede indruk van de grondwatercondities in het gebied over de periode 1990 t/m 2000 in de verschillende beschouwde situaties.



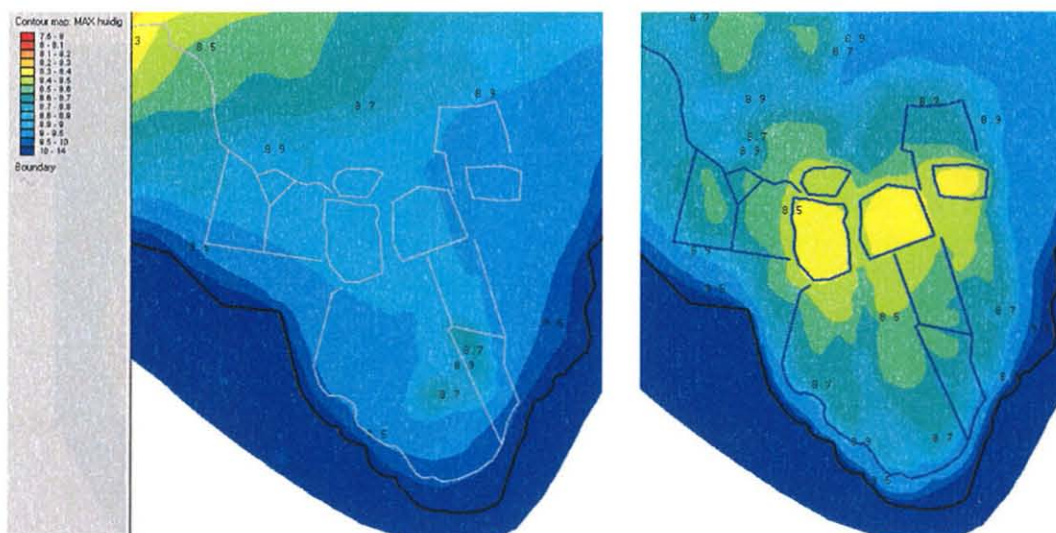


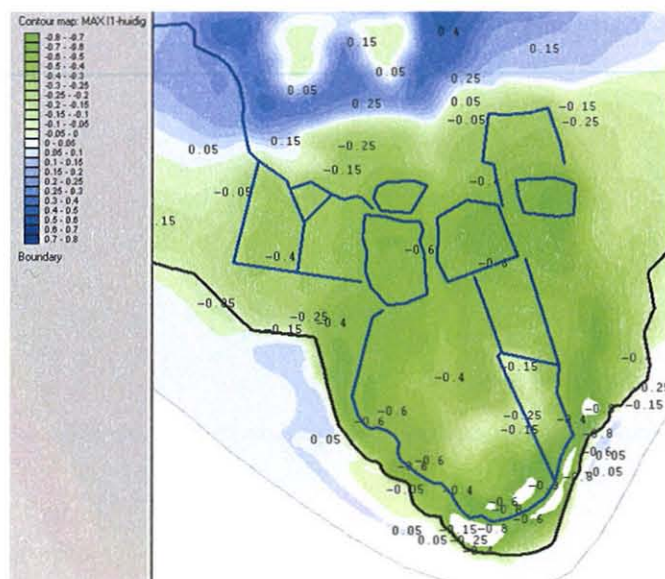
Figuur 23. (1, 2 en 3) Gemiddelde grondwaterstanden (GEM m+NAP) voor de huidige situatie en de variant I.1(90-0) (Voorgenomen activiteit) en verschillen tussen deze GEM's





Figuur 24. (1, 2 en 3) Gemiddeld hoge grondwaterstanden (GHG m+NAP) voor de huidige situatie en de variant I.1(90-0) (Voorgenomen activiteit); verschillen tussen GHG's



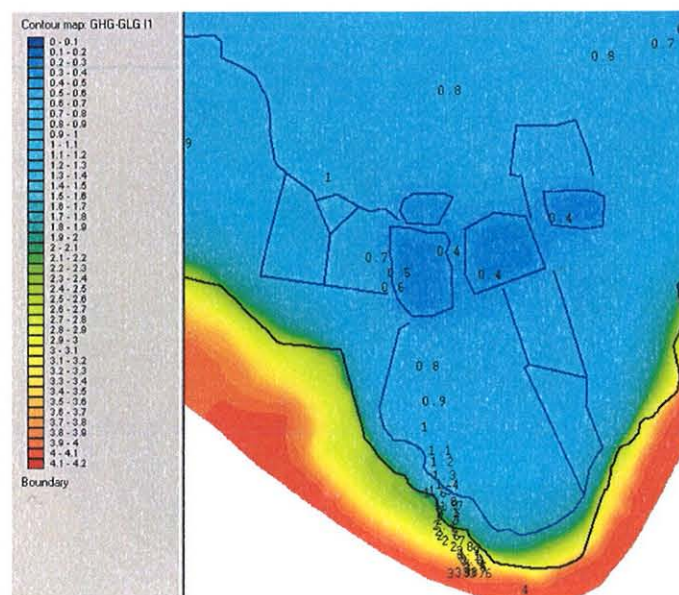


Figuur 25. (1, 2 en 3) Maximale grondwaterstanden 1990–2000 (MAX m+ NAP) voor de huidige situatie en de variant I.1(90-0) (Voorgenomen activiteit); verschillen tussen MAX-waarden

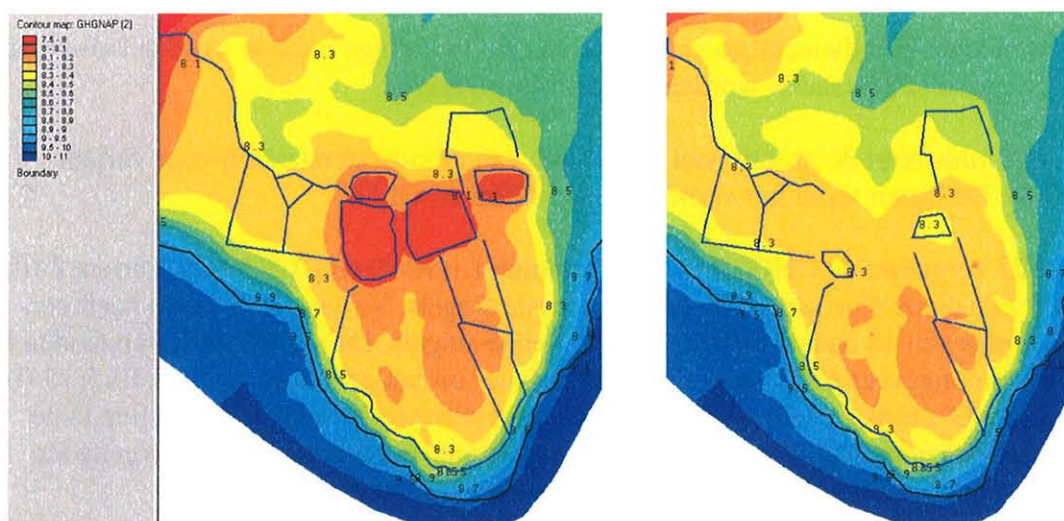
De gemiddelde grondwaterstanden blijken slechts in geringe mate te worden beïnvloed, de hoge grondwaterstanden worden aanzienlijk verlaagd.

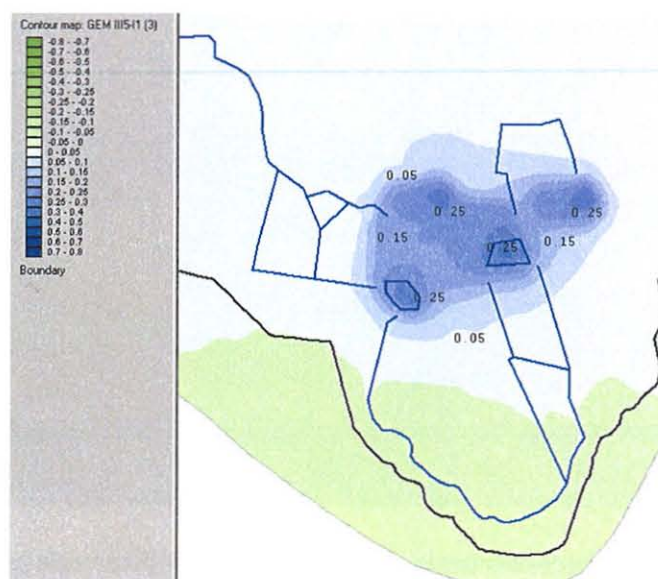
Figuur 26 illustreert de grootte van de variatie van grondwaterstanden voor variant I.1(90-0). De figuur toont het verschil tussen GHG en GLG.

Figuur 27 vergelijkt de GHG's voor de varianten I.1(90-0) en III.5(10-0). Variant I.1(90-0) heeft een diepe plas van 90 ha en diepe brede singels. Variant III.5(10-0) heeft een ondiepe plas van 10 ha en ondiepe droogvallende singels. De maximale waterstanden in de plas zijn ongeveer gelijk door de grotere afvoer uit het gebied bij variant III.5(10-0). Ook de GHG's blijken voor beide systemen ongeveer hetzelfde te zijn, behalve in de onmiddellijke omgeving van de plas. Het bestaan van een drainerende watergang ten noorden van het Stadseiland is van belang voor het beheersen van de hoge grondwaterstanden op het Stadseiland en de bestaande kern. Mits de watergang voldoet aan minimale afmetingen (singel) en de maximale waterstand voldoende wordt beheerst, heeft de omvang van deze watergang of plas slechts zeer lokaal invloed.



Figuur 26. Verschil tussen GHG en GLG voor variant I.1(90-0) (Voorgenomen activiteit)



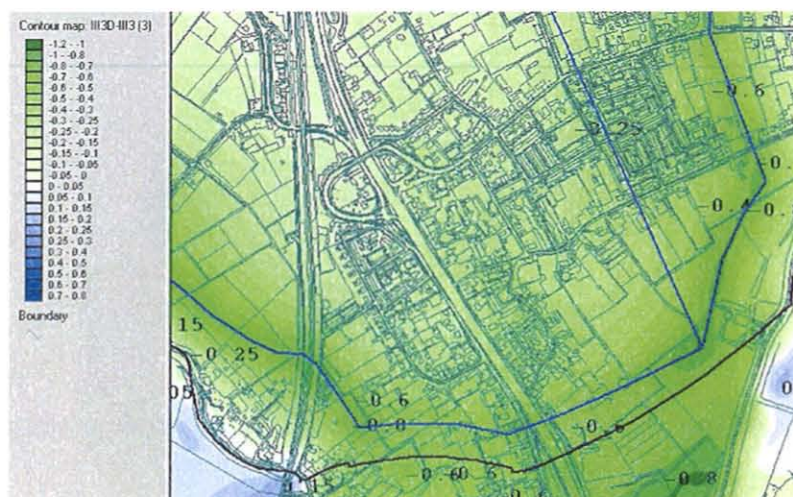


Figuur 27. (1, 2 en 3) Gemiddeld hoge grondwaterstanden (GHG m+NAP) voor de varianten I.1(90-0) (Voorgenomen activiteit) en III.5(10-0); verschillen tussen GHG's; effect grote en zeer kleine plassen

Paragraaf 6 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie vergelijkt ook de invloeden van een kleine plas en een inundatiegebied. Deze blijken veel op elkaar te lijken. De varianten zonder dijkteruglegging vertonen ten aanzien van grondwaterstanden slechts marginale verschillen.

Behalve een beperkt gebied dat direct grenst aan de plassen zijn de grondwaterstanden gegeven in de figuren 23 tot en met 25 geldig voor alle varianten zonder dijkteruglegging.

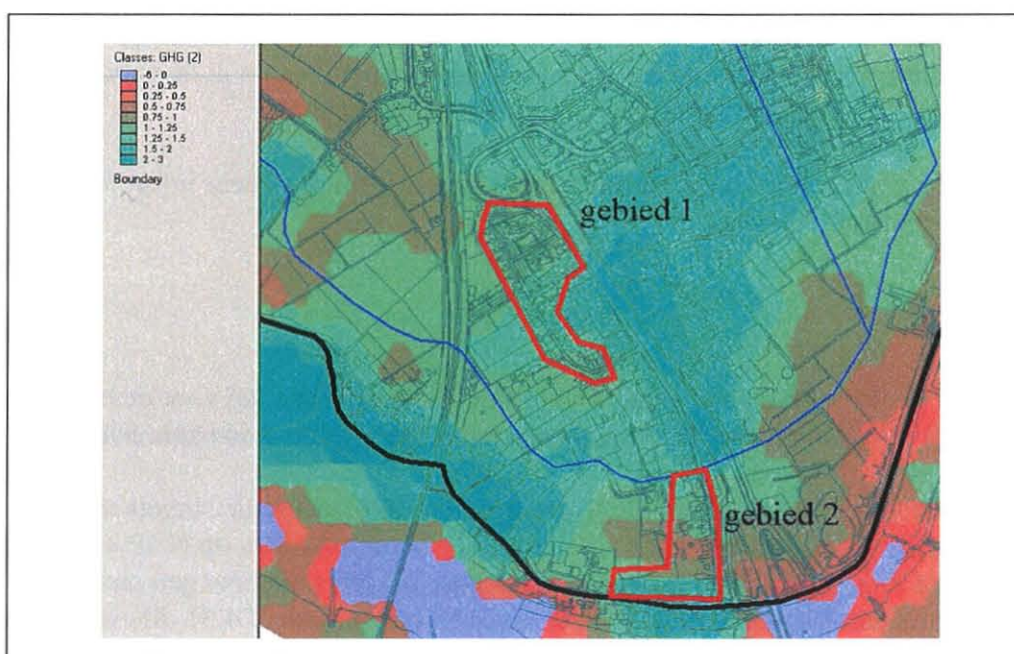
De zeer sterke drainerende werking van de drainconstructies onder de singel overheerst het effect van de dijkteruglegging bij de binnendijkse oplossing van de kwelproblematiek. Figuur 28 illustreert deze invloed door het verschil tussen de maximale grondwaterstanden tussen de varianten III.3(90-0) en III.3.D(90-0)



Figuur 28. Effect drainconstructie onder singel bij dijkteruglegging; verschil grondwaterstanden MAX bij varianten III.3(90-0) en III.3.D(90-0)

De berekende maximale grondwaterstanden zijn hierdoor voor alle varianten met dijkteruglegging aanzienlijk lager dan zonder dijkteruglegging. Bij keuze voor andere maatregelen om de kwel te beperken kunnen de grondwaterstanden dan ook in belangrijke mate veranderen.

We hebben een afzonderlijke analyse gemaakt van de hoge grondwaterstanden in de bestaande kern Lent. We kozen hiervoor in deze kern twee gebieden waarin we per variant de grondwaterstanden MAX en GHG bepaalden. Gebied 1 is het laagste gebied in Lent, gelegen ten noorden van de singel. Gebied 2 ligt tussen singel en dijk. De grondwaterstanden vergelijken we met de huidige situatie. Figuur 29 toont de plaats van deze gebieden en de berekende GHG's voor de huidige situatie.



Figuur 29: Situering gebieden 1 en 2 en GHG's huidige situatie ten opzichte van maaiveld

Voor de gebieden 1 en 2 hebben we ook per variant de GHG en de maximale grondwaterstand (MAX) ten opzichte van NAP berekend. Het betreft de varianten zowel met als zonder dijkteruglegging. Na analyse van alle afzonderlijke gegevens blijkt dat de varianten zonder dijkteruglegging onderling weinig verschil tonen in GHG en MAX. Hetzelfde geldt voor de varianten met dijkteruglegging.

Tabel 8. Overzicht berekende grondwaterstanden bestaande kern Lent

Situatie	Grondwaterstand t.o.v. NAP				Verskil met huidige situatie			
	GHG		MAX		GHG		MAX	
	gebied 1	gebied 2	gebied 1	gebied 2	gebied 1	Gebied 2	gebied 1	gebied 2
Huidige situatie	8.41	9.35	9.14	10.64	0.00	0.00	0.00	0.00
Zonder dijkteruglegging	8.29	8.99	8.85	10.01	-0.12	-0.36	-0.29	-0.63
Met dijkteruglegging	8.23	*)	8.69	*)	-0.18	*)	-0.37	*)

*) in geval van dijkteruglegging ligt gebied 2 in de nevengeul

Uit deze tabel kunnen we afleiden dat het watersysteem van de Waalsprong, zowel met als zonder dijkteruglegging, een positief effect heeft op de gemiddeld hoogste grondwaterstanden (GHG) en de maximale grondwaterstanden (MAX) in de kern van Lent. Dit effect is voor de maximale grondwaterstanden ongeveer twee keer zo groot als voor de gemiddeld hoogste grondwaterstanden over de periode 1990-2001. Bovendien is er een zeer sterk drainerende werking van de drainconstructie onder de singel langs de dijk nodig. Zo treedt ook in de verder van de singel gelegen gebieden geen verslechtering

op ten opzichte van de huidige situatie. Door deze drainconstructie zullen de grondwaterstanden gemiddeld dalen. Dit hangt sterk samen met de in de varianten veronderstelde binnendijkse oplossing van de kwelproblematiek.

In paragraaf 6 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie vindt u meer informatie over de berekende grondwaterstanden.

Oppervlaktewater

Met het gekoppelde grondwater-oppevlaktewatermodel hebben we voor de berekende varianten ook de waterstanden in singels en centrale berging in beeld gebracht.

We hebben de voorgestelde minimale hydraulische profielen van de singels (diep: bodem op NAP + 6,60 m, bodembreedte 2,5 m, taluds 1:3; ondiep: bodem op NAP + 8,00 m, bodembreedte 9 m, taluds 2:3) getoetst aan de eisen 1-3 die samenhangen met ontwerpbuilen. Deze blijken aan de eisen te voldoen (zie paragraaf 4.3). Als we rekening houden met de al aangelegde delen, is bij deze minimale afmetingen het oppervlak van diepe singels circa 13 ha en van ondiepe droogvallende (deels bestaande diepe) singels circa 11 ha.

Ondiepe droogvallende singels toepassen vereist een aantal maatregelen, zoals verbeterd gescheiden rioolstelsels toepassen (naast wadi's), kostbare ombouw van het bestaande rioolstelsel van Lent en het inrichten van een extra circulatieluis voor de bestaande diepe singel bij Visveld. Ook de inrichting van deze ondiep droogvallende singels moeten we nog nader onderzoeken.

Tabel 9 geeft een overzicht van de berekende maximale en minimale waterstanden voor de beschouwde varianten. Deze modelberekeningen geven opstuwing in de singels bij zeer intense buien niet weer door de wijze van invoer. Deze effecten vindt u in paragraaf 4.3.

Tabel 9. Berekende waterstanden in plassen en singels

Variant	Water-aanvoer	Dijkterug-legging	Singels	Capaciteit afvoer	Oppervlakken (ha)			Max. peilen plassen		Min. peilen plas		M.p.singels m + NAP
					plas	inund.zone	singels	oordeel	m + NAP	oordeel	m + NAP	
I.1(90-0)	nee	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	19	+	8,3	+	7,1	7,6
I.2(90-0)	nee	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	13	+	8,3	+	7,3	7,6
II.3(90-0)	nee	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	13	+	8,3	+	7,3	7,3
II.3.a(90-0)	ja	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	13	+	8,3	+	7,6	7,6
II.3.aD(90-0)	ja	ja	diep	0,5 l/s/ha	90	0	13	-	8,5	+	7,5	7,5
II.3.aD(135-0)	ja	ja	diep	0,5 l/s/ha	135	0	13	+	8,4	+	7,5	7,5
II.4(0-90)	nee	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	+	8,4	-	6,4	6,4
II.4.a(0-90)	ja	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	+	8,4	+	7,7	7,7
II.4.D(0-90)	nee	ja	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	-	8,5	-	6,4	6,4
II.4.aD(0-90)	ja	ja	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	-	8,5	+	7,7	7,7
II.4.aD(0-110)	ja	ja	ondiep	0,5 l/s/ha	0	110	11	+	8,4	+	7,7	7,7
III.3(90-0)	nee	nee	diep	1,5 l/s/ha	90	0	13	+	8,0	+	7,3	7,3
III.3(10-0)	nee	nee	diep	1,5 l/s/ha	10	0	13	+	8,4	+	7,2	7,2
III.3.D(90-0)	nee	ja	diep	1,5 l/s/ha	90	0	13	+	8,0	-	7,0	7,0
III.5(10-0)	nee	nee	ondiep	1,5 l/s/ha	10	0	11	+	8,4	+	7,1	7,1
IV.6(20-20)	nee	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	20	20	11	-	8,7	+	7,3	7,6
IV.6(40-40)	nee	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	40	40	11	+	8,4	+	7,1	7,6

+ = voldoet aan toetsingscriteria

- = voldoet niet aan toetsingscriteria

Alle genoemde oppervlakken van plassen en singels zijn netto wateroppervlakken op het niveau NAP + 8,0 m. Behalve in de varianten I.1, I.2 en IV.6 zijn de waterstanden in plassen en singels gelijk. Het totale overzicht van berekende waterstanden in plassen en singels en de vergelijking met de toetsingscriteria uit paragraaf 2.2 vindt u in paragraaf 7 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie.

Tabel 9 toont de berekende maximale en minimale waterstanden en het resultaat van de toetsing in de vorm van een + of -.

Het is opvallend dat de minimale waterstanden in de plassen over het algemeen aanzienlijk minder laag zijn dan de NAP + 6,69 m die het *Integraal waterplan voor de Waalsprong* [2] aangeeft. Bij deze waterstand zijn we echter uitgegaan van onttrekking van huishoudwater aan de plas.

De waterstanden uit het integraal waterplan zijn gebaseerd op eerdere studies van Haskoning. In de studie *Waalsprong. Nadere uitwerking open watersysteem* [5] berekende Haskoning een minimale waterstand in een droog jaar met lage Waalstanden berekend van NAP +7,05 m. Dit geldt voor een 90 ha plas, waarvan 13 ha op peil wordt gehouden, gecombineerd met 22 ha op peil gehouden singels. In geval van onttrekking van 1.000.000 m³ water voor gebruik door huishoudens of bedrijven daalt de waterspiegel tot NAP + 6,74 m. In de huidige studie houden we geen rekening meer met onttrekking van water aan de plassen.

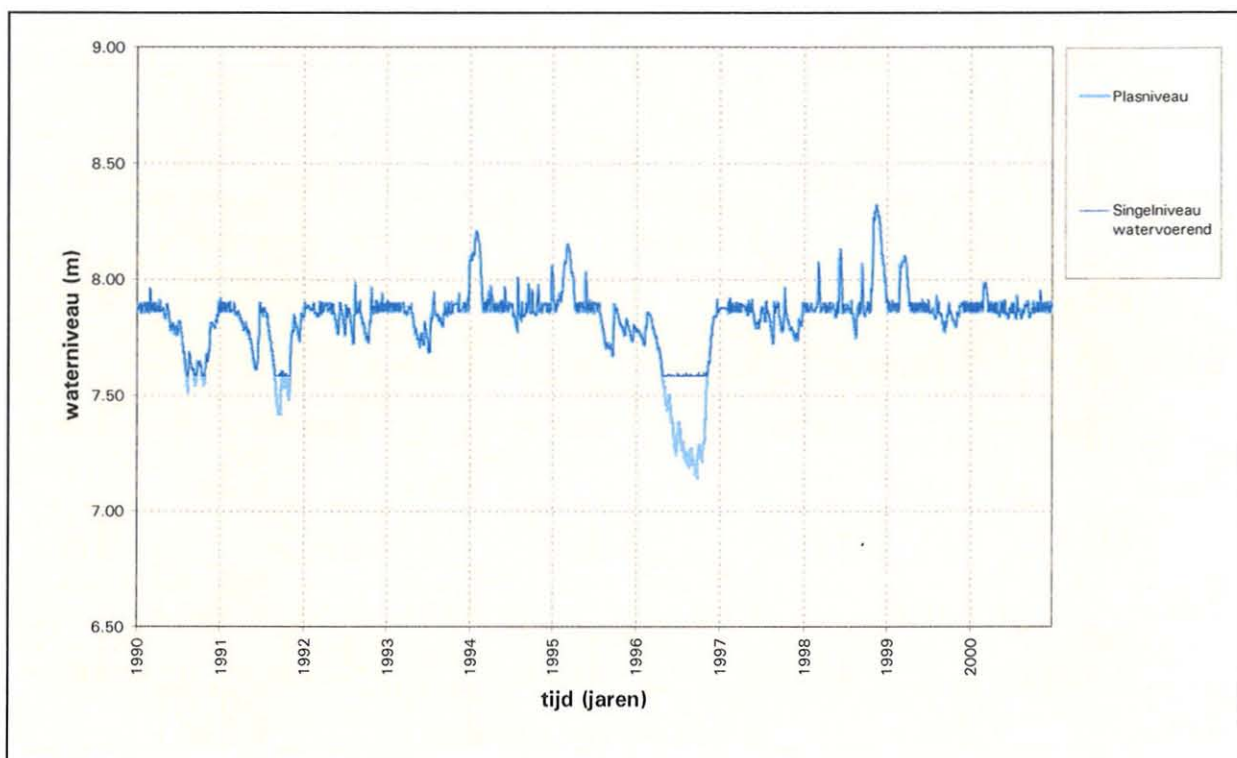
De verhouding tussen niet op peil gehouden wateroppervlak en op peil gehouden

oppervlak bepaalt mede de laagste waterstanden. Hoe groter het op peil gehouden deel hoe lager de minimale waterstand in het niet op peil gehouden deel.

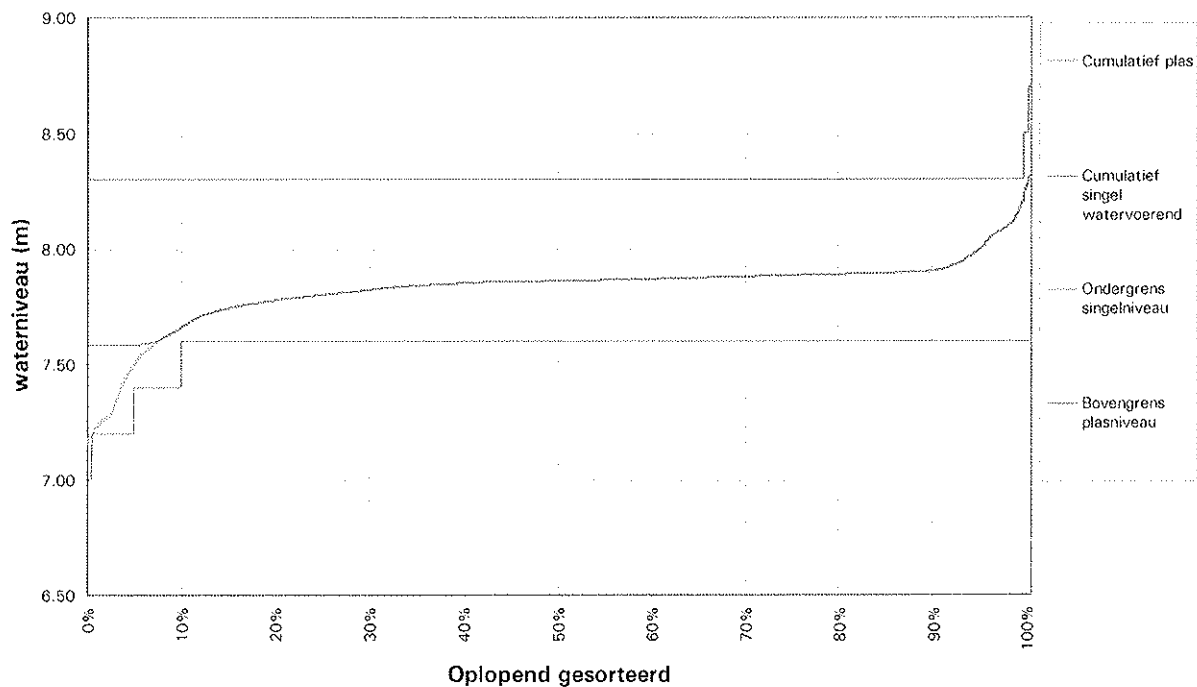
Nu hebben we voor variant I.1(90-0) (Voorgenomen activiteit, 77 ha niet op peil gehouden wateroppervlak, 32 ha op peil gehouden oppervlak) een minimale waterstand berekend van NAP + 7,14 m. Het relatief kleine verschil met de studie van 1997 is onder meer het gevolg van een verbeterde rekenmethode met gekoppeld grondwater-oppervlaktewatermodel. Bovendien is in de voorgaande studie gerekend met extreme jaren waarbij de perioden van Waalstanden en neerslagcijfers uit verschillende jaren stammen. In het 'extreem droge jaar' zijn de Waalstanden van 1991 gecombineerd met de neerslaggegevens van 1976. De berekende extreme waarden hebben een lager frequentie van voorkomen dan de extremen in dit milieueffectrapport. Daarnaast is het op peil gehouden oppervlak iets kleiner.

Ook voor de situaties met kleinere plassen zijn de minimale waterstanden in de situaties zonder dijkteruglegging niet veel lager dan voor variant I.1(90-0). Dat komt omdat in bijna alle andere varianten de singels niet meer worden gestuwd op een minimaal peil. Bovendien zijn de singels met minimaal profiel (alle varianten behalve I.1) aanzienlijk kleiner geworden, zodat ook voor de runs met gestuwde singels de minimale waterstanden minder laag zijn. In de variant IV.6 zijn de bestaande singels bovendien met klei.

In sub-varianten met een zeer kleine plas (minder dan 10 ha) of met dijkteruglegging en geen wateraanvoer vanuit de Linge blijken te lage waterstanden op te treden. Als we uitgaan van een minimale plas van 10 ha blijkt het alleen nodig te zijn water vanuit de Linge aan te voeren om acceptabele minimale waterstanden te kunnen handhaven als er sprake is van dijkteruglegging en binnendijkse oplossing van de kwelproblematiek.

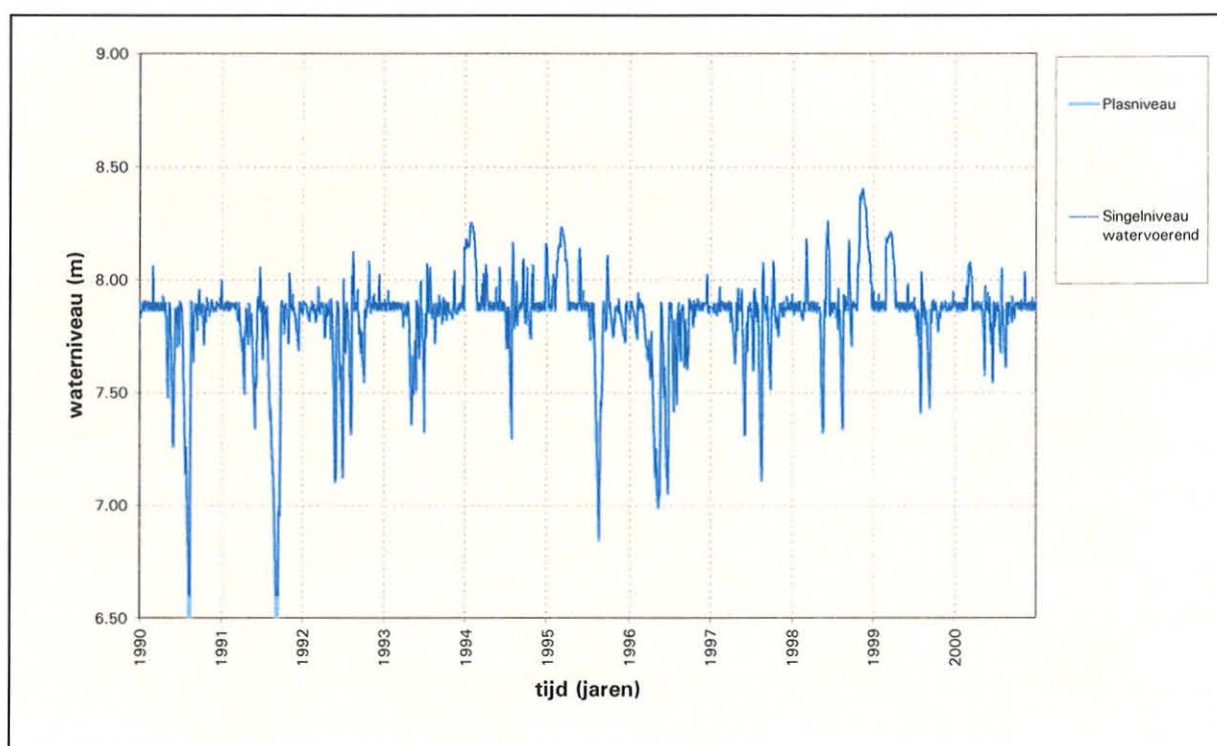


Figuur 30. Berekende verlopen waterstanden in plas en singels periode 1990-2000, Variant I.1(90-0), Voorgenomen activiteit

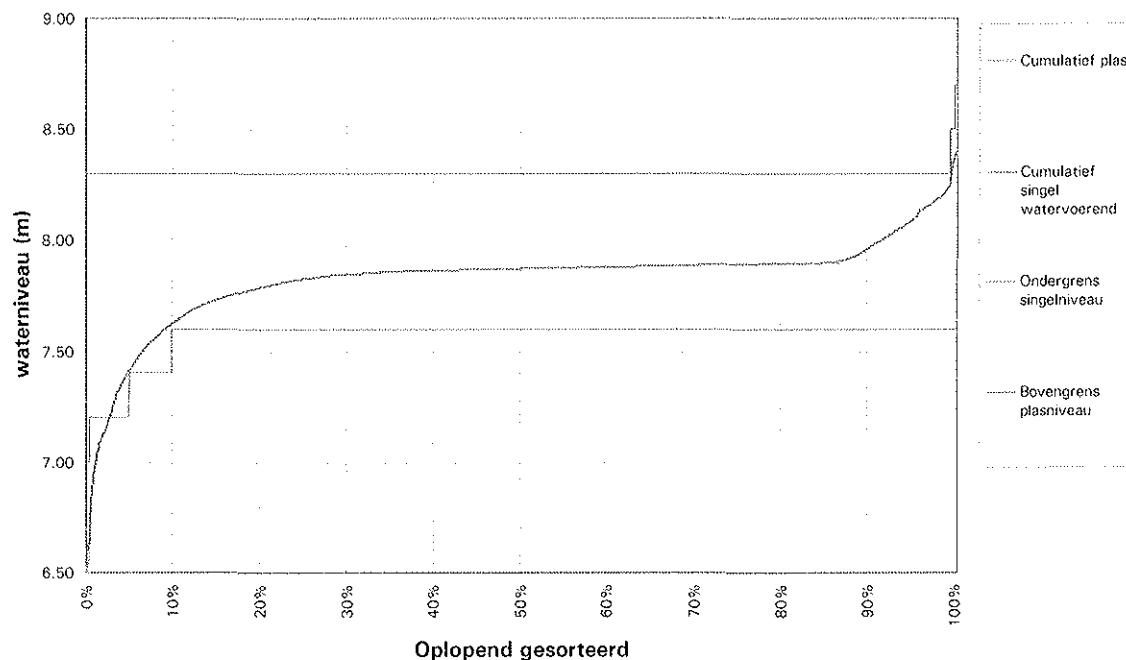


Figuur 31. Toetsing waterstanden in plas en singels periode 1990-2000 aan criteria, Variant I.1(90-0)

In figuur 31 rangschikten we de waterstanden van figuur 30 van links naar rechts oplopend en toetsten we ze aan de criteria uit paragraaf 2.2 voor onder- en overschrijdingsfrequenties.



Figuur 32. Berekende verlopen waterstanden in plas en singels periode 1990-2000, Variant II.4(0-90), singels en centrale buffer zo veel mogelijk droogvallend

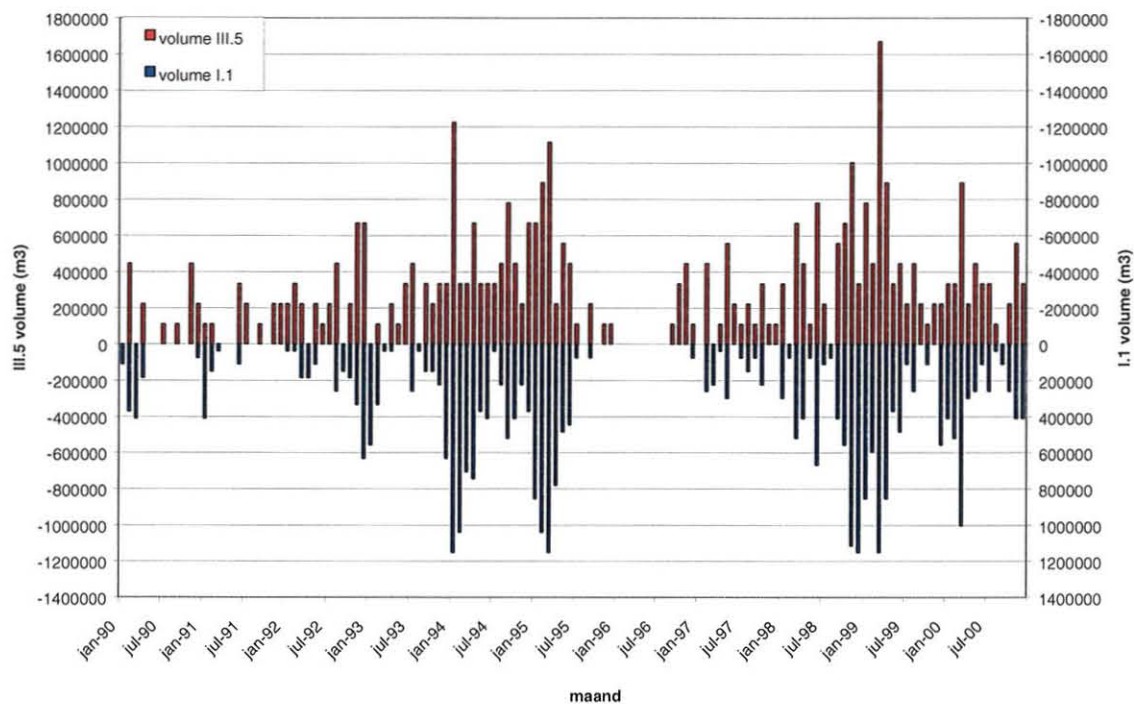


Figuur 33. Toetsing waterstanden in plas en singels periode 1990-2000 aan criteria, Variant II.4(0-90)

In figuur 33 rangschikten we de waterstanden van figuur 32 van links naar rechts oplopend en toetsten we ze aan de criteria uit paragraaf 2.2 voor onder- en overschrijdingsfrequenties.

Paragraaf 7 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie geeft deze berekeningsresultaten voor alle varianten.

Figuur 34 toont de afvoer vanuit het gebied voor de varianten I.1 (90-0) en III.5 (10-0). Variant I.1 (90-0) heeft een grote plas en een afvoernorm 0,5 l/s/ha. Variant III.5 (10-0) heeft een kleine plas en een afvoernorm van 1,5 l/s/ha.



Figuur 34. Vergelijking maandaafvoeren uit de Waalsprong (exclusief Griftdijk) varianten I.1(90-0) en III.5 (10-0)

Het is opvallend dat behalve de piek in 1999 en een zekere tijdverschuiving de afvoeren niet wezenlijk verschillen. De verschillen treden dus met name op in kortdurende pieken.

4.5 Kwalitatieve modelberekeningen

Conclusies voorafgaand onderzoek

Het rapport *Land over de Waal. Modelleren van de toekomstige waterkwaliteit van de Lentse Plassen* [3] modelleert de toekomstige waterkwaliteit en neemt daarbij met name het optreden van algenbloei onder de loep. Bovendien bekijkt het onderzoek of helofytenfilters nodig zijn om de nutriëntenconcentraties tot een aanvaardbaar niveau terug te brengen. Het rapport neemt de plassen op als gestratificeerd, middels het model PUT. De gebruiker geeft hierbij de diepte van de spronglaag op; het model berekent wanneer een spronglaag zou optreden en hoe diep deze zou liggen.

Dit rapport modelleert de waterkwaliteit in drie plassen. Het betreft een situatie die het meest overeenkomt met de variant I.1, de Voorgenomen activiteit. De Lentse en Oosterhoutse Plas zijn hierbij twintig meter diep, de Zandse Plas is vier meter diep.

De belangrijkste conclusies uit het rapport luiden dat de waterkwaliteit naar verwachting zal voldoen aan het MTR, ook zonder dat helofytenfilters worden aangelegd. Eutrofiëring

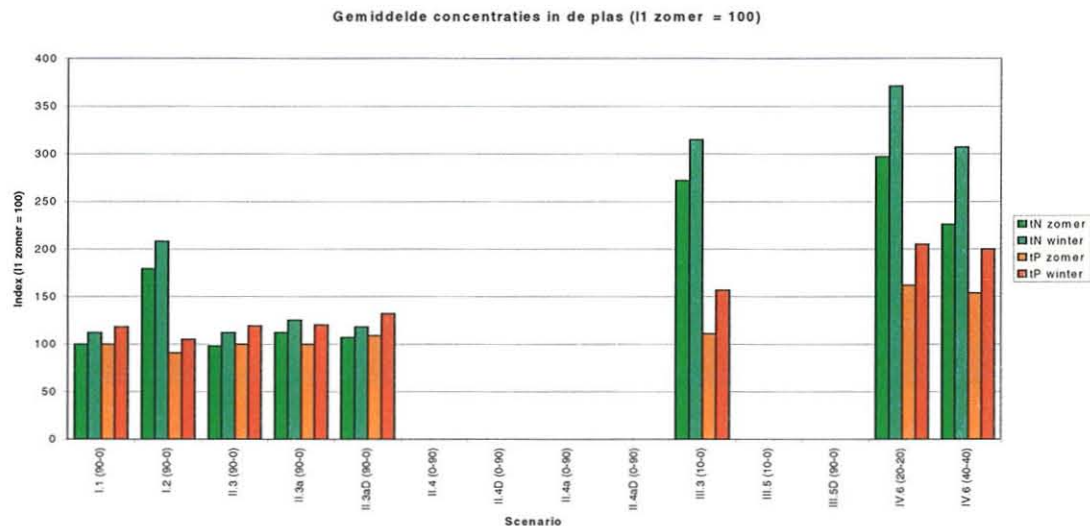
blijft de voornaamste bedreiging voor de waterkwaliteit, maar massale blauwalgenbloei is niet te verwachten. Tijdelijk kunnen blauwalgen echter wel dominant worden, maar dit is een normaal stadium in de successie van de algenpopulatie in een meer. De diepe plassen kunnen het best worden aangelegd met een ondiepe randzone waarin zich waterplanten kunnen ontwikkelen. Deze zorgen voor lagere nutriëntenconcentraties en beperken de algenconcentraties in het water. De waterkwaliteit zal waarschijnlijk voldoende zijn om de functies recreatie en natuurontwikkeling in redelijke mate te ondersteunen.

Als de Lentse en Oosterhoutse Plas niet twintig meter maar vier meter diep worden, zal dat leiden tot een hogere concentratie van groenwieren en blauwalgen. Grofweg gaat het om een verdubbeling van de concentraties bij vier meter diepte ten opzichte van twintig meter diepte. De algengroei is in dat geval met name P-gelimiteerd, terwijl deze bij diepere plassen lichtgelimiteerd is. Bij het aanleggen van ondiepe plassen verdient het dan ook de aanbeveling helofytenfilters aan te leggen voor het verwijderen van nutriënten of de plassen uit te voeren met een plas/dras zone.

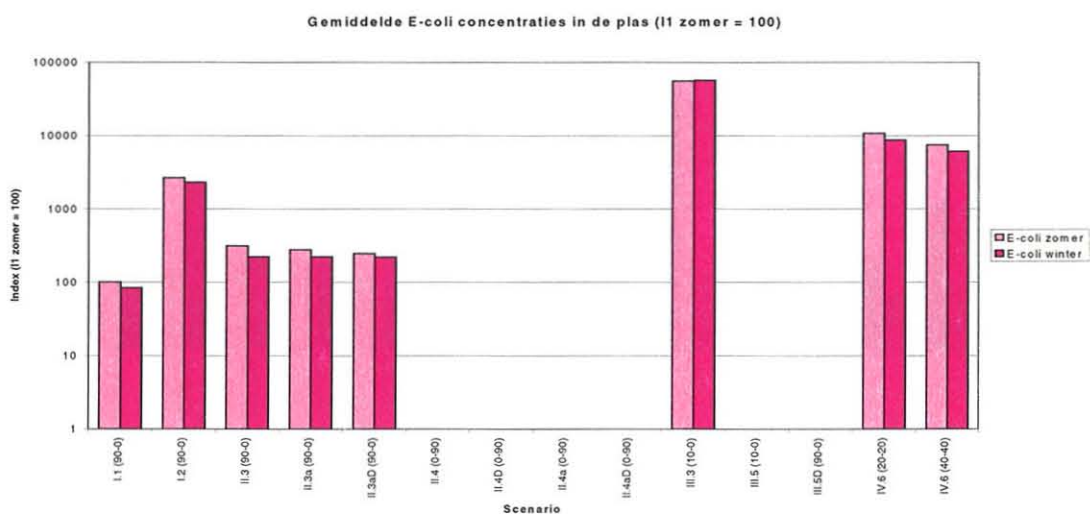
Modelresultaten

Voor de varianten die we in dit milieueffectrapport onderzoeken hebben we gemiddelde concentraties voor stikstof, fosfor, zuurstof en E-coli berekend gedurende het zomer- en winterhalfjaar. In de figuren 35 tot en met 40 en de tabellen 10 en 11 vindt u een vergelijking tussen deze concentraties en die van de plas van variant I.1(90-0) gedurende het zomerhalfjaar.

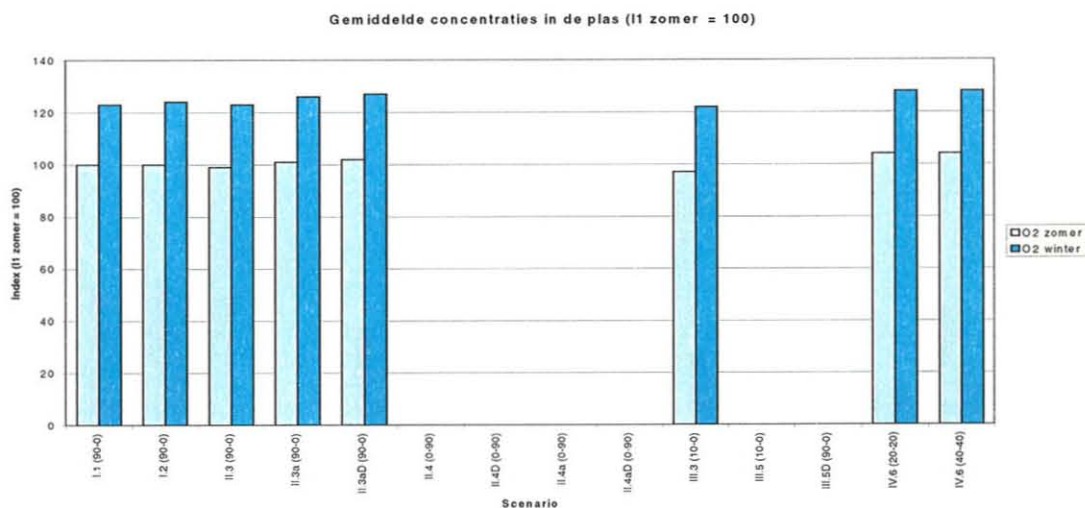
Stikstof en fosfor presenteren we steeds samen in één grafiek. Zuurstof presenteren we in afzonderlijke grafieken. Dit omdat voor stikstof en fosfor geldt: des te lager des te beter; voor zuurstof geldt: des te hoger des te beter. E-coli (hoe hoger hoe slechter) presenteren we in afzonderlijke grafieken vanwege de logaritmische schaal.



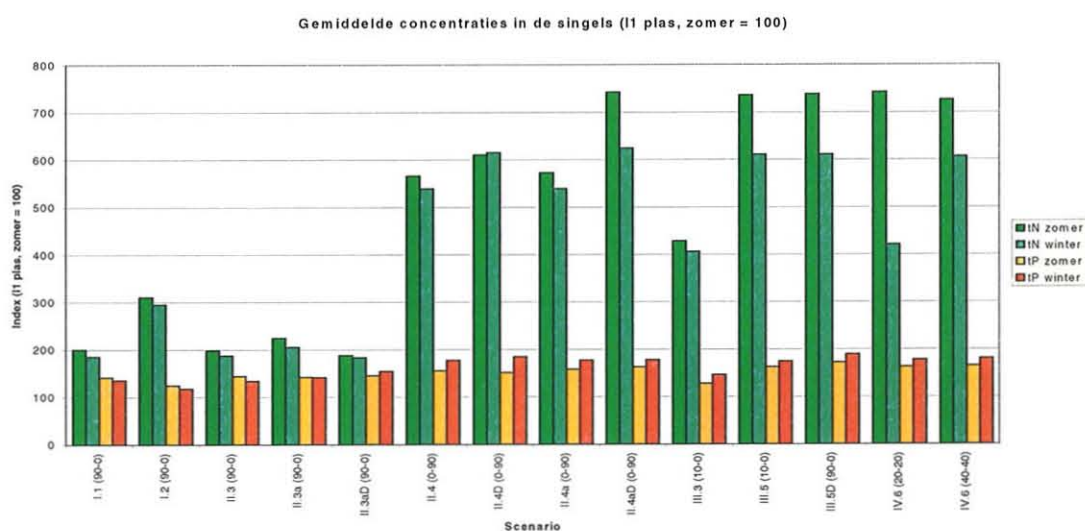
Figuur 35. Vergelijking varianten t.a.v. berekende gemiddelde concentraties stikstof en fosfor in plas. Zomerconcentratie plas variant I.1(90-0) = 100%



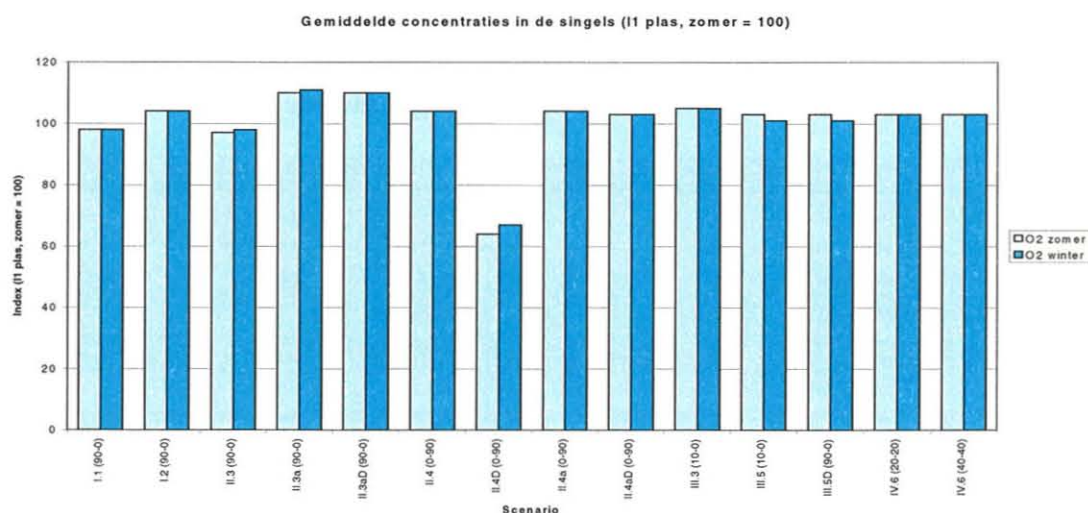
Figuur 36. Vergelijking varianten t.a.v. berekende gemiddelde concentraties E-coli in plas. Zomerconcentratie plas variant I.1(90-0) = 100%



Figuur 37. Vergelijking varianten t.a.v. berekende gemiddelde concentraties zuurstof in plas. Zomerconcentratie variant I.1(90-0) = 100%



Figuur 38. Vergelijking varianten t.a.v. berekende gemiddelde concentraties stikstof en fosfor in singels. Zomerconcentratie plas variant I.1(90-0) = 100%



Figuur 39. Vergelijking varianten t.a.v. berekende gemiddelde concentraties zuurstof in singels. Zomerconcentratie plas variant I.1(90-0) = 100 %

De figuren 35 tot en met 37 tonen geen resultaten voor de plas voor de varianten II.4 en III.5. Deze varianten hebben slechts een zeer kleine plas (in II.4 naast een inundatiegebied), die hierdoor het karakter heeft van een singel. Voor deze varianten geven we uitsluitend resultaten voor de singels.

Zoals met name blijkt uit de tabellen 10 en 11 heeft de waterkwaliteit een sterke relatie met de inhoud van het watersysteem. De varianten I.1 (90-0), II.3 (90-0), II.3a (90-0) en II.3aD (90-0) hebben de grootste waterinhoud en scoren het beste op alle beschouwde parameters. Variant I.2 (90-0) scoort iets minder door de geringere inhoud van de ondiepe plas. De waterkwaliteit van de varianten met een veel geringere plasinhoud scoort beduidend slechter zowel in plas als singels. De uitvoeringsvorm van de singels heeft slechts een geringe invloed op de waterkwaliteit.

Tabel 10. Eigenschappen varianten en berekende gemiddelde concentraties in plassen

Variant	Water-sanvoer	Dijkterug-legging	Singels	Capaciteit afvoer	Oppervlakken (ha)			plas diep / ondiep	water volume	IN-totaal (% I.1z)		IP-totaal (% I.1z)		O2 (% I.1z)		E. Coli (% I.1z)	
					plas	inun.geb	singels			zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
I.1(90-0)	nee	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	19	D	++	100	112	100	118	100	123	1.00E+02	8.40E+01
I.2(90-0)	nee	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	13	O	+	179	208	91	105	100	124	2.67E+03	2.31E+03
II.3(90-0)	nee	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	19	D	++	98	112	100	118	99	123	3.13E+02	2.23E+02
II.3.a(90-0)	ja	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	19	D	++	112	126	100	120	101	126	2.77E+02	2.22E+02
II.3.aD(90-0)	ja	ja	diep	0,5 l/s/ha	90	0	19	D	++	107	118	109	132	102	127	2.40E+02	2.21E+02
II.4(0-90)	nee	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	nvt	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II.4.a(0-90)	ja	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	nvt	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II.4.D(0-90)	nee	ja	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	nvt	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II.4.aD(0-90)	ja	ja	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	nvt	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III.3(10-0)	nee	nee	diep	1,5 l/s/ha	10	0	13	D	-	272	315	111	157	87	122	5.56E+04	5.68E+04
III.5(10-0)	nee	nee	ondiep	1,5 l/s/ha	10	0	11	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IV.6(20-20)	nee	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	20	20	11	O	-	297	371	182	205	104	128	1.08E+04	8.68E+03
IV.6(40-40)	nee	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	40	40	11	O	0	226	307	154	200	104	128	7.50E+03	6.09E+03

++ zeer groot watervolume, + = groot watervolume,
0 = gemiddeld watervolume, - = klein watervolume

++ zeer groot watervolume, + = groot watervolume,
0 = gemiddeld watervolume, - = klein watervolume

Tabel 11. Eigenschappen varianten en berekende gemiddelde concentraties in singels

Variant	Water- gatenoor	Dijkterug- legging	Singels	Capaciteit afvoer	Openvlakken (ha)			plas diep- te endiep	water volume	B-totaal (% I, I2)		P-totaal (% I, I2)		O2 (% I, I2)		E. Coli (% I, I2)	
					plas	inun geb	singels			zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
I.1(80-0)	nee	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	19	D	++	200	185	141	135	98	98	1.31E+05	1.40E+05
I.2(90-0)	nee	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	13	O	+	310	205	124	118	104	104	5.69E+09	5.72E+00
II.3(90-0)	nee	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	13	D	++	198	167	144	134	97	98	7.65E+05	5.94E+05
II.3.a(90-0)	ja	nee	diep	0,5 l/s/ha	90	0	13	D	++	224	205	142	141	110	111	7.36E+05	6.89E+05
II.3.b(90-0)	ja	ja	diep	0,5 l/s/ha	90	0	13	D	++	188	183	145	154	110	110	1.65E+05	1.50E+05
II.4(0-90)	nee	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	nvt	-	909	939	155	177	104	104	2.32E+09	5.70E+08
II.4.a(0-90)	ja	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	nvt	-	810	815	151	184	84	87	2.58E+09	5.10E+08
II.4.D(0-90)	nee	ja	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	nvt	-	572	539	168	177	104	104	2.36E+09	5.70E+09
II.4.b(0-90)	ja	ja	ondiep	0,5 l/s/ha	0	90	11	nvt	-	742	824	183	178	103	103	-	-
III.3(10-0)	nee	nee	diep	1,5 l/s/ha	10	0	13	D	-	428	400	128	140	105	105	1.14E+09	1.23E+09
III.5(10-0)	nee	nee	ondiep	1,5 l/s/ha	10	0	11	O	-	738	811	183	174	109	101	2.21E+09	9.79E+05
IV.6(20-20)	nee	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	20	20	11	O	-	742	421	183	178	103	103	8.06E+04	0.42E+04
IV.6(40-40)	nee	nee	ondiep	0,5 l/s/ha	40	40	11	O	0	720	900	185	180	103	103	9.88E+04	0.14E+04

Verwachte waterkwaliteit

Het rapport *Land over de Waal, modelleren van de toekomstige waterkwaliteit van de Lentse Plassen* [3] concludeert dat de waterkwaliteit waarschijnlijk zal voldoen aan het MTR. Het gemodelleerde systeem in die studie komt overeen met variant I.1 in dit milieueffectrapport. Varianten die een slechtere waterkwaliteit laten zien in deze studie hebben een grotere kans om het MTR te overschrijden dan variant I.1. Dit zijn met name de varianten II.4, II.5 en IV.6. De variant II.3 is gelijkwaardig aan variant I.1

Stratificatie

Wij hebben laten onderzoeken of stratificatie in de verschillende varianten te verwachten valt, en welke invloed deze heeft op de waterkwaliteit. Hierna volgen de conclusies uit de eindrapportage *Effecten van stratificatie en uitbreiding van de oeverzone met bovengrond op de waterkwaliteit van de Lentse plassen* [4].

Optreden van stratificatie

In diepe plassen (> 8 m) komt stabiele stratificatie voor. Dit wil zeggen dat in de periode mei-oktober/november de waterkolom is verdeeld in drie waterlagen. Deze waterlagen onderscheiden zich in temperatuur en dichtheid.

- een warme bovenlaag - het epilimnion;
- een koude onderlaag - het hypolimnion;
- daartussen een spronglaag - het metalimnion.

Aangezien zowel de Oosterhoutse als de Lentse Plas een diepte krijgen van meer dan twintig meter, zullen deze plassen in de periode mei-oktober gestratificeerd zijn.

Effecten van stratificatie op de waterkwaliteit

De belangrijkste effecten van stratificatie zijn:

- geen of zeer geringe uitwisseling (gas- en stofhuishouding) tussen de verschillende waterlagen;
- verschillende processen die plaatsvinden in het epi- en hypolimnion;

- afname van voedingsstoffen in het epilimnion door productie- en sedimentatieprocessen;
- toename van stoffen in het hypolimnion en afname van de zuurstofconcentratie.

In hoeverre dit zal leiden tot een chemische stratificatie in de Oosterhoutse en Lentse Plas is afhankelijk van:

- de uiteindelijke morfologie van de plassen: diepte, taluds, volume;
- de belasting van deze plassen met voedingsstoffen;
- het volume van de verschillende waterlagen, met name het hypolimnion;
- de beschikbare hoeveelheid zuurstof in het hypolimnion op het moment dat stabiele stratificatie zich instelt.

Thermische en chemische stratificatie in de plassen heeft gevolgen voor de verspreiding van fyto- en zoöplankton, macroalgen en vissen. Het epilimnion, de waterlaag waar voldoende licht aanwezig is, is nagenoeg gelijk aan de productiezone. Hier vinden de belangrijkste biologische processen plaats. In deze waterlaag is vrijwel alle leven aanwezig (fyto- en zoöplankton als macroalgen, oever-, drijvende en onderwaterplanten en macrofauna inclusief vissen). Door de fysische barrière van de spronglaag zal de verspreiding van fyto- en zoöplankton naar de onderste waterlagen minimaal zijn.

Het hypolimnion beneden de spronglaag zal door de sterke daling van de zuurstofconcentratie ongeschikt worden voor vissen. Bovendien kunnen er reductieproducten worden gevormd die giftig kunnen zijn voor vissen.

In een gestratificeerde toestand is de kans groter dat bepaalde bacteriën (blauwalgen: de cyanobacteriën) beter tot ontwikkeling komen dan wanneer er sprake zou zijn van een volledig gemengde waterkolom. Door een gasvacuole is deze groep in staat zich te handhaven in het epilimnion. Aangezien zij tevens bij een geringe(re) lichtintensiteit beter kunnen groeien dan andere algensoorten zijn ze in staat in korte tijd drijfvlagen te vormen.

Het is belangrijk voor de waterkwaliteit in de diepe plassen dat we een sterke toevoer van nutriënten in de plas voorkomen. Bovendien moeten we goed onderzoeken of er in de eerste jaren na aanleg van de watergangen kans is op interne eutrofiëring. We hebben dit niet meegenomen in de modellering.

De effecten van het verdwijnen van stratificatie in het najaar

Als in het najaar de stratificatie verdwijnt, heeft dat over het algemeen geringe effecten. Deze leiden niet tot meetbare effecten in nutriënten- of zuurstofconcentratie. Dat komt omdat er in het najaar geen ommekeer van de stratificatie is, maar een geleidelijke opheffing. Doordat de bovenste waterlaag afkoelt, groeit de menglaag steeds verder en mengen de stoffen die zijn opeengehoopt in het hypolimnion geleidelijk weer door de hele waterkolom. Hierdoor kan er wel een algemene toename plaatsvinden van stoffen boven in de waterkolom. Het volume van diepe plassen is echter dusdanig groot dat deze effecten vaak niet meetbaar zijn. In het algemeen kunnen we stellen dat er geen meetbare effecten optreden na opheffing van de stratificatie, ook niet wanneer er anoxische omstandigheden in het hypolimnion waren tijdens de stratificatieperiode.

Uitbreiding van oeverzones

De uitbreiding van de oeverzones heeft een zeer positief effect op de soortenrijkdom in de plas, zowel voor flora als fauna. Bovendien verbetert de waterkwaliteit door een toename van de oever- en waterplanten. Deze verbetering heeft met name betrekking op een verhoging van het doorzicht en een afname van voedingsstoffen in het water. Hiervoor moeten we de oeverzone zodanig uitbreiden dat een eventuele verstoring zo gering mogelijk is gedurende een zo kort mogelijke periode.

Conclusies

Hoe groter het totale watervolume in het systeem, hoe beter de waterkwaliteit wordt in de plassen. Met name de diepte en het oppervlak van de plas is hierbij van belang; de diepte van de singels en het al dan niet stuwen van de singels is van minder belang voor de waterkwaliteit. De varianten met een kleine of zonder plas scoren het slechtst.

Waterinlaat of dijkverlegging geven geen grote verslechtering of verbetering van de waterkwaliteit.

Voor de E-coli concentraties laten grote verschillen tussen de varianten zien. Het is belangrijk een variant te kiezen met een zo laag mogelijk E-coli gehalte, omdat de plas ook een recreatiefunctie zal krijgen.

De invloed van stratificatie op de waterkwaliteit is er bij plassen dieper dan acht meter. Deze invloed is echter beperkt. Periodiek zijn gevolgen van de scheiding van waterlagen te merken door een verslechtering van de waterkwaliteit door een beperktere verdunning tijdens perioden met veel vuilemissie en droogte. Daarnaast kan de zuurstofloosheid in de onderlaag van de plassen een gunstig effect hebben op de afbraak van stikstof. Doordat er in de winter geen stratificatie is, zal menging optreden en zal de uiteindelijke waterkwaliteit op langere termijn zich in zekere zin gedragen als die van een plas zonder stratificatie.

De uitbreiding van de oeverzones heeft een zeer positief effect op de waterkwaliteit, flora en fauna.

5 Ecologie en mitigering

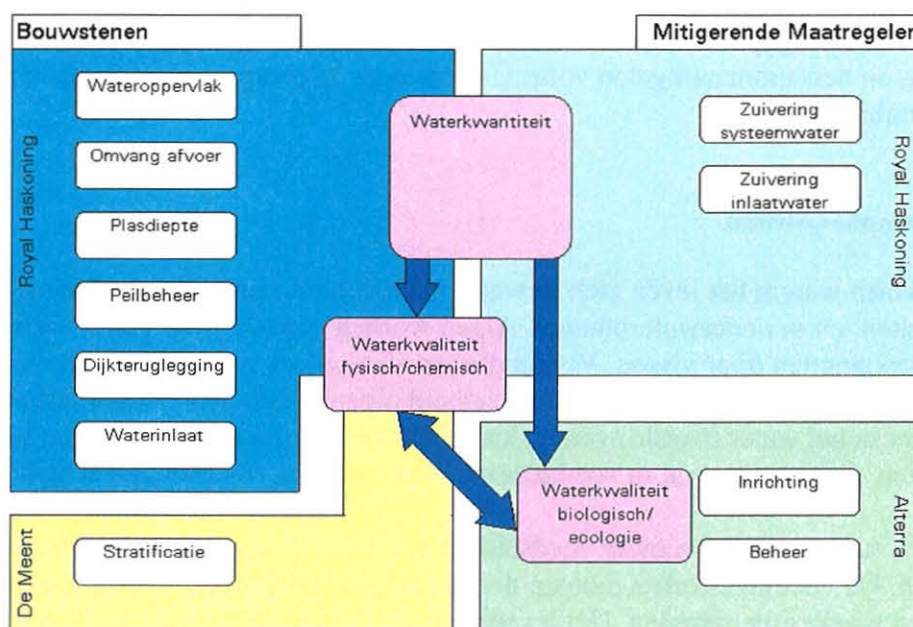
Dit hoofdstuk beschrijft de invloed van de waterkwaliteit op de ecologie en de mitigerende maatregelen

5.1 Ecologie

Potentiële watertypen

Naast dimensionering, inrichting en invloed van bronnen hebben ook ecologische aspecten een belangrijke invloed op de waterkwaliteit. Omgekeerd is de ecologische waarde van het watersysteem mede afhankelijk van de kwantitatieve en kwalitatieve aspecten. In de Duflow-modelstudie hebben we alleen de waterkwantiteit en de fysisch-chemische waterkwaliteit opgenomen en hebben we ecologische aspecten zoals algengroei, oevervegetatie, vis en watervogels buiten beschouwing gelaten. In deze studie beschouwen we ecologische inrichting als mitigerende bouwsteen. De gedetailleerde uitwerking hiervan per variant vindt u in paragraaf 10 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie.

Het schema geeft de plaats van ecologische aspecten in deze studie aan.



Figuur 40. Plaats van ecologische aspecten in deze studie

Per variant hebben we op basis van een aantal standaard natuurdoeltypen de potentiële watertypen voor de Waalsprong bepaald. We maakten gebruik van de volgende bekende aquatische natuurdoeltypen:

- van de rivier geïsoleerde grote diepe wateren;
- van de rivier geïsoleerde kleine diepe wateren;
- grote diepe mesotrofe matig tot sterk gebufferde wingaten;
- ondiepe tot matig diepe wingaten op kleigrond;
- kleine stromende kanalen (ruisvoorn-snoek viswatertype);
- klein stilstaand kanaal op kleigrond (grote overeenkomsten met snoek-blankvoorn viswatertype);
- eutrofe kleislote (grote overeenkomsten met snoek-blankvoorn viswatertype).

Het is mogelijk dat zich binnen de varianten I.1 en II.3 de natuurdoeltypen kleine stilstaande kanalen op kleigrond en eutrofe kleislotten ontwikkelen. In de andere varianten verwachten we op basis van de modelresultaten geen ontwikkeling van de bekende aquatische natuurdoeltypen. Met name de fosfaatgehalten overschrijden de randvoorwaarden voor de voorgestelde watertypen. Om te voorkomen dat dit tot problemen leidt, kunnen inrichtings- en beheersmaatregelen uitkomst bieden.

Waar de modelresultaten geen aanleiding geven om te verwachten dat een bepaald natuurdoeltype zich kan ontwikkelen, kunnen we de omstandigheden nog wel optimaliseren voor een minder hoog ecologisch niveau (stadwater).

De kans op overlast van het stedelijk water is met een evenwichtige ontwikkeling van de aquatische natuurdoeltypen gering. Dit geldt voor de varianten I.1 en II.3. Er is op dit moment nog geen geschikt instrument om in te schatten of bij wateren met een geringer ecologisch niveau overlast kan ontstaan door bijvoorbeeld stank of een overmaat aan steek- en kriebelmuggen. Om overlastrisico's te voorkomen stellen we een aantal inrichtings- en beheersmaatregelen voor. U vindt deze in paragraaf 10 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie.

Ecologie van watersystemen

De eerste vorm waarin het leven zich in water manifesteert zijn algen, de kleinste planten die we kennen, en in onderwaterplanten. Algen worden gegeten door watervlooien, die weer worden gegeten door vissen. Vissen dienen als voedsel voor roofvissen en vogels. Er is een evenwichtige situatie als de hoeveelheid algen in een water niet overheerst. Zo kan zonlicht in het water doordringen en krijgen andere vormen van leven een kans zich te ontplooien. Dat is het geval in voedselarme wateren waar voedselbeperking heerst.

Dat kan ook het geval zijn in meer voedselrijke wateren zoals we in de Waalsprong verwachten. De voedingsstoffen moeten dan niet alleen voor algen beschikbaar zijn, want dan zou een woekering optreden. Het teveel aan voedingsstoffen moet worden ingevangen in andere biologische componenten zoals waterplanten, watervlooien, schelpdieren en (roof)vissen. Deze situatie doet zich voor in helder, plantenrijk water.

Woekering van algen leidt tot groen en troebel water en schommelingen in de zuurstofconcentratie en zuurgraad in het water. Vooral dicht bij de bodem kan zelfs zuurstofloosheid optreden. Het gevolg van eutrofiëring is een verarming van de aquatische levensgemeenschap en hinder (bijvoorbeeld stank en vissterfte).

Indeling watertypen op basis van voedselrijkdom

Tabel 12 beschrijft drie typen stadswater die we op basis van de voedselrijkdom kunnen onderscheiden (BRON: Waterschap Rivierenland).

Tabel 12. Typen stadswater

Watertype	maximum totaal fosfaatgehalte	Omschrijving
1. Helder voedselarm water	0,04 mg/l	Stabiel watersysteem, gesloten voedselkringloop
2. Matig voedselrijk water	0,04-0,10 mg/l	Helder of troebel water, afhankelijk van peilbeheer, vorm en inrichting
3. Voedselrijk water	>0,10 mg/l	Meestal troebel en groen gedomineerd door algen, soms helder en overwoekerd door waterplanten. Inrichting en beheer cruciaal.

Nutriënten, waterdiepte, breedte, waterpeil, bodemsubstraat, vorm van de oevers en vegetaties zijn bepalende factoren voor een ecologisch evenwichtig watersysteem. Kleibodems, zoals in de Waalsprong, herbergen vaak een reservoir aan voedingszouten en zijn daardoor matig voedselrijk tot voedselrijk. Overgroeiing met onderwaterplanten kan het reservoir voedingszouten afdekken en ten dele vastleggen.

Inrichting

Met name flauw aflopende oevers geven oeverlevensgemeenschappen mogelijkheden zich te ontwikkelen door de gradiënt van droog naar nat en van hoog naar laag. Door de lokale verschillen in abiotische milieufactoren van flauw aflopende oevers zoals licht, waterdiepte, waterbeweging en bodemsamenstelling kunnen we verschillende vegetatiezones onderscheiden. Zo kan de 'waterplantenzone' drijvende en ondergedoken waterplanten bevatten als gele plomp, fonteinkruid en waterlelie. De 'riet- en biezenzone' kan soorten bevatten als lisdodde, mattenbies, riet en zeggensoorten. In de 'zacht- en hardhoutzone' kunnen grassoorten, struiken en bomen voorkomen zoals rietgras, els, eik en meidoorn. Deze water- en oevervegetatie biedt weer schuil-, broed- en paaiplaats voor fauna (zoals vogels, vissen en insecten).

In stedelijk gebied hebben natuurvriendelijke oevers niet alleen een ecologische-, maar ook een esthetische en recreatieve functie als onderdeel van de groenvoorziening in woonwijken en industrieterreinen. Natuurvriendelijke oevers zijn bovendien veiliger dan traditionele oevers; kinderen die onverhoopt in het water terechtkomen kunnen makkelijker op de kant komen. Een aantrekkelijke woonomgeving met door groen geflankeerd oppervlaktewater versterkt bovendien de maatschappelijke betrokkenheid van de burgers bij stedelijk waterbeheer. Vanuit ecologisch oogpunt spreken we geen voorkeur uit om natuurvriendelijke oevers specifiek in plassen of singels te situeren.

Beheer

In voedselrijke watersystemen is het goed eenmaal per jaar de waterplanten te maaien en het maaisel af te voeren. De oeverplanten moeten eens per drie tot vijf jaar gemaaid worden. Ook hierbij moeten we het maaisel afvoeren om oplading van nutriënten door afgestorven plantendelen te beperken.

Achter de overstortlocaties is periodiek baggerbeheer goed ter bevordering van de waterkwaliteit. Bij troebel groen water door overmatige algengroei is periodiek kwaliteitsbaggeren in alle watergangen aan te bevelen.

5.2 Mitigerende maatregelen

Mitigeren eutrofiëring in watersysteem

Er zijn twee strategieën om de voedselrijkdom van het watersysteem te beperken. De eerste is de beperking van de uitstoot van voedingsstoffen naar het watersysteem. In het ontwerp van de Waalsprong is die uitstoot al maximaal teruggedrongen. De tweede is het verwijderen van voedingsstoffen uit het water.

Uit de berekeningen van de waterkwaliteit blijkt een verslechtering van deze kwaliteit naar gelang de waterinhoud van het systeem afneemt. Dan is het ook van toenemend belang voedingsstoffen uit het systeem te verwijderen.

Paragraaf 9 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie is een verkenning van de effecten van een helofytenfilter op de nutriëntenverwijdering. Hoewel we later de effecten van een kleiner filter hebben bekeken is het uitgangspunt van die paragraaf een filter van bruto 20 ha dat in staat is 5000 m³/dag ingelaten Lingewater te zuiveren. Gezien de omvang moeten we kiezen voor een eenvoudig systeem en stellen we een horizontaal doorstroomd filter voor. We kunnen de filters inzetten voor de zuivering van zowel inlaatwater als water uit singels of plassen. We onderscheiden drie uitvoeringsvormen.

1. separaat filter met volledig gecontroleerde watertand en voeding;
2. zoomfilter aan de uitstroming van de singels doorstroomd door het circulatiedebiet van de singels, geïntegreerd in de plas;
3. singelfilter als natuurvriendelijke oever langs de oever van de singels.

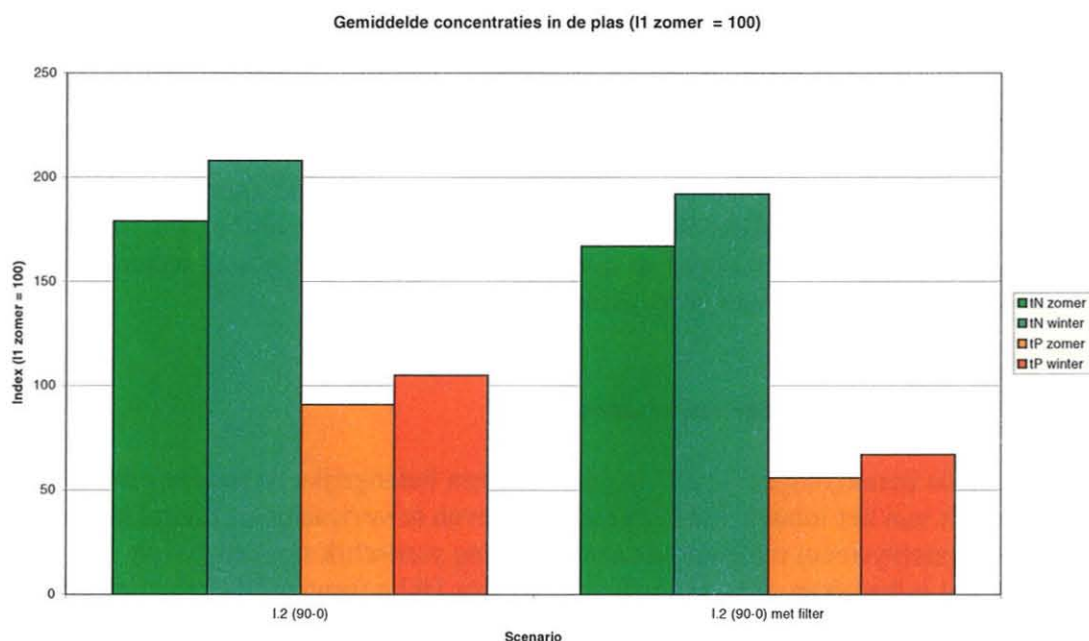
In paragraaf 9 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie vindt u schattingen van zuiveringsrendementen voor een 20 ha filter gevoed door de circulatiestroming van de singels van het Stadseiland en Oosterhout. Tabel 13 vertaalt deze schattingen naar een filter van in totaal 10 ha.

Tabel 13. Effect van verschillende typen horizontale helofytenfilters (10ha) doorstroomd door circulatiedebiet

Variant	Debiet M3/dag	Gemiddeld rendement	Onttrekking uit systeem	Opmerking
Separaat filter, singelwater	6000	20%	435 kg N 24 kg P	onttrekking neemt af naarmate filter langer wordt ingezet voor behandeling van inlaatwater
Zoomfilter, singelwater	6000	10%	220 kg N 12 kg P	onttrekking neemt af naarmate filter langer wordt ingezet voor behandeling van inlaatwater
Singelfilter, nat. oever	6000	3%	65 kg N 4 kg P	

Het effect van een volledig beheerst separaat filter is het grootste, maar ook de kosten (met name ook de beheersinspanning) en het ruimtebeslag zijn het grootste.

Een zoomfilter is een helofytenfilter dat deel uitmaakt van de plas. Het vergt geen extra ruimte, maar heeft een beperkter rendement, onder meer door de optredende peilfluctuaties. We hebben het effect van een zoomfilter van 10 ha voor variant I.2 bepaald door een modelberekening. We zijn uitgegaan van een gemiddeld rendement van 10%: 20% gedurende de zomermaanden en 0% gedurende de wintermaanden. De resultaten laten een duidelijke verbetering van de nutriëntenconcentraties (vooral fosfor) zien zowel gedurende de zomermaanden als (in iets mindere mate) de wintermaanden.



Figuur 41. Concentraties stikstof en fosfor met filter (rechts) en zonder filter (links)

De zuiverende werking van natuurvriendelijke oevers is aanzienlijk geringer dan van een zoomfilter. Dit singelfilter komt minder in contact met de stroming. Voor een filter van 10 ha (circa 5 m ter weerszijden van de singels) verwachten we een rendement van gemiddeld slechts 3%. Het rendement van een filter van bijvoorbeeld 1 m langs één oever is te gering om als serieuze optie ter verbetering van de waterkwaliteit te gelden. Zo'n voorziening kan uiteraard wel om andere redenen wenselijk zijn.

Mitigeren waterverlies

Varianten met een zeer klein wateroppervlak of met dijkeruglegging voldoen niet aan de criteria voor minimale waterstanden. Bovendien betreffen de berekeningen slechts een periode van tien jaar. Met een herhalingstijd groter dan tien jaar zijn veel lagere waterstanden mogelijk. Er zijn drie strategieën om te lage waterstanden in singels te voorkomen.

1. stuwen van de singels (varianten I.1 en I.2);
2. met klei bekleden van singels;
3. wateraanvoer vanuit de Linge.

De eerste optie heeft als nadeel dat we de waterstanden in de singels beheersen ten koste van de waterstanden in de plas.

Bij de tweede optie gaan we de inzijging in de singels tegen door de singels met klei te bekleden. Dit is in het geval van dijkeruglegging geen geschikte maatregel voor de singels rond het Stadseiland, omdat dan juist een drainerende werking van speciale onder de singels aangebrachte drainageconstructies nodig is. Met name in de dijkzone is de klei in den droge aanbrengen kostbaar en zijn de problemen met opbarsten bij hoge Waalstanden groot.

De derde optie is inlaten van water uit de Linge. Dit lijkt het beste alternatief om waterstanddalingen te beperken. Het verlies wordt aangevuld, waardoor waterstanden redelijk constant blijven. Een beperkte inlaatcapaciteit van 5000 m³/dag water heeft volgens de berekeningen al een groot effect.

Mitigeren eutrofiëring ten gevolge van inlaatwater

De uitgevoerde berekeningen geven aan dat we geen belangrijke negatieve effecten op de waterkwaliteit van het inlaten van Lingewater hoeven te verwachten. Vooral als we een wat kleiner watersysteem realiseren is een zuivering wenselijk om een goede waterkwaliteit te bereiken. Een zoomfilter van circa 10 ha (bruto) lijkt effectief om de waterkwaliteit op lange termijn te verbeteren. De eventuele lozing vanuit de Linge moet dan wel uitstromen in dit filter.

Mitigeren E-coli concentratie in plassen

Vooraf het vergroten van de verblijftijd van water na een vervuilde lozing in de singels verlaagt de E-coli concentraties. Bij het kleiner worden van de plassen zal de E-coli concentratie toenemen. We kunnen dit verbeteren door de (gemengde) plassen onder te verdelen in twee achtereenvolgens door de circulatiedebieten doorstroomde eenheden. Compartimentering van de plassen en concentratie van de recreatie in het benedenstroomse segment kunnen de E-coli concentraties mitigeren.

6 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk vindt u de belangrijkste bevindingen van het onderzoek op thematische wijze. We hebben de verschillende aspecten gedurende het onderzoek ook beoordeeld in een effectscoretabel. Deze tabel geeft aan op welke aspecten welke varianten de voorkeur hebben. U vindt de tabel in paragraaf 11 van het hoofdstuk Achtergrondinformatie.

Dijkteruglegging

Een binnendijkse oplossing van de problematiek veroorzaakt door de dijkteruglegging vereist zeer kostbare drainerende constructies onder de singel, aanvoer van water in droge perioden en eventueel vergroting van het plasoppervlak. Voor de dijkteruglegging is het beter uit te gaan van buitendijkse maatregelen om de kwel en grondwateroverlast te beperken (bekleden nieuwe nevengeul tot aan eiland met klei, of verticaal waterdicht mixed-in place geboord scherm tot scheidende laag). Met dergelijke maatregelen vervallen de verschillen in berekende waterstanden en grondwaterstanden tussen varianten met en zonder dijkteruglegging. De resultaten voor varianten zonder dijkteruglegging zijn dan ook geldig voor de vergelijkbare varianten met dijkteruglegging.

Grondwaterstanden

De aanleg van de singels met beheerste waterpeilen veroorzaakt in alle varianten een verlaging van de grondwaterstanden in Lent bij hoge Waalstanden. Voor de beheersing van de grondwaterstanden speelt de centrale berging in hoofdzaak een indirecte rol door het beperken van de maximale waterstanden in het oppervlaktewater. Voor de directe invloed op grondwaterstanden is ten noorden van het Stadseiland een watergang met de afmetingen van de singels voldoende.

Centrale berging (plassen en/of inundatiegebied)

Bij een afvoernorm vanuit het gebied van 1,5 l/s/ha is (zonder effect dijkteruglegging) naast het minimumoppervlak van de singels een plasoppervlak van circa 10 ha voldoende voor acceptabele maximale en minimale waterstanden in het watersysteem.

Als we de doelstelling handhaven om de afvoernorm vanuit het gebied te beperken tot 0,5 l/s/ha, zoals in de Voorgenomen activiteit, is een centrale buffer nodig met een oppervlak van circa 90 ha, waarvan ten minste 10 ha plas. Dit is naast het minimumoppervlak van de singels. Zo bereiken we acceptabele maximale en minimale waterstanden.

Eventuele verhoging van de afvoernorm tot waarden hoger dan bij de Voorgenomen activiteit (0,5 l/s/ha) moeten we met het waterschap overleggen. Compensatie in de vorm van berging buiten het gebied is dan misschien vereist.

Gebied Griftdijk

Het gebied Griftdijk watert met een eigen watersysteem af naar het watersysteem dat het waterschap beheert. Dit gebied heeft geen verbinding met de centrale buffer en hiervoor wordt dan ook een afvoernorm van 1,5 l/s.ha aangehouden (210 l/s). Ook dit gebied loost met een beweegbare stuw boven het peil NAP + 7,90 m. De minimale maaiveldhoogte is NAP + 9,30 m. De watergang moet een wateroppervlak (op niveau NAP + 8,0 m) hebben van circa 4,3 ha.

Singels

De vooraf bepaalde minimumafmetingen van de singels in diepe en ondiepe uitvoering blijken voldoende om aan de gestelde eisen van waterafvoer te voldoen. De uitvoeringsvorm van de singels, diep of ondiep, heeft een ondergeschikte invloed op grondwaterstanden. Bij de minimale afmetingen en niet stuwen is voor de nog aan te leggen singels geen kleiafdichting van de bodem meer nodig. Voor de aanleg van droogvallende watersingels zijn (kostbare) aanvullende maatregelen noodzakelijk.

Waterinlaten vanuit de Linge

In varianten met een plas groter dan 10 ha en zonder dijkeruglegging blijkt het inlaten van water vanuit de Linge niet noodzakelijk om aan de gestelde eisen voor minimale waterstanden te voldoen. Wel mitigeert een dergelijke inlaat extreme lage waterstanden die met een lage frequentie voorkomen.

Als we ongezuiverd Lingewater inlaten in het watersysteem blijkt dit de waterkwaliteit in het systeem niet merkbaar te verslechteren. Het inlaten van water uit de Linge is op zich dan ook geen reden tot de aanleg van een helofytenfilter.

Waterkwaliteit in plassen

De waterkwaliteitsberekeningen die we hebben uitgevoerd geven aan dat we zonder aanvullende maatregelen op basis van de nutriënten een optimale waterkwaliteit bereiken bij een zo groot mogelijke plasinhoud, een grote diepe plas. Het plasoppervlak verkleinen en de plas ondieper maken beïnvloedt de waterkwaliteit op basis van nutriënten in ongunstige zin. Als we kiezen voor een ondiepe plas (bijvoorbeeld om aquatisch ecologische redenen) of een kleinere plas kunnen we de nadelige gevolgen voor de waterkwaliteit mitigeren door een goede inrichting en het aanbrengen van helofytenfilters in ondiepe delen van de plas aan de uitstroming van de singels.

We verwachten bij een plasafmeting van 90 ha met een goede inrichting zwemwaterkwaliteit te bereiken. Bij ondiepe plassen gaan we dan wel uit van een goede inrichting plus helofytenfilters die we moeten aanleggen binnen de plassen bij de uitstroming van de singels.

Verkleinen van plassen heeft naast nadelige invloed op nutriënten ook een nadelige invloed op maximale concentraties E-coli in de plassen. We kunnen dit verbeteren door compartimentering, waarbij het benedenstroomse compartiment de laagste concentraties heeft. We kunnen waterrecreatie het beste hier concentreren. Het plaatsen van helofytenfilters tussen singels en plas heeft naast een zuiverend effect ook het gunstige effect van compartimentering.

Ook voor wat kleinere plassen dan 90 ha is met een zeer goede inrichting en compartimentering zwemwaterkwaliteit misschien haalbaar. Hiervoor is nader onderzoek wenselijk.

Ecologie

Vanuit de ecologie is er een voorkeur om uitgebreide oeverzones aan te leggen. Vanuit ecologisch oogpunt spreken we geen voorkeur uit om natuurvriendelijke oevers specifiek in plassen of singels te situeren.

Combinatie van helofytenfilters met uitgebreide oeverzones in de plassen ligt het meest voor de hand. We moeten streven naar een beheerextensieve inrichting die geschikt is voor recreatief gebruik. In het helofytenfilter kunnen we ook eventueel inlaatwater het systeem inlaten tijdens droge perioden.

Achtergrondinformatie

1 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Deze paragraaf geeft de uitgangspunten van de (model)studie weer zoals deze voorafgaand aan het onderzoek met gemeente en waterschap zijn overeengekomen of besproken. In enkele gevallen zijn de uitgangspunten gaande het onderzoek bijgesteld.

Nr	Grondwater Oppervlaktewater Waterkwaliteit Dijkverlegging	Info aanwezig bij RH Is er een gebruikslicentie Afgesproken met opdrachtgever	Benodigde info	Instantie	Leverancier	Opmerking
1	X X	ja nvt ja	kaart huidige situatie	Gemeente Nijmegen	Erik Zweers	
2	X X	ja nvt ja	kaart toekomstige situatie	Gemeente Nijmegen	Erik Zweers	
3	X	ja ja ja	Gemeten grondwaterstanden	DINO	nvt	Recente veldinformatie niet aanwezig
4	X X	ja ja	Model Microfem	HASKONING Onderzoek 2000	MvZ	
5	X X	ja nvt ja	maaiveldhoogtekaart bestaand	Gemeente Nijmegen	Teus Gijzel	Kaarten zijn digitaal geleverd
6	X X	ja nvt ja	maaiveldhoogtekaart gepland	Gemeente Nijmegen	Teus Gijzel	bestaand = huidig nog te ontwikkelen = huidig + 0,3 m, minimaal 9,60
7	X X	ja nvt ja	Bodemhoogte nevengeul	HASKONING Onderzoek 2000	MvZ	Conform plan Brox
8	X	ja nee ja	bodemkaart/grondwatertrappenkaart	Alterra	???	Zelf contact opnemen met Prov. over gebruik, tenzij dit extra kosten meebrengt
9	X X	ja nvt ja	zandbanenkaart	Provincie Gelderland	???	Zelf contact opnemen met Prov. over gebruik, tenzij dit extra kosten meebrengt
10	X X	ja nvt ja	geo(hydro)logische veldinformatie (evt uit recente sonderingen)	HASKONING Onderzoek 1997	MvZ	Meer recent niet beschikbaar
11	X	ja nvt ja	geohydrologische beschrijving	Provincie Gelderland	???	
12	X X	ja nee ja	gemiddelde en langjarige reeksen van hoogwater	Rijkswaterstaat	???	
13	X X	ja nvt ja	Diepte, locatie en mobiliteit verontreinigingen	Gemeente Nijmegen	Erik Zweers	
14	X	ja nvt ja	Bouwhoogten + locaties kritische panden bestaand Lent	Gemeente Nijmegen	Teus Gijzel	Baseren op hoogtekaart, zie punt 5. Eventuele vragen voorleggen aan Harry Schothuis
15	X	ja ja ja	Onttrekkingen (tijdsreeks)	Provincie Gelderland	???	Gemiddelde onttrekking 1990-2000 > 10000m3
16	X X X	nee nvt ja	Kaart toekomstige situatie incl. dijkverlegging	Gemeente Nijmegen	Erik Zweers	Is plankkaart met een kleine verschuiving van een deel van de singel
17	X X X X	ja nvt ja	Lokatie en dimensies geplande watergangen	HASKONING Onderzoek 1997	AHdV	Tauwrapportage en workshop
18	X X X X	ja nvt ja	Lokatie en dimensies aangelegde watergangen	Gemeente Nijmegen	Teus Gijzel	Plannen en revisie
19	X X	nee nvt ja	Stromingsweerstand watergangen	Waterschap Rivierenland	Henriette Nonnekens	Voorstel doen en kortsluiten met ws
20	X	nee nvt ja	Lokatie en dimensies bestaande wadi's	Gemeente Nijmegen	Teus Gijzel	Plannen en revisie, 20 mm
21	X	ja nvt ja	Lokatie en dimensies nieuwe wadi's			Eigen voorstel, afhankelijk van variant

Nr	Grondwater Oppervlaktewater Waterkwaliteit Dijkverlegging	Info aanwezig bij RH Is er een gebruikslicentie Afgesproken met opdrachtgever	Benodigde info	Instantie	Leverancier	Opmerking
25	X X	ja nvt ja	Duikers, lokatie en lengte + diameter en weerstanden			Tauwrapport
26	X X	ja nvt ja	Lokatie stuwen + kruinhoogte en kruinbreedte en weerstanden			Tauwrapport voor geplande objecten, afhankelijk van variant
27	X	ja nvt ja	Percentages verhard/onverhard	Gemeente Nijmegen	Teus Gijzel	Excelsheet "matjes"
28		ja nvt ja	% vuil	Gemeente Nijmegen	Teus Gijzel	Excelsheet "matjes", altijd 100% afkopp. tenzij anders vermeldt
29			Topografische achtergrond (shape)			zie punt 2
30	X X X X	nee nvt ja	Aanvullende eisen waterbeheerders en gemeente (eisen t.a.v. afvoernormen, technieken, beheer, drooglegging)	Waterschap Rivierenland	Henriette Nonnekens	
31	X	nee nvt ja	Meetgegevens waterstanden	Waterschap Rivierenland	Henriette Nonnekens	
32	X	nee nvt ja	Meetgegevens waterkwaliteit	Waterschap Rivierenland	Henriette Nonnekens	
33	X	nee ja	recente waterkwaliteitsgegevens van versierswater (kwel, overstortwater, neerslag, (Linge))	Waterschap Rivierenland	Henriette Nonnekens	In overleg vastgesteld op voorstel van Royal Haskoning
34	X X	nee nvt ja	Minimale eisen t.a.v. overlast, waterkwaliteit, onderhoud, natuurvriendelijk inrichting, stedenbouwkundige aspecten.	Waterschap Rivierenland	Henriette Nonnekens	
35	X	nee nvt ja	Randvoorwaarden van het Waterschap voor de geohydrologische opbouw van grondwatermodellen (k-waarde, spreidingslengte, bergingsfactoren en weerstanden van de deklaag)	Waterschap Rivierenland	Henriette Nonnekens	
36	X X	nee nvt ja	Infiltratie- en drainageweerstand van de watergangen	Waterschap Rivierenland	Henriette Nonnekens	Op basis van ervaring in voorgaande projecten aangenomen
37	X	nee nvt nee	Perioden en tijdstap grondwatermodel	Waterschap Rivierenland	Henriette Nonnekens	Naar eigen inzicht ingevuld
38	X	ja nvt ja	Maatgevende theoretische neerslaggebeurtenissen	Waterschap Rivierenland	Henriette Nonnekens	voor peilstijgingen, stroomsnelheden en afvoer uit het gebied?
39	X	nee nvt ja	kwaliteit overstortwater vanuit gemengde stelsels	Waterschap Rivierenland	Sandra Lenders	In overleg vastgesteld op voorstel van Royal Haskoning
40	X	nee nvt ja	Kwaliteit overstortwater vanuit verbeterd gescheiden stelsels	Waterschap Rivierenland	Sandra Lenders	In overleg vastgesteld op voorstel van Royal Haskoning
41	X	nee nvt ja	Kwaliteit afgekoppeld (schoon) hemelwater, gefilterd in een bodempassage	Waterschap Rivierenland	Sandra Lenders	In overleg vastgesteld op voorstel van Royal Haskoning

Uitgangspunten Kwaliteitsmodellering

Parameter		Neerslag	Riooloverstort gemengd stelsel	Riooloverstort gescheiden stelsel	Wadi lozing na bodempassage	Wadi overstort via slokop	Kwelwater	Inlaatwater uit de Linge (meetpunt MLI0001)	Best haalbare oppervlaktewaterk waliteit	Initiele concentraties
Zuurstof	O2	9	6.5	8	6	8	1	8.5	x	
Goed afbreekbaar BZV (mg/l)	BZVg	0	60	3	0.3	2.1	0	0	x	0
Slecht afbreekbaar BZV (mg/l)	BZVs	0	40	45	4.5	31.5	0	5	x	5
Ammonium (mg/l)	NH4	1.3	5.5	1.8	1.62	1.8	0.54	0.22	x	0.5
Organisch stikstof (mg/l)	Norg	0	4.1	1.4	1.26	0.98	0	0.88	x	0.5
Kjehidahl stikstof (Norg+NH4)	Nkj	1.3	9.6	3.2	2.88	2.78	0.54	1.1	x	1
Nitraat (mg/l)	NO3	2.1	0	0	0	0	0.056	2.16	x	0.5
Nitriet (mg/l)	NO2	0	0	0	0	0	0.01	0.03	x	0
Stikstof totaal (mg/l)	Ntot	3.4	9.6	3.2	2.88	2.78	0.606	3.29	1,0-1,2	1.5
fosfor (mg/l)	Ptot	0.02	2	0.5	0.05	0.35	0.37	0.15	0,05-0,12	0.15
Coli (kve/ml)	coli	0	100000	0	0	0	0	0	x	0

x = geen gegevens bekend

Bij het vaststellen van de kwaliteit van uittredend (kwel)water is rekening gehouden met een sterke nalevering van de door landbouw verrijkte kleibodem. Inzijgend water in het oppervlaktewatermodel heeft de heersende waterkwaliteit in het oppervlaktewater ter plaatse, en wordt beïnvloed door kwaliteitsprocessen in het oppervlaktewater.

Overzicht overstorten en lozingspunten

Kentallen algemeen	Berging	POC	Opmerkingen
Kern Lent	11,5 mm	0,87 mm/h	(20,9 ha incl 2,5 ha snelweg)
gemengd stelsel Oosterhout	12 mm	0,75 mm/h	
nw gemengd stelsel	12 mm	0,75 mm/h	
Afkoppelsysteem met wadis	10 mm	nvt	
nw verbeterd gescheiden regenwaterstelsel	4 mm	0,3 mm/h	

Lozingslocaties	(Op basis van waterplannen per vlek, verder naar inschatting modelleur)
Er mogen geen situaties worden gecreëerd met overstorten van gemengde rioolstelsels op droogvallende watergangen.	
De geplande gemengde overstort van vlek 20 op de 'stadsvaart' wordt opgeheven.	

Kentallen oppervlakken (bron: conversietabel vlekken Waalsprong.xls, dd 31-12-03)										
	HWA-Afgekoppeld (schoon)					HWA-Riool (vuil)				
	totaal opp.	open water	gerioleerd	ongerioleerd	onverhard	totaal opp.	open water	gerioleerd	ongerioleerd	onverhard
Cluster 1 (vlek11 en16)	402210	2.1%	0.0%	32.2%	65.7%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 2 (vlek 14 en 50)	268689	2.3%	0.0%	34.7%	63.0%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 3 (vlek13)	434650	2.3%	0.0%	34.5%	63.2%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 4 (vlek10wmo + sportvelden)	988652	2.5%	0.0%	37.5%	60.0%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 5 (vlek 8, 9 en 21)	676232	3.0%	0.0%	46.2%	50.8%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 6 (vlek 18 en 29)	40738	20.8%	0.0%	0.0%	79.2%	128308	0%	100%	0%	0%
Cluster 7 (vlek20)	310162	3.1%	0.0%	47.4%	49.4%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 8 (vlek25 + 28, buiten plangebied)	661120	5.2%	0.0%	79.2%	15.6%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 9 (vlek 7 en19)	186760	4.1%	0.0%	61.6%	34.4%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 10 (vlek2 en 3zuid)	82019	9.3%	0.0%	0.0%	90.7%	115001	0%	100%	0%	0%
Cluster 11 (vlek 24, 26, 63 + 64 en 27)	265365	4.6%	0.0%	69.5%	25.9%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 12 (vlek 5 en 6)	204604	4.7%	0.0%	71.1%	24.2%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 13 (vlek 1 en 4)	277998	4.2%	0.0%	63.5%	32.4%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 14 (Bestaand Lent + stadsas)	226980	11.4%	0.0%	29.5%	59.1%	315020	0%	100%	0%	0%
Cluster 15 (Plassen + stadsas)	1093881	61.4%	0.0%	9.7%	28.9%	0	0%	0%	0%	0%
Cluster 16 (vlek3noord)	29039	22.0%	0.0%	0.0%	78.0%	96661	0%	100%	0%	0%
Oppervlakken aangemerkt als "geen onderdeel hoofdsysteem" zijn niet meegenomen in oppervlaktewater modellering (RAM-module)										
Vlekken 25, 28 worden WEL meegenomen in de berekeningen, de sportvelden bij deze vlekken NIET										
Uitlaten van afgekoppeld oppervlak liggen met de b.o.b. gelijk of hoger aan het streefpeil dan wel het bodemniveau van de watergang (hoogste waarde).										
Overstortdrempels van rioolstelsels liggen minimaal 20 cm boven de berekende hoogste waterstand bij de bui T = 10 jaar. In geval dit de maatgevende kritische factor blijkt zal en de maximale waterstand slechts kortdurend wordt bereikt zal nader overleg plaatsvinden voor nuancering van dit criterium.										

Watergangen

Lokaties	Conform voorgenomen activiteit 2001
----------	-------------------------------------

Dimensies						
Eerste aannname	Onderbouwing: zie notitie uitgangspunten					
	bodembreedte (m)	talud	weerstand/ Chezy	bodemniveau (m + NAP)	maximaal toelaatbare stroomsnelheid (m/s)	minimaal toelaatbare stroomsnelheid buiten neerslagsituaties (m/s)
op peil gehouden singels	1.5	1:3	35	6.6	0.4	0.01
droogvallende singels	7	2:3	35	8	0.4	-
Gracht van Lent	4	2:3	35	8	0.4	-
Voor de dimensies van de watergang is de maximaal/minimaal toelaatbare stroomsnelheid in watergangen van belang, de opgegeven snelheden wordt voorgelegd aan het waterschap voor akkoord						
Weerstand/Chezy Tauwrapport						

Drooglegging	Uitgangspunt is een ontwateringsdiepte onder wegen van 0,7 m en onder woningen van 0,5 tot 0,7 m. Deze ontwateringsdiepte mag gedurende 20 dagen per jaar worden overschreden. In het geval cunetdrainage wordt toegepast vindt de maximale doorwerking in het grondwater plaats bij kortstondige hoge waterstanden. Ook dan zullen de grondwaterstanden in de omgeving lager blijven dan de waterstanden in de singels. Het grondwatersysteem is namelijk trager dan het oppervlaktewatersysteem, en de peilstijgingen in de singels zijn fors. De drooglegging zal worden getoetst op de volgende criteria: Bij de zomerbui T = 10 met een startpeil in de plassen van 7,90 m + NAP en bij de winterbui T = 2 met een startpeil in de plassen van 8,30 m + NAP <table> <tr> <td>gedurende</td><td>2 uur</td><td>d =</td><td>0.45 m</td></tr> <tr> <td>gedurende</td><td>1 dag</td><td>d =</td><td>0.60 m</td></tr> <tr> <td>gedurende</td><td>2 dagen</td><td>d =</td><td>0.70 m</td></tr> </table> Bij de Westlandbui (100 mm neerslag gedurende 24 uur) <table> <tr> <td></td><td></td><td>d >=</td><td>0.10 m</td></tr> </table> De drooglegging wordt verder getoetst met een 11-jarige neerslag- en Waalstandenreeks op de volgende criteria: <table> <tr> <td>gedurende</td><td>10 dagen</td><td>d >=</td><td>0.80 m</td></tr> <tr> <td>gedurende</td><td>30 dagen</td><td>d >=</td><td>1.00 m</td></tr> </table>			gedurende	2 uur	d =	0.45 m	gedurende	1 dag	d =	0.60 m	gedurende	2 dagen	d =	0.70 m			d >=	0.10 m	gedurende	10 dagen	d >=	0.80 m	gedurende	30 dagen	d >=	1.00 m
gedurende	2 uur	d =	0.45 m																								
gedurende	1 dag	d =	0.60 m																								
gedurende	2 dagen	d =	0.70 m																								
		d >=	0.10 m																								
gedurende	10 dagen	d >=	0.80 m																								
gedurende	30 dagen	d >=	1.00 m																								

Waterdiepte	De waterdiepte zal worden getoetst met een 11-jarige neerslag- en Waalstandenreeks op de volgende criteria:		
Beheerdiepte	y =		1.30 m
Streefwaarde	y >=		1.00 m
Gedurende max.	193 dagen	y >=	0.80 m
Gedurende max.	19 dagen	y >=	0.60 m

Stroomsnelheid	De maximale stroomsnelheid in watergangen bij een gebeurtenisbui met een T van 10 jaar is 0,4 m/s. In duikers mag de snelheid oplopen tot 0,8 m/s. De minimale stroomsnelheid buiten neerslagsituaties in de singels is 0,01 m/s.
-----------------------	---

Ten einde bij de varianten met ondiepe droogvallende singels de diepe singel bij de vlekken 20 en 24 te kunnen circuleren moet een aparte kleine lus worden aangelegd. Hiertoe dient het benedenstrooms gelegen deel van de gracht door Lent te worden verdiept en een diepe verbinding te worden gemaakt naar de 'stadsvaart'. Deze verbinding kan alleen worden gemaakt indien de stadsas ter plekke niet verdiept zal worden aangelegd. Voor deze watergangen is zeer weinig ruimte; alleen watergangen met harde kaden zijn mogelijk.

De intree- en uittreeweerstand zonder afdichting worden gesteld op 5 dagen.
In het geval van afgedichte singels wordt in principe 50 dagen per m afdichting aangehouden.

Duikers

	breedte (m)	hoogte (m)	lengte (m)	weerstand/ Chezy	intreeverlies	uittreeverlies	bochtverlies	binnen onderkant duiker (m + NAP)	maximale stroomsnelheid (m/s)	maximale stroomsnelheid met erosiebeperkende maatregelen (m/s)
standaard	1.5	1.25	20	65	0.5	0.7	-	6.6	0.8	4
standaard bij droogvallende singels	1.5	1.25	20	65	0.5	0.7	-	8.0	0.8	4
onder spoorbaan en snelweg	1.5	1.25	48	65	0.5	0.7	-	6.6	0.8	4
bocht	1.5	1.25	75	65	0.5	0.7	3x 0.68	6.6	0.8	4

Stuwen

Alle stuwen hebben een variabel stuwpeil dat wordt gestuurd door de waterstand in de singels (in neerslagsituaties het bovenstroomse peil)	breedte (m)	waterstand in singels variant I (m + NAP)	waterstand in singels overige varianten (m + NAP)
Afvoer naar Linge	5	7.90	7.90
bij circulatiegemaal Oosterhout	3	7.90	7.90
aan einde lus Oosterhout	3	7.60	7.60
bij circulatiegemaal Stadseiland en Ressen	3	7.90	7.90
aan einde lus Stadseiland en Ressen	3	7.60	nvt

Gemalen

	capaciteit (m ³ /s)	inslagpeil (m + NAP)	uitslagpeil (m + NAP)
circulatiegemaal Oosterhout	0.019	7.6	6.69
circulatiegemaal Ressen	0.011	7.6	6.69
circulatiegemaal Stadseiland	0.05	7.6	6.69

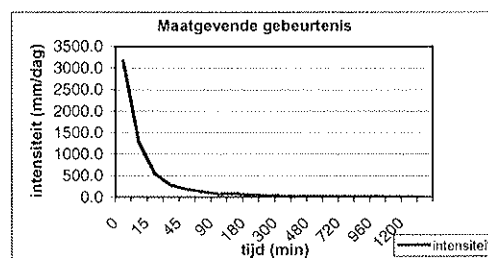
Neerslag gebeurtenis voor bepaling afmetingen singels
Maatgevende gebeurtenis (T = 10)

duur min.	T = 10 zomerhalfjaar		T = 10 + 10%	
	l/s/ha	mm	l/s/ha	mm
5	330.9	9.9	363.99	10.9
15	198.1	17.8	217.91	19.6
30	127.6	23.0	140.36	25.3
45	94.8	25.6	104.28	28.2
60	75.8	27.3	83.38	30.0
90	55	29.7	60.5	32.7
120	43.3	31.2	47.63	34.3
180	31.7	34.2	34.87	37.7
240	25.3	36.4	27.83	40.1
300	21	37.8	23.1	41.6
360	18	38.9	19.8	42.8
480	14.3	41.2	15.73	45.3
600	12	43.2	13.2	47.5
720	10.3	44.5	11.33	48.9
840	9.1	45.9	10.01	50.5
960	8.2	47.2	9.02	52.0
1080	7.5	48.6	8.25	53.5
1200	6.8	49.0	7.48	53.9
1440	5.9	51.0	6.49	56.1
1680	5.2	52.4	5.72	57.7
1920	4.7	54.1	5.17	59.6
2160	4.3	55.7	4.73	61.3
2400	4	57.6	4.4	63.4
2640	3.7	58.6	4.07	64.5
2880	3.5	60.5	3.85	66.5
3360	3.1	62.5	3.41	68.7
3840	2.9	66.8	3.19	73.5
4320	2.6	67.4	2.86	74.1
5040	2.4	72.6	2.64	79.8
5760	2.2	76.0	2.42	83.6
7200	1.9	82.1	2.09	90.3
8640	1.7	88.1	1.87	96.9

bron: Buishand en Velds

De in beschouwing te nemen neerslaggebeurtenissen vinden plaats bij een startwaterpeil van 7,90 + NAP.

cum. tijd (min)	intensiteit (mm/dag)	hoeveelheid per tijdstap (mm)
0	0	0.0
0	3144.9	10.9
5	1251.7	8.7
15	542.7	5.7
30	277.5	2.9
45	178.7	1.9
60	127.4	2.7
90	77.9	1.6
120	80.8	3.4
180	58.0	2.4
240	36.1	1.5
300	28.5	1.2
360	30.4	2.5
480	26.6	2.2
600	17.1	1.4
720	18.1	1.5
840	18.1	1.5
960	18.1	1.5
1080	4.8	0.4
1200	13.3	2.2
1440	0	0.0



De bovenstaande maatgevende bui is een vertaling van de links gepresenteerde T = 10 regenduurlijn in het zomerhalfjaar, vermeerderd met 10%.

Neerslagreeksen en Waalstandreeksen voor het geïntegreerd (balans) model

De gemeten neerslagreeksen van 1990 - 2001 wordt in combinatie met de gemeten Waalstanden in deze periode doorgerekend in het niet-stationair grondwatermodel. Uit de resultaten worden een droog jaar, een nat jaar en een gemiddeld jaar aangewezen, die als maatgevende jaren voor het geïntegreerd model gelden.

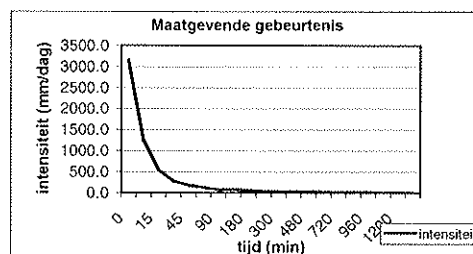
De verdamping vanuit droogvallende singels en inundatiegebieden is in het oppervlaktewatermodel gelijkgesteld aan die van open water. In de praktijk is de gemiddelde jaarverdamping van met gras begroeid oppervlak circa 70% van die van open water.

Maatgevende gebeurtenis (T = 2) te combineren met Waalstanden (T = 5)

duur min.	T = 2 winterhalfjaar		T = 2 + 10%	
	l/s/ha	mm	l/s/ha	mm
5	126.9	3.8	139.59	4.2
15	71.9	6.5	79.09	7.1
30	45.3	8.2	49.83	9.0
45	34.3	9.3	37.73	10.2
60	27.7	10.0	30.47	11.0
90	21.1	11.4	23.21	12.5
120	17.1	12.3	18.81	13.5
180	12.7	13.7	13.97	15.1
240	10.3	14.8	11.33	16.3
300	8.7	15.7	9.57	17.2
360	7.7	16.6	8.47	18.3
480	6.3	18.1	6.93	20.0
600	5.5	19.8	6.05	21.8
720	4.9	21.2	5.39	23.3
840	4.4	22.2	4.84	24.4
960	4	23.0	4.4	25.3
1080	3.7	24.0	4.07	26.4
1200	3.4	24.5	3.74	26.9
1440	3	25.9	3.3	28.5
1680	2.7	27.2	2.97	29.9
1920	2.5	28.8	2.75	31.7
2160	2.3	29.8	2.53	32.8
2400	2.2	31.7	2.42	34.8
2640	2.1	33.3	2.31	36.6
2880	2	34.6	2.2	38.0
3360	1.8	36.3	1.98	39.9
3840	1.7	39.2	1.87	43.1
4320	1.6	41.5	1.76	45.6
5040	1.5	45.4	1.65	49.9
5760	1.4	48.4	1.54	53.2
7200	1.2	51.8	1.32	57.0
8640	1.1	57.0	1.21	62.7

bron: Buishand en Velds

cum. tijd (min)	intensiteit (mm/dag)	hoeveelheid per tijdstap (mm)
0	0	0.0
0	1206.1	4.2
5	422.0	2.9
15	177.7	1.9
30	116.9	1.2
45	75.1	0.8
60	75.1	1.6
90	48.5	1.0
120	37.1	1.5
180	29.5	1.2
240	21.9	0.9
300	25.7	1.1
360	20.0	1.7
480	21.9	1.8
600	18.1	1.5
720	13.3	1.1
840	11.4	1.0
960	12.4	1.0
1080	6.7	0.6
1200	9.5	1.6
1440	0	0.0



De bovenstaande maatgevende bui is een vertaling van de links gepresenteerde T = 2 regenduurlijn in het winterhalfjaar, vermeerderd met 10%.

Neerslag voor doorrekenen grondwatermodel: 1990-2001
 Verdamping voor doorrekenen grondwatermodel: 1990-2001
 Waalstanden voor doorrekenen grondwatermodel: 1990-2001

Bron KNMI (station de Bilt)
 Bron KNMI (station de Bilt)
 Bron RWS

Riolering

Het bergbezinkriool Laauwikstraat van de bestaande kern Lent ligt iets ten zuiden van de mogelijke kleine lus rond de vlekken 20 en 24 zuidelijker. Dit betekent dat vanaf dit bassin naar deze lus een overstortleiding moet worden aangelegd. De externe drempel ligt op NAP + 8,80 m.

Voor de varianten met droogvallende singels moet het gemengde rioolstelsel van de kern Lent worden aangepast. De overstort bij de Parallelweg zal opgeheven dienen te worden. Er zijn afspraken gemaakt op basis waarvan RH het rioolstelsel zal doorrekenen en de noodzakelijke aanpassingen vaststelt.

Wanneer de overstortingen vanuit de bestaande kern Lent niet worden gecombineerd tot één lozing, is in de modellen aangenomen dat 36% (ca. 1/3) van het oppervlak loost via de zuidelijke overstort, terwijl 64 % (ca. 2/3) loost via de noordoostelijke overstort. De laatstgenoemde verwerkt in geval van combinatie de overstortingen vanaf alle verhard oppervlak in Lent.

Diverse gegevens

	Lokatie	hoogte	Opmerking
Maaiveld	Nog te ontwikkelen vlekken	9.60 m + NAP	Of hoger
	Vlek 10	9.30 m + NAP	
	Bestaande kern Lent, vlek 20 en 24	9.50 m + NAP	De laagste maaiveldniveaus in de bestaande kern Lent liggen op NAP + 9,50 m. Bij de Parallelweg is één dipje naar NAP + 9,37 m aanwezig. Dit is op te heffen. De huizen liggen ter plaatse hoger en dit is dan ook geen maatgevende hoogte.

Wadi's Wadi's worden ontworpen met een berging van minimaal 10 mm. In het balansmodel wordt de berging van 10 mm in wadi's meegerekend, omdat deze een negatieve invloed heeft op de waterkwaliteit (als meer water wordt geborgen, treedt minder verdunning en verspreiding van vuiliger overstortwater plaats). Voor het bepalen van het benodigd wateroppervlak ten behoeve van retentie wordt de berging in wadi's volledig niet meegerekend, omdat deze zich in theorie sneller kan ledigen dan de afvoernorm uit het gebied, waardoor het oppervlaktewater wordt overbelast ten opzichte van de berekening. In deze berekening is de inhoud dus 0 mm.

De centrale berging (plassen en inundatiegebied) dienen zodanig te worden aangelegd dat de oppervlakken toenemen tot de geplande eindwaarde evenredig met de toename van het bebouwde oppervlak.

De afvoer uit het gebied wordt gelimiteerd op 0,5 of 1,5 l/s/ha. Voor het met het model door te rekenen deel is het bijbehorende bruto-oppervlak 860 ha.

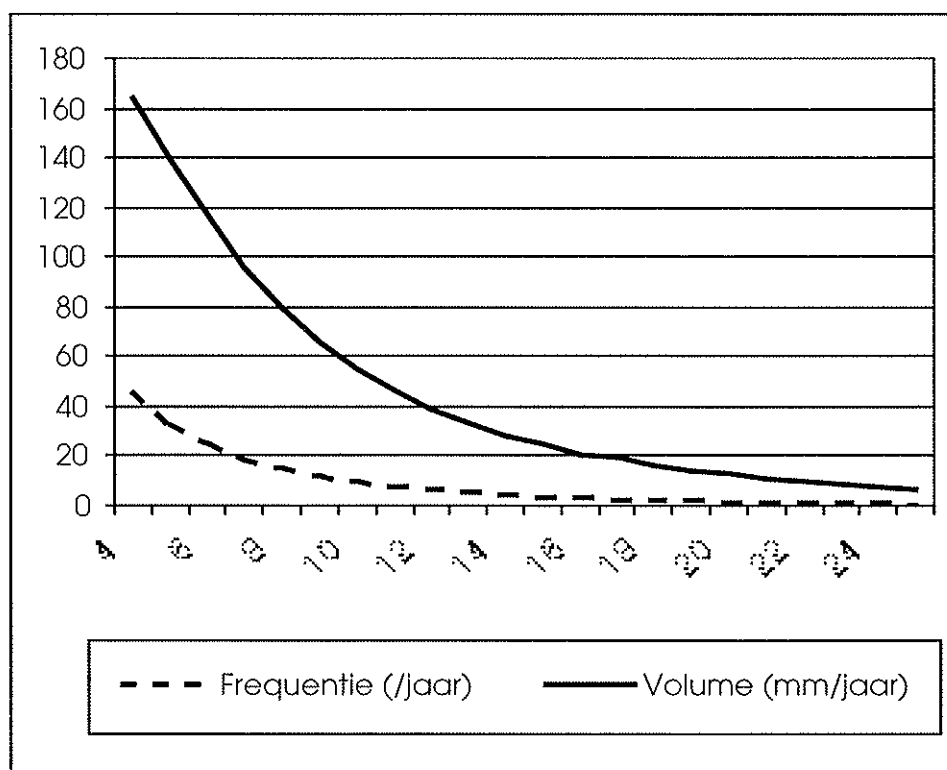
Wadidimensies

De benodigde berging in wadi's wordt bepaald door de vuiluitworp ter plaatse van het lozingspunt van de afvoerende drainage- en slokopleiding. De wadi mag maximaal een gelijke gemiddelde hoeveelheid verontreinigingen lozen als een verbeterd gescheiden stelsel.

Processen die de vuiluitworp vanuit een wadi bepalen zijn:

- de kwaliteit van afstromend hemelwater;
- de verontreiniging van de wadi door medegebruik;
- berging van verontreinigingen;
- bezinking van verontreinigingen (rendement ca. 30%);
- opslag en afbraak van verontreinigingen bij bodempassage (rendement ca. 90%).

Het overgrote deel van het naar de wadi afgevoerde water zal de bodempassage passeren. In figuur 2.1 is de relatie van de inhoud van de wadi (in mm ten opzichte van het aangesloten verhard oppervlak (x-as)) met de werking van de slokops gegeven. De bijdrage van infiltratie is hierbij niet meegenomen, maar heeft een groot afvoerbeperkend effect. Een met een verbeterd gescheiden stelsel vergelijkbare frequentie en volume worden bereikt bij een inhoud van circa 6 mm.



Figuur 2.1. Relatie inhoud wadi – werking slokop

Het is zeer aannemelijk dat, doordat in een wadi meer bezinking optreedt dan in een rioolbuis, de vuilconcentratie in het geloosde water van een wadi lager is dan die van een verbeterd gescheiden stelsel. Vanwege een optimaal ruimtebeslag en de praktische vormgeving is een dimensie kleiner dan 8 a 10 mm slecht te realiseren. Er wordt daarom voorgesteld voor de berging in wadi's uit te gaan van 10 mm ten opzichte van het aangesloten verhard oppervlak. Hierbij wordt, zonder rekening te houden met infiltratie, maximaal 7% van de jaarlijkse neerslag via de slokop afgevoerd.

Er mogen geen situaties worden gecreëerd met overstorten van gemengde rioolstelsels op droogvallende watergangen. Voor de varianten met droogvallende singels moet het gemengde rioolstelsel van het dorp Lent en van Visveld Noord dan ook worden aangepast.

De geplande gemengde overstort van Visveld Noord op de 'stadsvaart' kan zonder meer worden opgeheven.

Het bergbezinkriool Laauwikstraat van Lent ligt ten zuiden van het lozingspunt van de gracht door Lent op de singel rond het Stadseiland. Dit betekent dat in geval van toepassing van droogvallende singels vanaf dit bassin naar dit lozingspunt een overstortleiding moet worden aangelegd.

Daarnaast dienen maatregelen te worden getroffen opdat bij de Parallelweg (nabij de kruising van de singel met de spoorlijn) geen water meer zal overstorten vanuit het gemengde rioolstelsel op de droogvallende singel.

De maatregelen houden in het opheffen van de overstort Parallelweg en het volledig concentreren van de overstortingen van het stelsel van Lent op de overstort bij de Laauwikstraat. De riolen in het stelsel zijn zodanig vergroot dat ondanks het opheffen van de overstort Parallelweg bij bui 8 (frequentie 1 maal per 2 jaar) geen 'water op straat' optreedt. De noodzakelijke aanpassingen ten opzichte van de huidige plansituatie houden in dat:

- het geplande bassin Parallelweg niet wordt aangelegd. De geplande leidingverzwaring tot DN 800 mm vanaf knooppunt 0001 naar dit bassin vervalt;
- de laagste maaiveldniveaus in de bestaande kern Lent liggen op NAP +9,50 m. Bij de Parallelweg is één dipje naar NAP + 9,37 m aanwezig. De huizen liggen ter plaatse hoger en dit lage punt kan worden opgeheven door locale wegverhoging;
- de hoogtes van de interne en externe drempels (breedte 4 m) van het bestaande bergbezinkriool Laauwikstraat worden verlaagd tot NAP +8,55 m respectievelijk NAP +8,80 m. De overstortleiding achter dit bergbezinkriool wordt verlengd tot in de diepe singel;
- het geplande bergbezinkriool bij de Parallelweg wordt vervangen door een bergbezinkriool onder de droogvallende singel bij de Laauwikstraat. Langs het bestaande bergbezinkriool wordt een bypassleiding gelegd naar dit nieuw aan te leggen bergbezinkriool. Beide bergbezinkriolen gaan parallel werken;
- vanaf knooppunt 0001 tot knooppunt 065A wordt het bestaande riool vervangen door een riool DN 1000 mm;
- vanaf knooppunt 065A tot knooppunt 0094 wordt het bestaande riool vervangen door een riool DN 1250 mm.

Berekend is dat met deze maatregelen de hoogste waterstand in het rioolstelsel bij bui 8 zal optreden ter plaatse van de Parallelweg en circa NAP +9,50 m zal bedragen.

In het kader van het onderzoek naar de varianten voor het watersysteem van de Waalsprong zijn een aantal geotechnische aspecten beschouwd van de aanleg van de singel achter de dijk. Hiertoe worden de volgende mechanismen beschouwd:

- binnenwaartse stabiliteit van de hoogwaterkering;
- piping.

Binnenwaartse stabiliteit

Doorsnede over nieuwe geul

Voor het bepalen van een maatgevende doorsnede voor de toetsing is allereerst een doorsnede beschouwd over de nieuwe geul. Door de aanleg van de geul neemt de stijghoogte in het Pleistocene zandpakket toe. Echter gezien de hoge ligging van het maaiveld aan binnendijkse zijde en het flauwe binnenbeloop van maaiveld vanaf kadeconstructie naar nieuwe singel over een afstand van 70 à 80 meter, kan gesteld worden dat voldoende tegenwerkend gewicht ten aanzien van afschuiven en opdrijven van het Holocene pakket aanwezig is. De binnenwaartse stabiliteit van dit dwarsprofiel wordt bij een optredende MHW niet als kritiek beschouwd.

Doorsnede bestaande dijk

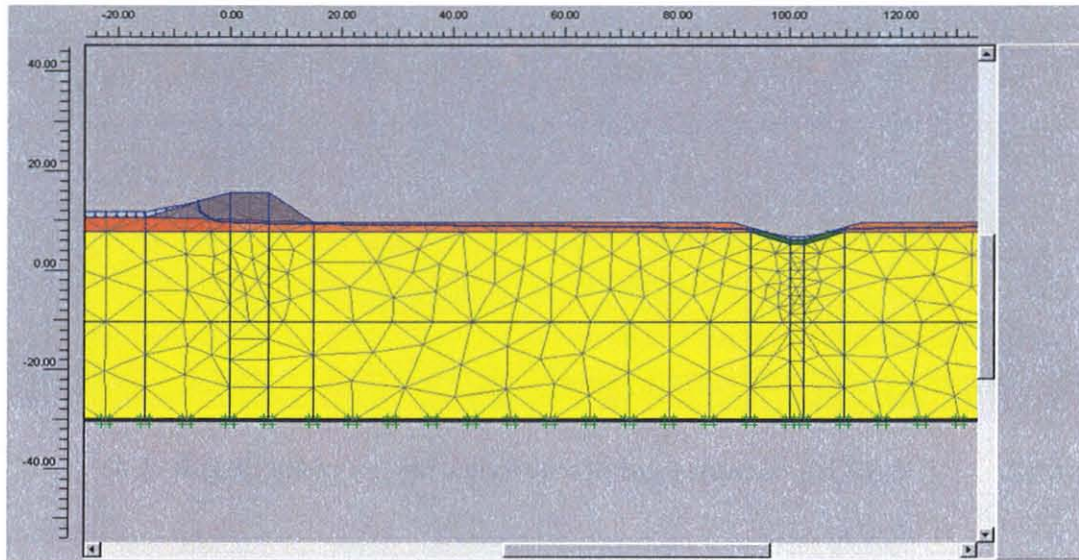
Ten noorden van de geplande geul, zal de singel worden aangelegd achter de bestaande dijk. Om deze reden heeft de toetsing zich geconcentreerd op een doorsnede globaal bij dijkspaal 15.6900. Voor het vaststellen van de bodemopbouw is gebruik gemaakt van grondonderzoek uitgevoerd door Grontmij ten behoeve van de inrichting van vlek 4. De grondparameters zijn vastgesteld op basis van inschatting uit tabel 1 van NEN 6740, en weergegeven in de volgende tabel. Bij het vaststellen van de parameters, geometrie en modelranden is geprobeerd zoveel mogelijk aan te sluiten bij de uitgevoerde modelleringen in TRIWACO.

Tabel 1. Representatieve grondparameters

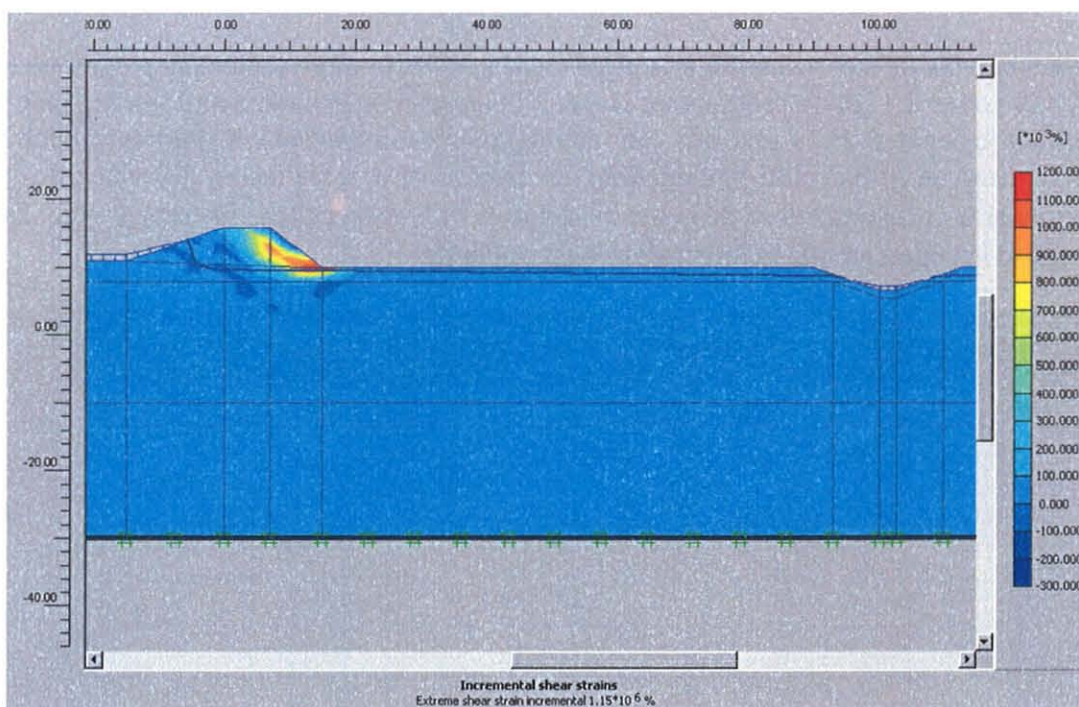
Name	g_{unsat}	g_{sat}	k_x	k_y	ν	E_{ref}	c_{ref}	ϕ
	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[m/day]	[m/day]	[-]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]
Zand	18	20	80	80	0.3	50000	0.1	32.5
Klei sterk siltig voorland	18	18	0.06	0.06	0.3	3000	10	22.5
Klei sterk siltig achterland	18	18	0.04	0.04	0.3	3000	10	22.5
Dijkmateriaal klei siltig	19	19	0.05	0.05	0.3	10000	10	25
Bodemweerstand geul	18	18	0.2	0.2	0.3	3000	10	0
Bodemweerstand singel (*)	18	18	6.5	6.5	0.3	3000	10	0

- Doorlatendheid en sterkteparameters van deze laag zijn tijdens de berekeningen gevarieerd, om de berekening goed te doorlopen.

De toetsing van de macrostabiliteit is uitgevoerd met het eindig-elementen-programma PLAXIS versie 8.1. In dit programma is een 2-D doorsnede gemodelleerd om hiermee de stabiliteit te bepalen. Er is gekozen voor de toepassing van het Mohr-Coulomb-model. Er is uitgegaan van gedraineerd grondgedrag. De maximaal te mobiliseren gedraineerde sterkte wordt vastgelegd door de in het model in te voeren sterkteparameters ϕ' en c . De veiligheid is berekend met behulp van een ϕ - c reductie.



Figuur 1. [PLAXIS] Overzicht gebruikte geometrie doorsnede over bestaande dijk



Figuur 2. [PLAXIS] Maatgevend afschuifvlak bij ϕ -c reductie (SF=1.6)

Voor de stabiliteitsberekeningen zijn verder de volgende uitgangspunten gebruikt:

- MHW op NAP +14,15 m.
- waterniveau in singel op NAP +8,0 m.
- stijghoogte in 1^e WVP op NAP +9,5 m (opgelegd achter singel).
- met bovengenoemde uitgangspunten is in PLAXIS een stationaire grondwaterstromingsberekening uitgevoerd, welke als input dient voor de berekening van de stabiliteit.
- opbouw dijk uit klei materiaal, geometrie dijk indicatief vastgesteld uit topografische kaarten. Indien nauwkeuriger toetsing gewenst is in de toekomst, kan mogelijk gebruik worden gemaakt van dwarsprofielen van het waterschap.
- insteek singel op 75 m afstand van teen dijk, geometrie singel overeenkomend met diepe singel (taluds 1 : 3, bodemniveau +6.60, bodembreedte 2,5 m).

Voor de huidige situatie, waarbij geen singel aanwezig is, is een veiligheidsfactor bepaald van circa SF=1,55. Voor de nieuwe situatie wordt een toename van de veiligheid berekend naar circa SF=1,65. De vorm van het bezwijkvlak is voor beide situaties gelijk, en is voor de situatie met singel weergegeven in figuur 2. Samenvattend kan gesteld worden dat de binnenwaartse stabiliteit van de hoogwaterkering door de aanleg van de singel positief wordt beïnvloed. Dit is verklaarbaar door de sterk drainerende functie van de singel (met hele lage weerstand), waardoor de freatische lijn achter de dijk iets wordt verlaagd ten opzichte van de huidige situatie zonder singel.

Piping

In de situatie met aanleg van een singel is een mechanisme als piping denkbaar waarbij, als gevolg van geconcentreerde kwelstroming, zandmeevoering onder een cohesieve en slecht doorlatende toplaag optreedt. Indien het proces van zandmeevoering optreedt zullen kanaaltjes worden geërodeerd direct onder de toplaag. Of zandmeevoering kan optreden is afhankelijk van het verval over de waterkering, de lengte van de mogelijk kwelwegen, de mogelijkheid van vrije uittreding van kwelwater aan binnendijkse zijde van de dijk en de materiaaleigenschappen van het watervoerend pakket, bijvoorbeeld de korrelgrootte. De aanwezige kwelweglengte wordt bepaald door de afstand tussen het (theoretische) intrepunt en uittredepunt.

Het uittredepunt van deze kwelstroming zal zich binnendijks ter plaatse van de teen van de dijk of ter plaatse van binnendijks gelegen sloten bevinden. Indien er een afdekkende slecht waterdoorlatend toplaag aanwezig is, kan alleen een uittredepunt ontstaan indien deze toplaag opbarst, opdrijft of doorsneden wordt door een watergang.

De lengte van het uiterwaarden gebied aan de buitenwaartse zijde van de dijk zal een positief effect hebben op het infiltreren van rivierwater. Hierdoor zal het meeste water infiltreren ter plaatse van de rivier, welke diep insnijdt in het watervoerende zandpakket. Afhankelijk van de weerstand van de deklaag en het doorlaatvermogen (k_D waarde) van het eerste watervoerende pakket, kan een gereduceerde lengte van het voorland worden meegenomen ter bepaling van de aanwezige kwelweg lengte.

Een indicatieve toetsing op piping is uitgevoerd door het bepalen van een minimaal benodigde kwelweg lengte volgens de rekenregel van Bligh te vergelijken met de aanwezige kwelweg lengte. Bij het bepalen van de aanwezige kwelweg lengte dient rekening gehouden te worden met het effect van infiltratie door de toplaag. Volgens de methode Bligh wordt de benodigde kwelweglengte als volgt bepaald (zie ook het Technisch rapport zandmeevoerende wellen):

$$(\Delta H - 0.3d) \leq \frac{L}{c_{creep}} \text{ ofwel: } L_{benodigd} = (\Delta H - 0.3d) \cdot c_{creep} \dots\dots\dots(1)$$

waarin:

$L_{benodigd}$: Kritieke kwelweg lengte volgens Bligh [m]

ΔH : Verval over de waterkering. In dit geval het verschil tussen Maatgevend Hoog Water (MHW) en de freatische stijghoogte in de afdekkende laag [m]: $\Delta H = 14.15 - 8.0 \text{ à } 10.00 = 4.15 \text{ à } 6.15 \text{ m}$.

d : Dikte van de afdekkende slecht waterdoorlatende toplaag. In dit geval $d = 0$ meter aangezien singel de deklaag doorsnijdt.

c_{creep} : Creep factor volgens Bligh [-], factor 4 (zeer grof zand) tot 18 (zeer fijn zand), op basis van de beschikbare boringen kan matig grof tot matig fijn zand worden verwacht ($c_{creep} = 15$).

Doorsnede bestaande dijk

Met bovenstaande uitgangspunten kan een benodigde kwelweglengte worden berekend van $L_{\text{benodigd}} = 63$ tot 93 m. Van de situatietekening kan voor de huidige inrichtingsvariant een aanwezige kwelweg lengte worden afgeleid van $L_{\text{aanwezig}} = 75$ (afstand singel tot teen dijk) + 30 (breedte basis dijklichaam) = 105 m.

Deze afstand kan nog vermeerderd worden met de lengte van een gereduceerd voorland, echter op basis van het bovenstaande kan al geconcludeerd worden dat het mechanisme piping bij de huidige dijk door de aanleg van de singel niet direct kritisch is. Om deze reden wordt een meer gedetailleerde toetsing op piping momenteel niet noodzakelijk geacht.

Doorsnede over nieuwe geul

Bij een dwarsdoorsnede ter plaatse van de nieuwe kade bedraagt de horizontale afstand tussen de voorzijde van de kadeconstructie en de insteek van de singel circa 70 meter. Door het graven van de geul zal er geen voorland aanwezig zijn. Ter plaatse van de kadeconstructie zal naar alle waarschijnlijkheid een verticaal element worden aangebracht (bijvoorbeeld damwand). Het gunstige effect tegen het mechanisme piping (langere stroombanen), zal in deze situatie beperkt zijn, door de relatief diepe ligging van de geul (laag entree punt). Gezien het bovenstaande is het mechanisme piping voor deze dwarsdoorsnede kritisch ($L_{\text{benodigd}} = 63$ tot 93 m).

De aanwezigheid van de drainpalen onder de singel zal de risico's van piping niet vergroten mits het ontwerp van deze constructie zelf is afgestemd op het voorkomen van piping.

Er wordt aanbevolen in een vervolgfase een meer gedetailleerde toetsing op piping uit te voeren voor deze locatie. Deze toetsing kan worden uitgevoerd aan de hand van boringen en sonderingen rondom de locatie. Hiermee kan enerzijds een doorgaande aanwezigheid worden vastgesteld van de deklaag, en tevens kunnen zeefkrommes worden gemaakt van het aanwezige zandpakket (vaststelling c_{creep}). Mogelijk dat op basis van reeds uitgevoerd grondonderzoek ter plaatse van de nieuwe kadeconstructie en het achterland hierover al uitsluitsel kan worden gegeven. Momenteel beschikken wij niet over dergelijk grondonderzoek. Indien nieuw grondonderzoek moet worden uitgevoerd kunnen wij hieromtrent adviseren en dit begeleiden. Op basis van de resultaten van het grondonderzoek is een gedetailleerde toetsing uit te voeren, en zijn mogelijke ontwerpconsequenties voor de kade en de singel nader vast te stellen (b.v. aanbrengen damwand t.p.v. singel, filterconstructie in singel, etc.).

De afvoer via de singels naar de centrale berging is geanalyseerd voor 3 verschillende ontwerpbuien:

- T=2 jaar winterbui +10%, begin waterstand is NAP +8,30 m;
- T=10 jaar zomerbui +10%, begin waterstand is NAP +7,90 m;
- Westlandbui, 100 mm in 24 uur, beginwaterstand NAP +8,00 m.

De ontwerpbuien 1 en 2 zijn een bewerking van de regenduurlijnen afkomstig uit Buishand en Velds (1988). Alle buien zijn weergegeven in navolgende tabel.

Tabel 5.1. Ontwerpbuien

Duur	T = 10 jaar zomerhalfjaar			T = 2 jaar winterhalfjaar			Westlandbui	
Uur	Buishand en Velds (mm)	Neerslag(+ 10%) (mm)	Regenintensiteit (mm/h)	Buishand en Velds (mm)	Neerslag(+ 10%) (mm)	Regenintensiteit (mm/h)	Neerslag (mm)	Regenintensiteit (mm/h)
0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
0,5	23,0	25,3	50,58	8,2	9,0	18,00	2,1	4,17
1,0	27,3	30,0	9,46	10,0	11,0	3,96	4,2	4,17
1,5	29,7	32,7	5,25	11,4	12,5	3,04	6,3	4,17
2,0	31,2	34,3	3,29	12,3	13,5	1,63	8,3	4,17
24,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	100,0	4,17

Figuur 1 is een schema van de singels van het Stadseiland. Het grote wateroppervlak van de bestaande singel aan de oostzijde van het Stadseiland speelt een belangrijke rol bij het beperken van stroomsnelheden. In deze singelsectie vinden ook de grootste lozingen plaats. De parameters die de stromingsweerstand in watergangen en duikers bepalen zijn gegeven in paragraaf 1. De duikers die aan weerszijden van het stadseiland de verbinding vormen naar de centrale berging hebben een relatief klein nat oppervlak ten einde de afvoer naar de centrale berging te vertragen en zo de stroomsnelheden in de singels te beperken. In plaats van relatief kleine verbindingsduikers (vierkant, 0,6 x 0,6 m) kan ook gekozen worden voor geregelde stuwen die het debiet beperken.

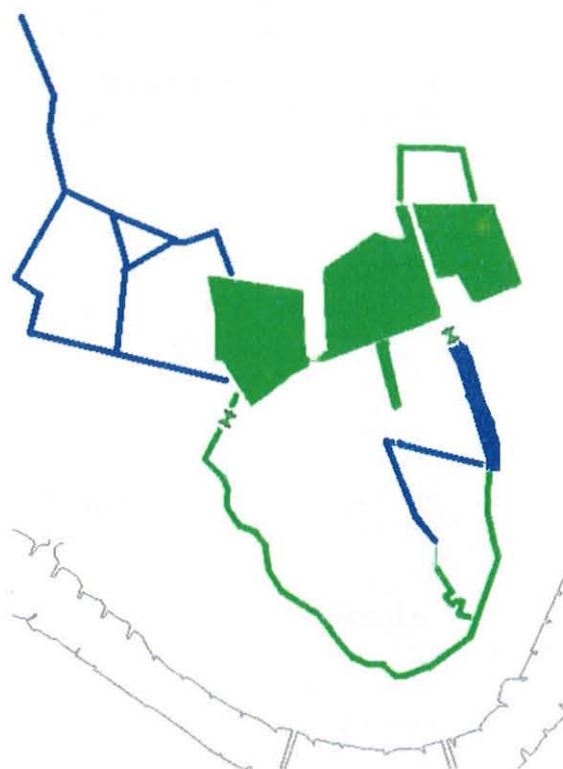
Navolgende tabel geeft een overzicht van de oppervlakken aangesloten op de verschillende singelsystemen in geval van de voorgenomen activiteit voor variant I.1. Deze oppervlakken zijn gebruikt in de afvoerberekeningen voor de buien.

Tabel 5.2 Totale verharde oppervlakken per singelsysteem

Singel systeem	Totaal verhard oppervlak (ha)	Totaal oppervlak open water (ha)	Bruto oppervlak (ha)
Stadseiland*	232,6	15,4	361,6
Oosterhout	50,0	14,2	150,0
Ressen	24,3	1,6	70,3
Griftdijk	74,0	4,3	140,0
Totaal	380,9	37,3	721,9

* inclusief Vossenpels

Voor deze afvoerberekeningen is aangenomen dat in de wadi's geen berging plaatsvindt. In verband met de korte relevante tijdsduur van de buien is tevens aangenomen dat langzame processen in het watersysteem, zoals infiltratie in de bodem, grondwaterstroming en infiltratie vanaf het onverhard oppervlak geen invloed hebben op de piekbelasting van het watersysteem.



Figuur 1. Schema singels Stadseiland

Blauw: bestaande singels. De reeds aangelegde singel aan de oostzijde van het Stadseiland is zeer breed (gemiddeld 26 m over 840 m lengte)

Groen: (plassen en) nog aan te leggen singels

Alleen de debietlimiterende duikers zijn aangegeven

De afvoerberekeningen zijn uitgevoerd voor 3 verschillende uitvoeringsvormen van singels:

- Diepe en brede singels, plaatselijk zeer brede singels. De watergangen zijn gebaseerd op de afmetingen zoals deze zijn beschreven in paragraaf 2.4 en de Voorgenomen activiteit;
- Diepe, smalle singels, minimum profiel volgens figuur 3. De bodembreedte van de singels is 2,5 m en het talud is 1:3. De bodemdpte is 6,6 m+NAP;
- Ondiepe droogvallende singels, minimum profiel volgens figuur 3. De bodembreedte van de singels is 8 m en het talud is 2:3. De bodemdpte is 8 m+NAP;

De uitvoeringsvormen 2 en 3 worden alleen toegepast daar waar nieuwe watergangen worden gegraven, dus steeds in combinatie met reeds aangelegde ruimere singels. De nu reeds bestaande singels behouden hun huidige dimensies. De singels van woonpark Oosterhout zijn reeds vrij ver gereed en worden in alle varianten volledig als diepe singels uitgevoerd.

De berekeningsresultaten zijn getoetst op maximale stroomsnelheden en minimale droogleggingen of te wel maximale waterstanden. Voor de singels rond het Stadseiland is het maatgevende minimale maaiveld NAP +9,50 m en de maximale waterstand dus NAP +8,70m. Voor de singels woonpark Oosterhout is de maximale waterstand NAP +8,50 m. Deze laatste singels zijn echter zo ruim dat dit criterium nooit maatgevend is. Navolgende tabel geeft een resumé van de voornaamste toetsingscriteria.

Tabel 5.3. Voornaamste toetsingscriteria afvoer singels

	Maximale stroom-snelheid (m/s)	Minimale drooglegging (m)	Maximale water-stand (m+NAP)
Singel	0,4	0,70	8,70
Duiker	0,8	n.v.t.	n.v.t.

Voor de Westlandbui is eigenlijk alleen de berging in het systeem van belang. Gegeven een minimaal oppervlak van het totale watersysteem van 20 ha is de peilstijging bij de Westlandbui voor alle varianten minder dan 1 m en daarmee ruim toelaatbaar.

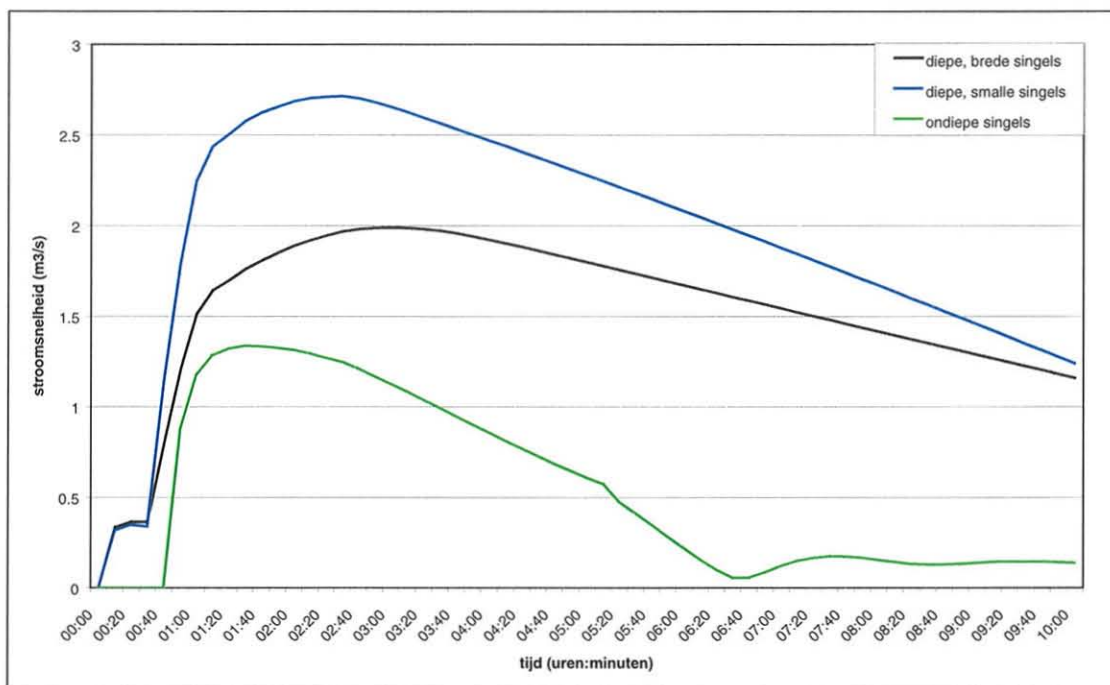
Uit de berekeningen is gebleken dat de T=2 winterbui niet maatgevend is voor de dimensies van de singels in de Waalsprong. Alhoewel de begin waterstand in de wintersituatie hoger is, zijn de waterstanden berekend met de T=10 jaar zomerbui duidelijk hoger dan bij de winterbui. De resultaten voor de T=2 jaar winterbui en de Westlandbui worden daarom verder niet gepresenteerd.

In deze bijlage zijn het verloop van de maximale waterstand in de singels en van de maatgevende snelheden in de singels bij de T = 10 jaar zomerbui gepresenteerd voor de drie uitvoeringsvormen van de singels. Hieruit blijkt dat voor alle drie uitvoeringsvormen de maximale waterstand van NAP +8,70 m in de singels van het Stadseiland niet wordt overschreden en de maximale stroomsnelheden in de singels beneden de norm 0,4 m/s blijft.

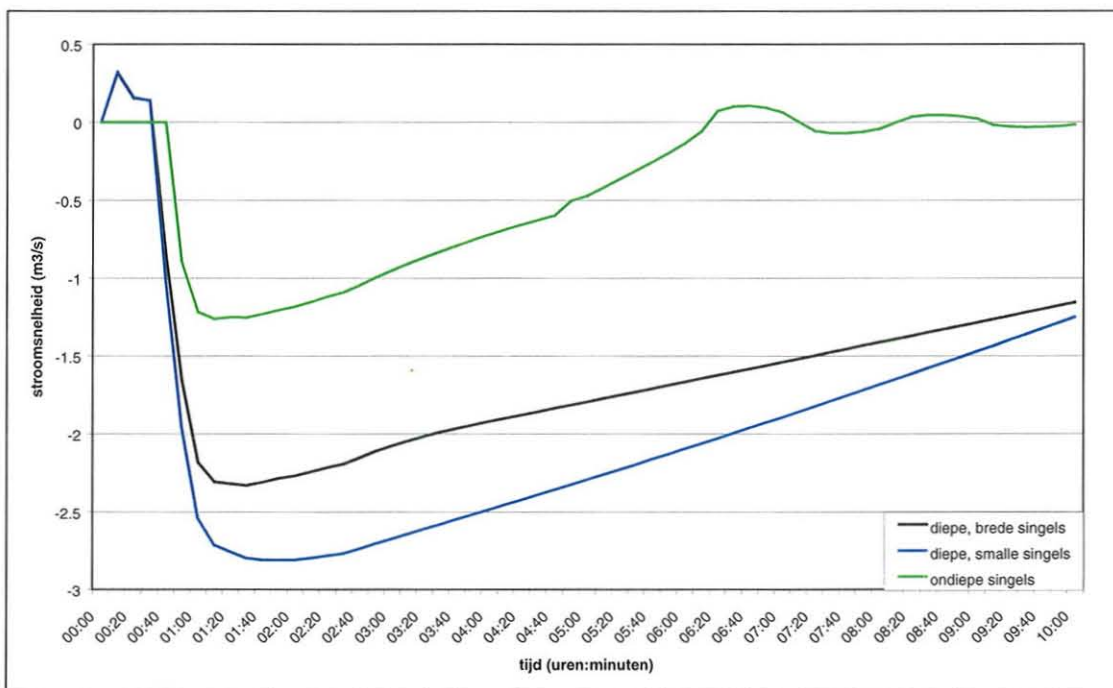
Navolgende figuren 2 en 3 geven het verloop van de stroomsnelheden in de beide verbindingsduikers van de singels van het Stadseiland naar de centrale buffer weer. Deze blijken de normsnelheid 0,8 m/s ruim te overschrijden. Deze snelheden zijn voor de duikers zelf toelaatbaar, maar zullen erosie bij de uitstroming veroorzaken. Aan de zijde van de centrale buffer zullen maatregelen dienen te worden getroffen ten einde deze erosie tegen te gaan (bestorting).

In geval van ondiepe singels liggen de duikers met de bodem op NAP +8,00 m en wordt hierdoor het debiet en de stroomsnelheid beperkt. In geval van diepe singels ligt de bodem op NAP +6,60 m.

Opvallend is dat de stroomsnelheden in de duikers en de waterspiegelstijging het geringste zijn in de situatie met ondiepe singels. Dit is het gevolg van de aanwezige kleine circulatielus rond de vlekken 20 en 24 en het extra lozingspunt op de plas.

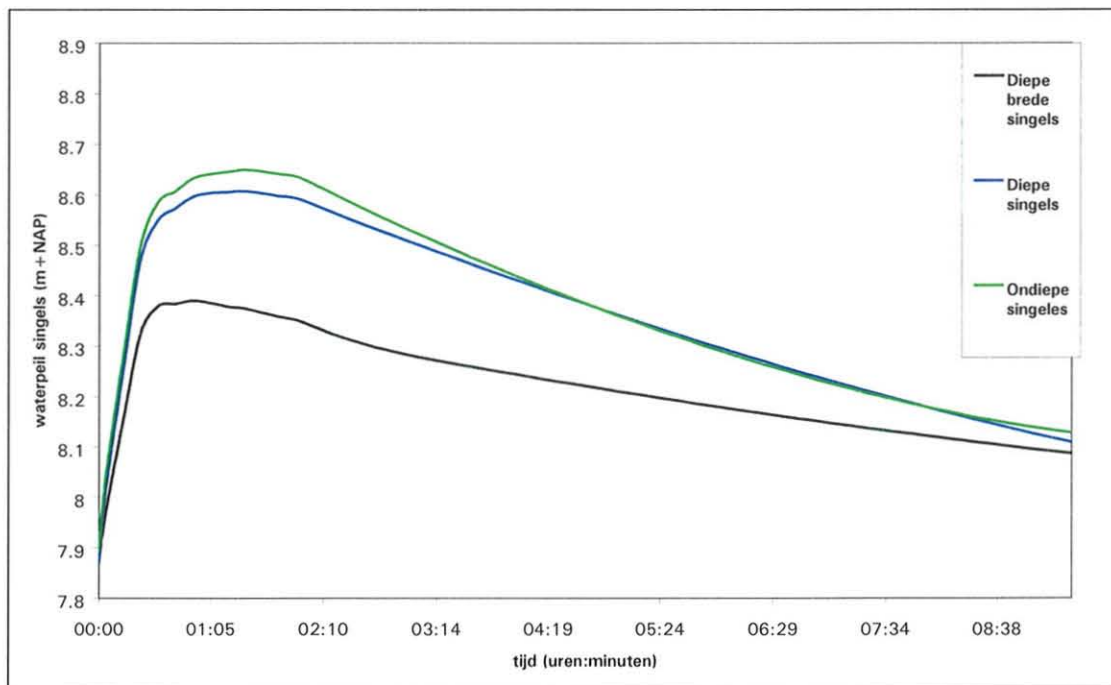


Figuur 2. Stroomsnelheden in westelijke knijpduiker tussen singel Stadseiland en centrale buffer (positief is richting circulatiedebiet hier van singel naar plas).



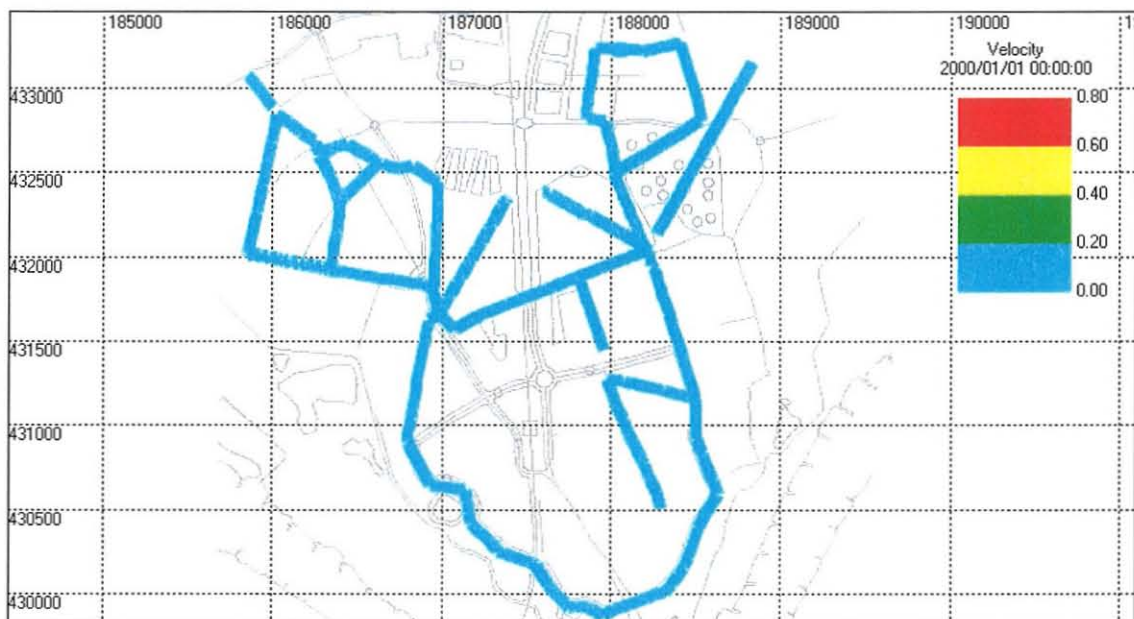
Figuur 3. Stroomsnelheden in oostelijke knijpduiker tussen singel Stadseiland en centrale buffer (positief is richting circulatiedebiet van plas naar singel).

Wel worden de normsnelheden in deze kleine lus overschreden (tot circa 0,70 m/s), maar dit was in de bestaande gracht van Lent, die het grootste deel uitmaakt van deze kleine circulatielus ook al het geval. Door ook aan de uitlaat van de kleine lus een knijpduiker op te nemen zijn de stroomsnelheden overal te beperken tot minder dan 0,4 m/s. Figuur 4 geeft het berekende verloop van de waterstanden bij toepassing van deze extra knijpduiker voor de variant met ondiepe singels. Ook achter deze extra knijpduiker is de bodem te beschermen met bestorting.

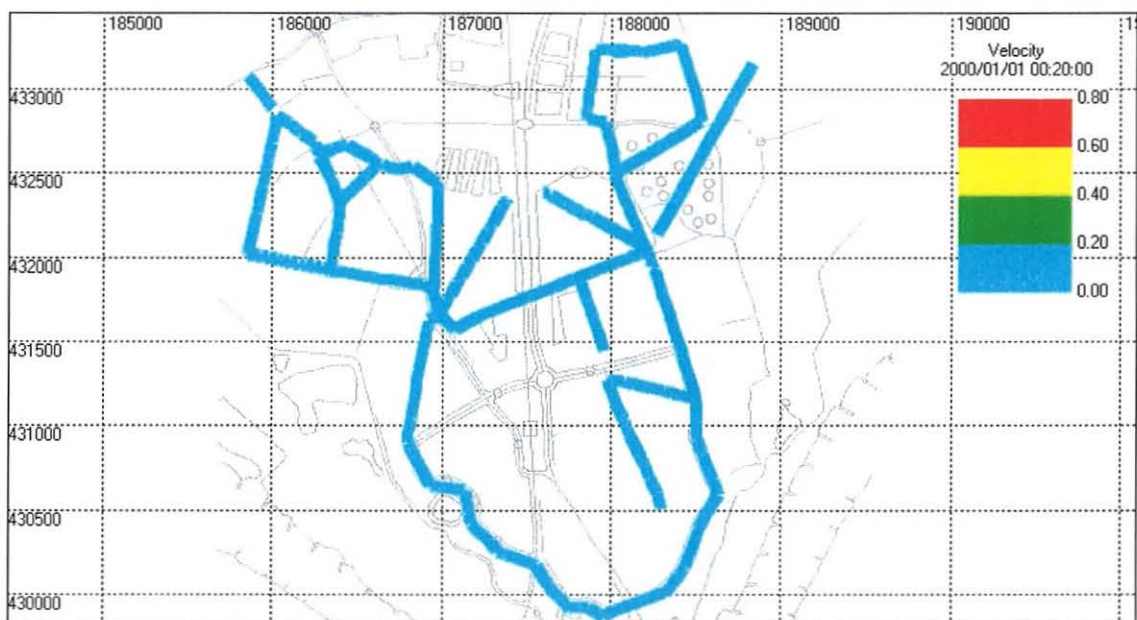


Figuur 4. Verloop maatgevende waterstanden singels bij T = 10 jaar zomerbui. Variant met ondiepe singels met extra knijpduiker in kleine circulatielus

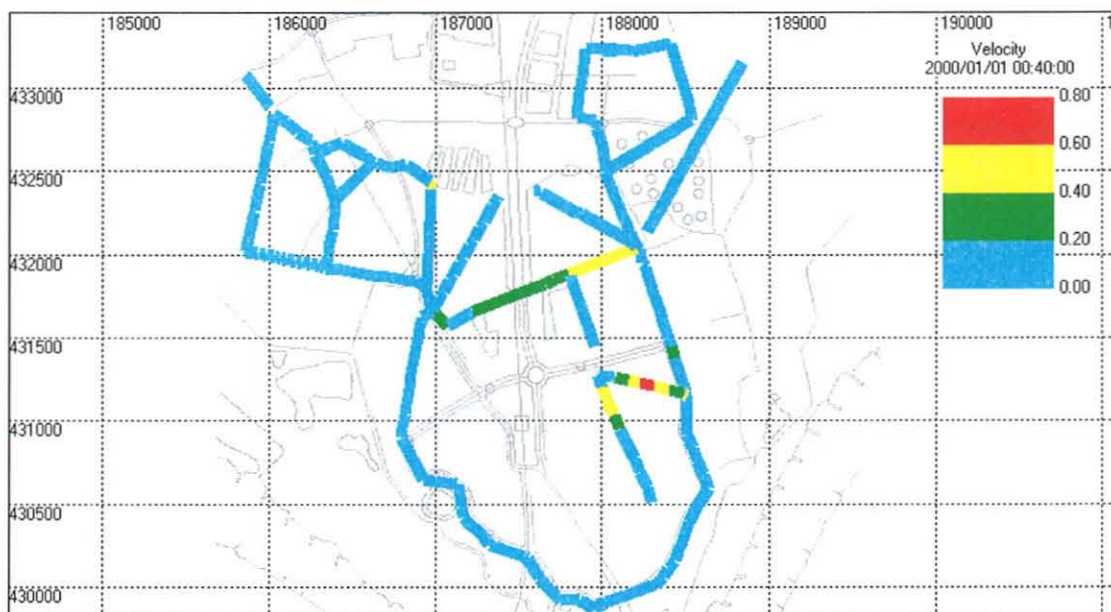
De figuren 5 t/m 9 geven de berekende stroomsnelheden in de singels weer op verschillende tijdstippen voor de uitvoeringsvorm 2, diepe smalle singels.



Figuur 5. Uitgangssituatie watersysteem, op $t = 0$ min, alleen lage circulatiesnelheden ($< 0,2$ m/s).

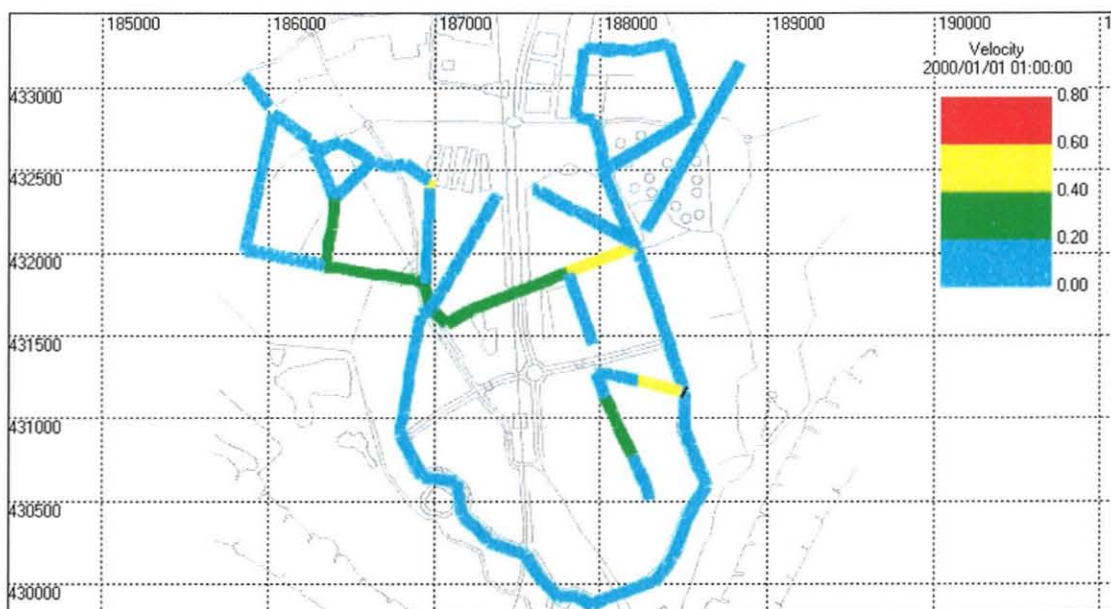


Figuur 6. Watersysteem op 20 minuten na aanvang van T=10 zomerbui, geen stroomsnelheden boven 0,2 m/s



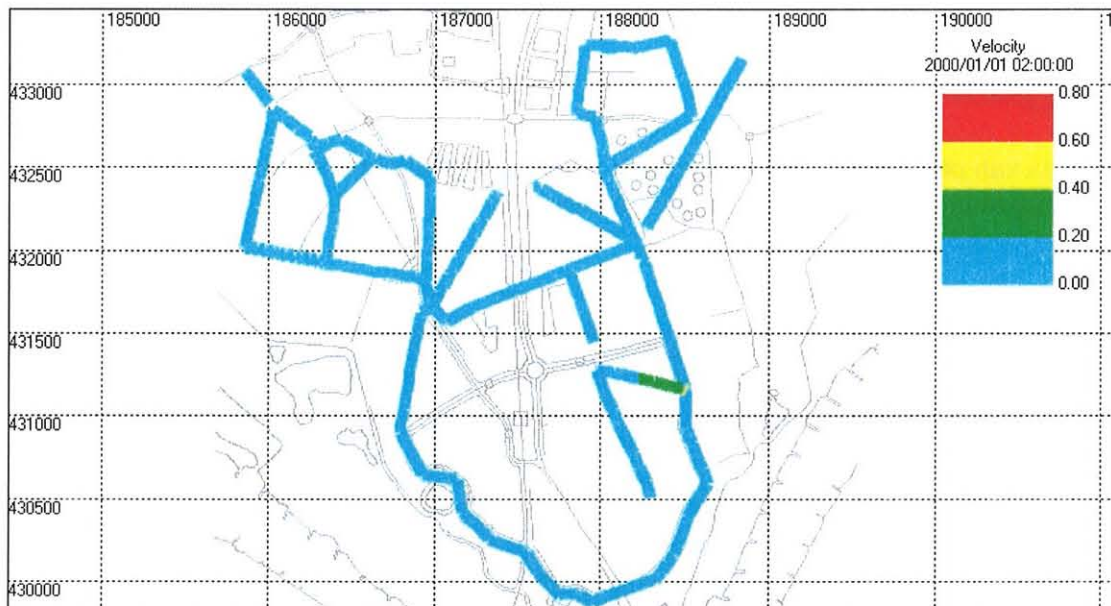
Figuur 7. Watersysteem op 40 minuten na aanvang van T=10 zomerbui.

In de bestaande Gracht van Lent treden stroomsnelheden tot boven 0,6 m/s op. Ook in de stromingselementen van de plassen zijn snelheden boven 0,4 m/s zichtbaar; dit zijn echter slechts fictieve rekenelementen.



Figuur 8. Watersysteem op 1 uur na aanvang van T=10 zomerbui.

Snelheden in de bestaande gracht van Lent nemen al weer af. Ook in de singels bij Oosterhout is de stroomsnelheid toegenomen tot boven 0,2 m/s (maar lager dan 0,4 m/s). in alle andere nieuw aan te leggen singels is de stroomsnelheid lager dan 0,2 m/s.

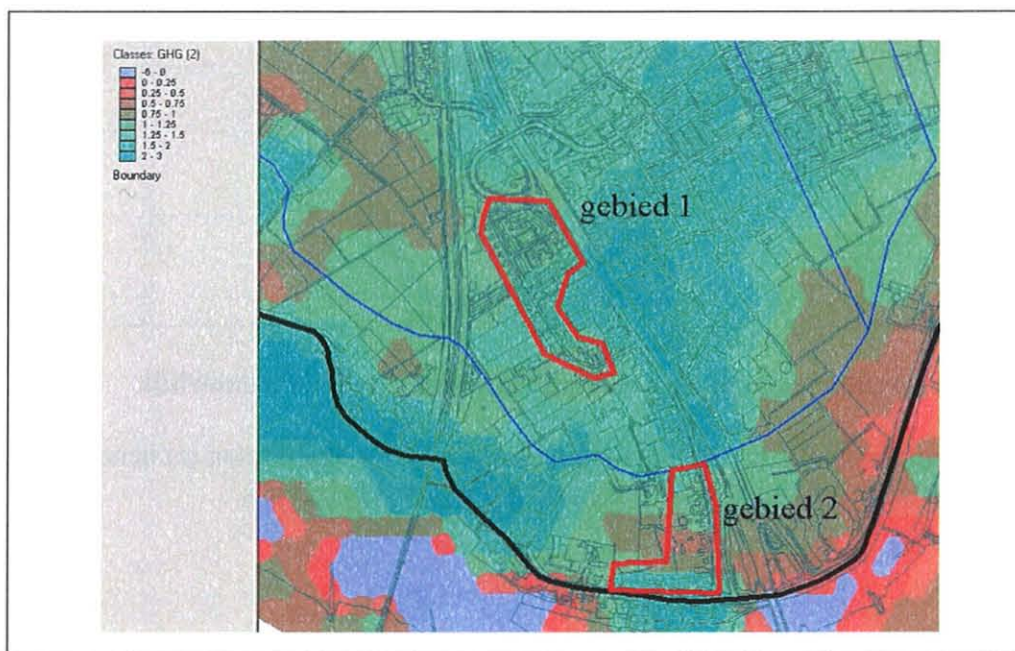


Figuur 9. Watersysteem op 2 uur na aanvang van T=10 zomerbui.

De stroomsnelheden alle nieuw aan te leggen singels zijn afgenomen tot beneden 0,2 m/s. alleen in de gracht door Lent is de snelheid nog groter dan 0,2 m/s.

Toetsing grondwaterstanden dorp Lent

Op basis van ondiepe grondwaterstanden in de huidige situatie zijn twee gebieden geselecteerd in het bebouwde gebied van Lent (zie figuur 1).



Figuur 1. Situering gebieden 1 en 2 en GHG's (1990-2001) huidige situatie ten opzichte van maaiveld

Vervolgens is per gebied en per variant berekend wat de GHG en de maximale grondwaterstand (MAX) t.o.v. NAP is. Het betreft de varianten zowel met als zonder dijkteruglegging. Navolgende tabel geeft de resultaten.

Uit de tabel blijkt dat de varianten met dijkteruglegging net veel van elkaar verschillen. Hetzelfde geldt voor de varianten zonder dijkteruglegging.

Het effect van de dijkteruglegging is in deze tabel gemiddeld een verlaging van grondwaterstanden. Dit is gevolg van de aangenomen zeer omvangrijke binnendijkse drainerende maatregelen, die er voor zorgen dat nergens een verslechtering optreedt.

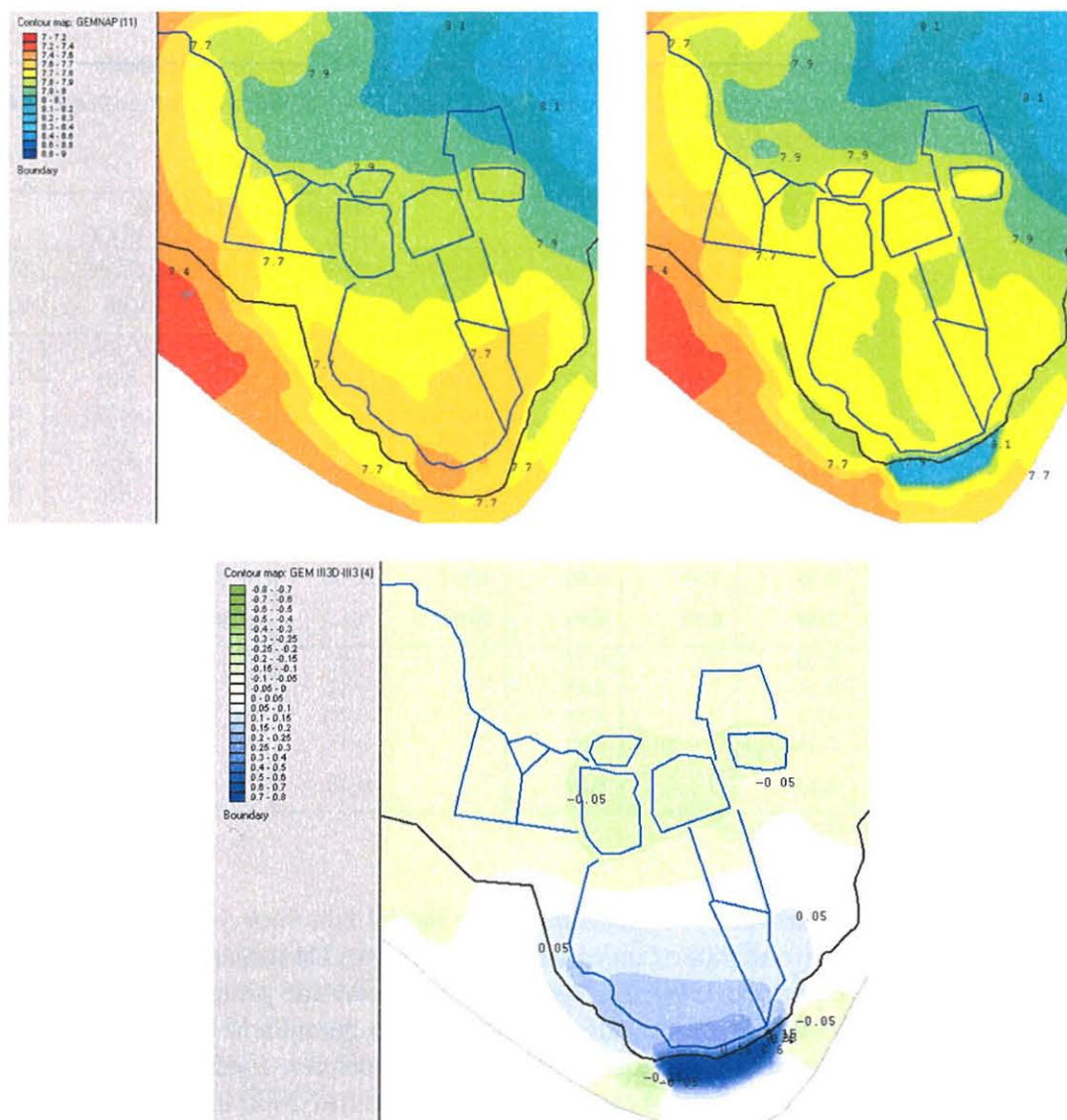
Tabel 5.4. De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de maximale grondwaterstand (MAX) over de periode 1990-2001 in twee gebieden in de kern van Lent

Varianten	Modeluitkomst GHG		MAX		Ten opzichte van huidig			
	gebied 1	gebied 2	gebied 1	gebied 2	GHG gebied 1	GHG gebied 2	MAX gebied 1	MAX gebied 2
huidig	8.41	9.35	9.14	10.64	0.00	0.00	0.00	0.00
I1	8.30	8.99	8.84	10.00	-0.12	-0.35	-0.29	-0.64
I2	8.30	9.00	8.87	10.03	-0.12	-0.34	-0.27	-0.61
II3	8.30	8.99	8.85	10.00	-0.12	-0.35	-0.29	-0.63
II3a	8.30	9.00	8.85	10.00	-0.11	-0.35	-0.29	-0.63
II4	8.27	8.99	8.86	10.01	-0.15	-0.36	-0.28	-0.63
II4a	8.26	8.99	8.86	10.00	-0.15	-0.36	-0.28	-0.63
III3	8.30	8.99	8.85	10.00	-0.12	-0.35	-0.29	-0.64
III5	8.28	8.99	8.86	10.00	-0.13	-0.36	-0.28	-0.63
IV6	8.28	8.99	8.86	10.01	-0.14	-0.36	-0.28	-0.63
zonder dijkteruglegging (gem.)	8,29	8.99	8.86	10.01	-0,12	-0,36	-0,28	-0,63
II3aD	8.26	*)	8.72	*)	-0.16	*)	-0.42	*)
II4D	8.21	*)	8.68	*)	-0.20	*)	-0.46	*)
II4aD	8.21	*)	8.68	*)	-0.20	*)	-0.46	*)
III3D	8.25	*)	8.69	*)	-0.17	*)	-0.45	*)
met dijkteruglegging (gem.)	8,23	*)	8,69	*)	-0,18	*)	-0,37	*)

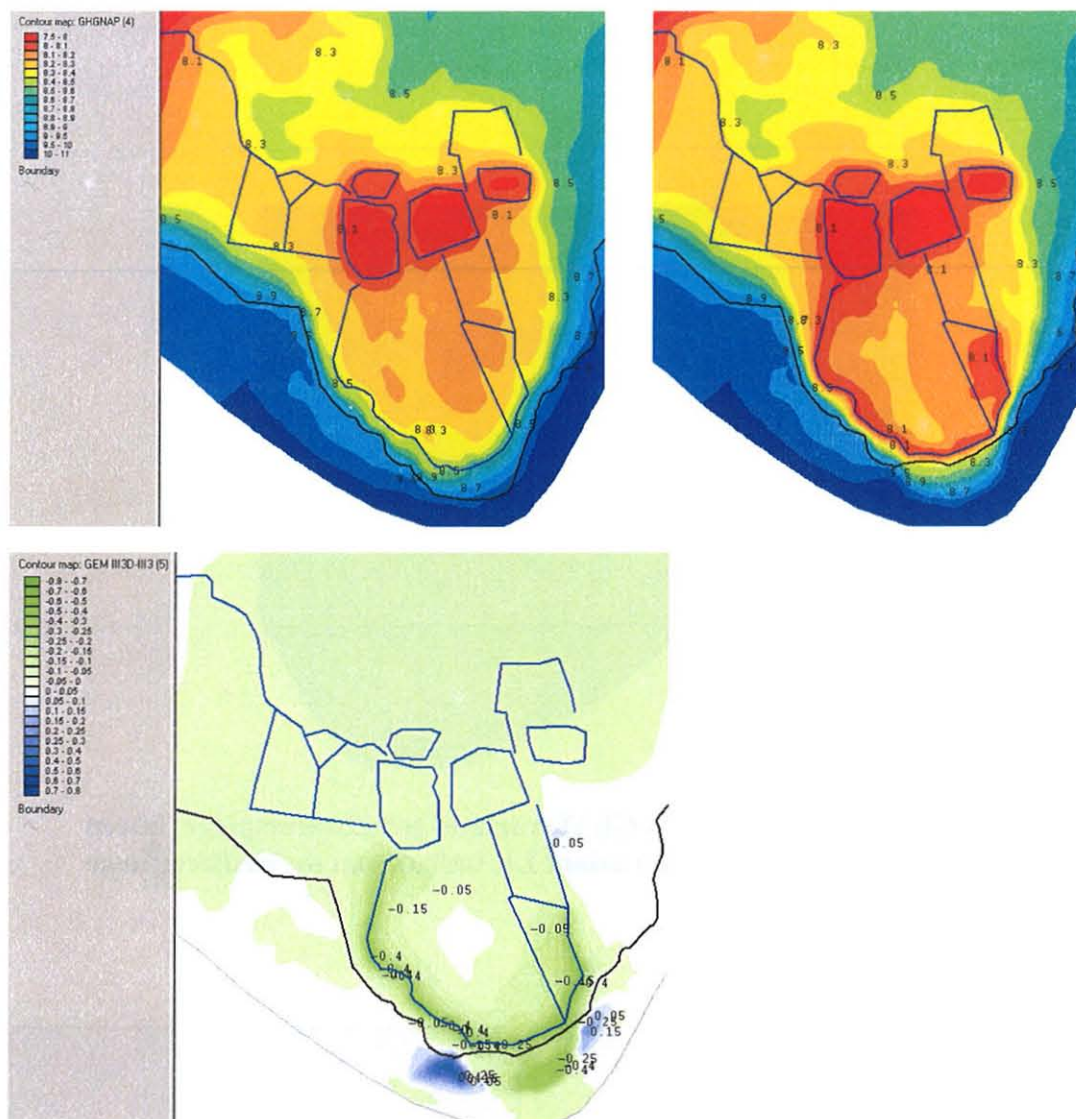
*) gebied 2 ligt ter hoogte van de nevengeul

Met het gekoppelde grondwater – oppervlaktewater model zijn voor de berekende varianten de freatische grondwaterstanden in beeld gebracht. De maximale grondwaterstand in de periode 1990-2000(MAX), de gemiddelde grondwaterstand (GEM), de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) zijn berekende modeluitkomsten die een goede indruk geven van de grondwatercondities in het gebied over de periode 1990 t/m 2000 in de verschillende beschouwde situaties.

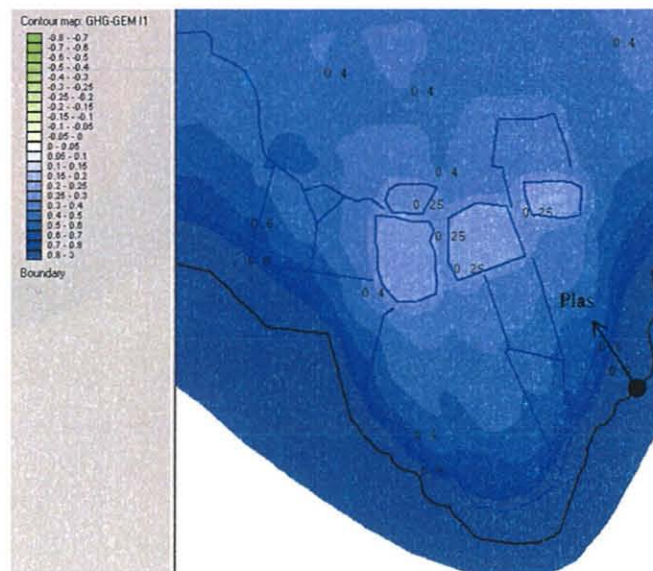
De meeste relevante berekeningsresultaten zijn weergegeven deze bijlage. Navolgend worden nog aanvullend nog enkele resultaten getoond, die het effect illustreren van de dijkteruglegging inclusief binnendijkse maatregelen om de hoge grondwaterstanden te beheersen, de invloed van de Waal en de verschillende invloeden van een kleine plas en een groter inundatiegebied op de grondwaterstanden.



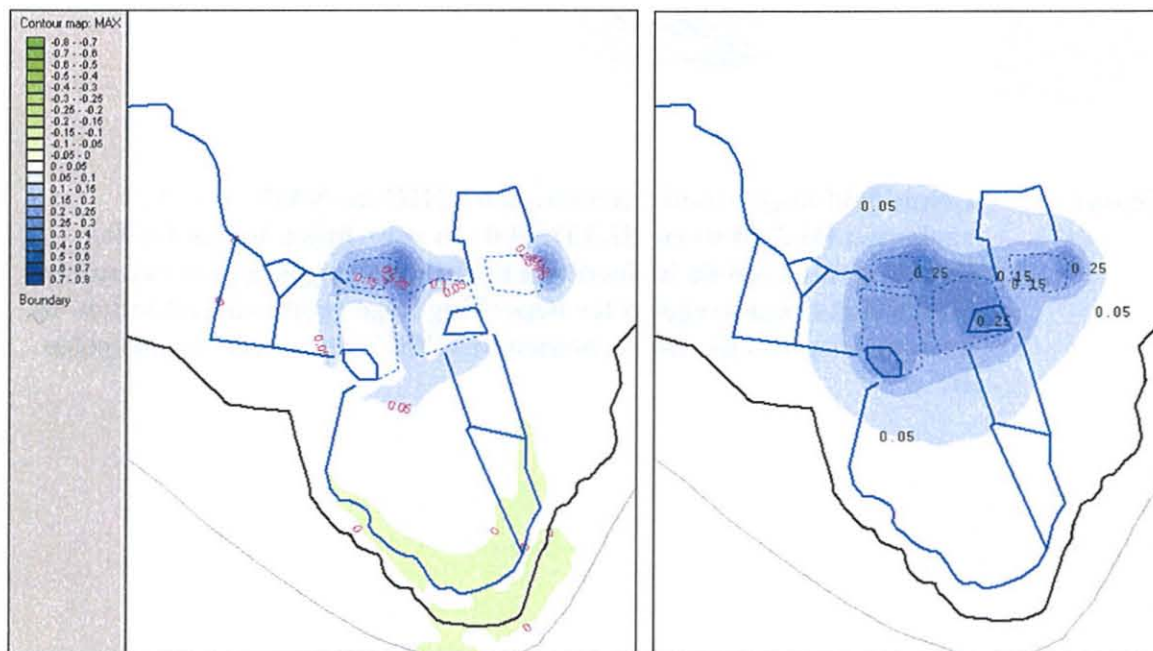
Figuur 2. Gemiddelde grondwaterstanden (GEM m+NAP) voor de varianten III.3(90-0) en III.3.D(90-0) en verschillen tussen beiden. Deze laatste geven de invloed van de dijkeruglegging plus eventuele binnendijkse maatregelen ter beperking hoge grondwaterstanden. In de omgeving van de singels nemen de gemiddelde grondwaterstanden toe.



Figuur 3. Gemiddeld hoge grondwaterstanden (GHG m+NAP) voor de varianten III.3(90-0) en III.3.D(90-0) en verschillen tussen beiden. Deze laatste geven de invloed van de dijkteruglegging plus eventuele binnendijkse maatregelen ter beperking hoge grondwaterstanden. In de omgeving van de singels nemen de GHG's door deze maatregelen af.



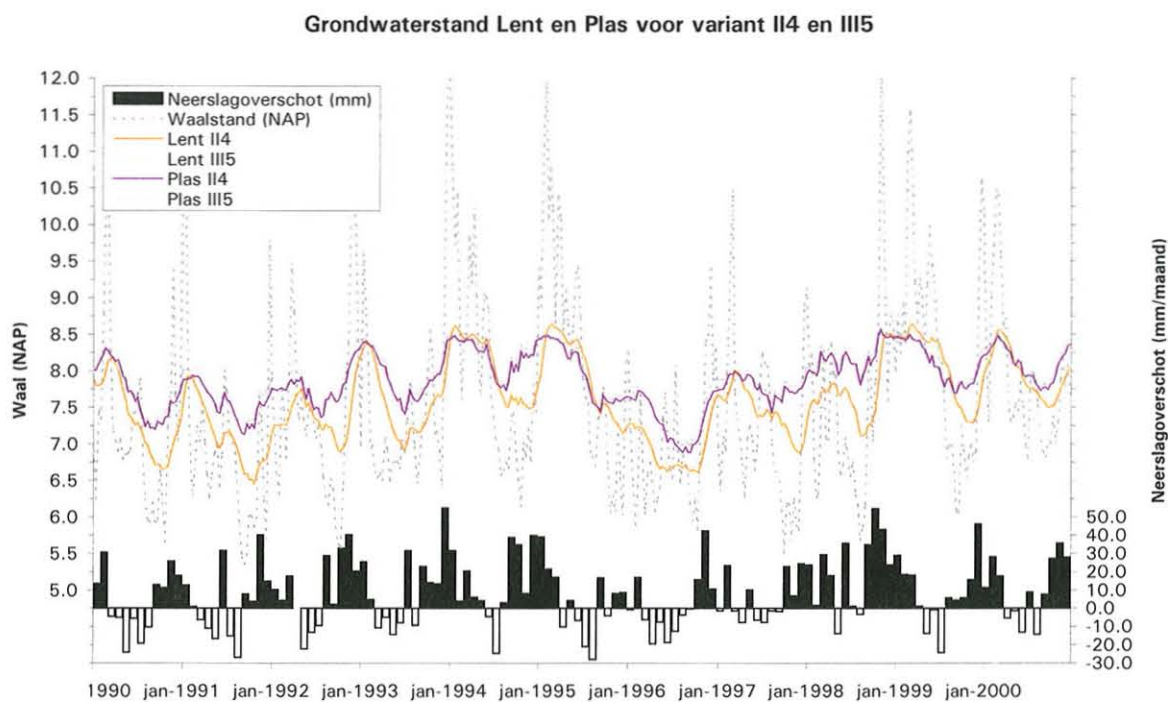
Figuur 4. Verschil tussen GHG en GEM (variatie grondwaterspiegel boven gemiddelde waarde) bij variant I.1, indruk van invloedsfeer hoge waterstanden Waal.



Figuur 5. Verschillen tussen MAX en GHG varianten III.5(10-0) en II.4(0-90).

Figuur 5 vergelijkt de maximale grondwaterstanden MAX met de GHG's voor de varianten II.5 met een zeer kleine plas respectievelijk een inundatiegebied (*bodem op NAP +8,0 m). De verschillen in MAX zijn zeer gering en uiterst lokaal. De verschillen in

GHG zijn wat groter. Figuur 6 geeft het verloop de grondwaterstanden op 2 locaties aangegeven in figuur 5; één direct naast de plas en één midden in Lent



Figuur 6. Verloop grondwaterstanden op punten nabij de plas en in dorp Lent voor de varianten II.4(0-90) en III.5(10-0).

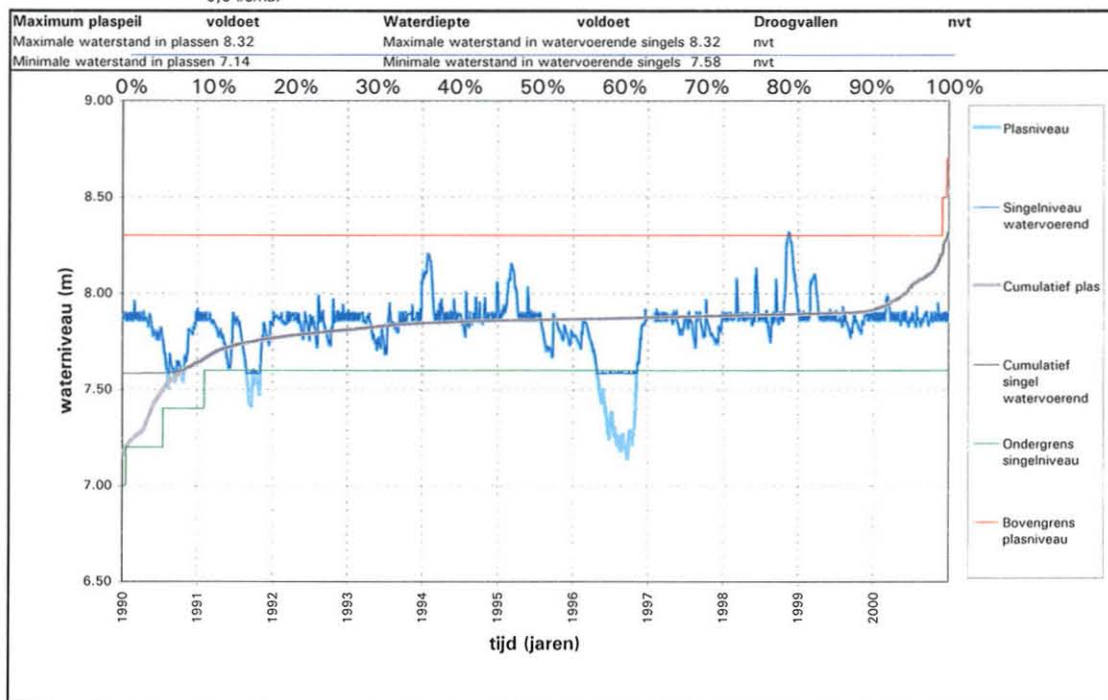
Navolgend zijn voor de beschouwde varianten de berekende verlopen van de waterstanden in singels en plassen in de tijd weergegeven. In de figuren zijn zes lijnen opgenomen. Dit zijn:

- de waterstanden in de plassen in chronologische volgorde (grillige, dikke grijze lijn);
- de waterstanden in de singel rond het Stadseiland in chronologische volgorde (grillige, dunne zwarte lijn);
- de waterstanden in de plassen oplopend gerangschikt, ter vergelijking met de norm voor het maximum plaspeil (dikke, grijze curve);
- de waterstanden in de plassen oplopend gerangschikt, ter vergelijking met de norm voor het minimum singelpeil (dunne, zwarte curve);
- het overschrijdingscriterium plasniveaus (bovenste getrapte lijn), of de normlijn maximum plasniveau;
- het onderschrijdingscriterium plasniveaus (onderste getrapte lijn), of de normlijn minimum plasniveau.

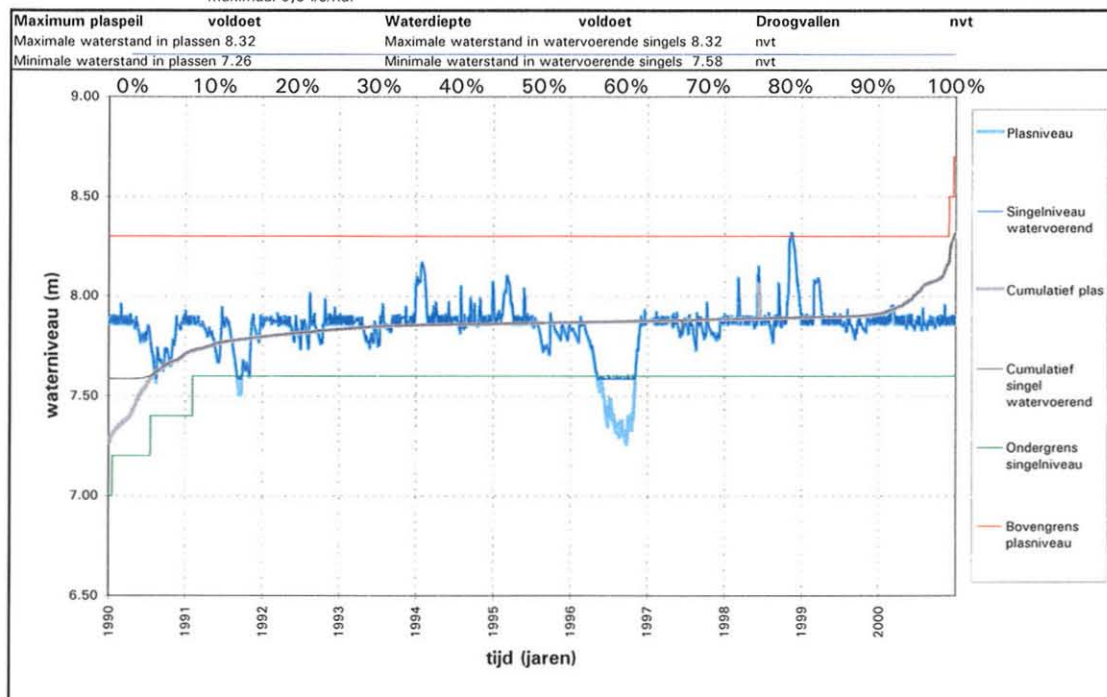
De figuren geven dus behalve de waterstanden in de plassen ook aan in hoeverre aan de gestelde normen voor minimum en maximum waterstanden wordt voldaan. De over- en onderschrijdingen van zekere waterstanden zijn gebonden aan een zekere maximale duur. Wanneer de oplopend gerangschikte curve van het plasniveau gedeeltelijk boven de normlijn voor het maximum plaspeil ligt, wordt niet aan deze norm voldaan. Analoog wordt niet aan de norm voor het minimum waterniveau in de singels voldaan wanneer de oplopend gerangschikte curve van de singels gedeeltelijk onder de normlijn ligt. Over het algemeen vallen de curven voor plas en singel samen; alleen bij varianten met gestuwde singels kunnen deze waterstanden tijdelijk verschillen.

Boven elke grafiek is aangegeven welke extreme waterstanden voorkomen, en of deze aan de norm voldoen. Verder wordt, voor zover van toepassing aangegeven of droogvallende singels voldoende droogvallen (droogstand gedurende minimaal 80% van de tijd in de zomermaanden).

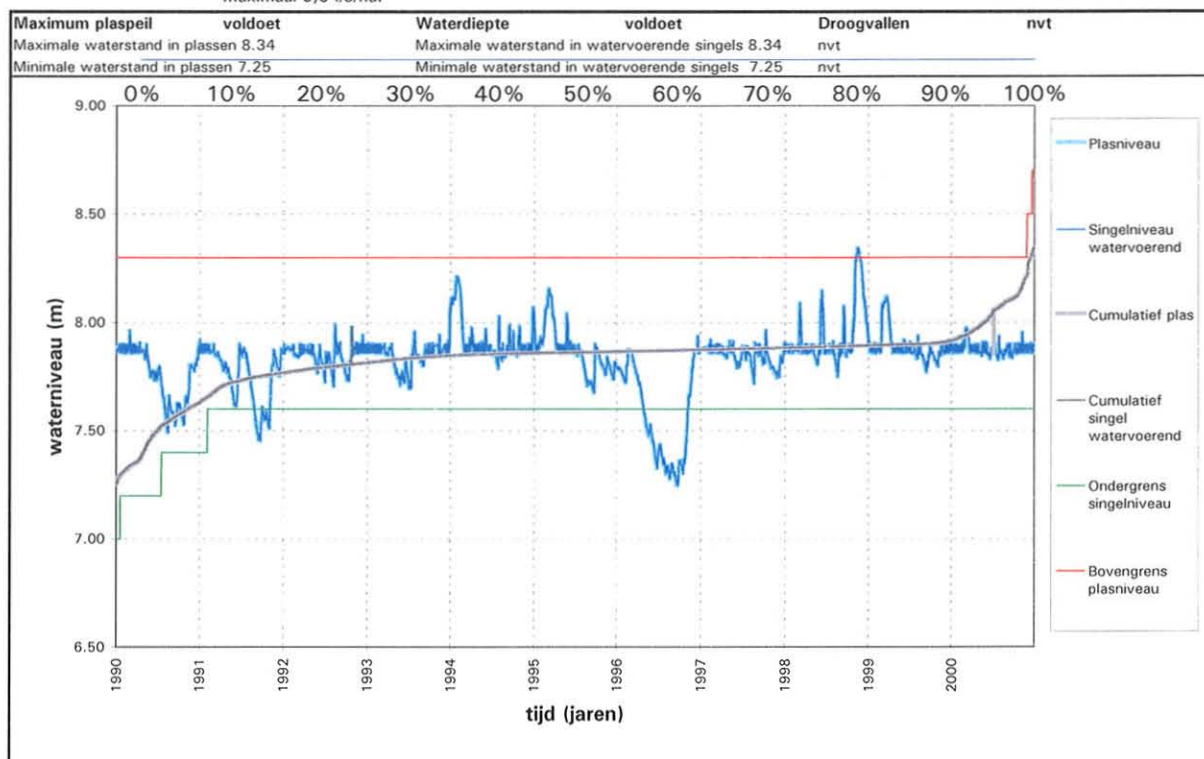
Variant I.1 (90-0) Deze variant is samengesteld uit een diepe plas van 89.7 ha, diepe, gestuwde singels, geen inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.



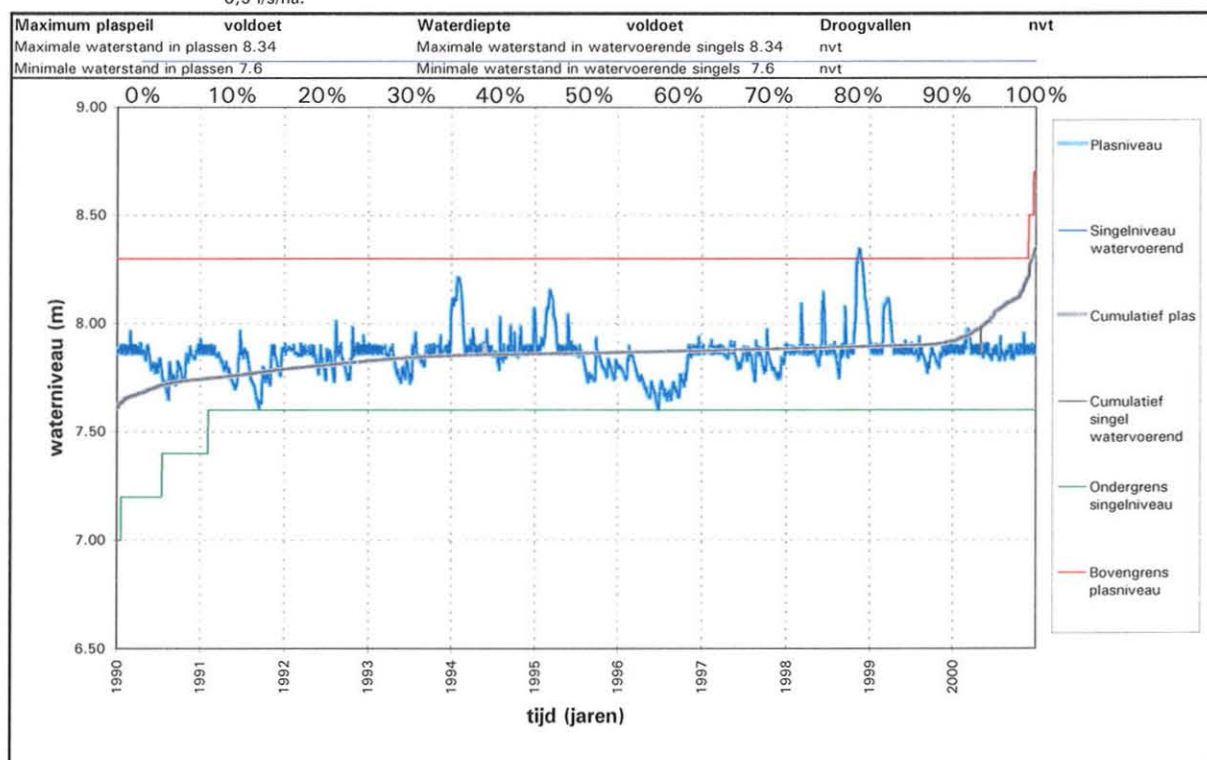
Variant I.2 (90-0) Deze variant is samengesteld uit een ondiepe plas van 89.7 ha, diepe, gestuwde singels, geen inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.



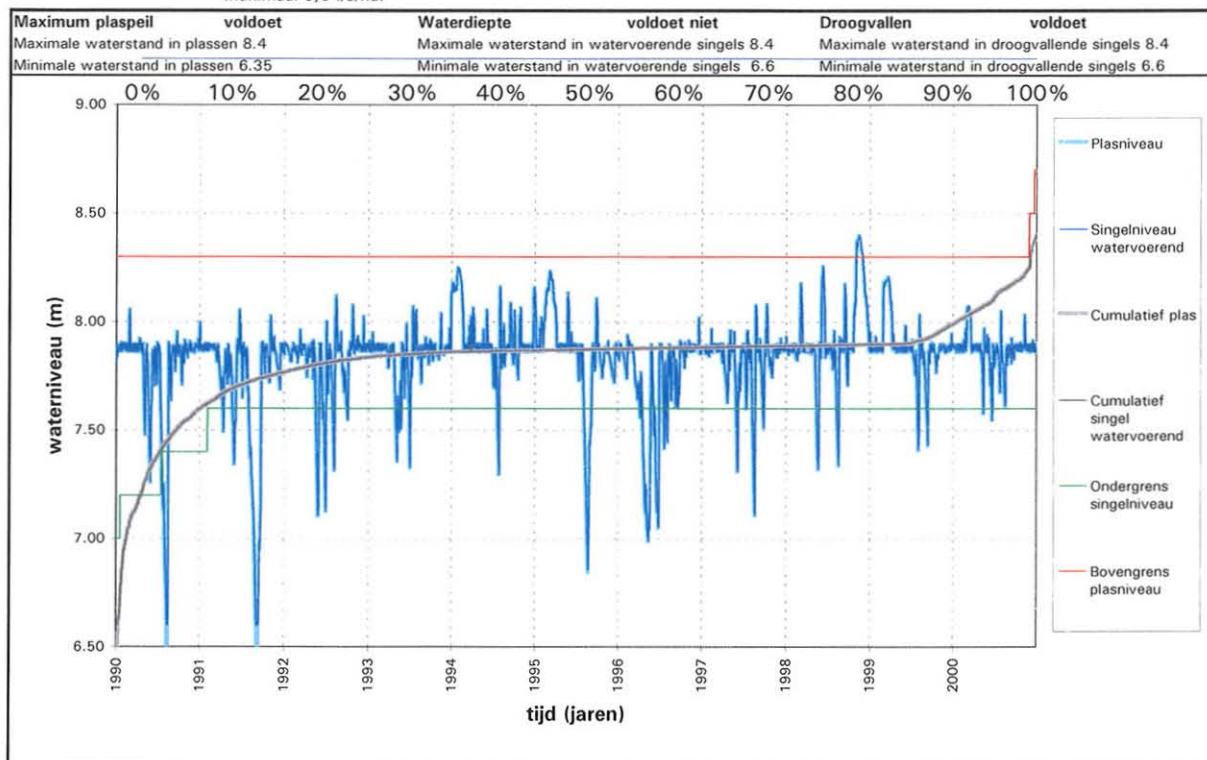
Variant II.3 (90-0) Deze variant is samengesteld uit een diepe plas van 89.7 ha, diepe, niet gestuwde singels, geen inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.



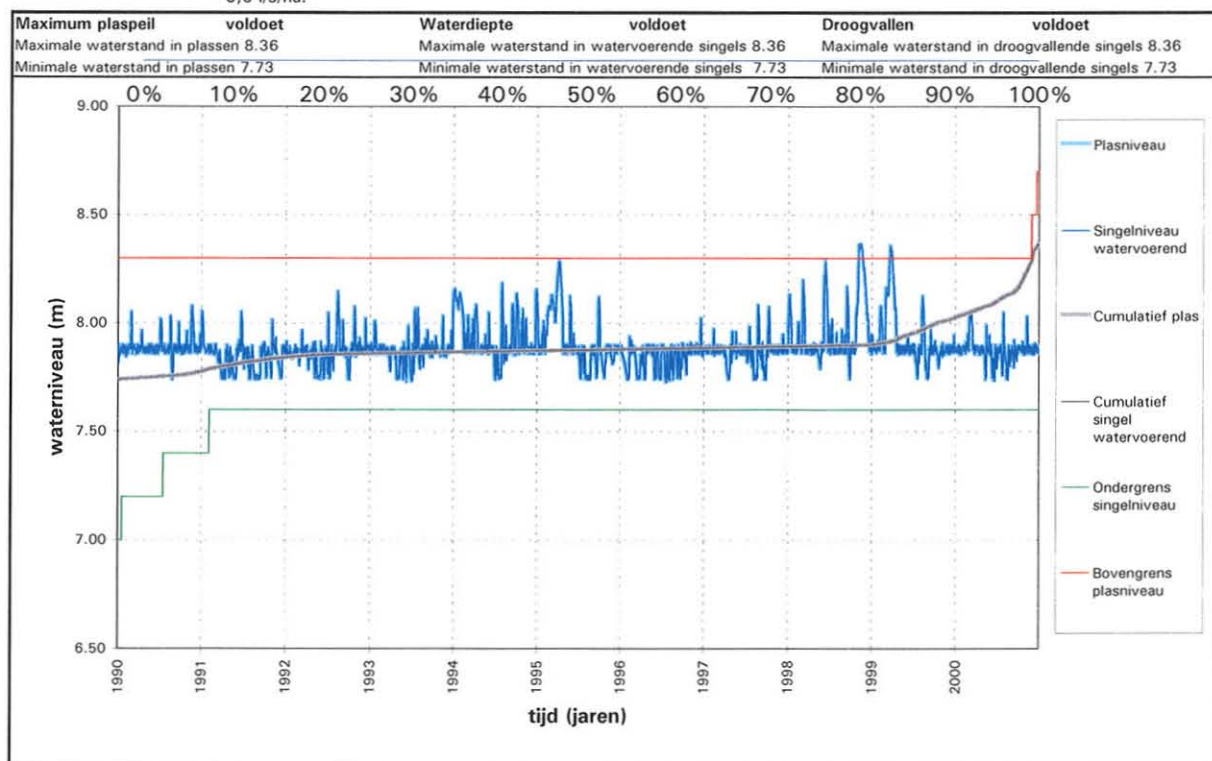
Variant II.3a (90-0) Deze variant is samengesteld uit een diepe plas van 89.7 ha, diepe, niet gestuwde singels, inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.



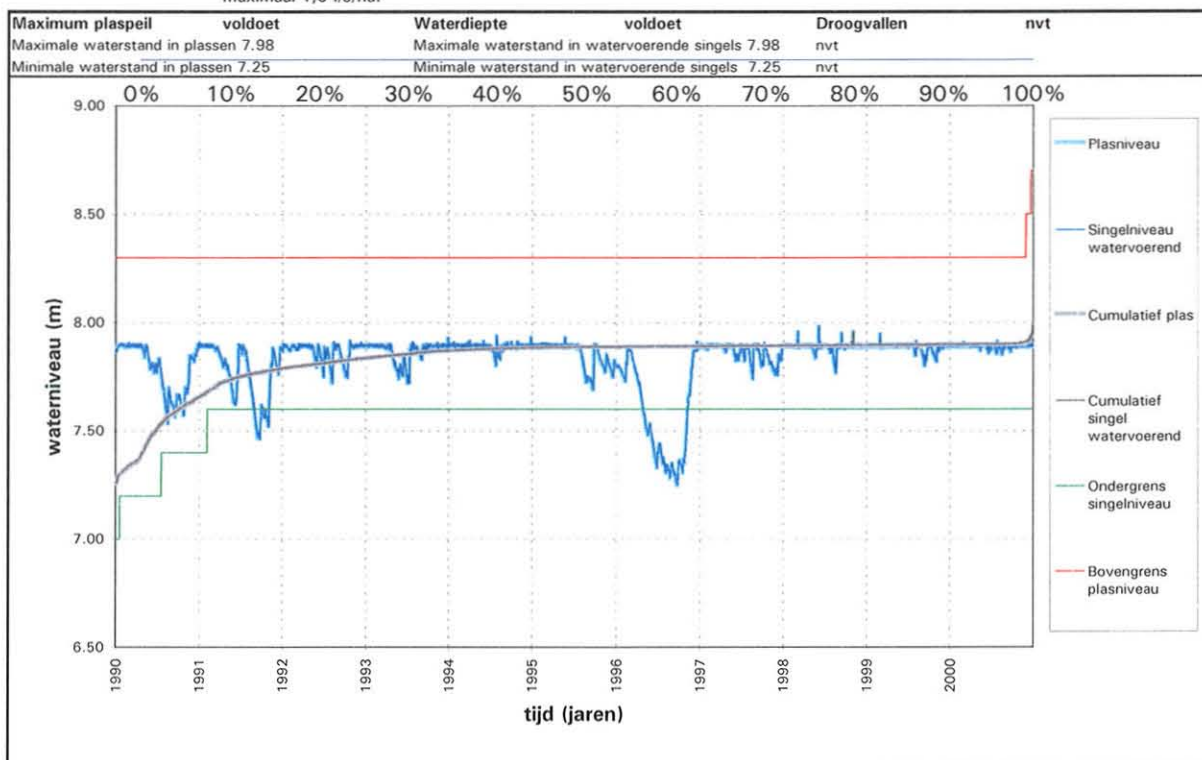
Variant II.4 (0-90) Deze variant is samengesteld uit een verlaagd maaiveld van 89.7 ha, droogvallende singels, geen inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.



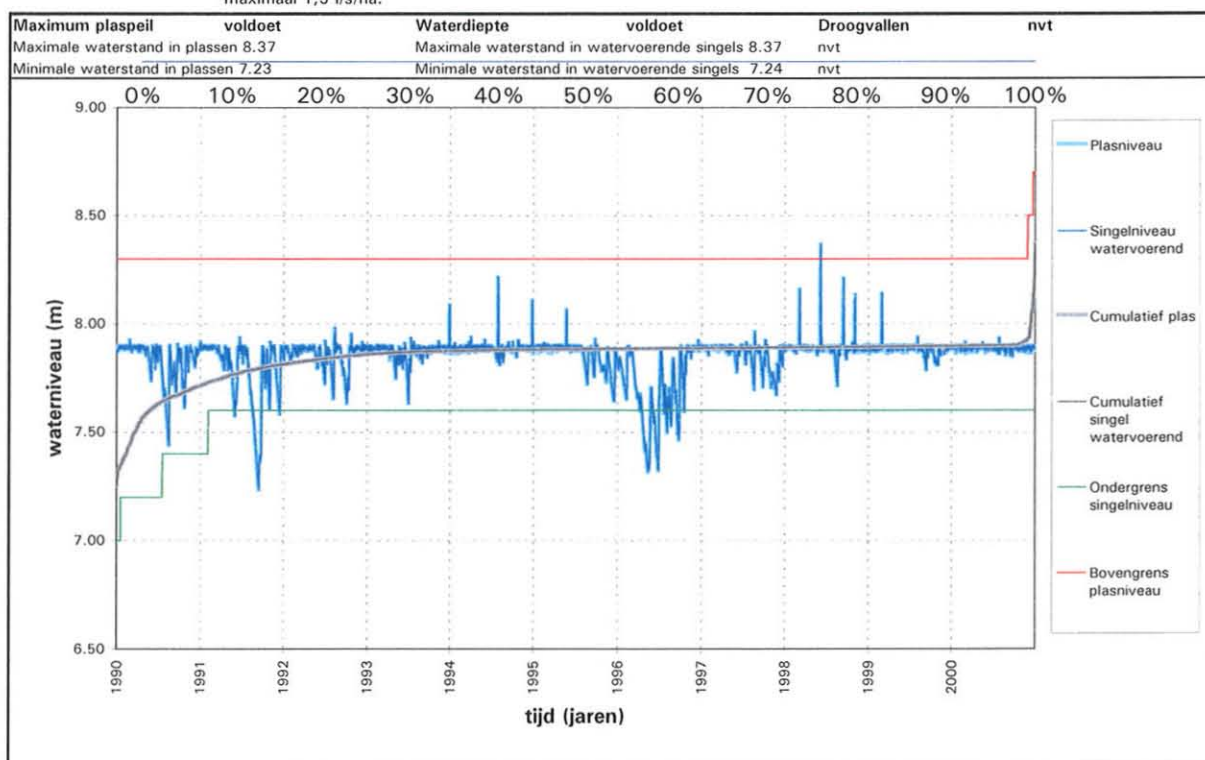
Variant II.4a (0-90) Deze variant is samengesteld uit een verlaagd maaiveld van 89.7 ha, droogvallende singels, inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.



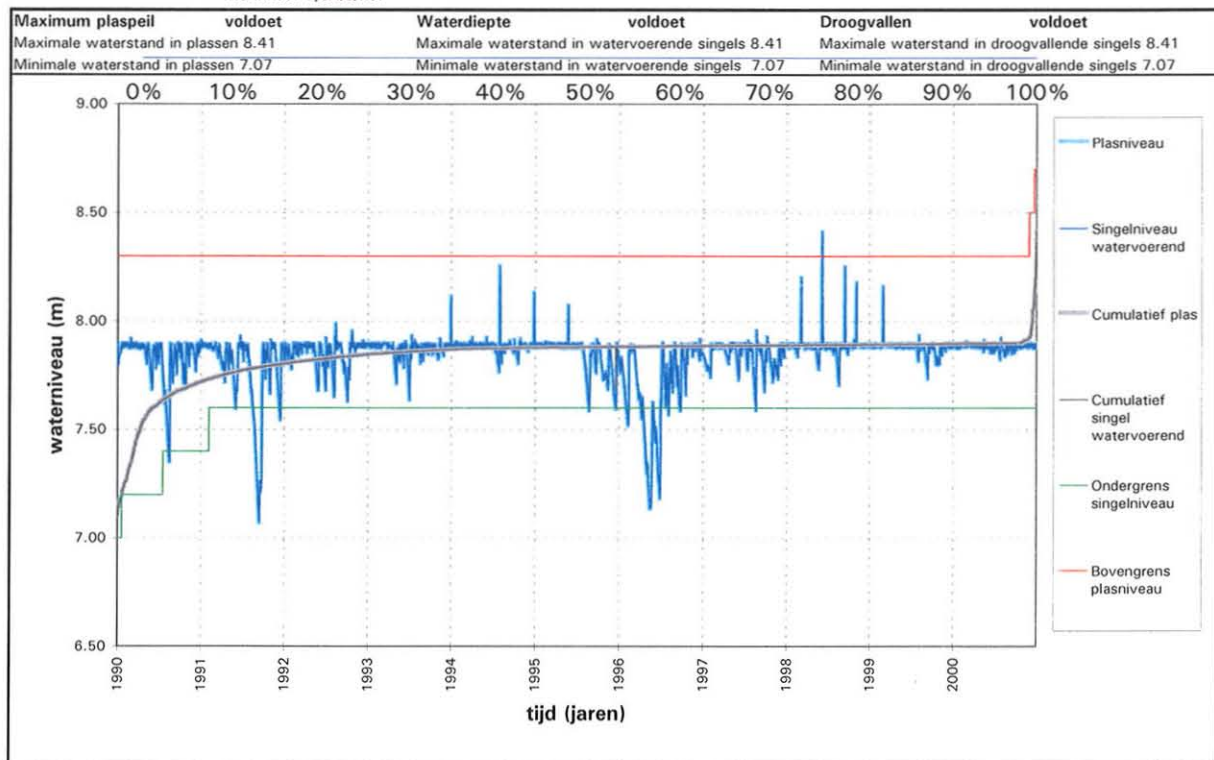
Variant III.3 (90-0) Deze variant is samengesteld uit een diepe plas van 89.7 ha, diepe, niet gestuwde singels, geen inlaat en een afvoer van maximaal 1,5 l/s/ha.



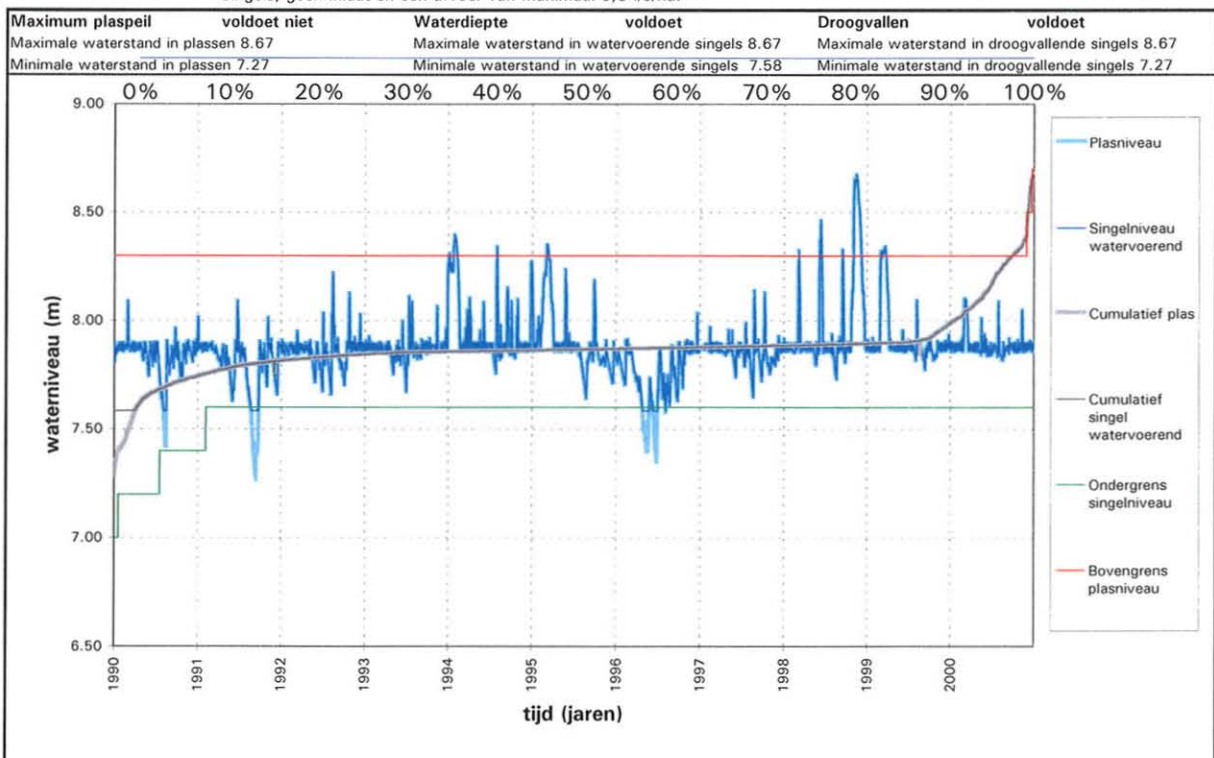
Variant III.3 (10-0) Deze variant is samengesteld uit een diepe plas van 10 ha, diepe, niet gestuwde singels, geen inlaat en een afvoer van maximaal 1,5 l/s/ha.



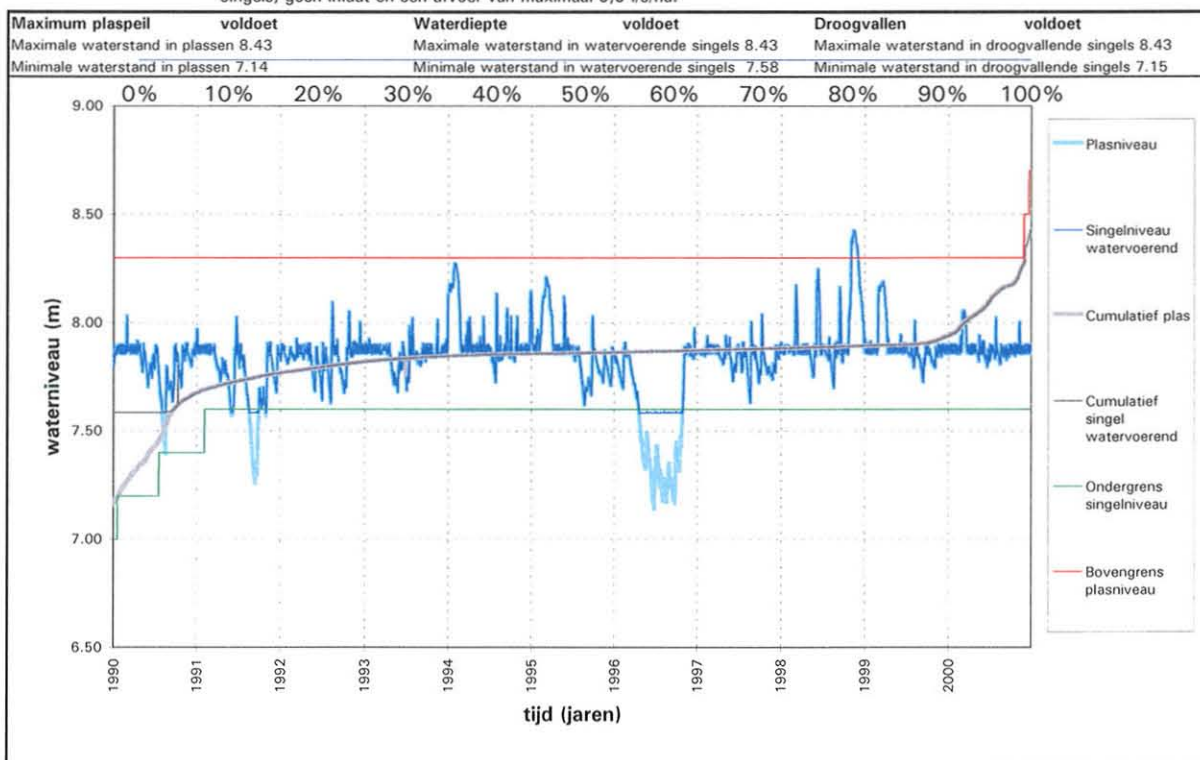
Variante III.5 (10-0) Deze variant is samengesteld uit een verbindingssingel van 10 ha, droogvallende singels, geen inlaat en een afvoer van maximaal 1,5 l/s/ha.



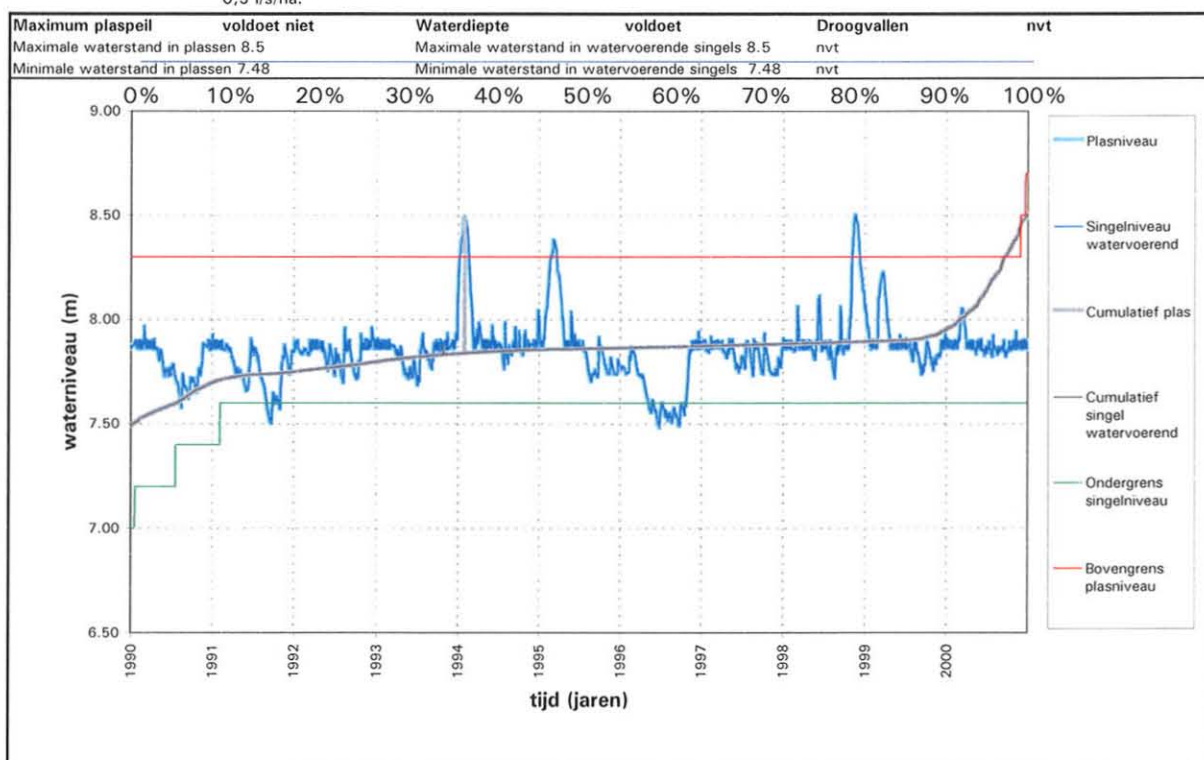
Variante IV.6 (20-20) Deze variant is samengesteld uit een diepe plas en verlaagd maaiveld van samen 40 ha, diepe, gestuwde en droogvallende singels, geen inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.



Variant IV.6 (40-40) Deze variant is samengesteld uit een diepe plas en verlaagd maaiveld van samen 80 ha, diepe, gestuwde en droogvallende singels, geen inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.

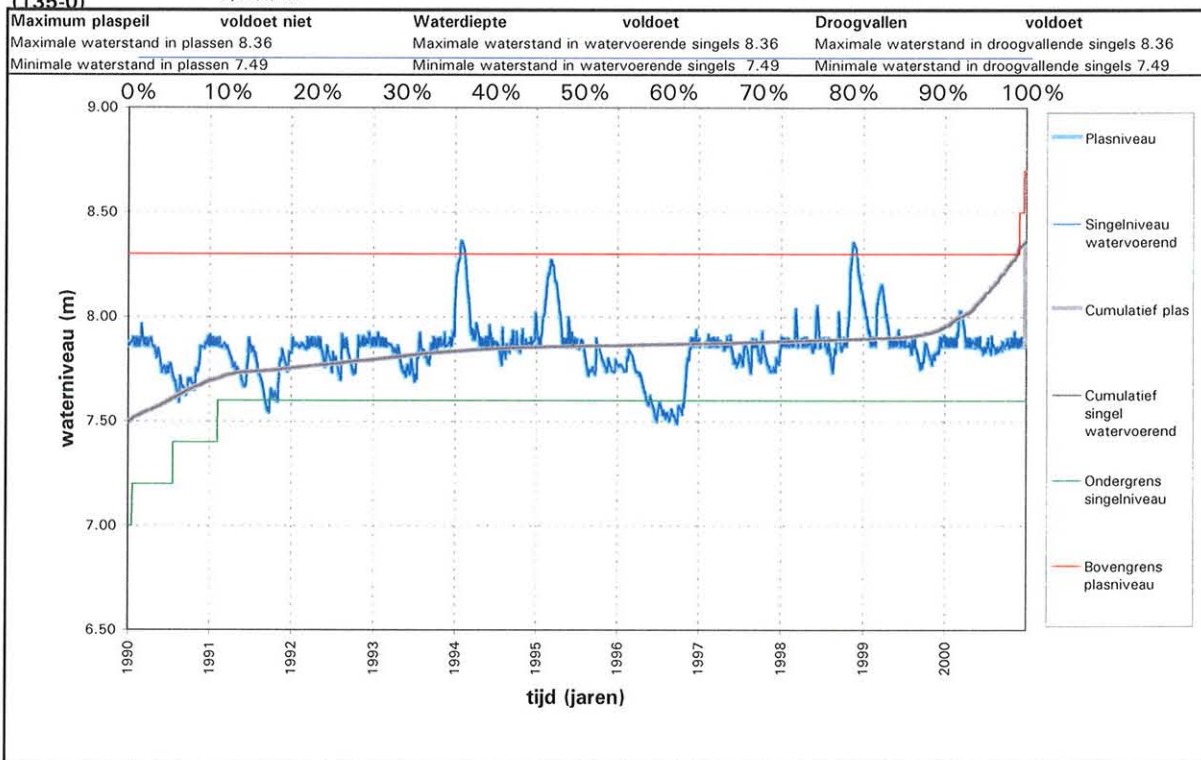


Variant II.3aD (90-0) Deze variant is samengesteld uit een diepe plas van 89.7 ha, diepe, niet gestuwde singels, inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.



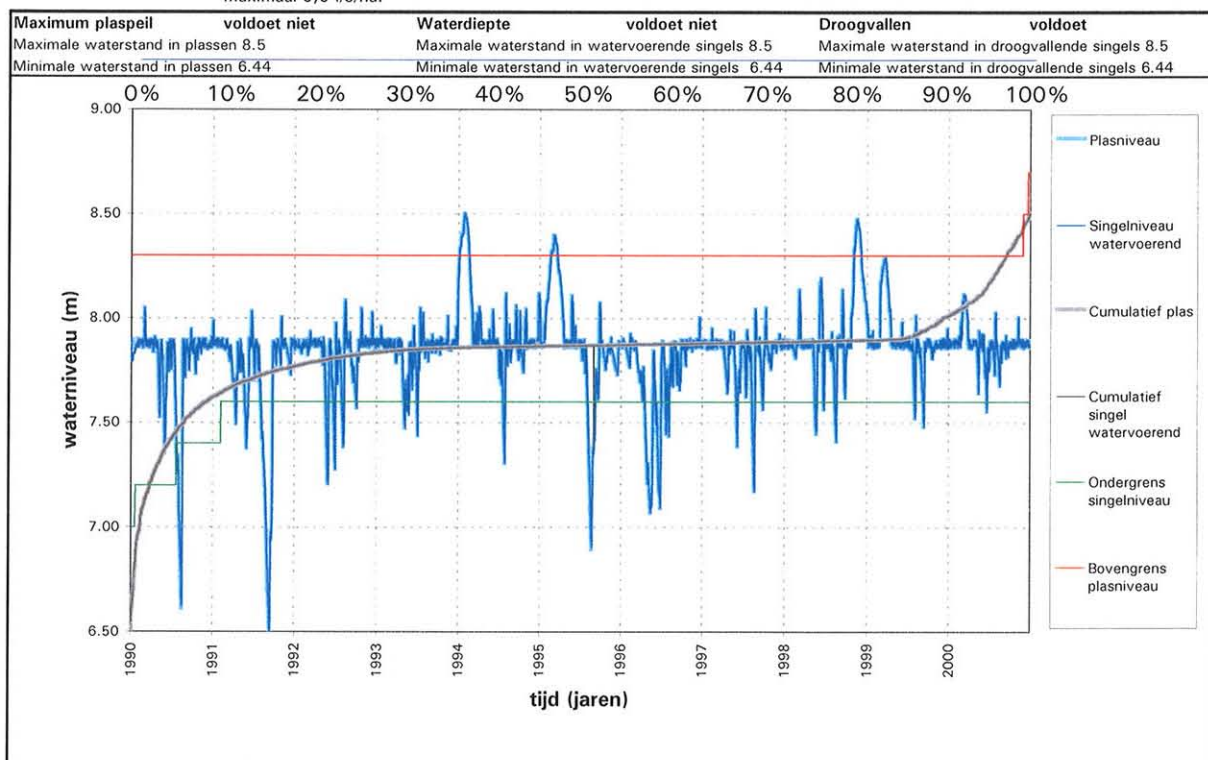
Variant II.3aD (135-0)

Deze variant is samengesteld uit een diepe plas van 135 ha, diepe, niet gestuwde singels, inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.

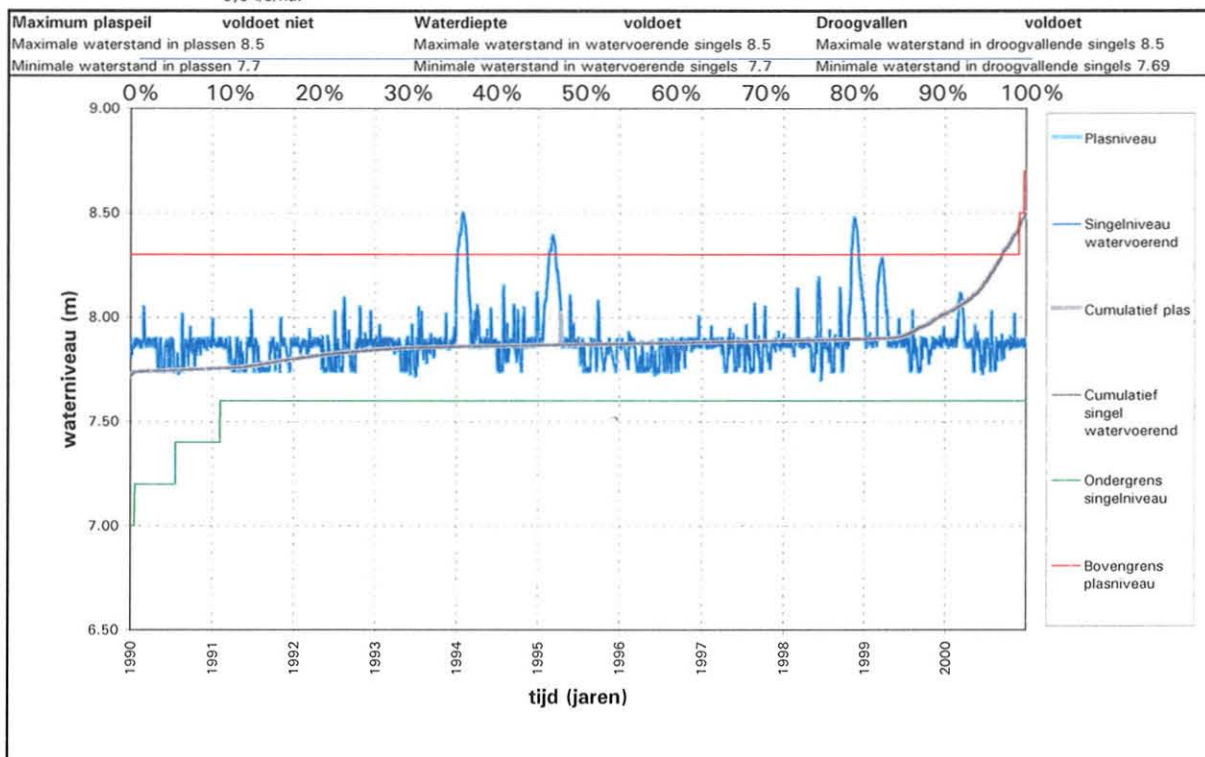


Variant II.4D (0-90)

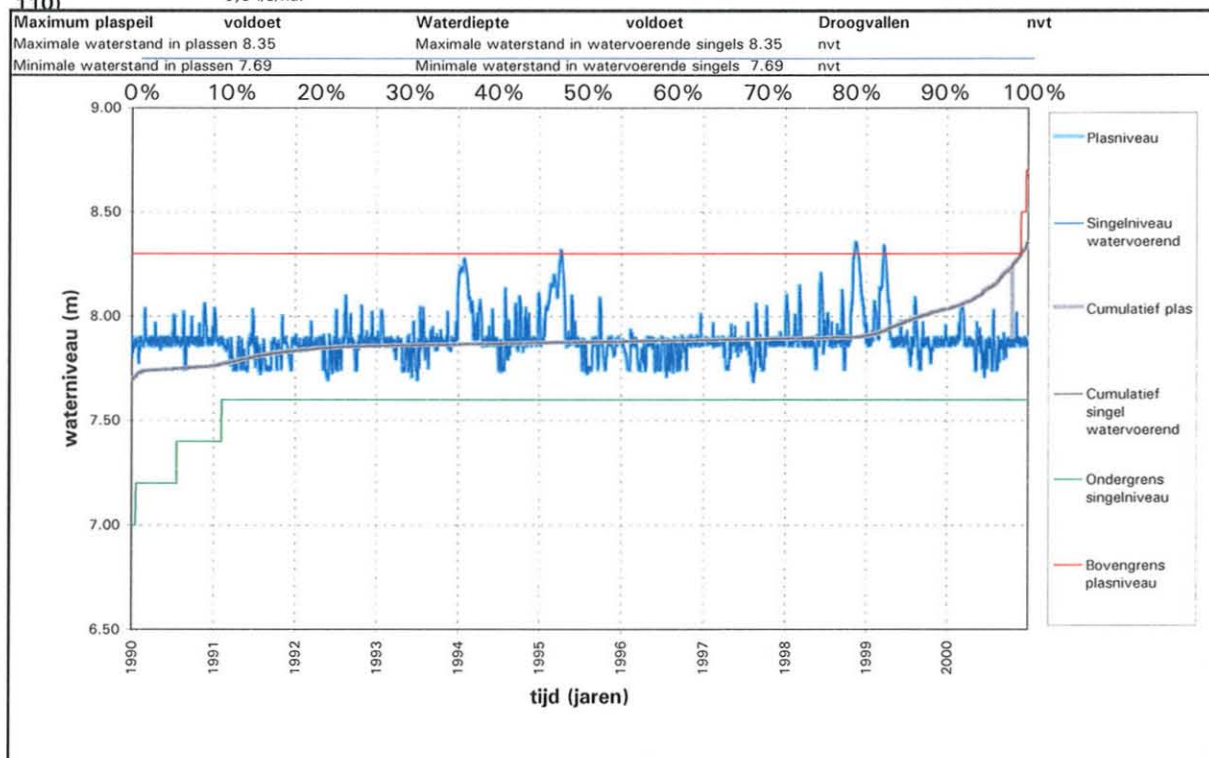
Deze variant is samengesteld uit een verlaagd maaiveld van 89.7 ha, droogvallende singels, geen inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.



Variant II.4aD (0-90) Deze variant is samengesteld uit een verlaagd maaiveld van 89.7 ha, droogvallende singels, inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.



Variant II.4aD (0-110) Deze variant is samengesteld uit een verlaagd maaiveld van 110 ha, droogvallende singels, inlaat en een afvoer van maximaal 0,5 l/s/ha.

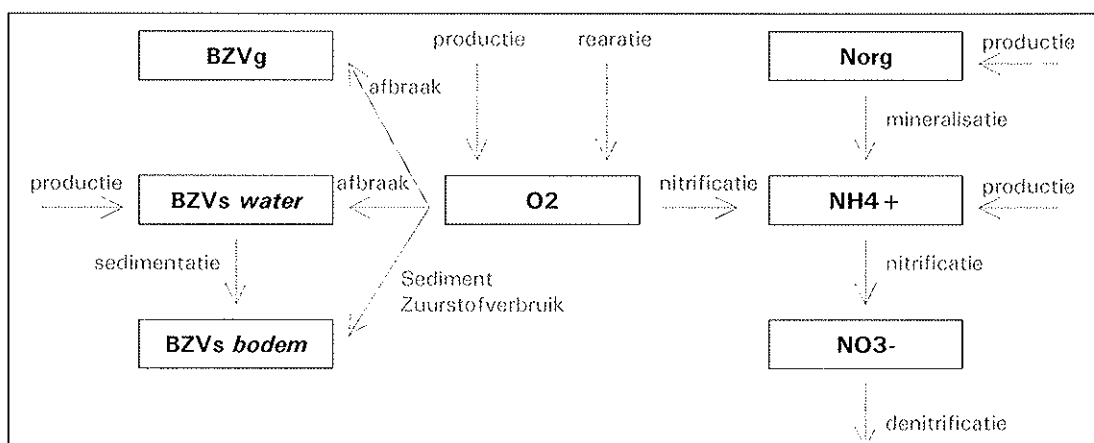


Beschrijving waterkwaliteitsprocessen

Zuurstof- en stikstofhuishouding

De beschrijving van de zuurstof- en stikstofhuishouding bevat de volgende variabelen en processen (zie ook figuur 1):

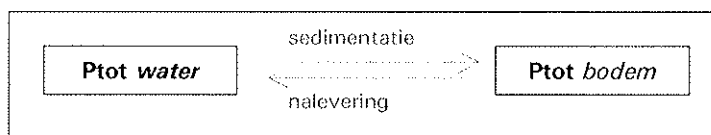
- afbraak en bezinking van goed en slecht afbreekbaar BZV;
- reëratie van zuurstof uit de lucht;
- nitrificatie van ammonium;
- denitrificatie van nitraat;
- mineralisatie van organisch stikstof.



Figuur 1. Processen Zuurstof- en stikstofhuishouding

Fosfaathuishouding

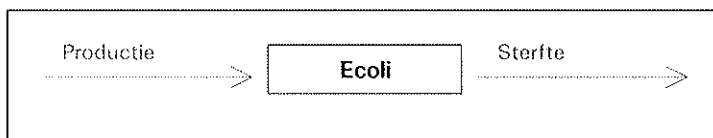
De fosfaathuishouding is eenvoudig beschreven. Alleen totaal-fosfor wordt als variabele beschreven. Totaal-fosfor verdwijnt uit de waterkolom door sedimentatie en er vindt nalevering uit de waterbodem plaats. Deze nalevering is een constante.



Figuur 2. Processen fosfaathuishouding

E-coli

Sterfte en bezinking van E-coli bacteriën wordt beschreven met een eerste orde afbraakconstante. Productie vindt in het systeem alleen plaats door lozingen van overstorten.



Figuur 3. Processen coli

Procesbeschrijvingen waterkwaliteitsmodel

Algemeen

```
xt temp [ 20.0 ] oC ; watertemperatuur

flow z [ 1.0 ] m ; waterdiepte
flow dt [ 1.0 ] s ; tijdstap
flow Q [ 1.0 ] m3/s ; debiet
flow As [ 1.0 ] m2 ; stroomvoerend oppervlak
```

```
u = abs(Q/As);
t20 = temp-20;
dtd = dt/86400;
diepte = z;
dtu = dt;
```

E-coli

```
/* **** */
/* E.coli */
/* Sterfte en bezinking van E.coli bacteriën wordt beschreven met een */
/* eerste orde afbraakconstante */
/* Voorvereisten: geen. */
/* **** */
water Ecoli [ 0.0 ] MPN/ml ; E. coli bacteriën

parm kdec [ 0.75 ] 1/dag ; sterfte E. coli
parm Pecoli [ 0.0 ] MPN/ml,dag ; productieterm E. coli

prod7 = pEcoli;
if (pEcoli<0.0) {prod7 = 0.0;}

dieEcoli = kdec*Ecoli;
if (dieEcoli*dtd>Ecoli) {dieEcoli = Ecoli/dtd;}

K0(Ecoli) = prod7-dieEcoli;
```

Zuurstof- en stikstofhuishouding

```
/* **** */
/* Zuurstof en stikstof */
/* Afbraak en bezinking van BZV, reaeratie, nitrificatie van ammonium, */
/* denitrificatie van nitraat, mineralisatie van organisch stikstof. */
/* Voorvereisten: geen. */
```

```

/*****/
water BZVg [ 0.0 ] mg-O2/l ; BZV goed afbreekbaar
water BZVs [ 5.0 ] mg-O2/l ; BZV slecht afbreekbaar
water O2 [ 7.0 ] mg-O2/l ; zuurstof
water NH4 [ 0.5 ] mg-N/l ; ammonium
water NO3 [ 0.5 ] mg-N ; nitraat
water Norg [ 0.5 ] mg-N ; organisch stikstof

bottom BZVb [ 1.0 ] g-O2/m2 ; BZV bodem
bottom mino2 [ 10.0 ] mg-O2/l ; minimum concentration O2
bottom o2below3 [ 10.0 ] min ; time concentration O2 below 3
mg/l
bottom o2below4 [ 10.0 ] min ; time concentration O2 below 4
mg/l
bottom o2below5 [ 10.0 ] min ; time concentration O2 below 5
mg/l
bottom maxNtot [ 10.0 ] mg-N/l ; Maximale Ntot concentratie

parm koxg [ 0.6 ] 1/dag ; afbraakconstante goed
afbreekbaar BZV
parm koxs [ 0.1 ] 1/dag ; afbraakconstante slecht
afbreekbaar BZV
parm BZVa [ 0.0 ] mg-O2/l ; achtergrondconcentratie BZVs
parm vbzv [ 0.1 ] m/dag ; bezinksnelheid BZVs
parm krem [ 0.1 ] m/dag ; minimale reaeratieconstante
parm knit [ 0.1 ] 1/dag ; nitrificatieconstante
parm fkroos [ 0.0 ] - ; fractie wateropp. bedekt met
kroos
parm pBZVs [ 0.0 ] mg-O2/l,dag ; produktieterm BZVs
parm pBZVb [ 0.0 ] g-O2/m2,dag ; produktieterm BZVb
parm pO2 [ 0.0 ] mg-O2/l,dag ; produktieterm O2
parm pNH4 [ 0.0 ] mg-N/l,dag ; produktieterm NH4
parm kmin [ 0.1 ] 1/dag ; mineralisatieconstante
parm kden [ 0.1 ] 1/dag ; denitrificatieconstante
parm PNO3 [ 0.0 ] g/m3,dag ; produktieterm NO3
parm PNorg [ 0.0 ] g/m3,dag ; produktieterm N-organisch
parm prod3 [ 0.0 ] - ; dummy
parm NtotStreef [0.0] mg-N/l ; Streefwaarde
parm NtotGrens [0.0] mg-N/l ; Grenswaarde

if (O2 < mino2) { k0o2 = (o2-mino2)/dtd;}
else { k0o2 = 0;}
k0(mino2) = k0o2;

below5 = 0;
below4 = 0;
below3 = 0;
if (O2 < 5)
{
    below5 = 1440;
    if (O2 < 4)
    {
        below4 = 1440;
        if (O2 < 3)
        {
            below3 = 1440;
        }
    }
}
k0(o2below3) = below3;
k0(o2below4) = below4;
k0(o2below5) = below5;

if (o2below3 > 1440)
{
    if (mino2 < 1) { scoreo2 = 10;}
    else if (mino2 < 2) { scoreo2 = 7;}
}

```

```

        else if (mino2 < 3) { scoreo2 = 4;}
        else if (mino2 < 5) { scoreo2 = 1;}
    }
else
{
    if (mino2 < 1) { scoreo2 = 9;}
    else if (mino2 < 2) { scoreo2 = 6;}
    else if (mino2 < 3) { scoreo2 = 3;}
    else if (mino2 < 5) { scoreo2 = 1;}
}
oxBZVg = koxg*(1.047^t20)*(O2/(O2+0.5))*BZVg;
if (oxBZVg*dtd>BZVg) {oxBZVg = BZVg/dtd;}

sedBZV = (BZVs-BZVa)*vbzv;
if (BZVs<BZVa) {sedBZV = 0.0;}
oxBZVs = koxs*(1.047^t20)*(O2/(O2+0.5))*BZVs;
if ((oxBZVs+sedBZV)*dtd>BZVs)
{
    oxBZVs = oxBZVs*((BZVs/dtd)/(oxBZVs+(sedBZV/diepte)));
    sedBZV = sedBZV*((BZVs/dtd)/(oxBZVs+(sedBZV/diepte)));
}

oxBZVb = Koxs*(1.047^t20)*(O2/(O2+0.5))*BZVb;
if (oxBZVb*dtd>BZVb) {oxBZVb = BZVb/dtd;}

nitr = knit*(1.08^t20)*(O2/(O2+0.5))*NH4;
if (nitr*dtd>NH4) {nitr = NH4/dtd;}

o2v1 = o2/dtd;
o2v2 = oxBZVg+oxBZVs+(oxBZVb/diepte)+(4.57*nitr)-prod3;
if (o2v1<o2v2)
{
    oxBZVg = oxBZVg*o2v1/o2v2;
    oxBZVs = oxBZVs*o2v1/o2v2;
    oxBZVb = oxBZVb*o2v1/o2v2;
    nitr = nitr*o2v1/o2v2;
}

kreac = 3.94*(u^0.5)*(diepte^(-0.5));
if (kreac < krem)
{
    kreac = krem;
}

O2sat = 14.5519-0.373484*temp+0.00501607*temp*temp;
reae = (1-fkroos)*(kreac/diepte)*(1.024^t20)*(O2sat-O2);

mine = kmin*(1.047^t20)*(O2/(O2+2.0))*Norg;
if (mine*dtd > Norg)
{
    mine = Norg/dtd;
}

den = kden*(1.045^t20)*(0.5/(O2+0.5))*NO3;
if (den*dtd > NO3) {den = NO3/dtd;}
prod1 = pBZVs;
if (pBZVs<0.0) {prod1 = 0.0;}
prod2 = pBZVb;
if (pBZVb<0.0) {prod2 = 0.0;}
prod3 = pO2;
if (pO2<0.0) {prod3 = 0.0;}
prod4 = pNH4;
if (pNH4<0.0) {prod4 = 0.0;}
prod5 = pNO3;
if (pNO3<0.0) {prod5 = 0.0;}
prod6 = pNorg;
if (pNorg<0.0) {prod6 = 0.0;}

```



```

Ntot = NH4+NO3+Norg;
Nkj  = NH4+Norg;

K0(BZVg) = -1*oxBZVg;
K0(BZVs) = -1*oxBZVs-sedBZV/diepte+prod1;
K0(BZVb) = -1*oxBZVb+sedBZV+prod2;
K0(O2)   = ((-1*oxBZVg)/(1-exp(-5*koxg)))-oxBZVs-oxBZVb/diepte-
          4.57*nitr+reac+prod3;
K0(NH4)   = -1*nitr+prod4+mine;
K0(NO3)   = nitr-den+prod5;
K0(Norg)  = prod6-mine;

```

```

if (Ntot > maxNtot)      { k0Ntot = (Ntot-maxNtot)/dtd; }
else                    { k0Ntot = 0; }
k0(maxNtot) = k0Ntot;
if (maxNtot < NtotStreef)      { ClassNtot = 1; }
else if (maxNtot < NtotGrens)  { ClassNtot = 2; }
else if (maxNtot < 2*NtotGrens) { ClassNtot = 3; }
else                          { ClassNtot = 4; }

```

Fosfor

```

/*****
/* Fosfaat */
/* Totaal-fosfaat verdwijnt uit de waterkolom door sedimentatie. */
/* De nalevering uit de waterbodem wordt beschreven met een constante */
/* flux. */
/* Voorvereisten: geen. */
*****/
water Ptot [ 0.15 ] mg-P ; totaal-fosfor
bottom Ptotb [ 10.0 ] g/m2 ; totaal-fosfor bodem

parm Vp [ 0.03 ] m/dag ; bezinksnelheid P-totaal
parm Pflux [ 2.50 ] mg/m2,dag ; nalevering P-totaal

bottom minPtot [ 1.1 ] ug/l ; Minimale P-tot concentratie
bottom minPtotb [ 10.0 ] mg/m2 ; Minimale P=tot bodem
concentratie

parm PtotStreef [ 50.00 ] ug/l ; Streefwaarde
parm PtotGrens [ 50.00 ] m3/g-SSm ; Grenswaarde

sedp = Vp*Ptot;
if (sedp*dtd>Ptot) { sedp = Ptot/dtd; }

nalev = Pflux/1000;
if (nalev*dtd>Ptotb) { nalev = Ptotb/dtd; }

K0(Ptot) = (nalev-sedp)/diepte;
K0(Ptotb) = sedp-nalev;

if (Ptot< minPtot)      { k0Ptot = (Ptot-minPtot)/dtd; }
else                    { k0Ptot = 0; }
k0(minPtot) = k0Ptot;
if (minPtot< PtotStreef)      { ClassPtot = 1; }
else if (minPtot< PtotGrens)  { ClassPtot = 2; }
else if (minPtot< 2*PtotGrens) { ClassPtot = 3; }
else                          { ClassPtot = 4; }

```

Parameterinstelling

Parameter	Omschrijving	Waarde	Default	Eenheid
bzva	achtergrondconcentratie bzvs	5	0	mg O2/l
fkroos	fractie wateropp. bedekt met kroos	0	0	-
kdec	sterfte e-coli	0,75	0,75	l/dag
kden	denitrificatieconstante	0,1	0,1	l/dag
kmin	mineralisatieconstante	0,1	0,1	l/dag
knit	nitrificatieconstante	0,1	0,1	l/dag
koxg	afbraak constante goed afbreekbaar bzv	0,6	0,6	l/dag
koxs	afbraak constante slecht afbreekbaar bzv	0,1	0,1	l/dag
krem	minimale reaeratie	6	0,1	m/dag
ntotgrens	grenswaarde N-totaal	0	0	mg N/l
ntotstreef	streefwaarde N-totaal	0	0	mg N/l
pbzvb	productieterm pbzvb	0,5	0	mg O2/m ² .dag
pbzvs	productieterm bzvs	0,45	0	mg O2/l.dag
pecoli	productieterm e-coli	0	0	mpn/ml.dag
pflux	nalevering P-totaal	4,5	2,5	mg/m ² .dag
pnh4	productieterm NH4	0	0	mg N/l.dag
pno3	productieterm NO3	0	0	mg N/l.dag
pnorg	productieterm N-organisch	0	0	mg N/l.dag
po2	productieterm O2	0	0	mg O2/l.dag
prod3	dummy	0	0	mg O2/l.dag
ptotgrens	grenswaarde P-totaal	50	50	m ³ /g ssm
ptotstreef	streefwaarde P-totaal	50	50	ug/l
vbzb	bezinksnelheid bzvs	0,1	0,1	m/dag
vp	bezinksnelheid P-totaal	0,03	0,03	m/dag

Dispersie=2

Kader en doel

Bij de beschouwing van varianten wordt ook de mogelijke functie van helofytenfilters ter verbetering van de waterkwaliteit in het systeem gezien. In deze paragraaf wordt de zuiverende werking van deze filters nader beschouwd. Concrete vragen hierbij zijn:

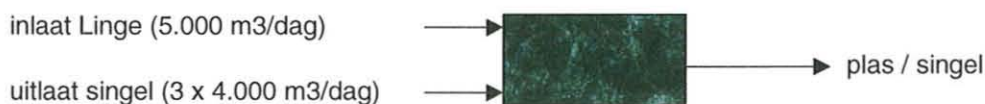
- *hydraulisch haalbaar?*
- *acceptabel zuiveringsrendement mogelijk?*
- *welke uitvoeringsvormen?*
- *praktijkervaringen / operationele filters*
- *indicatie van onderhoud / exploitatie*
- *risico / overlast*

Helofytenfilters in de Waalsprong

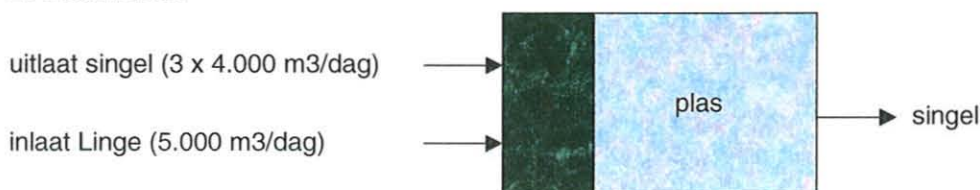
Algemeen

In het navolgende worden drie toepassingsvormen van het helofytenfilter beschreven, die aansluiten bij de beschouwde ontwikkelingsvarianten voor het gebied. Onderstaande figuur geeft de toepassingsvormen schematisch weer.

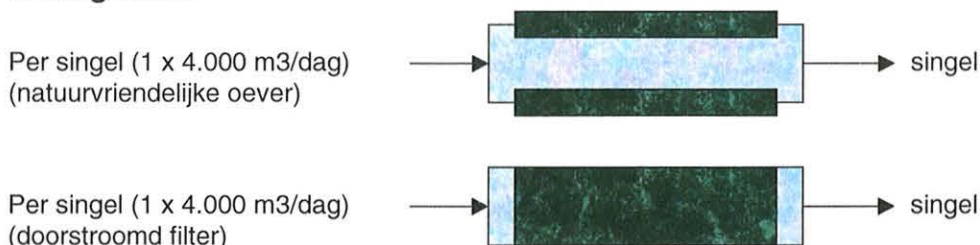
1. Separaat filter (vloeiveld)



2. Zoomfilter



3. Singelfilter



Toelichting

1. *Separaat filter: filter met een volledig gecontroleerde waterstand en doorstroming. Het filter ligt naast de plassen en singels en wordt afzonderlijk gevoed. Het filter kan zowel worden ingezet voor de behandeling van inlaatwater vanuit de Linge als voor water afkomstig uit de singels.*
2. *Zoomfilter: filter nabij uitstroming van singels, geïntegreerd in de plas. Het door de singels circulerende water stroomt door dit filter. De waterstand wordt volledig bepaald door het plaspeil. In principe kan het filter naast de behandeling van water uit de singels ook worden ingezet voor het behandelen van inlaatwater uit de Linge.*
3. *Singelfilter: filter in de vorm van een natuurvriendelijke oever langs een singel of in het doorstroomprofiel van een singel.*

Verkenning filtersystemen en dimensie

Helofytenfilters worden voor verschillende doeleinden ontworpen en aangelegd (bijv. nazuivering rwzi-effluent (rioolwaterzuiveringsinstallatie), voorzuivering inlaatwater). Ervaringen zijn hierbij opgedaan met diverse uitvoeringsvormen. Deze variëren van “eenvoudige” vloeivelden en slootsystemen tot complexe verticale filtersystemen. Wanneer bestaande systemen worden vergeleken, dient te worden bedacht dat een goede vergelijking alleen mogelijk is indien daarbij ook de aard van het te behandelen water en het gebruiksdoel worden betrokken.

Uit de bekende ervaringen mag worden afgeleid dat deze wisselend positief en negatief zijn. Naarmate de omvang van het systeem toeneemt (20 ha is relatief groot te noemen in

Nederland) wordt vaker gekozen voor een robuust systeem, waarbij beheer en onderhoud relatief eenvoudig zijn.

Voor de Waalsspong wordt vooralsnog uitgegaan van een filter met een bruto oppervlak van maximaal 20 ha. Bij een dergelijke omvang is het zogenaamde vloeiveldsysteem het meest kansrijk vanwege de relatieve eenvoud bij aanleg, beheer en onderhoud. Daarnaast zijn de kosten significant lager dan bijvoorbeeld het verticale filtersysteem. De werking van het vloeiveldsysteem kan worden geoptimaliseerd door onder andere compartimentering en peilbeheersing.

Voor een optimaal rendement moet de verblijftijd niet te kort maar ook niet te lang zijn. De optimale verblijftijd is een paar (2-3) tot 10 dagen (ervaringen Texel). Volgens de literatuur (De Ridder, 1996) kunnen optimale zuiveringsrendementen van 50% voor P en N worden behaald in rietvelden bij een hydraulische belasting van 200 tot 300 m³/ha/dag en een verblijftijd van 13 tot 25 dagen.

Verkenning zuiveringsrendement

Het gemiddeld verwijderingsrendement voor stikstof- en fosfaatverbindingen wordt voor een eerste verkenning veelal op 50% gesteld. Uit diverse ervaringen blijkt een grote variatie (5 – 85%). Het verwijderingsrendement is afhankelijk van een aantal factoren, waaronder het jaargetijde, de hydraulische belasting, de verblijftijd, de waterdiepte en de absolute concentraties in het te behandelen water.

In dit kader bieden ervaringen met behandeling van rwzi-effluent in een helofytenfilter maar beperkt inzicht in de mogelijkheden voor behandeling van oppervlaktewater, zoals inlaatwater. Een belangrijk aspect in deze is de seizoensgebonden werking van een helofytenfilter. In tegenstelling tot de behandeling van effluent, is de behandeling van inlaatwater voor de Waalsprong ook seizoensgebonden. Immers, de vraag naar suppletie speelt met name in de zomermaanden. Dit mag worden beschouwd als een gunstige randvoorwaarde aangezien opname en omzetting van P en N met name plaatsvindt in het groeiseizoen en bij hogere temperaturen.

Voor de behandeling van singelwater geldt dit voordeel niet. Dit komt doordat de doorspoeling van de singels het gehele jaar plaatsvindt. Het filter wordt daardoor ook buiten het groeiseizoen belast met stikstof- en fosfaathoudend oppervlaktewater vanwege de overstorten op de singels.

Ervaringen / operationele systemen

Hieronder enkele ervaringen met ontwerp, aanleg en exploitatie van helofytenfilters:

- *beperkte ervaring met verticaal filter (Efteling)*
- *wel ervaring met vloeivelden / horizontaal filter*
- *vloeiveld is robuust*
- *verticaal filter is kostbaar in aanleg en onderhoud*
- *vloeiveld biedt goede mogelijkheden voor compartimentering met div. functies (nitrificatie/denitrificatie)*
- *vloeiveld in aanleg Hollands Bloementuin (inlaatwater uit bollenteelt, >15 ha), ontwerp Iwaco*
- *vloeiveld in bedrijf: Eversteekoog (Texel), 3.5 ha, rwzi-effluent*

- *vloeiveld in bedrijf: Hoevensche Wiel (inlaat Markwater)*

Andere functies: natuur en recreatie

Behalve een functie als oppervlaktewaterzuivering kunnen helofytenfilters ook een functie hebben voor waterretentie, natuur en recreatie. Hierna wordt kort ingegaan op de mogelijkheden van de laatste twee functies.

Natuur

Helofytenvelden en rietmoerassen bieden een aardige mogelijkheid tot variatie in het gebied. Botanisch gezien is de natuurwaarde meestal niet groot. Daarentegen kunnen helofytenfilters voor met name vogels en kleine zoogdieren een grote waarde hebben. Dit is onder andere afhankelijk van de grootte, de ligging ten opzichte van andere natuurgebieden, inrichting van het filter alsmede het beheer ervan. Door de inrichting en het beheer af te stemmen op de functie natuur kan veel natuurrendement worden behaald.

Recreatie

Aan helofytenvelden kunnen interessante recreatieve functies worden toegekend. Kenmerkend zijn rust, beschutting en ongereptheid. Een voorwaarde vormt een goede toegankelijkheid. Voorzieningen kunnen worden aangelegd in de vorm van fiets- en wandelpaden, loopsteigers en uitkijkpunten. Indien bij de inrichting wordt gekozen voor dammen, bijvoorbeeld ter compartimentering van het vloeiveld, kunnen deze ook worden gebruikt om de toegankelijkheid te vergroten. Van belang is dat er geen overlast door bijvoorbeeld stank en muggen optreedt. De kans op overlast is het grootst in warme maanden bij droogvalling van het filter. Een separaat filter zal op dit punt het gunstigste zijn vanwege de beheersbaarheid van het waterpeil. Bij het zoomfilter en het singelfilter bestaat er incidenteel kans op droogvallen en daardoor op overlast.

Toepassingsvarianten

Separaat filter

Een separaat helofytenfilter (volledig gecontroleerde waterstand en doorstroming) kan worden ingezet voor de behandeling van inlaatwater uit de Linge. Op momenten dat geen behoefte is aan suppletie, kan hetzelfde filter ook worden ingezet voor behandeling van water uit de singels.

Filter voor inlaatwater

Uitgaande van 20 ha ruimtebeslag en een effectief filteroppervlak van 17 ha bedraagt de hydraulische belasting bijna 300 m³/ha/dag bij een inlaatdebiet van 5.000 m³/dag. De verblijftijd bedraagt dan 8,5 dagen bij een gemiddelde waterdiepte van 25 cm. Op grond van ervaringen elders wordt geconcludeerd dat voor een debiet van 5.000 m³/dag een helofytenfilter een redelijk zuiveringsrendement kan hebben.

Het inlaatwater voor de Waalsprong is afkomstig uit de Linge. De Linge wordt gevoed door Rijnwater via gemaal Doornenburg. De kwaliteit van het Lingewater is redelijk te noemen en voldoet voor de meeste parameters aan de MTR-waarde (maximaal toelaatbaar risico). Aangenomen wordt dat de MTR-waarde ook de gewenste waterkwaliteitsnorm is voor het inlaatwater.

Uit een meetreeks van het Lingewater (1998-2003) blijkt dat het gemiddeld fosfaatgehalte 0,13 mg/l bedraagt, terwijl de MTR-norm op 0,15 ligt. Voor stikstof bedraagt de gemiddelde concentratie 3,91 mg/l (N-opgelost), terwijl de MTR-norm 2,2 mg/l is. Hier is dus sprake van een overschrijding die ongewenst is in het kader van het inlaten van water in de Waalsprong.

Om een goede inschatting van het benodigde verwijderingsrendement te maken, dient te worden gekeken naar de gemiddelde concentratie in de periode dat er daadwerkelijk vraag is naar inlaatwater. Dit betreft in principe de zomermaanden (juli t/m september). Het zomergemiddelde bedraagt voor P en N respectievelijk 0,15 en 2,70 mg/l.

Om aan de MTR-norm te voldoen bedraagt het vereiste verwijderingsrendement gemiddeld 0% voor fosfaat en 23% voor stikstof. Geconcludeerd mag worden dat het helofytenfilter geen rendement hoeft te behalen ten aanzien van de verwijdering van fosfaat om aan de norm te voldoen. Verder wordt geconcludeerd dat de benodigde stikstofverwijdering aansluit bij de normale verwachtingswaarde voor een helofytenfilter. Bedacht moet worden dat het rendement afneemt bij lage influentconcentraties.

Uitgaande van het eerder genoemde effectieve filteroppervlak van 17 ha en een inlaatdebiet van 5.000 m³/dag, bedraagt de benodigde verwijdering 0,15 kg N/ha/dag. In de literatuur wordt deze waarde laag genoemd. Per dag dat er Lingewater wordt ingelaten via het separaat filter wordt, uitgaande van een verwijderingsrendement van 50% gedurende het groeiseizoen, circa 7 kg stikstof en 0,4 kg fosfaat onttrokken.

Filter voor singelwater

Een separaat helofytenfilter kan ook worden gebruikt voor de behandeling van water uit de singels. Het gemiddeld debiet uit de singels bedraagt 9.000 m³/dag op basis van drie singels. Uitgaande van een effectief filteroppervlak van 17 ha, kan worden gesteld dat de hydraulische belasting relatief hoog is (530 m³/ha/dag, terwijl gewoonlijk 200 tot 300 m³/ha/dag wordt aangehouden), de verblijftijd daardoor kort en de concentraties N en P relatief laag. Het verwijderingsrendement zal daardoor afnemen.

Doelmatiger en wellicht praktisch beter haalbaar is om maximaal twee van de drie singels aan te koppelen. Uitgegaan wordt van een gemiddelde concentratie van 2,2 mg/l (MTR stikstof) en 0,15 mg/l (MTR fosfaat). Bij deze concentraties bedraagt de totale vracht voor twee singels (6.000 m³/dag) 13 kg/dag stikstof en 0,9 kg/dag fosfaat. Op basis van een wat geringer verwijderingsrendement (40%) vanwege de relatief hoge hydraulische belasting, wordt per jaar (per groeiseizoen) circa 940 kg stikstof en 65 kg fosfaat uit het systeem verwijderd.

De totale vracht die jaarlijks in de singels komt vanuit de overstorten uit het gemengd stelsel, het verbeterd gemengd stelsel en de wadi's, wordt geschat op ruim 1400 kg stikstof en 170 kg fosfaat. In totaal is rekening gehouden met een afvoerend oppervlak van 350 ha.

Geconcludeerd kan worden dat gedurende het groeiseizoen het separaat filter een aanzienlijk deel van de uitworp van rioolstelsels en wadi's kan verwijderen en dus significant kan bijdragen aan een verbetering van de kwaliteit van het watersysteem.

Indien het filter wordt gebruikt voor inlaatwater is de verwijdering nog groter. Gedurende deze periode is er geen onttrekking van stikstof en fosfaat uit het systeem.

Zoomfilter

Een zoomfilter is een in de plas geïntegreerd helofytenfilter. De waterstand in het filter wordt volledig bepaald door het plaspeil. In principe kan het filter naast de behandeling van water uit de singels ook worden ingezet voor het behandelen van inlaatwater uit de Linge.

Bodemhoogte

Om enerzijds de werking van een zoomfilter te garanderen en anderzijds de kans op overlast ten gevolge van droogvalling te beperken, dient de bodemhoogte te worden afgestemd op het te verwachten peil in de plas. Uitgegaan wordt van een gemiddeld peil van NAP +7,80 meter en een peilfluctuatie gedurende de zomermaanden van NAP +7,50 tot 8,00 meter. Indien een bodemhoogte van NAP +7,4 meter wordt gekozen kan het filter redelijk functioneren. Uit berekeningen blijkt dat, afhankelijk van het scenario, 1 à 2 maal per 10 jaar een tijdelijke droogvalling kan optreden. Uit ervaringen elders (met name met RWZI-effluent) blijkt dat bij droogvalling stankoverlast kan optreden. Aangezien hier geen sprake is van effluent wordt stankoverlast niet verwacht. Wel kan bij droogvalling gedurende een warme periode tijdelijke overlast optreden door groei van muggenlarven etc.

Belasting en rendement

Bij de aanvoer vanuit de singels wordt onderscheid gemaakt tussen een gemiddelde stroom van 3.000 m³/dag per singel en piekafvoeren die kunnen optreden als gevolg van neerslag. Aangezien een helofytenfilter alleen functioneert bij een constante aanvoer en rustige stroming, wordt aangenomen dat piekafvoeren niet door het helofytenfilter worden geleid maar via een bypass naar de plas wordt afgevoerd.

Overeenkomstig de redenering voor het separaat filter wordt uitgegaan van aankoppeling van maximaal twee van de drie singels. Dit betekent dat gemiddeld 6.000 m³/dag door het filter wordt geleid. Uitgaande van een filteroppervlak van netto 17 ha is de hydraulische belasting 350 m³/ha/dag. Het waterniveau kan ook enigszins variëren. Het rendement is over het groeiseizoen op 30% geschat.

Overeenkomstig de redenering voor het separaat filter bedraagt de totale vracht bij twee singels (6.000 m³/dag) 13 kg/dag stikstof en 0,9 kg/dag fosfaat. Op basis van een verwijderingsrendement van 30% wordt per jaar (per groeiseizoen) circa 700 kg stikstof en 50 kg fosfaat uit het systeem verwijderd. Het rendement kan lager uitvallen vanwege sub-optimale opstandigheden. Hierbij moet worden gedacht aan peilwisselingen, golfslag, turbulentie, windwerking en voorkeurstromen. Een goede inrichting van het filter moet dit zo veel mogelijk tegengaan.

Indien dit zoomfilter (tijdelijk) alleen wordt ingezet voor inlaatwater vanuit de Linge, kan het verwijderingsrendement van het filter enigszins toenemen. Dit vanwege het lagere debiet van 5.000 m³/dag. Het rendement zal vanwege de hiervoor genoemde sub-optimale omstandigheden lager zijn dan het separaat filter. Uiteraard zal er dan geen onttrekking van stikstof en fosfaat uit het systeem plaatsvinden.

Geconcludeerd wordt dat in een zoomfilter van circa 20 ha bruto een geringere verwijdering van N en P zal plaatsvinden dan in een separaatfilter van dezelfde grootte, maar dat ook het zoomfilter significant kan bijdragen aan een verbetering van de waterkwaliteit in het systeem.

Singelfilter

Het singelfilter kent twee uitvoeringsvormen: natuurvriendelijke oevers en een filter in het doorstroomprofiel. Uit oogpunt van waterkwantiteitsbeheer is de laatste variant niet wenselijk, immers de afvoer door de singels zal worden belemmerd door de aanwezigheid van de helofyten in het stroomprofiel. wordt deze hier verder buiten beschouwing gelaten.

Singelfilter in stroomprofiel

Het zuiverend effect een helofytenfilter in het stroomprofiel van de singels is gelijk aan dat van het hiervoor behandelde zoomfilter. Een filter van 20 ha zal het totale singeloppervlak beslaan. Uit oogpunt van waterkwantiteitsbeheer is dit niet acceptabel, immers de afvoer door de singels zal worden belemmerd door de aanwezigheid van de helofyten in het stroomprofiel. Deze optie wordt daarom verder buiten beschouwing gelaten.

Natuurvriendelijke oevers

De waterkwaliteit in de standssingels wordt beïnvloed door enkele tientallen overstorten. Hierdoor zal de concentratie van diverse stoffen toenemen, waaronder stikstof, fosfaat en onopgeloste bestanddelen. Door de lage stroomsnelheden zullen onopgeloste bestanddelen in hoofdzaak sedimenteren in de singels. Dit zal gebeuren onafhankelijk van de aanwezigheid van helofyten in de singels.

Daarnaast kunnen N en P in principe worden opgenomen door helofyten die op de oevers van de singels groeien.

Het inzetten van natuurvriendelijke oevers als een helofytenfilter wordt uit zuiveringstechnisch oogpunt niet als doelmatig beschouwd. De uitwisseling tussen water, bodem en vegetatie is in watergangen verre van optimaal. Gebleken is dat in watergangen met de helofytenvegetaties de doorstroming vrijwel geheel (>90%) door de open watergang plaatsvindt. Dit betekent dat slechts een beperkt deel (<10%) van de totale vracht in contact komt met het filter en kan worden opgenomen door de aanwezige helofyten. Indien 10% van de totale vracht in contact komt met de helofyten, kan per singel maximaal 70 kg N en 5 kg P worden onttrokken. Bij een rendement van 30 % vanwege sub-optimale omstandigheden is het dan niet zinvol een oppervlak groter dan grofweg 2 ha te installeren, of wel een strook van circa 1 meter breedte ter weersijden over een singellengte van 10.000 meter. Het installeren van circa 20 ha helofyten zal het zuiverend effect nauwelijks vergroten.

Geconcludeerd wordt dat helofyten in de stadssingels geen significantie bijdrage leveren aan de verwijdering van stikstof- en fosfaatverbindingen uit het oppervlaktewater indien wordt gekozen voor natuurvriendelijke oevers. Afhankelijk van het gekozen scenario wordt de singel gestuwd. Indien de singel niet wordt gestuwd komt het waterpeil overeen met de plas waarmee de singel dan in open verbinding staat. Overeenkomstig het zoomfilter bestaat er en kans op droogvalling gedurende korten perioden. Aangezien daarbij ook een kans op overlast

ontstaat door stank en muggen, wordt een helofytenfilter in een niet-gestuwde singel afgeraden.

Résumé

Tabel: Geschatte zuiveringsrendementen en onttrekkingen voor bruto 20 ha helofytenfilters

Variant	debiet m3/dag	Rendement groei-eizoen	Onttrekking uit systeem	Opmerking
Separaat filter, inlaat Lingewater (17 ha)	5000	50%	7 kg N /dag 0,4 kg P/dag	Totale onttrekking afhankelijk van inlaatperiode en doorlooptijd
Separaat filter, singelwater	6000	40%	990 kg N 65 kg P	Bij gecombineerd gebruik hoogste effect tijdens gebruik voor inlaatwater
Zoomfilter, inlaat Lingewater	5000	40%	6 kg N /dag 0,3 kg P/dag	Totale onttrekking afhankelijk van inlaatperiode en doorlooptijd
Zoomfilter, singelwater	6000	30%	700 kg N 50 kg P	Bij gecombineerd gebruik hoogste effect tijdens gebruik voor inlaatwater
Singelfilter, nat. oever	6000	3%	70 kg N 5 kg P	Zelfde effect met kleiner filter

In deze bijlage is het effect gezien van een kleiner zoomfilter, circa 10 ha netto, met ook een lager rendement. In de beschouwde variant zijn de gemiddelde concentraties N en P lager dan hier aangenomen, dus ook de hoeveelheid verwijderde N en P.

Inleiding

De waterpartijen die in de Waalsprong worden aangelegd zullen zich ontwikkelen in de richting van diverse mogelijke watertypen. De randvoorwaarden worden bepaald door de dimensies van de waterpartijen, de waterkwaliteit en de waterstanden en doorstroming van het systeem. Op dit moment zijn er diverse varianten ontwikkeld volgens welke de waterpartijen kunnen worden ingericht. De vraag is welke aquatische natuur zich kan ontwikkelen binnen deze varianten en of er omstandigheden te verwachten zijn die er toe kunnen leiden dat overlast ontstaat (bijvoorbeeld van muggen, stank of vissterfte).

Er is gekozen voor een tweeledige insteek:

- op basis van 'bouwstenen' (facetten van inrichting die kunnen worden gekozen) kijken naar de mogelijk natuurdoeltypen die in "De Waalsprong" tot ontwikkeling kunnen komen.
- op basis van de bestaande varianten kijken naar de resulterende waterkwaliteit (modelmatig berekend) en daarmee de mogelijke natuurdoeltypen benoemen.

Er is voor deze insteek gekozen omdat uitgaan van de varianten, alleen leidt tot een gevolgbenadering. Op basis van de bouwstenen kunnen er nog verschillende alternatieven worden voorgelegd.

De mogelijke watertypen op basis van bouwstenen

Tabel 10 van de Bijlage Biotisch milieu geeft bouwstenen aan waarop de inrichting van nieuwe watergangen en plassen gebaseerd kan worden. Op basis van deze bouwstenen is het mogelijk dat de volgende natuurdoeltypen zich ontwikkelen.

Plassen:

- van de rivier geïsoleerde grote diepe wateren;
- van de rivier geïsoleerde kleine diepe wateren;
- grote diepe mesotrofe matig tot sterk gebufferde wingaten;
- ondiepe tot matig diepe wingaten op kleigrond.

Watergangen/singels:

- kleine stromende kanalen;
- klein stilstaand kanaal op kleigrond;
- eutrofe kleisloot.

Deze typen zijn uit de beschrijvingen van de natuurdoeltypen uit het Aquatisch Supplement (EC_LNV 2000) en dan met name op de delen Wingaten [8], Regionale kanalen [9] en Sloten [10]. Het natuurdoeltype "Kleine stromende kanalen" komt overeen met het ruisvoorn-snoek vis-watertype. Het snoek-blankvoorn viswatertype heeft grote overeenkomsten met de natuurdoeltypen "Klein stilstaand kanaal op kleigrond" en "Eutrofe kleisloot". De beschrijvingen van de natuurdoeltypen uit het aquatisch supplement zijn gekozen omdat deze

gedetailleerder zijn beschreven en meerdere indicator soorten zijn beschreven uit de organismegroepen macrofyten, macrofauna en vissen.

Onderstaande tabel geeft aan welke bouwstenen voldoen aan de randvoorwaarden van de genoemde natuurdoeltypen (Tabel 1 & 2).

Tabel 1. Bouwstenen voor inrichting van plassen en de watertypen die mogelijk tot ontwikkeling kunnen komen in de Waalsprong

Parameters	eenheid	Eigenschappen	Van de rivier geïsoleerde grote diepe wateren	Van de rivier geïsoleerde kleine diepe wateren	Grote diepe mesotrofe matig tot sterk gebufferde wingaten	Ondiepe to matig diepe wingaten op kleigrond
Diepte	m	< 3				*
	m	> 3	*	*	*	
Omvang	ha	> 20				
	ha	0.2 - 20	*			
	ha	< 0.2		*	*	*
Oeverstructuur		Zandig	*			
		moerassig	*	*		
Wateroever		optimaal glooiend		*		
		half glooiend	*			
		Steil				
Oevervegetatie		mocras	*	*		
		Struweel	*			
		Bos				
Fysisch/ Chemische randvoorwaarden						
pH					6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
HCO ₃ ⁻	meq/l				1 - 4	1 - 4
PO ₄ ³⁻	mgP/l		< 0.03	< 0.03	< 0.034	< 0.034
t-P	mgP/l		< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04
NO ₃ ⁻	mgN/l		< 0.35	< 0.35	< 0.35	< 0.35
NH ₄ ⁺ -N	mgN/l		< 0.08	< 0.08	< 0.4	< 0.4
t-N	mgN/l		< 0.4	< 0.4		
Ca ²⁺	mg/l				> 30	> 30

Parameters	eenheid	Eigenschappen	Van de rivier geïsoleerde grote diepe wateren	Van de rivier geïsoleerde kleine diepe wateren	Grote diepe mesotrofe matig tot sterk gebufferde wingaten	Ondiepe to matig diepe wingaten op kleigrond
EGV	µS/cm				< 500	< 500
O2-verzadiging	%				70 - 120	70 - 120
diepte	m		> 3	> 3	> 6	
Chloride	g/l		< 0.3	< 0.3		
bodemsoort			klei/zand	klei/zand		
geïsoleerd water			ja	ja		
oppervlak	m ²		>2000	< 2000		
doorzicht	m				> 2	

Tabel 2. Bouwstenen voor inrichting van singels, watergangen en wadi's en de watertypen die mogelijk tot ontwikkeling kunnen komen in De Waalsprong

Parameters	eenheid	Eigenschappen	Kleine stromende kanalen	Klein stilstaand kanaal op kleigrond	Eutrofe kleislote
Diepte	m	< 3	*	*	*
	m	> 3			
Breedte	m	>10			
	m	1 – 10	*	*	*
	m	< 1			*
Stroming	cm/s	< 20		*	*
	cm/s	20 - 50	*		
Droogvallen	weken/jaar	> 6			
	weken/jaar	<= 6			

Parameters	eenheid	Eigenschappen	Kleine stromende kanalen	Klein stilstaand kanaal op kleigrond	Eutrofe kleislote
		Nooit		*	*
Oeverstructuur		zandig			
		moerassig	*	*	
Wateroever		optimaal glooiend	*	*	
		half glooiend			*
		Steil			
Overvegetatie		moeras	*	*	
		Struweel			*
		Bos			
Fysisch/ Chemische randvoorwaarden					
pH			6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	7.5-8.5
HCO ₃ ⁻	meq/l		0.5 - 2	1 – 4	2-4
PO ₄ ³⁻	mgP/l		< 0.017	< 0.067	
t-P	mgP/l		< 0.04	< 0.1	< 0.1
NO ₃ ⁻	mgN/l		< 0.35	< 0.46	< 0.46
NH ₄ ⁺ -N	mgN/l		< 0.08	< 0.4	< 0.4
t-N	mgN/l				< 1
Ca ²⁺	mg/l		> 30	> 30	
EGV	µS/cm		< 500	< 500	< 250-500
O ₂ -verzadiging	%		70 - 120	70 - 120	
Stroming	cm/s		> 20		
Breedte	M		< 15	< 15	
Diepte	M		< 1.5	< 1.5	
ionenrijkdom	mmol/l				9-15
chloride	mg/l				100-300l
Sulfaat	mg/l				< 100
bodemsoort					Klei

Beheer en inrichting van plassen

Het kan niet worden gegarandeerd dat deze watertypen zich zullen ontwikkelen bij de gegeven randvoorwaarden. Het zal er ook op aankomen een goede gedifferentieerd beheer uit te voeren gericht op de ontwikkeling van het gewenste type en voorkoming van ongewenste situaties zoals algenbloei, vissterfte en muggenplagen. Enkele adviezen aangaande het beheer worden hieronder gegeven.

Van de rivier geïsoleerde grote diepe wateren

De ontwikkeling van vegetatie en structuren in diepe wateren leidt tot een meer diverse fauna. Bevordering van de ontwikkeling van oevervegetatie (en daarmee macrofauna en vissen) in diepe wateren wordt bereikt door:

- de vorm van de plas zo te bepalen dat een lange en onregelmatig gevormde oeverlijn ontstaat (d.m.v. inhammen, eilandjes, etc.).
- de oever een vlak talud te geven, m.n. onder water (ca 1:10), over een breedte van ca. 30 meter. Hierdoor ontstaat een uitgebreide litorale zone en brede vegetatiezoom.
- oeverafslag te beperken, d.m.v. aanleg van eilanden, aanleg van hoge randbeplanting (bijvoorbeeld bomenrijen) aan de loefzijde, waardoor de strijklengte van de wind verminderd wordt.
- bij de eventuele aanleg van een nieuwe plas ervoor te zorgen dat de lengte as (indien van toepassing) loodrecht op de heersende windrichting staat.

Om de broed- en foerageermogelijkheden voor moeras- en watervogels te vergroten kunnen de volgende maatregelen genomen worden:

- genoemde maatregelen gericht op de ontwikkeling van de oeervervegetatie (rietvogels) en handhaving of aanleg van enkele steilranden (voor oeverswaluwen en ijsvogels).
- verondieping van (delen van) de plas tot 4 à 5 meter, zijnde de diepte tot waar duikeenden kunnen foerageren (alleen met materiaal dat geen schade berokkent aan andere functies van het water). Dit is ook voor vissen gunstig.
- handhaving van rustige plekken waar vogels de mogelijkheid wordt geboden zich terug te trekken.
- een grote oppervlakte open water (20 ha of meer) is nodig als rustplaats voor watervogels.

Van de rivier geïsoleerde kleine diepe wateren

Ook in dit type kan de ontwikkeling van oeervervegetatie gestimuleerd worden (zie type geïsoleerde grote diepe wateren). Door het kleine oppervlak is dit type minder geschikt voor watervogels. Het beheer hoeft hierop niet gericht te zijn.

Grote diepe mesotrofe matig tot sterk gebufferde wingaten

Door de mesotrofe situatie zijn deze wingaten erg productief. Hierdoor en door bladval kan er sterke ophoping van organisch materiaal plaatsvinden. Om te voorkomen dat slechte zuurstofcondities ontstaan door de afbraak van dit materiaal, dient eventueel periodiek gebaggerd te worden. Om de eventuele invloed van kwelwater van slechte kwaliteit terug te dringen, kan schoon oppervlaktewater worden ingelaten.

Ondiepe tot matig diepe wingaten op kleigrond

Om verlandings tegen te gaan is het noodzakelijk ondiepe plassen regelmatig te schonen van waterplanten. Daarnaast is het van belang de aanvoer van allochtoon organisch materiaal (bladeren) te beperken. Ophoping van organisch materiaal op de bodem zal uiteindelijk leiden tot een sterk reductief milieu. Door afbraak van het organische materiaal wordt er veel zuurstof aan het water onttrokken en ontstaat er een plas met een instabiele zuurstofhuishouding. Bijkomend gevolg is dat er meer fosfaat in oplossing blijft. Uiteindelijk ontwikkelt de plas zich tot een waterplantenarm systeem met planktonbloei. Om dit te voorkomen is periodiek baggeren nodig. Ten aanzien van de morfologie van de plas is de diepte en variatie hierin van belang. Ondiepe plassen zullen eerder verlanden en vereisen meer beheer. Een diepte van 2 à 3 meter is optimaal, in combinatie met ondiepere delen.

Beheer en inrichting van watersingels en watergangen

Kleine stromende kanalen

Bij voldoende stroming hoeft weinig beheer uitgevoerd te worden. Meer nutriënten en minder stroming betekenen wel beheren: gedeeltelijk schonen in de herfst, afvoeren van plantenmateriaal.

Klein stilstaand kanaal op kleigrond

Door voedselrijke omstandigheden is de productiviteit hoog. Het is daarom van belang om periodiek de overtollige plantengroei te verwijderen: gedeeltelijk schonen in de herfst, afvoeren van plantenmateriaal.

Eutrofe kleisloot

De grootste bedreiging voor de kleislotten is de verdergaande eutrofiëring. Dit moet voorkomen worden door verlaging van inspoeling van nutriëntenrijk water en verhoging van het grondwaterpeil.

De mogelijke watertypen op basis van modelberekeningen binnen de varianten

Er zijn diverse varianten ontwikkeld waarbinnen de waterpartijen verschillend zullen worden ingericht. Elk van deze varianten stelt een verschillende combinatie van diepe of ondiepe plassen met diepe of ondiepe singels voor, waarbij al of niet water kan worden ingelaten vanuit de Linge (Tabel 3). Een volledige beschrijving van de varianten is te vinden in [11].

Tabel 3. Uitvoeringsvarianten van plassen en Singels in de Waalsprong

Variant		Functies van de centrale buffer	Uitvoeringsvormen								
Code	Karakterisering		Centrale buffer				Linge		Singels		
			Diepe plas	Ondiepe plas	Verlaagd maaiveld	Geen buffer	Geen wateraanvoer	Wel Wateraanvoer	Diep/voeding plas	Diep/ Geen voeding	Ondiep/droogvallend
I1	Huidige plan	Retentie/Plusberg./Seizoensbuffer	*				*		*		
I2	Ondiepe Plas			*			*		*		
I13	Alles Diep	Retentie en Plusberging	*				*			*	
I13a	Alles Diep		*					*		*	
I13aD											
I14	Alles Ondiep				*		*				*
I14D											

II4a	Alles Ondiep			*			*			*
II4aD										
III3	Alles Diep	Retentie	*			*			*	
III5	Alles Ondiep				*	*				*
III5D										
IV6	Combinatie	R/P/S/ deelgebied		*	?		*		*	*

De verschillende uitvoeringsvormen van de waterpartijen hebben als basis gediend voor modelberekeningen van de waterkwaliteit. In dit deel worden gehalten voor zuurstof, stikstof en fosfaat geïndexeerd weergegeven. Ten behoeve van het toedelen van watertypen is inzicht gekregen in de gemodelleerde absolute concentraties van zuurstof, stikstof en fosfaat.

Op basis van de modeluitkomsten en de voorgestelde dimensies van de waterpartijen is voor een aantal varianten te verwachten dat bepaalde natuurdoeltypen zich zullen ontwikkelen.

Op basis van zowel de totaal-P als totaal-N gehalten lijkt het mogelijk dat binnen de varianten I.1 en II.3 singels en watergangen ontwikkelen volgens het natuurdoeltype “Kleine stilstaande kanalen op kleigrond” of “Eutrofe kleislotten” (afhankelijk van de dimensies). Hierbij moeten de in het vorige hoofdstuk genoemde beheersadviezen in acht worden genomen. Voor de overige varianten zijn de nutriënten concentraties volgens de modelberekeningen te hoog om een bekend natuurdoeltype tot ontwikkeling te laten komen.

Op basis van stikstof zijn de typen ‘Grote diepe mesotrofe matig tot sterk gebufferde wingaten’ en ‘Ondiepe tot matig diepe wingaten op kleigrond’ ($t\text{-N} < 0.4 \text{ mg/l}$) mogelijk. De totaal-P gehalten zijn echter te hoog ($>0.04 \text{ mgP/l}$) om de ontwikkeling van deze typen aannemelijk te maken.

Daar waar de modelberekeningen geen aanleiding geven om te verwachten dat een bepaald natuurdoeltype zich kan ontwikkelen, kunnen de omstandigheden nog wel gunstig zijn voor een minder hoog ecologisch niveau. Er is op dit moment echter nog geen geschikt instrument om in te schatten of een dergelijk niveau het functioneren van het ecologisch systeem kan belemmeren en of overlast kan ontstaan door bijvoorbeeld stank of het in overmaat aanwezig zijn van steek- en kriebelmuggen.

Naast de modelberekeningen voor de waterkwaliteit zijn er aanwijzingen over het droogvallen van de geplande ondiepe singels in het systeem. In de zomermaanden zijn de ondiepe singels 90% van de tijd droogvallend, in de winter zal dit ongeveer 80% zijn. Dit geeft aanleiding om te vermoeden dat er te weinig tijd zal zijn voor de ontwikkeling van muggenlarven die in hun volwassen stadium voor overlast kunnen zorgen. Droogval zal zich vaker voordoen binnen de varianten: II.4, II.5 en IV.6 omdat hier gekozen is voor droogvallende inundatiegebieden. Wanneer deze gebieden in het broedseizoen van muggen onder water staan (april tot augustus) kan dit tot overlast leiden [12].

Tabel 4. Uitvoeringsvormen van Singels en plassen en mogelijke aanvoer van water uit de Linge binnen de voorgestelde varianten. Kolom ‘natuurdoeltype’ geeft aan welk natuurdoeltype mogelijk tot ontwikkeling kan komen gezien de uitvoeringsvorm in combinatie met modelberekeningen voor zuurstof, stikstof en fosfaat concentraties.

[illegible]

Conclusie

Mogelijke typen op basis van bouwstenen

Op basis van de bouwstenen voor inrichting van nieuwe watergangen en plassen is een aantal aquatische natuurdoeltypen mogelijk. Er moet hierbij wel naar worden gestreefd dat de waterkwaliteit binnen de grenzen blijft die zijn aangegeven.

Mogelijke typen op basis van varianten

De meeste varianten geven volgens de modelberekeningen aanleiding tot relatief hoge nutriënten gehalten waarbij de ontwikkeling van bekende aquatische natuurdoeltypen niet te verwachten is. Het is wel mogelijk dat binnen de varianten I.1 en II.3 de natuurdoeltypen 'Kleine stilstaande kanalen op kleigrond' en 'Eutrofe kleislotten' ontwikkelen. Deze typen zijn goede vergelijkbaar met het ruisvoorn-snoek en het snoek-blankvoorn vis-watertype. Binnen alle varianten geven de modelberekeningen aan dat de fosfaatgehalten in de plassen hoger worden dan de randvoorwaarden voor de voorgestelde watertypen. Om te voorkomen dat deze relatief hoge fosfaatgehalten tot problemen kunnen leiden, kunnen inrichting en beheermaatregelen uitkomst bieden. Waterplanten leggen nutriënten vast. Een goed ontwikkelde waterplantenpopulatie kan het nutriëntengehalte in de waterkolom verminderen, waardoor de kans op algenbloei, en de daarmee gerelateerde problemen, kleiner wordt. Andere maatregelen kunnen zich richten op de bronnen van nutriënten zoals overstorten, gebiedsvreemd water, oppervlakkige afstroming van oevers en bestrating of nalevering vanuit de bodem. Indien zich problemen voordoen, zal onderzoek op locatie uit moeten wijzen welke maatregelen het meest effectief zullen zijn. De beheer en inrichting adviezen genoemd in paragraaf 2.1, kunnen als leidraad dienen.

Risico's voor problemen met water in stedelijke omgeving

Met een evenwichtige ontwikkeling van de genoemde aquatische natuurdoeltypen is de kans op het ontstaan van overlast gering. Wanneer zich toch overlast-situaties voordoen zal er goed

naar de problematiek moeten worden gekeken, waarbij inrichting en bronnen in ogenschouw worden genomen, om een duurzame oplossing te bewerkstelligen.

Verdere maatregelen tegen overlast

Muggen

Een goed middel om te voorkomen dat volwassen muggen na de paring in hun broedgebied (ondiepe stilstaande wateren) verder vliegen is het planten van opgaande vegetatie. Deze vegetatie doet dienst als een scherm tussen broedgebied en bebouwing. Hierbij moet ervoor worden gezorgd dat de beplanting niet in de richting van bebouwing wordt gezet. In zo'n geval helpt het de muggen juist om snel de weg naar de mensen te vinden. Een afstand van enkele honderden meters tussen potentiële broedgebieden en woonkernen kan ook helpen bij het voorkomen van overlast. Verder zouden ondiepe wateren regelmatig in contact moeten worden gebracht met grote wateren zodat predatoren van muggenlarven, zoals vissen en waterkevers, de kans krijgen de broedgebieden van muggen te bereiken. Ook doorstroming en golfslag zijn goede middelen tegen ontwikkeling van grote muggenpopulaties. Plas-drassituaties waarbij sprake is van ondiep water en wisselende waterstanden zijn goede biotopen voor verschillende muggensoorten, te meer daar predatoren hier meestal ontbreken [13]. De periode waarin plas-drassituaties zich voordoen is ook van belang. Natte situaties in april tot augustus hebben op verschillende plaatsen geleid tot veel overlast [12].

Blauwwieren

Explosieve groei van blauwwieren tijdens warme en zonnige perioden kan het best worden voorkomen door de nutriënten gehalten van het oppervlaktewater zo laag mogelijk te houden. Dit kan worden gerealiseerd door het saneren van riool-overstorten en zoveel mogelijk gebruik maken van gebiedseigen water van goede kwaliteit. Indien in droge periodes water vanuit andere watersystemen moet worden ingelaten is dit water doorgaans van slechtere kwaliteit en kan belangrijke effecten hebben op de nutriëntenhuishouding. Daarnaast kan er worden gestreefd naar zoveel mogelijk waterplanten die nutriënten kunnen vastleggen in de bodem, onbereikbaar voor planktonische algen (zoals blauwwieren).

De resultaten van het onderzoek naar waterkwantiteit en - kwaliteit zijn vertaald naar plussen en minnen in een effectentabel. Verschillende te toetsen aspecten (bouwstenen) zijn in deze tabel opgenomen. In eerste instantie is variant I.1 (90-90), de variant die het best invulling geeft aan het structuurplan en daarmee de autonome ontwikkeling representeert, vergeleken met de huidige situatie. Op basis van de spreiding die is gevonden bij de berekening van de varianten is bepaald of de situatie voor een aspect ernstig is verslechterd (--), verslechterd (-), verbeterd(+), sterk verbeterd (++) is of onveranderd is gebleven (0).

Daarna is de autonome ontwikkeling (variant I.1 (90-90)) als referentie genomen (op nul gesteld) ter beoordeling van het effect van de verschillende varianten. De bandbreedte van de resultaten is telkens zo breed mogelijk over vijf gelijke klassen verdeeld (--, -, 0, + en ++). In sommige gevallen zijn alle varianten gunstiger of ongunstiger dan de referentievariant, en blijven derhalve de scores beperkt tot twee of drie klassen.

De plussen en minnen binnen één onderwerp zijn simpelweg opgeteld. Hierbij is nog vermenigvuldigd met een factor die aangeeft of er veel of weinig spreiding voor dit aspect tussen de verschillende varianten was. Als er geen wezenlijke spreiding was, is vermenigvuldigd met een factor 0, bij significante spreiding met een factor 1 en bij grote verschillen een factor 2. Er is op geen enkele wijze een weging aangebracht tussen de parameters die aangeeft dat één aspect belangrijker is dan een ander, of belangrijker wordt gevonden.

Van varianten die op een groot aantal aspecten niet konden worden getoetst (door een gebrek aan stabiliteit in berekeningen), zijn geen gesommeerde scores opgenomen.

[illegible]

12 Tekeningen varianten

Zie achterin deze bijlage.

Literatuur

- [1] Gemeente Nijmegen (1996). *Structuurplan Het land over de Waal*.
- [2] Tauw (1999). *Integraal waterplan voor de Waalsprong*. Deventer.
- [3] Haskoning (1996). *Land over de Waal. Modelleren van de toekomstige waterkwaliteit van de Lentse plassen*.
- [4] Adviesburo de Meent (2003). *Effecten van stratificatie en uitbreiding van de oeverzone met bovengrond op waterkwaliteit van Lentse Plassen*.
- [5] Haskoning (1997). *Waalsprong. Nadere uitwerking open watersystemen*.
- [6] Buishand, T. en C. Velds (1980). Neerslag en verdamping (Precipitation and evaporation). KNMI, De Bilt.
- [7] TAW. (1999). *Technisch rapport zandmeevoerende wellen*.
- [8] Jaarsma, N. & P. Verdonschot (2000). *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 8: Wingaten*. Alterra in opdracht van EC-LNV. Rapport AS-08. Wageningen.
- [9] Jaarsma, N. & P. Verdonschot (2000). *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 10: Regionale kanalen*. Alterra in opdracht van EC-LNV. Rapport AS-10. Wageningen.
- [10] Nijboer, R. (2000). *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 6: Sloten*. Alterra in opdracht van EC-LNV. Rapport AS-06. Wageningen.
- [11] Royal Haskoning (2003). *Onderzoek varianten watersysteem Waalsprong, Notitie Uitgangspunten*.
- [12] Higler, L. (2001). *Literatuuronderzoek naar de mogelijkheden van het ontstaan van plagen door steekmuggen*. Alterra, Wageningen.
- [13] Klein, J.de., S. Koster, B. Higler, et al. (2001). *Geen narigheid met nattigheid: over de bedreigingen van water in de woonomgeving*. Utrecht.

Index

Aanbeveling

- aanvullende maatregelen voor droogvallende singels, 79
- combinatie helofytenfilters met uitgebreide oeverzones, 80
- compartimentering, 80
- inlaten water vanuit Linge niet noodzakelijk, 79
- met het waterschap overleggen, 78
- uitgaan van buitendijkse maatregelen, 78
- uitgebreide oeverzones aanleggen, 80
- verkleinen plassen heeft nadelige invloed op concentraties E-coli, 80
- verkleinen plassen heeft nadelige invloed op nutriënten, 80
- watergang met afmetingen singels voldoende, 78
- afvoer ontwerpbuizen, 41
- afvoer via singels, uitgangspunten, 42
- afvoer, berekening en toetsing, 44
- centrale berging
 - doelen en functies, 10
- dijkteruglegging, 13; 37; 108
- dijkteruglegging, geotechnische aspecten, 94
- drainkoffers, 39
- droogvallende watergangen, varianten watersysteem, 17
- E-coli, 124
- ecologie watersystemen, 72
- ecologie, beheer, 74
- ecologie, inrichting, 73
- filter voor singelwater, 133
- filterbermen, 15
- filters, toepassingsvarianten, 132
- fosfaathuishouding, 123
- gecombineerde oppervlaktewater-grondwatermodel, 32
- grondwatermodel, 28
- grondwaterstanden, 48
- grondwaterstanden, uitgangspunten onderzoek, 7
- helofytenfilter, 11
- helofytenfilters, uitgangspunten onderzoek, 8
- invloed waterkwaliteit op ecologie, 71
- kwel, maatregelen, 41
- kwelsituatie Lent, 37
- modelanalyses, onderdelen, 27
- modelberekening afvoer bui T = 10 jaar, 99
- modelberekeningen 1990-2000, 47
- modelberekeningen grondwater 1990-2000, 108
- modelberekeningen oppervlaktewater 1990-2000, 114
- modelberekeningen, kwalitatief, 63
- modelresultaten varianten, 64
- ontwerpbui, definitie, 9
- oppervlaktewater, 56
- oppervlaktewatermodel, 30
- piping, 97
- plassen, beheer en inrichting, 140
- plusberging, uitgangspunten onderzoek, 9
- potentiële watertypen, 71; 137
- retentie, uitgangspunten onderzoek, 9
- riolering, 14
- rioolstelsel dorp Lent, 93
- seizoensopslag, uitgangspunten onderzoek, 9
- singel, drainerende werking, 38
- singelfilter, 135
- singels, uitgangspunten onderzoek, 7
- stabiliteit dijk, 41
- stelsel afgekoppeld regenwater, ontwerpaspecten, 15
- stratificatie in diepe plassen, 68
- stroomsnelheden watersysteem, uitgangspunten onderzoek, 5
- varianten onderzoek watersysteem, beschrijvingen, 17
- varianten onderzoek watersysteem, kenmerken, 9
- varianten, functiecombinaties, 11
- verwachte waterkwaliteit, 68
- wadi's, 15; 44; 91
- waterkwaliteitsmodel
 - gebruik modelresultaten, 37
 - modelopbouw, 36
- waterkwaliteitsprocessen, beschrijving, 123
- watersingels, beheer en inrichting, 142

waterstanden, uitgangspunten onderzoek, 5
watersysteem, duurzaam, 3
watertypen, indeling, 73

watertypen, mogelijkheden op basis van
modelberekeningen, 142
zoomfilter, 134
zuurstof- en stikstofhuishouding, 123