

Notitie

Referentienummer
245388

Datum
11 januari 2008

Kenmerk
245388.219.ehv.N01

Betreft
Uitgangspunten en berekeningsresultaten Brabantse Waterlinie (Ligne)

1 Inleiding

In het project 'Waterlinie boven water' is een nieuwe inrichting voor de Ligne en het park voorgesteld. De nieuwe inrichting staat beschreven in hoofdstuk 4 van deze notitie. Deze notitie geeft een toetsing van de nieuwe inrichting en laat zien hoe het systeem functioneert, zowel in de huidige situatie als na de herinrichting. Hiertoe zijn allereerst enkele toetsingspunten uitgezet in hoofdstuk 2. Vervolgens is een beschrijving gegeven van het huidige (hydrologisch en hydraulisch) functioneren van het gebied. De nieuwe inrichting wordt uitgelegd in hoofdstuk 4 en in hoofdstuk 5 komt de toetsing van de nieuwe inrichting aan de orde. Daarnaast is ook aandacht besteed aan beheer en onderhoud en het vraagstuk waterberging.

2 Eisen en toetsingsparameters

Een oppervlaktewatersysteem behoort aan verschillende eisen te voldoen. Voor de nieuwe inrichting zijn volgende toetsingsparameters gehanteerd:

- *Stroomsnelheid watergangen en duikers*

- Toelaatbare stroomsnelheid waterlopen (afvoer eens per jaar): 0,20 m/s
- Toelaatbare stroomsnelheid duikers (afvoer eens per jaar): 0,50 m/s

De maatgevende afvoer is voor de verschillende watergangen geschat en aan de hand van de diameter en of het natte profiel is vervolgens berekend welke stroomsnelheid dat oplevert en of dat een voldoet aan de eisen.

- *Inundatienormen*

In het Nationaal Bestuursakkoord Water zijn normen opgenomen ten aanzien van inundatie vanuit oppervlaktewateren. Deze inundatienormen zien hieronder in tabel 1 weergegeven. Bij deze normen gaat het om herhalingstijden waarin de klimaatontwikkelingen is verwerkt.

Tabel 1 Inundatienormen voor de verschillende soorten landgebruik

Soort landgebruik	Toegestane herhalingstijd voor inundaties	% maaiveld dat mag inunderen
Grasland	T=10	5%
Bouwland	T=25	1%
Hoogwaardige land & tuinbouw	T=50	1%
Stedelijk gebied	T=100	0%

- *Aquatisch ecologie*

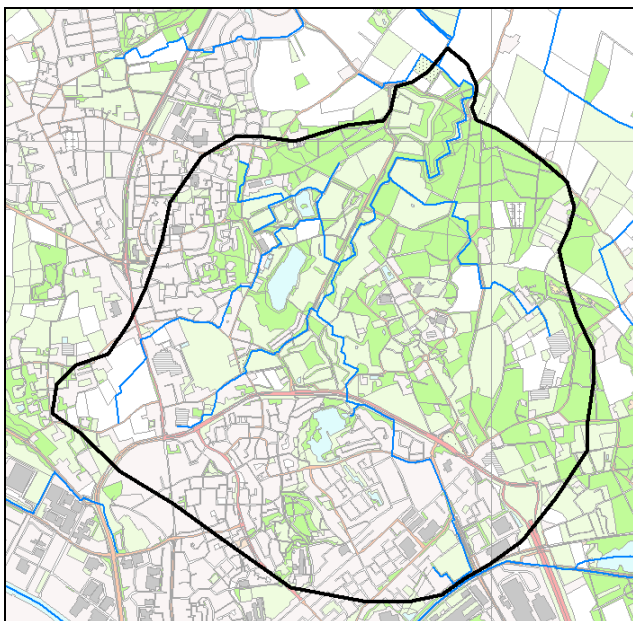
Vanuit het beleid geldt dat de Ligne het streefbeeld boezemkreek heeft toegewezen gekregen. De streefbeelden voor beken met de functie waternatuur zijn uitgewerkt in het rapport 'Streefbeelden voor beken en kreek in Noord-Brabant'. Enkele (relevante) aspecten voor dit streefbeeld zijn: nutriëntrijk mag; stroomsnelheid beneden de 0,3 m/s; minimale waterdiepte 0,3 m en gemiddeld hoogwater is minimaal 0,1 m hoger tov gemiddeld waterpeil; begeleidend vegetatie is een wilgenbos en rietvelden).

Daarnaast is het van belang dat de waterdiepte in de Ligne minimaal 1,0 m is in de zomerperiode om de zo mogelijke algenbloei in toom te houden.

Om tot deze toetsing te komen zijn verschillende extreme afvoersituaties doorgerekend en is een langjarige reeks (8 jaar) doorgerekend. Deze afvoersituaties en berekeningen zijn ontleend aan de studie IGA Brabantse Wal. De volgende extreme afvoersituaties zijn doorgerekend: T=10, T=25, T=50 en T=100.

3 Beschrijving huidige systeem

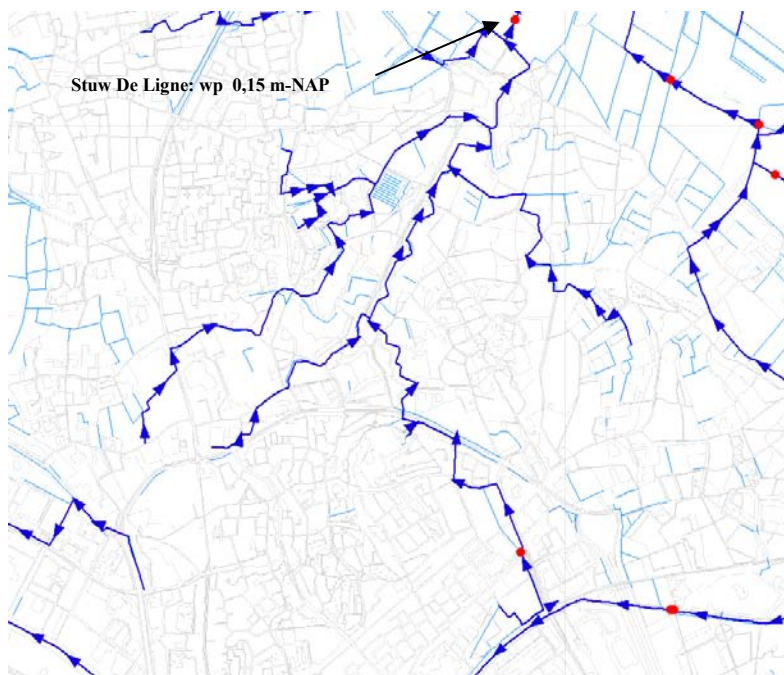
Op basis van de ligging van hoofd-, secundaire en tertiaire watergangen en de maaiveldhoogtekaart is een globale afbakening van het stroomgebied van de Ligne afgeleid. Het stroomgebied tot aan stuw De Ligne is in figuur 1 weergegeven. De grootte van het weergegeven stroomgebied is circa 700 ha.



Figuur 1 Globale afbakening stroomgebied de Ligne (aangegeven watersysteem: nieuwe inrichting)

3.1 oppervlaktewatersysteem

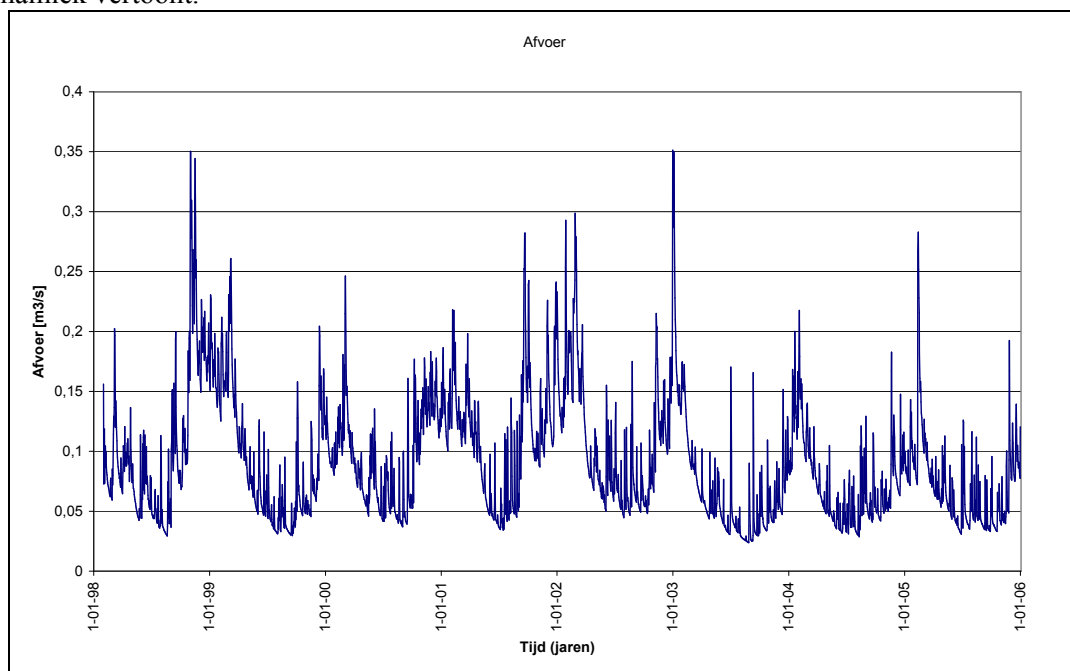
Zoals in figuur 1 is te zien ontvangt de Ligne zijn water van de kern Bergen op Zoom, Halsteren en van een landbouw annex natuurgebied ten oosten van de Ligne. Een overzicht van het huidige waterlopendsysteem is gegeven in onderstaande figuur. Zoals in onderstaande figuur is te zien (de peilen geven de stromingsrichting aan) verzameld al het water zich ten slotte bij stuw De Ligne en voert daarmee af richting naar het Halsters Laag. Stuw De Ligne heeft zowel een zomer- als winterstreefpeil, respectievelijk 0,25 m+NAP en 0,15 m-NAP.



Figuur 2 Huidige situatie: hoofdwaterlopen en secundaire en tertiaire waterlopen, inclusief stuwen

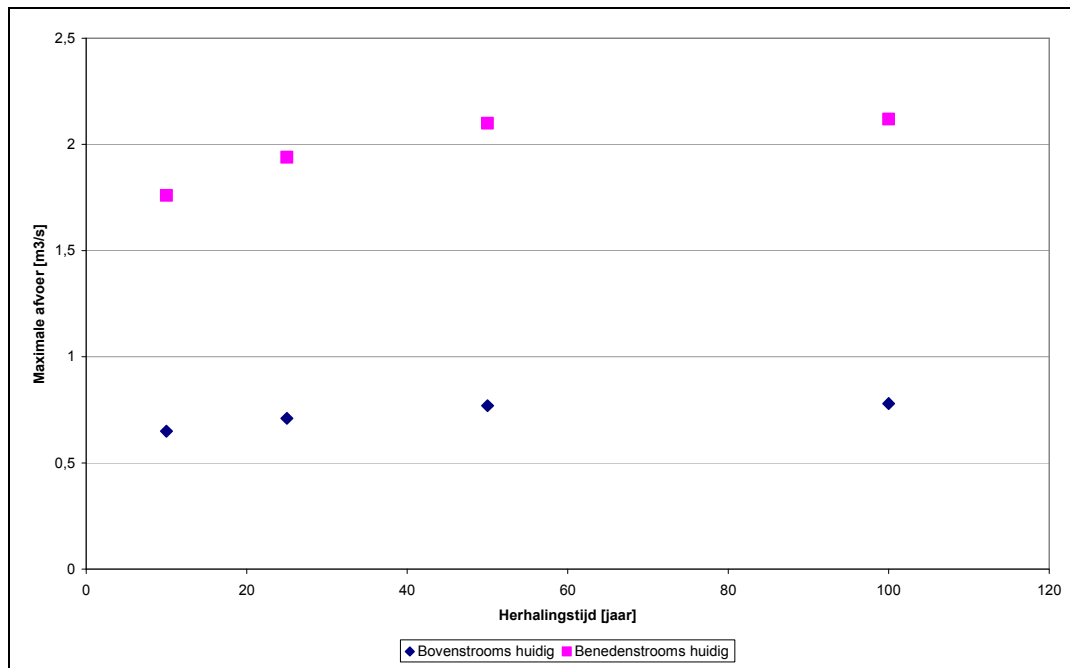
Afvoeranalyse

Uit de langjarige berekening (afkomstig van de IGA Brabantse Wal) kan een gemiddelde afvoer en een statische maatgevende en zomerafvoer worden bepaald. De gemiddelde berekende afvoer aan het einde van het stroomgebied is $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$. De statistische maatgevende afvoer is $0,309 \text{ m}^3/\text{s}$ en de zomerafvoer (Q5) wordt dan $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$. Het berekende afvoerloop over een periode van 8 jaar is weergegeven in onderstaande grafiek. Hieruit blijkt dat het gebied geen grote afvoerdynamiek vertoont.

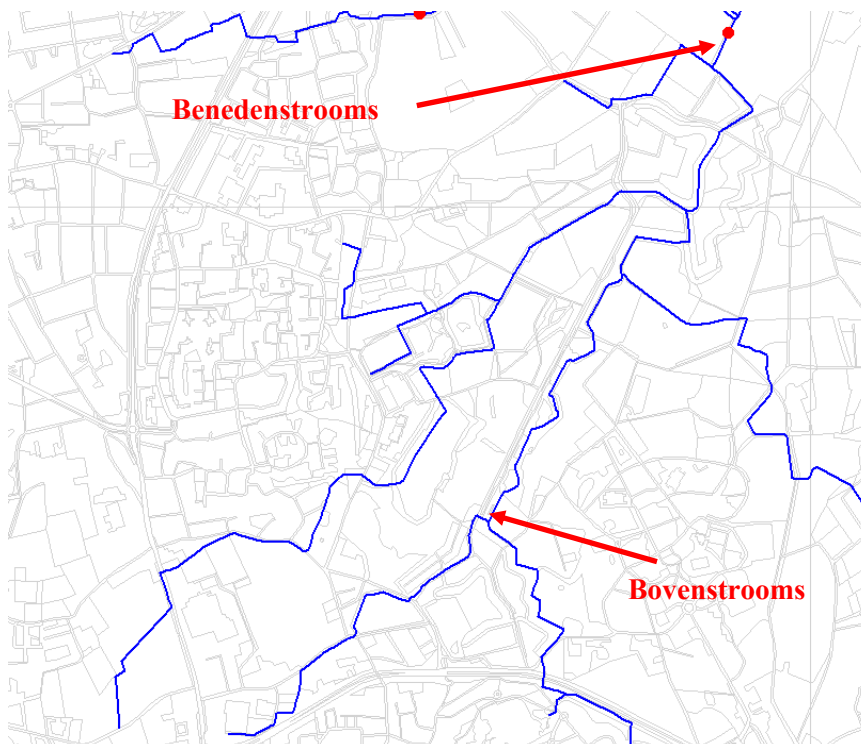


Figuur 3 Langjarige berekende afvoer en waterstand (bovenstrooms van stuw nabij Fort Roovere)

Pas in echte extreme situaties wordt de (piek)afvoer significant hoger dan de gemiddelde of zelfs maatgevende afvoer. Dit is het gevolg van het in werking treden van de overstorten uit de stedelijke kernen. Hieronder zijn de piekafvoeren gegeven voor twee locaties in het watersysteem.



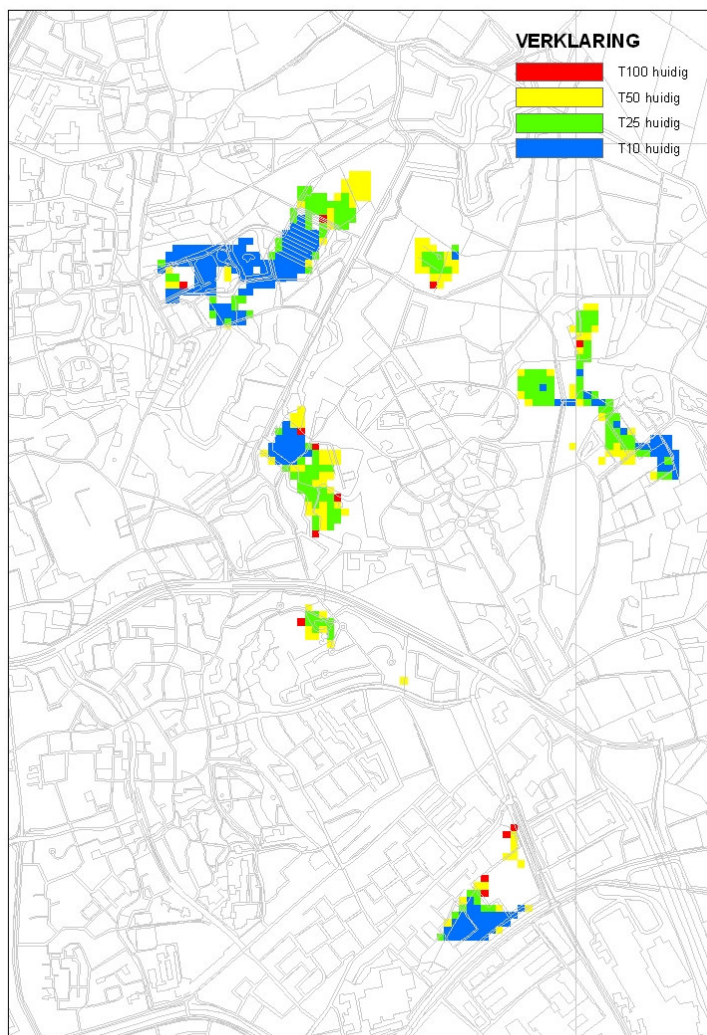
Figuur 4 Berekende piekafvoeren huidige situatie (voor locaties zie figuur 5)



Figuur 5 Locaties berekende piekafvoeren

NBW-toetsing

Deze toetsing is deels vanuit de IGA Brabantse Wal opgeleverd. Ten behoeve van deze hydrologische onderbouwing zijn nog twee bestaande overstorten bij Halsteren aan het model toegevoegd en meegenomen in de simulaties. De berekende inundaties zijn grafisch weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 6 Inundatiepatroon bij verschillende herhalingsstijden, huidige situatie

De resultaten lieten zien dat in het landbouwgebied ter hoogte van de weg Buitenlust er inundatie optreedt als gevolg van te krappe duikers. Daarnaast komt inundatie voor in de stedelijke kern Bergen op Zoom, in de wijk Meilust. Ook dit knelpunt is een gevolg van te krappe (en lange) duikers of het gevolg van te weinig berging in het ontvangende water. Beide gebieden liggen niet in het plangebied.

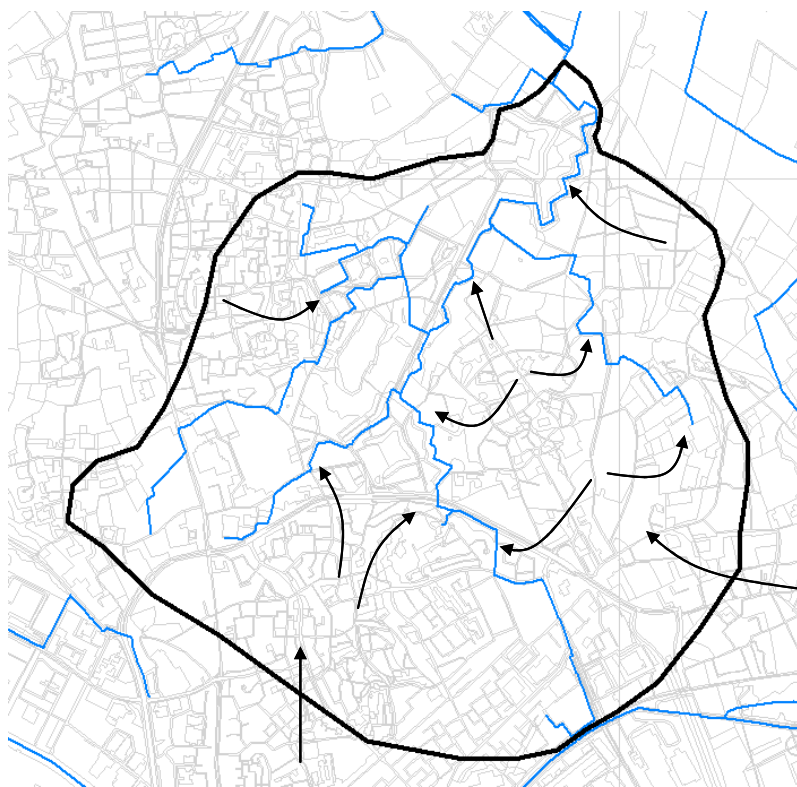
De inundaties in het park en graslanden bij Halsteren zijn vooral het gevolg van de grote overstortdebieten vanuit de riolering in Halsteren, maar ook de duiker onder de Schansbaan door levert veel opstuwung op, wat doorwerkt in een groot deel van het plangebied. Dit is onder andere ook de oorzaak voor de lokale inundatie in het landbouwgebied waar de buitengracht van Fort

Pinssen overgaat in de Ligne. Dit laag gelegen gebied inundeert bij een herhalingstijd van eens in de tien jaar waardoor een knelpunt ontstaat.

3.2 grondwatersysteem

In figuur 3 is met enkele pijlen de grondwaterstroming in het stroomgebied weergegeven. In het studiegebied zijn veelal lokale grondwatersystemen aanwezig van water dat ter plaatse van de relatief hoge delen tussen de waterlopen infiltreert en dat ter plaatse van de waterlopen opkwelt. De watergangen zijn veelal laaggelegen en hebben een drainerende werking.

Vanuit het zuid(oosten) stroomt grondwater het studiegebied binnen. Het betreft grondwater dat op de hogere delen van de Brabantse Wal en ondiep in noordwestelijke richting stroomt. Het grondwater dat ter plaatse van de Brabantse Wal tot grote diepte infiltreert, kwelt in de gebieden ten noord(west)en van het stroomgebied van de Ligne op.

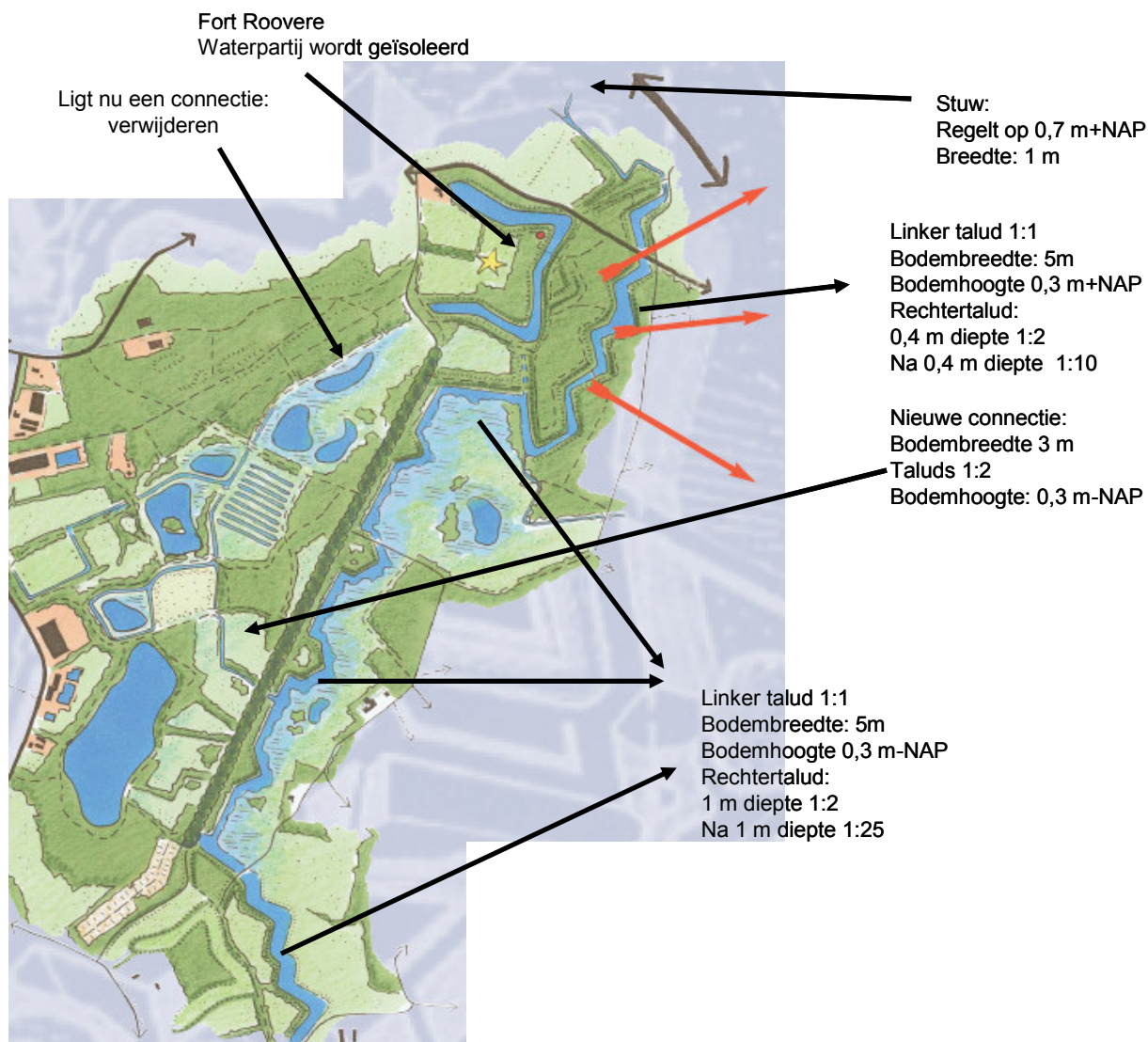


Figuur 7

Grondwaterstroming

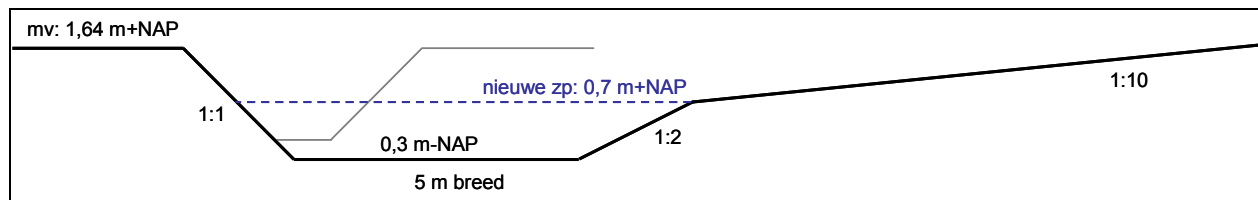
4 Beschrijving nieuwe inrichting

De nieuwe inrichting wordt weergegeven en beschreven in figuur 8.



Figuur 8

Nieuwe inrichting Ligne

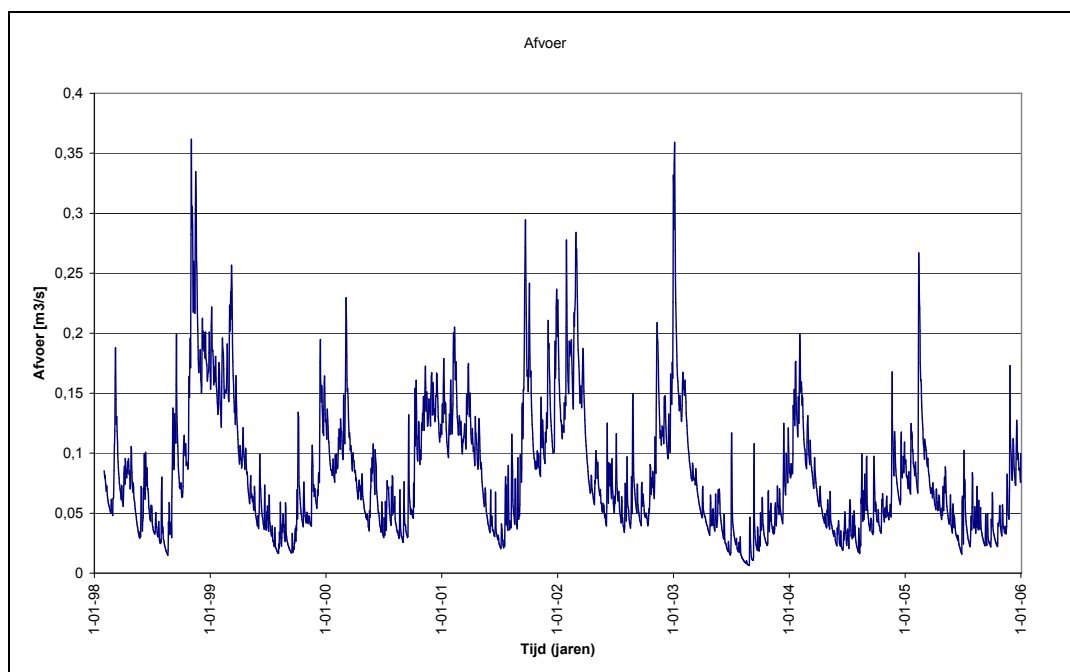


Figuur 9 nieuwe profiel van de Ligne ten opzichte van oude profiel, ter hoogte van de aansluiting van de buitengracht van Fort Pinsen en de Ligne

5 Resultaten

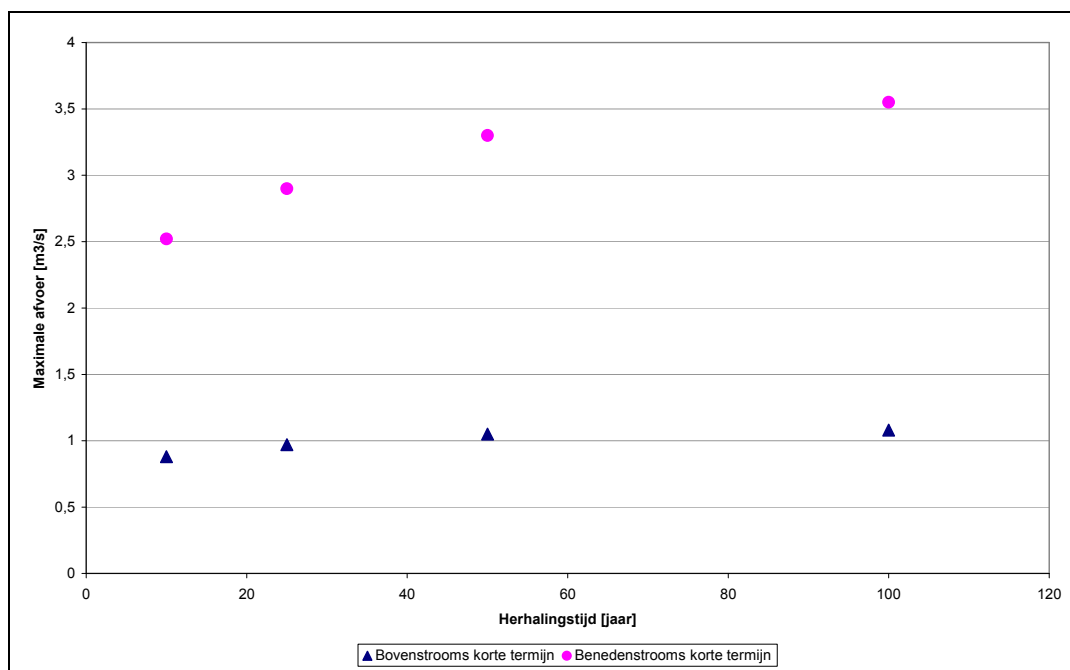
Afvoeranalyse

Wederom is uit de langjarige berekening een gemiddelde afvoer en een statische maatgevende en zomerafvoer bepaald. De gemiddelde berekende afvoer aan het einde van het stroomgebied is iets verlaagd naar $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$. Wat opvalt is dat de minimale afvoer van het stroomgebied in de berekende periode enorm is gedaald (van $0,024$ naar $0,006 \text{ m}^3/\text{s}$). Dit is het gevolg van het opzetten van het waterpeil. Hierdoor wordt de aanvoer van grondwater naar het oppervlaktewatersysteem minder en in sommige gebieden infiltreert het water in de zomer het water. Hieruit blijkt al dat de nieuwe inrichting het gebied vernat. De statistische maatgevende afvoer is echter nagenoeg hetzelfde gebleven. Het berekende afvoeroverloop over een periode van 8 jaar is weergegeven in onderstaande grafiek. De afvoerdynamiek is nauwelijks veranderd ten aanzien van de huidige situatie, alleen de zomerafvoeren zijn lager geworden.



Figuur 10 Langjarige berekende afvoer en waterstand (bovenstrooms van stuw nabij Fort Roovere)

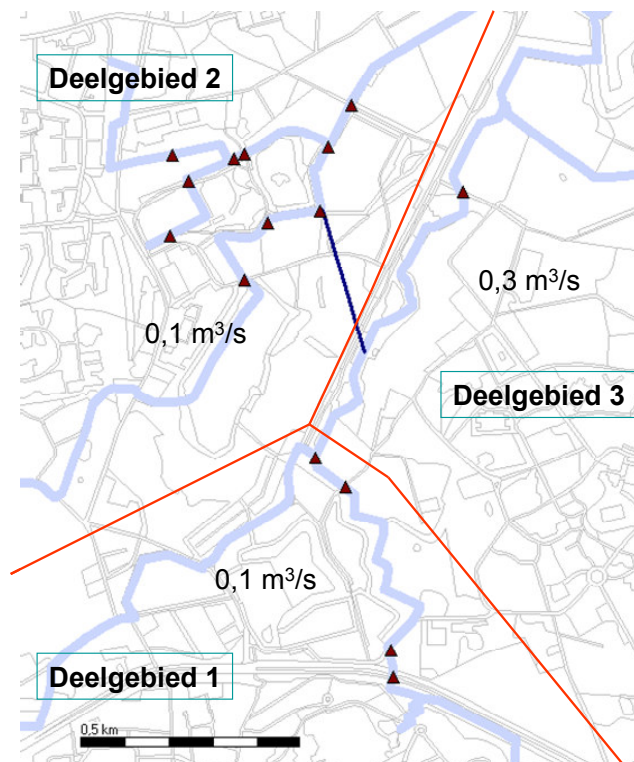
In echte extreme situaties wordt de (piek)afvoer, net als in de huidige situatie, significant hoger dan de gemiddelde of zelfs maatgevende afvoer. In de nieuwe situatie is de piekafvoer zelfs toegenomen ten opzichte van de huidige situatie. Een verklaring hiervoor is dat in de huidige situatie de duiker onder de Schansweg door de afvoer knijpt en dus ook voor veel opstuwing zorgt. Deze duiker wordt in de nieuwe situatie niet meer gebruikt en zorgt dus niet meer voor het knijpen van de afvoer en het opvoeren van het waterpeil. Hieronder zijn de piekafvoeren gegeven voor twee locaties (zie hiervoor figuur 5) in het watersysteem.



Figuur 11 Berekende piekafvoeren nieuwe inrichting (voor locaties zie figuur 5)

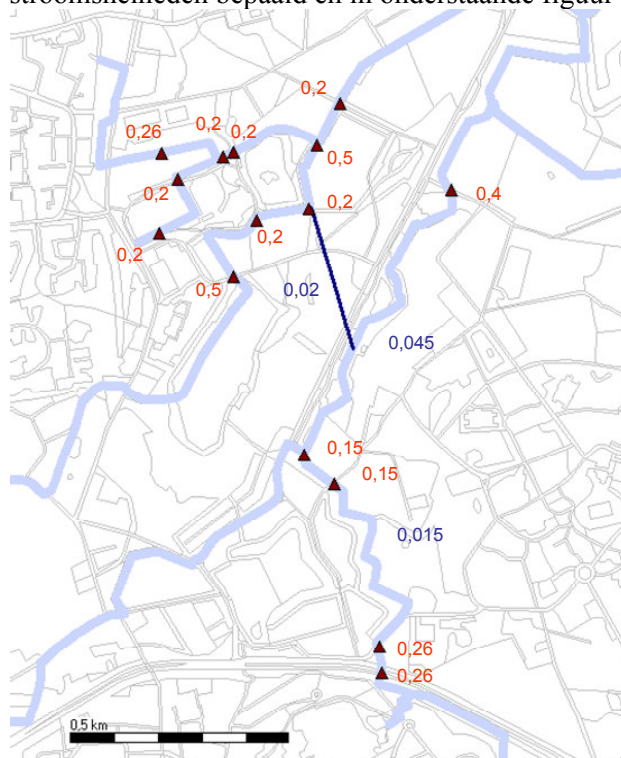
Stroomsnelheid

De maatgevende afvoer is alleen bekend/bepaald ter hoogte van stuw De Ligne. Om de watergangen en de duikers te kunnen toetsen aan de eisen is het van belang te weten wat de afvoer ter hoogte van elk van de watergangen/duikers is. Daartoe is het plangebied opgedeeld in subdeelsstroomgebieden en aan elk van de gebieden is een maatgevende afvoer toegekend, op basis van de grootte van het gebied. In onderstaande figuur zijn de deelgebieden aangegeven tezamen met de duikers die moeten worden getoetst en de betreffende maatgevende afvoer.



Figuur 12 *Deelgebieden met maatgevende afvoer*

Op basis van de maatgevende afvoer en de dimensies van de watergangen en de duikers zijn de stroomsnelheden bepaald en in onderstaande figuur (per duiker en per watergang) weergegeven.



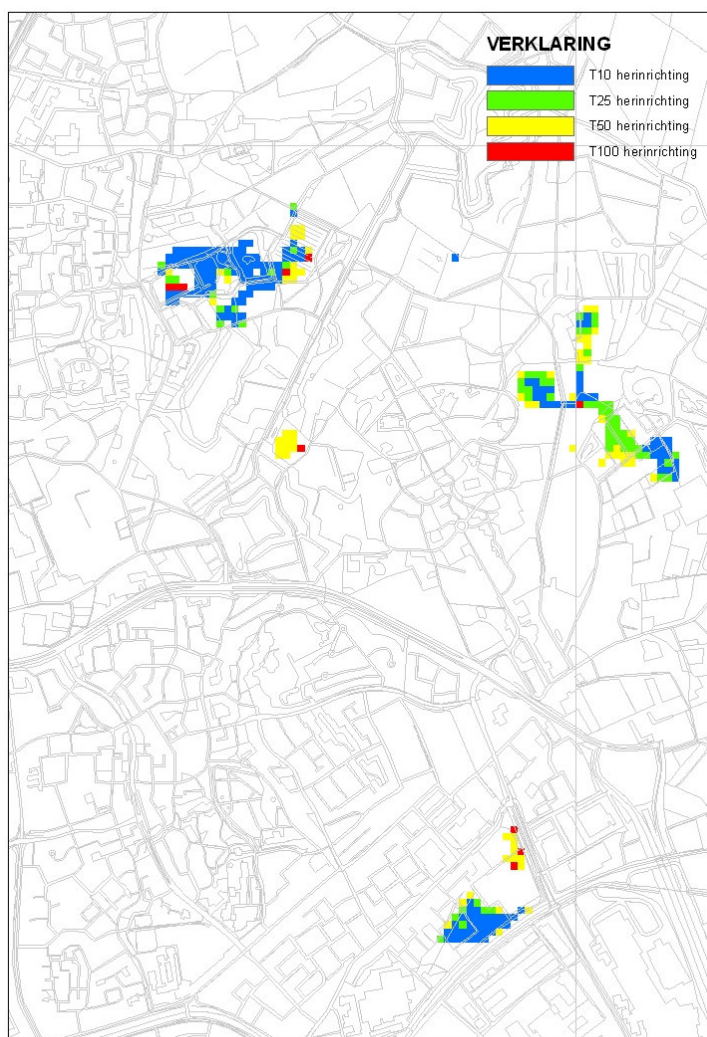
Figuur 13 *Stroomsnelheden (in m/s) voor de duikers (in rood) en de watergangen (in blauw)*

Bovenstaande figuur laat zien dat zowel alle (nieuwe en oude) duikers als alle watergangen voldoen aan de eis ten aanzien van de stroomsnelheid.

NBW-toetsing

Onderstaande figuur laat de resultaten van de inundatieberekeningen zien. Daaruit blijkt dat de inundatie nabij Fort Pinsen veel minder is geworden en ook pas bij een T=50 situatie (=geen knelpunt). Het maximale waterpeil aldaar bij bijvoorbeeld een T=10 situatie was in de bestaande situatie 1,73 m+Nap en in de nieuwe situatie is dan nog maar 1,26 m+Nap. Deze verlaging van het maximale peil is het gevolg van de extra berging in het systeem maar voornamelijk te danken aan het feit dat geen gebruik meer wordt gemaakt van de duiker onder de Schansweg door.

De inundaties in het park, in het landbouwgebied nabij de weg Buitenlust en de inundatie in de wijk Meilust zijn nagenoeg onveranderd. De herinrichting heeft dus geen positief maar ook geen negatief effect op deze gebieden.



Figuur 14 Inundatiepatroon bij verschillende herhalingsstijden, herinrichting

Aquatisch ecologie

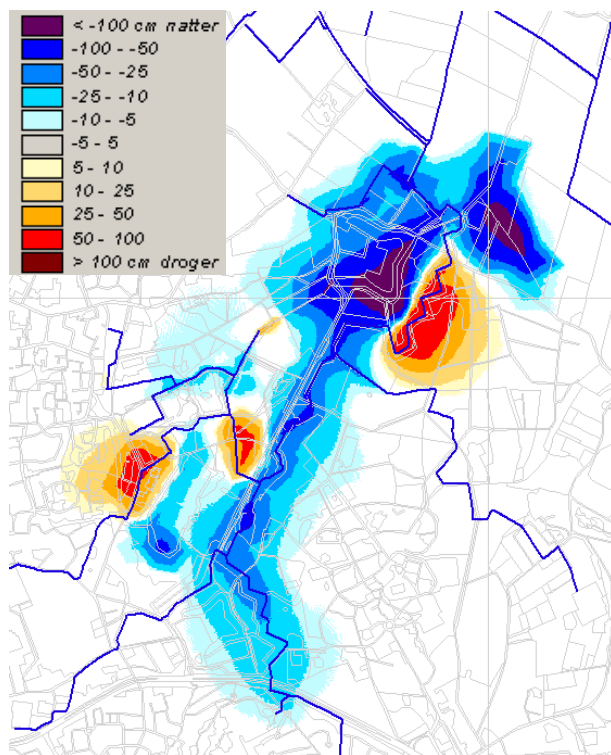
Het streefbeeld voor de Ligne (boezemkreek) wordt door de nieuwe inrichting wel gehaald. Het blijft een voedselrijk systeem met zeer lage stroomsnelheid en een voldoende grote waterdiepte. Alleen zal bij een gladde sturing op het peilregime van het watersysteem het gemiddelde hoogwater nagenoeg gelijk zijn aan het gemiddeld waterpeil. Het is aan te raden een het peil zo nu en dan te laten uitzakken of extra op te zetten. De begeleidende vegetatie is als een wilgenbos en rietvelden zal zich zeker gaan ontwikkelen op de flauwe oevers van de Ligne. .

Waterdiepte

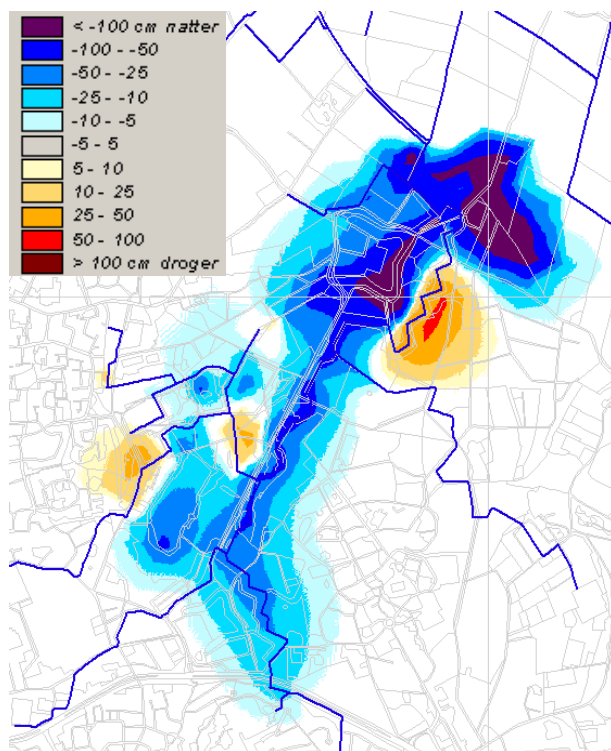
Bijna alle nieuwe waterlopen in de Ligne worden aangelegd met een bodemhoogte 0,3 m-Nap. Uit figuur 8 blijkt dat een waterstand van 0,7 m+Nap door het jaar heen wordt gehandhaafd, waardoor aan de eis van 1,0 m waterdiepte wordt voldaan. Alleen ter hoogte van Fort Roovere (de buitengracht) voldoet de Ligne niet aan deze eis. Dit deel van de Ligne verdient nog extra aandacht tijdens het beheer. De geringe waterdiepte en de extra toevoer van voedingsstoffen door bladval kan een risico zijn voor het halen van het streefbeeld.

Antiverdroging

Als gevolg van de te nemen maatregelen in het stroomgebied van de Ligne stijgen de grondwaterstanden. Deze vernatting vindt plaats in een gebied ter grootte van circa 175 ha. In de onderstaande figuren is te zien waar deze vernatting (GHG en GLG) optreedt. De berekende verdroging ter hoogte van de buitengracht van Fort Roovere klopt echter niet. De buitengracht was namelijk in de huidige situatie niet opgenomen. Daarnaast klopt het hoogtengrid daar niet (de watergang komt daar niet in voor) waardoor de nieuwe inrichting van de buitengracht verdrogend lijkt te zijn. In de praktijk zal de buitengracht eerder vernattend werken aangezien het peil wordt opgezet.



Figuur 15 Effecten maatregelen op GHG [cm]



Figuur 16 Effecten maatregelen op GLG [cm]

Waterberging

Om inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden van waterberging in het gebied ten behoeve van het benedenstrooms gelegen Halsters Laag, is gekeken hoeveel water de watergangen van de Ligne kunnen berging uitgaande van een beginwaterniveau van 0,5 m+Nap. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 2 Mogelijke waterberging Ligne bij verschillende waterstanden

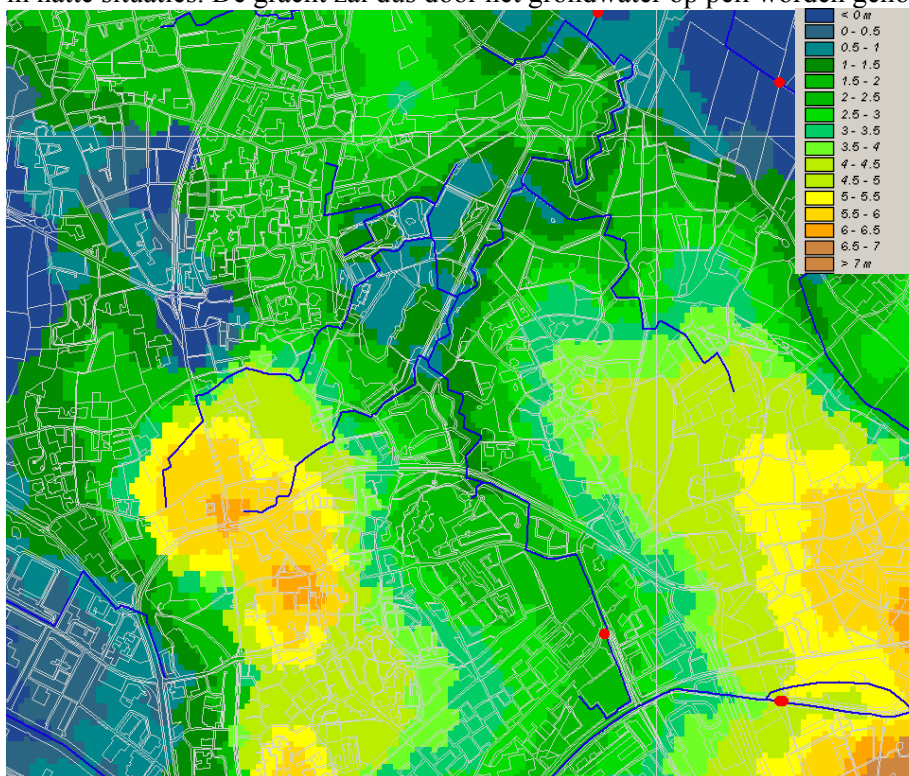
Waterniveau Ligne [m+Nap]	Volume [m3]	Verschil volume (=waterberging) t.o.v. 0,5 m+Nap [m3]
0,5	25.090	
0,6	30.900	5.810
0,7	37.700	12.610
0,8	45.600	20.510
0,9	54.650	29.560
1,0	64.800	39.710

Het is aan te raden een winter- en zomerpeil te hanteren; winterpeil 0,5 m+Nap en zomerpeil 0,7 m+Nap. Op die manier kan een extra 12.610 m³ water worden geborgen als de stuw tijdens een extreme situatie wordt opgezet. Bij een peilopzet tot 1,0 m+Nap kan dan circa 40.000 m³ worden geborgen om zodoende het Halsters Laag te ontzien.

Binnengracht Fort Roovere

De gemiddelde grondwaterstanden in de binnengracht van Fort Roovere komen (bij een waterstand in de Ligne van 0,7 m+NAP) zo rond de 1,5-2 m+Nap te liggen, zie ook figuur 12. Met een grondwaterdynamiek van 0,5-0,75 m betekent dat de gemiddeld laagste grondwaterstand zo rond

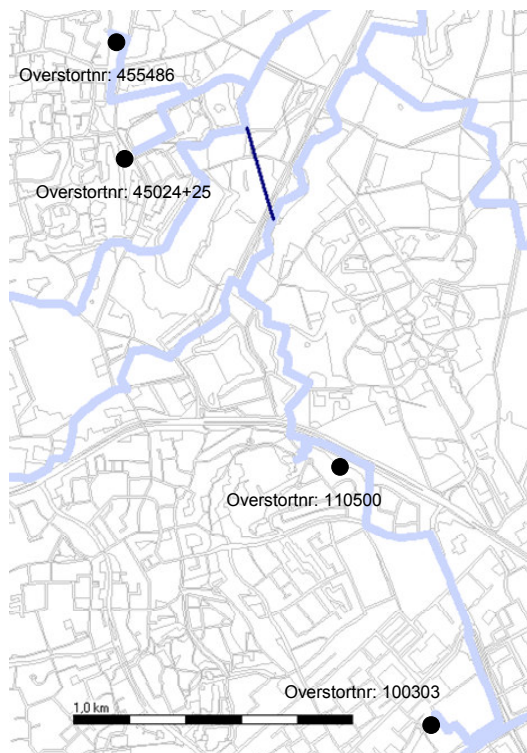
de 1,00+ NAP zal zijn en de gemiddeld hoogste 2-2,5+ NAP. Als de bodem op 0,8 m-NAP komt te liggen zal de waterdiepte in de gracht fluctueren van 1,8 m in droge situaties naar circa 3 meter in natte situaties. De gracht zal dus door het grondwater op peil worden gehouden.



Figuur 17 Gemiddelde langjarige berekende grondwaterstand na inrichting [m+NAP]

T=10 waterstand bij de riooloverstorten

Algemeen beleid bij het waterschap is dat de drempels van de overstorten niet verdronken mogen raken bij een T=10 situatie. De riooloverstorten in het gebied met een relatief lage drempel zijn in onderstaande figuur weergegeven. De overige overstorten hebben zelfs hoge drempelhoogten.



Figuur 18 *locatie overstorten in het gebied met een relatief lage drempel*

Tabel 3 **Waterstanden bij verschillende overstorten voor een T=10 gebeurtenis**

Overstortnummer	Drempelhoogte [m+Nap]	max. waterstand T=10 [m+Nap]
455486	3,85	2,06
45024+25	2,35	2,51
110500	2,14	2,3
100303	2,5	3,08

Voor slechts één overstordrempel geldt dat aan de eis wordt voldaan. De overige drempels raken bij een T=10 gebeurtenis verdronken. Dit is het directe gevolg van te krappe duikers in het ontvangende water, want net benedenstrooms van de meeste overstorten (100303 uitgezonderd) voldoet het waterpeil ruimschoots. Een aanpassing van enkele duikers of de aanleg van meer waterberging (in het geval van de waterpartij bij overstortnummer 100303) lost deze knelpunten kunnen op. Door de herinrichting van de Ligne zelf is de situatie al enigszins verbeterd; het was zelfs nog slechter.

Wat gebeurt er met het maaisel na het maaien van de waterplanten in de watergang?

Er zijn twee mogelijkheden voor het afvoeren van het maaisel, (1) het vooruitduwen met een boot of (2) het doorspoelen van het systeem. Optie 1 is niet wenselijk omdat dan de mogelijkheid ontstaat van zuurstofloosheid voor vissen, vanwege het zuurstofvragend sediment dat dan weer in de waterkolom terecht komt (teveel omwoeling van de bodem door de stroef van de boot). Voor optie 2 moet een 'reservoir' bovenstrooms worden ingericht aangezien de stroomsnelheid van de Ligne zelf niet voldoet. De mogelijkheid om een reservoir te maken in de buitengracht van Fort Pinsen is onderzocht. Hiertoe moet een stuw geplaatst worden die het water kan opstuw tot 1,0 m+NAP. Er zou in theorie dan 3.000 m³ water in geborgen kunnen worden. Echter, in droge situ-

aties (na herinrichting) is de waterstand niet voldoende hoog om de gracht ook daadwerkelijk te vullen. Daarnaast zal met een 3.000 m³ in de Ligne slechts een stroomsnelheid bereikt kunnen worden van gemiddeld 0,01 m/s over een tijdsduur van 4 uur. Optie 2 is dus niet mogelijk.