

# HYDROLOGISCH ONDERZOEK KASTEELGRACHT

7 FEBRUARI 2018



## Contactpersoon

**JEROEN HELDER**  
Consultant Hydrology

T +31 621584748  
E [jeroen.helder@arcadis.com](mailto:jeroen.helder@arcadis.com)

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

---

# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>GEBIEDSBESCHRIJVING</b>	<b>7</b>
2.1	Ondergrond	7
<b>3</b>	<b>WATERSYSTEEM</b>	<b>9</b>
3.1	Waterstanden en stijghoogtes	11
3.2	Waterstromen	13
3.2.1	Interactie met het grondwater	13
3.2.2	Uitstroom over de stuw	14
3.2.3	Lekkage langs de stuw	14
3.2.4	Verdamping	14
3.2.5	Gemeten verlaging	14
3.2.6	Samenvatting waterverliezen	15
3.3	Overstort	15
<b>4</b>	<b>ANALYSE</b>	<b>17</b>
4.1	Analyse maatregelen	17
4.1.1	Vervanging en verplaatsing stuw De Hovenlaan	17
4.1.2	Vervanging stuw Kasteellaan	19
4.1.3	Compartimentering lage pand	19
4.1.4	Aanvullen met gemaal	19
4.1.5	Automatische stuw	19
<b>5</b>	<b>STUW VERVANGING</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>GEMAAL</b>	<b>22</b>
6.1	regelgeving	23
6.2	Diepte en dimensionering grondwaterpomp	23
6.3	Grondwaterkwaliteit	24
6.4	Diepte en dimensionering oppervlaktewaterpomp	25
<b>7</b>	<b>PEILVERHOGING</b>	<b>26</b>

## 7.1 Automatiseren stuw

27

### TABELLEN

Tabel 1: inmeting kasteelgracht dd 24-1-2018	12
Tabel 2. Samenvatting waterstromen uit het hoge pand van de Kasteelgracht	15
Tabel 3. Overstortvolumes bij verschillende buien	15
Tabel 4. Bodemparameters volgens REGIS II.1	23
Tabel 5. Eigenschappen onderwaterpomp	24

### FIGUREN

Figuur 1. Ligging Kasteelgracht en met watersysteem en kunstwerken	6
Figuur 2. Hoogtekaart van de omgeving ( <a href="https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/">https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/</a> )	7
Figuur 3. Doorsnede van de ondergrond op basis van REGIS II v 2.2	7
Figuur 4. Ligging drainage in de woonwijk	9
Figuur 5. Stuwpeilen en peilbuizen met GLG in de omgeving van de Kasteelgracht	11
Figuur 6. Waterstanden en grondwaterstanden in het hoge pand van de Kasteelgracht. Er is in een aantal verschillende periodes gemeten waardoor er hiaten in de reeks voorkomen.	12
Figuur 7. Waterstromen in en uit het hoge pand van de Kasteelgracht	13
Figuur 8. Doorsnede van de fundering van de S-wand (950XIII-130b.tif)	18
Figuur 9. Doorsnede gemetselde keerwand zuidwesthoek (950-148.tif)	18
Figuur 10. Hoogtekaart van de directe omgeving van het lage pand	26
Figuur 11. Hoogte van het terras in de noordoosthoek van het Kasteel aan de binnenzijde van de gracht	26
Figuur 12. Bestaande stuw bij de Lupineweg	27
Figuur 13. Waterstandsverloop tijdens extreme afvoer	28
Figuur 14. Peilen bij een T1 overstort met en zonder automatische stuwaanpassing	28

### BIJLAGEN

<b>BIJLAGE A : MAATREGELKAART</b>	<b>30</b>
-----------------------------------	-----------

<b>BIJLAGE B : GEGEVENS</b>	<b>31</b>
-----------------------------	-----------

<b>BIJLAGE C : PEILBUISGEGEVENS</b>	<b>32</b>
-------------------------------------	-----------

<b>COLOFON</b>	<b>33</b>
----------------	-----------

## 1 INLEIDING

De Kasteelgracht in Apeldoorn is een waterpartij rond de huizen gebouwd op het Kasteel in de wijk Woudhuis. De waterstanden in de watergang zijn, met name in droge perioden, lager dan wenselijk. Ook zijn er problemen geweest met de stuwen waarbij onderloopsheid<sup>1</sup> van de stuw is opgetreden. De bewoners, verenigd in de wijkraad, willen al lange tijd verandering in de situatie.

In 2017 heeft waterschap Vallei en Veluwe samen met de gemeente Apeldoorn en de bewoners mogelijke oplossingen uitgewerkt om de situatie te verbeteren. De maatregelkaart van deze overleggen is opgenomen in Bijlage A. Hierin zijn de volgende maatregelen opgenomen:

- vervangen stuw De Hovenlaan en stuw Kasteellaan;
- plaatsen gemaal bij stuw Lage Landen;
- onderzoek of automatiseren stuw Lupineweg garantie biedt de overstroming te voorkomen.

Dit rapport bevat de hydrologische uitwerkingen en analyses voor de gekozen oplossingen.

In het rapport wordt de hydrologische situatie beschreven en worden geregistreerde waterstanden geanalyseerd. Vervolgens worden de genoemde maatregelen geanalyseerd en uitgewerkt ten behoeve van het ontwerp.

In Figuur 1 is het watersysteem in de wijk Woudhuis weergegeven.

In deze rapportage worden de namen aangehouden zoals weergegeven in Figuur 1, daarnaast worden de namen overgenomen van de legger van waterschap Vallei en Veluwe (Ontwerp Legger IJsselvallei 2017, online beschikbaar). Hierin staan de volgende namen voor de waterpartijen en kunstwerken:

- Kasteelgracht (legger: Kasteelvijver);
- sloot Ravelijn voor de watergang langs het spoor;
- vijver Meerpaal, vijver Westkreek, vijver Middenkreek en vijver Oostkreek, (gezamenlijk ook wel aangeduid als 'De Kreken') voor de waterpartijen haaks op de sloot Ravelijn;
- stuw De Hovenlaan;
- stuw Kasteellaan;
- stuw Lupineweg;
- stuw Lage Landen (hier komt het gemaaltje, dus ook gemaal Lage Landen);
- duiker KDU 68107.

---

<sup>1</sup> Door een verschil in waterdruk aan weerszijde van een kunstwerk (bijvoorbeeld een stuw) kan er onder en langs de zijkanten een grondwaterstroming ontstaan. Deze stroming kan zo sterk worden dat gronddeeltjes worden meegenomen. Daardoor kunnen holle ruimten ontstaan, die de stabiliteit van de stuw in gevaar brengen. Wanneer een waterstroming langs de stuw ontstaat heet dit achterloopsheid, het verschijnsel dat een waterstroming onder de stuw ontstaat wordt onderloopsheid genoemd.

<http://www.watervragen.nl/water-abc?pid=60&sid=689:Onderloopsheid>

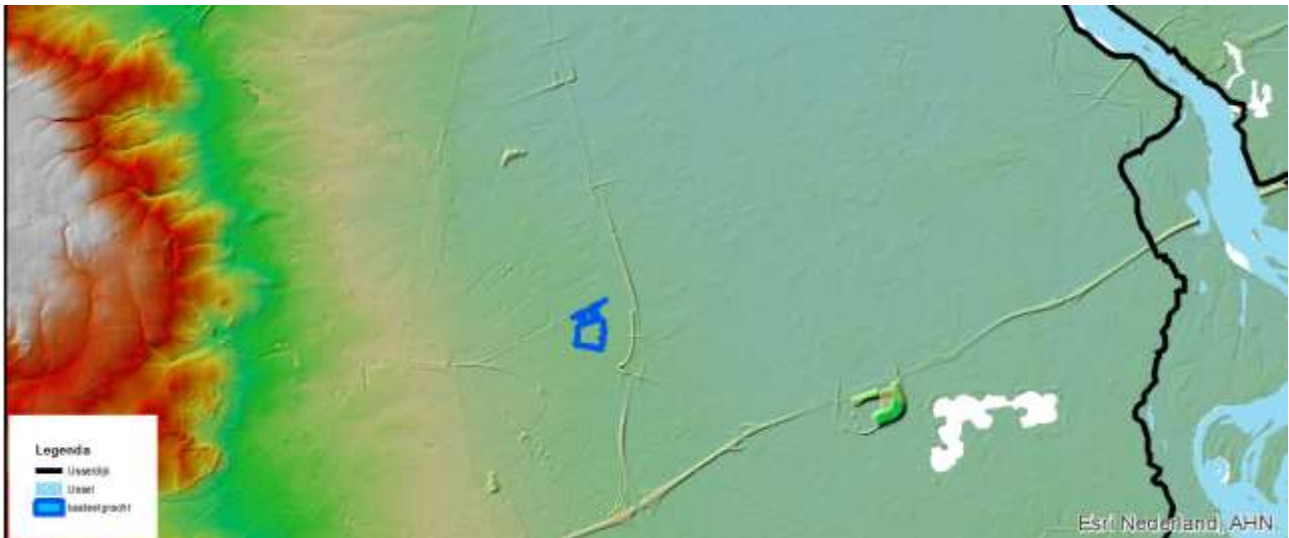


*Figuur 1. Ligging Kasteelgracht en met watersysteem en kunstwerken*

## 2 GEBIEDSBESCHRIJVING

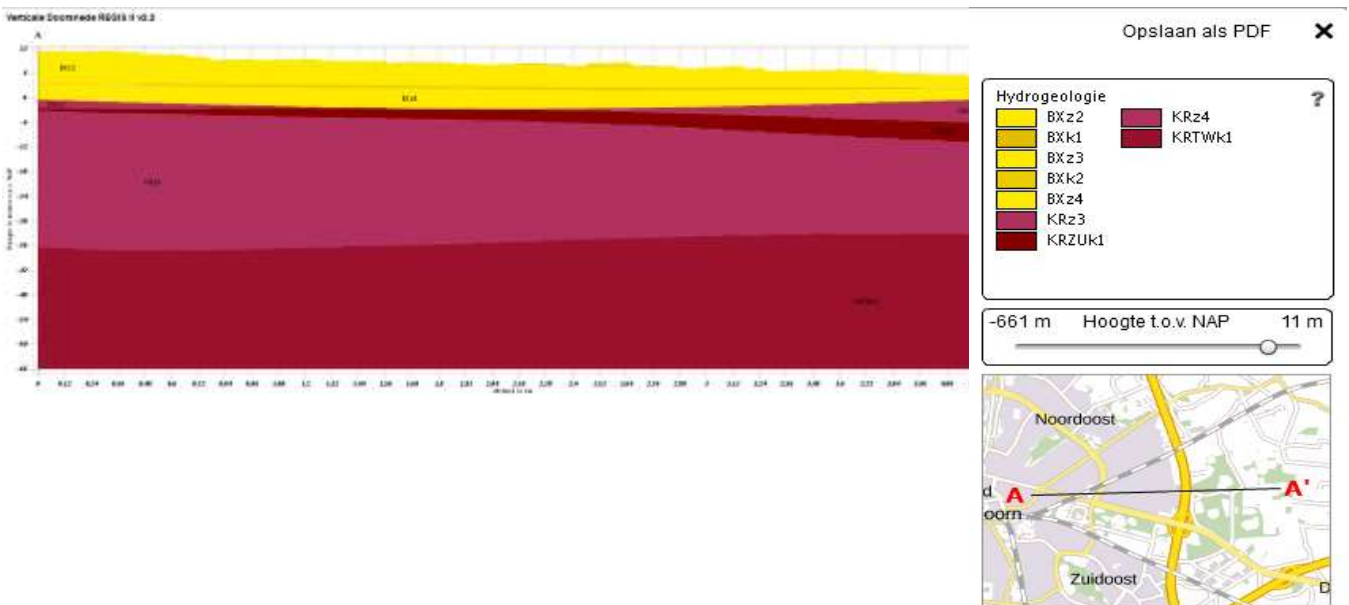
### 2.1 Ondergrond

De wijk Woudhuis ligt aan de oostzijde van Apeldoorn. Op de hoogtekartaart (Figuur 2) is te zien dat de locatie op de oostflank van de Veluwe ligt en afloopt in de richting van de IJsselvallei.



Figuur 2. Hoogtekartaart van de omgeving (<https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>)

De ondergrond op de locatie bestaat met name uit zandige afzettingen, op enige diepte komen kleilagen voor. Lokaal worden ook ondiepe veenlaagjes aangetroffen. Deze vormen echter geen continue laag waardoor de invloed op het grondwater beperkt is. In Figuur 3 is de doorsnede van de ondergrond op basis van het regionaal ondergrondmodel van TNO (REGIS) weergegeven.



Figuur 3. Doorsnede van de ondergrond op basis van REGIS II v 2.2

Van maaiveld naar de diepte komen achtereenvolgens de volgende afzettingen voor:

- vanaf maaiveld op +8,3 m +NAP tot +2,86 m +NAP, midden en fijnzandige afzetting van de Formatie van Boxtel;
- vanaf +2,86 m +NAP tot +2,19 m +NAP, kleiige afzetting van de Formatie van Boxtel;
- vanaf +2,19 m +NAP tot -2,68 m +NAP, midden en fijnzandige afzetting van de Formatie van Boxtel;
- vanaf -2,68 m +NAP tot -5,41 m +NAP, kleiige afzetting van de Formatie van Kreftenheije (laagpakket van Zutphen);
- vanaf -5,41 m +NAP tot -35,35 m +NAP, midden en grofzandige afzetting van de Formatie van Kreftenheije (laagpakket van Zutphen);
- vanaf -35 m +NAP kleiige afzetting van de formatie van Kreftenheije, laagpakket van Twello.



### 3 WATERSYSTEEM

Het watersysteem in het gebied bestaat uit de Kasteelgracht zelf en het afwaterende oppervlak dat erop uitkomt. Benedenstrooms watert de Kasteelgracht af via een duiker naar sloot Ravelijn.

De Kasteelgracht wordt gevoed door grondwater en de regenwaterafvoer van de omliggende wijk. Door de zandige ondergrond staat het oppervlaktewaterwater in direct contact met het grondwater.

In de Kasteelgracht staan drie stuwen, twee die het hoge pand op 6,9 m +NAP houden. Dit zijn stuw Lage Landen en stuw De Hovenlaan waarbij de laatste het pand op peil houdt. Stuw Lage Landen zal iets hoger staan en dient als scheiding. Aan de oostelijke zijde staat een stuw die het middelste pand op 6,5 m +NAP (stuw Kasteellaan) houdt. Alle stuwen zijn vaste stuwen in hout of staal. Het onderste pand staat middels een duiker met een diameter van 1 meter in verbinding met de sloot Ravelijn, die op een peil van 6 m +NAP gehouden wordt door de stuw bij de Lupineweg.

Daarnaast is er een overstort vanuit het riool aanwezig, deze overstort komt uit in de noordoosthoek van de Kasteelgracht.

De woonwijk is voorzien van ondergrondse drainage, de ligging is weergegeven in Figuur 4. Onder de figuur is de tekst uit het bestemmingsplan weergegeven waarin een en ander over de diepteligging is opgenomen.

De drainage in het gebied is niet onderhouden, maar loopt nog wel. De werking is zeer waarschijnlijk minder dan oorspronkelijk. Binnen de vijvers is de drainage dichtgezet, hier infiltreert het regenwater via de bodem en is geen sprake meer van versnelde drainage die uitstroomt op het oppervlaktewater. De precieze reden voor het dichtzetten is niet bekend, het gevolg van het dichtzetten is dat grondwater langer wordt vastgehouden in de bodem en de grondwaterstanden binnen de gracht hoger kunnen worden dan met werkende drainage het geval is.



Figuur 4. Ligging drainage in de woonwijk

**Grondwater (bestemmingsplan 2008)**

*Voordat de gebieden Osseveld Oost en Woudhuis bebouwd werden, kwamen in het gebied wintergrondwaterstanden voor die niet acceptabel waren. De grondwaterstand moest worden verlaagd door middel van het aanleggen van een vijversysteem en drainage. Op basis van een in 1981 verricht onderzoek door de Fugro zijn een aantal berekeningen uitgevoerd. Uitgangspunt daarbij was een vijverpeil van ongeveer 150 cm onder bestaand maaiveld. Het drainagesysteem is zodanig aangelegd dat het niet droog kan komen te staan, dit in verband met mogelijke ijzerafzettingen in de leidingen. Het drainagesysteem loost het grondwater op de vijvers. Gezien de van oorsprong aanwezige fluctuaties in het grondwater van ongeveer 1 m zal tijdens de zomermaanden geen grondwater door de drainage worden afgevoerd. De grondwaterstand in de winter wordt zodanig door de drainage afgetopt dat de ontwateringsnorm gehaald wordt.*

Op bestektekening 1162-1r is zichtbaar dat de drainage aan de zuidzijde van het kasteel op BOB<sup>2</sup> 6,6 m +NAP is aangelegd en dus inderdaad onder de grondwaterstand ligt. De hoogte van de uitstroom is niet eenduidig uit de tekening te halen, de drempel (in het zuidelijk deel van de wijk) ligt boven het waterpeil van het hoogste pand, maar dient wel voldoende drooglegging te borgen. De drainage stroomt via de Hemelwaterafvoer (HWA) in de vijver, deze ligt op basis van de tekening op ca. 7,7 m +NAP. De drooglegging is daarmee ongeveer de beoogde 100 cm en water kan niet vanuit de gracht de drainageleidingen inlopen.

---

<sup>2</sup> Binnen Onderkant Buis

### 3.1 Waterstanden en stijghoogtes

In de Kasteelgracht worden de waterstanden in het hoge pand geregistreerd. Daarnaast zijn in de omgeving peilbuizen geplaatst die de grondwaterstanden meten. In Figuur 5 zijn de peilbuizen met de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG<sup>3</sup>) gegeven en zijn de stuwnamen en peilen (in rood) aangegeven. Ook is aangegeven welke delen worden bedoeld met hoge, middelste en lage pand van de Kasteelgracht



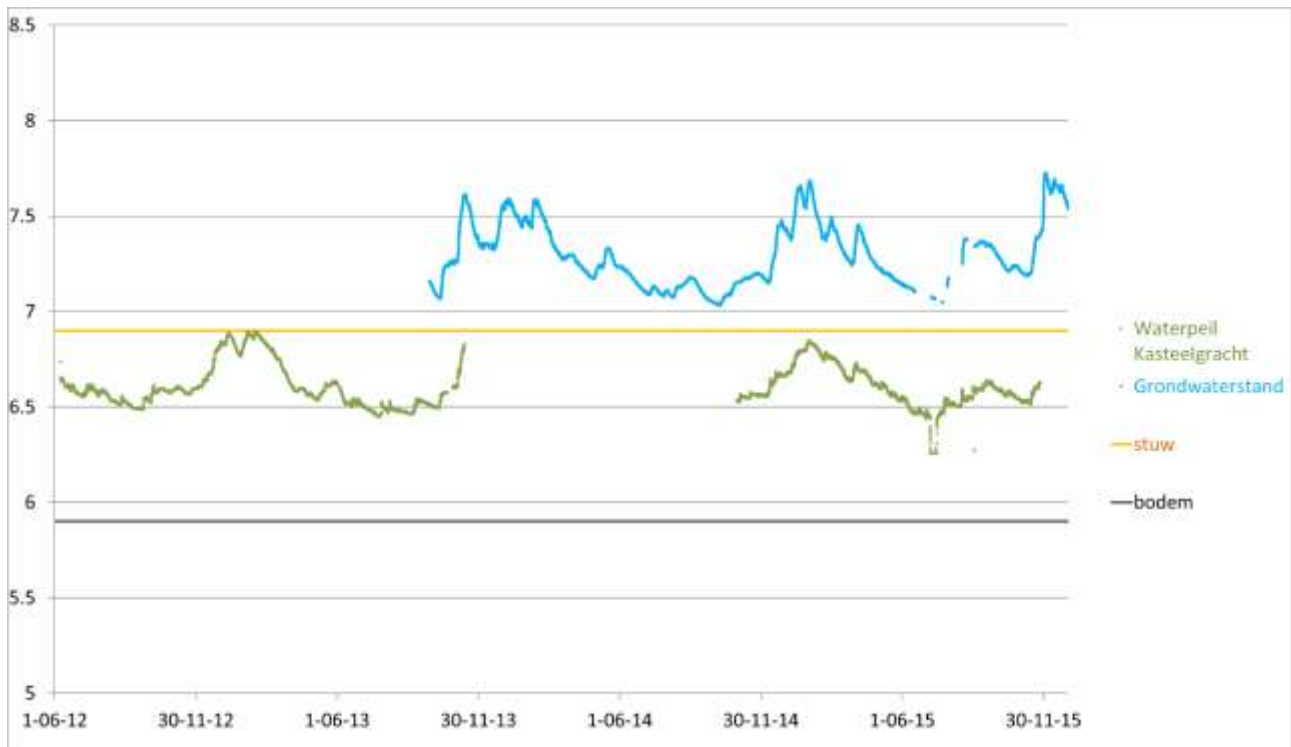
Figuur 5. Stuwpeilen en peilbuizen met GLG in de omgeving van de Kasteelgracht

De GxG's<sup>4</sup> van de peilbuizen zijn weergegeven in bijlage C. Peilbuis AP\_WOU\_SB\_005 en AP\_WOU\_SB\_006 die in de zuidwesthoek van het Kasteel staan, laten zien dat de GLG net bovenstrooms van de Kasteelgracht 7 m +NAP bedraagt en binnen het kasteel 6,5 m +NAP.

De waterstanden in de Kasteelgracht zijn geregistreerd gedurende een aantal perioden en zijn weergegeven in Figuur 6. Dit betreft de waterstand in het hoge pand van de Kasteelgracht. Zichtbaar is dat de waterstand in de winter stijgt tot circa 6,9 meter NAP en dat deze in de zomerperiode uitzakt tot 6,5 m +NAP. Dit is zowel de waterstand in het middelste pand als de GLG in peilbuis AP\_WOU\_SB\_005. In de grafiek is ook de grondwaterstand weergegeven van AP\_WOU\_SB\_006, ten zuidwesten en dus bovenstrooms van de Kasteelgracht. Hieruit volgt dat in de zuidwesthoek de grondwaterstand permanent hoger is en er daardoor permanent instroom is. De zwarte en oranje lijn geven respectievelijk de bodem- en de stuwhoogte weer. Er staat dus in de meetperiode altijd water in het hoge pand, maar altijd minder dan het beoogde stuwpeil.

<sup>3</sup> GLG: gemiddelde van de drie laagst gemeten grondwaterstanden gemeten op de 14<sup>de</sup> en de 28<sup>ste</sup> van de maand over het hydrologisch jaar (1 april – 31 maart) gemiddeld over een periode van minimaal acht jaar. De GLG is dus een gemiddelde waarde, de laagste grondwaterstand is dus lager zijn dan de GLG-waarde.

<sup>4</sup> GxG = verzamelnaam voor Gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG) de gemiddelden worden berekend met de methodiek beschreven in voetnoot 3.



Figuur 6. Waterstanden en grondwaterstanden in het hoge pand van de Kasteelgracht. Er is in een aantal verschillende periodes gemeten waardoor er hiaten in de reeks voorkomen.

De aangebrachte compartimentering van de Kasteelgracht is idealiter in overeenstemming met het verhang in het grondwater, op een zodanige wijze dat de waterstand in de peilvakken voldoende hoog blijft en er niet hele grote hoeveelheden (grond)water door het watersysteem worden afgevoerd. In realiteit is met name het hoge pand iets te groot en zijn de gecombineerde verliezen naar het grondwater en over de stuw waarschijnlijk groter dan de aanvulling in de zuidwesthoek. In het middelste en lage pand blijven de waterstanden behoorlijk op peil.

In voorgaand onderzoek (Waterpeil Kasteelgracht Woudhuis, Arcadis, 13 juni 2007) is geconcludeerd dat de grondwaterstanden in de omgeving iets gedaald zijn na aanleg van de wijk. Ook is bij waterschap Vallei en Veluwe bekend dat de grondwaterstanden in de omliggende wijken gedaald zijn na de aanleg van de wijk De Maten.

De gegevens van de peilbuizen in de wijk zelf waren in 2007 echter nog niet beschikbaar. De duur van de nieuwe meetreeksen is echter te kort om tijdreeksanalyses als in genoemd onderzoek mee uit te voeren. Het updaten van de destijds uitgevoerde analyses met nieuwe gegevens valt tevens buiten de scope van dit onderzoek.

In het kader van dit onderzoek zijn op 24-1-2018 hoogtemetingen gedaan van de stuwen in de Kasteelgracht (bijlage D). De gemeten stuwhoogtes en de waterstanden op de verschillende plekken zijn opgenomen in onderstaande tabel:

Tabel 1: inmeting kasteelgracht d.d. 24-1-2018

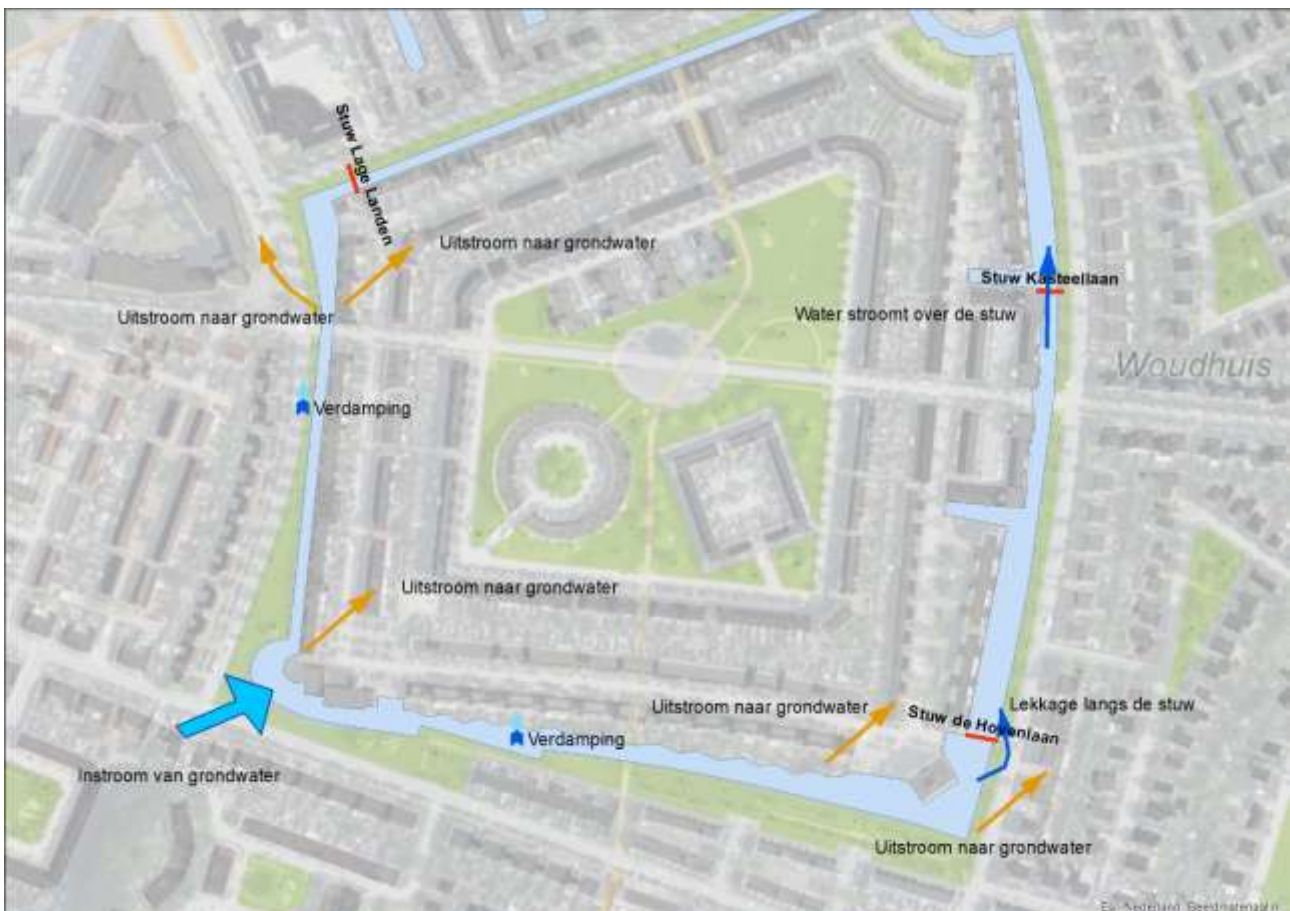
Naam	Stuwhoogte m NAP	Waterstand boven m NAP	Waterstand beneden m NAP
Stuw Lage Landen	6,97	6,81	6,10
Stuw De Hovenlaan	6,94	6,82	6,51
Stuw Kasteellaan	6,49	6,51	6,13
Stuw Lupineweg	6,07	6,12	5,80

## 3.2 Waterstromen

Om een inschatting te maken van de hoeveelheden water die invloed hebben op de waterstanden worden achtereenvolgens de volgende waterstromen behandeld:

- interactie met het grondwater;
- uitstroom over de stuw;
- lekkage langs de stuw;
- verdamping.

De inschatting van de waterstromen in  $m^3$  per dag is nodig om bij het ontwerp de benodigde aanvulling met het gemaal te kunnen bepalen. In Figuur 7 zijn de waterstromen in en uit het hoge pand schematisch weergegeven (N.B. De waterstromen door neerslag en de drainage zijn niet opgenomen. De nadruk ligt immers bij de situatie als er geen regen valt.)



Figuur 7. Waterstromen in en uit het hoge pand van de Kasteelgracht

### 3.2.1 Interactie met het grondwater

De grondwaterstanden direct ten zuidwesten van de Kasteelgracht zijn hoger dan de waterstand in de Kasteelgracht (Figuur 6). De grondwaterstand binnen het Kasteel is gelijk of lager, en de grondwaterstand bij de stuwen is ook lager dan het waterpeil.

Er is hierdoor sprake van instroom van grondwater vanuit de zuidwesthoek, en tegelijkertijd uitstroom van water naar de bodem aan de binnenzijde van de Kasteelgracht en aan de uiteinden. De hoeveelheden van deze waterstromen zijn zonder aanvullende gegevens of modelberekeningen niet te bepalen. Echter, aangezien het peil in het hoge pand uitzakt, kunnen we wel stellen dat de uitstroom groter is dan de instroom.

### 3.2.2 Uitstroom over de stuw

Van de stuw Kasteellaan, in het middelste pand, is bekend dat deze altijd loopt. Ook de stuw bij de Lupineweg loopt nagenoeg altijd. Er zijn geen gegevens van de waterpeilen van deze stuwen gegeven waardoor een analyse van de afvoeren in de tijd niet mogelijk is.

Voor een inschatting van de debieten die over deze stuwen stromen, is het nodig de overstortende straal (waterhoogte boven de stuw) te kennen. Afgezien van de peilen in het bovenste pand (die niet boven de stuwhoogte van +6,9 m +NAP uitkomen) zijn er geen meetgegevens van de waterstanden waarmee de stroming kan worden berekend.

Tijdens de meting van 24 januari 2018 is een 2 cm hoge waterlaag over de stuw gemeten. Hieruit is het debiet over de stuw in het middelste pand berekend op 10 l/s. Dit komt overeen met 864 m<sup>3</sup>/dag ofwel 20 cm waterschijf in het middelste pand. Als dit water volledig uit het bovenste pand afkomstig is, betreft dit een waterlaag van 4 cm.

De stuw langs de Lupineweg is een stuk breder dan de stuwen in de Kasteelgracht. Bij 1 cm overstortende straal is het volume hier 11 l/s, bij een overstort van 2 cm bedraagt het volume al ca. 30 l/s. De hoeveelheid komt echter ook van een groter gebied en heeft nagenoeg geen directe relatie met de waterstand in het bovenste pand.

### 3.2.3 Lekkage langs de stuw

In eerdere rapportages (Arcadis 2017, Fugro) is uitgebreid stilgestaan bij lekkage van water langs de stuw De Hovenlaan via de bodem (onderloopseheid of achterloopseheid). De verliezen uit het hoge pand door lekkage langs deze stuw zijn in een eerdere rapportage geschat op 15 m<sup>3</sup>/dag bij de stuw naar het middelste pand.

Bij een gelijke lekkage langs beide stuwen levert dat een daling van 30 m<sup>3</sup> op een oppervlakte van 20.870 m<sup>2</sup> wat overeenkomt met 1,4 mm.

### 3.2.4 Verdamping

Voor de schatting van de verliezen door verdamping is gebruik gemaakt van gegevens van het KNMI.

*“De referentie-gewasverdamping hangt nauw samen met de beschikbare hoeveelheid zon en is daarmee in de zomermaanden belangrijk hoger dan gedurende de winter. In De Bilt verdampt er door het referentie-gewas normaal ongeveer 540 mm gedurende een heel jaar. Over de gehele maand januari bedraagt deze circa 8 mm tegen omstreeks 90 mm gedurende de gehele maand juli. Van jaar tot jaar varieert deze grootheid weinig; gedurende de jaren 1961 t/m 1990 was de hoogste jaarsom 629 mm en de laagste 497 mm. Aan het begin van het groeiseizoen (begin april) verdampt er gemiddeld ongeveer 1,5 mm per dag. Naarmate het groeiseizoen vordert, loopt de verdamping op tot circa 3 mm per dag begin juli. Daarna daalt de verdamping weer.” ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl))*

Op de Kasteelgracht heeft de verdamping dus een geringe invloed. Op warme en zonnige dagen in de maand juli zou het peil ten gevolge van de verdamping 3 mm per dag kunnen dalen. En in de gehele maand juli ca. 10 cm.

### 3.2.5 Gemeten verlaging

Op basis van de peilregistraties (Figuur 6) is ter verificatie de maximale dagverandering bepaald. De periode in 2015 waarin de waterstand op 6,25 m +NAP is geregistreerd, is hierbij buiten beschouwing gelaten. De maximale daling in waterstand in 24 uur is 0,039 m tussen 25-7-2015 20:00 en 26-7-2015 20:00. N.B. De dagsom van de neerslag van 25-7-2015 (geregistreerd op 26-7-2015 8:00) bedraagt 26 mm. Voorafgaand aan deze sterke daling heeft het dus flink geregend.

### 3.2.6 Samenvatting waterverliezen

In onderstaande tabel zijn de verliezen uit het hoge pand samengevat en toegelicht.

Tabel 2. Samenvatting waterstromen uit het hoge pand van de Kasteelgracht

Proces	Verlaging waterstand in mm/dag	Toelichting
Verdamping	3 mm	
Lekkage langs stuw	1,4 mm	
Over stuw	0 mm	Waterstand komt nooit hoger dan de stuw
Gemeten verlaging	39 mm	
Grondwater	Ca. 35 – 40 mm	Op basis van het verschil tussen de gemeten daling en de overige stromen

### 3.3 Overstort

Bij de Kasteelgracht is een riool overstort aanwezig. Bij hevige regen zorgt de overstort ervoor dat water vanuit de riolering op het oppervlaktewater geloosd kan worden om te voorkomen dat het water op andere plekken zich een weg uit het riool zoekt, zoals toiletaansluitingen in de woonhuizen. De overstort is dus een oplossing om overlast te voorkomen. De kwaliteit van dit water is voor normale omstandigheden ongeschikt voor oppervlaktewater, echter aangezien dit water uit de overstort alleen in de Kasteelgracht terecht komt als het hard regent, wordt het verdund en snel afgevoerd waardoor het geen problemen met de waterkwaliteit oplevert.

Van de overstort zijn gegevens opgevraagd uit het gemeentelijk rioleringsmodel. Hieruit volgen de gegevens zoals opgenomen in onderstaande tabel.

De overstortfrequentie op basis van de uitgevoerde berekeningen bedraagt circa twee maal per jaar. De hoeveelheden hangen af van de intensiteit van de regenbuien. Om de hoeveelheden te bepalen, wordt gerekend met regenbuien met verschillende intensiteit en duur. Een zwaardere bui komt minder vaak voor, bijvoorbeeld eens in de tien jaar, dit wordt met T=10 aangeduid, een T=1 bui komt dus gemiddeld een keer per jaar voor<sup>5</sup>.

Tabel 3. Overstortvolumes bij verschillende buien

Bui	Overstortvolume (m <sup>3</sup> )
T=1	1.913
T=2	4.694
T=5	10.403
T=10	15.209

<sup>5</sup> “De vier buien zijn geselecteerd uit de buien van de 10-jarige reeks. Deze vier buien uit een 25-jarige reeks kunnen ook weer een andere duur en totaalvolume hebben. De T=10 is de grootste bui, de T=5 de tweede bui, de T=2 de vijfde bui en de T=1 de tiende bui uit de gehele periode. Dit zijn de totaal overstortende hoeveelheden in m<sup>3</sup>. Deze buien zijn niet vergelijkbaar met de neerslaggebeurtenissen uit de Leidraad, bui 8 met een duur van 60 min. en 19,8 mm regen kan heel anders zijn dan de T=2 bui.”

Indien deze hoeveelheid op het benedenstroomse pand van de Kasteelgracht overstort, stijgt het peil. Door de duiker kan dit water vervolgens naar de waterloop langs het spoor lopen. In hoofdstuk 7 is onderzocht wat deze volumes betekenen voor het peil in de Kasteelgracht en sloot Ravelijn.



## 4 ANALYSE

De vijvers van de Kasteelgracht zijn aangelegd op een ontwatering van 1,5 m onder maaiveld, dit komt ongeveer overeen met 6,9-6,0 m +NAP. Daarnaast is er drainage aangebracht om hoge grondwaterstanden te voorkomen.

De compartimentering van de Kasteelgracht sluit op grote lijnen aan bij het verhang in grondwater, zoals dat in de peilbuizen is terug te zien, waarbij het hoge pand gelijk ligt aan de hoogste GLG ten zuidwesten van de Kasteelgracht.

Doordat het verhang zuidwest noordoost is, betekent dit dat aan weerszijden van dit punt de grondwaterstanden lager zijn. De verliezen langs de stuwen en de infiltratie naar de ondergrond zijn groter dan de aanvulling door kwel. Hierdoor is het niet mogelijk gebleken de waterstanden in het hoge pand op peil te houden.

Wat opvalt in de gegevens is dat de hoge grondwaterstanden waarover in het bestemmingplan wordt gesproken niet in de peilbuisgegevens aanwezig zijn. Ook aftoppen van hoge grondwaterstanden door de drainage is in de peilbuisreeksen niet zichtbaar aanwezig. In de relatief korte periode waarin de grondwaterstanden zijn vastgelegd, kan dit komen door relatief droge jaren. Een andere mogelijkheid is dat de aanleg van de Kasteelgracht een zodanig drainerend effect heeft, dat de grondwaterstanden relatief laag blijven.

De afvoer van het watersysteem wordt beperkt door de duiker tussen de Kasteelgracht en de sloot Ravelijn. Bij extreme neerslag kan het peil in de Kasteelgracht zo hoog oplopen dat de verlaagde parkeerplaatsen in de noordoosthoek onder water lopen. Voor zover bekend is dit tweemaal voorgekomen sinds de bouw van de wijk begin jaren 90 van de vorige eeuw. Dit is tweemaal in circa 25 jaar. Een dergelijke gebeurtenis is dus met recht extreem te noemen.

De maatregelen om het water in de Kasteelgracht op peil te houden en de kwaliteit te verbeteren, zijn tot stand gekomen in overleg met gemeente, waterschap en vertegenwoordiging uit de wijkraad. Andere oplossingen zijn denkbaar en ook besproken. In deze rapportage wordt daar verder niet op ingegaan en worden enkel de gekozen maatregelen geanalyseerd.

### 4.1 Analyse maatregelen

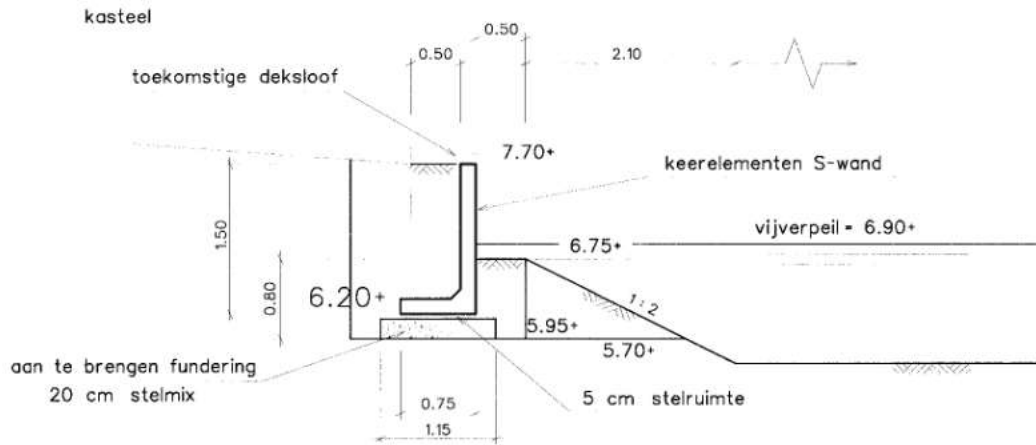
#### 4.1.1 Vervanging en verplaatsing stuw De Hovenlaan

Door de eventuele verplaatsing van stuw De Hovenlaan wordt het hoge pand kleiner. De verliezen worden daarmee navenant minder en het gewijzigde deel krijgt een peil dat meer in overeenstemming is met de grondwaterstand. In combinatie met beleming van de bodem van de Kasteelgracht voor de stuw is een aanzienlijke beperking van verlies mogelijk. Het is echter geen garantie voor een stabiel peil in het hoge pand. Het uitzakken zal langzamer zijn, maar wordt niet gestopt. De gemiddeld laagste grondwaterstanden in de zuidwesthoek zijn nagenoeg gelijk aan de waterstand van 6,9 m wat betekent dat deze ook met enige regelmaat onder deze stand uitzakken. Verplaatsing is dus geen garantie voor het op peil houden van de Kasteelgracht.

Aandachtspunten die de keuze voor verplaatsing beïnvloeden, zijn:

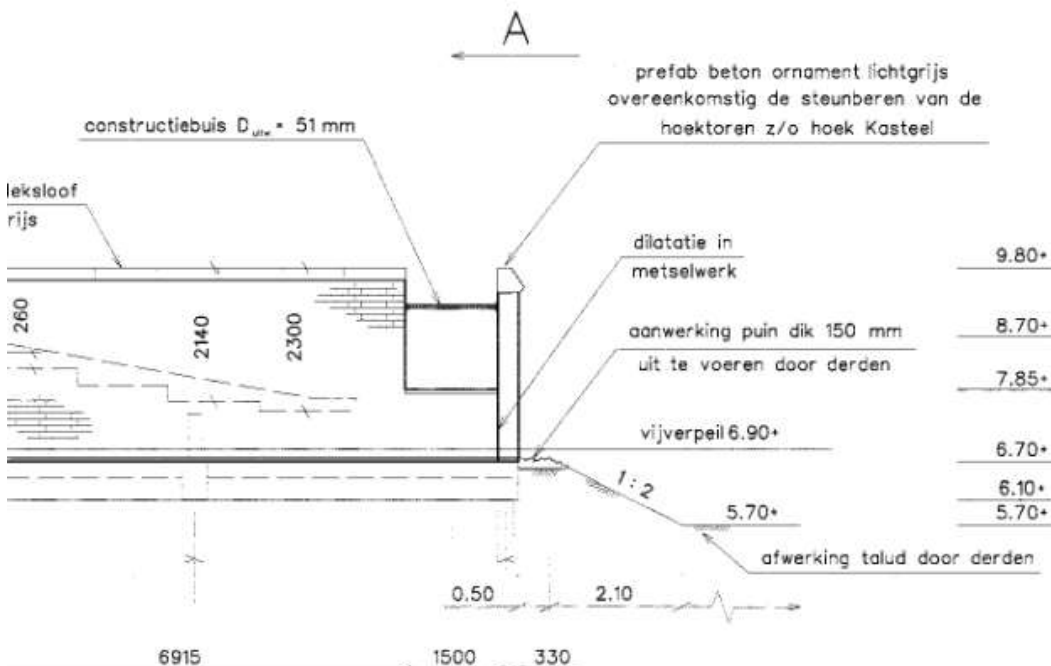
- Diepte van fundering: door verplaatsing krijgt een deel van het huidige hoge pand een peil dat 40 centimeter lager ligt. Hierdoor komt mogelijk een deel van de fundering bloot te liggen. Daarnaast is in het verleden een deel van het terras uitgespoeld, een lager peil kan het risico op een dergelijke gebeurtenis negatief beïnvloeden. Daarnaast is in het verleden een deel van het terras uitgespoeld, een lager peil kan het risico op een dergelijke gebeurtenis mogelijk negatief beïnvloeden.
- Aanwezigheid van stortsteen: bij de huidige stuw is stortsteen (mogelijk ook puin) gestort, dit kan de werkzaamheden voor de vervanging bemoeilijken.

Op de bouwtekeningen is te zien dat de fundering van de S-wand<sup>6</sup> op 6,2 m +NAP staat wat op zich voldoende zou zijn om bij een peil van 6,5 m +NAP nog onder water te staan. Echter, in Figuur 8 lijkt het erop dat het metselwerk van de keermuur vanaf 6,7 m +NAP is aangebracht waardoor bij een peil van 6,5 m +NAP de fundering permanent zichtbaar wordt.



Figuur 8. Doorsnede van de fundering van de S-wand (950XIII-130b.tif)

Er zijn geen doorsnedes beschikbaar van de zuidoosthoek van het Kasteel waardoor het niet zeker is of deze dieptes gelijk zijn aan die in Figuur 9, maar dit is wel waarschijnlijk.



Figuur 9. Doorsnede gemetselde keermuur zuidwesthoek (950-148.tif)

Verplaatsing van de stuw leidt dus waarschijnlijk tot het blootleggen van de bovenkant van de fundering. Daarnaast zal het risico op uitspoeling van grond onder de wand door moeten worden beoordeeld als het peil in dit gedeelte van de gracht wordt verlaagd.

Voor het plaatsen van de stuw, zowel bij vervangen als bij vervanging op een andere plek, zal de vijver ter plaatse van de stuw moeten worden afgedamd en moeten worden drooggezet om de stuw te plaatsen. Het verwijderen van eerder aangebrachte constructies kan dan eenvoudig met een kraan gebeuren.

<sup>6</sup>De S-wand is de golvende betonnen muur aan de zuidzijde die te tuinen begrenst

**Samenvattend:**

- Verplaatsing is geen garantie voor het in stand houden van het peil.
- Verplaatsen vergroot het risico op uitspoeling van terras en van de onderzijde van funderingen.
- Het is waarschijnlijk dat een lager peil benedenstrooms van de stuw de fundering zichtbaar maakt.
- De aanwezigheid van stortsteen vormt geen belemmering voor het herplaatsen van de stuw.

De stuw wordt op de huidige locatie vervangen.

### 4.1.2 Vervanging stuw Kasteellaan

Voor de stuw Kasteellaan is er geen aanleiding om de stuw te verplaatsen. Deze stuw wordt op dezelfde locatie met gelijke afmetingen herplaatst. De uitvoering en de materiaalkeuze worden gelijk aan de stuw de Hovenlaan.

### 4.1.3 Compartimentering lage pand

Bij de maatregelen is ook de vraag opgekomen of het peil in het lage pand geheel of gedeeltelijk kan worden verhoogd. Verhoging van het peil betekent afname in berging voor neerslag en dus een hoger risico op overstroming. Extra compartimentering betekent daarnaast ook minder buffer voor terug te pompen water, minder berging bij neerslag en met name bij de overstort en het betekent een grotere investering en meer beheer en onderhoud. Aangezien de voordelen van compartimentering niet opwegen tegen de nadelen blijft de huidige indeling gehandhaafd.

### 4.1.4 Aanvullen met gemaal

Het aanvullen van het hoge pand middels een pomp is effectief om het pand op peil te houden. Als het water uit de lagere panden wordt gepompt, wordt op die manier het verlies gecompenseerd. Het is uiteraard wel een kunstmatig systeem dat energie verbruikt en onderhoud behoeft. In de droge zomerperiode zal de waterkwaliteit een belangrijk aandachtspunt zijn. Ook het in stand houden van het peil benedenstrooms is een aandachtspunt. Het gebruik van grondwater druist in tegen het principe van duurzaam grondwatergebruik. Omdat het relatief ondiep grondwater betreft is het deels echter ook water, dat vanuit de gracht geïnfiltreerd is, dat wordt opgepompt.

Vanwege duurzaam grondwatergebruik is de mogelijkheid voor het terugpompen van water uit het lage pand wenselijk. Vanwege de waterkwaliteit en lage waterstanden is de mogelijkheid voor grondwater wenselijk.

De gekozen oplossing bestaat uit een systeem dat in beide mogelijkheden voorziet en dus bestaat uit twee pompen.

### 4.1.5 Automatische stuw

Het plaatsen van een automatische stuw creëert de mogelijkheid om de waterstand in geval van extreme neerslag te laten zakken en zo overstroming van de parkeerplaats te voorkomen of te verkorten. Dit hangt af van de snelheid waarmee het watersysteem reageert, omdat het niet de vijver direct boven de stuw betreft maar de Kasteelgracht waar het probleem zich voordoet. Als het mogelijk is de overstroming van de parkeerplaats op deze wijze te voorkomen, zal dit circa een keer in de 12 jaar nodig zijn.

Een ander aspect is dat het licht verhogen van de stuw een compensatie kan zijn voor het terugpompen van water naar het hoge pand. Anderzijds, door te pompen wordt het peil in het benedenstroomse pand iets lager wat de afvoer over de stuw ook beperkt.

## 5 STUW VERVANGING

Bij het vervangen van de stuwen wordt een ontwerp afgeleid van de stuw Lage Landen die in de noordwesthoek is geplaatst. Deze stuw is vervangen in 2015 en voldoet sindsdien goed. Voor de materiaalkeuze van het ontwerp wordt rekening gehouden met duurzaamheid (Aanpak Duurzaam GWW<sup>7</sup>) en zodoende zoveel mogelijk gekozen voor herbruikbaarheid van de materialen.

Bij het vervangen van de stuw De Hovenlaan op de huidige locatie dient rekening gehouden te worden met de in het verleden uitgevoerde werkzaamheden:

- 1997, bij werkzaamheden is terras van Kasteel nr. 200 verzakt;
- 1998, lekkage bij nr. 200, er zijn damwandplanken langs de gevel geplaatst en er is onderwaterbeton tussen de kade en de damwand aangebracht. Tevens beton gestort tegen de kade aan de voorzijde;
- 2000, aan de voorzijde van het onderwaterbeton is zand aangetroffen.

Fugro heeft de problemen geanalyseerd en concludeert dat er vermoedelijk sprake is van achterloopsheid van de damwand door eerdere uitspoeling van materiaal van onder de funderingsbalk. In de rapportage worden de oplossingen uitgewerkt met een damwand (tot minimaal 3,9 m +NAP, minimaal 6 m langs de kade en aansluitend op de stuw) en een flexibel filterdoek. Deze laatste optie is volgens de rapportage als voorkeur gekozen.

Het ontwerp van de constructie bestaat uit een 6 meter brede strook geotextiel (filterdoek met porie 0,4 mm) die zowel boven- als benedenstrooms van de stuw aangebracht wordt. Het geotextiel wordt afgedekt met 0,3 tot 0,5 m steenbestorting, en is doorgezet tot boven de funderingsdiepte.

In de rapportage is aangegeven dat het eerder aangebrachte onderwaterbeton moet worden verwijderd.

Voor beide te vervangen stuwen geldt dat om de stuw te kunnen plaatsen, de vijver ter plaatse van de stuw zal moeten worden afgedamd en moeten worden drooggezet. Het verwijderen van eerder aangebrachte constructies kan dan eenvoudig met een kraan gebeuren.

Bij het droogleggen van de vijvers moet er aandacht zijn voor het risico op uitspoeling van onder de terrassen. Bij uitvoering in een droge periode is dit risico waarschijnlijk minimaal doordat de grondwaterstanden laag zijn. Vissen die eventueel binnen het afgedamde deel aanwezig zijn, zullen worden verplaatst naar dat deel van de vijver waar nog wel water staat.

Bovenstrooms van de stuw zal de bodem en de taluds van de watergang met leem (of een vergelijkbaar slecht doorlatend materiaal) worden afgedicht om het uitzakken van het peil te verminderen.

De afmetingen van de nieuwe stuw kunnen gelijk blijven aan de bestaande stuw.

### Samenvatting stuw vervangen en verplaatsing

Stuw verplaatsen	Stuw vervangen
Peilvak wordt kleiner waardoor verlies minder wordt	Peilen sluiten aan bij ontwerp
Onderzoek nodig naar funderingsdiepte	
Vergroot risico op onder-/achterloopsheid bij terras en fundering door groter peilverschil	Extra werk door verwijderen eerdere maatregelen

- De stuwen Kasteellaan en De Hovenlaan kunnen het beste op de huidige locatie vervangen worden.
- De watergang bovenstrooms (met name bij stuw De Hovenlaan) worden afgedicht met leem of een vergelijkbaar materiaal om uitzakken van de waterstand te beperken.

<sup>7</sup> De Aanpak Duurzaam GWW is een initiatief van een sectorbrede samenwerking tussen marktpartijen (opdrachtnemers), overheidsopdrachtgevers en kennisinstellingen in de GWW-sector. Deze partijen hebben de Green Deal Duurzaam GWW ondertekend en hebben zich hiermee verbonden aan het gebruiken van de Aanpak Duurzaam GWW als dé methodiek om tot duurzame plannen, projecten en uitvoering in de GWW-sector te komen. Het doel is dat in 2020 duurzaamheid een integraal onderdeel is van alle spoor-, grond-, water- en wegenbouwprojecten (duurzaamheid is 'business as usual').

- De stuwen krijgen gelijke dimensies als de huidige stuwen, voor de uitvoering wordt zoveel mogelijk voor hergebruikte of herbruikbare materialen gekozen.

## 6 GEMAAL

Een van de mogelijkheden om het hoge peilvak op peil te houden, is het plaatsen van een gemaal. Dit kan gebruikmaken van water uit het lage pand, of van grondwater. Vanwege het scheiden van de verschillende kwaliteiten water dienen deze systemen gescheiden te zijn en moeten twee pompen in het gemaal geplaatst worden, een voor grondwater en een voor oppervlaktewater.

De pompen moeten groot genoeg zijn om de verliezen uit het pand door infiltratie en verdamping aan te vullen.

Om een pomp aan te sturen, is een meetbare verandering noodzakelijk van 2 à 3 cm, bij een te kleine instelling zal het mechanisme constant aan en uit springen. Uitgaande van 5 cm peilaanvulling zal een pomp  $0,05 \times 10171 = 508 \text{ m}^3$  moeten aanvullen. In 24 uur bedraagt het pompdebiet in dat geval  $21 \text{ m}^3/\text{uur}$ . Indien deze waterhoeveelheid uit het lage pand gehaald wordt, is dit een waterschijf van 0,024 m.

Het water in het lage pand wordt in de huidige situatie aangevuld met zo'n  $854 \text{ m}^3/\text{dag}$ . En er verdwijnt een veelvoud daarvan over de stuw lupine weg. Het aanvullen van water uit het lage pand naar het hoge pand heeft in dat geval nagenoeg geen invloed op het peil, een deel van het water dat nu uit het pand verdwijnt zal worden rondgepompt. In die situaties dat de waterstand onder het peil van de stuw Lupineweg komt, wordt aanbevolen over te schakelen naar grondwater om te voorkomen dat de peilen nog verder uitzakken.

Daarnaast zal in de praktijk de instelling van het gemaal moeten worden afgeregeld, bijvoorbeeld als op basis van de waterkwaliteit extra doorspoeling wenselijk is kan worden overgeschakeld naar grondwater.

Omdat het uitzakken met name in de zomer speelt en er ook in het lage pand dan sprake kan zijn van verlaagde waterstanden is het alternatief om grondwater voor de aanvulling te gebruiken. Dit heeft daarnaast als voordeel dat er enige aanvoer van vers water is wat de doorstroom en de waterkwaliteit ten goede komt.

Op basis van de verdampingsgegevens, de eerder gerapporteerde berekening van de wegzijging en de maximale peilverandering is de dimensionering van de pomp voldoende om de peildaling in 24 uur te compenseren.

## 6.1 regelgeving

Voor het onttrekken van grondwater en het lozen ervan op een watergang is een vergunning nodig. De grenzen waaronder geen vergunning voor de grondwateronttrekking nodig is zijn weergegeven in onderstaande tabel:

Doel van de onttrekking	Grenzen waaronder geen vergunning nodig is
<b>Overige onttrekkingen die niet in andere algemene regels zijn verwoord</b>	Onttrekking <10 m <sup>3</sup> /uur of Onttrekking <35 m <sup>3</sup> /uur en <12.000 m <sup>3</sup> /jaar

Op basis van bovenstaande moet voor de grondwaterpomp een vergunning worden aangevraagd als deze meer dan 24 dagen (12.000m<sup>3</sup> / 504m<sup>3</sup> per dag) wordt ingezet. Als minder dan 24 dagen wordt gepompt kan met een melding worden volstaan.

Voor het lozen van het water gelden de onderstaande regels:

Besluit lozen buiten inrichting:

Lozingsroute	Eisen aan de lozing naast de zorgplicht	Meldingstermijn afhankelijk van de duur van de lozing		
		< 48 uur	< 8 weken	Langer
Oppervlaktewater	Geen visuele verontreiniging < 50 mg onopgelost per liter	Geen	5 dagen vooraf	4 weken voor

Naast de melding lozen buiten inrichting geldt voor de hoeveelheid een grens van 70m<sup>3</sup>/uur. Tevens is belasting verschuldigd indien de lozing meer dan 12.000m<sup>3</sup>/jaar bedraagt.

Daarnaast dient een melding lozing buiten inrichting worden gedaan en zal de hoeveelheid verpompt water geregistreerd moeten worden, zowel voor de grondwaterpomp voor de vergunning/ melding als voor de lozing in verband met de belasting.

## 6.2 Diepte en dimensionering grondwaterpomp

Op basis van de bodemopbouw in REGIS bestaat de bovenste 10 meter uit zand en ligt er op -2,5 m +NAP een kleilaag. Bij een grondwaterstand (GLG) van ca. 6,5 m +NAP is er 9 meter watervoerende laag beschikbaar.

Voor een duurzame grondwateronttrekking is het van belang dat het filter voldoende doorstroombaar oppervlak heeft, zodat de snelheid van het water in het filter niet te groot wordt. Een te grote snelheid leidt tot verstopping van het filter.

Als ontwerpnorm wordt de volgende formule gebruikt:

$$V_{ont} = \frac{k}{12}$$

met:

- k = doorlatendheid in m/dag;
- V<sub>ont</sub> = snelheid boorgatwand in m/h.

De bodemparameters zijn opgevraagd uit de REGIS II-database.

Tabel 4. Bodemparameters volgens REGIS II.1

Naam	Top (m t.o.v. NAP)	Basis (m t.o.v. NAP)	kD (m <sup>2</sup> /dag)	kh (m/dag)	c (dagen)
------	--------------------	----------------------	--------------------------	------------	-----------

Formatie van Boxtel klei	8.49	8		3.3
Formatie van Boxtel zand	8	2.97	110	23
Formatie van Boxtel klei	2.97	0.12		220
Formatie van Boxtel zand	0.12	-3.17	91	28
Formatie van Kreftenheije laagpakket Zutphen klei	-3.17	-5.43		180
Formatie van Kreftenheije zand	-5.43	-36.21	840	27

Bij een K-waarde van 23 m/dag volgt een toelaatbare snelheid van 1,9 m/h. Bij een debiet van 21 m<sup>3</sup>/uur is een filteroppervlak van ca. 11 m<sup>2</sup> noodzakelijk. Om dit oppervlak in de bovenste zandlaag te realiseren, is een boring met een diameter van 400 mm noodzakelijk.

Bovendien laten de boringen die in DINO beschikbaar zijn ook veenlagen zien tussen de 4,5 en de 5 m +NAP waardoor het beschikbare oppervlak verder afneemt.

Om de bedrijfszekerheid van het systeem te garanderen, kan de grondwateronttrekking ook in het zandpakket tussen -5 m +NAP en -35 m +NAP geplaatst worden. Hiervoor wordt een boorgatdiameter van 200 mm en een filterlengte van 15 meter aanbevolen.

Voor de pomp wordt een onderwaterpomp gebruikt. Ter illustratie zijn onderstaand de eigenschappen van een dergelijke pomp opgenomen:

Tabel 5. Eigenschappen onderwaterpomp

Afmetingen	4" diameter / 75 cm lengte	
Maximaal benodigd debiet	21 m <sup>3</sup> /uur (werkelijk maximum afhankelijk van fabrikant en type)	
Opgenomen vermogen	1,1 KW / 380 V	
Geluidsproductie	< 70 dB (stofzuiger) geluidsproductie	

De plaats van het gemaal zal bij stuw Lage Landen moeten zijn, omdat zowel grond- als oppervlaktewater kan worden gebruikt.

## 6.3 Grondwaterkwaliteit

Het ondiepe grondwater zal naar verwachting niet volledig zuurstofloos zijn, waarbij het water uit het diepere pakket vrijwel zeker zuurstofloos zal zijn. Naar verwachting zal in het grondwater ijzer zijn opgelost. Gegevens van de waterkwaliteit van het grondwater zijn niet beschikbaar. Aanbevolen wordt om in alle gevallen een beluchtingssysteem te gebruiken voordat water in de vijvers wordt geloosd.



## 6.4 Diepte en dimensionering oppervlaktewaterpomp

De oppervlaktewaterpomp zal een gelijke pompcapaciteit krijgen als de grondwaterpomp, namelijk minimaal 21 m<sup>3</sup>/dag. De oppervlaktewaterpomp zal de aanzuiging onder water krijgen en ook de uitstroom zal zo worden uitgevoerd dat er geen sprake is van 'klateren' van water. Aangezien het oppervlaktewater zuurstofhoudend is, is beluchting geen noodzaak, zowel de instroom als de uitstroom kunnen onder water worden aangebracht.

Het gemaal zal op een goede manier moeten worden ingepast in de omgeving, bij voorkeur zoveel mogelijk ondergronds.

## Samenvatting pomp

### Grondwater

Ondiep	Diep
Sluit beter aan bij duurzaam grondwatergebruik, water dat infiltreert wordt ook weer opgepompt	Minder duurzaam door onttrekking uit dieper pakket, er is echter wel sprake van kwel waardoor dit water ook van nature zich een weg naar boven zoekt
Duurzame filterontwerp vraagt relatief grote diameter	Voldoende dik zandpakket aanwezig voor duurzame onttrekking
Kans op zuurstofhoudend water	Kans op zuurstofarm water

## 7 PEILVERHOOGING

Een peilverhoging in het lage pand kan dienen om extra water vast te houden dat opgepompt kan worden naar het hoge pand om daar het peil beter in stand te houden.

Bij het structureel verhogen van het peil dient rekening gehouden te worden met een toename op risico van overstroming van laaggelegen terreindelen. In Figuur 10 is de hoogte van de lage delen in groen en blauw weergegeven.

Te zien is dat alleen de noordoosthoek van de Kasteelgracht gevoelig is voor overstroming. De hoogte van het parkeerdek bij de woontoren aan de noordoostzijde bedraagt circa 6,3 m +NAP.



Figuur 10. Hoogtekaart van de directe omgeving van het lage pand

Ook het terras aan de overzijde is gevoelig voor overstroming, de hoogte van het terras is 6,3 m +NAP met twee halve cirkels op 6,1 en 6,2 m +NAP. Bij peilverhoging van meer dan 10 cm zullen deze elementen onder water verdwijnen.



Figuur 11. Hoogte van het terras in de noordoosthoek van het Kasteel aan de binnenzijde van de gracht

Structurele peilopzet om de wegzijging vanuit het hoge pand te verminderen, heeft naar verwachting weinig effect. De grondwaterstanden in de directe omgeving van het lage pand zijn in overeenstemming met het huidige oppervlaktewaterpeil. Peilopzet zou uitzakken van het peil in het lage pand bevorderen.

Peilopzet om de watervoorraad te behouden, die in het hoge pand verloren gaat, is in principe wel mogelijk. Voor 5 cm verlaging in het hoge pand is in dat geval 2,5 cm peilopzet in het lage pand noodzakelijk. Deze beperkte verhoging heeft naar verwachting beperkt invloed op de wegzijging. Wel neemt de bergingscapaciteit af waardoor bij hevige neerslag het risico op overstroming toeneemt.



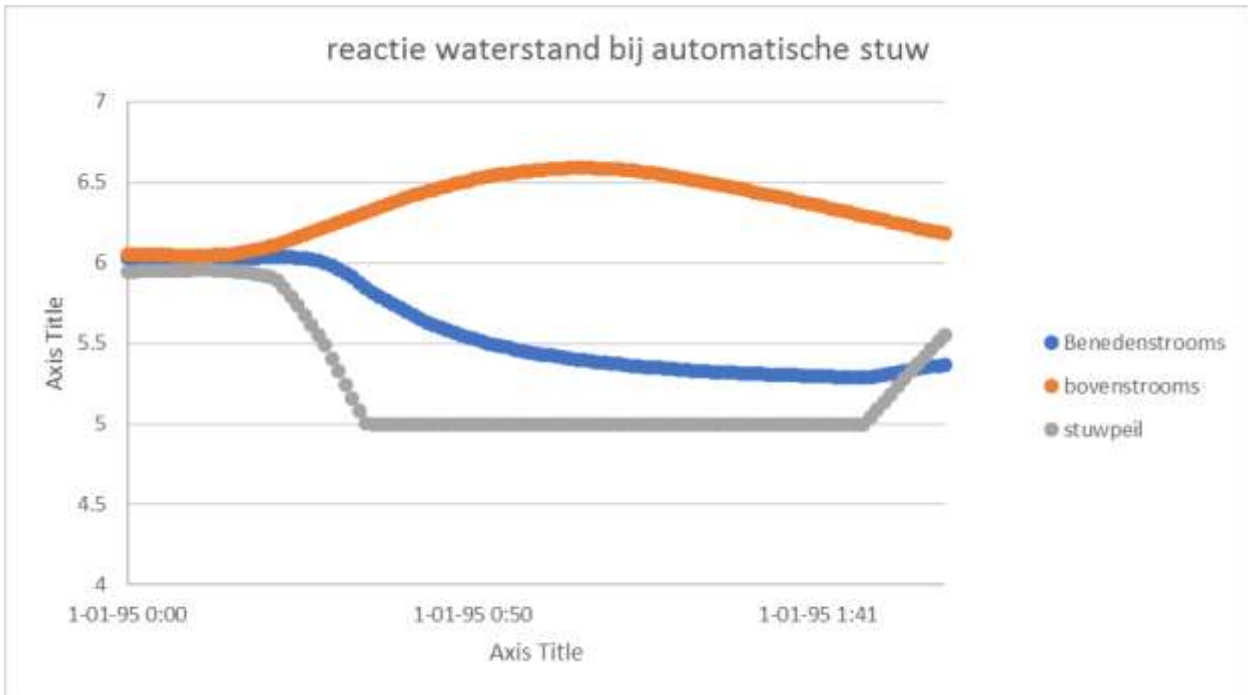
*Figuur 12. Bestaande stuw bij de Lupineweg*

## 7.1 Automatiseren stuw

Het automatiseren van de stuw Lupineweg kan worden gebruikt om water vast te houden dat in droge perioden wordt teruggepompt het hoge pand in. Anderzijds kan de stuw dan zakken bij hevige neerslag om zo hogere waterstanden in het pand te voorkomen.

Om te toetsen hoe lang van tevoren het laten zakken van de stuw nodig is om hogere waterstanden te voorkomen, is een rekenmodel in SOBEK opgezet. Hierin is de reactiesnelheid van het systeem bij extreme neerstag (Stowa bui 08) getoetst. N.B. Het model is een sterk vereenvoudigde weergave waarin bijvoorbeeld overstroming niet is opgenomen. Het dient enkel ter vaststelling van de reactiesnelheid.

De resultaten in SOBEK laten een snellere stijging zien bovenstrooms van de duiker dan benedenstrooms. Dit wordt veroorzaakt door het relatief grote afwaterend oppervlak dat bovenstrooms van de duiker in de Kasteelgracht stroomt. Het automatiseren van de stuw op basis van de waterstand in de Kasteelgracht is onvoldoende om de gevraagde peildaling te realiseren. Dit is weergegeven in Figuur 13 waarin de oranje lijn het water in de Kasteelgracht is, de blauwe lijn het peil in de sloot Ravelijn en de grijze lijn de stand van de stuw weergeeft.



Figuur 13. Waterstandsverloop tijdens extreme afvoer

Om enkel het effect van de overstort te beoordelen, wordt deze toegevoegd in een simulatie waarin de waterstand op peil blijft. De neerslag is een constante van 1 mm/uur. Bij deze neerslag blijft het watersysteem goed op peil.

Als in deze situatie het T=1 overstortvolume in één uur wordt toegevoegd, ontstaat het beeld zoals is opgenomen in Figuur 14. Peilen bij een T1 overstort met en zonder automatische stuwaanpassing . De groene lijnen laten zien dat het peil in de Kasteelgracht stijgt tot 6,25 m +NAP bij de huidige stuw. De rood/oranje lijnen laten zien dat de peilstijging beperkt kan worden door de stuw een uur voordat de overstort optreedt te laten zakken tot 5,8 m +NAP. Na drie uur kan de stuwstand weer naar het oorspronkelijke niveau teruggebracht worden.



Figuur 14. Peilen bij een T1 overstort met en zonder automatische stuwaanpassing

In de figuur is te zien dat het peil in de Kasteelgracht sneller oploopt dan in de spoorvijvers. De capaciteit van de duiker is dus een beperking in de afvoer van het water. Bij een reële situatie waarin er naast water uit de overstort ook de afvoer van regenwater via de Kasteelgracht plaatsvindt, zal de beperkende werking van de duiker nog sterker zijn en zal de stuwaanpassing langer van tevoren en extremer moeten zijn om de peilverhoging in de Kasteelgracht te beperken.

Bij de intensieve buien waarbij de overstort gaat optreden, is de tijd tussen de eerste stijging en de overstort vaak minder dan een uur. De stuwaanpassing zal in die situaties op basis van voorspellingen moeten worden gedaan.

## Samenvatting peilverhoging en automatiseren stuw

Een structurele peilverhoging in het lage pand, al dan niet in combinatie met verdere compartimentering, is niet wenselijk vanwege de wegzijging, vermindering van de waterberging, de beschikbare watervoorraad voor het gemaal en bij compartimentering extra kosten in aanleg en onderhoud.

Het automatiseren van de stuw Lupineweg biedt geen garanties om overstromingen te voorkomen, omdat de stuw lager moet worden ingesteld op basis van weersvoorspellingen. Zeker bij hevige lokale (onweers)buien kan niet uitgesloten worden dat de parkeerplaatsen ondanks een automatische stuw inunderen.

De huidige stuw is nog in goede staat en behoeft geen vervanging. Het realiseren van een alternatieve oplossing (waterkerende constructie bij de parkeerplaatsen) is kosteneffectiever en biedt meer zekerheid tegen onderlopen van de parkeerplaatsen. Waterschap Vallei en Veluwe en gemeente Apeldoorn gaan in overleg met de vereniging van eigenaren van de toren over de verantwoordelijkheden van dit knelpunt en de mogelijke oplossingen.

## BIJLAGE A : MAATREGELKAART

Maatregelenkaartje vanuit stakeholderoverleg (bron: waterschap Vallei en Veluwe):



## BIJLAGE B : GEGEVENS

Voor deze analyse is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- Legger waterschap Vallei en Veluwe  
<http://valleienveluwe.maps.arcgis.com/apps/StorytellingSwipe/index.html?appid=28bc2415456d48198f6daca9f8e7c4b6#>
- DINOloket (www.dinoloket.nl)
- Peilbuisgegevens uit Lizard van gemeente Apeldoorn
- Kaart verhard oppervlak (VHO11.pdf)
- Kaart drainage ligging (drainage Woudhuis.pdf)
- Metingen Kasteelgracht
- GIS-bestanden 'bepaling oppervlaktes gracht'
- Bestektekeningen bouw Kasteel Woudhuis, behoort bij besluit B&W 14-3-1995 (scan323.pdf – scan331.pdf)
- Bestek WW 950, bestemmingsplan Woudhuis bouwrijp maken augustus 1992 (Tif)
  - 1162-1r.tif
  - 950-113.tif
  - 950-118.tif
  - 950-119.tif
  - 950-120.tif
  - 950-148.tif
  - 950-149.tif
  - 950-150.tif
  - 950-5r.tif
  - 950XIII-130b.tif
  - 950XIII-131b.tif
  - 950XVII-135.tif
  - 950XVIII-146.tif
- Uitvoeringsontwerp vervanging stuw noordwesthoek
  - 02P006216-adv-01--Kasteelgracht.pdf
  - 100-Inmeting Kasteelgracht.pdf
  - 15-06-2015-BLVC-plan Kasteelgracht(definitief) opmerkingen AV\_PS.pdf
  - 15-06-2015-BLVC-plan Kasteelgracht(definitief).pdf
  - 200-15-06-2015-Ontwerp Kasteelgracht.pdf
  - 200-15-06-2015-Ontwerp Kasteelgrachtv1.pdf
  - Extra damwandscherm t.b.v. achterloopsheid.pdf
  - Extra damwandscherm t.b.v. achterloopsheid\_AV\_PS.pdf
  - Werkplaatsinrichting-verkeersmaatregelen Kasteelgracht.pdf
- Gegevens rioleringsmodel gemeente Apeldoorn
- Rapport Waterpeil Kasteelgracht, Arcadis, 13 juni 2007
- Tekening ontwatering Woudhuis, Fugro, 23-9-1980, F-2709-1A

## BIJLAGE C : PEILBUISGEGEVENS

NITGCode	GLG	GVG	GHG
AP_WOU_SB_001	5.754	6.243	6.542
AP_WOU_SB_003	6.075	6.275	6.509
AP_WOU_SB_004			
AP_WOU_SB_005	6.503	6.673	6.911
AP_WOU_SB_006	6.999	7.230	7.610
AP_WOU_SB_002	6.982	7.171	7.646
B33B0511			
B33B0430	5.699	6.502	6.619
B33B0512			
B33B0432	7.124	7.938	8.096
B33B1941	6.093	6.383	6.600
B33B0513	6.252	6.799	6.959
B33B0431	7.373	7.901	7.976



## COLOFON

HYDROLOGISCH ONDERZOEK KASTEELGRACHT

### AUTEUR

Jeroen Helder

### PROJECTNUMMER

C03081.000195.0100/LB

### ONZE REFERENTIE

079720301 0.5

### DATUM

7 februari 2018

### STATUS

Definitief

### Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland  
+31 (0)88 4261 261

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)