



Rapport

Hoogwateranalyse en maatregelen Parkeergarage Kazerneplein Roermond

Aveco de Bondt

bezoekadres Podium 9
postbus 2674
postcode 3800 GE Amersfoort
telefoon (0)88 18 66 010
e-mail info@avecodebondt.nl
internet www.avecodebondt.nl

projectnaam Hoogwateranalyse parkeergarage Kazerneplein Roermond
projectnummer 161326
referentie RB/004/161326

opdrachtgever Gemeente Roermond
postadres Postbus 960
contactpersoon

status definitief
versie 01

aantal pagina's 44
datum 7 april 2019

auteur

paraaf
gecontroleerd

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
1.1	Doelstelling	4
1.2	Aangeleverde documenten	5
2	SITUATIESCHETS	6
3	(GROND)WATERSTANDEN	7
3.1	Waterstanden Maas	7
3.1.1	Betrekkinglijnen	9
3.1.2	Gemeten herhalingstijden	10
3.2	Maas oppervlakte	11
3.3	Grondwaterstanden	11
3.3.1	Benadering grondwaterstand	12
3.4	Maasniveau versus grondwaterstand	14
4	HOOGWATERMAATREGELEN	16
4.1	Opties om neerwaartse druk en vloersterkte te verhogen	16
4.1.1	Verzwaren van de vloer van de parkeergarage	16
4.1.2	Verankeren van de vloer van de parkeergarage	16
4.1.3	Afstempelen van de vloer tegen het plafond	16
4.1.4	Kwetsbare installaties verhogen	18
4.1.5	Injecteren van waterglas	18
4.1.6	Parkeergarage onder water zetten	19
4.1.7	Toepassen van damwanden	19
4.2	Opwaartse druk (grondwaterstand) verlagen	19
4.2.1	Pompsysteem d.m.v. onderwaterbronnen, langdurend (grondwaterbuffer)	19
4.2.2	Pompsysteem d.m.v. onderwaterbronnen, kortdurend	20
4.2.3	Horizontale bemaling (drains)	20
4.2.4	Ontlastputten in de vloer van de parkeergarage	21
4.2.5	Combinatie drains en ontlastputten	22
4.2.6	Combinatie ontlastputten en bronsysteem	22
4.3	Conclusie	22
5	GEOHYDROLOGISCHE BESCHOUWING POMPSYSTEEM	23
5.1	Bronnen versus filters	23
5.2	Grondwatersysteem Roermond	24
6	HOOGWATER SIMULATIE	27
6.1	1 op 100 jaar hoogwater	27
6.2	1 op 1250 jaar hoogwater	30
6.3	Algemene observaties	32
6.4	Aandachtspunten	33
7	BRON- EN POMPSYSTEEM	34
7.1	Debiet	34
7.2	Bronstelsel	34
7.3	Pompcapaciteit en activatie pompsysteem	36
7.4	Kortdurend of langdurend pompsysteem	38
7.5	Monitoring	39

	7.6	Onderhoud	40
8		GEVOLGEN VAN NEERSLAG	41
	8.1	Afstromend hemelwater	41
	8.2	Gevolgen op de grondwaterstand	41
9		AFVOERSYSTEEM	42
10		CONCLUSIE	43
	10.1	Hoogwatersysteem	43
	10.2	Afstromend hemwater	44
	10.3	Afvoersysteem	44

1 INLEIDING

In 2005 is het project 'Casimir' ontwikkeld. Dit project betreft de bouw van een parkeergarage, met een plein, kantoren, huurwoningen en bioscoop op de locatie van het Kazerneplein. Het project is gerealiseerd tussen de binnenstad van Roermond en de Maas. In de ontwikkelingsfase is een verband gelegd tussen de benodigde eigenschappen van de parkeergarage in relatie tot een hoge waterstand in de Maas.

Als gevolg van de hoogwateranalyse is destijds besloten om de parkeergarage met beperkte sterkte uit te voeren. Dit houdt in dat de vloer van de parkeergarage opbarst bij een grondwaterstand van 19.60 m NAP. Het opbarsten wordt voorkomen door de parkeergarage onder water te zetten en daarmee de neerwaartse druk te verhogen.

Door het huidige gebruik van de parkeergarage voor verschillende doeleinden (grotendeels parkeergelegenheid) is het onder water zetten niet langer een optie. Gemeente Roermond heeft Aveco de Bondt gevraagd voor een andere oplossing.

Net ten zuiden van het Casimir is een voetgangerspassage (Ernst Casimir) onder de N280 gerealiseerd. Een klein deel van de vloer van de voetgangerspassage is dezelfde vloer als de parkeergarage (ingang van de parkeergarage in de voetgangerspassage). Dit deel van de vloer dient aan dezelfde eisen te voldoen als de parkeergarage. Deze keermuur heeft een hoogte van 19.60m+NAP. Zodra grondwater de kritische hoogte bereikt zal grondwater uittreden uit de daarnaast gelegen taluds.

1.1 Doelstelling

De doelstelling van deze rapportage is vierdelig:

1. Water en grondwateranalyse op de locatie van de parkeergarage.
2. Het afwegen van alle opties om het opbarsten van de parkeergarage te voorkomen.
3. Het uitwerken van de gekozen optie.
4. Kan het systeem benut worden om de wateroverlast in de loopgang van de parkeergarage op te lossen.

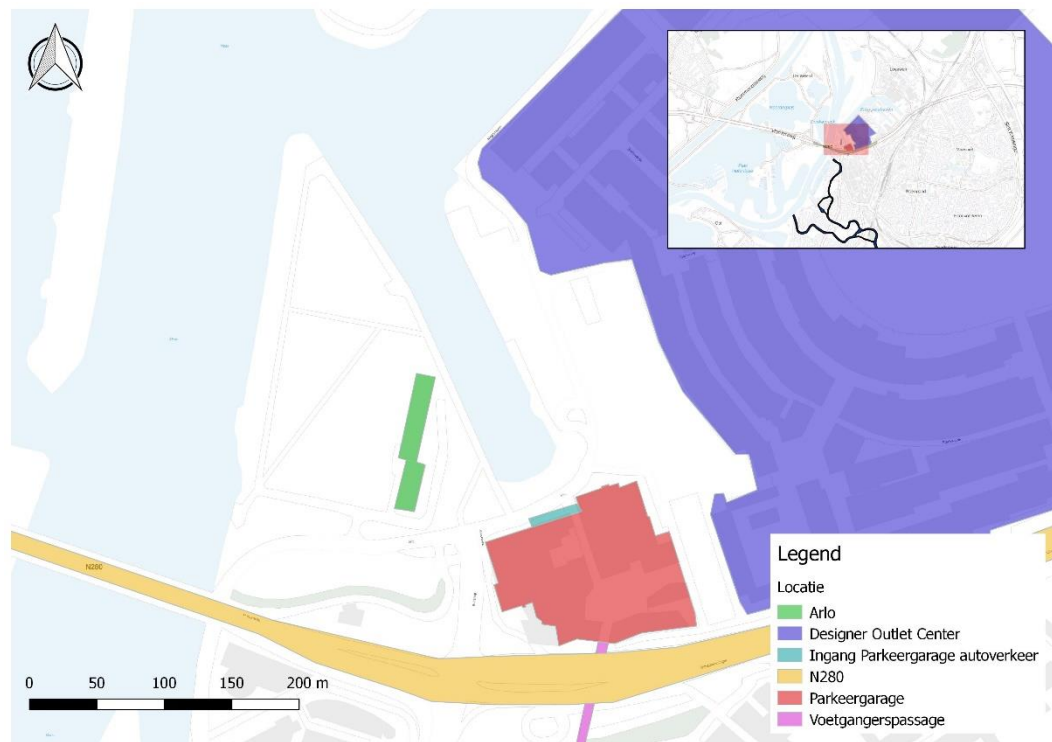
1.2 Aangeleverde documenten

Voor de werkzaamheden zijn documenten van gemeente Roermond gebruikt en aangevuld met bestaande literatuur zoals Dinoloket.

- [1] Diverse tekeningen betreffende de parkeergaragegrootte zonder tekeningnummer of datum. Aangeleverd op 18-10-2017.
- [2] Bijsluiter 1) betrekkinglijnen 2015-2016; Rijkswaterstaat Dienst Limburg.
- [3] Waterstanden Maas; www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata-en-waterberichtgeving/waterdata; 2018.
- [4] Dinoloket; 2018.
- [5] Afwegingen oplossingen waterbezwaar Casimir; Aveco de Bondt; 20-06-2005.
- [6] Maatregelen bij hoogwater voor parkeergarage Casimir Kazerne voorterrein; Aveco de Bondt; 04-12-2007.
- [7] Uitwerking maatregelen bij hoogwater voor parkeergarage Casimir Kazernevoorterrein; Aveco de Bondt; 30-09-2008.
- [8] Grondwatergegevens 23-03-2017 gemeten bij aanleg N280.

2 SITUATIESCHETS

Het Kazerneplein is gesitueerd tussen de binnenstad van Roermond, de Maas en de Outlet. De onderstaande figuur geeft de locatie en de contour van de parkeergarage weer.



Figuur 1: locatie parkeergarage Kazerneplein

De ingang van de parkeergarage is gelegen aan de noordzijde van de parkeergarage tegenover het water. De onderkant van de parkeergaragevloer is gelegen op 18.53 m NAP. De vloer van de parkeergarage kan een waterdruk weerstaan tot 19.60 m NAP. Het is onduidelijk of de parkeergarage op moment van schrijven als waterdicht beschouwd kan worden.

Ten zuiden van de parkeergarage is een loopgang onder de N280 aanwezig. In het verleden was de afvoer van water in de voetgangerspassage onvoldoende. Dit is echter door de gemeente Roermond aangepakt waardoor geen overlast meer is geconstateerd. Een klein deel van de vloer van de voetgangerspassage is dezelfde vloer als de parkeergarage (ingang van de parkeergarage in de voetgangerspassage). Dit deel van de vloer dient aan dezelfde eisen te voldoen als de parkeergarage.

Door de aanwezigheid van voetpaden, voetgangerspassage en ingang parkeergarage is de ruimte rondom de parkeergarage Kazerneplein beperkt om aanpassingen te realiseren.

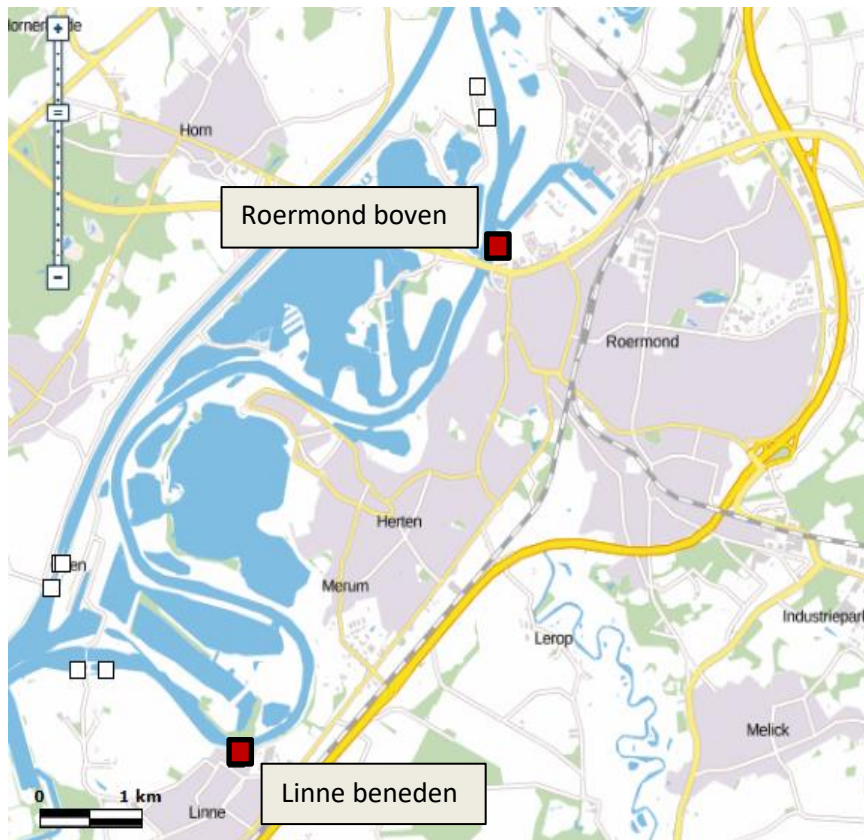
3 (GROND)WATERSTANDEN

Het achterland van de Maas is in Roermond meer dan tien meter hoger dan de Maas zelf. Als gevolg hiervan stroomt het grondwater vanuit de bodem richting de Maas. In het geval van hoogwater draait dit echter lokaal om en geeft de Maas water af aan de bodem. Echter is de toestroom van grondwater uit het achterland niet minder. Het gevolg van de hoge Maas is dat de directe omgeving de parkeergarage van 2 richtingen een grote waterstroom ontvangt met een verhoogde grondwaterstand tot gevolg. Het Kazerneplein is gelegen in dit gebied.

De grondwaterstand onder het Kazerneplein wordt handmatig gemeten. De frequentie van meten is afhankelijk van de waterstand. De handmatige meting is te laat gestart om bruikbaar te zijn voor modelberekeningen, waardoor de grondwaterstand door middel van interpolatie en modelberekeningen is benaderd.

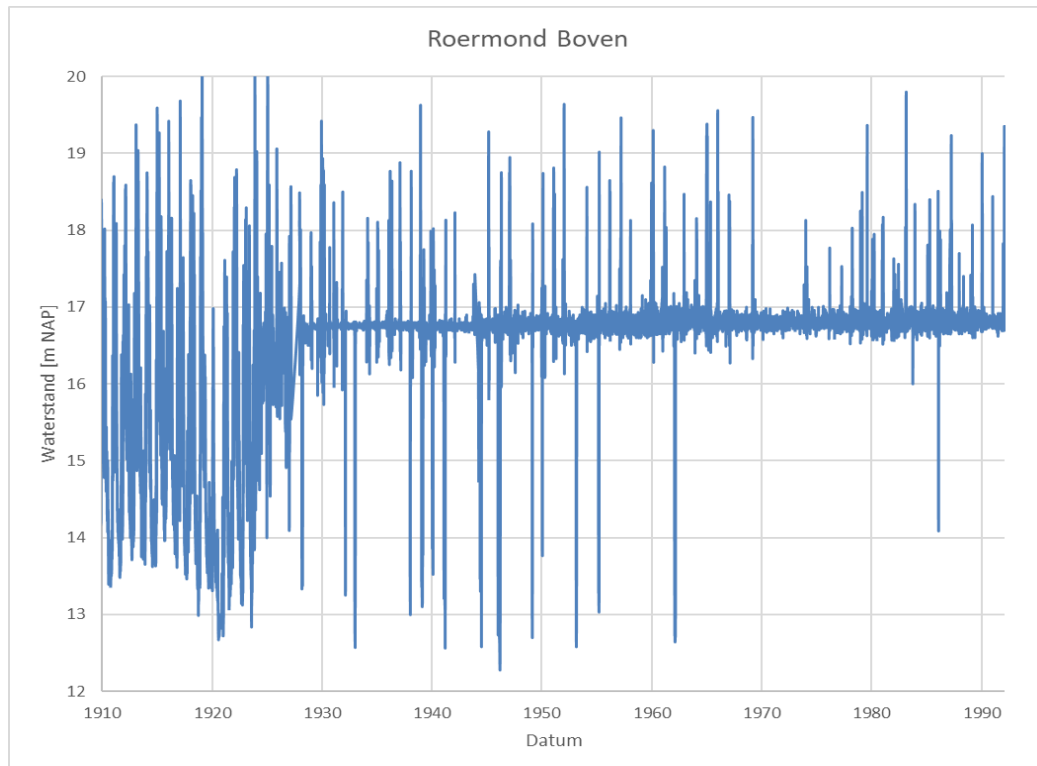
3.1 Waterstanden Maas

De historische waterstand van de Maas worden al circa 150 jaar dagelijks door Rijkswaterstaat gemeten. Aan de oostzijde van de Maas wordt de waterstand gemeten op meetpunt Roermond boven en Linne beneden. Omdat het Kazerneplein dicht bij de meetlocatie Roermond boven gelegen is, worden de waterstanden van Roermond boven als uitgangspunt gebruikt voor de Maasstanden.



Figuur 2: Meetlocaties Rijkswaterstaat

Figuur 3 toont de waterstand in de Maas voor Roermond boven tussen 1910 en 1990. Aan de hand van de meetgegevens is duidelijk te zien dat rond het jaar 1929 de fluctuatie in de waterstand sterk is verminderd. Dit is het gevolg van de bouw van de stuw en het sluiscomplex van Roermond (Roermondse Weerd). Dit is een onderdeel van Maaskanaliseringsproject.



Figuur 3: Waterstand Maas (Roermond boven), [Rijkswaterstaat]

3.1.1 Betrekkingslijnen

Naast de waterstanden in de Maas wordt hiervoor ook jaarlijks betrekkingslijnen opgesteld. Betrekkingslijnen geven een inzicht van het (toekomstige) waterpeil van de Maas. Figuur 4 geeft de betrekkingslijnen van Linne beneden en Roermond boven.

Betrekkingslijnen Maas versie 2015_2016		geldigheidsbereik 1 november 2015 - 31 oktober 2016															
Informatiebron	Gemeten waterstand 1 juli 2014 - 30 juni 2015	WAQUA in bereik recente hoogwaters															
Waterstand Borgharen-dorp [m + NAP]	38.09	38.51	39.05	39.57	41.36	41.93	42.39	42.68	43.35	43.81	44.21	44.41	44.54	44.63	44.79	44.90	45.23
Aantal dagen/jr dat ws hoger is	269	184	107	45	9	4	2										
Afvoer St. Pieter [m³/s]	80	155	280	530	1030	1280	1500	1640	1994	2264	2534	2689	2790	2867	3010	3112	3430
Herh. tijd v/d topafvoer in jaren								2	5	10	20	30	40	50	75	100	1250
Afvoer Borgharen-dorp [m³/s]	(50)	(125)	(250)	(500)	(1000)	(1250)	1470	1627	1987	2260	2533	2685	2786	2865	3008	3109	3431
Peilschaal op meetpunt	Waterstanden in m + NAP																
Linne Beneden	70.40	16.88	16.91	17.05	17.61	18.87	19.50	19.90	20.12	20.63	20.98	21.31	21.50	21.62	21.71	21.88	21.99
Roermond Boven	79.75	16.85	16.85	16.85	16.92	17.42	17.88	18.18	18.93	19.47	19.96	20.21	20.37	20.49	20.69	20.83	21.32

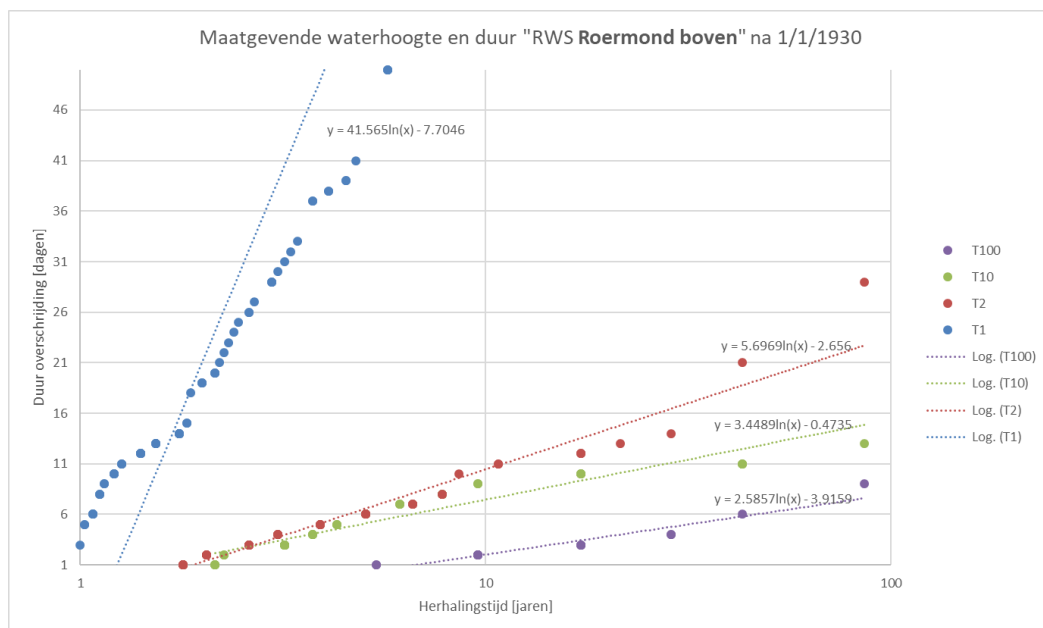
Figuur 4: Betrekkingslijnen Maas te Roermond [Rijkswaterstaat]

Op basis van Roermond Boven wordt 1 keer per 100 jaar een waterstand van 20.83 m NAP bereikt en 1 keer per 1250 een waterstand van 21.88 m NAP. De betrekkelingslijnen geven geen informatie over de duur van het hoogwater.

3.1.2 Gemeten herhalingstijden

Een indicatie van de herhalingstijd voor hoogwater gebeurtenissen is te vinden in de beschikbare data. Vanaf 1930 tot 2011 is een volwaardige meetreeks van Rijkswaterstaat beschikbaar (zie Figuur 3). De data van voor 1930 is niet gebruikt door veranderde aard van de meetreeks. In de analyse zijn er twee opvallende observaties te maken:

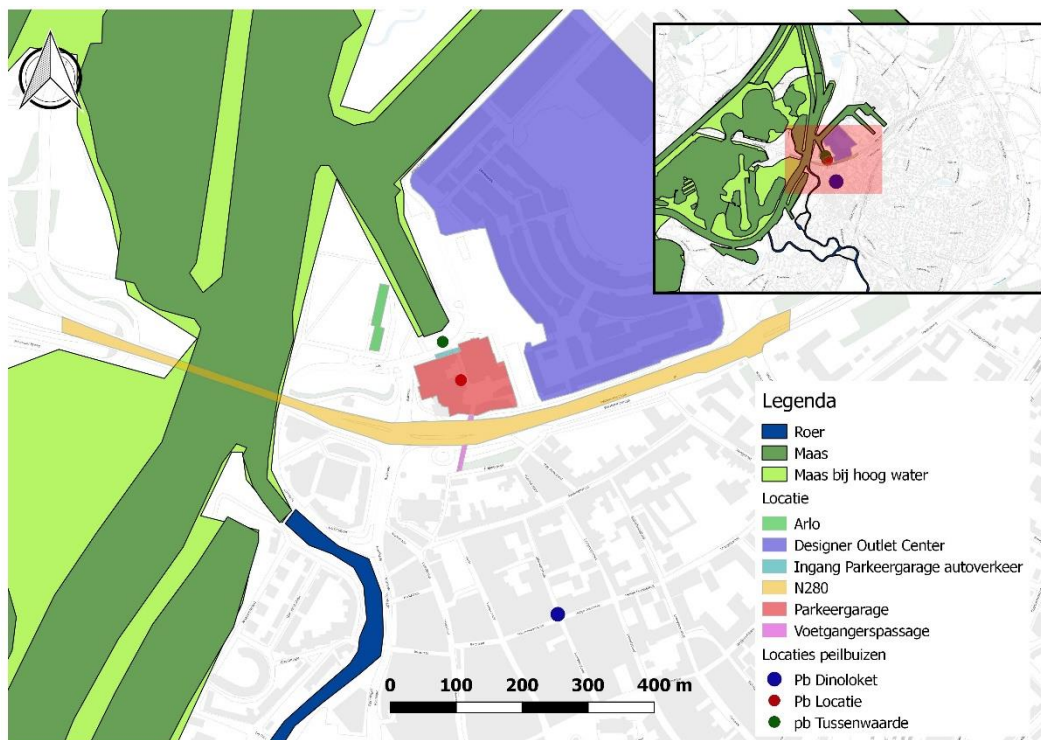
- Logischerwijs duurt een situatie met een hogere waterstand gemiddeld minder lang.
- De T100 event komt in een meetreeks van 86 jaar meerdere keren voor.



Figuur 5: Herhalingstijden versus hoogwater evenementen [obv meetreeks Rijkswaterstaat Roermond boven]

3.2 Maas oppervlakte

De Maas bestrijkt een groter gebied in het geval van een hoge waterstand. Door het vergroten van het stroomgebied wordt meer ruimte en dus berging gecreëerd. De extra berging beperkt de hoogte van de waterstand. Voor de analyse van de waterstanden in de Maas en de grondwaterstand is dan ook bij een hoge waterstand een groter Maasoppervlak toegepast (zie Figuur 1 en Figuur 6). De onderstaande figuur geeft tevens de locatie van 3 peilbuizen. Hiervan is slechts 1 peilbuis (Pb Dinoloket) daadwerkelijk aanwezig. De andere 2 peilbuizen zijn fictieve peilbuizen welke tijdens de modelanalyse gebruikt zijn. De meetwaarde van de Dinoloket peilbuis is weergegeven in figuur 7.



Figuur 6: Overzicht Maasoppervlakte, peilbuizen en parkeergarage

3.3 Grondwaterstanden

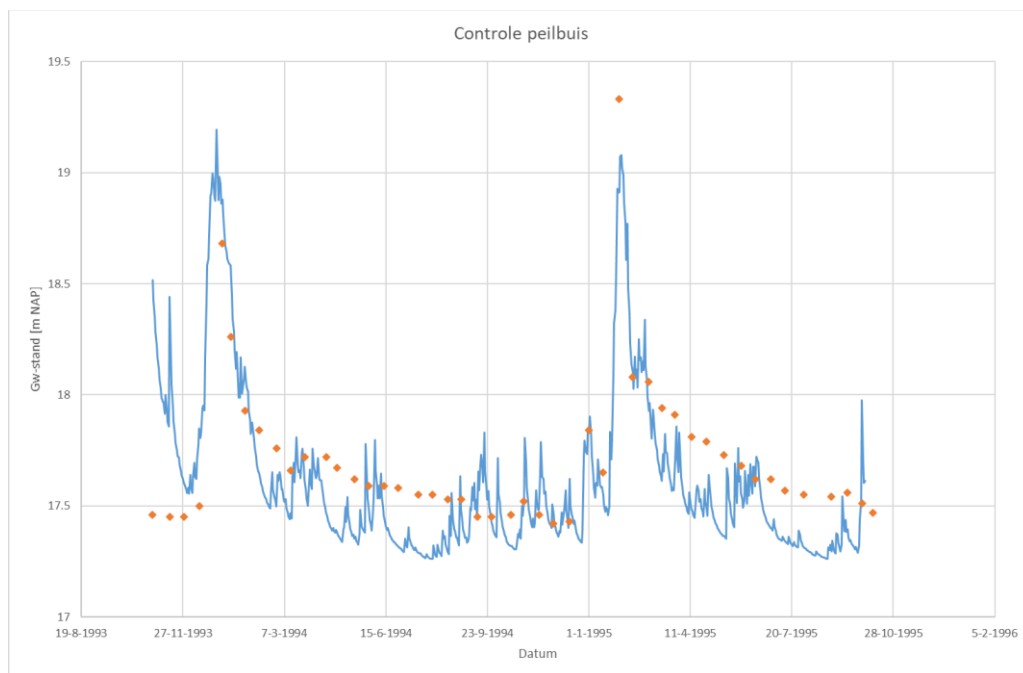
Op de projectlocatie zijn geen gegevens beschikbaar over de grondwaterstand in een stabiele situatie. Wel zijn grondwaterstanden beschikbaar gedurende de voorbereiding van de werkzaamheden van de N280. Als gevolg van deze situatie is met behulp van het grondwatermodel Modflow de grondwaterstand op de locatie van het Kazerneplein bepaald.

3.3.1 Benadering grondwaterstand

Het grondwatermodel is opgebouwd uit een dunne deklaag op een dik grofzandig pakket. De rivieren (Maas en Roer) zijn in het model opgenomen zoals in Figuur 6 is weergegeven. De meetreeks van Figuur 3 is opgegeven als de waterstand in de Maas. Met behulp van de peilbuis uit dinoloket kunnen diverse onbekende parameters in het model worden bepaald:

- De doorlatendheid van het zandpakket
- De opname- en afgiftecapaciteit van de Maas en de Roer.
- Gemiddelde regenval

Met het aanpassen (kalibreren) van het model wordt de grondwaterstand in de peilbuis benaderd. De onderstaande figuur geeft de resultaten van het model (blauwe lijn) ten opzichte van de meetgegevens (rode punten) tussen 1993 en 1995. De 2 reeksen komen goed overeen, al dient hier nog wel een kanttekening bij geplaatst te worden. De meetreeks uit Dinoloket wordt slechts 2 maal per maand gemeten, waardoor extremen in de grondwaterstand vaak niet worden waargenomen.



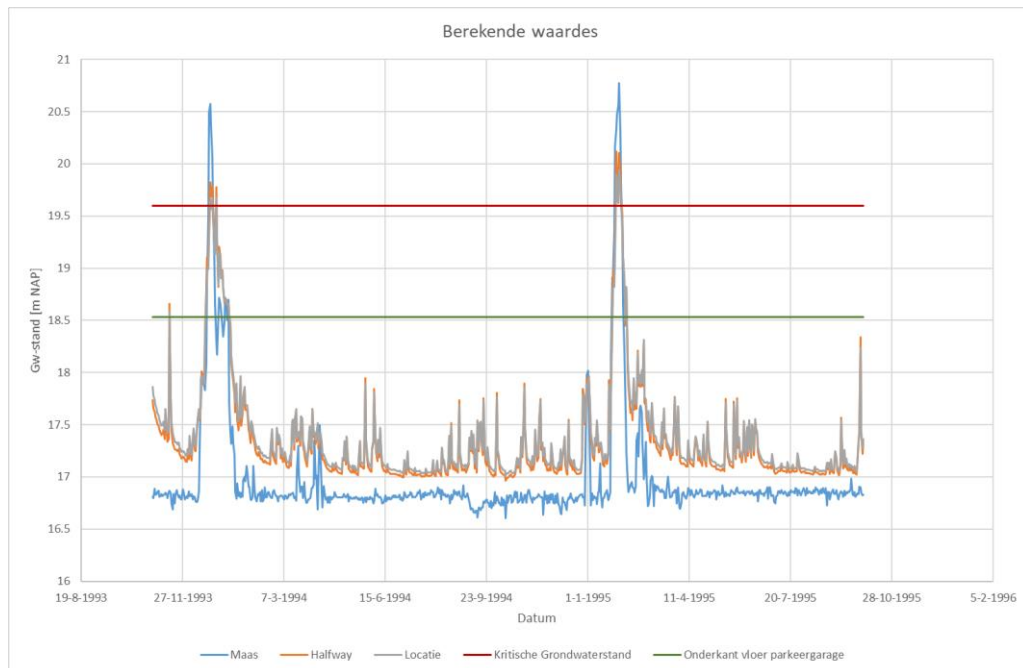
Figuur 7: Meetreeks Pb Dinoloket (oranje punten) versus model (blauwe lijn)

Figuur 7 toont de meetreeks op locatie van de blauwe peilbuis in Figuur 6. Deze waterstand is niet gelijk aan de grondwaterstand onder de parkeergarage.

Na de kalibratie van het model kan de grondwaterstand op de locatie van het Kazerneplein worden afgelezen. Dit gebeurt met behulp van de 2 fictieve peilbuizen weergegeven in Figuur 6. Figuur 8 toont hiervan de resultaten.

De grondwaterstand op de locatie van het kazerneplein zijn vergelijkbaar met de controlepeilbuis. Ter controle zijn de meetgegevens voor de voorbereiding van de werkzaamheden van de N280 vergeleken met het model. Nabij het Kazerneplein komen deze goed overeen.

Daarnaast valt aan figuur 8 op dat de grondwaterstand hoger is dan de waterstand in de Maas. Dit bevestigt het beeld dat grondwater naar de Maas toestroomt en de Maas een drainerende werking heeft. Gedurende hoogwater draait dit patroon zich echter om. De Maas voedt de bodem met water waardoor de grondwaterstand stijgt.

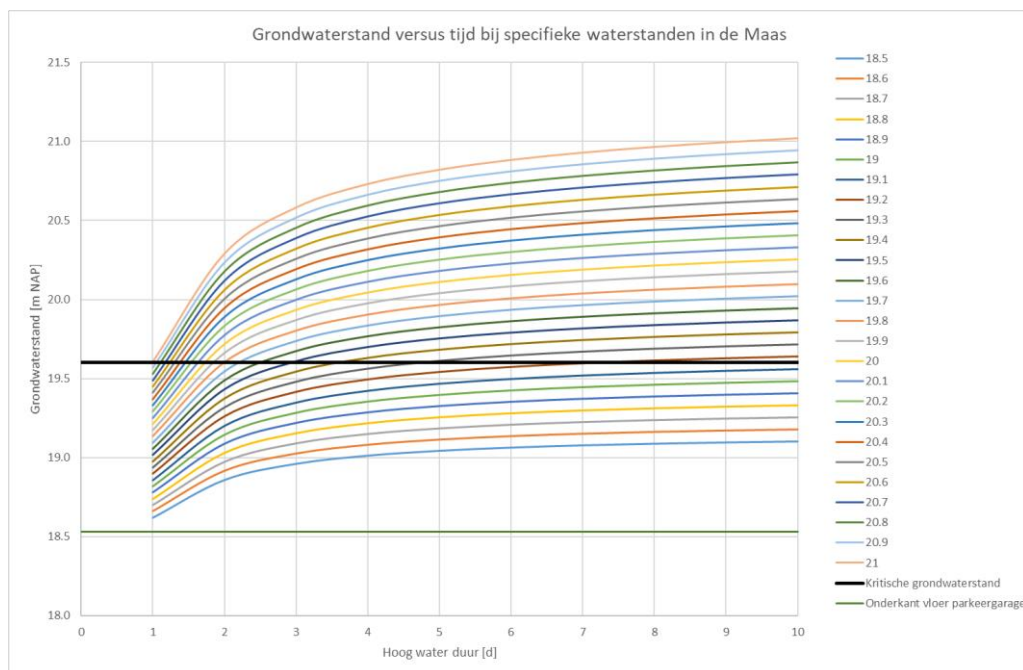


Figuur 8: Modelresultaten ter plaatse van de peilbuizen.

Deze situatie toont aan dat een verhoogde grondwaterstand grotendeels het gevolg is van een hoge waterstand in de Maas. Hierdoor kan een hoge grondwaterstand kort voor aanvang worden voorspeld.

3.4 Maasniveau versus grondwaterstand

Zoals de modelresultaten aantonen is er een sterk verband tussen de waterstand in de Maas en de grondwaterstand. Logischerwijs veroorzaakt een hoge waterstand in de Maas ook een hoge grondwaterstand. Dit geldt tevens voor de tijdsduur, een hoogwatergebeurtenis met een langere duur heeft meer effect dan een hoogwatergebeurtenis met een korte duur. Deze afhankelijkheid en effect is voor een gegeven situatie met een bepaalde tijdsduur en gegeven hoogwater, modelmatig te berekenen. Echter is er een oneindig hoeveelheid situaties waarop een grondwater van 19.60 m NAP bereikt wordt. Om toch een beeld te geven met welke Maasstanden de grenswaarde van 19.60 m NAP in de grondwaterstand wordt bereikt zijn een aantal Maasstanden doorberekend. In alle berekende situaties is voor een duur van 10 dagen een vaste waterstand in de Maas aangehouden. Hierin kunnen natuurlijk sterke fluctuaties voorkomen.



Figuur 9: Grondwaterstand versus tijd bij specifieke waterstanden in de Maas

Figuur 9 visualiseert de Grondwaterstand over een duur van 10 dagen bij een specifieke waterstand in de Maas. Indien er wordt gekeken naar een duur van 10 dagen, is de laagste problematische waterstand in de Maas 19.20 m NAP. Terwijl bij waterstand van 21.00 m NAP in de Maas al binnen een dag problematisch is.

Tabel 1: Grondwaterstand Kazerneplein in m NAP als gevolg van hoogwater in de Maas voor diverse tijdsduren. De rode waardes geven aan wanneer de grenswaarde is overschreden.

Waterstand Maas	Tijdsduur hoogwater in dagen			
	1	3	5	10
19.10	18.86	19.35	19.47	19.56
19.20	18.90	19.41	19.54	19.64
19.30	18.94	19.48	19.61	19.72
19.40	18.98	19.54	19.68	19.79
19.50	19.02	19.61	19.75	19.87
19.60	19.06	19.67	19.83	19.95
19.70	19.09	19.74	19.90	20.02
19.80	19.13	19.80	19.97	20.10
19.90	19.17	19.87	20.04	20.18
20.00	19.21	19.93	20.11	20.25
20.10	19.25	20.00	20.18	20.33
20.20	19.29	20.06	20.25	20.41
20.30	19.33	20.13	20.32	20.48
20.40	19.37	20.19	20.39	20.56
20.50	19.41	20.26	20.47	20.64
20.60	19.45	20.32	20.54	20.71
20.70	19.49	20.39	20.61	20.79
20.80	19.53	20.45	20.68	20.87
20.90	19.57	20.52	20.75	20.94
21.00	19.61	20.58	20.82	21.02

4 HOOGWATERMAATREGELEN

Het opbarsten van de vloer van de parkeergarage is een gevolg van een hoge opwaartse waterdruk die niet kan worden opgevangen door het gewicht van de parkeergarage waardoor de parkeerfunctie van de parkeergarage niet kan worden gebruikt. Het opbarsten van de parkeergarage heeft geen gevolgen voor de constructie van de parkeergarage en het gebouw. De kans op opbarsten kan verminderd worden door de waterdruk te verkleinen, de sterkte van de vloer te verhogen of het gewicht (neerwaartse druk) te verhogen. De oplossingen zijn samengevat in Tabel 2. In dit hoofdstuk zijn de voordelen en nadelen van diverse maatregelen besproken. Met behulp hiervan is een geschikte variant gevonden.

De maatregelen en haalbaarheid zijn in samenspraak met de gemeente Roermond uitgedacht en doorgesproken.

4.1 Opties om neerwaartse druk en vloersterkte te verhogen

4.1.1 Verzwaren van de vloer van de parkeergarage

De simpelste methode is het verzwaren van de parkeergaragevloer. Dit geeft een robuust “systeem” waarbij geen controle noodzakelijk is. Echter is het achteraf verzwaren een dure opgave. Een verzwaring van de parkeergarage gaat ten koste van de hoogte waardoor mogelijk niet meer voldaan wordt aan de wettelijke gestelde eisen van een parkeergarage. Gemeente Roermond wil de functionaliteit van de parkeergarage zo groot mogelijk houden, waardoor deze oplossing als ongeschikt wordt gezien.

4.1.2 Verankeren van de vloer van de parkeergarage

Het verankeren van de vloer is door de bodemopbouw goed mogelijk. Ook neemt het geen ruimte in. De parkeergaragevloer is echter niet op de puntbelasting berekend, en de vloer versterken kan alleen door de vloer te vervangen. Deze oplossing is daarom uitgesloten.

4.1.3 Afstempelen van de vloer tegen het plafond

Deze oplossing is makkelijker te realiseren dan het verankeren van de vloer. Echter gelden dezelfde bezwaren, namelijk: de parkeergaragevloer is niet op de puntbelasting berekend, en de vloer versterken kan alleen door de vloer te vervangen. Daarnaast is de sterkte van het plafond niet voldoende. Deze oplossing is daarom uitgesloten.

Tabel 2: Overzicht Hoogwatermaatregelen

Maatregel	Voordelen	Nadelen
Verzwaren vloer	- Robuust - Eenmalige kosten - Minder schadelijk dan water	- Haalbaarheid/kosten? - Tijdelijk belasten zorgt voor puntbelasting (vloer niet op berekend)
Verankeren vloer	- Geen impact op huidige gebruik	- Wapening in vloer is hier niet op berekend
Afstempelen plafond	- Makkelijke oplossing - Minder schadelijk dan water	- Verdiepingsvloer kan puntbelasting niet aan. - Passage wordt niet aangepakt
Kwetsbare installaties verhogen of uit parkeergarage verwijderen	- Verlaagd de kwetsbaarheid van een deel van de parkeergarage	- Slechts gedeeltelijke oplossing - Installaties niet of slecht te bereiken tijdens hoog water - Brengt hoge kosten met zich mee
Injecteren waterglas	- Parkeergarage onafhankelijk(er) van Maas	- Hoog risico op falen - 1 keer per 2-5 jaar injecteren
Parkeergarage onder water zetten (huidige maatregel)	- Vloer blijft heel	- Schade aan parkeergarage bij huidig gebruik - Schade na onder water zetten - Parkeerfunctie tijdens hoogwater verval - Geen optie voor vloer van parkeergarage welke onderdeel is van de voetgangerspassage. - Veiligheidsvoorzieningen voor de parkeergarage moet tijdelijk worden verwijderd/ verplaatst worden. - Elektrische voorzieningen in de technische ruimte moet tijdelijk uit worden gezet. Dit houdt in dat gebouwen ontruimd dient te worden.
Damwand rond parkeergarage (damwand aan havenzijde)	- Parkeergarage krijgt onafhankelijk(er) waterregime van Maas	- Onpraktisch door ondergrondse infra - Hoge kosten
Pompsysteem d.m.v. onderwaterbronnen, langdurend (grondwaterbuffer)	- Wordt regelmatig gebruikt, waardoor automatisch systeem wordt getest - Pompen hoeven geen eigendom van gemeente Roermond te zijn.	- Er wordt ook voorbemalen in situaties die achteraf niet nodig waren. - Leidingstelsel rondom parkeergarage permanent nodig - Onttrekkingsduur circa 5 dagen langer dan bij kortdurend pompsysteem.
Pompsysteem d.m.v. onderwaterbronnen, kortdurend	- Vloer blijft heel - Wordt alleen gepompt indien het absoluut nodig is. - Pompen hoeven geen eigendom van gemeente Roermond te zijn.	- Capaciteit vereist tot 9000 m³/dag - Leidingstelsel rondom parkeergarage permanent nodig - Ad hoc ophalen van pompen bij pompleveranciers.

Horizontale bemaling (drains)	- Meest efficiëntste pompsysteem	- Aanbrengen met gestuurde boring relatief duur? - Vereist relatief veel onderhoud - Het gebouw staat op palen, wat deze oplossing complex maakt
Ontlastputten in parkeergaragevloer	- Zeer precies op de zwakste plek te lokaliseren	- Wellicht permanente bemaling nodig - Ruimte in parkeergarage is aandachtspunt
Combinatie drains en pompsysteem	- Minder drains en kleine putten buiten gebouw nodig	- Palenplan blijft aandachtspunt
Combinatie ontlastputten en pompsysteem	- Hogere efficiency dan alleen pompsysteem - Systeem kan zo ontworpen worden dat het afpompen onder vrij verval start.	- Ruimte in parkeergarage is aandachtspunt

4.1.4 Kwetsbare installaties verhogen

Het afschermen en/of verhogen van kwetsbare installaties is slechts een gedeeltelijke oplossing. In deze situatie wordt de parkeergarage alsnog onder water gezet in geval van hoogwater, maar blijven kwetsbare installaties beschermd. Door een hoge waterstand is het mogelijk dat de werkhogte te klein is om veilig installaties op te hangen of niet meer te bereiken zijn. Daarnaast gelden de bezwaren voor het onder water zetten van de parkeergarage ook grotendeels voor deze oplossing. Dit is onaanvaardbaar, vanwaar deze deeloplossing niet verder wordt uitgewerkt.

4.1.5 Injecteren van waterglas

Waterglas kan gezien worden als een "2 componentenlijm". Waterglas wordt vloeibaar in de bodem geïnjecteerd en verspreid zich afhankelijk van de injectiemethode en bodemeigenschappen. Deze verspreiding is relatief klein waardoor een raster van injectiepunten nodig is. Na het injecteren van het waterglas wordt een harder toegevoegd. Het resultaat is een water ondoorlatend "vastgelijmd" grondpakket waarbij de poriën zijn opgevuld met waterglas. Als het vastgelijmd grondpakket goed aansluit op de parkeergaragevloer kan dit als een verzwaring worden gezien, waardoor de parkeergaragevloer in theorie verdikt en verzaamd wordt. De praktijk wijst echter uit dat het waterglas over tijd de waterremmende werking verliest (2-5 jaar) en het grondpakket opnieuw poreus wordt. Door de grote onzekerheid wordt deze oplossing uitgesloten.

4.1.6 Parkeergarage onder water zetten

Gedurende de ontwerpfase is gekozen voor de parkeergarage onder water zetten in geval van hoogwater. Ondanks dat dit een relatief eenvoudige oplossing is, wordt dit uitgesloten door de gemeente. De parkeerfunctie moet behouden blijven, de technische ruimtes dienen bereikbaar te blijven en de voetgangerspassage dient open te blijven. Het onder water zetten van de parkeergarage voldoet niet aan deze voorwaarden. Buiten deze voorwaarden kan het onder water zetten van de parkeergarage schade met zich mee brengen. Door deze bezwaren wordt het onder water zetten van de parkeergarage niet als een valide oplossing gezien.

4.1.7 Toepassen van damwanden

Het gebruik van damwanden rondom de parkeergarage kan het grondwaterregime onder de parkeergarage scheiden van de omgeving. Dit is alleen geschikt indien de damwanden tot in een scheidende laag geplaatst worden. Door de grote diepte van de eerste afscheidende laag ligt dit niet voor de hand. Een partiele afscheiding tussen parkeergarage en open water middels damwanden is onvoldoende.

4.2 Opwaartse druk (grondwaterstand) verlagen

De druk verlagen onder de vloer kan alleen plaats vinden indien een systeem wordt geïnstalleerd om het water weg te pompen of af te laten stromen. Theoretisch gezien zijn de mogelijke maatregelen vergelijkbaar. Praktisch gezien kunnen grote verschillen zijn door bijvoorbeeld de manier van aanbrengen.

4.2.1 Pompsysteem d.m.v. onderwaterbronnen, langdurend (grondwaterbuffer)

In een situatie van hoge Maaswaterstand wordt de bodem eerst verzadigd met water. Dit proces heeft tijd nodig en werkt daarom als een buffer. Deze buffer kan worden verhoogd door voor een hoogwater gebeurtenis de grondwaterstand te verlagen door middel van bronnen en onderwater pompen. De verlaagde grondwaterstand resulteert in een groter “leeg” bodemvolume (poriënvolume). Door het grotere volume van lege bodem (poriën) duurt het langer voordat de bodem gevuld is als gevolg van een hoge Maaswaterstand. Dit geeft een extra buffer tegen stijging van de grondwaterstand.

Het voordeel is dat een lager maximaal debiet noodzakelijk is dan in de situatie waarin alleen in de kritische situatie water uit de bodem wordt onttrokken. Nadeel is dat de duur van de wateronttrekking, circa 1 week langer is en dat de onttrekking mogelijk als voorzorgsmaatregel geactiveerd wordt in situaties waar de grondwaterstand niet boven de kritische waarde uit komt.

4.2.2 Pompsysteem d.m.v. onderwaterbronnen, kortdurend

Een kortdurend pompsysteem start op het moment dat een hoge grondwaterstand onder de parkeergarage wordt geconstateerd. Omdat alleen een hoge grondwaterstand wordt opgevangen, zal de grondwaterstand grotendeels niet tot onder het natuurlijke niveau worden weggepompt. Een uitzondering hierop is de omgeving net naast de bron. Hierbij kan gedacht worden aan een afstand van maximaal 5 meter van de bron.

Een verlaging van de grondwaterstand tot onder de historisch laagste grondwaterstand kan zettingen veroorzaken in zettingsgevoelige lagen zoals klei en veen. Onder de parkeergarage zijn een aantal kleilenzen aanwezig waarin zettingen zouden kunnen optreden. Door de korte duur van de grondwateronttrekkingen zijn deze echter gering, maar niet uit te sluiten. Voor panden die gefundeerd zijn op palen is dit geen risico. De paalfundatie reikt immers tot dieper dan de kleilenzen en beoogde grondwaterstandverlaging.

Nadeel van deze optie is een hoog debiet voor de kortste duur. Met als gevolg dat een relatief zware bemaling noodzakelijk is. Ondanks dat de bemaling gestart kan worden bij een grondwaterstand van 19.60 m NAP, kan het de voorkeur hebben om de bemaling 1-2 dagen eerder op te starten om het risico te beperken. In theorie verhoogt dit de kans op zettingen, echter omdat zeer geringe zettingen verwacht worden, is het negatieve effect van 2 dagen extra bemalen beperkt.

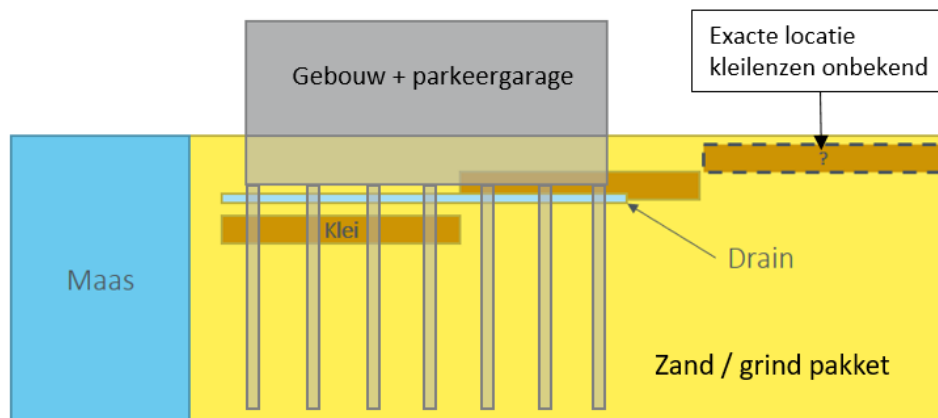
4.2.3 Horizontale bemaling (drains)

De onttrekking beschreven in de voorgaande 2 paragrafen kan worden uitgevoerd door middel van horizontale drains. Dit geeft een geografisch beter verdeelde grondwateronttrekking. Daarnaast is het onttrekkingsniveau hoger, waardoor een lager debiet wordt onttrokken.

Deze methode heeft echter twee grote nadelen.

1. Het boren tussen de bestaande paalfundering brengt een risico met zich mee. In het ergste geval raakt de paalfundering beschadigd met een verminderde draagkracht tot gevolg.
2. Het boren van de horizontale boorgaten van de drains vergt een ontvangstput en persput. Op de locatie is echter weinig ruimte voor deze ontgravingen.

Geohydrologisch is een horizontale drainage op locatie maar deels geschikt door de wisselende bodemopbouw. Tijdens ontwerp en realisatiefase zijn diverse kleilenzen aanwezig welke de functionaliteit sterk kunnen verminderen en de waterdruk op locatie van de kleilens niet weg nemen.



Figuur 10: Schematische weergave horizontale drainage

Ondanks de gunstige onttrekkingseigenschappen van drains wordt deze maatregel als niet praktisch en risicovol beschouwd.

4.2.4 Ontlastputten in de vloer van de parkeergarage

Met behulp van ontlastputten in de vloer van de parkeergarage kan heel specifiek risicolocaties in de parkeergaragevloer worden opgevangen. Doordat het een passieve onttrekking bevat is het debiet relatief laag en zijn geen onderwaterpompen nodig.

Hiervoor is wel een pompsysteem noodzakelijk. Het grondwater dient in de parkeergarage d.m.v. leidingwerk verzameld en afgevoerd te worden. Door de grote hoeveelheid benodigd leidingwerk, en dus ruimteverlies, in de parkeergarage wordt deze maatregel uitgesloten.

4.2.5 Combinatie drains en ontlastputten

Deze combinatie is theoretisch zeer gunstig door een relatief laag debiet en het opvangen van geografisch risicovolle locaties in de vloer van de parkeergarage. Echter de praktische bezwaren genoemd in paragraaf 4.2.3 tonen aan dat deze maatregel praktisch niet uitvoerbaar is, en de bezwaren genoemd in paragraaf 4.2.4 geeft aan dat ontlastputten niet gewenst zijn.

4.2.6 Combinatie ontlastputten en bronsysteem

Deze combinatie geeft een degelijk systeem (bronsysteem), extra zekerheid en een verlaagd debiet door de ontlastputten. Door de geohydrologische gunstige locatie van ontlastputten in het midden van de parkeergarage is een lagere onttrekking noodzakelijk. Een onttrekking in het midden van de parkeergarage heeft immers in alle richtingen het gewenste verlagingseffect, terwijl een bron aan de zijkant ook verlaging creëert waar dat niet noodzakelijk is.

Zoals beschreven in 4.2.4 is een ongewenst leidingsysteem in de parkeergarage noodzakelijk voor ontlastputten. In het geval dat de ontlastput als noodoplossing wordt toegepast, kan een tijdelijk leidingsysteem uitkomst bieden. Dit houdt in dat het ruimteverlies als gevolg van een ontlastput van tijdelijke aard is.

Indien de ontlastput niet gebruikt wordt kan deze dienen als peilbuis. Dit houdt wel in dat de ontlastput tot een niveau van 19.60 m NAP moet worden uitgevoerd. De mogelijkheid van de ontlastbron is daardoor sterk afhankelijk van de bovenkant parkeergarage.

4.3 Conclusie

Door praktische bezwaren of ruimteverlies worden diverse maatregelen na een eerste beschouwing uitgesloten. Oplossingen om de keldervloer te verstevigen of te verzwaren zijn constructief niet haalbaar en resulteren in een functieverlies van de parkeergarage. Andere oplossingen waarbij in de parkeergarage maatregelen worden getroffen zijn praktisch moeilijker uitvoerbaar en hebben eveneens een verlies aan ruimte in de parkeergarage tot gevolg.

De mogelijke maatregelen vallen allen in de categorie van de grondwaterdruk te verlagen en dienen daarom geohydrologisch beschouwd te worden.

5 GEOHYDROLOGISCHE BESCHOUWING POMPSYSTEEM

5.1 Bronnen versus filters

Voor een grondwateronttrekking zijn drie standaardtypes voorhanden. Horizontale bemaling (drains), filtersysteem en bronsysteem. Een horizontale bemaling is uitvoering technisch niet mogelijk waardoor de nadruk wordt gelegd op het filtersysteem en bronsysteem.

Filtersysteem

Een onttrekking met behulp van filters wordt vaak toegepast voor rioolwerkzaamheden. In dit geval wordt op een afstand van circa 2 meter “filters” in de bodem aangebracht. Filters zijn verticale buizen van 50 tot 80 mm waarbij een gedeelte van de lengte is geperforeerd. Alle filters worden met behulp van een ringleiding gekoppeld aan een zogenaamde plunjerpomp of bovengrondse pomp. De pomp trekt water aan uit de peilbuizen en duwt het via een afvoerleiding naar het lozingspunt. Zoals de naam aangeeft, wordt de pomp op maaiveld aangebracht en wordt veelal uitgevoerd met een debiet van 60 of 90 m³/uur. De aantal filters welke aangesloten worden op een pomp is sterk afhankelijk van de gewenste verlaging en bodemeigenschappen. Onafhankelijk van de capaciteit van de pomp of de filters kan een filtersysteem ongeveer tot 7 meter onder maaiveld grondwater oppompen. Het voordeel van filters is dat het relatief goedkoop is, snel aangebracht is en minder ruimte benodigd tijdens de installatie.

Bronstelsysteem

Een onttrekking met behulp van bronnen heeft meer mogelijkheden. Bij bronnen wordt een boorgat geboord van meestal 250 tot 500 mm. Hierin wordt een PVC buis ingelaten van veelal 125 tot 250 mm. De ruimte tussen PVC buis en boorgat wordt opgevuld met filtergrind. De PVC buis is groot genoeg voor de gewenste onderwaterpomp. De onderwaterpomp duwt het water als het ware vanaf diepte omhoog. De afstand tussen bronnen is sterk afhankelijk van de bodem en de benodigde grondwaterstandverlaging, maar is meestal 15 tot 30 meter. Diepere bronnen met hoge capaciteit kunnen verder uit elkaar worden geplaatst dan ondiepe bronnen met kleine capaciteit. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij plaatsing van diepe bronnen ver uit elkaar in totaal meer debiet wordt onttrokken voor dezelfde verlaging als bij ondiepe bronnen dicht bij elkaar.

Zowel de bron als de onderwaterpomp heeft het voordeel dat de mogelijkheden hiervan veel groter zijn dan bij een filtersysteem. De capaciteit van de bron kan worden vergroot door de bron dieper of met een grotere diameter uit te voeren. Ook is een onderwaterpomp beschikbaar in een grotere variatie aan capaciteit en opvoerhoogte (de hoogte dat een pomp water omhoog kan pompen).

Het nadeel van een bronsysteem is dat deze geohydrologisch minder efficiënt is. Door de grotere boordiepte en afstand tussen de bronnen wordt meer water onttrokken dan bij een filterbemaling.

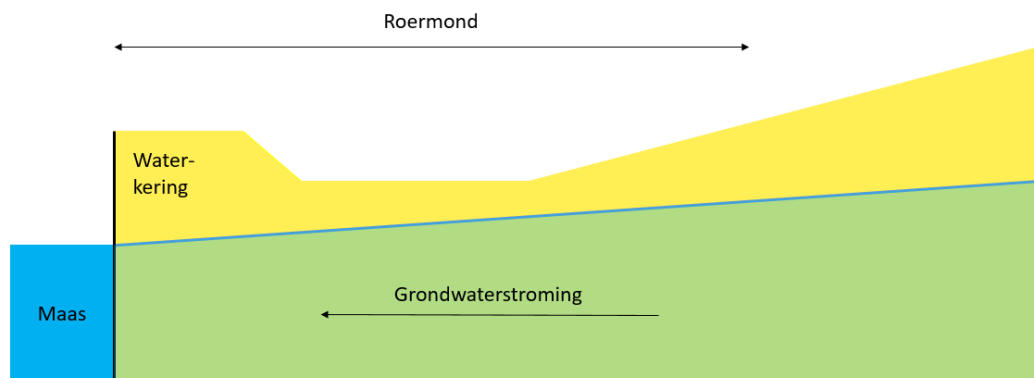
Filters versus bronnen

De keuze voor een systeem met bronnen in plaats van filters is gebaseerd op de volgende eigenschappen.

- Voor filters dient de ruimte rondom de parkeergarage volledig beschikbaar te zijn. Voor bronnen niet.
- De verwachting is dat de maximale capaciteit van filters onvoldoende is om de benodigde grondwaterstand op het midden van de parkeergarage te behalen.
- Een groter deel, waaronder de onderwaterpompen, kunnen onder de grond worden aangebracht. Hierdoor is er minder overlast en geen geluidsoverlast.
- Bronnen kunnen afgesteld worden op debiet, een filterbemaling niet.

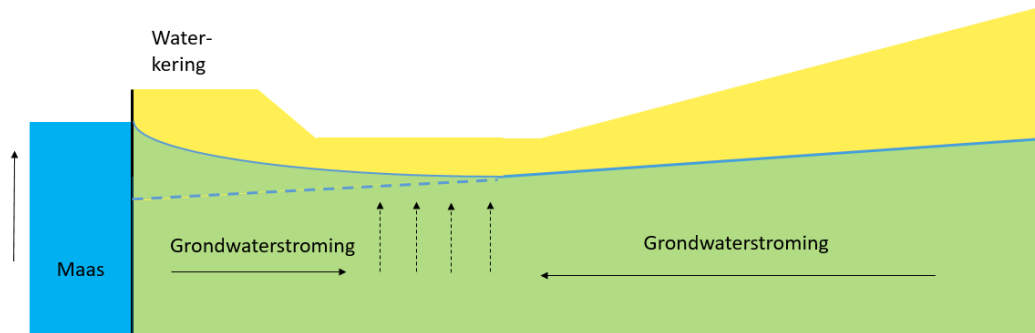
5.2 Grondwatersysteem Roermond

In de normale situatie is de grondwaterstand in het achterland van de Maas hoger dan de waterstand in de Maas. Dit is met name het gevolg van het hogere maaiveld. In deze situatie stroomt grondwater (afkomstig uit neerslag, kleine rivieren etc) vanuit het achterland naar de Maas. De Maas vangt het water op en voert het af. De waterstand in de Maas is in een normale situatie relatief constant en houdt de grondwaterstand in de directe omgeving dan ook laag. Deze situatie is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 11: Schematische weergave grondwatersituatie Roermond

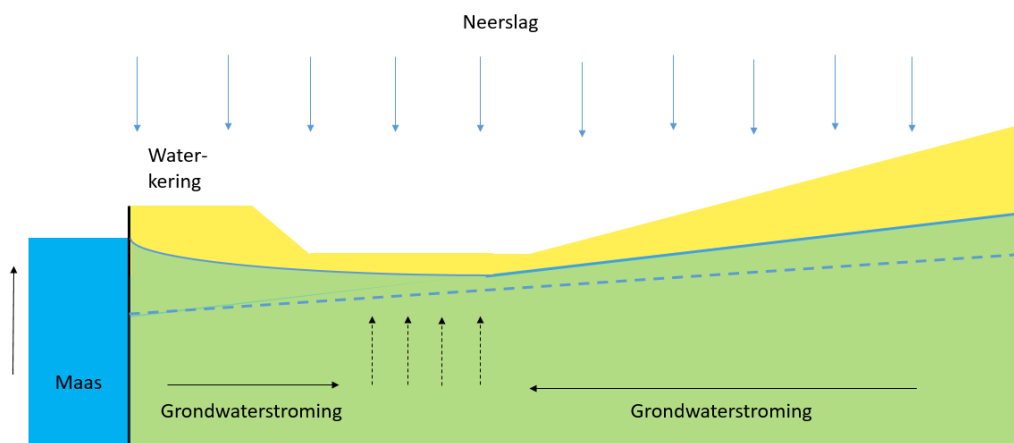
Bij een hoge waterstand in de Maas, stijgt de waterstand boven de grondwaterstand waardoor de Maas water aan de omgeving gaat afgeven in plaats van opnemen. In deze situatie stijgt de grondwaterstand in Roermond als gevolg van de toevoer van water uit het achterland en als gevolg van toevoer van water uit de Maas. Deze stijging is schematisch in beeld gebracht door middel van figuur 12.



Figuur 12: Schematische weergave grondwatersituatie Roermond bij hoog water

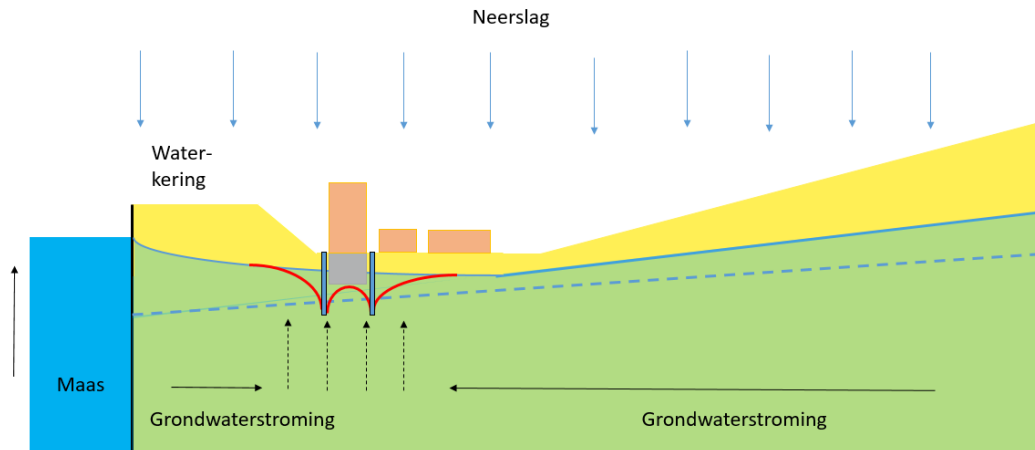
De stijging van de grondwaterstand in Roermond verloopt geleidelijk omdat de bodem eerst gevuld wordt met water. Aangezien een hoogwater gebeurtenis kortdurend is, stijgt de grondwaterstand normaliter niet tot aan maaiveld.

In de situatie dat de waterstand in de Maas hoog is, en Roermond onderhevig is aan neerslag, stijgt de grondwaterstand sneller en mogelijk hoger. In deze rapportage wordt rekening gehouden met een gemiddelde infiltratie van neerslag door de grote hoeveelheid bestrating. De situatie van neerslag en hoogwater is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 13: Schematische weergave grondwatersituatie Roermond bij hoog water en neerslag

Door een grondwateronttrekking wordt de grondwaterstand lokaal verlaagd. In dit geval is de doelstelling van de grondwateronttrekking om lokaal de stijging van de grondwaterstand, als gevolg van de hoge waterstand in de Maas en neerslag, tegen te gaan. Deze situatie is schematisch weergegeven in figuur 14.



Figuur 14: Schematische weergave grondwatersituatie en grondwateronttrekking parkeergarage Kazerneplein bij hoog water en neerslag

Zoals te zien is in Figuur 14 is de doelstelling van de grondwateronttrekking om de stijging van de grondwaterstand lokaal te verminderen of zelfs volledig op te heffen. Omdat de grondwaterstand niet verlaagd wordt tot onder het natuurlijke niveau zijn er geen omgevingseffecten als gevolg van de grondwateronttrekking. Het is wel mogelijk dat de grondwateronttrekking de wateroverlast als gevolg van de hoge waterstand en neerslag lokaal vermindert.

De grondwaterstroming is rondom de grondwateronttrekking relatief snel en lokaal van richting veranderd ten opzichte van de natuurlijke situaties zoals eerder beschreven in dit hoofdstuk. Een snelle grondwaterstroming geeft geen verhoogd risico op stabiliteit van de omgeving. De enige mogelijke consequente van de snellere grondwaterstroming is het mogelijk aantrekken van zeer mobiele grondwaterverontreinigingen in de directe omgeving van het Kazerneplein. Echter door de korte duur van de hoogwater gebeurtenis is de mogelijke verplaatsing gering.

Bij een normale grondwateronttrekking stijgt de grondwaterstand naar het natuurlijke niveau als gevolg van toestroom van grondwater uit de omgeving. Bij de parkeergarage Kazerneplein zal bij uitval de grondwaterstand eveneens stijgen, maar dan tot een ongewenst hoog niveau, waardoor de vloer van de parkeergarage opbarst.

Nadat de hoogwatergebeurtenis is afgelopen en de waterstand in de Maas daalt, zal de grondwaterstand ook dalen naar het natuurlijke niveau. Op het moment dat dat de grondwaterstand lager is dan 19.60 m NAP kan het bronsysteem worden gedeactiveerd.

6 HOOGWATER SIMULATIE

In een eerdere fase zijn de grondwaterstanden modelmatig berekend als gevolg van een wisselende waterstand in de Maas. Deze zijn vervolgens geverifieerd met een bestaande peilbuis. Tijdens deze fase is het grondwatermodel geoptimaliseerd om de gemeten waterstanden te modelleren.

Hetzelfde model kan gebruikt worden voor hoogwatersituaties zoals in figuur 9 en tabel 1. De volgende stap is om een grondwaterverlaging door middel van bronnen te simuleren. Hiermee wordt bepaald of een grondwateronttrekking het gewenste effect teweegbrengt en welke specificaties hiervoor nodig zijn.

Het grondwatermodel is toegepast op een groot aantal situaties. Uit figuur 9 blijkt dat de te kiezen maatregel vermoedelijk meerdere keren per 100 jaar gebruikt dient te worden, echter is nog onduidelijk hoe uitgebreid de maatregelen dienen te zijn. Voor duidelijkheidsoverwegingen worden de resultaten weergegeven van 2 hoogwatergebeurtenissen: 1 op 100 jaar en 1 op 1250 jaar. Met behulp van deze simulaties kan worden vastgesteld welke van de onderstaande maatregels het meest geschikt is.

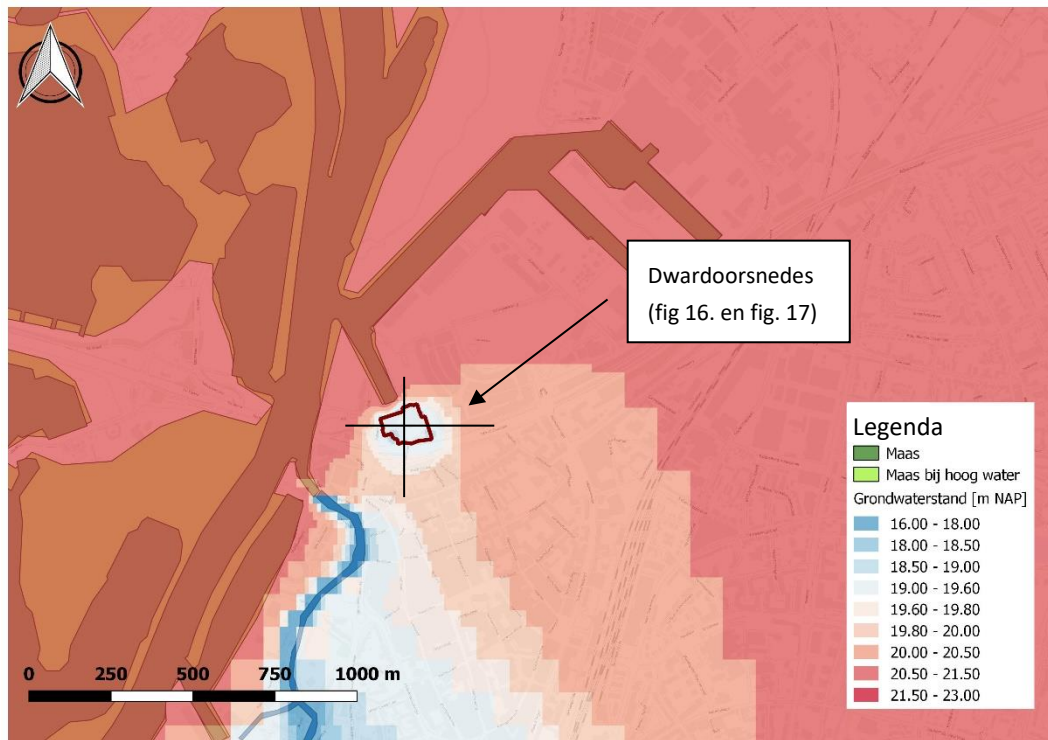
- Pompsysteem kortdurend
- Pompsysteem langdurend
- Combinatie pompsysteem en een ontlastput als back up.

6.1 1 op 100 jaar hoogwater

Een 1 op 100 jaar hoogwaterniveau in de Maas nabij het Kazerneplein is 20.83 m NAP. Het gebied is beschermd met keermuren tot een niveau van 21.80 m NAP. Dit niveau wordt in de toekomst verhoogd naar 22.28 m NAP. Om dit te benaderen is voor een duur 10 dagen de Maasoppervlakte vergroot met een winterbed en het Maaspeil constant gehouden op 20.83 m NAP voor een duur van 10 dagen. Vervolgens is door middel van meerdere onttrekkingspunten de grondwaterstand onder de parkeergaragevloer verlaagd tot 19.60 m NAP. In de keuze van de locatie van de onttrekkingsbronnen zijn praktische en geohydrologische afwegingen gemaakt. Zo zijn bijvoorbeeld de bronnen aan de waterzijde van de parkeergarage dicht bij elkaar geplaatst. In de modelberekeningen is gezocht naar de meest optimale onttrekkingshoeveelheid (debiet).

De resultaten zijn weergegeven met behulp van 2 dwarsdoorsneden (oost-west, noord-zuid) van het Kazerneplein en directe omgeving en een overzichtskaart met de grondwaterstanden (zie figuur 15). Figuur 15 geeft aan dat de grondwaterstand sterk stijgt naar waarden ver boven de toegestane grondwaterstand van 19.60m NAP.

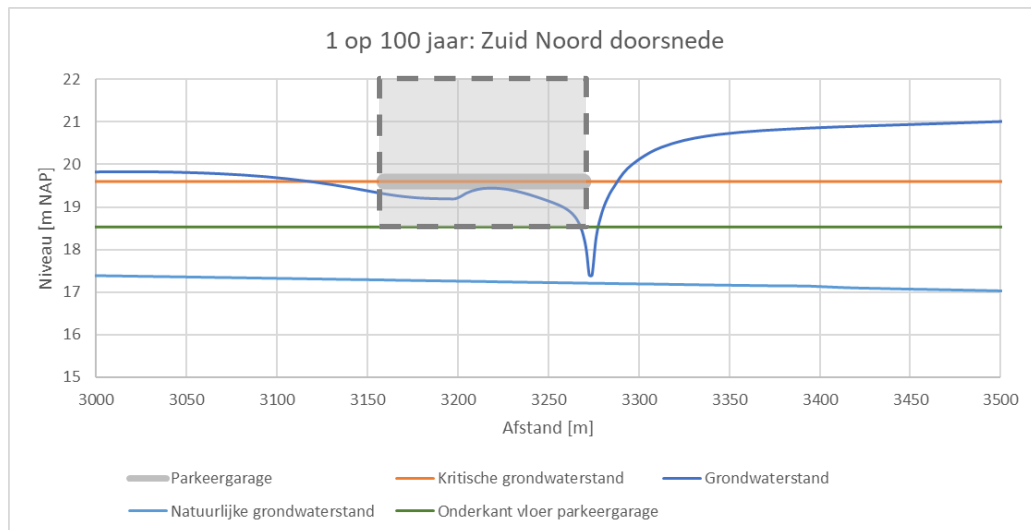
Op de locatie van het Kazerneplein is de grondwaterstijging minder door de grondwateronttrekking. Om dit te verduidelijken zijn 2 dwarsdoorsneden (figuur 16 en figuur 17) afgebeeld.



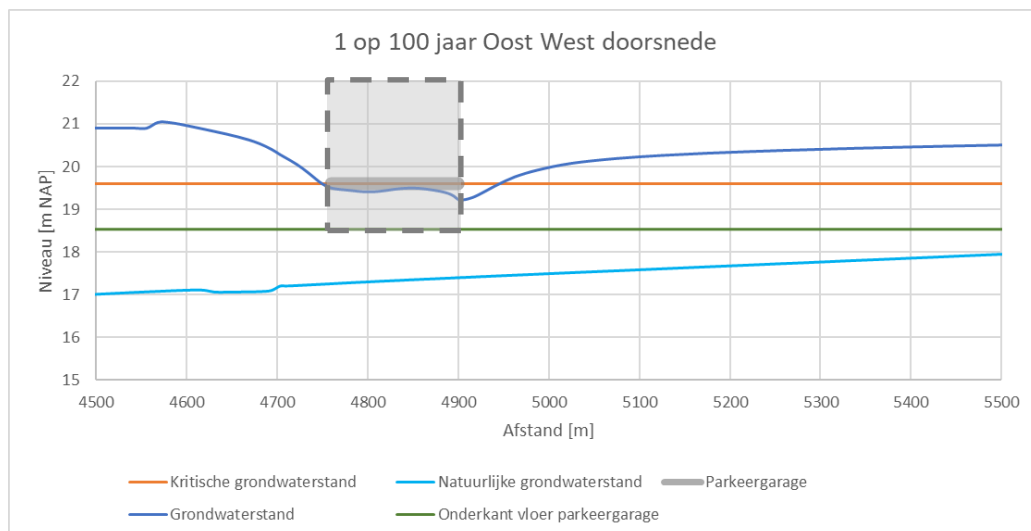
Figuur 15: Grondwaterstand na 10 dagen voor 1 op 100 hoogwatergebeurtenis

De dwarsdoorsneden gaan midden door de parkeergarage. In de grafieken is de gemodelleerde grondwaterstand, natuurlijke grondwaterstand, grenswaarde van 19.60 m NAP en de locatie van de parkeergarage weergegeven. Op basis van de dwarsdoorsneden wordt het volgende geconcludeerd:

- De kritische grens van de vloer van de parkeergarage van 19.60 m NAP wordt niet overschreden.
- Gedurende de hoogwatergebeurtenis wordt, ondanks de onttrekking, de grondwaterstand niet tot onder de natuurlijke grondwaterstand verlaagd.
- In de Noord-zuid doorsnede wordt een lage grondwaterstand gemeten omdat de doorsnede de locatie van een van de bronnen kruist.



Figuur 16: Noord-zuid doorsnede van de grondwaterstand na 10 dagen voor 1 op 100 hoogwatergebeurtenis, waarbij de rechterkant van de grafiek het noorden is.



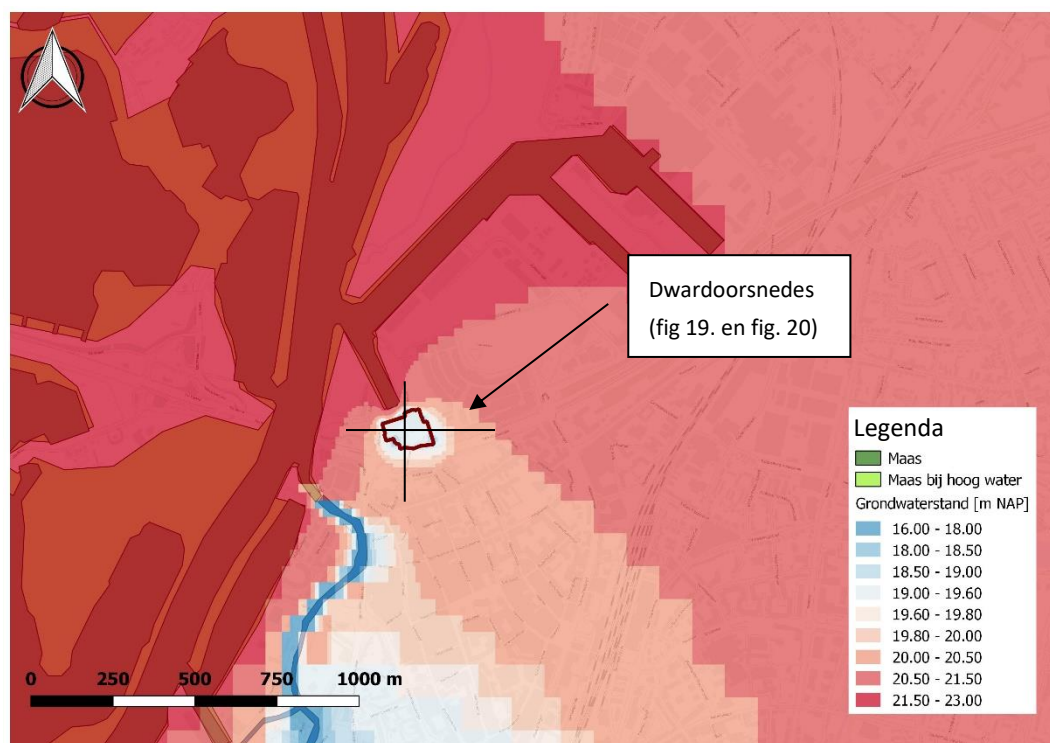
Figuur 17: Oost-west doorsnede van de grondwaterstand na 10 dagen voor 1 op 100 hoogwatergebeurtenis.

Bij bovenstaand figuur dient opgemerkt te worden dat de kritische grondwaterstand aan de oostzijde lijkt te worden bereikt. Omdat de locatie van de parkeergarage een vrij dik getekende lijn is, geeft dit een iets vertekend beeld. De waarde van de waterstand aan de oostrand van de kelder is circa 19.55 m NAP.

6.2 1 op 1250 jaar hoogwater

Een 1 op 1250 jaar hoogwaterniveau in de Maas nabij het kazerneplein is 21.88 m NAP. Het gebied is beschermd met keermuren tot een niveau van 21.80 m NAP. Dit niveau wordt in de toekomst verhoogd naar 22.28 m NAP. Om dit te benaderen is voor een duur 10 dagen de Maasoppervlakte vergroot en Maaspeil constant gehouden op 21.88 m NAP. Vervolgens is door middel van meerdere onttrekkingspunten de grondwaterstand onder de parkeergaragevloer verlaagd tot 19.60 m NAP. In de modelberekeningen is gezocht naar het meest optimale onttrekkingshoeveelheid (debiet).

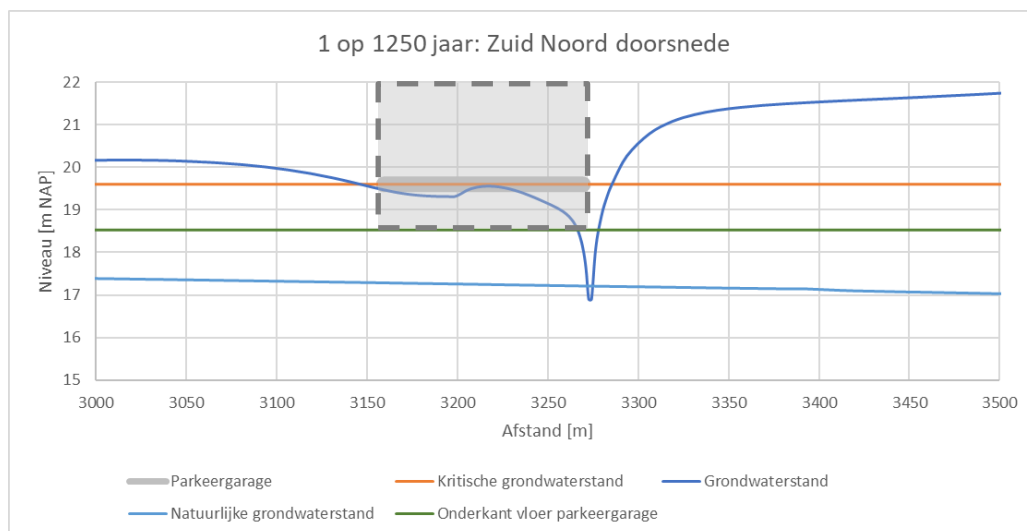
De resultaten zijn weergegeven met behulp van 2 dwarsdoorsnedes (oost-west, noord-zuid) van het Kazerneplein en directe omgeving en een overzichtskaart met de grondwaterstanden (zie figuur 18). Figuur 18 geeft aan dat de grondwaterstand sterk stijgt naar waarden ver boven de toegestane grondwaterstand van 19.60m NAP. Op de locatie van het Kazerneplein is de grondwaterstijging minder door de grondwateronttrekking. Om dit te verduidelijken zijn 2 dwarsdoorsnedes (figuur 19 en figuur 20) afgebeeld.



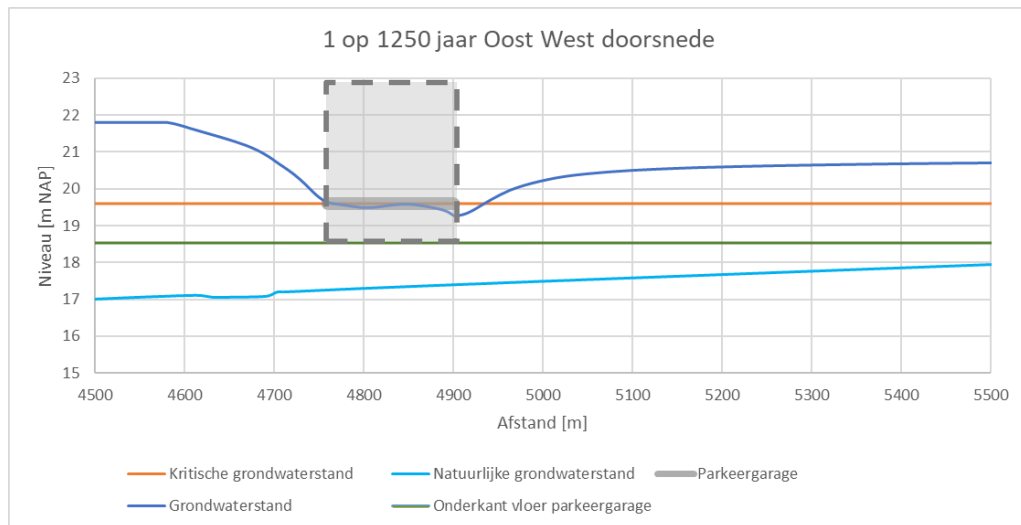
Figuur 18: Grondwaterstand na 10 dagen voor 1 op 1250 hoogwatergebeurtenis

De dwarsdoorsneden gaan midden door de parkeergarage. In de grafieken is de gemodelleerde grondwaterstand, natuurlijke grondwaterstand, grenswaarde van 19.60 m NAP en de locatie van de parkeergarage weergegeven. Op basis van de dwarsdoorsneden wordt het volgende geconcludeerd:

- De kritische grens van de vloer van de parkeergarage van 19.60 m NAP wordt niet overschreden.
- Gedurende de hoogwatergebeurtenis wordt, ondanks de onttrekking, wordt de grondwaterstand in de omgeving niet tot onder de natuurlijke grondwaterstand verlaagd.
- In de Noord-zuid doorsnede wordt een lage grondwaterstand gemeten omdat de doorsnede de locatie van een van de bronnen kruist.
- Op een afstand van 2 tot 5 meter van de bron is de grondwaterstand verlaagd tot circa 0.50 tot 1.00 meter onder het natuurlijke grondwaterniveau.
- Het grondwaterniveau is hoger dan in een 1 op 100 jaar waterstand. In de omgeving van het Kazerneplein kan dit verschil tot circa 1.00 meter oplopen.



Figuur 19: Noord-zuid doorsnede van de grondwaterstand na 10 dagen voor 1 op 1250 hoogwatergebeurtenis, waarbij de rechterkant van de grafiek het noorden is.



Figuur 20: Oost-west doorsnede van de grondwaterstand na 10 dagen voor 1 op 1250 hoogwatergebeurtenis.

Bij bovenstaand figuur dient opgemerkt te worden dat de kritische grondwaterstand aan de oostzijde lijkt te worden bereikt. Omdat de locatie van de parkeergarage een dik getekende lijn is, geeft dit een iets vertekenend beeld. De waarde van de waterstand aan de oostrand van de kelder is 19.58 m NAP.

6.3 Algemene observaties

Gedurende de modelberekeningen zijn enkele waarnemingen gedaan welke relevant zijn voor de keuze voor het pompsysteem, namelijk:

- De eerste dag van hoogwater is geen tot weinig grondwateronttrekking nodig, maar wel van meerwaarde. Indien het hoge water in de eerste dag gedeeltelijk wordt afgepompt is het debiet over de duur van 10 dagen lager. In dit scenario wordt de grondwaterstand niet verlaagd tot onder de natuurlijke waterstand, maar de verhoging van de waterstand verminderd. Dit geldt voor zowel de 1:100 jaar als de 1:1250 jaar gebeurtenis.
- Meerdere onttrekkingspunten dan het aantal van zes in het model verlaagt het benodigde debiet. Geadviseerd wordt om minimaal vijf onttrekkingsbronnen te plaatsen en maximaal negen. Zes of zeven onttrekkingsbronnen geeft de meest optimale verhouding.
- Het verhogen van het aantal onttrekkingsbronnen verhoogt de veiligheid van het systeem en verkleint de risicovolle locaties zoals het midden, de noordzijde van de parkeergarage en de voetgangerspassage.
- Na het eindigen van de hoogwater gebeurtenis moet het onttrekkingssysteem actief blijven tot een grondwaterstand van 19.60 m NAP is bereikt. Modelmatig dient de onttrekkingsperiode minimaal 1 dag worden doorgezet.

6.4 Aandachtspunten

Deze berekeningen zijn uitgevoerd met een weinig voorkomende watergebeurtenis, waarvan de duur 10 dagen is. Alhoewel dit een zeer conservatief scenario is, met name voor de 1 op 1250 hoogwaterstand, is dit niet het meest negatieve scenario. Theoretisch gezien kan natuurlijk altijd een hogere waterstand in de Maas voorkomen. De kans is echter klein omdat de berekende combinatie van 10 dagen met een 1 op 1250 hoogwaterstand zeer klein is.

Er kan ook gedacht worden aan een scenario dat de Maas gedurende enkele weken gemiddeld hoog is waardoor de grondwaterstand onder het Kazerneplein en omgeving stijgt. Dit verkleint de capaciteit van de bodem om water te bergen waardoor bij een hoogwatergebeurtenis zoals de 1 op 1250 hoogwaterstand de grondwaterstand sneller stijgt. Een oplossing hiervoor zou zijn om het pompsysteem een dag eerder op te starten.

In deze rapportage wordt gerekend met een kritische grondwaterstand van 19.60 m NAP, terwijl de onderzijde van de vloer van de parkeergarage is gelegen op 18.53 m NAP. Het uitgangspunt is dan ook dat de parkeergarage waterdicht of bijna waterdicht is. Kleine lekkages in dilatatievoegen kunnen, afhankelijk van de tijdsduur van hoogwater, lokaal een natte vloer veroorzaken. Bij grote lekkages kan mogelijk de parkeergarage blank komen te staan. Dit is echter sterk afhankelijk van de staat en kwaliteit van de parkeergarage en op voorhand niet met zekerheid vast te stellen. Op basis van de leeftijd worden grote lekkages niet verwacht.

7 BRON- EN POMPSYSTEEM

7.1 Debiet

De grondwateronttrekking is in het model ingevoerd met behulp van puntonttrekkingen. Dit komt overeen met de toepassing van bronnen. De onttrekking is circa 10 meter onder het maaiveld. De debieten zijn berekend voor de 2 situaties gedurende 10 dagen (zie Tabel 3). In de tabel komt duidelijk naar voren dat ondanks een gelijke waterstand in de Maas gedurende de 10 dagen, het debiet stijgt met de tijd. Het debiet is minder in de eerdere dagen omdat de bodem nog relatief veel water kan opnemen. Naarmate de hoogwatergolf langer duurt raakt de bodem verzadigd en is de bufferwerking minder groot.

Tabel 3: Onttrekkingsdebieten pompsysteem

Duur [dagen]	1 op 100 [m ³ /dag]	1 op 1250 [m ³ /dag]	1 op 100 [m ³ /uur]	1 op 1250 [m ³ /uur]
1	700	1350	29	56
2	2290	4030	95	168
3	3230	5690	135	237
4	3970	6450	165	269
5	4600	7120	192	297
6	5160	7490	215	312
7	5690	7830	237	326
8	5970	8360	249	348
9	6240	8650	260	360
10	6500	8700	271	363

7.2 Bronsysteem

De capaciteit van een bron is onder andere afhankelijk van het bronoppervlak, welke afhankelijk is van de diepte en diameter. Een diepere bron heeft een minder grote diameter nodig voor hetzelfde debiet.

Als gevolg van de bodemeigenschappen stroomt grondwater sneller in horizontale richting dan verticale richting bij een grondwateronttrekking. Dit houdt in dat een diepere bron een hoger debiet onttrekt voor dezelfde verlaging als een minder diepe bron.

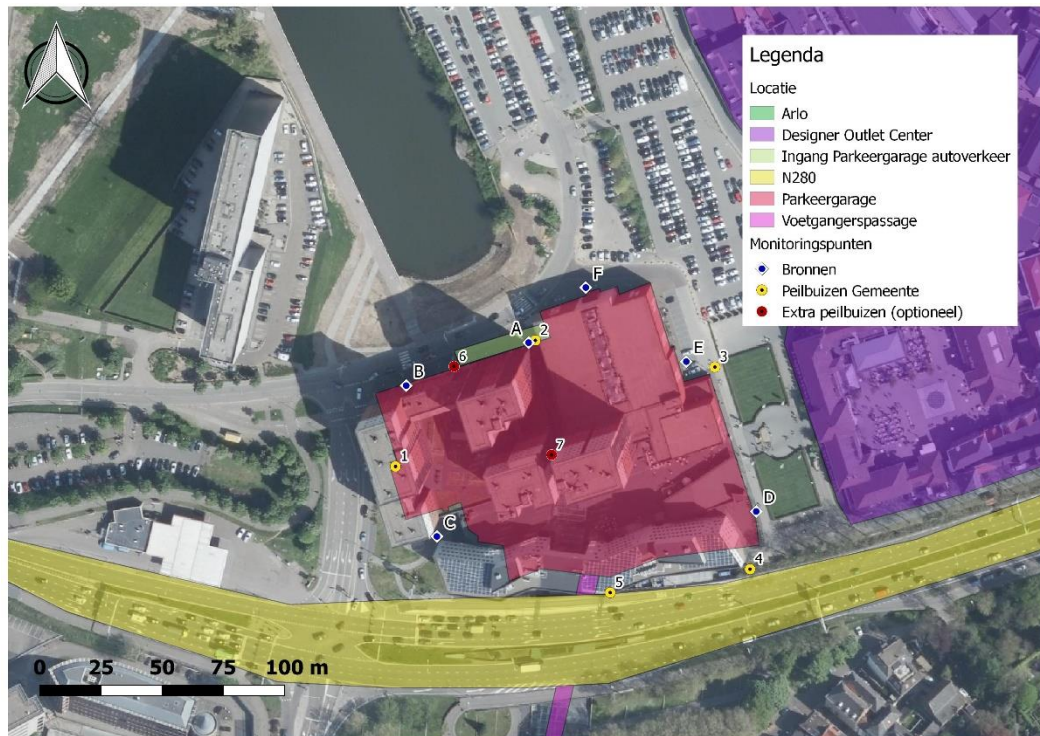
Als gevolg van de broneigenschappen wordt gekozen om een ondiepe bron met een grote diameter toe te passen.

De capaciteit van de bron is afhankelijk van de verlaging in de bron als gevolg van de grondwateronttrekking. De verlaging is zowel modelmatig als analytisch berekend. Hierbij is het voordeel dat in de analytische berekening rekening kan worden gehouden met de brondiameter. In de maximale grondwateronttrekking (1 op 1250 gebeurtenis) wordt een verlaging in de bron berekend van 4.25 meter ten opzichte van het hoge grondwaterniveau. Dit houdt in dat de grondwaterstand circa 17.30 m NAP is en een natte filterlengte van 6.00 tot 6.50 meter beschikbaar is. De grondwaterstand in de bron is daardoor op een acceptabel niveau waardoor de broncapaciteit als voldoende wordt beschouwd.

Tabel 4: Broneigenschappen

Duur [dagen]	1 op 100	1 op 1250
Maaiveld [m NAP]	21.5 – 22.0	21.5 – 22.0
Brondiepte [m NAP]	11.0	11.0
Waterstand Maas [m NAP]	20.84	21.76
Natuurlijk grondwaterstand [m NAP]	17.30	17.30
Waterstand in bron [m NAP] (model)	17.50	17.10
Waterstand in bron [m NAP] (analytisch)	17.20	17.30
Natte filterlengte [m]	6.10	6.30

De locatie van de bronnen is bepaald door middel van het grondwaterwatermodel. Het debiet is tevens afhankelijk van de locatie en hoeveelheid bronnen. Voor een optimale trade-off is gekozen om 6 bronnen te modelleren. De locatie van de bronnen is weergegeven in figuur 21.



Figuur 21: Locatie bronnen en peilbuizen

7.3 Pompcapaciteit en activatie pompsysteem

De pompcapaciteit hangt af van het debiet en de opvoerhoogte. De opvoerhoogte is door een maximale brondiepte van 10 meter, ook niet hoger dan 10 meter. Een uitzondering hierop is als voor de afvoer van het grondwater een overbrugging van de weg wordt aangelegd.

De bronnen hebben een minimale diameter van 250 mm (boorgat 500 mm) met 6 duims ringleiding. De afvoerleiding wordt een 10 duims leiding geadviseerd. Dit dient afgestemd te worden met een adviseur stedelijk water.

Het debiet per bron is circa 60 m³/uur. Uit veiligheidsoverwegingen wordt een overcapaciteit van 20 m³/uur geadviseerd. Zoals Tabel 3 aantoont is het debiet niet elke dag gelijk. Het activeren van het pompsysteem en daarmee het opvoeren van de pompcapaciteit zijn verschillende opties mogelijk, namelijk:

1. Bronnen niet gelijktijdig activeren waardoor er een stijging van het debiet over tijd plaats vindt. De verhoging van het debiet wordt in stappen van 60-80 m³/uur verhoogd. In deze situatie worden meerdere grondwatervlakken ingesteld zodat naarmate de grondwaterstand hoger wordt meer pompen aangezet worden.
2. Frequentie gestuurde pompinstallatie. Met behulp van de frequentiesturing kan de capaciteit van een pomp opgestart worden met circa 30% van het totaalvermogen en vervolgens geleidelijk worden opgevoerd.
3. Een combinatie van bovenstaande systemen om de flexibiliteit van het systeem te maximaliseren.
4. Het maximaal activeren van het bronnensysteem met overcapaciteit. Dit geeft het grootste debiet, en tevens de grootste veiligheid. Omdat dit het meest eenvoudige systeem is, is dit ook het meest robuust.

Een frequentiesturing is een goede mogelijkheid, maar relatief zeer duur. Daarom worden opties 1 en 4 als meest realistisch beschouwd.

Om in optie 1 de eenvoud te waarborgen wordt voorgesteld om 2 bronnen aan de Maaskant (noordwestzijde van het Kazerneplein) en een aan de zuidoostzijde van het Kazerneplein te activeren bij een grondwaterstand van 18.30 m NAP (Bronnen B, D en F). De andere drie bronnen worden geactiveerd bij een grondwaterstand van 19.30 m NAP. De grondwaterstanden waarop bronnen worden aangezet zijn inclusief een veiligheidswaarde van 20 cm.

Voor de 2^{de} optie wordt geadviseerd om vanaf een grondwaterstand van 19.00 m NAP het pompsysteem te activeren. Frequentie gestuurde systeem is een complexer systeem met mogelijk een storing tot gevolg. Het eerder activeren van het pompsysteem geeft tijd om een storing te verhelpen. In het uiterste geval dient het pompsysteem opgestart te worden bij een grondwaterstand van 19.30 m NAP.

De 3^{de} optie heeft in theorie de meeste mogelijkheden, maar maakt het systeem ook onnodig complex. De vereiste grondwaterstand om dit systeem op te starten is dan ook sterk afhankelijk van de exacte keuze van welke combinatie wordt toegepast.

De 4^{de} optie is het meest robuust en kan een lagere veiligheidsmarge worden gehanteerd. In theorie hoeft dit systeem pas worden opgestart als de kritische grondwaterstanden van 19.60 m NAP wordt bereikt. Geadviseerd wordt om het systeem bij deze optie op te starten bij een grondwaterstand van maximaal 19.45m NAP.

In alle opties kan ook gekeken worden naar de waterstand in de Maas (figuur 9). Doordat de hoge waterstand niet direct een hoge grondwaterstand teweeg brengt is dit sterk afhankelijk van de duur. Zo dient bij een waterstand van 21.00 m NAP of hoger binnen een dag het pompsysteem geactiveerd te worden. Bij een waterstand van 20.40 tot 21.00 m NAP, na circa 1 dag en bij een waterstand van lager dan 20.40 m NAP na 2 dagen of nog later. Dit lijkt eenvoudig, maar zitten 2 nadelen aan:

1. De verhoging van de grondwaterstand is een gevolg van een verhoging van de waterstand in de Maas. Deze correlatie is in dit onderzoek gemodelleerd, maar op de modelberekening zitten door aannames in de modelberekening (bijvoorbeeld homogene bodem) een foutmarge. Deze foutmarge resulteert in een onzekerheid in het geval dat het pompsysteem gekoppeld wordt aan de waterstand in de Maas.
2. De modelberekeningen zijn uitgevoerd met eenvoudige waterstandsveranderingen waarbij een duidelijke correlatie kan worden afgeleid. De waterstanden zijn echter niet zo eenduidig als in dit onderzoek gemodelleerd. In de praktijk zal blijken dat er geen simpel antwoord te geven is op wanneer het pompsysteem geactiveerd dient te worden tenzij er een extreme veiligheid wordt ingebouwd. Geadviseerd wordt om het pompsysteem te activeren bij de waardes genoemd in deze paragraaf voor de verschillende opties. Na het gebruik van het pompsysteem kan het systeem worden geëvalueerd waarna meer nauwkeurigheid kan worden gegeven over het tijdstip van activeren en de gevolgen van het pompsysteem.

In het geval de onttrekking eerder wordt opgestart, op basis van ofwel een lagere grondwaterstand of een bepaalde tijdsduur, wordt geadviseerd om het pompsysteem in fases op te schalen. In het geval dat de maximale onttrekking in een vroeg stadium wordt opgestart wordt meer water onttrokken dan noodzakelijk. Dit heeft een lagere grondwaterstand in de omgeving tot gevolg en is de kans groot dat de grondwaterstand verlaagd wordt tot onder de natuurlijke grondwaterstand. Het eerder opstarten van het pompsysteem geeft wel een grotere veiligheid tegen het opbarsten van de vloer van de parkeergarage. De keuze in opstartmoment heeft weinig effect op de maximale snelheid van grondwaterstroming, alleen op de duur van een hoge grondwaterstroming.

7.4 Kortdurend of langdurend pompsysteem

Een langdurend pompsysteem wordt een onttrekking beschouwd waarbij de grondwaterstand voor de hoogwater gebeurtenis al gedeeltelijk wordt verlaagd. Deze verlaging treedt op in 3 tot 5 dagen. Als een hoogwater gebeurtenis 10 dagen duurt houdt dus in dat een kortdurend pompsysteem 12 dagen aan staat (1 dag eerder opstarten en 1 dag later stop zetten), en een langdurend pompsysteem 16 dagen (5 dagen eerder opstarten en 1 dag later stop zetten).

Het grootste voordeel van een langdurend pompsysteem is het lagere debiet waardoor alle elementen van het systeem kleiner kan worden uitgevoerd. Rekening houdend met de overcapaciteit als veiligheid is dit echter een kleine financiële winst.

Omdat een kortdurend pompsysteem minder vaak geactiveerd hoeft te worden en eenduidiger is, heeft dit de voorkeur. Het verschil in frequentie van activatie is moeilijk in te schatten aangezien de hoogwatergebeurtenissen weinig voorkomen.

Het pompsysteem wordt ingesteld dat de kritische grondwaterstand nergens onder de parkeergarage wordt overschreden. Met een goed afgesteld pompsysteem is het effect van de grondwateronttrekking op de grondwaterstand gelijk voor een kortdurend of langdurend pompsysteem. Als het pompsysteem te sterk is afgesteld is de kans op een te lage grondwaterstand bij een langdurend pompsysteem het grootst.

Om de veiligheid van de parkeergarage te waarborgen is het mogelijk om één ontlastbron in het midden van de parkeergarage (bij peilbuis 7) aan te brengen (zie paragraaf 4.2.6). Deze kan worden gebruikt als peilbuis waarop het pompsysteem gestuurd wordt. Indien blijkt dat het pompsysteem onvoldoende is of dat de grondwaterstand hoger is dan berekend kan de ontlastbron gebruikt worden als laatste redmiddel om opbarsten van de vloer te voorkomen. Hiervoor dient dan wel een tijdelijke afvoer en pompcapaciteit beschikbaar te zijn. Hierbij kan gedacht worden aan dezelfde bron- en pompeigenschappen als beschreven in paragraaf 6.3 met een zesduims afvoerleiding.

Het is mogelijk om de pompen niet continu in de bronnen te plaatsen, maar slechts bij hoogwater. Hierbij dient echter rekening te worden gehouden dat de bronnen te zwaar zijn om handmatig te installeren.

7.5 Monitoring

De peilbuizen van de gemeente Roermond zijn toepasbaar voor het bronsysteem. Geadviseerd wordt om peilbuis zes (zie Figuur 21) bij te plaatsen. Peilbuis 7 is optioneel. Deze peilbuis is moeilijker te realiseren, maar geeft wel de hoogste grondwaterstand onder de parkeergarage wanneer het pompsysteem in gebruik is. In het geval dat de grondwaterstand in peilbuis 7 niet boven de 19.60 m NAP komt, is met grote zekerheid te zeggen dat de grondwaterstand onder de gehele parkeergarage niet boven de 19.60 m NAP komt.

De monitoring vindt plaats door minimaal 4 peilbuizen van gemeente Roermond (peilbuis 1,2 ,3 en 5 in Figuur 21). Uit het onderzoek is gebleken dat de zwakste locaties te vinden zijn in het midden van de parkeergarage, de zijde naast de Maas en de zijde daar tegenover (zijde van de voetgangerspassage). Eventueel kan worden gekozen voor 2 extra peilbuizen ter controle (zie Figuur 21) . De peilbuizen worden geplaatst tot circa 10 meter onder maaiveld, gelijk aan het bronsysteem. De monitoring vindt plaats via digitale monitoringsysteem van bijvoorbeeld de volgende aanbieders:

- iReal: relatief duur, kwaliteit goed.
- Wareco, goede prijs / kwaliteit verhouding.
- Bouwrisk, relatief duur, kwaliteit goed, meedenkend personeel.

Met een telemetrisch systeem van de bovengenoemde aanbieders kan de waterstand live worden gemonitord. De systemen geven de NAP-hoogtes van de grondwaterstand in de peilbuizen. Eveneens kan een alarm worden ingebouwd. De meetfrequentie wordt bepaald door de opdrachtgever. Op deze manier is het mogelijk om een alarmering toe te voegen waarna de gegevens gecontroleerd worden alvorens actie wordt ondernomen.

Het is ook mogelijk om de pompen automatisch te activeren of te stoppen als gevolg van een hoge grondwaterstand. Deze optie is toegelicht in 7.3 Pompcapaciteit. Dit vergt echter een connectie tussen bronnen en monitoring. Hiervoor dient contact op te worden genomen met bijvoorbeeld een bemalend partij als Van Kessel Bronbemaling of van Tongeren.

7.6 Onderhoud

Het onderhoud van de bronnen is vergelijkbaar met een brandblusbron. In het onderhoud wordt het systeem een maal per jaar getest waarbij de verlaging in de bronnen en de peilbuizen wordt gemonitord. Hierdoor kan de eventuele terugval van de broncapaciteit worden gemeten.

In het geval dat de capaciteit van de bronnen over tijd lager is wordt onderhoud gepleegd. Onderhoud kan bestaan uit het jutteren van de bronnen en indien noodzakelijk het chemisch reinigen van de bronnen.

8 GEVOLGEN VAN NEERSLAG

Neerslag heeft twee gevolgen voor de gehele waterhuishouding op en rondom het Kazerneplein. Ten eerste het afstromend hemelwater over bestraatte oppervlaktes en ten tweede het effect op de grondwaterstand. Dit hoofdstuk beschrijft kort de gevolgen een hevige neerslag.

8.1 Afstromend hemelwater

Afstromend hemelwater heeft in het verleden (ca. 2011) voor wateroverlast gezorgd. Hiervoor zijn door gemeente Roermond diverse maatregelen genomen zoals het zwaarder uitvoeren van de hemelwaterpomp, taluds voorzien van graszoden of maaskeien en het toevoegen van lijngoten. Na de aanpassingen is geen wateroverlast meer geconstateerd.

Door de grote hoeveelheid bestrating en taluds wordt neerslag grotendeels opgevangen en afgevoerd. Dit resulteert in een kleine instroom van regenwater in de bodem.

8.2 Gevolgen op de grondwaterstand

Een hevige bui heeft kortdurend gevolgen voor de grondwaterstand. Normaliter stijgt de grondwaterstand in de orde van enkele centimeters als gevolg van hevige neerslag.

Logischerwijs geeft een grotere bui, ook een grotere watertoevoer aan de bodem. De verhouding is echter niet constant. Bij een grotere bui zal procentueel meer water afstromen (en worden opgevangen door het afvoersysteem van gemeente Roermond) dan bij een kleine bui.

Gezien het gegeven dat een groot oppervlak van het Kazerneplein en omgeving is bestraat of bestaat uit taluds, is de instroom van regenwater in de bodem relatief klein. In de modelberekening is daarom rekening gehouden met een gemiddelde instroom van regenwater over de gehele modelperiode van 10 dagen.

9 AFVOERSYSTEEM

De bronnen van het grondwatersysteem worden ondergronds met elkaar verbonden met behulp van een verzamelleiding (6 duims). De verzamelleiding wordt onder of over de weg doorgetrokken in een 10 duims leiding om te lozen in de Maas. De ondergrondse leiding heeft de voorkeur doordat het meer robuust is en een lagere kans op falen door menselijk handelen. De leiding over de weg is daarentegen goedkoper en er hoeft geen extra leiding door een waterkering te worden aangelegd.

Geadviseerd wordt om onderwaterpompen met voldoende opvoerhoogte aan te schaffen om het water over de waterkering en een verhoogde waterleiding af te voeren. Een verzamelput wordt niet geadviseerd omdat dit het systeem complexer maakt dan noodzakelijk. Tevens zal een verzamelput niet groot genoeg zijn in het geval van een storing aan de doorvoerpomp.

Gezien de verwachte klimaatverandering heeft de voorkeur om geen gebruik te maken van een bestaand RWA of HWA om het risico op overbelasting van het RWA of HWA te voorkomen.

10 CONCLUSIE

Voor de gemeente Roermond is het grondwater op de locatie van het Kazerneplein te Roermond geanalyseerd.

10.1 Hoogwatersysteem

Door een hoogwater niveau in de Maas stijgt de grondwaterstand en barst de vloer van de parkeergarage van het Kazerneplein op. Om dit te voorkomen is in de ontwerpfase bepaald dat gedurende hoogwater de parkeergarage onder water wordt gezet. Dit is echter door het gebruik van de parkeergarage en functies binnen de ruimte van de parkeergarage niet meer mogelijk waardoor een aantal alternatieven zijn overwogen. Wegens praktische redenen is een hoogwatersysteem d.m.v. bronnen gekozen voor verdere uitwerking.

Het hoogwatersysteem bestaat uit circa 6 bronnen tot een diepte van 11.00 m NAP en een boordiameter van 500 mm (brondiameter 250 mm). Deze diepte geeft voldoende capaciteit voor de berekende onttrekkingsdebieten. De onttrekkingsdebieten zijn afhankelijk van de hoogwaterstand, duur van hoogwater gebeurtenis en bronsysteem. Met het beschreven ontwerp wordt een maximaal debiet van 365 m³/uur berekend na 10 dagen voor een hoogwatergebeurtenis van 1 op 1250 jaar.

Omdat het bronsysteem wordt geactiveerd om extreem hoge grondwaterstand tegen te gaan wordt de grondwaterstand, buiten de directe omgeving van de bronnen, niet verlaagd onder de natuurlijke grondwaterstand. De onttrekking zal dan ook eerder wateroverlast verminderen dan verergeren. Ook neemt de grondwaterstroming lokaal sterk toe en verandert deze van richting. Door de korte duur van de hoogwater gebeurtenis zijn de gevolgen hiervan echter gering.

De grondwaterstand wordt gemonitord met behulp van de bestaande peilbuizen van gemeente Roermond. Deze monitoring kan worden uitgebreid met twee extra peilbuizen, waarvan één in de vloer van de parkeergarage. De peilbuis in de vloer van de parkeergarage is echter moeilijker te realiseren en wordt dan ook als een mogelijke optie beschreven. Geadviseerd wordt om de monitoring te koppelen voor de activatie en deactivatie van het pompsysteem. De methode van het activeren dient in overleg met gemeente Roermond te worden afgestemd.

10.2 Afstromend hemelwater

In het verleden heeft zich wateroverlast voorgedaan als gevolg van grote neerslag. Door diverse aanpassingen door gemeente Roermond is de wateroverlast verholpen.

Door het afvoersysteem van de gemeente Roermond, grote hoeveelheid bestrating en maaiveldverschillen is de instroom van neerslag in de bodem gering. De verwachting is dat grote buiten een klein effect hebben op de grondwaterstand.

10.3 Afvoersysteem

Voor de grondwateronttrekking wordt een nieuw afvoersysteem aangelegd met een ringleiding en afvoerleiding. De afvoerleiding kan tijdelijk worden aangelegd tijdens hoogwater. Geadviseerd wordt om het afvoersysteem te verifiëren bij een adviseur stedelijk water.