

Geohydrologisch onderzoek

Houtmarkt te Haarlem

status: definitief

versie: 1

datum

28 juni

2021

opdrachtgever

IDDS b.v.

P. van den Berg
s-Gravendijckseweg 37
2201CZ Noordwijk

adviseur

ing. E.J. (Erik) Loots
erik@lootsgwt.com

Loots Grondwatertechniek
www.lootsgwt.com

kenmerk

20110121B.1



Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Uitgangspunten.....	4
2.1	Ondergronds object bestaand en nieuw.....	4
2.2	Bodemopbouw.....	5
2.3	Waterhuishouding eigenschappen.....	6
2.4	Hemelwater eigenschappen.....	7
3	Berekeningsresultaten.....	9
3.1	Barrière bestaand versus nieuw.....	9
3.2	Hemelwater bestaand versus nieuw.....	9
3.3	Grondwaterstroming en -verhang.....	10
3.4	Achterblijvende damwanden betekent gaten aanbrengen.....	11
3.5	Oplosrichtingen grondwaterstroming.....	13
4	Conclusie en aanbevelingen.....	14
4.1	Conclusie (geo)hydrologisch ontwerp.....	14
4.2	Conclusie monitoring.....	15
4.3	Aanbevelingen.....	16
4.4	Vervolgstappen.....	16
	Gebruikte literatuur en bronnen.....	17
	Bijlage 1 - Tekeningen + voorbeeld oplossingen	
	Bijlage 2 - Bodemonderzoeken en -parameters	
	Bijlage 3 - Grondwaterparameters	
	Bijlage 4 - Berekening debiet	
	Bijlage 5 - Berekening gaten in damwand	
	Bijlage 6 - Berekening doorlatendheid grondverbetering	

1 Inleiding

Bij het project "Houtmarkt te Haarlem" worden ondergrondse objecten aangelegd. De opdrachtgever wenst duidelijkheid op het gebied van hemel- en grondwater. De opdrachtgever wilt weten welke maatregelen noodzakelijk zijn om verslechtering van de waterhuishouding te voorkomen. De opdrachtgever wenst een grondwaterneutraal ontwerp.

Helderheid op deze punten is van belang, de opdrachtgever wenst een verantwoorde beslissing te nemen over de aanleg van een ondergrondse constructie.

Doel van geohydrologisch onderzoek

Het hoofddoel is het bepalen van een geohydrologisch ontwerp welke voldoet aan grondwaterneutraal bouwen. Bij een grondwaterneutraal ontwerp kan hemel- en grondwater in de nieuwe situatie met hetzelfde gemak als in de bestaande situatie (dus niet meer weerstand) afstromen.

Daarnaast worden de volgende vragen beantwoord:

1. Welke grondwaterstroming is er in de omgeving (verschillen polderpeil)? [hoofdstuk 2.3]
2. Welke grondwaterstroming ontstaat er door hemelwater? [hoofdstuk 3.2]
3. Welk effect heeft grondwaterstroming op de grondwaterstand? [hoofdstuk 3.3]
4. Zijn gaten in damwanden noodzakelijk, zo ja welk effect hebben gaten in damwanden? [hoofdstuk 3.4]
5. Is een grondverbetering noodzakelijk, zo ja welke doorlatendheid moet de grondverbetering hebben? [hoofdstuk 3.5]
6. Zijn maatregelen voor hemelwater op te vangen noodzakelijk om te voldoen aan de Rainproof?
7. Welke vervolgstappen moeten verder worden genomen?

Leeswijzer

In de hoofdtekst van dit rapport zijn berekeningen, vaktermen en parameters waar mogelijk niet opgenomen, dit zodat de leesbaarheid van het rapport verhoogd wordt. De specialistische gegevens zijn opgenomen in bijlagen 2 tot en met 6.

Algemene voorwaarden

Op alle, door Loots Grondwatertechniek uitgebrachte adviezen en berekeningen, is de DNR2011 van toepassing. Loots Grondwatertechniek staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

© Copyright Loots Grondwatertechniek - Niets uit dit drukwerk mag worden verveelvoudigd, gecommuniceerd, aangepast, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt, in enige vorm op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, microfilm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Loots Grondwatertechniek, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd. De rekenwaarden zijn uitsluitend voor berekening van grond-/hemelwaterstroming en worden geenszins met het oog op enig specifiek gebruik ter beschikking gesteld.

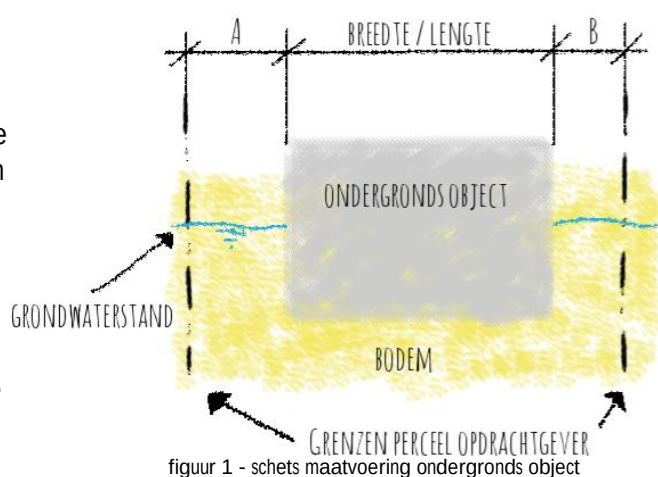
2 Uitgangspunten

De uitgangspunten van het project zijn de basis. Bij een foutieve basis is het resultaat slecht. De uitgangspunten controleren is belangrijk, dit omdat parameters regelmatig wijzigen in een normaal ontwerpproces.

2.1 Ondergronds object bestaand en nieuw

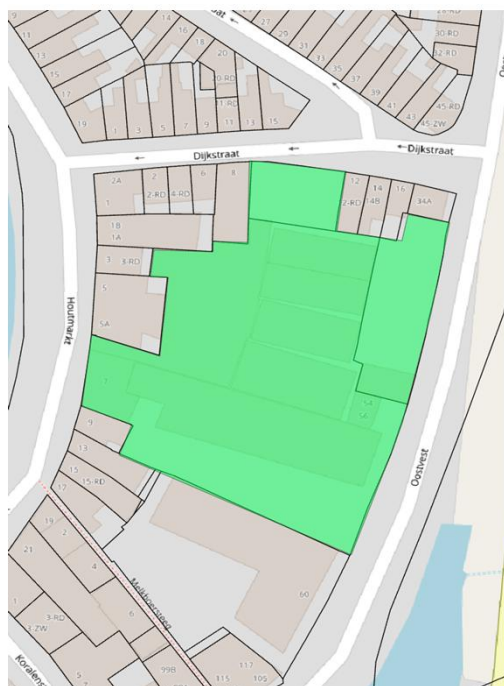
In figuur 1 (onder) is het ondergronds object schematisch weergegeven. Naast het object bevindt zich de grenzen van het perceel van de opdrachtgever. Bij elk project worden in de bestaande en nieuwe situatie deze afmetingen bepaald. In tabel 2.1 zijn de resultaten samengevat.

In figuren 2 en 3 wordt de bestaande en nieuwe situatie naast elkaar visueel weergegeven (doorsnede). In bijlage 1 zijn de tekeningen bijgevoegd.

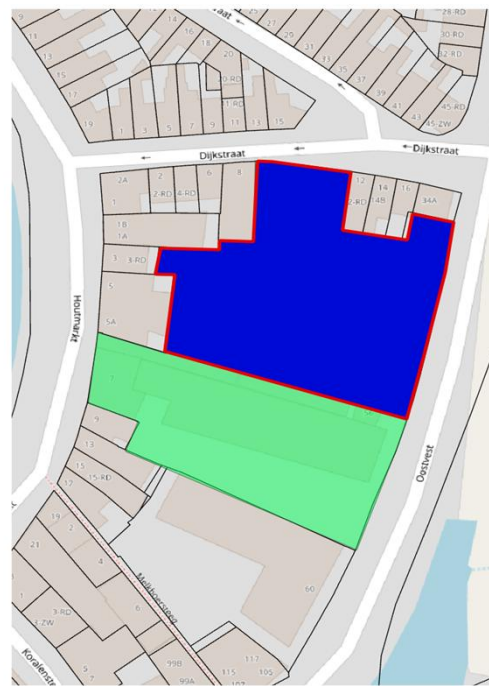


tabel 2.1

situatie	bestaand	nieuw
omschrijving	kruipruimte	kelder
lengte barrière totaal [m]	70	60
ruimte lengte (A+B) [m]	0	10
breedte barrière totaal [m]	80	52
ruimte breedte (A+B) [m]	0	28
onderkant barrière [m+NAP]	-0,3	-6
onderkant damwanden [m+NAP]	geen	-12

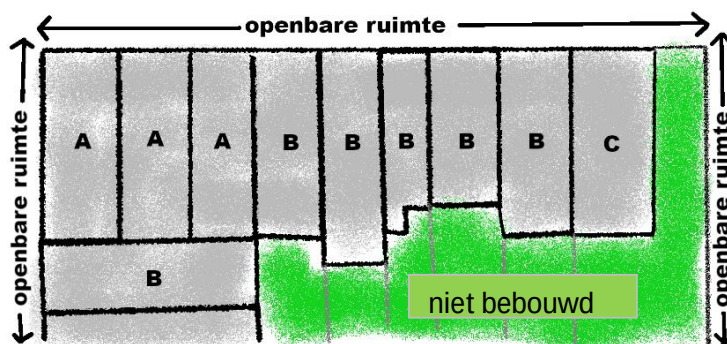


figuur 2 - bestaand (groen=geen kelder)



figuur 3 - nieuw (blauw=kelder, rood=damwand)

In de rechter figuur 4 zijn er drie verschillende situaties geschetst. Situatie A betreft een pand waar alleen bebouwing of openbare ruimte rondom de perceelsgrens aanwezig is. Bij situatie B is er een onbebouwd deel aanwezig, echter sluit dit niet aan op openbare ruimte. Bij situatie C is er onbebouwd deel welke grenst aan openbare ruimte.



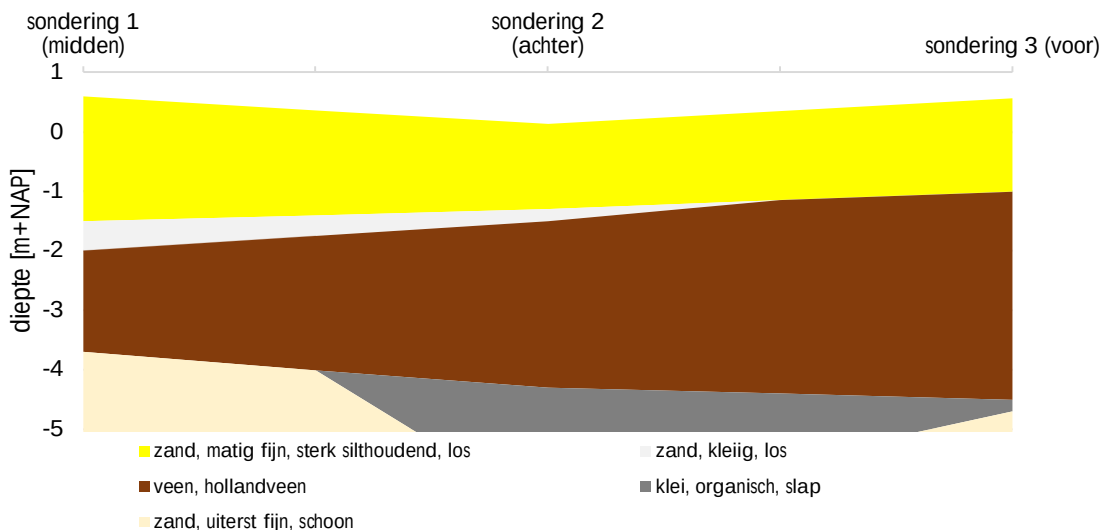
figuur 4 - situatie project

Het project komt overeen met situatie A. Geconcludeerd wordt dat er weinig tot geen hemelwater uit onbebouwd gebied via de bodem van de projectlocatie afgevoerd wordt.

2.2 Bodemopbouw

In figuur 4 is een schematisering van de bodem weergegeven. De doorlatendheid van de bodem is niet onderzocht, daarom is een bandbreedte aangehouden van 3 tot 7 m/dag. Dit resulteert in een transmissiviteit (kD) van 6,3 tot 14,7 m²/dag. In bijlage 2 kan meer informatie over de bodemopbouw worden gevonden.

GRAFIEK: doorsnede bodem



figuur 4 - schematisering bodem

Bandbreedte toelichting

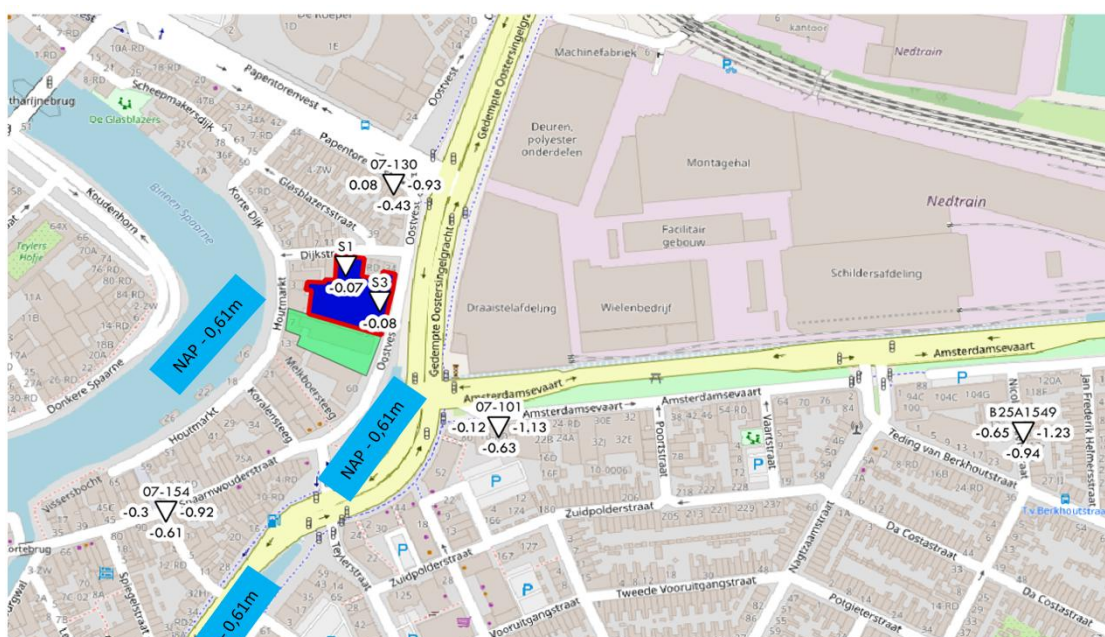
Een bandbreedte van de geohydrologische bodemeigenschappen hanteren is gewenst wegens variaties in de praktijk. De berekeningen en conclusies gaan uit dat de doorlatendheid van de bodem niet exact is maar ligt tussen de aangegeven bandbreedte. Het voordeel is dat de praktijk zeer waarschijnlijk binnen de bandbreedte valt, terwijl bij een enkele exacte waarde de praktijk zeer waarschijnlijk afwijkt.

2.3 Waterhuishouding eigenschappen

De projectlocatie is gelegen tussen oppervlaktewater met een waterpeil van NAP -0,61 m. Geconcludeerd wordt dat in het gebied een belangrijke grondwaterstroming aanwezig is door de waterhuishouding (waterpeil verschil en/of grote afstand tussen ontwateringsmiddelen).

Grondwaterstand

In figuur 5 is het resultaat van de grondwaterstand analyse in de omgeving weergegeven. Op basis van langdurige grondwaterstand metingen is de gemiddelde grondwaterstand en grondwaterstand fluctuatie weergegeven. Het grondwater stroomt overwegend richting het oosten. Het grondwater in de omgeving stroomt parallel ten opzichte van (de lengterichting van) het gebouw.



figuur 5 - grondwaterstanden t.o.v. NAP [m] (boven driehoek=peilbuis naam, onder driehoek=gemiddelde grondwaterstand, links driehoek=maatgevend hoge grondwaterstand, rechts driehoek=maatgevende lage grondwaterstand)

In tabel 2.3A is de weergegeven welke grondwaterstand op de projectlocatie (ongeveer) verwacht wordt op basis van interpolatie op basis van de afstand tussen de projectlocatie en de meetpunten.

tabel 2.3A

grondwaterstand [m+NAP]	stroming van...	stroming naar...	projectlocatie
naam peilbuis en verhouding %	Spaarne	07-130	0%/ 100%
maatgevend hoog	-0,61	0,08	0,08
gemiddeld	-0,61	-0,43	-0,43
maatgevend laag	-0,61	-0,93	-0,93

Uit de waterhuishouding analyse blijkt een grondwaterstroming rond de projectlocatie richting (van/naar) de openbare ruimte. Er is sprake van een bovengemiddelde grondwaterstroming doordat het maaiveld rondom de projectlocatie voor een deel niet afgekoppeld is (op riool) en/of er is sprake van verschillende polderpeilen rondom de projectlocatie.

Geconcludeerd wordt een belangrijke grondwaterstroming richting (van/naar) de openbare ruimte, rekening houden met grondwaterstroming uit de omgeving is noodzakelijk voor een grondwaterneutraal ontwerp.

In tabel 2.3B is het verhang tussen peilbuizen en het debiet (door projectlocatie) weergegeven. De berekening van het debiet is opgenomen in bijlage 4.

tabel 2.3B

grondwaterstand [m+NAP] en stroming	stroming van...	stroming naar...	verhang	debiet [m³/dag]
januari	-0,61	-0,31	-0,0020	-0,321~-1,244
februari	-0,61	-0,40	-0,0014	-0,227~-0,881
maart	-0,61	-0,60	-0,0001	-0,011~-0,042
april	-0,61	-0,60	-0,0001	-0,011~-0,042
mei	-0,61	-0,43	-0,0012	-0,195~-0,755
juni	-0,61	-0,60	-0,0001	-0,011~-0,042
juli	-0,61	-0,18	-0,0029	-0,471~-1,825
augustus	-0,61	-0,55	-0,0004	-0,065~-0,252
september	-0,61	-0,40	-0,0014	-0,227~-0,881
oktober	-0,61	-0,55	-0,0004	-0,065~-0,252
november	-0,61	-0,27	-0,0023	-0,368~-1,426
december	-0,61	-0,30	-0,0021	-0,336~-1,3

2.4 Hemelwater eigenschappen

Hemelwater heeft een effect op de grondwaterstroming. Hemelwater welke in de bodem wegzakt (wordt grondwateraanvulling) en zal vervolgens afstromen naar oppervlaktewater of drainage. De afwerking van het oppervlakte (groen, gerioleerd of verhard) heeft invloed op de hoeveelheid hemelwater welke in de bodem wegzakt. In tabel 2.4A is weergegeven welke hoeveelheid neerslag en verdamping (op basis van statistieken KNMI) van toepassing is per maand. De hoeveelheid grondwateraanvulling wordt berekend door neerslag te verminderen met de verdamping.

Tabel 2.4A

hemelwater [mm]	neerslag gemiddeld	verdamping groen	straat: verdamping+riolering	onbebouwd gebied met verharding verdamping
januari	75	7,2	54,9	2,4
februari	59	13,5	54,8	4,5
maart	74	28,8	61,4	9,6
april	45	58	48,9	17,4
mei	65	84	70,7	25,2
juni	68	90	74,6	27
juli	84	95	87,3	28,5
augustus	77	76	77,9	24
september	81	44,1	71,4	14,7
oktober	89	24,3	0,4	8,1
november	86	9,9	63,5	3,3
december	84	5,4	60,6	1,8
SOM	887	536,2	726,4	166,5
grondwateraanvulling		350,8	160,6	720,5

Geconcludeerd wordt dat bij verharding zonder riolering de grootste hoeveelheid hemelwater in de bodem komt. Vaak is dit ook in combinatie met wateroverlast (doordat hemelwater niet snel door verharding kan zakken). Daarna volgt een groen oppervlakte (gras, bomen, etc.) waarbij ongeveer 50% minder hemelwater in de bodem zakt, dit komt met name doordat in het groeiseizoen veel water door groen opgenomen wordt. Tot slot zakt er bij een verhard oppervlakte met riolering het minste hemelwater in de bodem, dit is bijna 80% minder dan bij een gerioleerd oppervlaktewater. Tot slot bebouwing (dak met regengoten) zal resulteren in 0 mm/jaar grondwateraanvulling (dit doordat het direct op riool af zal voeren).

Rainproof

Ten aanzien van de rainproof zijn maatregelen noodzakelijk omdat er in de onbebouwd gebied wijzigingen optreden. Geconcludeerd wordt bebouwd oppervlakte toeneemt. Er wordt aanvullend 1150 m² verhard oppervlakte aangesloten op het riool van de gemeente. Een waterberging van minimaal 69 m³ is noodzakelijk. Deze waterberging moet vertraagd geleegd worden in het riool (2,5 mm/uur = 2875 liter/uur). In tabel 2.4B zijn de eigenschappen van hemelwater weergegeven.

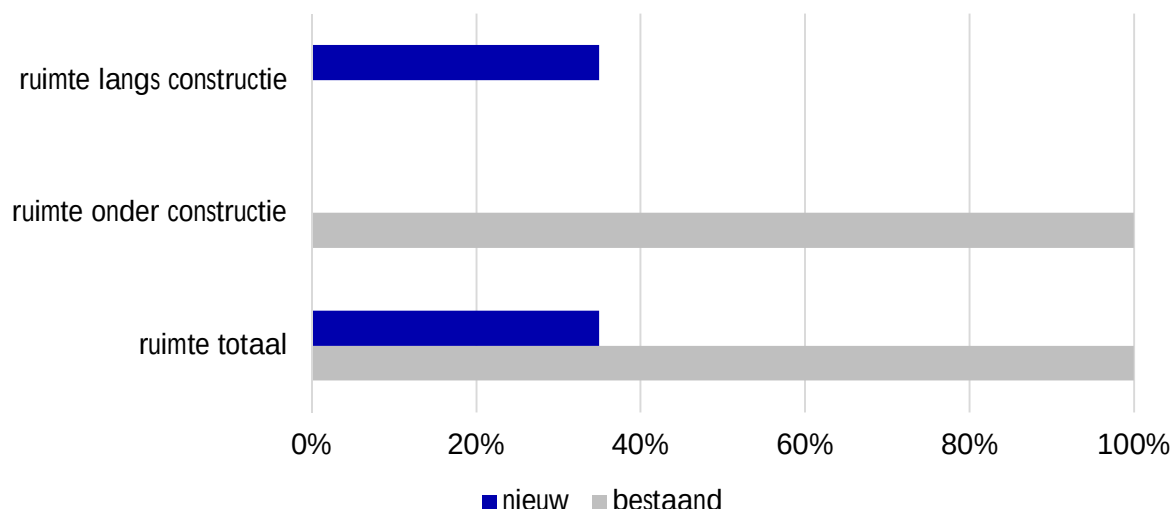
Tabel 2.4B

eigenschappen hemelwater	bestaand	nieuw
(dak)oppervlakte direct op riool aangesloten [m ²]	2800	3950
onbebouwd gebied [m ²]	1400,0	250,0
groen [%]	10%	10%

3 Berekeningsresultaten

3.1 Barrière bestaand versus nieuw

In de onderstaande grafiek is met kleur aangegeven welk percentage van de watervoerende laag aanwezig is in de bestaande en in de nieuwe situatie. In de nieuwe situatie is er ten opzichte van de bestaande situatie een afname van de watervoerende laag. Geconcludeerd wordt dat de bodem onder de bebouwing een gereduceerde doorstroomcapaciteit zal hebben wanneer er geen maatregelen getroffen worden.



3.2 Hemelwater bestaand versus nieuw

Er is een onbebouwd gebied aanwezig in de bestaande situatie. Er is sprake van extra bebouwd gebied, het onbebouwde oppervlakte wordt daardoor kleiner. Het hemelwater welke op de extra dakoppervlakte valt zal vertraagd op het riool afgevoerd moeten worden (dit zodat de grondwateraanvulling gelijk blijft in de onbebouwd gebied). Hemelwater welke in onbebouwd gebied valt (of in nabijgelegen onbebouwd gebied) wordt afgevoerd via de bodem van de projectlocatie. Geconcludeerd wordt dat hemelwater een rol speelt bij de barrièrewerking

Tabel 3.2

Hoeveelheid hemelwater [m³/dag]	bestaand	nieuw
januari	3,257	0,582
februari	2,588	0,462
maart	2,822	0,504
april	1,099	0,196
mei	1,532	0,274
juni	1,619	0,289
juli	2,206	0,394
augustus	2,159	0,385
september	2,957	0,528
oktober	3,58	0,639
november	3,829	0,684
december	3,696	0,66

De grondwaterstroming door hemelwater is richting de voorgevel, dit is richting het oosten. De berekening van het debiet is opgenomen in bijlage 4.

3.3 Grondwaterstroming en -verhang

Op de projectlocatie is er sprake van onbebouwd gebied, hemelwater wordt grotendeels (tot lokaal geheel) afgevoerd door de bodem. In hoofdstuk 2.3 is gekeken naar de waterhuishouding in de omgeving, geconcludeerd wordt een belangrijke grondwaterstroming rondom de projectlocatie, rekening houden met grondwaterstroming is noodzakelijk voor een grondwaterneutraal ontwerp. Het realiseren van een barrière kan dus een belemmering zijn ten aanzien van grondwaterstroming en afvoer hemelwater nabij projectlocatie.

In tabel 3.3 is het totale debiet weergegeven (berekening is opgenomen in bijlage 4), het model kan vervolgens het maatgevend verhang uitrekenen. Het verhang moet in de nieuwe situatie gelijk blijven (geen verslechtering).

tabel 3.3

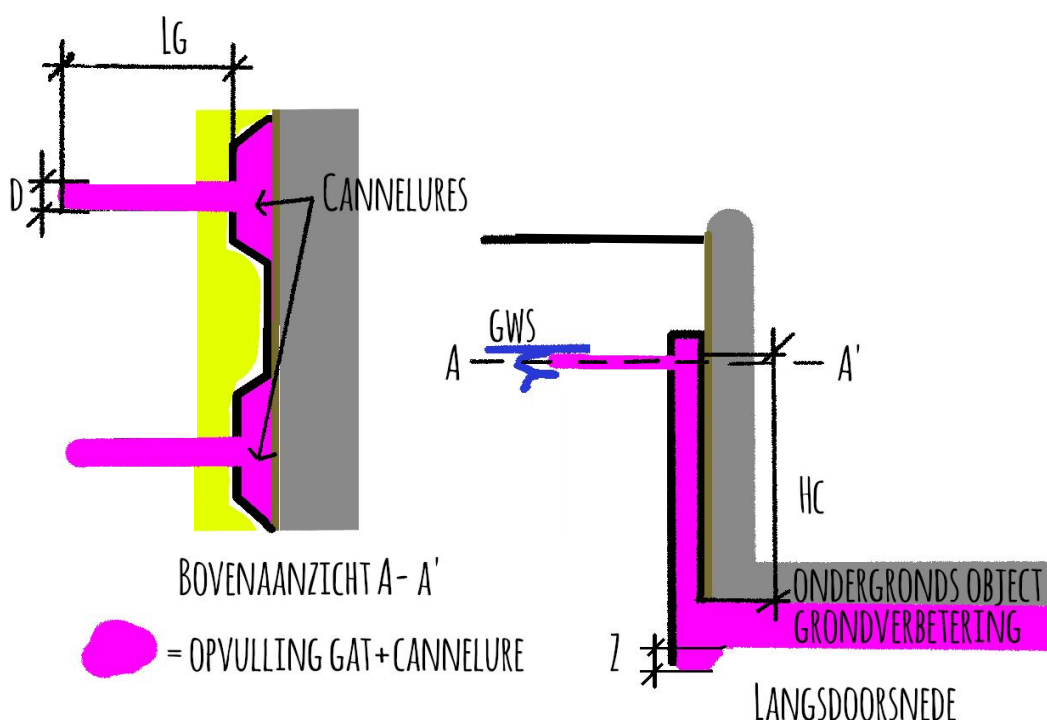
Grondwaterstroming- en verhang	debiet omgeving [m ³ /dag]	debiet hemelwater [m ³ /dag]	debiet totaal [m ³ /dag]	verhang
stromingsrichting	oosten	oosten	oosten	
januari	-0,321~-1,244	3,257	2,936~2,013	1:313 ~ 1:55
februari	-0,227~-0,881	2,588	2,361~1,707	1:369 ~ 1:69
maart	-0,011~-0,042	2,822	2,811~2,78	1:226 ~ 1:58
april	-0,011~-0,042	1,099	1,088~1,057	1:595 ~ 1:149
mei	-0,195~-0,755	1,532	1,337~0,777	1:810 ~ 1:121
juni	-0,011~-0,042	1,619	1,608~1,577	1:399 ~ 1:101
juli	-0,471~-1,825	2,206	1,735~0,381	1:1650 ~ 1:94
augustus	-0,065~-0,252	2,159	2,094~1,907	1:330 ~ 1:78
september	-0,227~-0,881	2,957	2,73~2,076	1:303 ~ 1:59
oktober	-0,065~-0,252	3,58	3,515~3,328	1:189 ~ 1:46
november	-0,368~-1,426	3,829	3,461~2,403	1:262 ~ 1:47
december	-0,336~-1,3	3,696	3,36~2,396	1:263 ~ 1:48

De grondwaterstroming is overwegend richting de voorgevel.

Een verhang groter dan 1:100 is bepaald in dit onderzoek (op het moment dat al het (hemel)water via de projectlocatie af moet stromen naar openbare ruimte). Dit is onwaarschijnlijk, de bodem onder burens speelt waarschijnlijk een belangrijke rol. Het ongunstige scenario kan echter niet worden uitgesloten, daarom is gekozen een verhang van 1:100 bij het maximale debiet optioneel mogelijk te maken door berekende doorlatendheid met een factor 2,2 te verhogen. Door een deel van de gaten dicht te laten zal de nieuwe situatie overeenkomen met de bestaande situatie, echter indien tijdens de bouw blijkt dat verbetering wenselijk is, dan is het technisch mogelijk de situatie te verbeteren door het maximaal aantal gaten open te zetten.

3.4 Achterblijvende damwanden betekent gaten achteraf aanbrengen

Indien gele damwand figuur 7 niet grotendeels verwijderd kan worden, dan is werkwijze conform figuur 6 waarbij damwanden geperforeerd worden gewenst. Drukverlies door gaten in damwanden treedt op drie locaties op. Ten eerste drukverlies cannelure (verticale stroming). Ten tweede drukverlies stroming door gat. Tot slot drukverlies bij overgang vanuit "opvulling gat" naar de bestaande bodem buiten de barrière. Het effect van de gaten wordt bepaald door de verhouding debiet, k-waarde en verhang ter plaatse van de gaten te modelleren in een detail grondwatermodel. Het grondwatermodel wordt uitgevoerd met een gereduceerde (op basis van detail model) k-waarde ter plaatse van de gaten.



figuur 6 - principe gaten in damwand

Op het moment dat damwanden toegepast worden zullen deze soms niet meer verwijderd worden. Damwanden sluiten vrijwel altijd de gehele zandlaag af. Om grondwaterstroming mogelijk te maken in de eindsituatie zullen gaten in damwanden aangebracht moeten worden. Deze gaten hebben een aanzienlijk kleiner doorstroomoppervlakte waardoor er drukverlies optreedt. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van een detail grondwatermodel samengevat.

In tabel 3.4 zijn de parameters gaten in damwand weergegeven. Uit het detail grondwatermodel blijkt dat de drukverlies door de gaten totaal 91% van de gehele weerstand betreft. De lengte van de kelder in het totaal grondwatermodel is 60 m, de damwanden en gaten zijn in het model 0,5 m dik gemodelleerd. Het verhang ter plaatse van de gaten is een factor 578 meer steil. Dit betekent dat de k-waarde in het model een factor 578 kleiner moet zijn ter plaatse van de damwanden en gaten voor een correcte inschatting van de doorlatendheid grondverbetering.

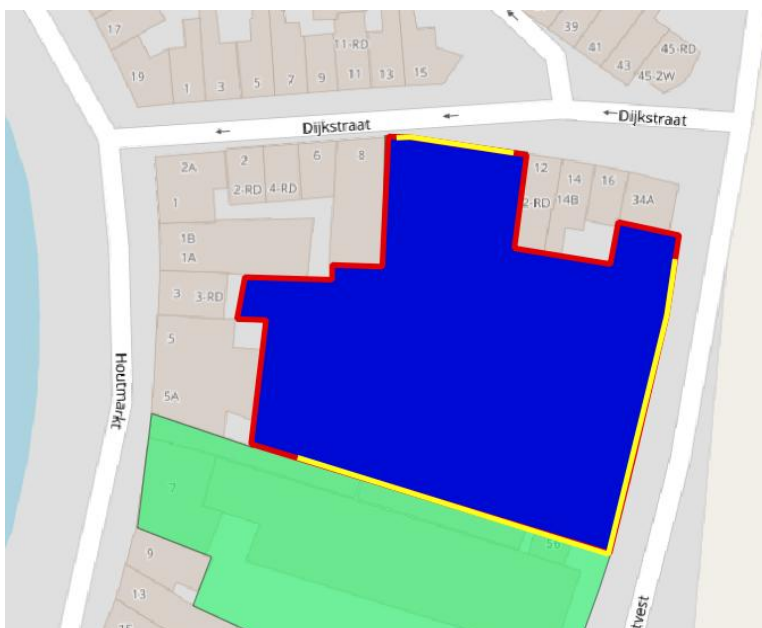
tabel 3.4

rekenparameters gaten in damwand	eenheid	rekenwaarde
diameter gat (D)	[m]	0,1
diameter gat inclusief verlies	[m]	0,05
lengte gat (Lg)	[m]	0,5
aanleghoogte gat (centrum)	[m+NAP]	-1,03
doorstroombreedte cannelure (Hc)	[m]	4,97
damwandprofiel	[-]	PAL3030
oppervlakte cannelure	[m²]	0,032
aantal gaten openbare ruimte	[-]	16
aantal gaten achter barrière	[-]	16
dikte grondverbetering	[m]	0,3
dikte zandvang (Z)	[m]	0,1

Verhouding weerstand bij achterblijvende damwanden met gaten

De weerstand verhouding van de maatregelen is in grafiek 3.4 weergegeven. Met weerstand wordt bedoeld het totale verschil van grondwaterstand voor en achter de barrière. Het maximale debiet is 2,285 m³/dag (tabel 3.3), hierbij hoort een verhang van 1:46. Bij dit verhang zal in de nieuwe situatie (lengte barrière 60 m) een grondwaterstandverschil optreden van 1,299 m voor en achter de barrière. Onder de kelderbak treedt er 9% drukverlies $\times 1,299 \text{ m} = 0,117 \text{ m}$ drukverlies. De rest van het drukverlies treedt op bij de gaten.

Grafiek 3.4: verdeling weerstand



figuur 7 - gele lijn = locatie te trekken damwanden OF bij achterblijvende damwand locatie gaten + gevulde cannelures damwanden

3.5 Oplosrichtingen grondwaterstroming

Uit de berekeningsresultaten in hoofdstuk 3.3 blijkt dat de barrière een belemmering zal zijn voor de grondwaterstroming. Het toepassen van een van de vier oplosrichtingen in dit hoofdstuk is noodzakelijk voor een grondwaterneutraal ontwerp.

Doorlatendheid bij achterblijvende damwanden met gaten (conform ontwerp H3.4)

Op basis van de berekening wordt geconcludeerd dat gaten in damwanden (conform hoofdstuk 3.4) en een grondverbetering (0,3 m dik) onder de barrière toegepast moet worden met een doorlatendheid van 100 m/dag. Uit het grondwaterzakboekje wordt afgeleid dat de grondverbetering mag bestaan uit "uiterst grof, zwak silthoudend, zand" of vergelijkbaar. Er is onder de kelder 49,4 m³ (overcapaciteit) ruimte voor slibdelen welke in de gebruiksfase in het systeem zullen komen.

Doorlatendheid bij (conform figuur 7) verwijderen damwanden

Op het moment dat er geen damwanden achterblijven en er 0,3 m grondverbetering rondom en onder de barrière toegepast wordt volstaat een doorlatendheid van 58 m/dag (uitgaande van de bovengrens k-waarde in bestaande situatie). Uit het grondwaterzakboekje wordt afgeleid dat de grondverbetering mag bestaan uit "uiterst grof, zwak silthoudend, zand" of vergelijkbaar.

Doorlatendheid bij grondverbetering naast barrière

Naast de barrière een grondverbetering maken is beperkt/niet mogelijk, dit doordat de bebouwing over de gehele breedte van het perceel is aangelegd. Er is dus geen ruimte om naast de barrière grondwater te laten stromen langs de buitenzijde van de barrière. Geconcludeerd wordt dat een grondverbetering langs de constructie niet mogelijk is.

Grondverbetering vervangen door leiding

Op het moment dat de grondverbetering wordt vervangen door een leiding (dus in de gaten H3.4 worden filters geplaatst en deze filters worden aangesloten op een leiding), dan volstaat een Ø40mm leiding van voor naar achteren. Wel zal een leiding en filter onderhoudbaar en vervangbaar moeten zijn (vuil moet uit de leiding en filter gehaald moeten kunnen worden om langdurig functioneren mogelijk te maken). Aanbevolen wordt de diameter van het filter (en gat) met een factor 1,5 te verhogen ten opzichte van rekenwaarde hoofdstuk 3.4, dit in verband met filterweerstand. Er is in de leidingen 0,339 m³ (overcapaciteit) ruimte voor slibdelen welke in de gebruiksfase in het systeem zullen komen.

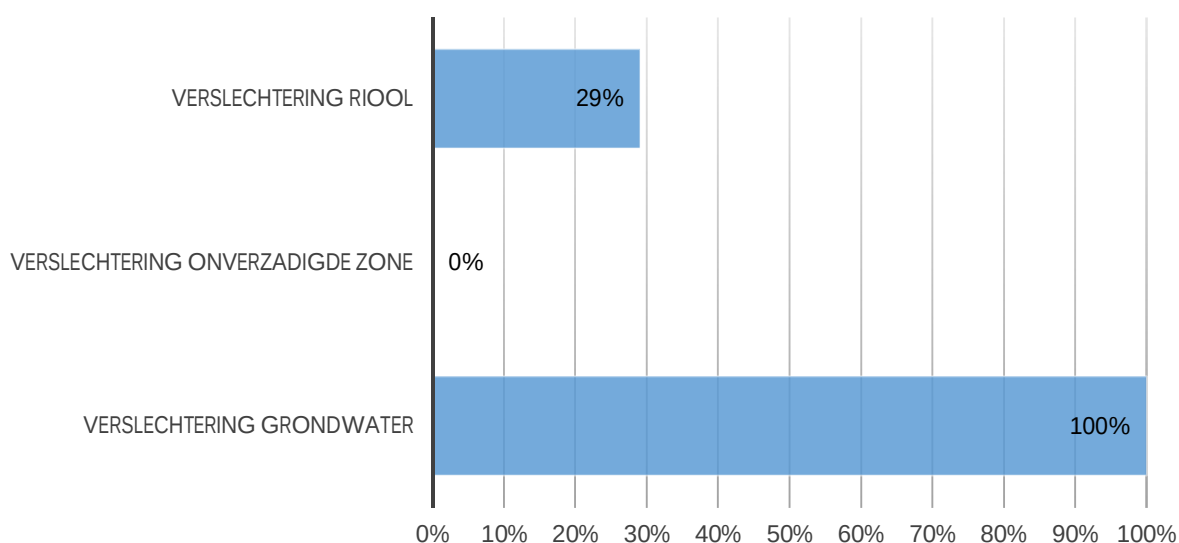
In bijlage 1 zijn schetsen opgenomen met de oplosrichtingen.

4 Conclusie en aanbevelingen

In hoofdstuk 4.1 kan de conclusie van dit rapport worden gevonden. De noodzakelijke monitoring staat beschreven in hoofdstuk 4.2. Aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 4.3 en tot slot in hoofdstuk 4.4 zijn de vervolgstappen beschreven.

4.1 Conclusie (geo)hydrologisch ontwerp

In de onderstaande grafiek is weergegeven welke verslechtering optreedt wanneer er geen maatregelen getroffen worden. Het uitgangspunt daarbij is dat in de toekomst er geen hemel-/grondwater via derden mag afstromen, ofwel een grondwaterneutraal ontwerp.



Verslechtering riool

Ten aanzien van de regenwater zijn maatregelen noodzakelijk omdat er in de onbebouwd gebied wijzigingen optreden. Geconcludeerd wordt dat er een uitbouw gerealiseerd wordt. Er wordt aanvullend 1150 m² verhard oppervlakte aangesloten op het riool van de gemeente. Een waterberging van minimaal 69 m³ is noodzakelijk. Deze waterberging moet vertraagd geleegd worden in het riool (2,5 mm/uur = 2875 liter/uur). In de bestaande situatie komt er 168 m³ hemelwater in het riool bij 0,06 m regen op 2800 m² dakoppervlakte.

Verslechtering onverzadigde zone

Onder de bestaande bebouwing is nu geen onverzadigde zone, dit doordat de grondwaterstand vergelijkbaar of hoger is dan de onderzijde van de constructie. In de onbebouwd gebied verdwijnt 1150 m², dit komt overeen met circa 117,3 m³ ruimte in de onverzadigde zone. Door het realiseren van ruimschoots voldoende berging (vorig punt, verslechtering riool) worden verlies onverzadigde zone in de onbebouwd gebied gecompenseerd. Het toepassen van infiltratiekratten is niet noodzakelijk. Infiltratiekratten kunnen de berging niet vervangen (door infiltratiekratten zal er meer hemelwater per m² onbebouwd gebied in de bodem komen, hierdoor zal de grondwaterstand sterker variëren en dat is ongewenst).

Verslechtering grondwater

Zonder maatregelen zal de grondwaterstand (in de toekomst) sterk veranderen rondom de barrière, wateroverlast-/schade kan niet worden uitgesloten. Een van de berekende maatregelen welke de verslechtering 100% compenseert is noodzakelijk. Berekening van deze maatregelen zijn toegelicht in bijlage 4 tot en met 6. Omschrijving, schetsen en nadere toelichting van de oplosrichtingen zijn opgenomen in hoofdstuk 3.5 en bijlage 1.

Prognose reducerend (minder verslechtering grondwater) effect per oplossing:

grondverbetering + gaten in achterblijvende damwanden conform H3.5	-100%
grondverbetering + verwijderen/geen damwanden conform H3.5	-100%
grondverbetering naast barrière conform H3.5	0%
filters in gaten + leiding conform H3.5	-100%

De opdrachtgever dient een van de bovenstaande oplossingen te kiezen welke de verslechtering geheel compenseert.

4.2 Conclusie monitoring

De volgende monitoring wordt aanbevolen:

- Aanbevolen wordt om een peilbuis te plaatsen voor de bestaande barrière. Vervolgens tenminste 1 maand voor de werkzaamheden starten met de grondwaterstand opnemen. Vervolgens regelmatig (tijdens en na werkzaamheden) de grondwaterstand opnemen.
- Aanbevolen wordt om een peilbuis te plaatsen achter de bestaande barrière. Vervolgens tenminste 1 maand voor de werkzaamheden starten met de grondwaterstand opnemen. Vervolgens regelmatig (tijdens en na werkzaamheden) de grondwaterstand opnemen.

Indien gewenst wordt in een later stadium een monitoringsplan opgesteld waarin de peilbuislocaties en alarmwaarden zijn samengevat. Voor de aan te houden alarmwaarde wordt, in dit stadium, geadviseerd om uit te gaan van een niveau van NAP + 0,08 m of hoger.

4.3 Aanbevelingen

Het wordt aanbevolen met de aannemer (werkvoorbereiding) door te nemen welke maatregelen mogelijk zijn om toe te passen. Gecontroleerd moet worden of de maatregelen constructief mogelijk zijn. Gecontroleerd moet worden of er andere raakvlakken (obstakels zoals kabels en leidingen) zijn waar rekening mee gehouden moet worden.

In een normaal bouwproces zijn er regelmatig nieuwe inzichten. Het geohydrologisch onderzoek wordt vaak bij de vergunningsaanvraag opgesteld, hierdoor kunnen uitgangspunten later wijzigen. Op het moment dat er (mogelijk) uitgangspunten wijzigen wordt aanbevolen met de geohydroloog contact op te nemen. Vervolgens wordt beoordeeld of aanpassing van maatregelen/rapportage noodzakelijk is.

4.4 Vervolgstappen

In het actieprogramma wordt beschreven welke stappen genomen moeten worden voor uitvoering:

- 1 Toetsing dit geohydrologisch onderzoek door bevoegd gezag (haalbaarheid);
- 2 Uitgangspunten controleren (komt dit nog overeen?);
- 3 Werkvoorbereiding (controleren raakvlakken, constructieve mogelijkheden);
- 4 Monitoring starten;
- 5 Start uitvoering;
- 6 bij afwijkende bodem (bijvoorbeeld onverwacht veel zand/klei/veen) contact opnemen.

De bovenstaande kunnen door Loots Grondwatertechniek worden uitgevoerd, neem contact op met Erik Loots voor meer informatie.

Opgesteld door:

ing. E.J. (Erik) Loots

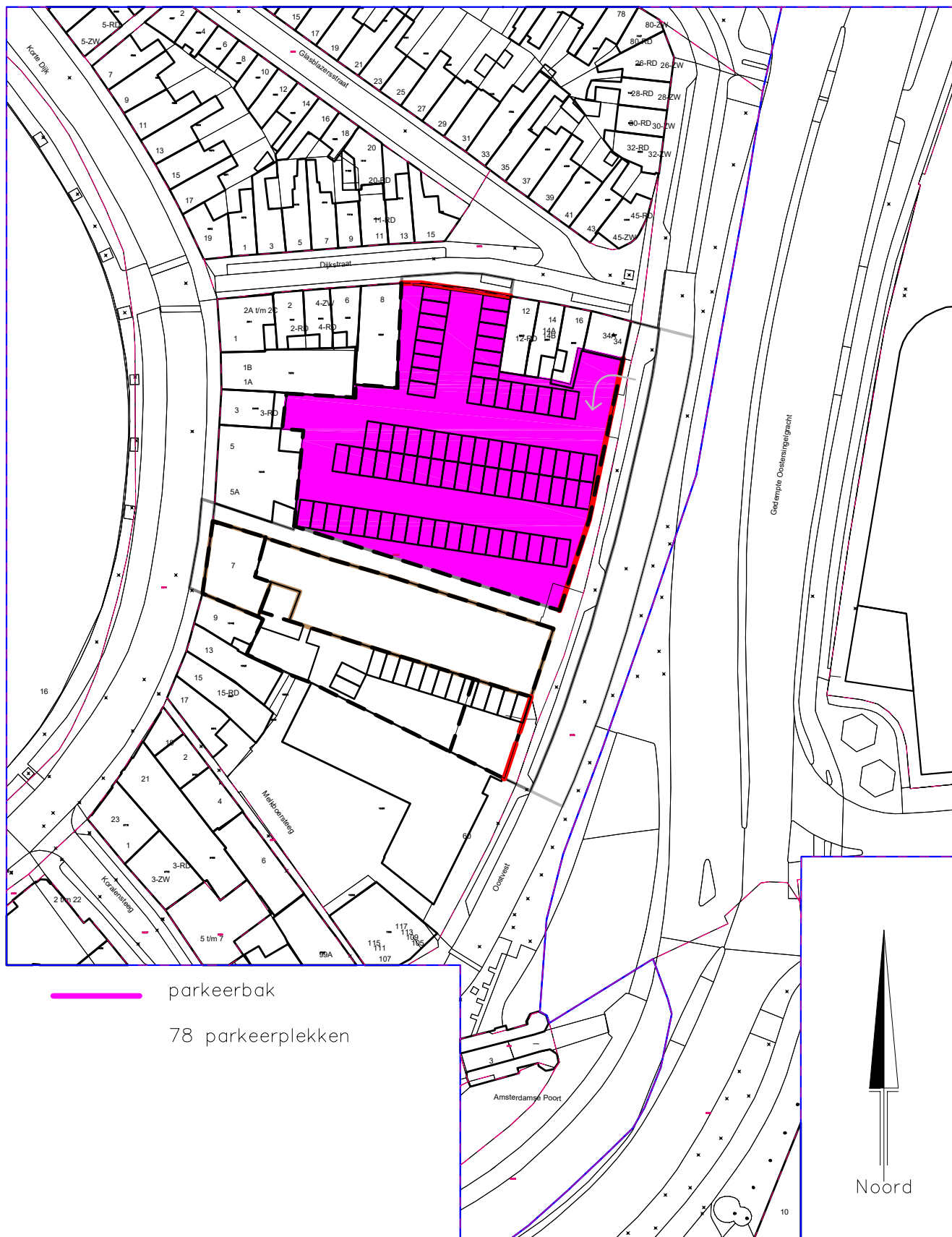
Loots Grondwatertechniek

28 juni 2021

Gebruikte Literatuur en bronnen

1. Nederlands Normalisatie-instituut. NEN 9997-1+C1-2012. Normcommissie 351 006 "Geotechniek". Delft : NEN, 2012. ICS 91.080.01; 93.020.
2. SBR. 190.03 Bemaling van bouwputten. Rotterdam : SBR, 2003.
3. —. 273.98 Leidraad voor het onderzoek naar de invloed van een grondwaterstandsaling op de bebouwing. Rotterdam : SBR, 1998.
4. Dinoloket, Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond. Ondergrondgegevens.
5. Kadaster. Top10NL kaart nederland. 2012.
6. gemeente Haarlem, 16431, tekening Fietznfabriek, 17 mei 2021
7. gemeente Haarlem, 34265, SPvE Fietsznfabriek, 01 juni 2017

Bijlage 1 - Tekeningen



PARKEERGARAGE — OPTIE 1

Dienstverlening, Veiligheid en Vergunningen

Fietzfabriek — Stedenbouwkundig ontwerp

Oostvest 54 — 56, Houtmarkt 7.

kadastrale nummers: 7077, 10443 en 10652.
kadastrale nummers: 8179, 8873 en 8874 (allen ged)

Kad.Gem.:HLM01

Secctie: D

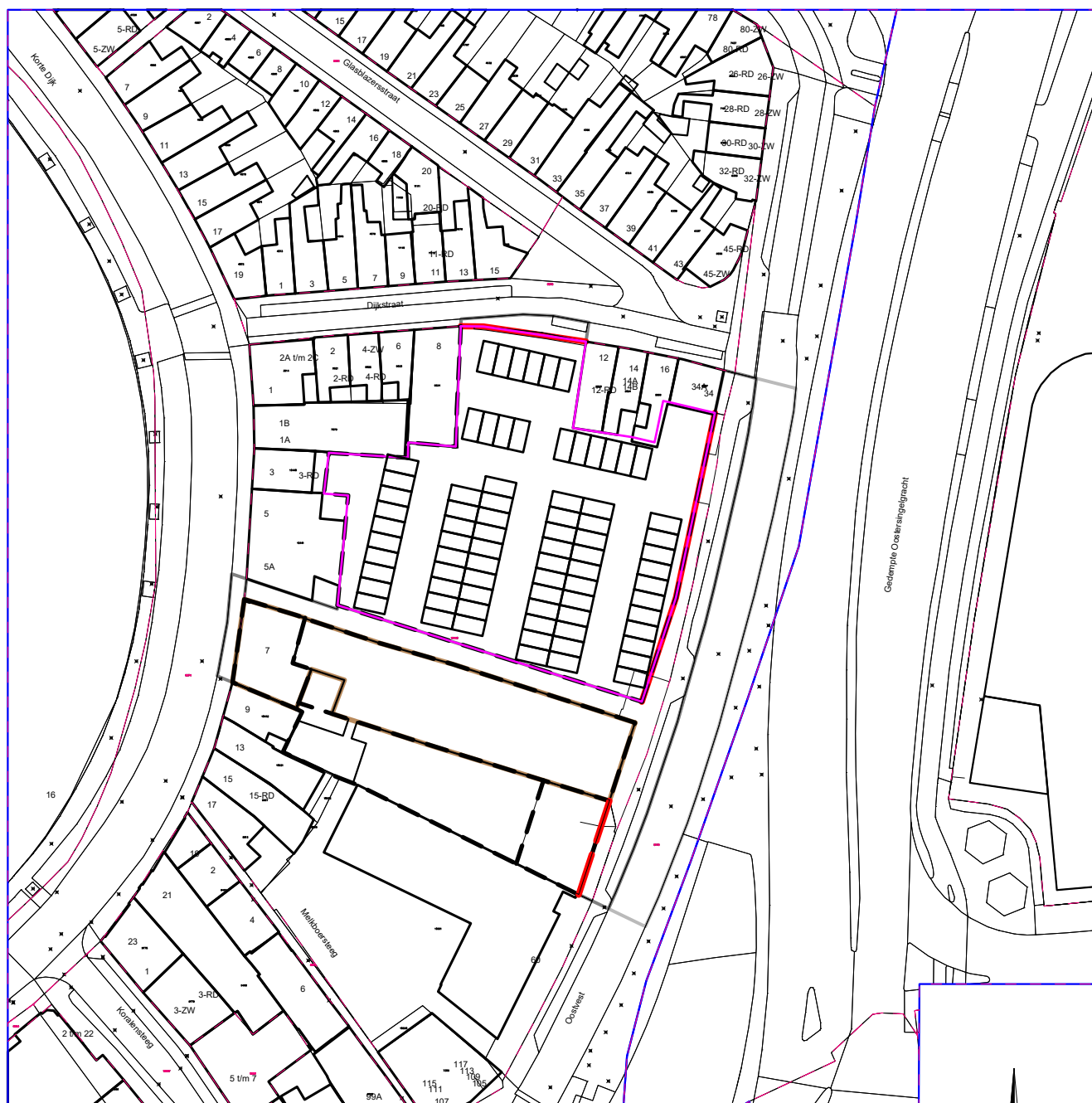
Schaal: 1 : 1000

Datum: 17-05-2021

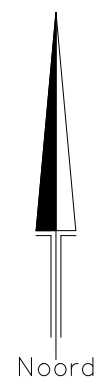
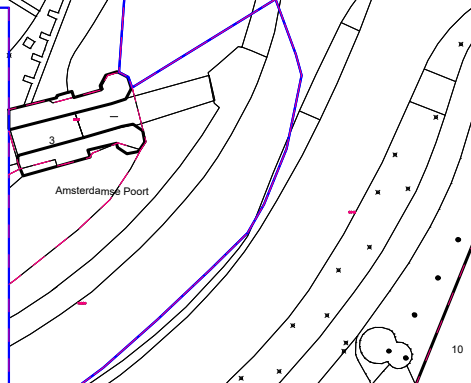
Tek.Nr.: 16431

Get.: EW





— parkeerbak
78 parkeerplekken



PARKEERGARAGE – OPTIE 2

Dienstverlening, Veiligheid en Vergunningen

Fietznfabriek – Stedenbouwkundig ontwerp

Oostvest 54 – 56, Houtmarkt 7.

kadastrale nummers: 7077, 10443 en 10652.
kadastrale nummers: 8179, 8873 en 8874 (allen ged)

Kad.Gem.:HLM01

Sectie: D

Schaal: 1 : 1000

Datum: 17-05-2021

Tek.Nr.: 16431

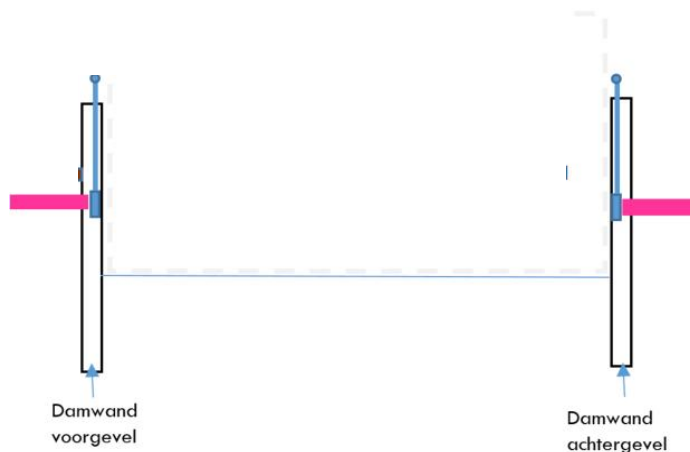
Get.: EW



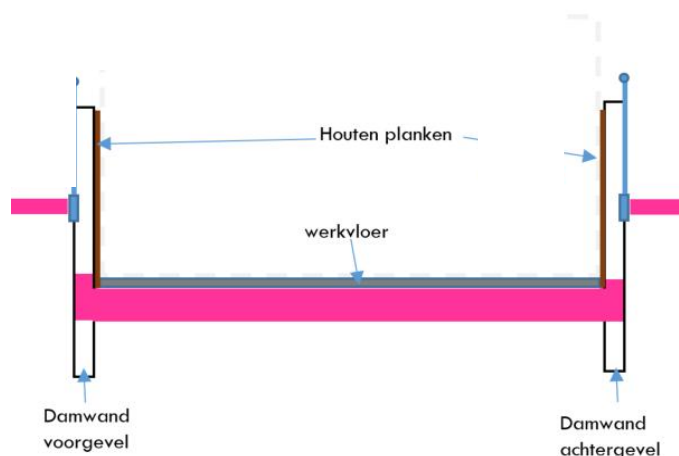
Haarlem

Schetsen achterblijvende damwanden met gaten

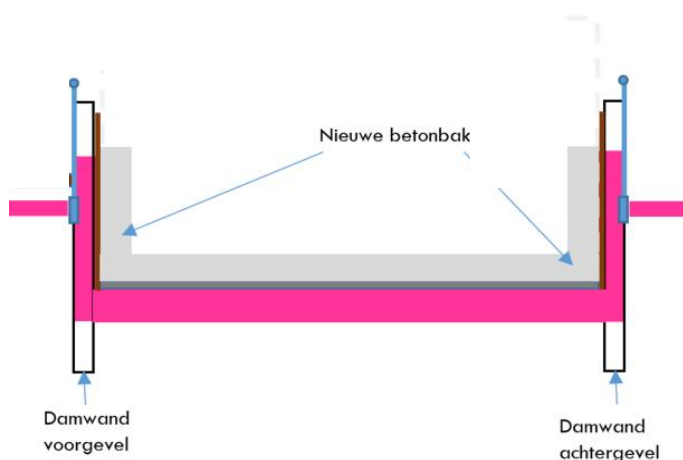
In de rechter figuur zijn damwanden geplaatst. De damwanden welke achterblijven zijn geplaatst tot in de slecht doorlatende laag. In de cannelures van de damwanden zitten afsluiters (blauw). Deze afsluiters worden geopend, vervolgens wordt er een horizontaal gat naar buiten geboord (controleren of er geen kabels en leidingen zijn op de betreffende diepte). In het gat wordt grind (grindstaaf) aangebracht, daarna worden afsluiters dichtgezet.



De grondverbetering onder de barrière (paars) wordt aangebracht op een grondkerend (waterdoorlatend) doek. Tegen de cannelures (met afsluiter) wordt een houten plank geplaatst. Vervolgens wordt een werkvloer gestort op de grondverbetering (wel een doek/folie gebruiken zodat beton niet in grondverbetering kan zakken).



De nieuwe betonbak wordt gebouwd. Zodra deze voldoende sterk is worden de cannelures gevuld met grondverbetering. Nadat de kelderbak waterdicht is kunnen afsluiters opengezet worden.

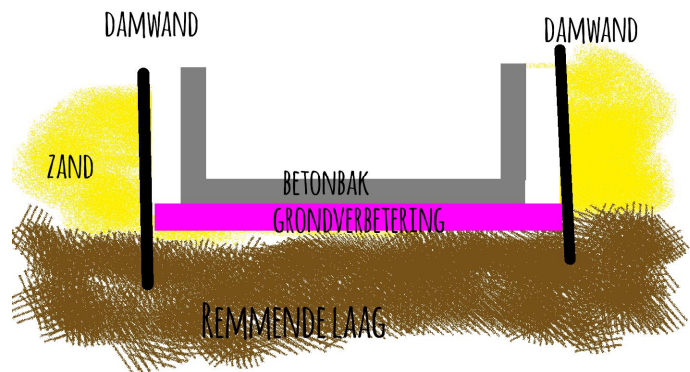


Schetsen bij verwijderen damwand

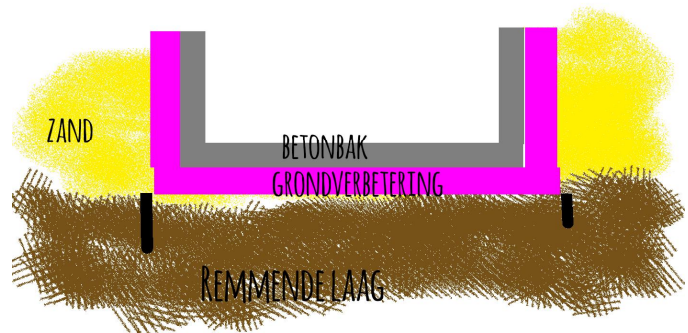
De damwanden worden geplaatst.
De damwand wordt bij de voor- en achterzijde van de barrière minimaal 0,3 m van de betonwand geplaatst.
Vervolgens wordt binnen de bouwput ontgraven.



De grondverbetering onder de barrière wordt aangelegd op een grondkerend doek (wel waterdoorlatend), hierboven wordt de betonbak gebouwd.



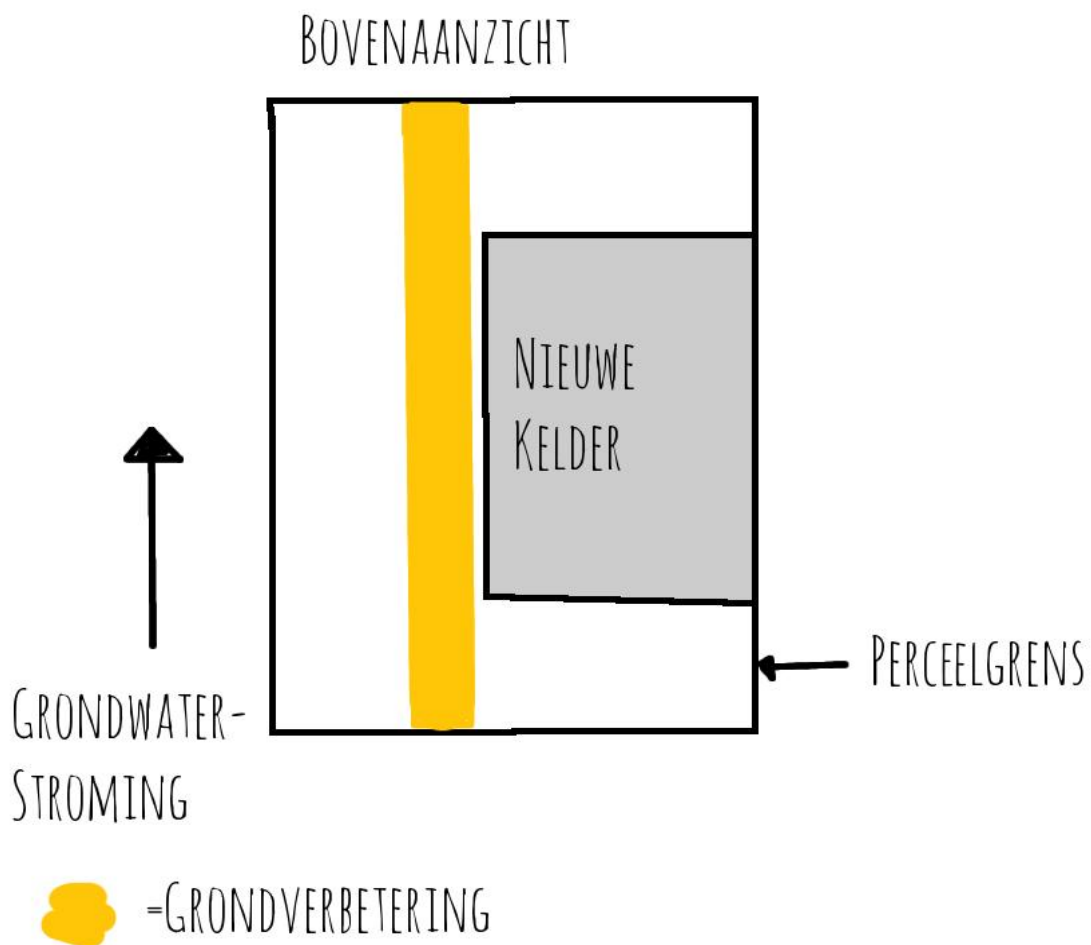
De ruimte tussen betonwand en damwand wordt opgevuld met grondverbetering. Daarna worden damwanden (delen boven onderkant grondverbetering) getrokken). Voor een verwaarloosbaar effect moet minimaal 30% van de damwanden bij voorzijde barrière en minimaal 30% van de damwanden bij achterzijde barrière verwijderd worden.



Schets bij grondverbetering naast barrière

In de onderstaande figuur is een bovenaanzicht geschetst. De grondverbetering is oranje in deze figuur. Een grondverbetering wordt (bij voorkeur buiten) naast de barrière geplaatst. Het voordeel is dat de grondverbetering makkelijk bereikbaar is.

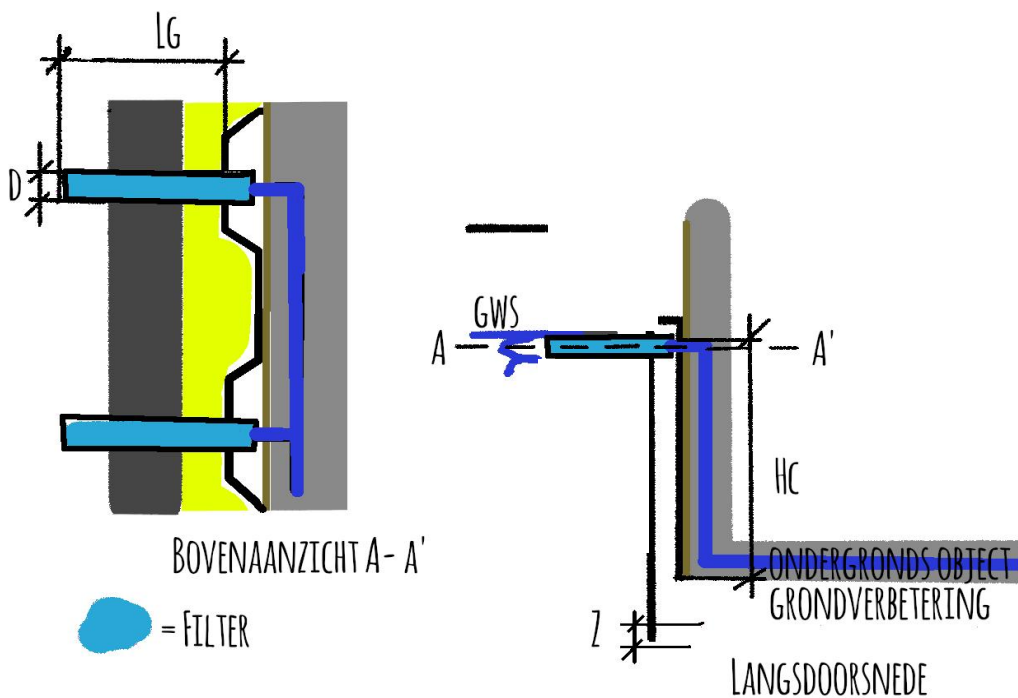
De grondverbetering naast de barrière mag voor de bouw of direct na de bouw aangelegd worden. Belangrijk is dat de kwaliteit van de grondverbetering goed is, het is dus gewenst het eenmaal goed aan te leggen (voorkomen dat later wederom gegraven wordt in de grondverbetering tijdens bouw).



Schets bij leiding

De werkwijze komt in de basis overeen bij grondverbetering en gaten in achterblijvende damwanden. Alleen wordt in de gaten achter de damwand een filter geplaatst. Het filter aan de voorzijde wordt onder/langs de kelder verbonden met een filter aan de achterzijde van de barrière.

Een belangrijk onderdeel is de onderhoudsvoorziening. Het schoonmaken van filters en verwijderen van verstoppingen moet mogelijk zijn om langdurig functioneren mogelijk te maken.



Bijlage 2 - Bodemonderzoeken en -parameters

Beschrijving	kh [m/d]	kv [m/d]	P[-]
zand, matig fijn, sterk silthoudend, los	3~7	3~7	0,2
zand, kleiig, los	0,06~0,14	0,014~0,026	0,1
veen, hollandveen	0,006~0,014	0,0004~0,0007	0,3
klei, organisch, slap	0,06~0,14	0,0023~0,0043	0,3
zand, uiterst fijn, schoon	1,8~4,2	1,05~1,95	0,15
klei, zwak zandig, slap	0,006~0,014	0,0014~0,0026	0,33
veen, basisveen, vast	0,00006~0,00014	0~0	0,1
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	0,6~1,4	0,14~0,26	0,12
zand, kleiig	0,06~0,14	0,014~0,026	0,1
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	12~28	7~13	0,3

Beschrijving	top [m+NAP] voor	top [m+NAP] midden	top [m+NAP] achter
zand, matig fijn, sterk silthoudend, los	0,56	0,59	0,13
zand, kleiig, los	-1	-1,5	-1,3
veen, hollandveen	-1	-2	-1,5
klei, organisch, slap	-4,5	-3,7	-4,3
zand, uiterst fijn, schoon	-4,7	-3,7	-6,4
klei, zwak zandig, slap	-12	-11,7	-11,5
veen, basisveen, vast	-12,2	-12,6	-12,1
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	-12,4	-12,8	-12,5
zand, kleiig	-17,5	-17,5	-17,5
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	-17,5	-17,5	-17,5



VERKLARING

- ▼ sondering met kleeft
- ▽ sondering niet uitgevoerd
- ⊗ sondering gestuit
- boring
- + hoogtemeting



Sondeer Techniek Nederland
info@sondeertechnieknederland.nl
www.sondeertechnieknederland.nl

06-54 200 488
 Wederikveld 22
 3448 GH Woerden

SONDEERPLAN

HOUTMARKT TE HAARLEM

SONDERINGEN UITGEVOERD

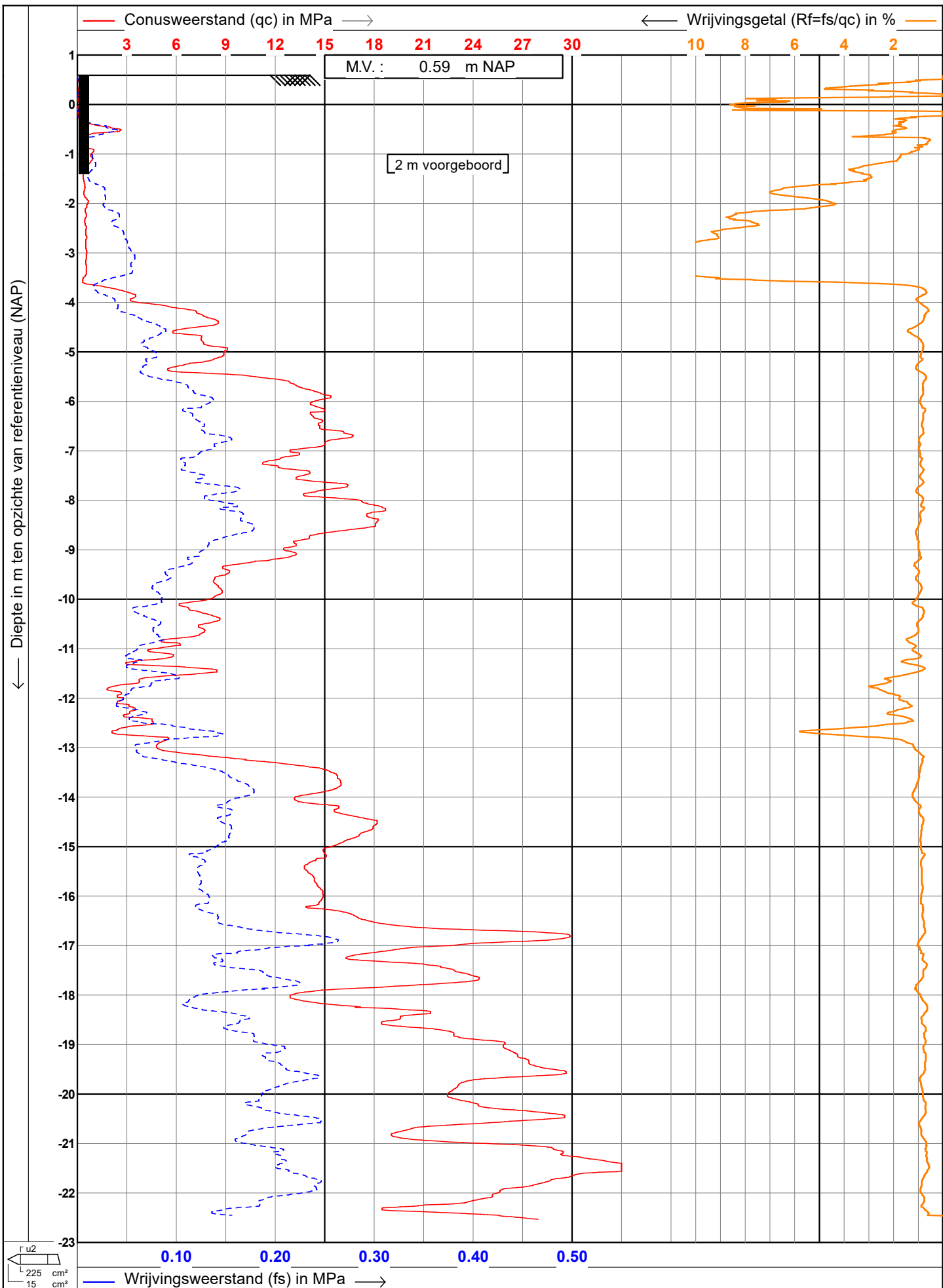
PROJECTNR.: 198

MATEN IN METERS

FORMAAT: A4

SCHAAL: 1:500

DATUM: 17-6-2021



Sondeer Techniek
Nederland

Test according ISO 22476-1

Project : **Geotechnisch bodemonderzoek**

Lokatie : **Houtmarkt, Haarlem**

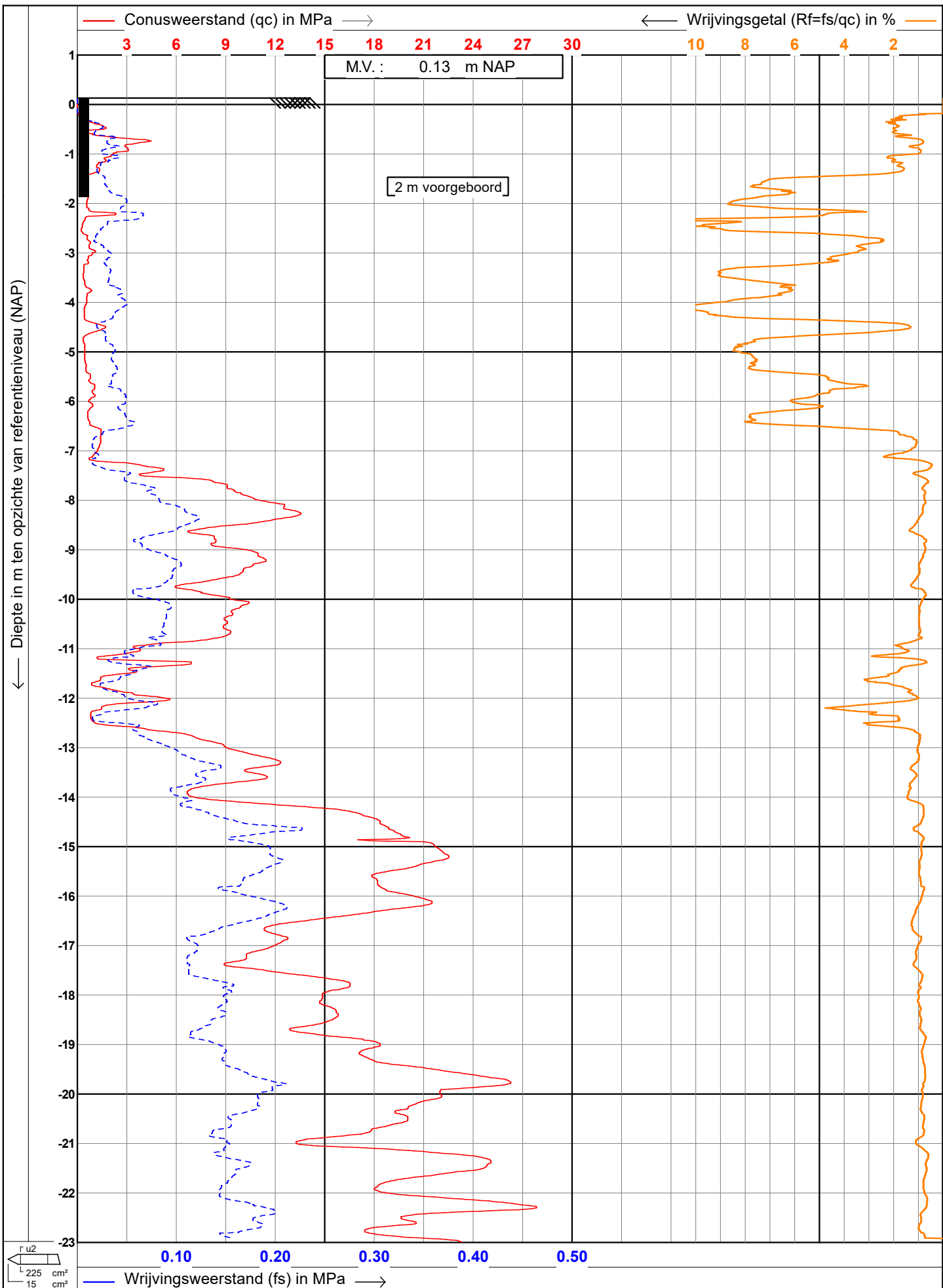
Datum : **17-6-2021**

Conusnr. : **DP15-CFPTxy.71145**

Projectnr. : **198**

Sondeernr. : **01**

1/1



Sondeer Techniek
Nederland

Test according ISO 22476-1

Project : **Geotechnisch bodemonderzoek**

Lokatie : **Houtmarkt, Haarlem**

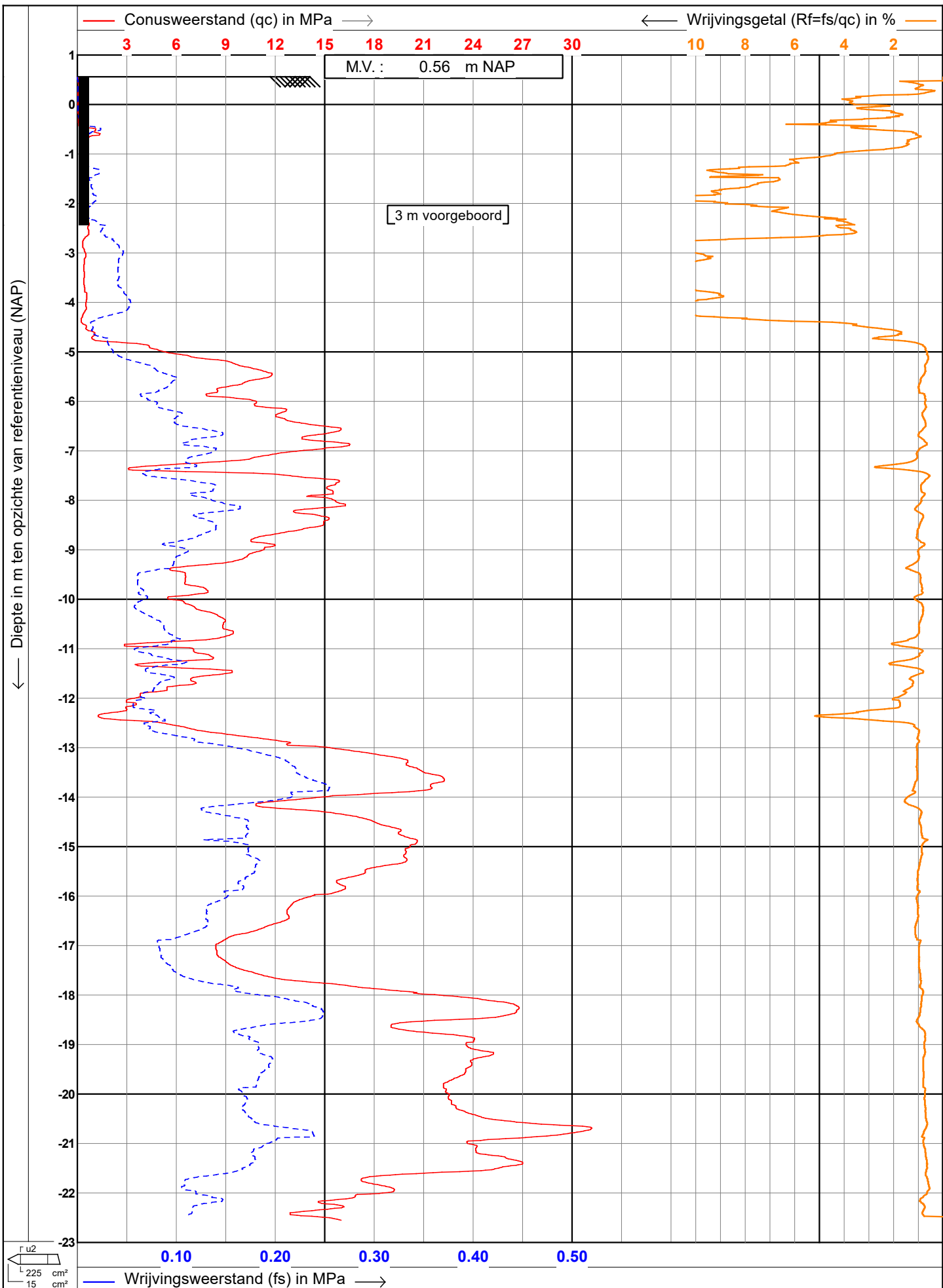
Datum : **17-6-2021**

Conusnr. : **DP15-CFPTxy.71145**

Projectnr. : **198**

Sondeernr. : **02**

1/2



Sondeer Techniek
Nederland

Test according ISO 22476-1

Project : **Geotechnisch bodemonderzoek**

Lokatie : **Houtmarkt, Haarlem**

Datum : **17-6-2021**

Conusnr. : **DP15-CFPTxy.71145**

Projectnr. : **198**

Sondeernr. : **03**

1/1

Bijlage 3 - Grondwaterparameters

Grondwaterstand analyse

versie: 3.5

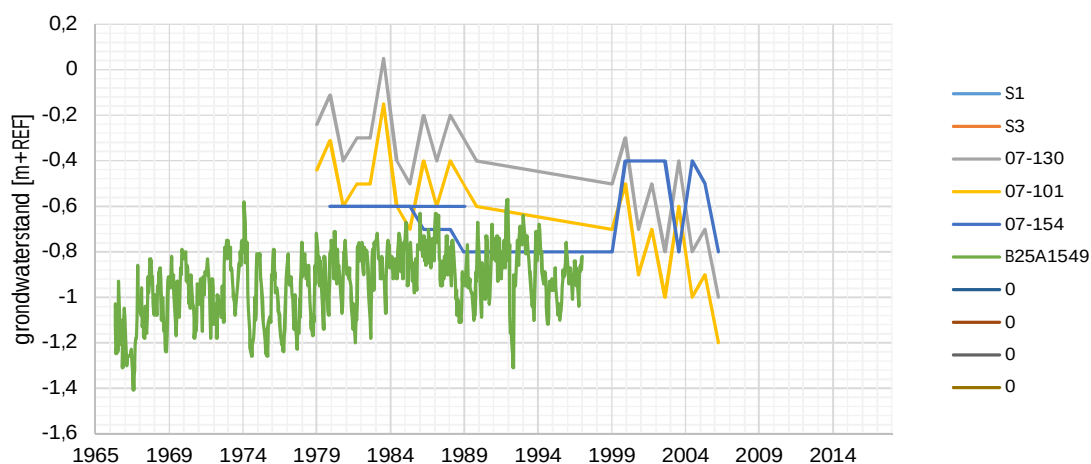
project: 20110121B.1

LOOTS

groene cirkel=hoge grondwaterstand, gele driekhoek=gemiddelde grondwaterstand en rode ruit=lage grondwaterstand

REF=NAP

naam	S1	S3	07-130	07-101	07-154	B25A1549
X-coördinaat	104551	104575	104585	104660	104423	105033
Y-coördinaat	488472	488445	488534	488351	488287	488347
maaiveld [m+REF]	0	0	0	0	0	0,1
bovenkant filter [m+REF]	0	0	0	0	0	-4,05
onderkant filter [m+REF]	0	0	0	0	0	-5,05
laatste meetjaar	2021	2021	2007	2007	2007	1997
laatste meting	-0,07	-0,08	-1	-1,2	-0,8	-0,82
totale meetperiode	0	0	27	27	27	31
aantal metingen	1	1	22	22	22	670
hoogste [hele reeks]	-0,07	-0,08	0,05	-0,15	-0,40	-0,57
ghg [laatste 8 jaren]			-0,40	-0,60	-0,40	-0,61
hoog σ [hele reeks]			0,08	-0,12	-0,30	-0,65
gemiddelde [hele reeks]	-0,07	-0,08	-0,43	-0,63	-0,61	-0,94
gemiddelde [laatste 8 jaren]	-0,07	-0,08	-0,63	-0,83	-0,54	-0,90
laag σ [hele reeks]			-0,93	-1,13	-0,92	-1,23
glg [laatste 8 jaren]			-0,87	-1,07	-0,80	-1,27
laagste [hele reeks]	-0,07	-0,08	-1,00	-1,20	-0,80	-1,41
σ [hele reeks]			0,25	0,25	0,16	0,15
januari	● 0,00	● 0,00	● -0,31	● -0,51	▲ -0,70	● -0,86
februari			▲ -0,40	▲ -0,60	▲ -0,70	● -0,89
maart			◆ -0,60	◆ -0,80	◆ -0,75	● -0,90
april			◆ -0,60	◆ -0,80	● -0,55	▲ -0,94
mei						◆ -0,97
juni	◆ -0,07	◆ -0,08	◆ -0,60	◆ -0,80	● -0,50	◆ -1,00
juli			● -0,18	● -0,38	▲ -0,70	◆ -0,99
augustus			◆ -0,55	◆ -0,75	● -0,50	◆ -1,02
september			▲ -0,40	▲ -0,60	● -0,50	◆ -1,02
oktober			◆ -0,55	◆ -0,75	● -0,50	▲ -0,95
november			● -0,27	● -0,47	▲ -0,60	● -0,88
december			● -0,30	● -0,50	◆ -0,80	● -0,85

2013
2018

Bijlage 4 - berekening debiet

Berekening grondwaterstroming tabel 2.3 (hoofdstuk 2.3)

Het verhang tussen twee peilbuizen wordt bepaald door het verschil grondwaterstand (tussen meetpunten) te delen door de afstand (in stromingsrichting) tussen de meetpunten. In dit geval is bepaald dat er tussen meetpunt Spaarne en meetpunt 07-130 circa 150 m afstand is.

Bijvoorbeeld de maand januari is er 0,2967 m verschil tussen de peilbuizen. Door dit verschil te delen door de afstand 150 m, wordt een verhang berekend van 0,002.

Het debiet is: k-waarde x verhang x doorstroomoppervlakte (projectlocatie). Doorstroomoppervlakte is D (dikte watervoerende laag x doorstroombreedte). Debiet kan ook bepaald worden door: $kD \times \text{doorstroombreedte} \times \text{verhang}$.

In dit geval is de (hoge) natuurlijke grondwaterstand (NAP - 0,43 m) maatgevend als bovengrens. De onderzijde van de watervoerende laag is gelegen op NAP - 2 m. De dikte van de watervoerende laag is 1,57 m. De breedte van het doorstroomprofiel is 80 m, het doorstroomoppervlakte (dikte x breedte) is totaal 125,6 m².

De doorlatendheid (k-waarde) is 3 tot 7 m/dag tot een diepte van NAP - 1,5 m. Daaronder is de k-waarde 0,06 tot 0,14 m/dag tot een diepte van NAP - 2 m. Daaronder is de k-waarde 0,01 tot 0,01 m/dag tot een diepte van NAP - 3,7 m. De kD-waarde is tussen 2,03 en 7,87 m²/dag.

Het debiet grondwaterstroming door het perceel in bijvoorbeeld de maand januari is 2,03 à 7,87 m²/dag x 80 m x 0,002 = 0,325 à 1,259 m³/dag.

Berekening grondwateraanvulling tabel 2.4B (hoofdstuk 2.4)

De onbebouwd gebied is voor 10 % groen. Dit betekent dat de grondwateraanvulling gelijk is aan $350,8 \times 10 \% + 720,5 \times 90 \% = 683,53 \text{ mm/jaar}$.

Berekening grondwaterstroming door hemelwater in onbebouwd gebied tabel 3.2 (hoofdstuk 3.2)

Door het oppervlakte (1400 m²) van de onbebouwd gebied (eigen en derden vlakbij) te vermenigvuldigen met de grondwateraanvulling wordt het debiet bepaald. De onbebouwd gebied is voor 10 % groen. Dit betekent dat de grondwateraanvulling in bijvoorbeeld januari gelijk is aan 67,8

Berekening grondwaterstroming totaal tabel 3.3 (hoofdstuk 3.3)

De grondwaterstroming omgeving (tweede kolom) wordt opgeteld bij grondwaterstroming hemelwater (derde kolom). Op het moment dat de stromingsrichting tegenovergesteld is wordt de grondwaterstroming hemelwater afgetrokken van de grondwaterstroming omgeving. Het resultaat (debit en stromingsrichting) van deze berekening staat in de vierde kolom.

Het verhang (vijfde kolom) = debiet totaal / (kD-waarde x doorstroombreedte). De grondwateraanvulling in de onbebouwd gebied heeft namelijk een lokaal effect op de algemene grondwaterstroming, door deze berekening wordt dit lokale effect meegenomen in het ontwerp.

Bijlage 5 - berekening gaten in damwand

De volgende stappen zijn ondernomen om het verlies door gaten te bepalen:

- 1 Strategie modellering bepaald, geconcludeerd wordt dat gaten in detail gemodelleerd moeten worden. Daarbij worden de opgevulde (grondverbetering) gaten in bestaande bodem, opgevulde gaten door de damwand en grondverbetering in cannelures horizontaal achter elkaar in een model geplaatst.
- 2 Een MicroFEM model wordt gebruikt, ronde gaten zijn niet te modelleren, daarom wordt rond gat vertaald naar een vierkant gat. Elk gat heeft een diameter van 0,1 m, ofwel een oppervlakte van 0,0079 m². Het vierkante gat in het model heeft een hoogte en breedte van 0,09 m. De lengte van het gat is 0,5 m. Het gat start aan binnenzijde damwand.
- 3 De damwand is ondoorlatend (transmissiviteit 0 m²/dag) en 0,1 m dik in het detail model.
- 4 De bodem buiten de projectlocatie en buiten damwand+gaten heeft een doorlatendheid van 3 tot 7 m/dag. Dit resulteert in een transmissiviteit (kD) van 6,3 tot 14,7 m²/dag.
- 5 Vanaf de binnenzijde damwand (achter het gat) wordt de cannelure gemodelleerd. Deze heeft een oppervlakte van 0,0323 m². Een vierkante gat in het model heeft een hoogte en breedte van 0,18 m. De lengte van een gat is 0,5 m. Het gat start aan binnenzijde damwand.
- 6 Bodem rondom de gaten in model wordt waterdicht (kD=0 m²/dag).
- 7 Gaten komen uit in grondverbetering onder de kelder, dit is een strook van 16 m lang. De rand van de grondverbetering onder de kelder is geheel (buiten de gaten) dicht.
- 8 Eerste modelrun: bij de maximale kD wordt een maximaal debiet verwacht van 2,285m³/dag. Dit debiet wordt toegevoegd in de grondverbetering onder de vloer (zo ver mogelijk van de cannelures) in het model. Dit debiet wordt uit het model gehaald in de bestaande bodem (enkele meters voor de gaten). Als k-waarde grondverbetering wordt 100 m/dag aangehouden.
- 9 Na de modelrun wordt het verschil 'grondwaterstand grondverbetering onder kelder' en 'grondwaterstand begin cannelures' bepaald. Dit wordt vergeleken met het verschil 'grondwaterstand begin cannelure' en 'grondwaterstand bestaande bodem'. De verhouding is circa 1 op 4,82. Dat wil zeggen dat de drukverlies een factor 4,82 hoger is in de gaten (aan één zijde van barrière). Omdat er aan twee kanten gaten gemaakt worden is de totale drukverlies in gaten het dubbel zo groot.
- 10 Uit het detail grondwatermodel blijkt dat de drukverlies door de gaten totaal 91% van de gehele weerstand betreft. De lengte van de kelder in het totaal grondwatermodel is 60 m, de damwanden en gaten zijn in het model 0,5 m dik gemodelleerd. Het verhang ter plaatse van de gaten is een factor 578 meer steil. Dit betekent dat de k-waarde in het model een factor 578 kleiner moet zijn ter plaatse van de damwanden en gaten voor een correcte inschatting van de doorlatendheid grondverbetering. Berekening: [(modellengte kelder) 60 m/ (modeldikte damwand) 0,5 m] x factor 4,82 = 578.
- 11 Een tweede modelrun wordt uitgevoerd bij de ondergrens kD-waarde bestaande bodem. Ook wordt het debiet aangepast (bij lagere kD-waarde zal er minder grondwater doorstromen in de bestaande situatie). Uit de berekening volgt dat de weerstand overgang van gat naar bodem toeneemt, dit wordt echter gecompenseerd door minder weerstand in de gaten, cannelure en onder de bak. Geconcludeerd wordt dat ten aanzien van gaten in damwanden de bestaande kD-waarde weinig invloed heeft.

Bijlage 6 - berekening doorlatendheid grondverbetering

De nieuwe situatie wordt eerst gemodelleerd bij een hoge bestaande kD -waarde. De dikte van de damwanden in het model 0,5 m zijn, lengte barrière is 60 m. In het model wordt de kD -waarde (sterker verhang bij gaten) met een factor 578 verlaagd ter plaatse van de damwanden.

Grondwaterstroming via percelen derden is niet mogelijk in het model. Vervolgens wordt het debiet ingesteld op 2,285 m³/dag (maximale waarde kolom 4, tabel 3.3) voor de barrière en (negatief) achter de barrière. Het model wordt gestart en de k -waarde onder de kelderbak (en damwanden) wordt aangepast totdat het verhang overeenkomt met verhang 1:46, maar tenminste 1:100* moet mogelijk zijn. Uit deze modelberekening volgt dat de k -waarde van de grondverbetering gelijk moet zijn aan 100 m/dag. De modelberekening wordt herhaald met een lage k -waarde van watervoerende laag 1 en het bijbehorend debiet 2,285 m³/dag (hoogste ondergrens in kolom 4 tabel 3.3), hieruit volgt een vergelijkbaar resultaat.

De nieuwe situatie wordt gemodelleerd bij een hoge bestaande kD -waarde, maar nu zonder damwanden. De lengte barrière is 60 m. Grondwaterstroming via percelen derden is niet mogelijk in het model. Vervolgens wordt het debiet ingesteld op 2,285 m³/dag (maximale waarde kolom 4, tabel 3.3) voor de barrière en (negatief) achter de barrière. Het model wordt gestart en de k -waarde onder de kelderbak wordt aangepast totdat het verhang overeenkomt met verhang 1:46 maar tenminste 1:100* moet mogelijk zijn. Uit deze modelberekening volgt dat de k -waarde van de grondverbetering gelijk moet zijn aan 58 m/dag. De modelberekening wordt herhaald met een lage k -waarde van watervoerende laag 1 en het bijbehorend debiet 2,285 m³/dag (hoogste ondergrens in kolom 4 tabel 3.3), hieruit volgt een vergelijkbaar resultaat.

*Door een verhang van 1:100 (niet steiler) mogelijk te maken kan grondwateroverlast gecontroleerd en opgelost worden. Soms blijkt voor de bouwphase dat de peilbuizen een onacceptabel verhang tonen, doordat de doorlatendheid van de maatregelen verhoogd is kan na realisatie van de kelder de doorstroom mogelijkheid verhoogd en verlaagd worden. Verhogen door het maximaal aantal gaten open te zetten, verlagen door een aantal gaten dicht te zetten (of kleiner te maken). Deze flexibiliteit van maatregelen tijdens de uitvoering wordt beschouwd als noodzakelijk in geohydrologie.