

geohydrologisch onderzoek

Cajanuspad te Haarlem

status : definitief

versie : 5

datum

6 juli

2023

opdrachtgever

IDDS b.v.

t.a.v. P. Mulder

's-Gravendijkseweg 37

2201CZ Noordwijk

Adviseur

Loots Grondwatertechniek

ing. Erik Loots

erik@lootsgwt.com

+31 (0) 6 533 92 188

kenmerk

20360121B.1



Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Bronvermelding.....	4
3	Uitgangspunten.....	5
3.1	Ondergrondse object(en) bestaand versus nieuw	5
3.2	Klimaat, regen en verdamping	6
3.3	Bodemopbouw, grondwaterstand en grondwaterstroming regionaal.....	7
4	Berekeningsresultaten en oplossingsrichtingen	9
4.1	[Oplossing 1] Grondverbetering traditioneel.....	9
4.2	[Oplossing 2] Grondverbetering met gaten.....	10
4.3	[Oplossing 3] Bypass.....	11
4.4	[Oplossing 4] Grondverbetering naast de barrière	12
5	Conclusie en aanbevelingen	13
5.1	Grondwaterneutrale bouw	13
5.2	Afwatering perceel	14
5.3	Risico's.....	15
5.4	Monitoring.....	15
5.5	Vervolgstappen.....	16
	Bijlage 1 – Gegevens voor specialisten.....	18
	Bijlage 1.1 – Bodemeigenschappen en berekening kD-waarde.....	19
	Bijlage 1.2 – Grondwateraanvulling op perceel.....	20
	Bijlage 1.3 – Details berekening grondverbetering met gaten	21
	Bijlage 1.4 – Details berekening Bypass.....	25
	Bijlage 1.5 – Wh 2050 berekening	26
	Bijlage 2 – Tekeningen	34
	Bijlage 3 – Grondonderzoeken.....	35

1 Inleiding

De opdrachtgever wenst een kelder aan te leggen. De opdrachtgever wenst duidelijkheid op het gebied van grondwater. De opdrachtgever wil weten hoe de kelder aangelegd kan worden zonder negatieve effecten (grondwaterneutraal ontwerp). De opdrachtgever wil weten welke maatregelen geschikt zijn en welke overheidsnormen van toepassing zijn.

Helderheid op deze punten is van belang. De opdrachtgever wenst een verantwoorde beslissing te nemen over de aanleg van een kelder.

In het kort: Wat is een geohydrologisch onderzoek?

Wanneer we bouwen beneden de grondwaterstand heeft dat impact. Grondwater staat namelijk nooit langdurig stil; een waterdicht bouwwerk is daardoor een belemmering voor grondwater. Grondwater moet dus om (of zelfs over) de belemmering stromen. In extreme situaties kan hierdoor wateroverlast en/of -schade ontstaan. Dat is niet gewenst.

Het geohydrologisch onderzoek berekent welke aanvullende maatregelen ervoor zorgen dat een bouwwerk geen belemmering oplevert. Een grondwaterneutraal ontwerp is het doel. Dat betekent dat het nieuwe bouwwerk geen verandering veroorzaakt ten opzichte van de bestaande situatie op het gebied van geohydrologie (grondwaterstanden en/of -stroming).

Doel geohydrologisch onderzoek

1. [hoofddoel] Geohydrologische maatregelen bepalen → hoofdstuk 4 en 5.1
2. Maatregelen afwatering regenwater → hoofdstuk 5.2
3. Verschil geohydrologisch nieuw en bestaand → hoofdstuk 3.1
4. Rekening houden met klimaat(sverandering) → hoofdstuk 3.2
5. Risico's en beheersmaatregelen in beeld brengen → H5.3
6. Monitoring voor risicobeheersing in beeld brengen → hoofdstuk 5.4
7. Vervolgstappen voor een optimaal vervolg → hoofdstuk 5.5
8. Project, bodem en grondwater in beeld brengen → hoofdstuk 3 (bijlage 1)
9. Inzicht geven welke parameters/onderzoeken beschikbaar zijn → bijlagen 1 en 3
10. Inzicht geven welke berekeningen zijn uitgevoerd → bijlage 1 en hoofdstuk 4

Navigatie geohydrologisch onderzoek

Het is mogelijk snel door dit rapport te navigeren door op de blauwe tekst te klikken (soms is klikken in combinatie met CTRL-knop noodzakelijk). Bijvoorbeeld:

- Door op de tekst in de inhoudsopgave te klikken gaat u direct naar het desbetreffende hoofdstuk.
- Door op de koptekst te klikken gaat u direct naar het desbetreffende onderwerp.

Leeswijzer geohydrologisch onderzoek

Volgens Loots bereikt het geohydrologisch onderzoek het beste zijn doel als de opdrachtgever de maatregelen (nut en doel) zo goed mogelijk begrijpt. We kiezen bewust ervoor zoveel mogelijk jargon en details in de hoofdtekst te vermijden. In hoofdstuk 5 staan de conclusies en aanbevelingen. We bevelen u ten eerste aan dit hoofdstuk goed te lezen.

Essentiële specialistische informatie en berekeningen staan in bijlage 1.

Versiebeheer Opmerking

definitief 4

definitief 5 Hoofdstuk 5.2 gewijzigd

Algemene voorwaarden

Op alle, door Loots Grondwatertechniek uitgebrachte adviezen en berekeningen, is de [DNR 2011](#) van toepassing. Niets uit dit drukwerk mag worden verveelvoudigd, aangepast en/of openbaar gemaakt, in enige vorm op enige wijze 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.

2 Bronvermelding

1. **SBR.** 190.03 *Bemaling van bouwputten*. Rotterdam : SBR, 2003.
2. —. 273.98 *Leidraad voor het onderzoek naar de invloed van een grondwaterstandsaling op de bebouwing*. Rotterdam : SBR, 1998.
3. **Rijkswaterstaat - Ministerie van Infrastructuur en Milieu.** Bodemloket. [Online] 2013. <http://www.bodemloket.nl>.
4. **Nederlands Normalisatie-instituut.** *NEN 9997-1+C1-2012*. Normcommissie 351 006 "Geotechniek". Delft : NEN, 2012. ICS 91.080.01; 93.020.
5. **Dinoloket, Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond.** *Ondergrondgegevens*.
6. **Kadaster.** *Basisregistraties Adressen en Gebouwen*.
7. **adviseurs, JaW architecten en.** 1062AE *tekeningen*. 6-3-2020.
8. **IDDS.** *email met illustratie*. 15-03-2023.
9. **Fugro.** 90170376000 *geotechnisch onderzoek*. 23-3-2017.
10. **IDDS.** A0908-06 *boorstaten en grondwaterstand metingen*. 6-7-2021.

! Loots Grondwatertechniek staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

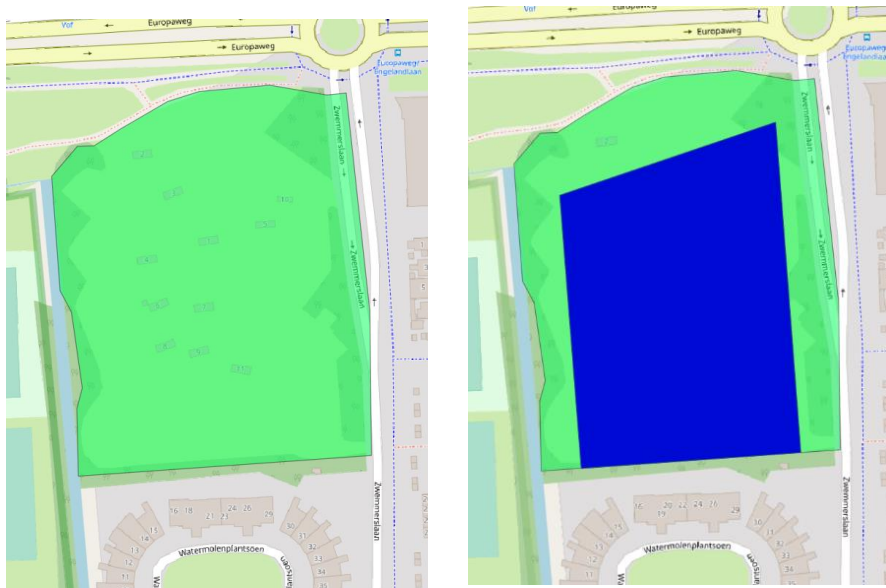
3 Uitgangspunten

De uitgangspunten van dit project staan in dit hoofdstuk. Uitgangspunten zijn de basis van elk project. Bij foutieve uitgangspunten is het resultaat onnauwkeurig. Controle is wenselijk, omdat uitgangspunten wijzigen in een normaal ontwerpproces.

De (adviseur van) opdrachtgever wordt geadviseerd om tenminste de uitgangspunten in H3.1 (afmetingen nieuwe situatie) te (laten) controleren, zeker na wijzigingen.

3.1 Ondergrondse object(en) bestand versus nieuw

In figuur 1 zijn de langsdoorsneden van de bestaande en nieuwe situatie naast elkaar geprojecteerd. Geconcludeerd wordt dat er sprake is van een verandering in de bodem ten opzichte van de bestaande situatie.

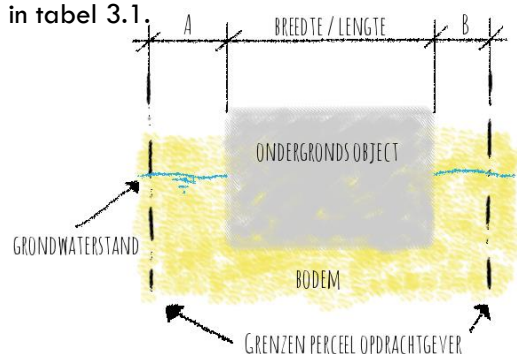


Figuur 1 – situatie project (links bestaand, rechts nieuw met barrière (kelder=donkerblauw))

In tabel 3.1 staan de maatgevende rekenwaarde voor de bestaande en nieuwe situatie naast elkaar. De schets in figuur 2 visualiseert de termen in tabel 3.1.

Tabel 3.1

vergelijking	bestaand	nieuw
omschrijving	geen bebouwing	kelder
lengte barrière [m]	140	108
ruimte lengte (A+B) [m]	0	32
breedte barrière [m]	170	162
ruimte breedte (A+B) [m]	0	8
onderkant barrière [m+NAP]	-0,1	-6
onderkant damwanden ^I [m+NAP]	geen	-15
belemmering ^{II} [%]	0%	43%~46%
kD-waarde ^{III} [m ² /dag]	41,97	23,86
Bouwooppervlakte [m ²]	0	15400
Overig oppervlakte m ²	23800	8400



Figuur 2 – schets bij tabel 3.1

^I geen = geen damwanden. Bij wel waterremmende grondkering rondom staat hier de diepte van damwanden (in dit stadium is dat een conservatieve inschatting). Tussen dit stadium (voorontwerp) en de uitvoering zal gecontroleerd worden of damwanden van deze omvang (geotechnisch) noodzakelijk zijn. een getal is waterremmende grondkering tot en met de aangegeven diepte.

^{II} Percentage van het watervoerend pakket welke geblokkeerd wordt door de constructie in de stromingsrichting.

^{III} De kD-waarde in de stromingsrichting onder de barrière, bepaald met behulp van lokaal grondonderzoek en regionale ervaring. In bijlage 1.3 is deze rekenwaarde nader toegelicht

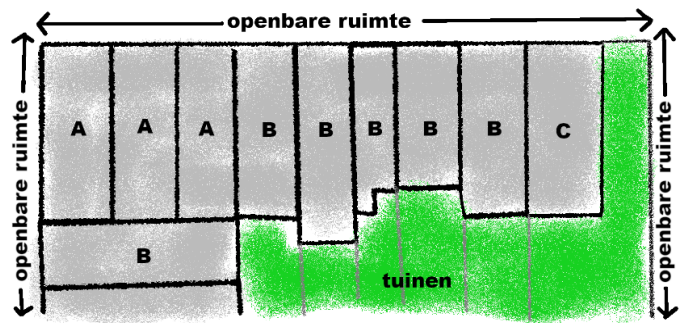
Voor dit project wordt een bestaande kD-waarde van 41,97 m²/dag berekend. Dit wordt beschouwd als best passende kD-waarde voor de bestaande als de toekomstige situatie.

3.2 Klimaat, regen en verdamping

De projectlocatie heeft een onbebouwd gebied welke grenst aan openbare ruimte (situatie C in figuur 3).

Achtergrondstroming, regenwater in het onbebouwd gebied en verdamping in het onbebouwd gebied (van buiten het perceel) hebben invloed op de projectlocatie. Door de oppervlakte van het onbebouwd gebied te vermenigvuldigen met de hoeveelheid

regen minus verdamping wordt het debiet grondwateraanvulling berekend. De hoeveelheid regen en verdamping per maand is bepaald aan de hand van 'verdeling neerslag in Nederland', bron: KNMI, uit grondwaterzakboekje 2016. Waarbij gerekend wordt dat 50% van het regenwater op de projectlocatie in de nieuwe en bestaande situatie direct naar openbare ruimte afstroomt (dus geen conflict met barrière).



Figuur 3 – situatie project

Tabel 3.2

maand	debiet lokaal bestaand [m ³ /dag]	debiet lokaal nieuw [m ³ /dag]
januari	27,255	11,34
februari	21,888	9,188
maart	22,265	8,617
april	6,347	2,527
mei	8,829	3,516
juni	9,123	1,295
juli	14,011	2,757
augustus	14,203	3,062
september	22,412	8,526
oktober	28,982	11,008
november	31,932	12,124
december	31,094	12,898
maximum	31,932	12,898

Uit tabel 3.2 wordt afgeleid dat het maximale debiet grondwateraanvulling gelijk is aan maximaal 31,932 m³/dag op de projectlocatie. In de toekomst is er in de nieuwe situatie 60% minder debiet.

In bijlage 1.2 staan berekeningsdetails voor specialisten.

Klimaatscenario Wh 2050

Loots heeft ruim 50 modelberekeningen uitgevoerd ter bepaling van het geohydrologisch effect in de stad bij klimaatscenario Wh 2050 (KNMI). Deze modelstudie met behulp van de input van het KNMI resulteert in:

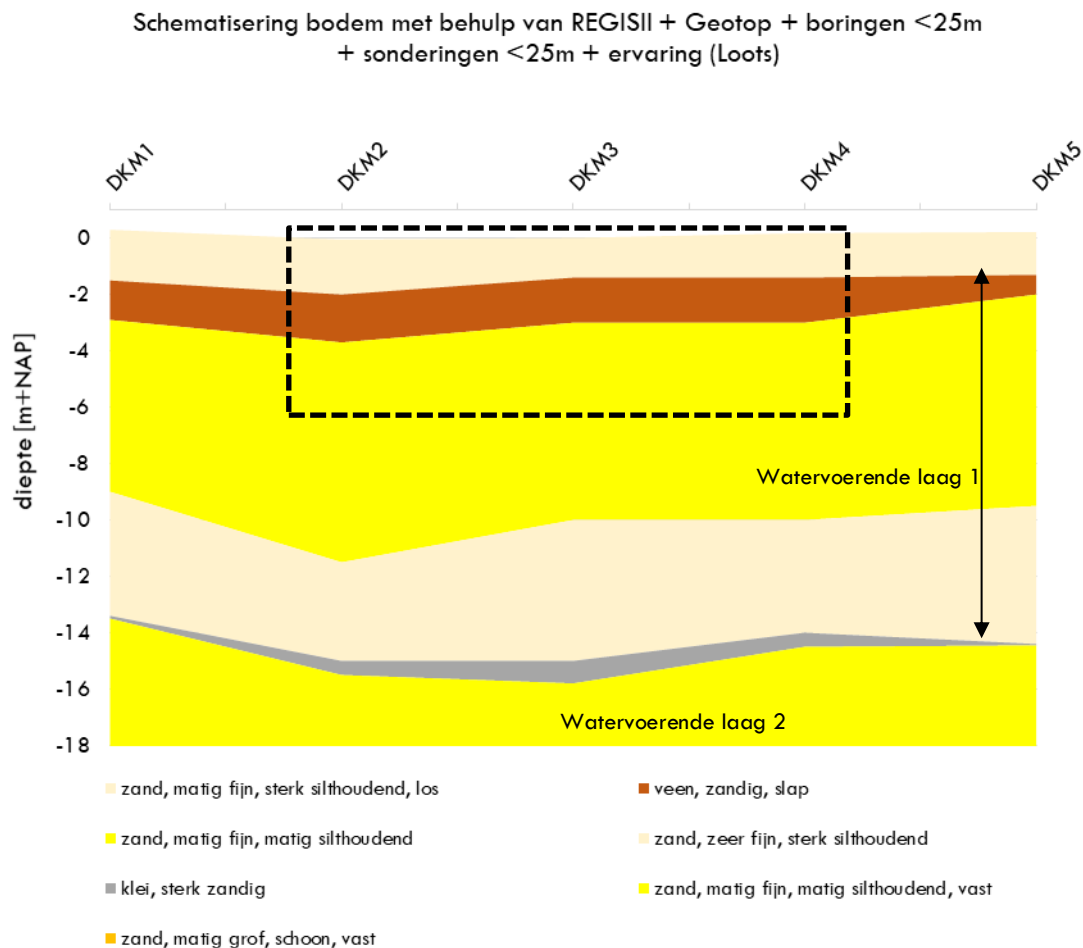
- een stijging van de gemiddeld hoge grondwaterstand tussen 0,05 en 0,12 m (afhankelijk van inrichting projectlocatie, bovengrens wordt veiligheidshalve aangehouden); EN
- een daling van de gemiddeld lage grondwaterstand tussen 0,05 en 0,25 m (afhankelijk van inrichting projectlocatie).

De resultaten uit de modelstudie worden gebruikt om de grondwatermeetreeksen (peilbuizen H3.3) aan te passen naar de situatie bij klimaatscenario Wh 2050.

In bijlage 1.5 staan berekeningsdetails voor specialisten omtrent Wh 2050 en het klimaat.

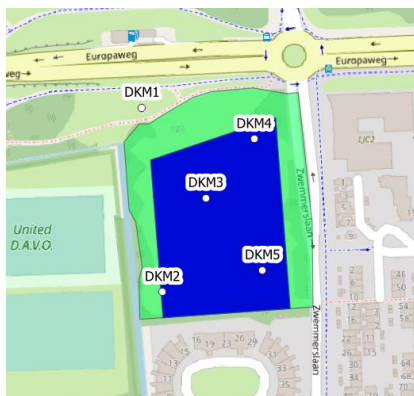
3.3 Bodemopbouw, grondwaterstand en grondwaterstroming regionaal

In figuur 4 staat een schematisering van de bodem.



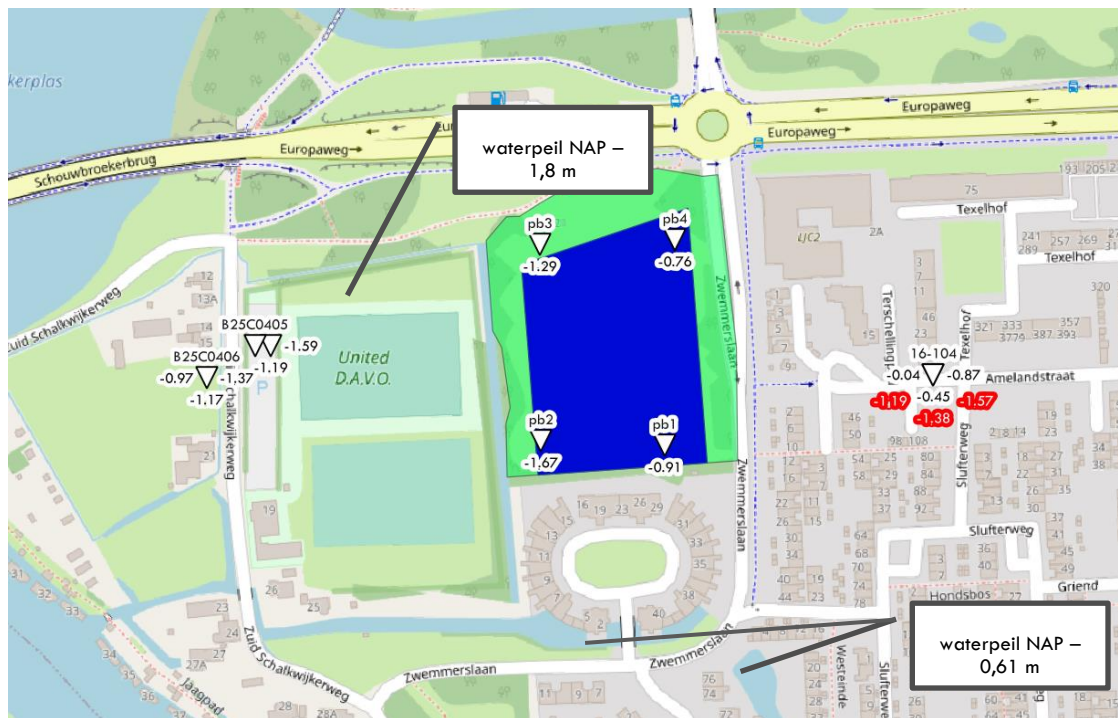
Figuur 4 – schematisering bodem

In figuur 5 staat de locatie van de bodemonderzoeken ten opzichte van de projectlocatie.



Figuur 5 – locatie grondonderzoek

In figuur 6 staat het resultaat van de grondwaterstandanalyse in de omgeving in watervoerende laag 1. Op basis van langdurige grondwaterstandmetingen is de gemiddelde grondwaterstand en grondwaterstandfluctuatatie weergegeven. De details van de grondwaterstandanalyse staan in bijlage 3.



Figuur 6 – grondwaterstanden ten opzichte van NAP [m] (boven driehoek=peilbuis naam, onder driehoek=gemiddelde grondwaterstand, links driehoek=maatgevend hoge grondwaterstand, rechts driehoek=maatgevende lage grondwaterstand)

In tabel 3.3-A staat welke maatgevend hoge, gemiddelde en lage grondwaterstand berekend is op de projectlocatie. In watervoerende laag 2 wordt geen effect verwacht.

Tabel 3.3-A

Rekenwaarde project	stroming van B06207 Freatisch	stroming naar B06208 Freatisch	midden projectlocatie
inrichting (effect Wh 2050)	stad veel bomen	geen	
maatgevend hoge grondwaterstand [m+NAP]	-0,04 (0,08*)	-1,8 (-1,8*)	-0,56 (-0,48*)
gemiddelde grondwaterstand [m+NAP]	-0,45 (-0,52*)	-1,8 (-1,8*)	-0,85 (-0,9*)
maatgevend lage grondwaterstand [m+NAP]	-0,87 (-1,12*)	-1,8 (-1,8*)	-1,15 (-1,32*)

*de grondwaterstand bij klimaatscenario Wh 2050

In tabel 3.3-B staat welke regionale grondwaterstroming van toepassing is. Met peilbuismeetreeksen is per maand een verhang bepaald tussen beide meetpunten. De stromingsrichting regionaal is richting het westen.

Tabel 3.3-B

maand	stroming van 16-104	stroming naar oppervlaktewater	verhang	debiet regionaal bij kD 42,12m ² /dag
januari	-0,4	-1,8	0,005	37,128
februari	-0,23	-1,8	0,006	41,636
maart	-0,7	-1,8	0,004	29,172
april	-0,53	-1,8	0,005	33,680
mei	-0,4	-1,8	0,005	37,128
juni	-0,55	-1,8	0,005	33,150
juli	-0,35	-1,8	0,005	38,454
augustus	-0,53	-1,8	0,005	33,680
september	-0,8	-1,8	0,004	26,520
oktober	-0,45	-1,8	0,005	35,802
november	-0,4	-1,8	0,005	37,128
december	-0,33	-1,8	0,005	38,984
maximum			0,006	41,636

- ! Er is voldoende grondonderzoek bij de projectlocatie voor de bepaling van doorlatendheid.
- ! In bijlage 1.1 staan (voor specialisten) de bodemeigenschappen en -onderzoek per onderdeel.
- ! In bijlage 1.2 staan (voor specialisten) de grondwaterstandeigenschappen per onderdeel.

4 Berekeningsresultaten en oplossingsrichtingen

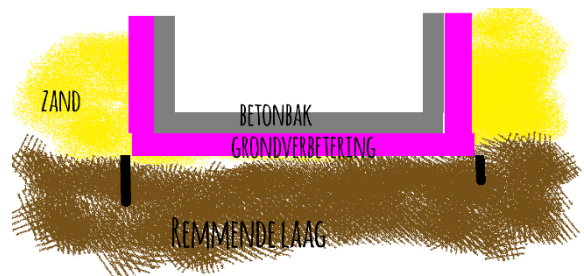
Met de uitgangspunten heeft Loots berekeningen uitgevoerd om tot de conclusie (hoofdstuk 5) te komen. In dit hoofdstuk staan de berekeningsresultaten per maatregel uitgewerkt. Voor een grondwaterneutraal ontwerp moet een van de maatregelen overgenomen worden in het ontwerp en uitvoering. Details (voor specialisten) staan zoveel mogelijk in bijlage 1.

4.1 [Oplossing 1] Grondverbetering traditioneel

Keiharde voorwaarde: Damwanden zijn niet gebruikt en/of niet aanwezig na de bouw en polderbodem aanwezig onder grondverbetering.

Wanneer kan oplossing 1 worden toegepast in de praktijk:

1. Ontgraving zonder damwanden, dit kan alleen bij kleine ontgravingsdiepte of wanneer bebouwing op grotere afstand staat van het project;
2. Bouwput met damwanden, waarbij damwanden (vanaf niveau onderkant bouwwerk of lager) getrokken kunnen worden EN cannelures damwanden open blijven (geen werkvloer). Dat kan soms bij nieuwbouw, vaak is het niet mogelijk bij bouw onder of direct tegen bestaande bebouwing;
3. Ontgravingsniveau van dit project is hoger dan aanlegniveau houten palen burel (houten palen vallen niet droog in bouwfase).



Figuur 7 – principe (paars is maatregel), verticale zwarte strepen is een voorbeeld waarbij restant damwand (beneden onderkant barrière) niet verwijderd wordt

Voordeel: Deze maatregel is eenvoudig uit te rekenen (en te controleren), het makkelijkste toe te passen en onderhoudsvrij. De uitvoerbaarheid is bewezen (100+ jaar).

Specificaties:

De grondverbetering start vanaf de gemiddelde grondwaterstand NAP -0,85 m bij de voorgevel en loopt (zonder onderbreking onder de barrière over de gehele breedte) naar de achtergevel tot NAP -0,85 m. Als een grondverbetering bestaat uit grof zand tot grind of dunner is dan 0,3 m, dan moet de grondverbetering aangelegd worden op een grondscheidend doek. Ook moet bij grof zand tot grind tussen het betonwerk en de grondverbetering een scheidend doek worden aangebracht om te voorkomen dat beton in de grondverbetering zakt.

In tabel 4.1 staat de relatie tussen dikte grondverbetering en materiaalspecificatie grondverbetering, dit is simpel te berekenen¹. Het grondverbetering materiaal is afhankelijk van de dikte van de grondverbetering.

Tabel 4.1

Dikte grondverbetering onder en bij gevels ^{II} barrière [m]	Benodigde aanvullende doorlatendheid bij kD-verlies 18,26 m ² /dag	Materiaalspecificatie grondverbetering (gemiddelde korreldiameter en Nederlandse omschrijving) bij kD-verlies 18,26 m ² /dag
0,2	96	schoon uiterst grof zand (1200µm)
0,3	66	schoon uiterst grof zand (850µm)
0,5	42	schoon uiterst grof zand (600µm)

¹ de formule $kD = k \text{ (doorlatendheid)} \times D \text{ (dikte)}$. De doorlatendheid wordt berekend door $k = kD / D$. De doorlatendheid en dikte zijn omgekeerd evenredig. Wanneer er een watervoerende laag aanwezig onder de nieuwe barrière moet deze doorlatendheid gecompenseerd worden. Bijvoorbeeld in de nieuwe situatie is er 0,5 m²/dag verlies, het zand onder de kelder heeft een k-waarde van 5 m/dag. Bij een grondverbetering van 0,25 m is de benodigde kD-waarde $5 \text{ m}^2/\text{dag} + 0,5 \text{ m}^2/\text{dag}/0,25 = 7 \text{ m}^2/\text{dag}$

^{II} alleen noodzakelijk bij gevels (zie gele gevels H5.1) voor en achter de barrière

4.2 [Oplossing 2] Grondverbetering met gaten

Keiharde voorwaarde: Het effect van de vernauwing (convergeren en divergeren van grondwaterstroming) in de gaten moet bepaald worden. Dit kan alleen met grondwatermodellering. Deze grondwatermodellering is voor dit project uitgevoerd (details in bijlage 1.3).

Wanneer kan oplossing 1 worden toegepast in de praktijk: Zolang er 0,5 m polderbodem aanwezig blijft onder de constructie inclusief grondverbetering.

Voordeel: Deze maatregel is altijd toepasbaar en onderhoudsvrij. De uitvoerbaarheid is bewezen, al is de methode relatief nieuw (<10 jaar).

Specificaties:

De onderkant van de grondverbetering moet aangelegd worden op een grondscheidend doek. Tussen het betonwerk en de bovenkant van de grondverbetering moet er ook een scheidend doek aangebracht worden. Verder moet de grondverbetering van voor naar achter ononderbroken doorlopen. Dat betekent onder andere dat de werkvloer ter plaatse van (damwand)cannelures open moet zijn en gevuld met grondverbetering.

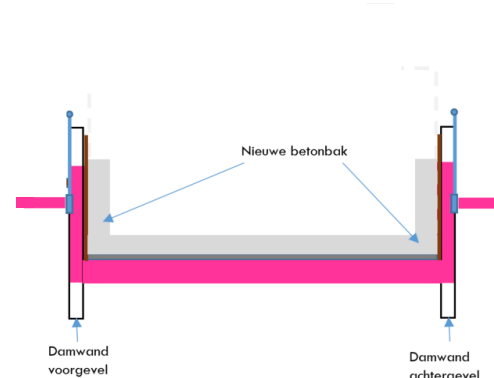
De grondverbetering conform de berekening van de grondwatermodellering moet een doorlatendheid hebben van 1500 m/dag; dit is bijvoorbeeld schoon grind (10mm).

In tabel 4.2 staan de details voor een grondwaterneutraal ontwerp. Afwijken van de parameters (doorlatendheid of waarden in tabel 4.2) heeft gevolgen. Sommige afwijkingen (meer gaten, grotere diameter bijvoorbeeld) betekent dat grondwatermodellering opnieuw uitgevoerd moet worden.

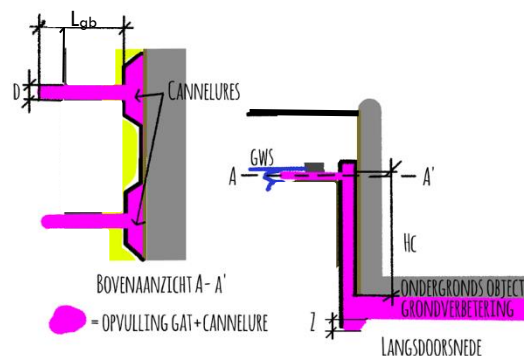
Tabel 4.2

rekenparameters gaten in damwand	eenheid	specificatie
diameter gat (D)	[m]	0,14
lengte gat (Lg)	[m]	0,4
lengte gat buiten (Lgb)	[m]	0,1
aanleghoogte gat (centrum)	[m+NAP]	-1,54 ¹
doorstroomhoogte cannelure (Hc)	[m]	4,56
damwandprofiel	[-]	AZ26-700
oppervlakte cannelure	[m ²]	0,40503
aantal gaten openbare ruimte	[-]	50
aantal gaten bij achtergevel	[-]	50
dikte grondverbetering	[m]	0,25
dikte vuilopvang (I)	[m]	0,1

! In bijlage 1.3 Staan de berekeningsresultaten en de details over de modellering voor specialisten.



Figuur 8 – principe (paars is maatregel)



Figuur 9 – details (paars is maatregel)

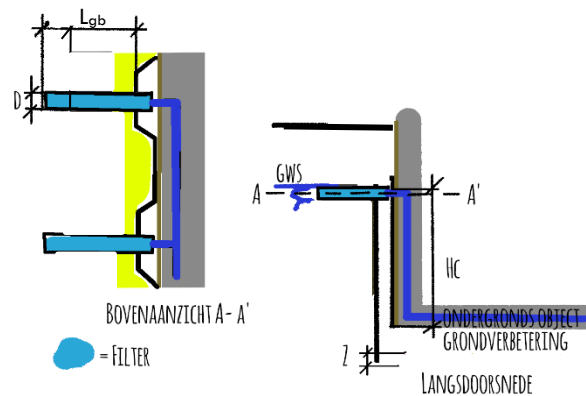
¹ Wanneer buiten het gat veen/klei zit, dan moet aan de buitenzijde van de damwand een grondverbetering met drainagezand uitgevoerd worden.

4.3 [Oplossing 3] Bypass

Keiharde voorwaarde: Onderhoud moet mogelijk zijn. Leidingweerstandberekening is noodzakelijk. Opnamecapaciteit filters moet afgestemd worden op gewenste kD-waarde.

Toepassing in de praktijk: Altijd toepasbaar

Voordeel: Deze maatregel is altijd toepasbaar. De uitvoerbaarheid is bewezen, al is de methode relatief nieuw (<10 jaar).



Figuur 10 - principe (blauw is maatregel)

Specificaties:

Er moeten minimaal twee leidingen van voor naar achteren worden aangelegd onder het ondergronds object door. Bij elk filter zal een aansluiting voor schoonzuigen-/spoelen aangebracht moeten worden.

Onderhoud:

Op elk filter zit een opening (tijdens gebruik gesloten). Deze opening is geschikt voor het volgende:

- Een waterslang op aan te sluiten (simpel onderhoud), vervolgens andere filters open zetten en daarmee vuile delen uit het systeem spoelen (fijne delen in leidingen met name);
- Een knikkerpuls invoeren in de slang, daarmee is een ernstige verstopping (bijvoorbeeld leiding geheel gevuld met fijne delen) wel te halen. Dit door met de knikkerpuls een gat te pulsen door de verstopping;
- Een zuigpomp aan te sluiten op één filter, vervolgens de filters van de bypass regenereren door met een afsluiter het systeem te jutteren (werkwijze waarbij de onttrekking in korte frequentie gestopt en gestart wordt, hierdoor komen verstoppende delen in de filters los en wordt dit opgepompt door de zuigpomp);
- Mocht na jutteren het filter niet regenereren (schoon worden), dan is het mogelijk het filter te vervangen.

In tabel 4.3 staan de details voor een grondwaterneutraal ontwerp met de bypass.

Tabel 4.3

rekenparameters gaten in damwand	eenheid	specificatie
diameter filter	[m]	0,18
lengte filter (Lgb)	[m]	1
aanleghoogte filter (centrum)	[m+NAP]	-1,56 ¹
aantal filters openbare ruimte	[-]	50
aantal filters onbebouwd deel (achter)	[-]	50
Minimale diameter leiding voor-achter	[mm]	60

! In bijlage 1.4 staan de berekeningsresultaten van de bypass voor specialisten.

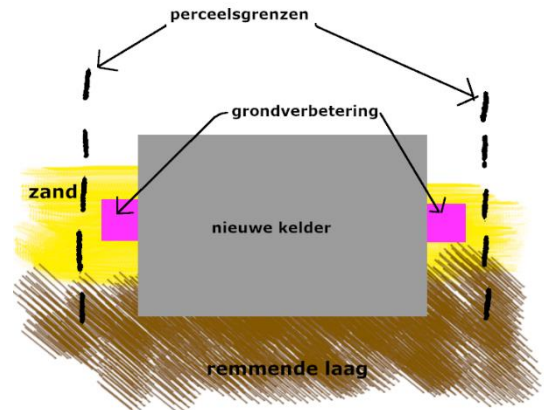
¹ Wanneer buiten het gat veen/klei zit, dan moet aan de buitenzijde van de damwand een grondverbetering met drainagezand uitgevoerd worden.

4.4 [Oplossing 4] Grondverbetering naast de barrière

Keiharde voorwaarde: Er moet naast het bouwwerk (tussen de erfgrans en het bouwwerk) ruimte zijn beneden de grondwaterstand om een grondverbetering aan te leggen van voor naar achteren. Dat lijkt in dit geval van toepassing.

Toepassing in de praktijk:

1. Vrijstaande gebouw; Hoekgebouw met onbebouwd deel ernaast, waarbij vaak aan een enkele zijde grondverbetering zit, bij paarse stippellijn in figuur 11 wordt dan geen grondverbetering toegepast;
2. Wanneer er tussen de bestaande muur (in pandig bouw) en de damwandconstructie beneden de grondwaterstand een holle ruimte is waar grondverbetering aangebracht kan worden.



Figuur 11 – principe (paars is maatregel)

Voordeel: Deze maatregel is het makkelijkste toe te passen en onderhoudsvrij. De uitvoerbaarheid is bewezen (100+ jaar).

Specificaties:

In tabel 4.4 staan de afmetingen. Overweeg deze oplossing alleen als bij het uitvoeringsontwerp blijkt dat er buiten het ondergrondse bouwwerk genoeg ruimte zit. Ook moet de grondverbetering beneden de grondwaterstand worden aangebracht zonder (permanente) damwandconstructie.

De berekening van de k-waarde van deze oplossing is relatief simpel door de gewenste kD-waarde (H3.1) te vermenigvuldigen met de breedte van het project en vervolgens te delen door de doorstroomoppervlakte van de grondverbetering ernaast.

Tabel 4.4

rekenparameters grondverbetering ernaast	eenheid	specificatie
grondverbetering voor en achter	[-]	ja
grondverbetering links en rechts	[-]	ja
bovenkant grondverbetering	[m+NAP]	-1,4
onderkant grondverbetering	[m+NAP]	-2,4
minimale breedte grondverbetering	[m]	0,5
Benodigde aanvullende doorlatendheid bij kD-verlies 18,26 m ² /dag	[m/dag]	1000
materiaal grondverbetering ¹		schoon grind (1mm) + geperforeerde drain Ø 125mm

¹ Een drainerend geocomposiet (zoals Enkadrain) heeft als nadeel dat de kD-waarde van de maatregel sterk verhoogd. Dat betekent dat de grondwaterstand zal wijzigen. Dit materiaal is hier geen uitgangspunt.

5 Conclusie en aanbevelingen

Loots concludeert dat voldaan kan worden aan een grondwaterneutraal ontwerp. In paragraaf 5.1 staat welke geohydrologische (grondwater) maatregelen geschikt zijn. In paragraaf 5.2 staat welke afwatering gewenst is. In paragraaf 5.3 staan de risico's (en beheersmaatregelen) bij dit project. In paragraaf 5.4 staat de monitoring voor dit project. In paragraaf 5.5 staan de aanbevolen vervolgstappen voor de opdrachtgever.

5.1 Grondwaterneutrale bouw

De conclusie is positief. Het project kan grondwaterneutraal worden uitgevoerd. Voor dit project is gekozen voor oplossing:

- Oplossing 1: Grondverbetering traditioneel (conform specificatie H4.1);

Bij de gele lijnen in figuur 12 is het noodzakelijk langs de gevels de maatregelen te treffen bij alle oplosrichtingen (1 tot en met 4). Bij de paarse lijn in figuur 12 is het noodzakelijk langs de gevels de maatregelen te treffen bij oplosrichting 4.



Figuur 12 – kelder is grondwaterneutraal bij toepassen maatregelen langs gevels welke geel zijn (voor alle oplosrichtingen). Bij paarse gevels zijn maatregelen oplossing 4 alleen noodzakelijk.

De overige oplossingen voldoen ook aan grondwaterneutrale bouw; echter bepaalde details (wel of niet toepassen damwanden) zorgen ervoor dat het niet noodzakelijk is deze (meer complexe) oplosrichting toe te passen. Kies dus alleen voor een van deze oplossingen wanneer dit noodzakelijk is.

5.2 Afwatering perceel

Afwatering, ofwel hoe regenwater stroomt op het perceel van het project. Dit gaat niet om het deel van regenwater dat in de bodem zakt (en grondwater wordt). Dat lossen we op met de maatregelen van hoofdstuk 4. Hier gaat het ten eerste om regenwater dat op het verhard (dak)oppervlakte valt en snel kan afstromen. Ten tweede gaat dit over regenwater dat in de onbebouwd deel valt en zolang het niet in de bodem is gezakt niet overlast/schade mag veroorzaken.

Regenwater afwatering naar oppervlaktewater

Geconcludeerd wordt dat er een nieuw verhard oppervlakte gerealiseerd wordt. Er wordt aanvullend 15400 m² verhard oppervlakte gerealiseerd, de gemeente accepteert regenwater van dit verhard oppervlakte niet (direct) op het riool. Indien afgekoppeld moet worden betekent dit meer hemelwater in de bodem op een kleiner oppervlakte. Ter voorkoming van negatieve effecten zullen maatregelen getroffen moeten worden. Het toepassen van infiltratie van grondwater (wadi's, kratten, etc.) zal altijd gecombineerd moeten worden met drainage en overstort op riolering, dit ter voorkoming dat de grondwaterstand bij extreme neerslag ten opzichte van de bestaande situatie sterker gaat stijgen.

Een extreme regenbui van 70 mm bergen of infiltreren betekent dat er een gecombineerd volume (wadi, infiltratiekratten en/of waterberging samen) van 924 m³ noodzakelijk is. Bij infiltreren van grondwater en slecht onderhoud aan drainage zal de grondwaterstand buiten het pand wijzigen, meestal ervaart de omgeving eerder overlast dan de nieuwbouw. Bij een gesloten waterberging (groen dak, waterberging onder terras, waterton) en slecht onderhoud ondervindt de nieuwbouw eerder overlast, zeker bij particulier onderhoud is een gesloten waterberging gunstiger (noodzaak tot onderhoud is veel simpeler en zichtbaarder).

De hemelwaterafvoer zal ontworpen moeten worden, waarbij dus niet alles direct in het riool geloosd mag worden. Dit is deels bouwkundig (hemelwater bergen en vertraagd afvoeren vanaf dakoppervlakte) en deels civiel (rioleringstekening, waarbij hemelwater in de sloot wordt geloosd). Afstemming (met bouwkundig adviseurs, civieltechnisch adviseurs en gemeente/Hoogheemraadschap) moet nog gebeuren. Het geohydrologisch deel kan door Loots berekend/beschouwd worden.

Regenwater in onbebouwd deel

Als er hoogteverschillen zitten tussen percelen van particuliere eigenaren krijgt het laagste maaiveld extra wateroverlast bij forse regenval. Dat is vervelend voor de desbetreffende eigenaar en niet de bedoeling. Een simpel opstaande rand (0,1 m boven maaiveld hogere onbebouwd deel) voorkomt afstroming. Deze opstaande rand kan waterdicht kunststof wandje zijn dat minimaal 0,2 m de grond in gaat. Leg daarnaast de onbebouwd deel 0,1 m (of meer) onder de drempelhoogte van het huis en zorg dat maximaal 50% van de onbebouwd deel is verhard. Bij een te hoge onbebouwd deel kan bij forse neerslag regenwater over de drempel het huis inlopen (met waterschade als gevolg).

5.3 Risico's

Het doel van risicomanagement is duidelijkheid voor de opdrachtgever. In tabel 5.3 A staan de risico's en beheersmaatregelen (van matig risico naar laag risico).

Tabel 5.3-A

omschrijving risico	risico	beheersmaatregel
buren ervaren wateroverlast bij hevige neerslag	matig	Regenwater dat op het dak valt van het bouwwerk niet in de onbebouwd deel lozen. Bij onbebouwd deel ophogen of extra verharderen ook deze wijziging in overleg met geohydroloog met passende maatregelen uitvoeren.
bypass maatregel verstopt op termijn	matig	Verhogen onbebouwd deel kan de locatie van wateroverlast-/schade verplaatsen, dat niet gewenst. Wateroverlast-/schade zoveel mogelijk of geheel oplossen wordt pas bereikt met goed overleg en samenwerking vanaf beide zijden van perceelsgrenzen.
grondwaterneutrale maatregelen worden niet juist uitgevoerd (relatief nieuwe techniek, niet bekend bij alle aannemers)	matig	Bij zowel filters voor- als achterzijde een aansluiting maken waar het vuil uit het systeem gezogen kan worden.
fijne delen verstopt de grondverbetering	laag	De hoeveelheid silt of andere fijne delen welke de bypass kunnen instromen beperken, dit door toepassen fijnmazig materiaal op grensvlak met bodem buiten.
grondwater zakt in bouwphase waardoor houten palen buren droogvallen doordat er grondwater in de gaten stroomt (lekke bouwput)	laag	Als de aannemer niet beschikt over referenties zal de opdrachtgever moeten investeren in toezicht. Een ervaren partij (bijvoorbeeld Loots) kan de opdrachtgever en aannemer van voorzien van toezicht en instructies.
geohydrologisch onderzoek en maatregelen blijken niet uitvoerbaar	laag	Een overcapaciteit ter plaatse van het diepste onderdeel (grondverbetering onderkant barrière) realiseren. Bij dit deel is de stromingssnelheid het laagste en door een forse overcapaciteit te realiseren (>1 m ³ ruimte voor fijne delen) wordt verstopping voorkomen.
buren gaan grondwateroverlast ervaren in de nieuwe situatie	laag	De gaten dichtzetten (met tijdelijke maatregelen zoals schuifafsluiter bijvoorbeeld) tot vlak voor laatste stort beton keldermuren. De gaten worden daarnaast aangebracht net onder de natuurlijk lage grondwaterstand (boven funderingshout buren), hierdoor kunnen gaten geen forse en langdurige grondwaterstandsverlaging veroorzaken. Bij twijfel altijd uitgaan van maatregelen die altijd toepasbaar zijn: de grondverbetering met gaten of de bypass
	laag	Conclusie geohydrologisch onderzoek (dit rapport) overnemen in het ontwerp (tekeningen en contractstukken aannemer).

5.4 Monitoring

Voor dit project geldt de monitoring in tabel 5.4 A. Dit zijn monitoringmaatregelen die bepaald zijn naar aanleiding van de beoordeling van risico's (paragraaf 5.2). Bij het bereiken van de grenswaarden (signaal-/interventiewaarde) zijn actie(s) gewenst.

Tabel 5.4-A

monitoring project	waar	wanneer	H ^I	L ^{II}	eenheid	grens-waarde 1	actie 1	grenswaarde 2	actie 2
2x Peilbuis NAP - 2,32 m	Voor projectlocatie(s)	1 x/dag, starten 1 maand voor bouw	x		[m+NAP]	-0,61	1,2	-0,51	3,4
2x Peilbuis NAP - 2,32 m	Achter projectlocatie(s)	1 x/dag, starten 1 maand voor bouw	x		[m+NAP]	-0,61	1,2	-0,51	3,4

^I Hoger dan: als de meting hoger is dan de grenswaarde, dan moet er actie ondernomen worden. Als hier g1 staat dan geldt hoger dan alleen voor grenswaarde 1;

^{II} Lager dan: als de meting lager is dan de grenswaarde, dan moet er actie ondernomen worden. Als hier g2 staat dan geldt lager dan alleen voor grenswaarde 2;

monitoring project	waar	wanneer	H I	L II	eenheid	grens- waarde 1	actie 1	grenswaarde 2	actie 2
Vooropnamen interieur+ exterieur	Direct aangrenzende buren	Voor start bouw							

De acties (bij tabellen):

1. Controleren dat het meetresultaat/-instrument juist is;
2. Controleren of de maatregelen toegepast zijn/worden;
3. Overleg met betrokken partijen, melden bij handhaving;
4. Uitvoeren uitgebreide geohydrologische analyse.

5.5 Vervolgstappen

Loots beveelt aan om de volgende vervolgstappen op te volgen

- ☐ Geohydrologische oplossing op bouwtekeningen bouwvergunning zetten;
- ☐ Toetsing van dit geohydrologisch onderzoek door bevoegd gezag;
- ☐ Uitvoeringsontwerp (na bouwvergunning) toetsen of geohydrologisch onderzoek en maatregelen aangepast moeten worden;
- ☐ Monitoring starten;
- ☐ Start uitvoering;
- ☐ Start ontgraving, bij afwijkingen ten opzichte van bodemopbouw H3.3 contact opnemen met Loots;
- ☐ Bij overschrijdingen monitoring contact opnemen met Loots;
- ☐ Voordat gaten opengezet worden contact opnemen met Loots en grondwaterstandmetingen doornemen;
- ☐ Bij wijziging inrichting onbebouwd deel de randvoorwaarden (waterhuishoudkundig) vanuit geohydroloog opvragen ter voorkoming van onacceptabel risico op wateroverlast en/of –schade.

Neem contact op met Erik Loots voor meer informatie.

Opgesteld door:

ing. E.J. Loots (06-53392188)

Loots Grondwatertechniek

6 juli 2023

BIJLAGEN

Bijlage 1 – Gegevens voor specialisten

Werkwijze en gebruikte software geohydrologisch onderzoek

De opdrachtgever levert de uitgangspunten (stukken opdrachtgever). Bij specialistische uitgangspunten (bijvoorbeeld eigenschappen bodem) bepalen we een bandbreedte (boven en ondergrens), zodat de kans op afwijkingen klein wordt. We bepalen de bandbreedte op basis van ervaring en (regionale) modellen.

De berekeningen bestaan uit analytische- en modelberekeningen (software: MicroFEM v4.10, Qgis v3.8, Strater v5, MLU v2.25, Excel en/of Surfer v16). Door de berekeningen meerdere malen te herhalen bij verschillende uitgangspunten vinden we een robuust ontwerp. Door deze werkwijze neemt de kans op (negatieve) afwijkingen af.

Bijlage 1.1 – Bodemeigenschappen en berekening kD-waarde

Uitgangspunten

Kh of kv is de doorlatendheid horizontaal en verticaal (hogere waarde is meer doorlatend). P is de porositeit van de grondlaag. De top (tweede kolom) geeft aan welke gemiddelde hoogte de bovenzijde van deze laag heeft.

Het getal tussen haakjes in de tabel is de standaarddeviatie. Dit geeft de bandbreedte van de desbetreffende parameter aan, waarbij gerekend wordt met een bandbreedte van 2x de standaarddeviatie.

De doorlatendheid is bepaald aan de hand van het grondwaterzakboekje, regionale modellen en praktijkervaring.

Onderzoeksresultaten

In tabel b1.1-A staan de rekenparameters welke bepaald zijn met het beschikbare grondonderzoek (bijlage 3 en visualisatie hoofdstuk 3.3)

tabel b1.1-A

geohydrologische omschrijving Haarlem	top gemiddeld (σ) [m+NAP]	kh (σ) [m/d]	kv (σ) [m/d]	P [-]
zand, matig fijn, sterk silthoudend, los	0,13 (0,15)	3 (0,6)	1,875 (0,375)	0,2 (0,02)
veen, zandig, slap	-1,52 (0,28)	0,25 (0,05)	0,0063 (0,0013)	0,3 (0,03)
zand, matig fijn, matig silthoudend	-2,92 (0,61)	5 (1)	2,5 (0,5)	0,3 (0,03)
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	-10 (0,94)	1 (0,2)	0,5 (0,1)	0,12 (0,01)
klei, sterk zandig	-14,36 (0,68)	0,1 (0,02)	0,01 (0,002)	0,3 (0,03)
zand, matig fijn, matig silthoudend, vast	-14,75 (0,92)	5 (1)	1,875 (0,375)	0,3 (0,03)
zand, matig grof, schoon, vast	-21 (0)	30 (6)	11,25 (2,25)	0,3 (0,03)
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	-30 (0)	20 (4)	7,5 (1,5)	0,3 (0,03)
klei, zwak siltig, vast	-70 (0)	0,00005 (0,00001)	0,0002 (0)	0,4 (0,04)

Grondeigenschappen zijn variabel, dat is een feit. Er wordt hier onderscheid gemaakt tussen:

- 1) De dikte (D) van grondlagen varieert in enige mate bij de grondonderzoeken
- 2) De doorlatendheid (k)

De maatgevende kD-waarde in de bestaande situatie moet rekening houden met deze variatie. Voor wat betreft laagdikten worden eerst drie modellen (tabel b1.1-B) gemaakt, waarbij een ondergrens (dunne watervoerende lagen), gemiddelde en bovengrens (dikke watervoerende lagen) met 2x standaarddeviatie zijn berekend. Daarbij is de natuurlijk hoge grondwaterstand als maximale hoogte aangehouden.

tabel b1.1-B

bandbreedte bodemopbouw top [m+NAP]	bovengrens	gemiddelde	ondergrens
zand, matig fijn, sterk silthoudend, los	-0,85	-0,85	-0,85
veen, zandig, slap	-1,72	-1,52	-1,32
zand, matig fijn, matig silthoudend	-2,31	-2,92	-3,53
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	-10,27	-10	-9,73
klei, sterk zandig	-14,49	-14,36	-14,23
zand, matig fijn, matig silthoudend, vast	-14,57	-14,75	-14,93
zand, matig grof, schoon, vast	-20,91	-21	-21,09
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	-30,18	-30	-29,82
klei, zwak siltig, vast	-71,97	-70	-68,03

in tabel B1.1-D wordt het effect van de aanlegdiepte en omvang barrière (bestaand en nieuw) pas doorberekend

Hetzelfde wordt gedaan voor de doorlatendheid in tabel B1.1-C. Een bovengrens, gemiddelde en ondergrens model is gemaakt voor alle bodemlagen.

tabel B1.1-C

bandbreedte k-waarde [m/dag]	bovengrens	gemiddelde	ondergrens
zand, matig fijn, sterk silthoudend, los	4,2	3	1,8
veen, zandig, slap	0,35	0,25	0,15
zand, matig fijn, matig silthoudend	7	5	3
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	1,4	1	0,6
klei, sterk zandig	0,14	0,1	0,06
zand, matig fijn, matig silthoudend, vast	7	5	3
zand, matig grof, schoon, vast	42	30	18
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	28	20	12
klei, zwak siltig, vast	0,00007	0,00005	0,00003

De bestaande situatie is maatgevend voor het ontwerp voor wat betreft de kD-waarde. Het berekenen van de bandbreedte kD wordt uitgevoerd door het berekenen van bovengrens k x bovengrens D tot en met ondergrens k x ondergrens D. De kans dat laagdikte afwijkt van 2x standaarddeviatie is 2,3% (statistisch). Hetzelfde geldt voor de doorlatendheid. Wanneer we beide vermenigvuldigen is de kans op afwijken van boven-/ondergrens ($2,3\% \times 2,3\% = 0,05\%$) statistisch verwaarloosbaar.

In tabel B1.1-D kan de berekende kD-waarde gevonden worden in de bestaande situatie onder het project. Daarbij is rekening gehouden met een bestaande aanlegdiepte van NAP-0,1 m. In de bestaande situatie is er 0 m zonder (ondergrondse) bebouwing naast het object. Er is ook rekening met een aanlegdiepte van NAP - 6,1 m in de nieuwe situatie. In de nieuwe situatie is er 8 m zonder ondergrondse bebouwing naast de barrière.

tabel B1.1-D kD-waarde project [m ² /dag]	bestaand projectlocatie			nieuw projectlocatie			effect [%]
	bovengrens	gemiddelde	ondergrens	bovengrens	gemiddelde	ondergrens	
zand, matig fijn, sterk silthoudend, los	3,654	2,010	0,846	0,000	0,000	0,000	-100%
veen, zandig, slap	0,207	0,350	0,332	0,000	0,000	0,000	-100%
zand, matig fijn, matig silthoudend	55,720	35,400	18,600	29,190	19,500	10,890	-45%
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	5,908	4,360	2,700	5,908	4,360	2,700	0%
klei, sterk zandig	0,011	0,039	0,042	0,011	0,039	0,042	0%
zand, matig fijn, matig silthoudend, vast	44,380	31,250	18,480	44,380	31,250	18,480	0%
zand, matig grof, schoon, vast	389,340	270,000	157,140	389,340	270,000	157,140	0%
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	1170,120	800,000	458,520	1170,120	800,000	458,520	0%

De bestaande kD-waarde zit tussen 22,48 m²/dag en 65,49 m²/dag. Het gemeentelijk beleid betekent geen verslechtering, dus de best passende kD-waarde moet in de nieuwe situatie aanwezig zijn.

Bij een kD-waarde in de nieuwe situatie die gelijk is aan de ondergrens, daalt de grondwaterstand ten westen verwaarloosbaar. De grondwaterstand ten oosten stijgt verwaarloosbaar.

De openbare ruimte ligt op NAP+0,1 m. Dat betekent dat weinig ontwateringsdiepte is, stijging (zelfs verwaarloosbaar) is hier niet gewenst, daling (zelfs verwaarloosbaar) wordt als positief beschouwd. Omdat grondwater regionaal naar de achterzijde (tuin) stroomt is het gewenst een bovengrens kD-waarde voor de projectlocatie te selecteren. De achterzijde (tuin) ligt op NAP+0,1 m. Dat betekent dat weinig ontwateringsdiepte is. Stijging is hier niet gewenst. Daling wordt als positief beschouwd. Omdat grondwater regionaal naar de achterzijde (tuin) stroomt is het gewenst een (richting) ondergrens kD-waarde voor de projectlocatie te selecteren.

Voor dit project wordt is het best passend uitgangspunt verplicht, dat is in dit geval een kD-waarde van 42,12 m²/dag. Dit wordt beschouwd als best passende kD-waarde voor de bestaande als de toekomstige situatie.

Bijlage 1.2 – Grondwateraanvulling op perceel

Uitgangspunten

Uit het grondwaterzakboekje 2016 (en KNMI-statistieken) is de hoeveelheid neerslag en verdamping per maand overgenomen. De verdamping geldt alleen bij groen (planten). Bij de verdamping tuin houden we er rekening mee dat een deel van de tuin verhard is. Het deel zonder groen heeft dus geen verdamping.

In de bestaande situatie is de tuin 23800 m² groot. In de nieuwe situatie is dit 8400 m². Er is sprake van een kleinere tuin in de nieuwe situatie.

Voor dit project wordt gerekend met klimaatscenario Wh 2050 (meer informatie in bijlage 1.5), waarbij voor deze vergelijking (nu versus Wh2050) gerekend wordt met 50% verharding. De verdamping in onderstaande figuur treedt alleen op bij onverhard oppervlakte buiten de bebouwing. De helft van neerslag stroomt naar openbare ruimte (hwa), dit komt doordat het perceel buiten de bebouwing grenst aan openbare ruimte).

Onderzoeksresultaten

In tabel b1.2-A staan de rekenparameters en in de laatste kolom de grondwateraanvulling op de projectlocatie.

tabel b1.2-A

maand	regen [mm/maand]	verdamping [mm/maand]	wh2050 regen	wh2050 verdamping	gwa* [mm/maand]	wh2050 gwa [mm/maand]	verschil wh2050 vs nu
Januari	75	8	87,8	8,2	71	83,7	118%
Februari	59	15	69	15,5	51,5	61,25	119%
Maart	74	32	80,7	34,2	58	63,6	110%
April	45	58	49,1	62,1	16	18,05	113%
Mei	65	84	70,9	89,9	23	25,95	113%
Juni	68	90	59,2	99,9	23	9,25	40%
Juli	84	95	73,1	105,5	36,5	20,35	56%
Augustus	77	80	67	88,8	37	22,6	61%
September	81	49	87,1	52,4	56,5	60,9	108%
Oktober	89	27	95,7	28,9	75,5	81,25	108%
November	86	11	92,5	11,8	80,5	86,6	108%
December	84	6	98,3	6,2	81	95,2	118%

*gwa=grondwateraanvulling

Door het oppervlakte buiten de bebouwing (bestaand en nieuw) te vermenigvuldigen met de grondwateraanvulling is het debiet grondwater dat er op perceelsniveau maandelijks bijkomt te berekenen.

tabel b1.1-B

bandbreedte bodemopbouw top [m+NAP]	debiet lokaal bestaand [m ³ /dag]	debiet lokaal nieuw [m ³ /dag]
Januari	27,255	11,34
Februari	21,888	9,188
Maart	22,265	8,617
April	6,347	2,527
Mei	8,829	3,516
Juni	9,123	1,295
Juli	14,011	2,757
Augustus	14,203	3,062
September	22,412	8,526
Oktober	28,982	11,008
November	31,932	12,124
December	31,094	12,898

Conclusie

Uit de bovenstaande tabel leiden we af dat het maximale debiet grondwateraanvulling (regen - verdamping) gelijk is aan maximaal 31,094 m³/dag op de projectlocatie. In de toekomst is er in de nieuwe situatie 60% minder debiet.

Bijlage 1.3 – Details berekening grondverbetering met gaten

Algemeen

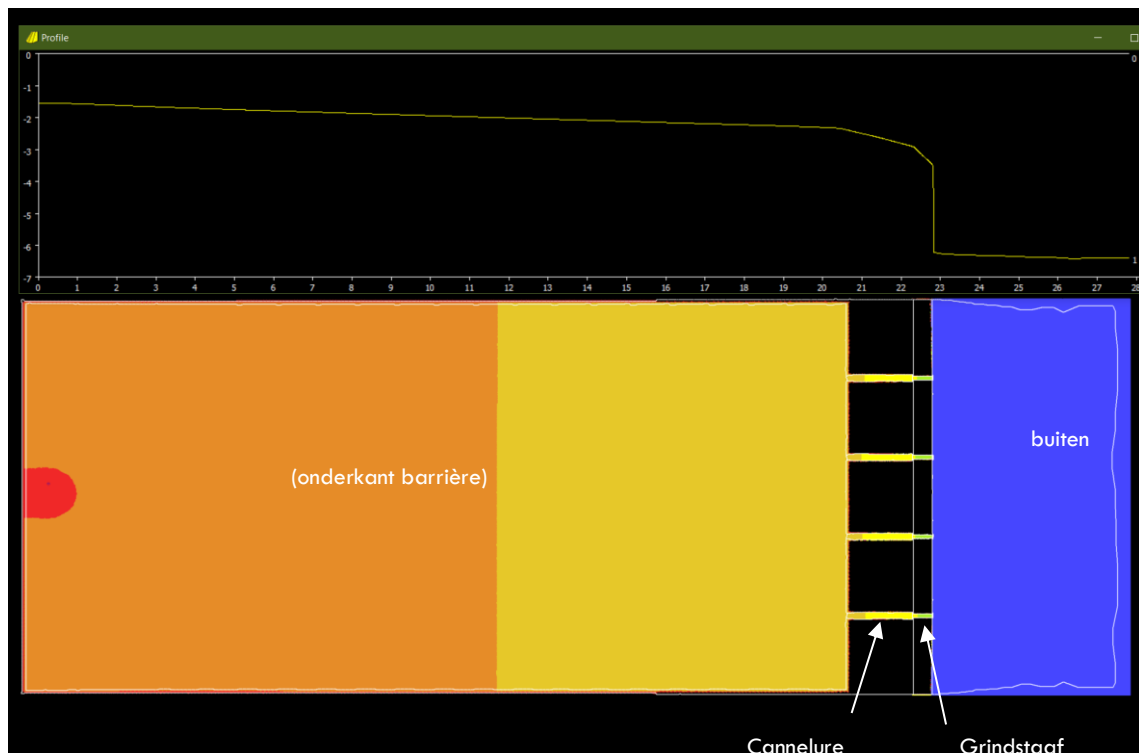
Met grondwatermodellering hebben we de parameters (diameter gaten, aantal gaten, doorlatendheid grondverbetering, etc.) bepaald.

Grondwatermodellering is noodzakelijk wegens onder andere:

- Wanneer de stroombaan bekeken wordt van grondwater bij deze oplosrichting is er sprake van vernauwingen (bij gaten) en daarna de verbredingen (na gaten). Ofwel convergerende/divergerende stroming. Met een simpele analytische benadering (bijvoorbeeld de berekening bij oplossing 1, hoofdstuk 4.1) is het effect van vernauwingen en verbredingen niet te benaderen, hetgeen niet voldoet aan eisen van een grondwaterneutraal ontwerp;
- De reikwijdte van de watervoerende laag is groter dan de afstand tussen de gaten, ofwel stroming in en uit één gat beïnvloedt ook andere gaten. Bij een groter aantal gaten wordt dit effect sterker. Met een simpele analytische benadering (bijvoorbeeld de berekening bij oplossing 1, hoofdstuk 4.1) is gebleken dat dit effect niet overeenkomt met de werkelijkheid.

Detailmodel

Loots voert twee modellen uit. In het eerste model modelleren we de gaten (enkele zijde). Het doel is het bepalen van de verhouding potentiaalverschil (of weerstand) tussen “onderzijde barrière” en “de overige onderdelen (gaten en cannelures)”. Doordat Loots gebruik maakt van MicroFEM modelleren we in dit eerste detailmodel alle onderdelen horizontaal achter elkaar. Figuur 12 is puur ter visualisatie opgenomen, het betreft een bovenaanzicht van een ouder project waarbij de waterdruk tevens boven is gezet ter illustratie.

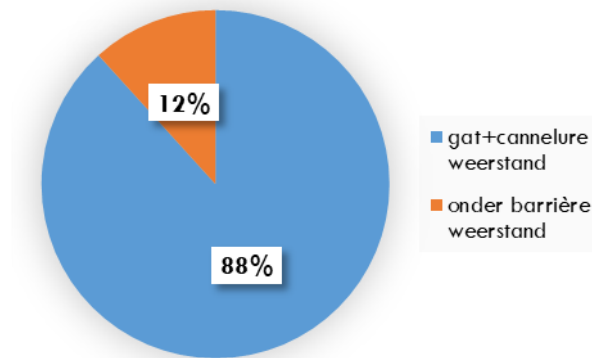


Figuur 13 - bovenaanzicht model (onderzijde) + grafiek met verloop waterdruk waarbij horizontale as = horizontale afstand in model en verticale as = waterdruk in model.

Input detailmodel voor dit project:

detailmodel	eenheid	input
lengte onderkant barrière	[m]	108
breedte onderkant barrière	[m]	162
hoogte onderkant barrière	[m]	0,25
aantal gaten + cannelures	[-]	50
lengte cannelure	[m]	4,56
breedte cannelure (per stuk)	[m]	0,8805
hoogte cannelures	[m]	0,46
lengte gaten opgesloten (geen uitstroom naar watervoerende lagen buiten mogelijk in model)	[m]	0,4
lengte gaten buiten (in verbinding met bestaande watervoerende lagen voor en achter)	[m]	0,1
lengte gaten totaal	[m]	0,5
breedte gaten (per stuk)	[m]	0,088
hoogte gaten	[m]	0,088
kD-waarde buiten	[m ² /dag]	42,12
debiet erin (links)	[m ³ /dag]	10
debiet eruit (rechts)	[m ³ /dag]	10
buitenzijde gat skinfactor dikte laag	[m]	0,01
reductiefactor k-waarde wegens skinfactor	[-]	10
doorlatendheid grondverbetering	[m/dag]	100

Het potentiaalverschil onder de barrière is groter dan het potentiaalverschil van start cannelure tot en met buiten. De volgende verdeling van potentiaalverschil (of weerstand) is bepaald met het detailmodel:

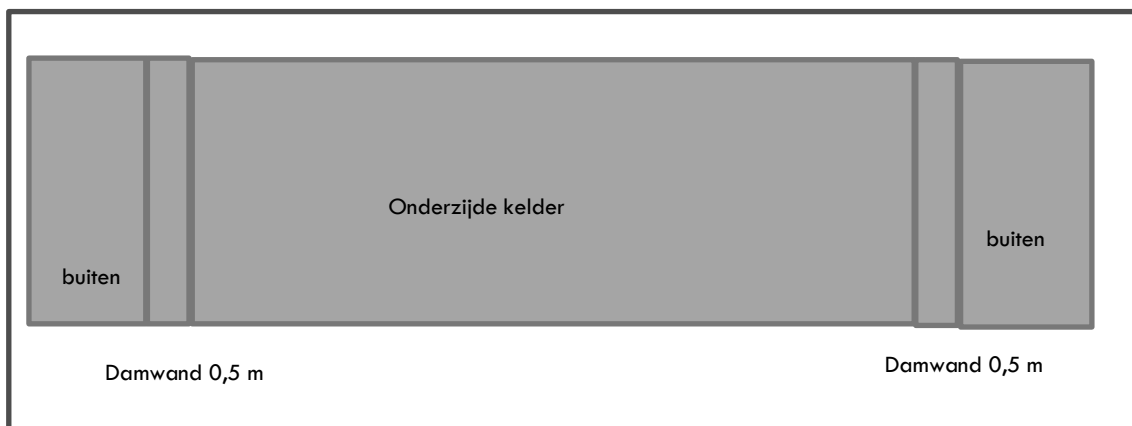


Totaalmodel

Nadat het detailmodel uitgevoerd is kunnen de gaten en cannelures met alle weerstand eenvoudig gemodelleerd worden als een wand met remming (strook 0,5 m breed voor en achter project).

In de gaten en cannelures is er een factor 7,81 (88,3% / 11,7%) meer weerstand. Daarnaast is de damwand 0,5 m. De lengte van barrière is 108 m. De transmissiviteit (kD-waarde) ter plaatse van de damwand moet een factor 1686 ($7,81 \times 108 / 0,5$) hoger zijn om tot een kloppend model te komen. Nu de verhoudingen (weerstand gaten, cannelures, skinfactor) juist gemodelleerd zijn wordt het mogelijk de benodigde doorlatendheid van de maatregelen te berekenen door links 10 m³/dag toe te voegen en rechts 10 m³/dag uit het model te halen.

In de bestaande situatie bij kD 42,12 m²/dag is er bij 10 m³/dag (hogere waarde voor modelnauwkeurigheid) een potentiaalverschil van 0,16 m tussen links en rechts in het model. In de nieuwe situatie wordt een gelijk potentiaalverschil berekend als de grondverbetering een doorlatendheid heeft van 1500m/dag. Bij deze doorlatendheid van grondverbetering wordt dus de gewenste kD-waarde in de nieuwe situatie gerealiseerd waardoor een grondwaterneutraal ontwerp van toepassing is.



Figuur 14 - opzet totaalmodel

Bijlage 1.4 – Details berekening Bypass

De bypass komt grotendeels overeen met oplossing 2 (berekening bijlage 1.3). Met als verschil dat er intern (in leidingen en bochten) nauwelijks weerstand is door ontbreken poreus materiaal. De resultaten bij oplossing 2 worden hergebruikt voor de bypass, waarbij weerstand intern afneemt (leidingen kunnen niet met MicroFEM worden gedimensioneerd) en de intredeweerstand (van bodem buiten op gat/filter) toeneemt door fijnmaziger materiaal bij filters van de bypass.

Minder weerstand intern

Met het maximale debiet $41,636 \text{ m}^3/\text{dag}$ (uit hoofdstuk 3) wordt een leidingweerstand (inclusief bochten) berekend van $29,3097 \text{ mm}$. Dat is verwaarloosbaar vergeleken met de weerstand die bij oplossing 2 van toepassing is onder barrière en in cannelures en gaten. Ten opzichte van oplossing 2 (bijlage 1.3) valt ongeveer 24% van de weerstand (grondverbetering weerstand onder barrière, in cannelure en in gat) weg.

Meer weerstand filteroppervlakte (t.o.v. gaten bij oplossing 2)

Bij de bypass fijn¹ filtermateriaal (kleinere maaswijdte) gebruikt worden ter plaatse van contactoppervlakte met de grond buiten. Het fijnere filter betekent dat de opnamecapaciteit (op lange termijn) per m^2 filter van de bypass lager ligt ten opzichte van oplossing 2. Loots rekent met een skinfactor (dagen weerstand) welke overeenkomt met de inverse van de doorlatendheid (ondergrens) van de bodem (deze relatie is in 1967 met praktijkproeven bepaald door Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding over een brede bandbreedte wat betreft doorlatendheid).

Conclusie

Om het ontwerp van de bypass kloppend te maken moet het contactoppervlakte van de (buitenzijde) filters 1286% worden vermenigvuldigd ten opzichte van contactoppervlakte (buitenzijde) gaten in oplossing 2. Dit kan door de diameter van het filter (t.o.v. gat), aantal filters (ten opzichte van gaten) of lengte filter (ten opzichte van gaten) aan te passen. Door deze percentuele wijziging (verwerkt in tabel hoofdstuk 4.3) is er bij de bypass ook sprake van een grondwaterneutraal ontwerp. Minder weerstand in de leiding + optimalisatie filteroppervlakte betekent dat de skinfactor (potentiaalverschil over buitenzijde filter) bypass ten opzichte gaten oplossing 2 groter is, een passende waarde gezien de randvoorwaarden en de informatie bij proefopstelling van de firma Building Support Volendam.

¹ Bij oplossing 2 is er een enorme capaciteit voor fijne onopgeloste delen (zoals silt) welke het systeem instromen onder de vloer, een zeer fijnmazig materiaal (lagere filtersnelheid) is hierdoor niet noodzakelijk. Bij de Bypass is er weer zeer weinig ruimte voor fijne onopgeloste delen (zoals silt), een zeer fijnmazig materiaal (lagere filtersnelheid) is hierdoor wel noodzakelijk.

Bijlage 1.5 – Wh 2050 berekening

Met het Wh 2050 scenario van het KNMI is het effect op neerslag en verdamping per maand berekend in tabel 1, dit is het gemiddelde (voor heel Nederland).

Tabel 1

effect klimaat Wh 2050	neerslag huidig [mm]	effect Wh 2050	neerslag Wh 2050	verdamping huidig [mm]	effect Wh 2050	verdamping Wh 2050 [mm]	grondwater- aanvulling huidig [mm]	grondwater- aanvulling wh2050 [mm]
januari	75	17%	87,8	8	3%	8,2	67	79,5
februari	59	17%	69,0	15	3%	15,5	44	53,6
maart	74	9%	80,7	32	7%	34,2	42	46,4
april	45	9%	49,1	58	7%	62,1	-13	-13,0
mei	65	9%	70,9	84	7%	89,9	-19	-19,0
juni	68	-13%	59,2	90	11%	99,9	-22	-40,7
juli	84	-13%	73,1	95	11%	105,5	-11	-32,4
augustus	77	-13%	67,0	80	11%	88,8	-3	-21,8
september	81	7,5%	87,1	49	7%	52,4	32	34,6
oktober	89	7,5%	95,7	27	7%	28,9	62	66,8
november	86	7,5%	92,5	11	7%	11,8	75	80,7
december	84	17,0%	98,3	6	3%	6,2	78	92,1
som	887		930,05	555		603,29	332	326,76

Volgens dit scenario neemt grondwateraanvulling (per jaar) gemiddeld in kleine mate (1,6%) af.

Wh 2050 in de stad bij bomen en gras

Bij bomen en gras is er sprake van gewasfactoren welke de effecten Wh2050 beïnvloeden. In tabel 2 is dit samengevat. Bij gras is er 1,1% afname (kleiner dan gemiddelde) van grondwateraanvulling, terwijl bij bomen de grondwateraanvulling met 16,3% afneemt (sterke reductie).

Tabel 2

bomen en gras	gewas- factor gras %	gewas- factor bomen %	grondwater- aanvulling gras	grondwater- aanvulling gras Wh2050	grondwater- aanvulling bomen	grondwater- aanvulling bomen Wh2050	debiet ¹ gras [m ³ /dag/ m ²]	debiet bomen [m ³ /dag /m ²]
januari	90%	100%	67,8	80,3	67,0	79,5	0,00042	0,00042
februari	90%	100%	45,5	55,1	44,0	53,6	0,00032	0,00032
maart	90%	100%	45,2	49,8	42,0	46,4	0,00015	0,00015
april	100%	100%	-13,0	-13,0	-13,0	-13,0	0,00000	0,00000
mei	100%	135%	-19,0	-19,0	-48,4	-50,5	0,00000	-0,00007
juni	100%	150%	-22,0	-40,7	-67,0	-90,7	-0,00062	-0,00079
juli	100%	160%	-11,0	-32,4	-68,0	-95,6	-0,00071	-0,00092
augustus	95%	135%	1,0	-17,4	-31,0	-52,9	-0,00061	-0,00073
september	90%	125%	36,9	39,9	19,8	21,5	0,00010	0,00006
oktober	90%	100%	64,7	69,7	62,0	66,8	0,00017	0,00016
november	90%	100%	76,1	81,9	75,0	80,7	0,00019	0,00019
december	90%	100%	78,6	92,7	78,0	92,1	0,00047	0,00047
som			350,8	346,9	160,4	137,9		

¹ Debiet in tabel 2 is uitgerekend door verschil = grondwateraanvulling Wh2050 – grondwater aanvulling huidig. Vervolgens verschil (mm/ maand/m³) / 30000 = verschil [m³/dag/m²]

Dakoppervlakte, gesloten bestrating (asfalt/beton) en elementenverharding in de stad Wh 2050

Bij een gesloten oppervlakte (vloeiستofdicht asfalt of gebouw met waterdicht dak) is er geen infiltratie van regenwater of verdamping van grondwater. Dat betekent dat geohydrologisch de input op dit oppervlakte (neerslag of verdamping) niet zal wijzigen.

Een bijzonder afwijkend onderdeel is de elementenverharding. Een maaiveldafwerking die sterk domineert in het stedelijk gebied. De elementenverharding (stoeptegels, straatbakstenen) laten regenwater infiltreren door de voegen, de elementenverharding laten grondwater verwaarloosbaar verdampen.

In Wh 2050 komen er per jaar totaal minder regenbuien voor. Het aantal regenbuien waarbij meer regenwater valt dan kan infiltreren door de elementenverharding neemt toe. Het aantal regenbuien waarbij al het regenwater welke valt kan infiltreren door de elementenverharding neemt af, wel wordt bij deze regenbuien circa over het hele jaar 5% meer geïnfiltreerd. Bij elementenverharding is er sprake van:

1. Grondwateraanvulling neemt sterk af bij 20 tot 40% van de regenbuien, dit door meer forse regenbuien (hoger debiet, mm/uur, kortere duur buien) waarbij een groter deel van het hemelwater over het oppervlakte naar het riool stroomt;
2. Grondwateraanvulling bij de overige buien (80 tot 60%) neemt gering toe, doordat algemeen de hoeveelheid 5% neerslag toeneemt in scenario Wh2050.
3. Som 30% van buien is er 10% minder grondwateraanvulling (meer run-off), 70% van de buien is er 5% meer grondwateraanvulling (klimaatverandering) → gemiddeld 0,5% meer grondwateraanvulling bij elementenverharding (zeer klein verwaarloosbaar effect bij elementenverharding welke door bomen snel teniet wordt gedaan, is het oppervlakte (kruin) van de bomen (circa 0,5%/16% =) 1/32 van de elementenverharding dan zal er over het hele jaar nagenoeg geen effect zijn).

Details omtrent berekening grondwateraanvulling door elementenverharding

Tegels en bestrating van gebakken klinkers komen veel voor in de stad (meest voorkomende bestrating). Hemelwater kan door de voegen naar beneden zakken tot de grenswaarde. De grenswaarde is het moment dat de hoeveelheid neerslag (mm/uur) groter wordt dan de maximale infiltratiesnelheid (mm/uur) door de bestrating.

In tabel 3 is voor de meest voorkomende wegverharding en bestrating de infiltratiesnelheid weergegeven, dat ligt bij schoon water en voegen tussen 0,13 en 0,42 mm/uur.

Tabel 3

maximale neerslag welke infiltreert [mm/uur]	zand voor zandbed ¹	drainagezand ¹
stoeptegel ^{III} 30 x 30	0,13	0,17
baksteen ^{III} 20 x 5	0,31	0,42

Bij straatbakstenen is er 1 mm berging tussen de voegen (uitgaande van goed doorlatend poreus materiaal), bij stoeptegels is er 0,3 mm berging tussen de voegen. In tabel 4 is de

¹ Volgens het grondwaterzakboekje (Bram Bot, 2016) hoofdstuk 22.6 ontwerpcapaciteit van bodeminfiltratie is de infiltratiesnelheid voor schoon helder water in drainagezand is 0,2 m/dag (8,33 mm/uur). De infiltratiesnelheid voor schoon helder water in zand voor zandbed is 0,15 m/dag (6,25 mm/uur). Infiltratiesnelheid van de bestrating wordt bepaald door infiltratieoppervlakte x doorlatendheid wegfundering. De wegfundering onder de straten is overwegend zand voor zandbed (doorlatendheid 1 m/dag) en soms drainagezand (doorlatendheid 5 m/dag).

^{II} Het infiltratieoppervlakte bij 30 x 30 cm stoeptegels is (6 [aantal voegen bij vlak van 0,9 x 0,9 m] x 0,9 m [lengte voeg] x 0,003 m [breedte voeg]) / (0,9 m x 0,9 m [oppervlakte totaal]) = 0,02 m / m² = 2%. Netto infiltratiesnelheid is dus 2% van infiltratiesnelheid wegfundering. Tussen de stoeptegels zit 0,045 m (dikte stenen) x 2% x 1 m² x 0,3 (porositeit) = 0,3 mm berging.

^{III} Het infiltratieoppervlakte bij 20 x 5 cm straatbakstenen is (25 [aantal voegen bij vlak van 1 x 1 m] x 1 m [lengte voeg] x 0,002 m [breedte voeg]) / (1 m x 1 m [oppervlakte totaal]) = 0,05 m / m² = 5%. Netto infiltratiesnelheid is dus 5% van infiltratiesnelheid wegfundering. Tussen de straatbakstenen zit 0,07 m (dikte stenen) x 5% x 1 m² x 0,3 (porositeit) = 1 mm berging.

maximale infiltratie[in mm] weergegeven (inclusief de berging) voor een regenbui van 1 tot 24 uur.

Tabel 4

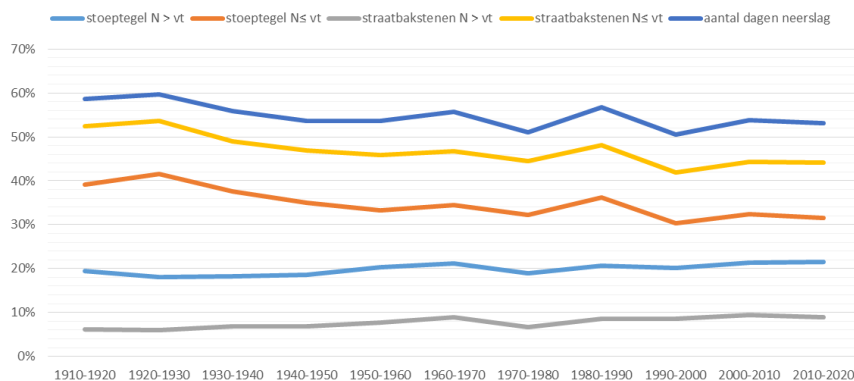
maximale infiltratie [mm]	stoeptegels 30 x 30		baksteen 20 x 5	
tijd [uren]	zand voor zandbed	drainagezand	zand voor zandbed	drainagezand
1	0,43	0,47	0,61	0,72
2	0,55	0,63	0,93	1,13
3	0,68	0,80	1,24	1,55
4	0,80	0,97	1,55	1,97
5	0,93	1,13	1,86	2,38
6	1,05	1,30	2,18	2,80
7	1,18	1,47	2,49	3,22
8	1,30	1,63	2,80	3,63
9	1,43	1,80	3,11	4,05
10	1,55	1,97	3,43	4,47
12	1,80	2,30	4,05	5,30
24	3,30	4,30	7,80	10,30

Bij stoeptegels (gemiddeld 3,8 mm/24 uur) en baksteen (gemiddeld 9,05 mm/24 uur) is per decade met meetstation (KNMI Amsterdam) bepaald hoe vaak de regenbui groter is (dan de maximale infiltratie door elementenverharding) en kleiner is (dan de maximale infiltratie door elementenverharding). In tabel 5 en grafiek 1 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 5

aantal dagen neerslag [N] versus maximale infiltratie door elementen [vt]	stoeptegels N > vt	stoeptegels N ≤ vt	bakstenen N > vt	bakstenen N ≤ vt	aantal dagen met neerslag
1910-1920	20%	39%	6%	52%	59%
1920-1930	18%	41%	6%	54%	60%
1930-1940	18%	38%	7%	49%	56%
1940-1950	19%	35%	7%	47%	54%
1950-1960	20%	33%	8%	46%	54%
1960-1970	21%	34%	9%	47%	56%
1970-1980	19%	32%	7%	44%	51%
1980-1990	21%	36%	9%	48%	57%
1990-2000	20%	30%	9%	42%	51%
2000-2010	21%	32%	9%	44%	54%
2010-2020	21%	32%	9%	44%	53%

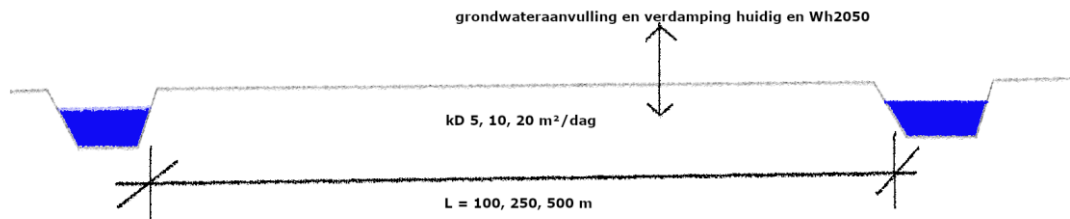
Grafiek 1



Uit de statistieken (meetreeks KNMI Amsterdam 2000-2014) blijkt dat maximaal 70% van neerslag kan infiltreren door elementenverharding, bij de rest sprake van run-off. Daarnaast is er ook verdamping bij elementenverharding al is deze vrij gering (30% van waarde in tabel 1). Een ander veelvoorkomende situatie zijn bomen met kleine boomspiegel in een elementenverharding opgesloten, door opname van water door de boomwortels is hier geen reductie van verdamping (ten opzichte van tabel 1). Er is in de zomer zelfs sprake van toename verdamping (ten opzichte van de waarde in tabel 1). In tabel 6 is de maatgevende grondwateraanvulling samengevat.

Tabel 6

grondwateraanvulling [mm/jaar]	Elementen- verharding	Elementen- verharding Wh2050	Elementen- verharding met bomen	Elementen- verharding met bomen Wh2050
januari	50,10	58,95	44,50	53,19
februari	36,80	43,69	26,30	32,87
maart	42,20	46,19	19,80	22,22
april	14,10	15,72	-26,50	-27,73
mei	20,30	22,63	-67,90	-71,74
juni	20,60	11,44	-87,40	-108,44
juli	30,30	19,52	-93,20	-117,56
augustus	29,90	20,25	-54,10	-72,99
september	42,00	45,22	-4,55	-4,58
oktober	54,20	58,31	35,30	38,08
november	56,90	61,18	49,20	52,95
december	57,00	66,94	52,80	62,62

Berekening effect Wh2050 in de stad modelleren

Het effect in klimaatscenario Wh2050 is uitgevoerd in een 2D grondwatermodel berekening waarbij er 3 verschillende afstanden tussen oppervlaktewater, 3 verschillende kD-waarden en 3 verschillende inrichtingen getoetst zijn wat betreft grondwateraanvulling en verdamping:

1. **Park:** Gras 50% + bomen 50%;
2. **Veel bomen in stad:** Bebouwing 25% + elementenverharding met bomen 40% + 25% elementenverharding + 5% bomen + 5% gras;
3. **Weinig bomen in stad:** Bebouwing 30% + elementenverharding met bomen 5% + 60% elementenverharding + 5% gras;

Totaal zijn er $3 \times 3 \times 3 = 27$ modelruns uitgevoerd voor de bestaande situatie en de situatie in klimaatscenario Wh2050 (90 modelruns totaal). Elke modelrun wordt het klimaat gesimuleerd in stappen van 1 maand, elke maand wordt de grondwateraanvulling/verdamping aangepast conform de bijpassende rekenwaarde.

De uitkomst bestaand en klimaatscenario Wh2050 worden vergeleken. Wijzigingen door klimaatscenario Wh2050 zijn gerapporteerd ten aanzien van de maatgevend hoge grondwaterstand (hoger of lager) en de maatgevend lage grondwaterstand (hoger of lager). In de onderstaande tabellen staan de resultaten. Voorbeeld input grondwateraanvulling in model park bij bestaand versus nieuw in tabel 6.

Tabel 6

Grondwateraanvulling modelinput [mm/maand]	model park bestaand	model park Wh 2050	model veel bomen bestaand	model veel bomen Wh 2050	model weinig bomen bestaand	model weinig bomen Wh 2050
januari	67,4	79,9	37,1	44,0	35,7	42,0
februari	44,8	54,4	24,2	29,5	25,7	30,6
maart	43,6	48,1	22,8	25,2	28,6	31,3
april	-13,0	-13,0	-8,4	-8,5	6,5	7,4
mei	-33,7	-34,8	-25,5	-26,5	7,8	9,0
juni	-44,5	-65,7	-34,3	-47,1	6,9	-0,6
juli	-39,5	-64,0	-33,7	-48,5	13,0	4,2
augustus	-15,0	-35,1	-15,7	-27,6	15,3	7,6
september	28,3	30,7	11,5	12,5	26,8	28,9
oktober	63,4	68,2	34,0	36,6	37,5	40,4
november	75,6	81,3	41,5	44,6	40,4	43,5
december	78,3	92,4	43,2	51,0	40,8	47,9

Hoe is dit bepaald? → het 50% van waarde kolom 5 + 50% van waarde kolom 7 (gras en bomen in Wh 2050), regel januari, in tabel 2 is 79,9 mm/maand.

Effect bij park

De effecten bij parken in de stad zijn met name dalend (18 modelstudies samengevat in tabellen 9 en 10). De GLG zakt tot 0,32 m in het midden van de drainagemiddelen, conclusie → in dit geval gaten 0,35 m extra dieper aanleggen (beneden GLG ter voorkoming van oxidatie geohydrologische maatregelen).

De GHG stijgt tot 0,07 m in het midden van de drainagemiddelen (afhankelijk van de kD-waarde en afstand tussen drainagemiddelen) conclusie → rekening houden dat de GHG 0,1 m kan stijgen.

Tabel 7

Stijging ghg [m]	L=100	L=250	L=500
kD 5 m²/dag	0.06	0.04	-0.1*
kD 10 m²/dag	0.04	0.07	-0.02*
kD 20 m²/dag	0.025	0.06	0.05

*opbolling in het midden is dusdanig groot (>1,5 m), het scenario kan daarom uitgesloten worden

Tabel 8

Stijging glg [m]	L=100	L=250	L=500
kD 5 m²/dag	-0.11	-0.19	-0.32*
kD 10 m²/dag	-0.075	-0.175	-0.23*
kD 20 m²/dag	-0.045	-0.14	-0.19

*opbolling in het midden is dusdanig groot (>1,5 m), het scenario kan daarom uitgesloten worden

Effect bij veel bomen in stad

De effecten bij veel bomen in de stad zijn met name dalend (18 modelstudies samengevat in tabellen 9 en 10). De GLG zakt tot 0,3 m in het midden van de drainagemiddelen, conclusie → in dit geval gaten 0,3 m extra dieper aanleggen (beneden GLG ter voorkoming van oxidatie geohydrologische maatregelen).

De GHG stijgt tot 0,03 m (en zakt waarschijnlijk) in het midden van de drainagemiddelen (afhankelijk van de kD-waarde en afstand tussen drainagemiddelen) conclusie → rekening houden dat de GHG 0,05 m kan stijgen.

Tabel 9

Stijging ghg [m]	L=100	L=250	L=500
kD 5 m²/dag	0.03	0.005	-0.15*
kD 10 m²/dag	0.02	0.03	-0.05
kD 20 m²/dag	0.015	0.036	0.01

*opbolling in het midden is dusdanig groot (>1,5 m), het scenario kan daarom uitgesloten worden

Tabel 10

Stijging glg[m]	L=100	L=250	L=500
kD 5 m²/dag	-0.07	-0.125	-0.28*
kD 10 m²/dag	-0.045	-0.1	-0.17
kD 20 m²/dag	-0.027	-0.085	-0.12

*opbolling in het midden is dusdanig groot (>1,5 m), het scenario kan daarom uitgesloten worden

Effect bij weinig bomen in stad

De effecten bij weinig bomen in de stad zijn relatief gering (18 modelstudies samengevat in tabellen 11 en 12). De GLG verandert maximaal 0,05 m (modelnauwkeurigheid) in het midden van de drainagemiddelen, conclusie → in dit geval gaten 0,05 m extra dieper aanleggen (beneden GLG ter voorkoming van oxidatie geohydrologische maatregelen).

De GHG stijgt 0,01 tot 0,14 m in het midden van de drainagemiddelen (afhankelijk van de kD-waarde en afstand tussen drainagemiddelen) conclusie → rekening houden dat de GHG 0,15 m kan stijgen.

Tabel 11

Stijging ghg [m]	L=100	L=250	L=500
kD 5 m²/dag	0.035	0.065	0.14*
kD 10 m²/dag	0.025	0.045	0.09*
kD 20 m²/dag	0.012	0.04	0.04

*opbolling in het midden is dusdanig groot (>1,5 m), het scenario kan daarom uitgesloten worden

Tabel 12

Stijging glg [m]	L=100	L=250	L=500
kD 5 m²/dag	-0.035	-0.02	0.06*
kD 10 m²/dag	-0.017	-0.046	0.01*
kD 20 m²/dag	-0.013	-0.038	-0.04

*opbolling in het midden is dusdanig groot (>1,5 m), het scenario kan daarom uitgesloten worden

SAMENVATTING

De modelstudie geeft als resultaat dat de grondwaterstanden bij klimaatscenario beperkt wijzigen. Uit de berekeningen volgen grotere afwijkingen pas op bij grote opbolling (ten opzichte van polderpeil), uit peilbuizen in de stad blijkt dat dergelijke opbolling niet optreedt (doordat er naast grachten in de stad ook niet zichtbaar drainerende elementen aanwezig zijn in de bodem).

De wijziging van grondwaterstand in tabel 13 wordt meegenomen in het ontwerp, dit door de maatgevende meetreeksen (peilbuizen historisch) te corrigeren (ghg verhogen en glg verlagen) voor het Wh2050 scenario.

Tabel 13

inrichting	GHG	GLG	Aanvullende maatregel Wh 2050 bij oplossing 2 en 3
Park	≤+0,12 ¹ m	≥-0,25 m	gaten/bypass 0,25 m dieper
Stad met veel bomen	≤+0,12 ¹ m	≥-0,25 m	gaten/bypass 0,25 m dieper
Stad met weinig bomen	≤+0,12 ¹ m	≥-0,05 m	gaten/bypass 0,05m dieper

¹ Bovengrens stijging volgens grondwatermodel Amsterdam aangehouden, deze ligt hoger dan benadering Loots, door rekening te houden met deze hogere waarden is het ontwerp conservatief

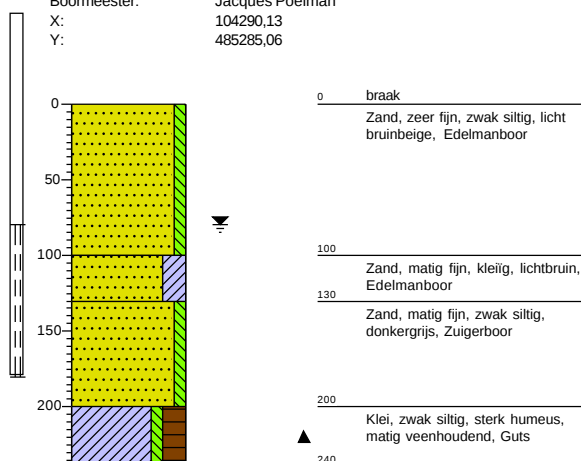
Bijlage 2 – Tekeningen



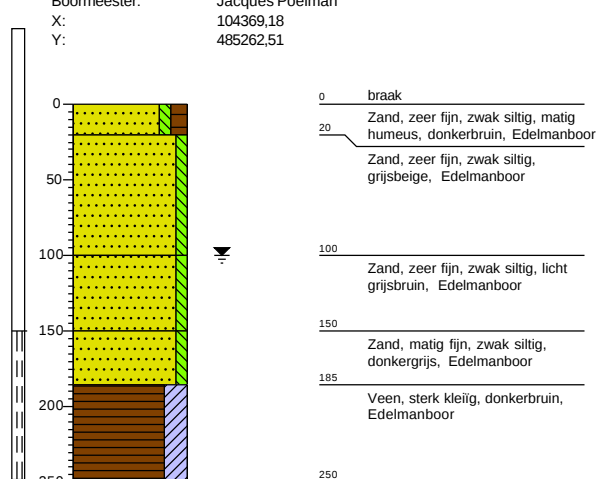
Bijlage 3 – Grondonderzoeken

Boring:

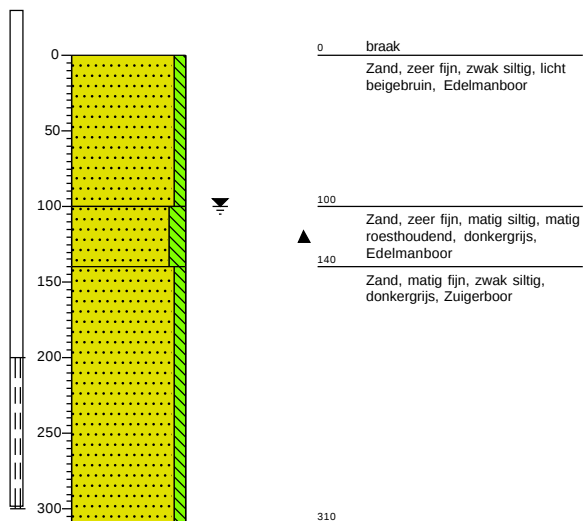
Datum: 6-7-2021
Boormeester: Jacques Poelman
X: 104290,13
Y: 485285,06

01**Boring:**

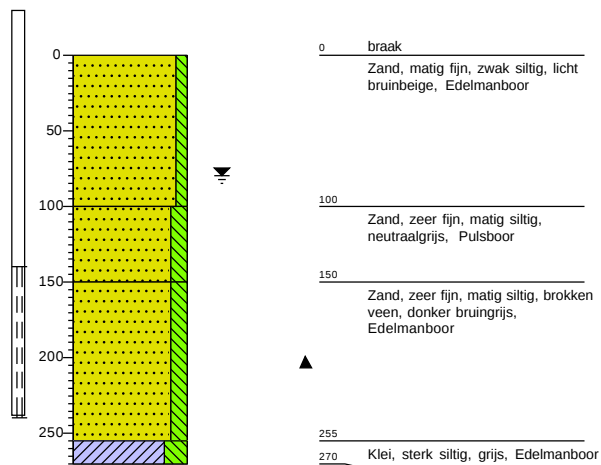
Datum: 6-7-2021
Boormeester: Jacques Poelman
X: 104369,18
Y: 485262,51

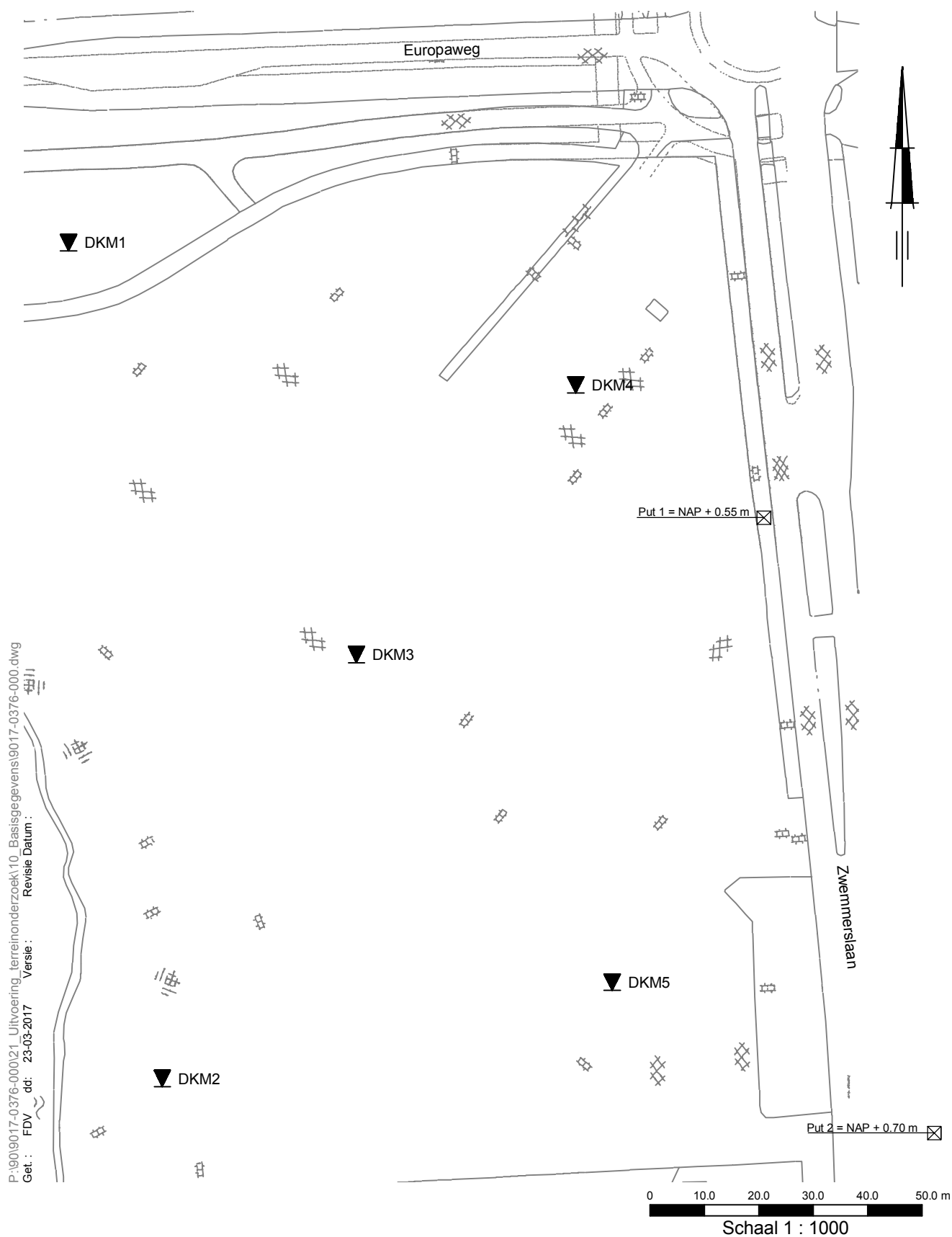
02**Boring:**

Datum: 6-7-2021
Boormeester: Jacques Poelman
X: 104292,76
Y: 485437,04

03**Boring:**

Datum: 6-7-2021
Boormeester: Jacques Poelman
X: 104389,01
Y: 485458,42

04



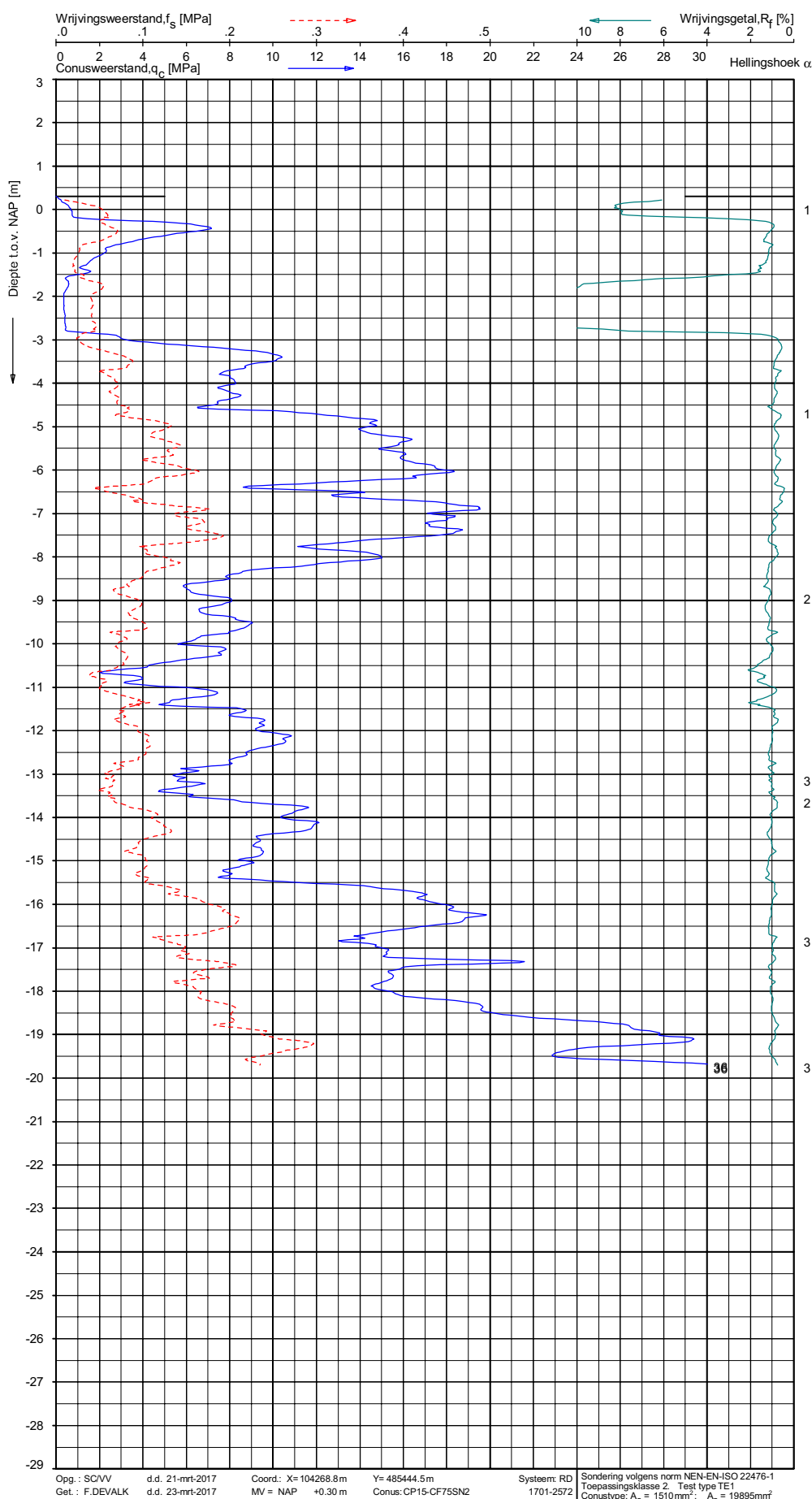
P:\90\9017-0376-000\21 Uitvoering_terrainonderzoek\10 Basisgegevens\9017-0376-000.dwg
 Get.: FDV dd: 23-03-2017 Versie: Revisie Datum:

SITUATIE

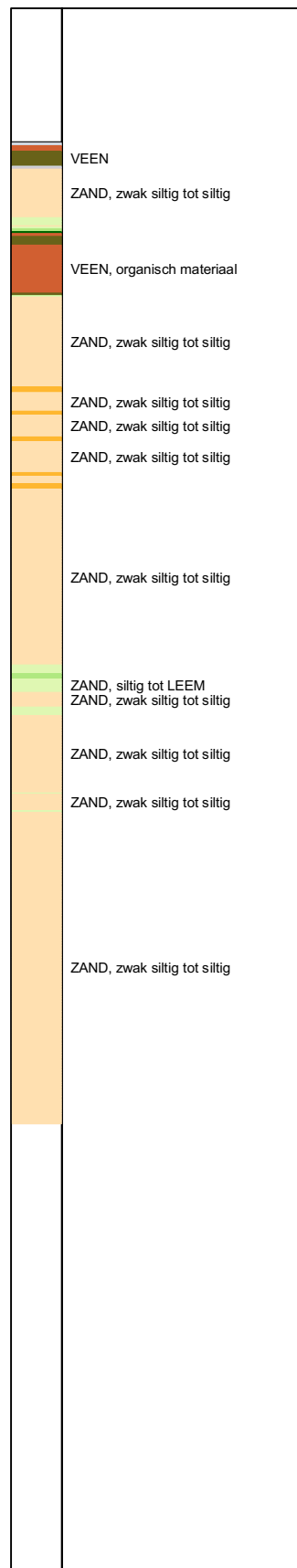
LOCATIE ZWEMMERSLAAN TE HAARLEM

Opdr.: 9017-0376-000

Bijl.: 1



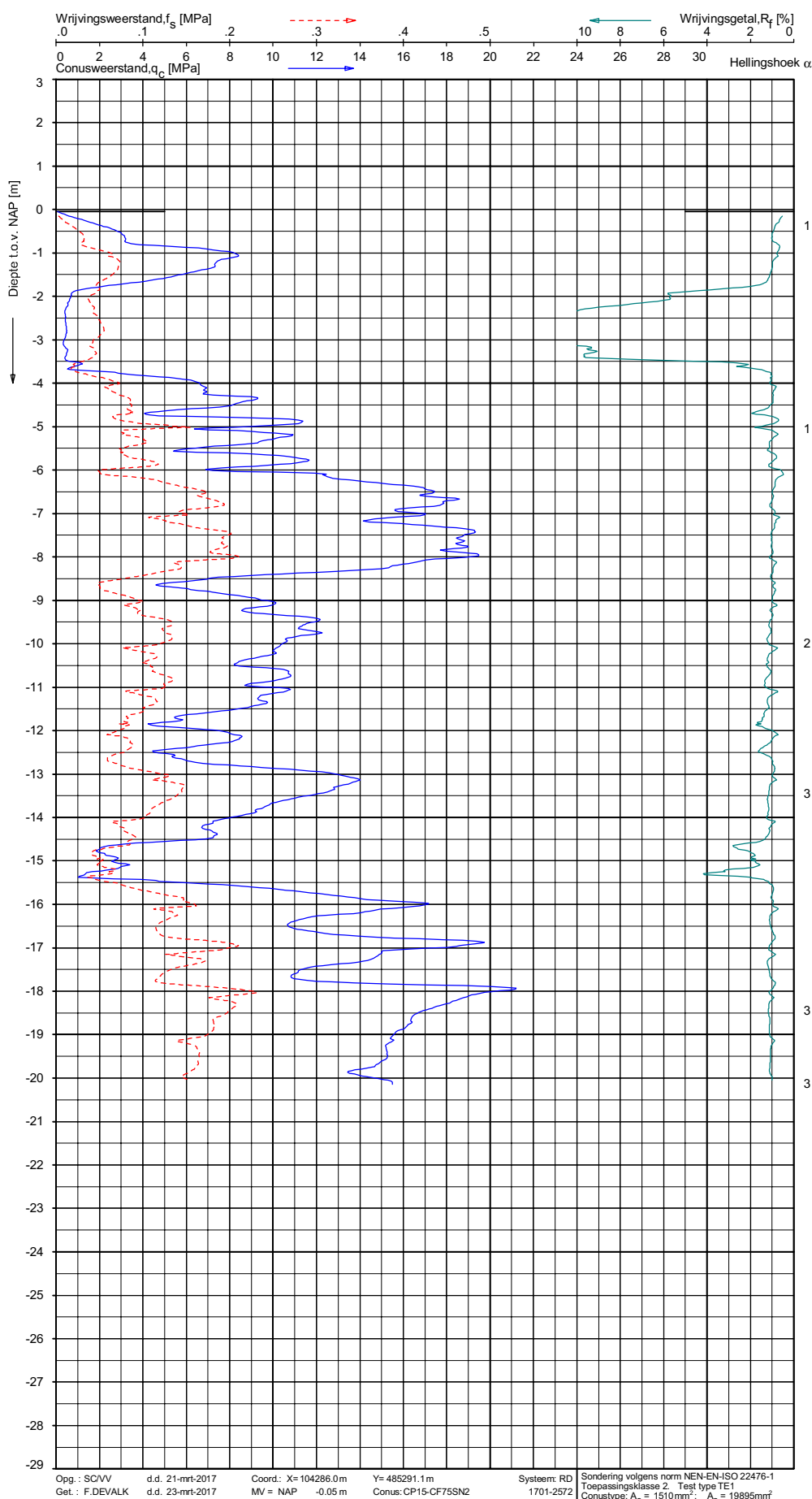
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data
 van de sondering, geldig onder
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



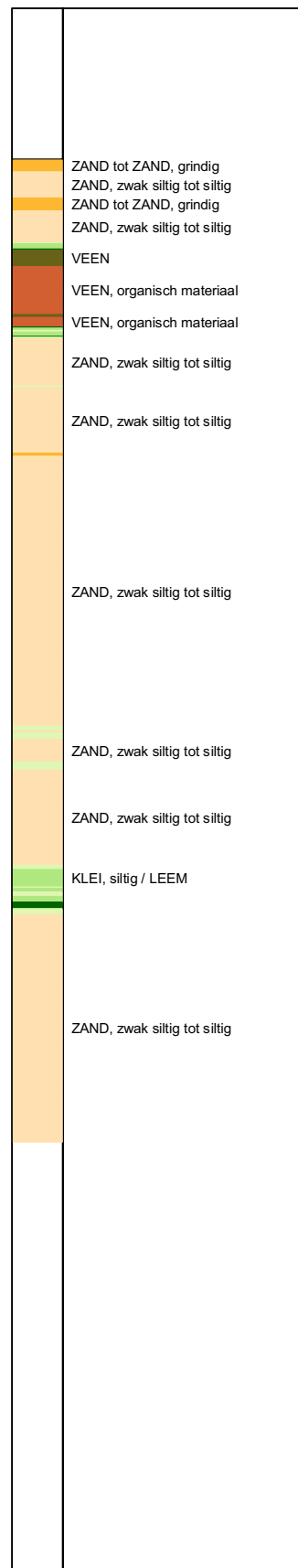
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

LOCATIE ZWEMMERSLAAN TE HAARLEM

Opdr. 9017-0376-000
 Sond. DKM1



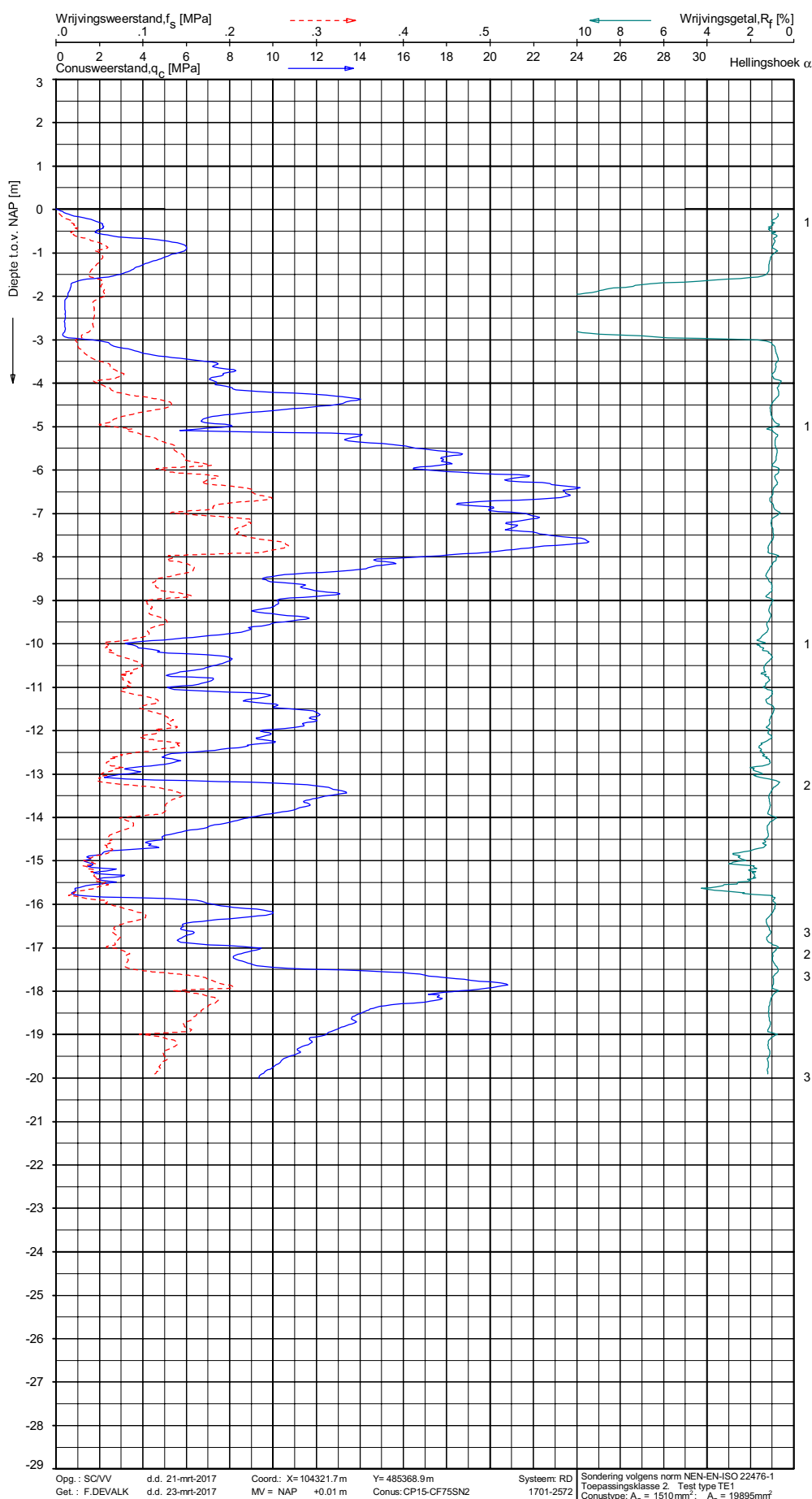
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



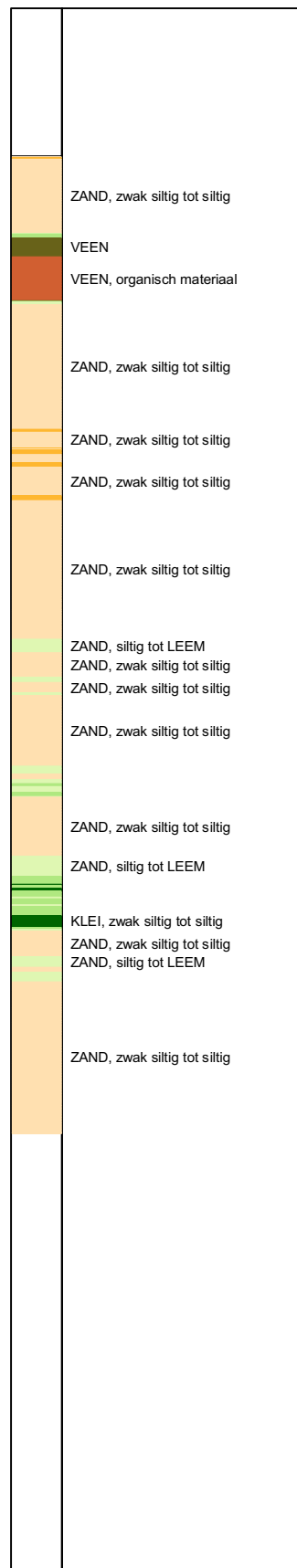
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

LOCATIE ZWEMMERSLAAN TE HAARLEM

Opdr. 9017-0376-000
 Sond. DKM2



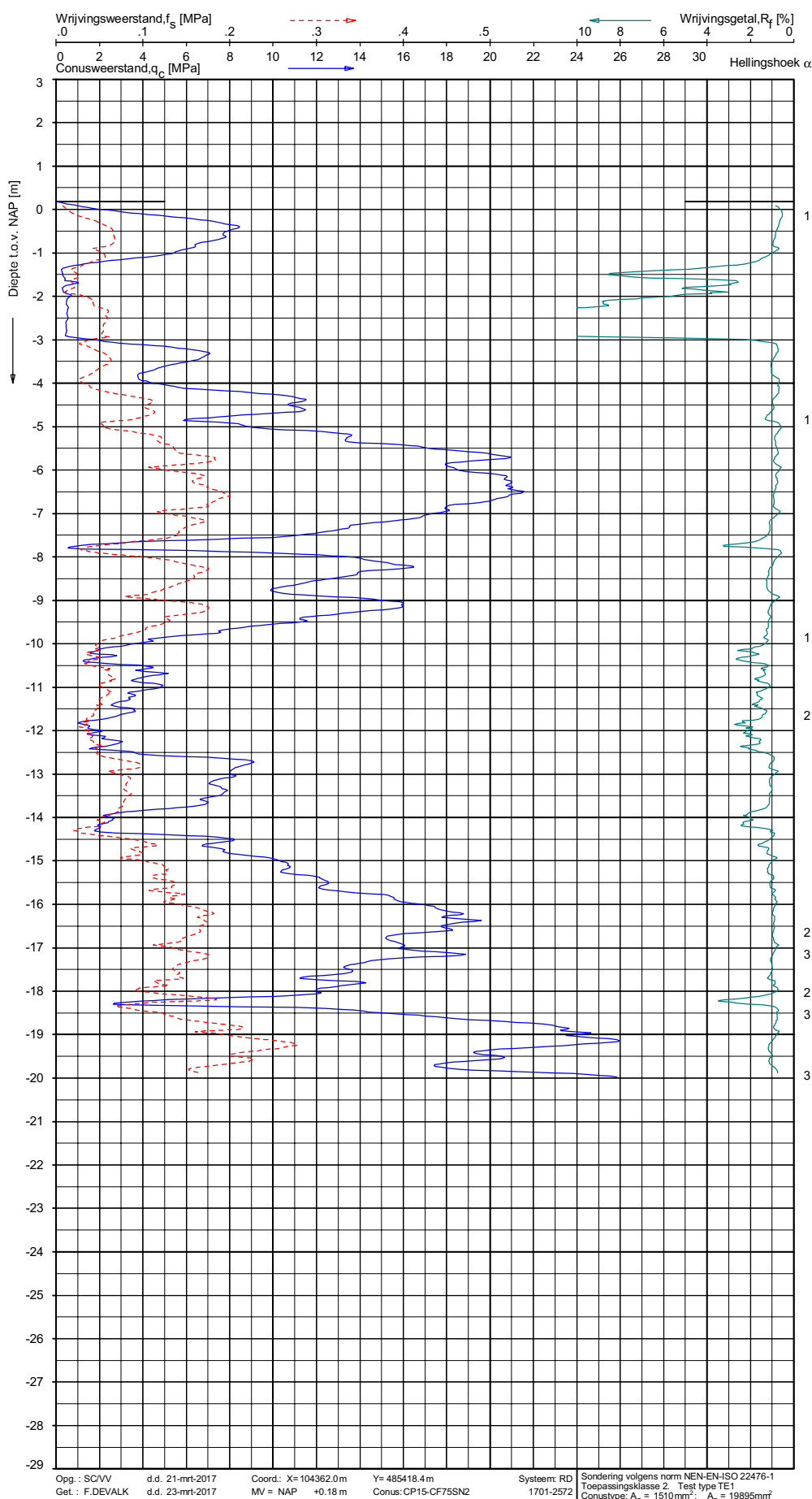
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



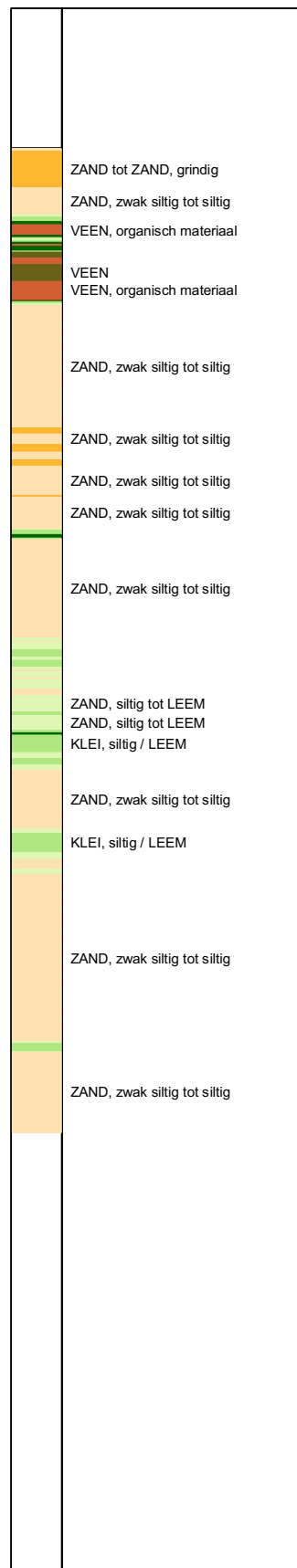
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

LOCATIE ZWEMMERSLAAN TE HAARLEM

Opdr. 9017-0376-000
 Sond. DKM3



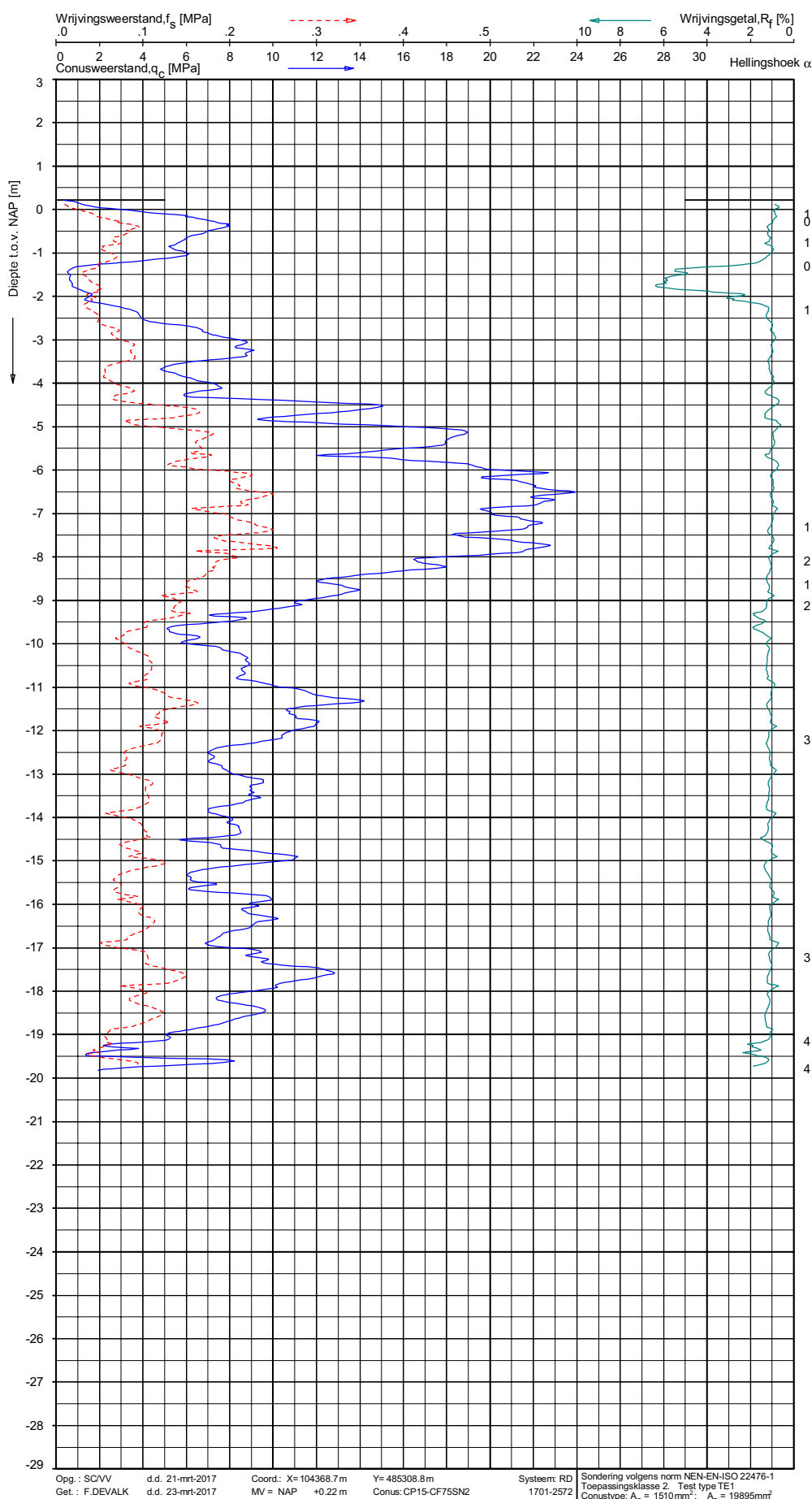
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



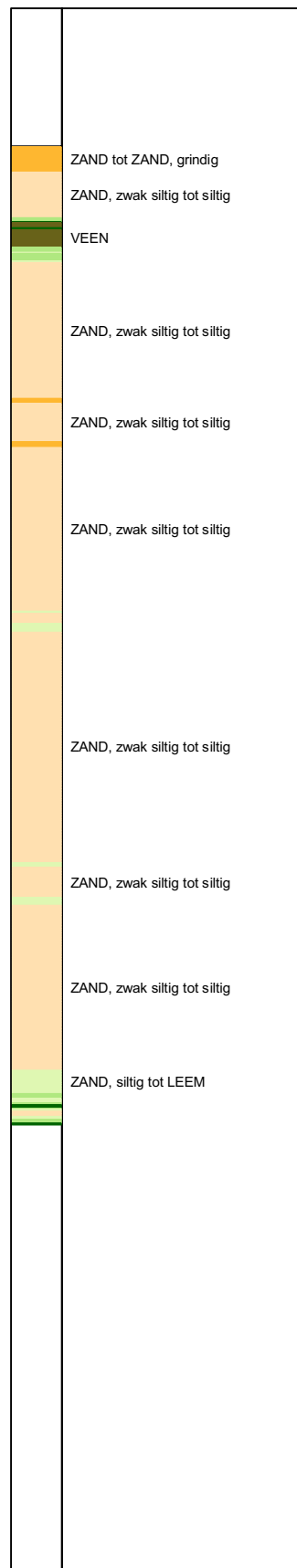
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

LOCATIE ZWEMMERSLAAN TE HAARLEM

Opdr. 9017-0376-000
 Sond. DKM4



Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data
 van de sondering, geldig onder
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

LOCATIE ZWEMMERSLAAN TE HAARLEM

Opdr. 9017-0376-000
 Sond. DKM5

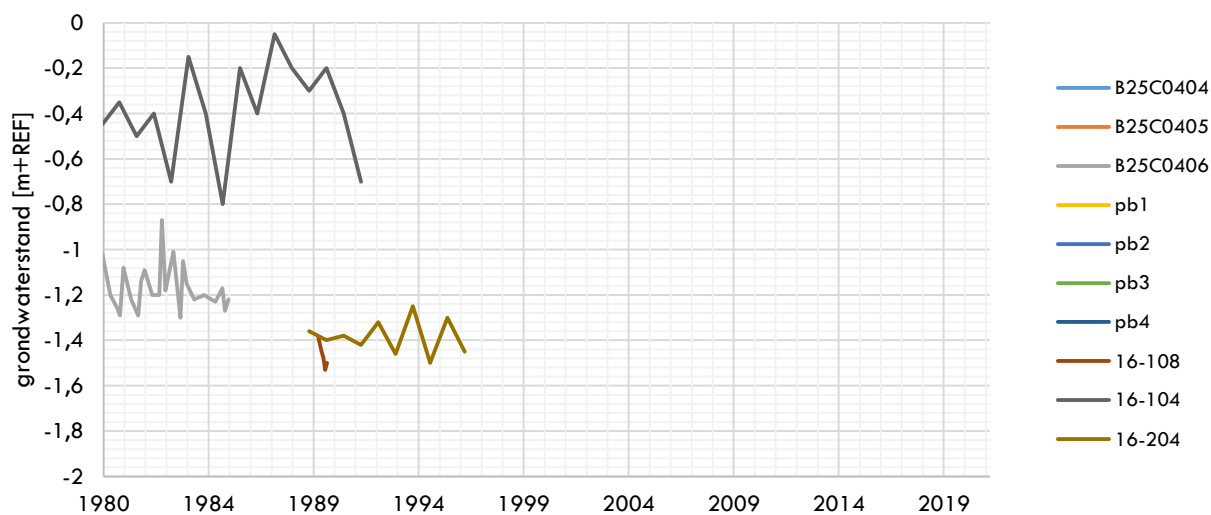
groene cirkel=hoge grondwaterstand, gele driekhoek=gemiddelde grondwaterstand en rode ruit=lage grondwaterstand

REF=NAP

naam	B25C0404	B25C0405	B25C0406	pb1	pb2	pb3	pb4	16-108	16-104	16-204
X-coördinaat	104120	104110	104080	104366	104288	104288	104372	104222	104533	104533
Y-coördinaat	485350	485350	485330	485288	485291	485413	485416	484875	485332	485332
maaiveld [m+REF]	-0,74	-0,51	-0,58	0,42	-0,02	0,27	0,21	-0,13	0	0
bovenkant filter [m+REF]	-0,77	-2,09	-2,12	-0,38	-1,52	-1,73	-1,19	0	-1	-30
onderkant filter [m+REF]	-0,03	-2,59	-2,62	-1,38	-2,52	-2,73	-2,19	0	-3	-35
laatste meetjaar	1955	1967	1985	2021	2021	2021	2021	1990	1992	1997
laatste meting	-1,14	-1,11	-1,22	-0,91	-1,67	-1,29	-0,76	-1,5	-0,7	-1,45
totale meetperiode	3	9	17	0	0	0	0	0	17	8
aantal metingen	12	38	69	1	1	1	1	6	22	10
hoogste [hele reeks]	-0,76	-0,98	-0,87	-0,91	-1,67	-1,29	-0,76	-1,39	-0,05	-1,25
ghg [laatste 8 jaren]	-0,89	-1,00	-0,97					-1,42	-0,15	-1,29
hoog σ [hele reeks]	-0,78	-0,76	-0,97					-1,41	-0,04	-1,19
gemiddelde [hele reeks]	-1,19	-1,17	-1,17	-0,91	-1,67	-1,29	-0,76	-1,46	-0,45	-1,38
gemiddelde [laatste 8 jaren]	-1,19	-1,14	-1,17	-0,91	-1,67	-1,29	-0,76	-1,46	-0,36	-1,39
laag σ [hele reeks]	-1,59	-1,58	-1,37					-1,51	-0,87	-1,57
glg [laatste 8 jaren]	-1,41	-1,69	-1,29					-1,50	-0,63	-1,47
laagste [hele reeks]	-1,43	-1,87	-1,33	-0,91	-1,67	-1,29	-0,76	-1,53	-0,85	-1,50
σ [hele reeks]	0,20	0,21	0,10					0,03	0,21	0,09
januari				0,00	0,00	0,00	0,00		-0,40	-1,32
februari									-0,23	
maart								-1,39	-0,70	-1,45
april	-1,35	-1,12	-1,18					-1,42	-0,53	-1,42
mei								-1,45	-0,40	-1,30
juni								-1,48	-0,55	-1,38
juli				-0,91	-1,67	-1,29	-0,76	-1,53	-0,35	-1,50
augustus	-1,20	-1,19	-1,21					-1,50	-0,53	-1,40
september									-0,80	-1,25
oktober	-1,17	-1,16	-1,17						-0,45	-1,36
november									-0,40	-1,46
december	-1,03	-1,20	-1,13						-0,33	

2013

2018



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

REF=NAP

naam	16-105	16-205	13-125
X-coördinaat	104741	104741	104455
Y-coördinaat	484945	484945	485705
maaiveld [m+REF]	0	0	0
bovenkant filter [m+REF]	-1	-30	-1
onderkant filter [m+REF]	-3	-35	-3
laatste meetjaar	2020	1996	1986
laatste meting	-1,4	-1,7	0
totale meetperiode	31	7	11
aantal metingen	21	9	15
hoogste [hele reeks]	-0,45	-1,50	0,00
ghg [laatste 8 jaren]	-1,08	-1,50	-0,10
hoog σ [hele reeks]	-0,18	-1,35	0,02
gemiddelde [hele reeks]	-0,98	-1,60	-0,44
gemiddelde [laatste 8 jaren]	-1,27	-1,60	-0,41
laag σ [hele reeks]	-1,78	-1,85	-0,90
glg [laatste 8 jaren]	-1,43	-1,73	-0,68
laagste [hele reeks]	-1,80	-1,80	-0,80
σ [hele reeks]	0,40	0,13	0,23
januari	▲ -1,10	◆ -1,80	◆ -0,60
februari	▲ -1,00		◆ -0,50
maart	◆ -1,40		▲ -0,40
april	▲ -0,95	● -1,50	◆ -0,50
mei	▲ -1,00	▲ -1,70	◆ -0,65
juni	● -0,75	▲ -1,70	◆ -0,50
juli	▲ -0,85	▲ -1,60	● -0,25
augustus	▲ -1,08	● -1,50	◆ -0,60
september	● -0,50	● -1,50	● -0,10
oktober	▲ -1,00	▲ -1,60	▲ -0,43
november	● -0,60	● -1,50	● -0,20
december	◆ -1,50		◆ -0,60
2013	-1,40		
2018	-1,25		

