

datum

5 december

2024

geohydrologisch onderzoek

Eerste Helmersstraat 113 te Amsterdam

status : definitief

versie : 2

opdrachtgever

JPS.Architecten

T.a.v. 5.1, 2, e

5.1, 2, e

Prinseneiland 99h

1013LN Amsterdam

Adviseur

Loots Grondwatertechniek

ing. 5.1, 2, e

5.1, 2, e @lootsgwt.com

+31 (0) 6 5.1, 2, e

kenmerk

10540524B.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
3.4	Opbarstberekening bouwfase.....	9
4	Berekeningsresultaten en oplossingsrichtingen	10
4.1	[Oplossing 1] Grondverbetering traditioneel.....	10
4.2	[Oplossing 2] Grondverbetering met gaten.....	11
4.3	[Oplossing 3] Bypass.....	12
4.4	[Oplossing 4] Grondverbetering naast de barrière.....	13
4.5	Locatie maatregelen (bovenaanzicht) en aantal gaten door damwand.....	14
4.6	Principe verticale gaten.....	14
5	Conclusie en aanbevelingen	16
5.1	Grondwaterneutrale bouw	16
5.2	Detailtekeningen met maatregelen.....	16
5.3	Afwatering perceel	17
5.4	Risico's.....	19
5.5	Monitoring.....	19
5.6	Vervolgstappen.....	20
	Bijlage 1 – Gegevens voor specialisten.....	22
	Bijlage 1.1 – Bodemeigenschappen en berekening kD-waarde.....	23
	Bijlage 1.2 – Grondwateraanvulling op perceel	24
	Bijlage 1.3 – Details berekening grondverbetering met gaten	25
	Bijlage 1.4 – Details berekening Bypass.....	29
	Bijlage 1.5 – Wh 2050 berekening	30
	Bijlage 2 – Tekeningen	38
	Bijlage 3 – Grondonderzoeken	39
	Bijlage 4 – Opbarstberekening.....	40

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 1

definitief 2 Gat erbij (eis omgevingsdienst)

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 grondwaterstandsval 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. **Amsterdam, Wildverband + JPS.** 0242 DO *tekening*. 30-7-2024.
8. **Milieu, Back.** *BM5962 boorstaten*. 7-8-2024.

! 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 langsdoorsnedes 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.



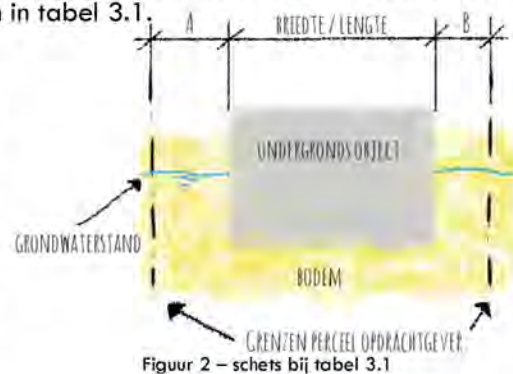
Figuur 1 – situatie project (links bestaand, rechts nieuw, damwanden = rood)

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	kelder	kelder
lengte barrière [m]	6	15,8
ruimte lengte (A+B) [m]	19,7	9,9
breedte barrière [m]	2,4	6,65
ruimte breedte (A+B) [m]	4,35	0,1
onderkant barrière [m+NAP]	-1,7	-3,2 (-4,2*)
onderkant damwanden ¹ [m+NAP]	geen	-3,6
belemmering ^{II} [%]	35%~16%	100%
kD-waarde ^{III} [m ² /dag]	2,22	0
Bouwoppervlakte [m ²]	100	110
Tuinoppervlakte m ²	71	61

*bij pompput lokaal



Figuur 2 – schets bij tabel 3.1

Het project valt in een "Standstill kD"-gebied, dat betekent dat de (bovengrens van de) bestaande kD-waarde in tabel 3.1 met maatregelen geëvenaard moet worden in de nieuwe situatie. In dit geval bij geen achterblijvende damwanden is er een kD-waarde verlies van 2,22 m²/dag.

¹ 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.

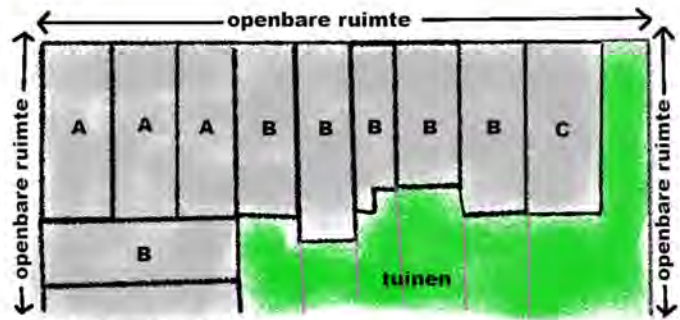
^{II} Percentage van het watervoerend pakket welke geblokkeerd wordt door de constructie in de stromingsrichting.

^{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

3.2 Klimaat, regen en verdamping

De projectlocatie heeft een tuin die niet grenst aan openbare ruimte (situatie B in figuur 3). Achtergrondstroming, regenwater in de tuin en verdamping in de tuin (van buiten het perceel) hebben invloed op de projectlocatie. Door de oppervlakte van de tuin 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.



Figuur 3 – situatie project

Tabel 3.2

maand	debiet lokaal bestaand [m ³ /dag]	debiet lokaal nieuw [m ³ /dag]
januari	0,081	0,082
februari	0,065	0,067
maart	0,066	0,063
april	0,019	0,018
mei	0,026	0,026
juni	0,027	0,009
juli	0,042	0,02
augustus	0,042	0,022
september	0,067	0,062
oktober	0,086	0,08
november	0,095	0,088
december	0,093	0,094
maximum	0,095	0,094

Uit tabel 3.2 wordt afgeleid dat het maximale debiet grondwateraanvulling gelijk is aan maximaal 0,095 m³/dag op de projectlocatie. In de toekomst is er in de nieuwe situatie 1% minder debiet.

In bijlage 1.2 staan berekeningsdetails voor specialisten.

Klimaatsscenario Wh 2050

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

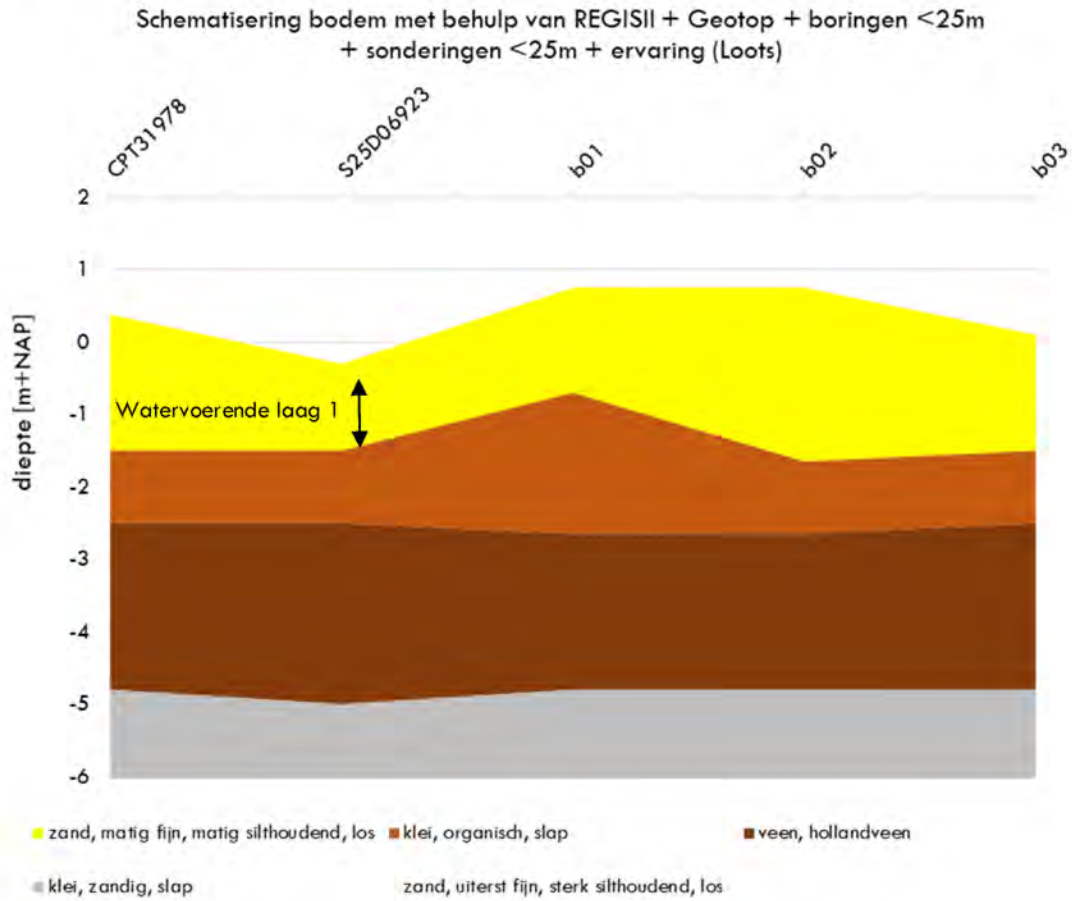
- een stijging van de gemiddeld hoge grondwaterstand tussen 0,05 en 0,12 m (afhankelijk van inrichting projectlocatie, bovengrens wordt veiligheidshalve aangehouden); EN
- een daling van de gemiddeld lage grondwaterstand tussen 0,05 en 0,25 m (afhankelijk van inrichting projectlocatie).

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

Tabel 3.3-A

Rekenwaarde project	stroming van E05327 Freatisch	stroming naar E05943 Freatisch	midden projectlocatie
inrichting (effect Wh 2050)	stad veel bomen	stad veel bomen	
maatgevend hoge grondwaterstand [m+NAP]	-0,12 (0*)	-0,68 (-0,56*)	-0,29 (-0,17*)
gemiddelde grondwaterstand [m+NAP]	-0,58 (-0,65*)	-0,91 (-0,98*)	-0,68 (-0,75*)
maatgevend lage grondwaterstand [m+NAP]	-1,04 (-1,29*)	-1,14 (-1,39*)	-1,07 (-1,32*)

*de grondwaterstand bij klimaatscenario Wh 2050

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

Tabel 3.3-B

maand	stroming van E05327 Freatisch	stroming naar E05943 Freatisch	verhang	debiet regionaal bij kD 2,22m ² /dag
januari	-0,51	-0,85	0,007	0,104
februari	-0,43	-0,84	0,008	0,125
maart	-0,65	-0,76	0,002	0,034
april	-0,58	-0,78	0,004	0,061
mei	-0,58	-0,65	0,001	0,021
juni	-0,63	-0,63	0,000	0,000
juli	-0,65	-0,93	0,006	0,086
augustus	-0,74	-1,12	0,008	0,116

maand	stroming van E05327 Freatisch	stroming naar E05943 Freatisch	verhang	debiet regionaal bij kD 2,22m ² /dag
september	-0,7	-0,97	0,006	0,083
oktober	-0,71	-0,95	0,005	0,073
november	-0,67	-0,79	0,002	0,037
december	-0,48	-0,87	0,008	0,119
maximum			0,008	0,125

- ! 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.

3.4 Opbarstberekening bouwphase

Bij een (grotere) barrière is het verplicht het opbarst risico te beschouwen. De diepste fase (aanbrengen grondverbetering) is beschouwd (rekenblad in bijlage 4). Bij een maatgevend hoge stijghoogte van NAP -2,02m (peilbuis E05764 II) is de veiligheidsfactor (exclusief partiële materiaalfactor) gelijk aan 1,68 voor het watervoerend pakket. Daarnaast is een tussenzandlaag aanwezig, hier is de veiligheidsfactor (exclusief partiële materiaalfactor) gelijk aan 1,13. De bruto veiligheidsfactor is groter dan 1,1, dat betekent dat er verder geen maatregelen ten aanzien van opbarsten noodzakelijk zijn. In bijlage 4 zijn de details van de opbarstberekening bijgevoegd.

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 maatregelen¹ 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.

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 buren (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 naast barrière start vanaf de gemiddelde grondwaterstand NAP -0,68 m en loopt (zonder onderbreking) door onder de barrière over de gehele breedte. 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 berekenen^{II}. Het grondverbetering materiaal is afhankelijk van de dikte van de grondverbetering.

Tabel 4.1

Dikte grondverbetering onder en naast ^{III} barrière [m]	Benodigde aanvullende doorlatendheid bij kD-verlies 2,22 m ² /dag	Materiaalspecificatie grondverbetering (gemiddelde korreldiameter en Nederlandse omschrijving) bij kD-verlies 2,22 m ² /dag
0,2	11	schoon matig grof zand (220µm)
0,3	7	schoon zeer fijn zand (150µm)
0,5	4	schoon uiterst fijn zand (100µm)

^I Voor grondverbetering materiaal bij alle oplossingen (schoon product) is rekening gehouden met reductie doorlatendheid door vervuiling (siltdeelen) welke in de gebruiksfase instromen.

^{II} de formule $kD = k$ (doorlatendheid) \times D (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 $5 \text{ m}^2/\text{dag} + 0,5 \text{ m}^2/\text{dag}/0,25 = 7 \text{ m}^2/\text{dag}$

^{III} alleen noodzakelijk naast barrière bij gele lijnen H4.5

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).

Toepassing in de praktijk: Altijd toepasbaar.

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

Specificaties:

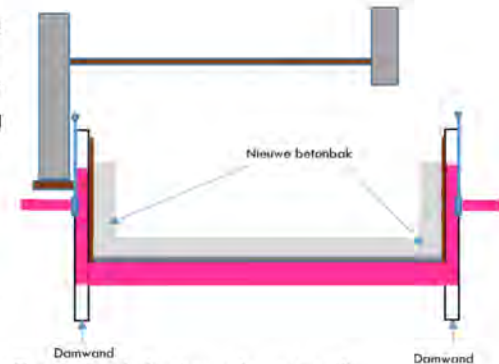
De onderkant van de grondverbetering moet aangelegd worden op een grondscheidend doek. Tussen het betonwerk en de bovenkant van de grondverbetering moet er ook een scheidend doek aangebracht worden. Verder moet de grondverbetering van voor naar achter ononderbroken doorlopen. Dat betekent onder andere 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 55 m/dag; dit is bijvoorbeeld schoon uiterst grof zand (750µm).

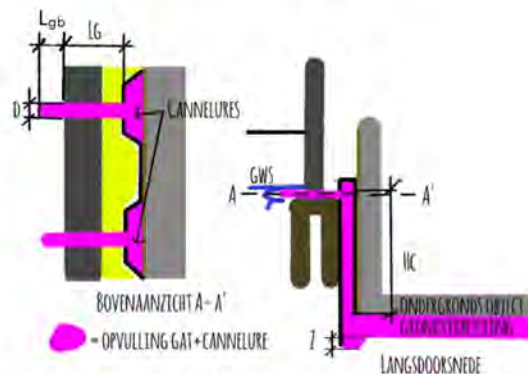
In tabel 4.2 staan de details voor een grondwaterneutraal ontwerp. Afwijken van de parameters (doorlatendheid of waarden in tabel 4.2) heeft gevolgen. Sommige afwijkingen (meer gaten, grotere diameter bijvoorbeeld) betekent dat grondwatermodellering opnieuw uitgevoerd moet worden.

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
doorstroombreedte cannelure (Hc)	[m]	1,66
damwandprofiel	[-]	PAL3030
oppervlakte cannelure	[m ²]	0,032307
aantal gaten openbare ruimte	[-]	5
aantal gaten bij achtergevel	[-]	5
dikte grondverbetering	[m]	0,2
dikte vuilopvang (Z)	[m]	0,1



Figuur 8 – principe (paars is maatregel)



Figuur 9 – details (paars is maatregel)

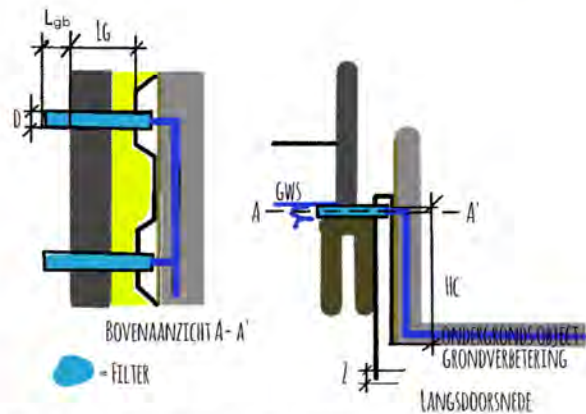
- ! Wanneer buiten de damwand ter plaatse van de gaten geen watervoerende zandlaag zit (geen toestroming grondwater): dan zal een additionele maatregel getroffen moeten worden om verbinding te maken met het freatisch pakket. Dit kan worden afgestemd met de geohydroloog. Gedacht moet worden aan bijvoorbeeld een verticaal gat (buiten damwand) boren en vullen met grind tot en met de grondwaterspiegel.
- ! Wanneer gaten geboord moeten worden terwijl daar een (kelder)muur van een buurman zit: in dit geval zal (op eigen perceel) direct achter de damwand een verticaal gaten geboord tot beneden de kessen (indien aanwezig). Gaten vullen met fijn grind. In de damwand een gat boren naar verticale grindkolom. Details (vulling cannelure, etc.) zijn verder gelijk.
- ! In bijlage 1.3 Staan de berekeningsresultaten en de details over de modellering voor specialisten.

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:

- Jaarlijks onderhoud: 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);
- Verstopping oplossen: 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;
- Verstopping oplossen: 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]	0,26
aanleghoogte filter (centrum)	[m+NAP]	-1,56
aantal filters openbare ruimte	[-]	2
aantal filters tuin (achter)	[-]	2
Minimale diameter leiding voor-achter	[mm]	60

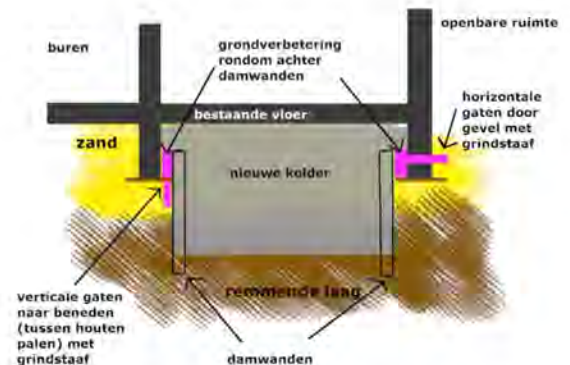
- ! Wanneer buiten de damwand ter plaatse van de gaten geen watervoerende zandlaag zit (geen toestroming grondwater): dan zal een additionele maatregel getroffen moeten worden om verbinding te maken met het freatisch pakket. Dit kan worden afgestemd met de geohydroloog. Gedacht moet worden aan bijvoorbeeld een verticaal gat (buiten damwand) boren en vullen met grind tot en met de grondwaterspiegel.
- ! Wanneer gaten geboord moeten worden terwijl daar een (kelder)muur van een buurman zit: in dit geval zal (op eigen perceel) direct achter de damwand een verticaal gaten geboord tot beneden de kespen (indien aanwezig). Gaten vullen met fijn grind. In de damwand een gat boren naar verticale grindkolom. Details (vulling camelure, etc.) zijn verder gelijk.
- ! In bijlage 1.4 staan de berekeningsresultaten van de bypass voor specialisten.

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.

Toepassing in de praktijk:

1. Vrijstaande gebouw; Hoekgebouw met onbebouwd deel ernaast, waarbij aan een enkele of dubbele zijde grondverbetering zit;
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.



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.

Belangrijk detail wanneer een damwand en/of bestaande muur buiten de nieuwbouw aanwezig blijft → in dit geval moeten er gaten geboord worden door deze constructie buiten de grondverbetering. De gaten (aantal, diameter, aanleghoogte) zijn verder vergelijkbaar met oplossing 2).

Tabel 4.4

rekenparameters grondverbetering ernaast	eenheid	specificatie
grondverbetering voor en achter	[-]	n.v.t.
grondverbetering links en rechts	[-]	geen ruimte
bovenkant grondverbetering	[m+NAP]	n.v.t.
onderkant grondverbetering	[m+NAP]	n.v.t.
totale breedte grondverbetering	[m]	n.v.t.
Factor R ¹ : reductie doorstroomoppervlakte oplossing 2 versus oplossing 4 naast/onder de bak	[-]	n.v.t.
Factor X ¹¹ : verhoging doorlatendheid grondverbetering door kleiner doorstroomoppervlakte langs barrière ten opzichte van oplossing 2	[-]	n.v.t.
benodigde aanvullende doorlatendheid bij kD-verlies	[m/dag]	n.v.t.
materiaal grondverbetering (inclusief effect drukverlies gaten)		n.v.t.
grondverbetering voor en achter	[-]	n.v.t.

¹waarde exclusief effect drukverlies in gaten

¹ Factor R = OM4/OM2. Oppervlakte dwarsdoorsnede oplossing 4 = OM4 = (bovenkant grondverbetering – onderkant grondverbetering) x totale breedte grondverbetering. Oppervlakte dwarsdoorsnede oplossing 2 = OM2 = dikte grondverbetering x breedte barrière.

¹¹ Door gaten ontstaat extra weerstand in het systeem (net als bij oplossing 2), de berekende doorlatendheid moet daarom verhoogd worden door te vermenigvuldigen met factor X (compensatie drukverlies gaten door algemene doorlatendheid te verhogen). Deze factor X is uit te rekenen door [drukverlies gat, percentage bijlage 1.3] + [drukverlies onder barrière, percentage bijlage 1.3] x (1/Factor R)

4.5 Locatie maatregelen (bovenaanzicht) en aantal gaten door damwand

Het aantal gaten mag nooit resulteren in een instabiele damwand (welke knikt doordat teveel staal is weggehaald). Bij eerdere projecten is de stabiliteit van de damwand integraal met het geohydrologisch ontwerp beschouwd, daarbij kwam naar voren dat er voldoende mogelijkheden zijn zolang maximaal 10% van de gevel met damwand een gat is. Bij dit project worden maximaal 9 cannelures verwacht, per cannelure mag maximaal 1 gat. Bij dit project is 10% van de gevel ($6,65\text{m} \times 10\% = 0,67\text{m}$). De gaten van oplossing 2 hebben een diameter van 0,14 m, dat betekent dat er maximaal 4 gaten mogelijk zijn (veiligheid damwand). De gaten van oplossing 3 hebben een diameter van 0,18 m, dat betekent dat er maximaal 3 gaten mogelijk zijn (veiligheid damwand).

Bij de gele lijnen in figuur 12 is het noodzakelijk langs de gevels de maatregelen te treffen bij alle oplosrichtingen (1 tot en met 3).



Figuur 12 – kelder is grondwaterneutraal bij toepassen maatregelen langs gevels welke geel zijn (voor alle oplosrichtingen).

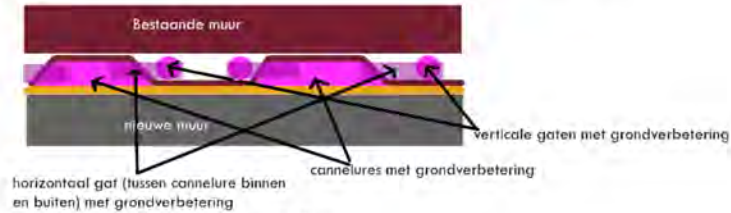
4.6 Principe verticale gaten

Wanneer horizontale gaten niet mogelijk zijn (uitvoeringstechnisch), dan zullen verticale gaten toegepast worden. Het principe is weergegeven in dit hoofdstuk, waarbij in uitvoering (diepte bestaande muren en fundering) bepalend is voor de uiteindelijke afmetingen van de maatregelen.

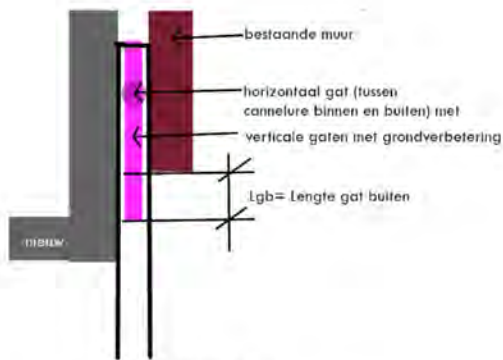
Doordat de cannelure ruim 80 mm diep is zal de diameter van het gat 50% kleiner zijn (70 mm in plaats van 140 mm). De omtrek halveert van het gat. Om te voorkomen dat te weinig doorlaatvermogen wordt aangebracht is het gewenst om per cannelure twee gaten (links en rechts) van de cannelure te boren in plaats van een enkel gat. Constructief heeft een gat in de nullijn (flank) van het damwandprofiel minder effect ten aanzien van stijfheid plank.

De lengte gat buiten (Lgb) is de afstand waar het gat (met grondverbetering) wordt doorgeboord onder de bestaande fundering. Dit gat wordt geboord (handboring langs de muur en naast de houten palen/kespen). Het grondwater in de bestaande situatie moet onder de

bestaande muur (en kessen) doorstromen. Door de gaten met grondverbetering hier te laten beginnen wordt de grondwaterstroming (zoals in de bestaande situatie) gelijkwaardig in de nieuwe situatie vanaf de grenzen van de nieuwbouw.



Bovenaanzicht



Doorsnede

Figuur 13 - schets met principe verticale gaten

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

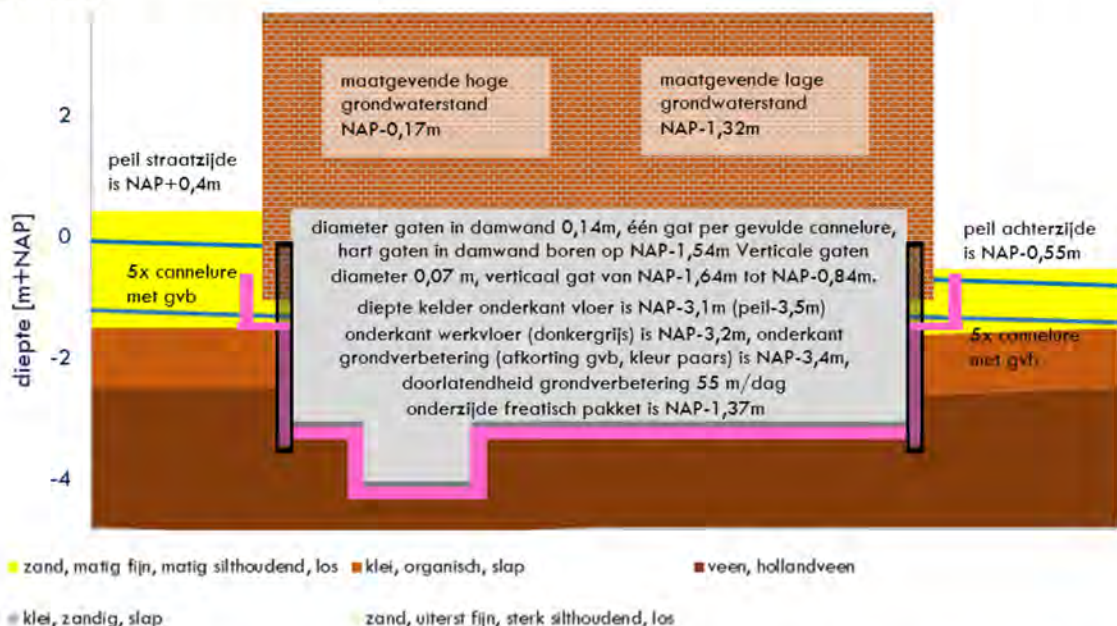
De conclusie is positief. Het project kan grondwaterneutraal worden uitgevoerd. Voor dit project is gekozen voor oplossing:

- Oplossing 2: Grondverbetering met gaten (conform specificatie H4.2);

De overige oplossingen voldoen ook aan grondwaterneutrale bouw; echter bepaalde details (wel of niet toepassen damwanden) zorgen ervoor dat het niet mogelijk is deze oplosrichting toe te passen.

5.2 Detailtekeningen met maatregelen

Langsdoorsnede (geprojecteerde grondwaterstanden zijn inclusief effect KNMI klimaatscenario Wh2050).



Daar waar het gat door de damwand in een veenlaag komt zal aan de buitenzijde aanvullend een verticaal gat geboord worden (gevuld met grondverbetering). Hierdoor kan grondwater in de zandlaag via het verticaal gat toestromen naar de grondverbetering.

Onderhoudsplan verticale gaten. De grondverbetering in verticale gaten is gevoelig voor oxidatie en verstopping op langere termijn. Deze gaten zijn het enige onderdeel welke onderhoud nodig kan hebben. Het onderhoud is eens per 20 jaar de gaten vrijgraven in de zomer, wanneer de verticale grondverbetering bruin is uitgeslagen (oxidatie ijzer), dan de verticale grondverbetering uitboren en vervangen voor een nieuwe grondverbetering.

Dwarsdoorsnede



5.3 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 direct in het riool van de gemeente stroomt. 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 riool

In dit geval vraagt de rekenregel om een oppervlakte van 98 m² te compenseren. Compenseren is verplicht bij nieuwbouw, uit artikel 3 (schuingedrukte tekst) van de hemelwaterverordening blijkt dat in alle andere gevallen compenseren niet verplicht is (tenzij het uitvoerbaar blijkt). De rekenregel resulteert in een waterberging van 5,9 m³.

In het tweede lid is geregeld dat de verplichting niet geldt voor bestaande gebouwen waar een bouwlaag aan wordt toegevoegd, maar waarvan uit berekeningen blijkt dat de constructie de extra belasting van een hemelwaterberging op het bestaande gebouw niet kan dragen. Daarnaast moeten er rond het gebouw evenmin mogelijkheden zijn om in een hemelwaterberging te voorzien. Dit laatste is vooral bedoeld voor die situatie waarin niet over een tuin of andere grond rond het gebouw wordt beschikt en dus alleen constructief in een waterberging kan worden voorzien. De verplichting uit het eerste lid brengt in die gevallen met zich mee dat het niet mogelijk is een extra bouwlaag toe te voegen en dat zou een ongewenst effect van de verordening zijn.

Verkenning mogelijkheden op het dak

De opdrachtgever beschikt over 16,8 m² plat dak. Bij 0,06 m waterberging (natuurdak of ruimte onder terras) resulteert dit in 1,01 m³ waterberging op het dak, deze waterberging op het dak loopt vertraagd leeg in 60 uur in het riool en heeft een overstort (in het riool).

Verkenning mogelijkheden in de bodem

De grondwaterstand in de buitenruimte loopt op tot en met vlak onder maaiveld, dit is te hoog voor een ondergrondse waterberging of infiltratie.

Verkenning mogelijkheden bovengronds buiten

Een bovengrondse waterberging is technisch mogelijk, bijvoorbeeld een regenton (inhoud 0,2 m³ à 0,8 m³ per stuk) of regenwaterschutting (0,4 à 0,8 m³ per m¹ schutting) kan worden toegepast. De regenton of regenwaterschutting moet vertraagd in 60 uur leeglopen in het riool. De totale omvang van de bovengrondse waterberging is afhankelijk van de omgeving, bij geen medewerking zal deze klein zijn (0,2 m³), wanneer iedereen medewerking verleent dan kan deze groot zijn (16,8 m³).

Conclusie

Uit het onderzoek blijkt dat als de omgeving niet meewerkt, de waterberging een maximaal volume van 1,21 m³ zal hebben. Als de omgeving volledig meewerkt, dan is het mogelijk om een waterberging van 5,9 m³ te realiseren. De waterberging dient vertraagd (in 60 uur) leeg te lopen in het riool; direct laten leeglopen in de tuin zou wateroverlast veroorzaken.

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 het onbebouwd deel 0,1 m (of meer) onder de drempelhoogte van het huis en zorg dat maximaal 50% van het onbebouwde deel is verhard. Bij een te hoog onbebouwd deel kan bij forse neerslag regenwater over de drempel het huis inlopen (met waterschade als gevolg).

5.4 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 5.4-A

omschrijving risico	risico	beheersmaatregel
buren ervaren wateroverlast bij hevige neerslag	matig	Regenwater dat op het dak valt van het bouwwerk niet in de tuin lozen. Bij tuin ophogen of extra verharden ook deze wijziging in overleg met geohydroloog met passende maatregelen uitvoeren.
bypass maatregel verstopt op termijn	matig	Verhogen tuin 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. Bij zowel filters voor- als achterzijde een aansluiting maken waar het vuil uit het systeem gezogen kan worden.
grondwaterneutrale maatregelen worden niet juist uitgevoerd (relatief nieuwe techniek, niet bekend bij alle aannemers)	matig	De hoeveelheid silt of andere fijne delen welke de bypass kunnen instromen beperken, dit door toepassen fijnmazig materiaal op grensvlak met bodem buiten.
fijne delen verstopt de grondverbetering	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. 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.
grondwater zakt in bouwfase waardoor houten palen burens droogvallen doordat er grondwater in de gaten stroomt (lekke bouwput)	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 burens), hierdoor kunnen gaten geen forse en langdurige grondwaterstandsverlaging veroorzaken.
geohydrologisch onderzoek en maatregelen blijken niet uitvoerbaar	laag	Bij twijfel altijd uitgaan van maatregelen die altijd toepasbaar zijn: de grondverbetering met gaten of de bypass
buren gaan grondwateroverlast ervaren in de nieuwe situatie	laag	Conclusie geohydrologisch onderzoek (dit rapport) overnemen in het ontwerp (tekeningen en contractstukken aannemer).

5.5 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 5.3). Bij het bereiken van de grenswaarden (signaal-/interventiewaarde) zijn actie(s) gewenst.

Tabel 5.5-A

monitoring project	waar	wanneer	H ^I	L ^{II}	eenheid	grenswaarde 1	actie 1	grenswaarde 2 [*]	actie 2
Peilbuis NAP -2,32 m	Voor projectlocatie(s)	1x/dag, starten 1 maand voor bouw	x		[m+NAP]	-0,34	1,2	-0,24	3,4
Peilbuis NAP -2,32 m	Achter projectlocatie(s)	1x/dag, starten 1 maand voor bouw	x		[m+NAP]	-0,34	1,2	-0,24	3,4
Vooropnamen interieur+ exterieur	Direct aangrenzende burens	Voor start bouw							

*dit is 0,05 m boven de natuurlijk hoge grondwaterstand (zie tabel 3.3-A), meting bedoeld om barrièrewerking tijdig te signaleren en waar nodig bij te sturen (maatregelen).

^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;

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.

5.6 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 tuin de randvoorwaarden (waterhuishoudkundig) vanuit geohydroloog opvragen ter voorkoming van onacceptabel risico op wateroverlast en/of -schade.

Neem contact op met 5.1, 2, e voor meer informatie.

Opgesteld door:

ing. 5.1, 2, e (065.1, 2, e)

Loots Grondwatertechniek

5 december 2024

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.

Onderzoekresultaten

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 Amsterdam	top gemiddeld (σ) [m+NAP]	kh (σ) [m/d]	kv (σ) [m/d]	P [-]
zand, matig fijn, matig silthoudend, los	0,34 (0,45)	5 (1)	3,125 (0,625)	0,3 (0,03)
klei, organisch, slap	-1,37 (0,38)	0,1 (0,02)	0,0167 (0,0033)	0,3 (0,03)
veen, hollandveen	-2,56 (0,08)	0,1 (0,02)	0,002 (0,0004)	0,6 (0,06)
klei, zandig, slap	-4,84 (0,09)	0,01 (0,002)	0,01 (0,002)	0,33 (0,03)
zand, uiterst fijn, sterk silthoudend, los	-7,92 (0,04)	0,5 (0,1)	0,125 (0,025)	0,12 (0,01)
klei, hydrobia	-10,18 (0,04)	0,005 (0,001)	0,001 (0,0002)	0,33 (0,03)
veen, basisveen	-12,16 (0,09)	0,0005 (0,0001)	0,0001 (0)	0,1 (0,01)
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	-12,48 (0,07)	1 (0,2)	0,2 (0,04)	0,12 (0,01)
zand, kleilig	-16,2 (0,67)	0,1 (0,02)	0,02 (0,004)	0,1 (0,01)
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	-18,22 (0,4)	20 (4)	7,5 (1,5)	0,3 (0,03)

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 gemiddelde grondwaterstand als maximale hoogte aangehouden.

tabel b1.1-B

bandbreedte bodemopbouw top [m+NAP]	bovengrens	gemiddelde	ondergrens
zand, matig fijn, matig silthoudend, los	-0,68	-0,68	-0,68
klei, organisch, slap	-2,13	-1,37	-0,68
veen, hollandveen	-2,72	-2,56	-2,4
klei, zandig, slap	-4,66	-4,84	-5,02
zand, uiterst fijn, sterk silthoudend, los	-7,83	-7,92	-8,01
klei, hydrobia	-10,27	-10,18	-10,09
veen, basisveen	-12,34	-12,16	-11,98
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	-12,35	-12,48	-12,61
zand, kleilig	-17,54	-16,2	-14,86
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	-17,54	-18,22	-19,02

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, matig silthoudend, los	7	5	3
klei, organisch, slap	0,14	0,1	0,06
veen, hollandveen	0,14	0,1	0,06
klei, zandig, slap	0,014	0,01	0,006
zand, uiterst fijn, sterk silthoudend, los	0,7	0,5	0,3
klei, hydrobia	0,007	0,005	0,003
veen, basisveen	0,0007	0,0005	0,0003
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	1,4	1	0,6
zand, kleilig	0,14	0,1	0,06
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	28	20	12

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-1,7 m. In de bestaande situatie is er 4,35 m zonder (ondergrondse) bebouwing naast het object. Er is ook rekening met een aanlegdiepte van NAP - 3,2 m in de nieuwe situatie. In de nieuwe situatie is er 0,1 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, matig silthoudend, los	7,611	2,223	0,000	0,000	0,000	0,000	-100%
klei, organisch, slap	0,083	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	#DEEL/0!
veen, hollandveen	0,272	0,228	0,157	0,000	0,000	0,000	-100%
klei, zandig, slap	0,044	0,031	0,018	0,044	0,031	0,018	0%
zand, uiterst fijn, sterk silthoudend, los	1,708	1,130	0,624	1,708	1,130	0,624	0%
klei, hydrobia	0,014	0,010	0,006	0,014	0,010	0,006	0%
veen, basisveen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0%
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	7,266	3,720	1,350	7,266	3,720	1,350	0%
zand, kleilig	0,000	0,202	0,250	0,000	0,202	0,250	0%
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	208,880	135,600	71,760	208,880	135,600	71,760	0%

De bestaande kD-waarde zit tussen 0 m²/dag en 7,61 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 zuiden verwaarloosbaar. De grondwaterstand ten noorden stijgt verwaarloosbaar.

Voor dit project wordt is het best passend uitgangspunt verplicht, dat is in dit geval een kD-waarde van 2,22 m²/dag. Dit wordt beschouwd als best passende kD-waarde voor de bestaande als de toekomstige situatie.

De openbare ruimte ligt op NAP+0,4m. Dat betekent dat er voldoende ontwateringsdiepte is. De achterzijde ligt op NAP-0,55m. 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.

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 71 m² groot. In de nieuwe situatie is dit 61 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. Neerslag wordt op het hele perceel buiten de bebouwing gerekend (uitgaande dat run-off in onverhard deel alsnog infiltreert).

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	0,081	0,082
Februari	0,065	0,067
Maart	0,066	0,063
April	0,019	0,018
Mei	0,026	0,026
Juni	0,027	0,009
Juli	0,042	0,02
Augustus	0,042	0,022
September	0,067	0,062
Oktober	0,086	0,08
November	0,095	0,088
December	0,093	0,094

Conclusie

Uit de bovenstaande tabel leiden we af dat het maximale debiet grondwateraanvulling (regen - verdamping) gelijk is aan maximaal 0,094 m³/dag op de projectlocatie. In de toekomst is er in de nieuwe situatie 1% minder debiet.

Bijlage 1.3 – Details berekening grondverbetering met gaten

Algemeen

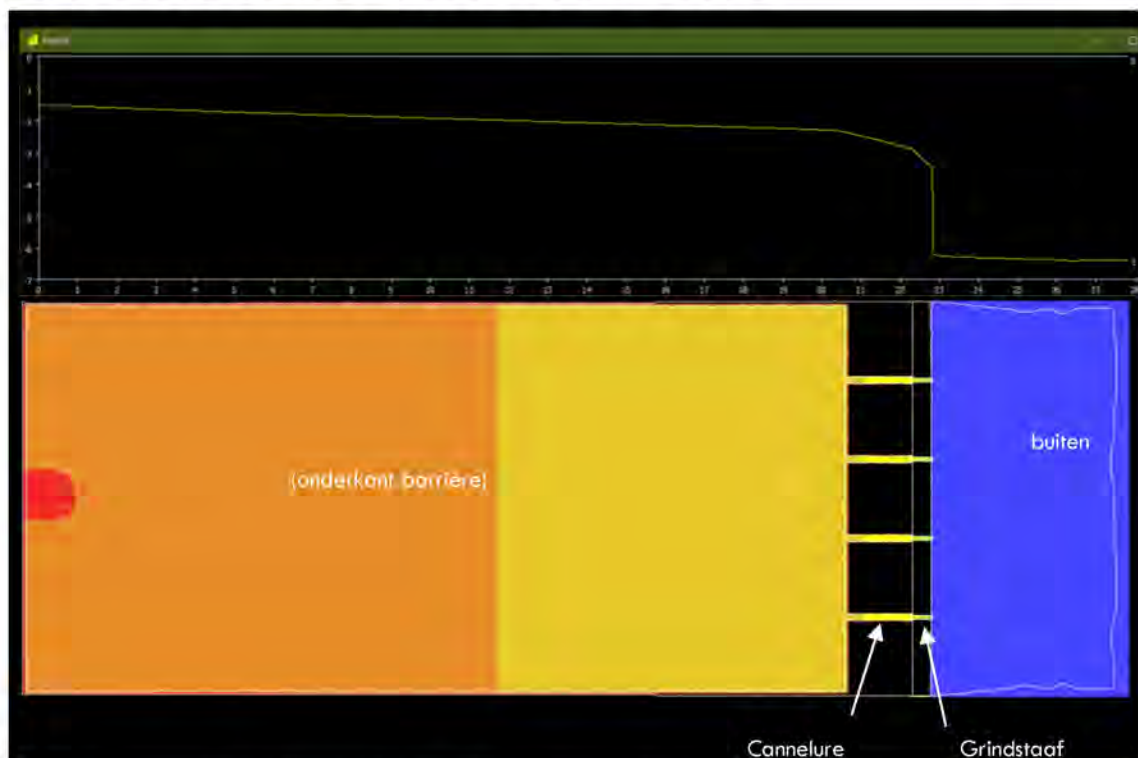
Met grondwatermodellering hebben we de parameters (diameter gaten, aantal gaten, doorlatendheid grondverbetering, etc.) bepaald.

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 14 - 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:

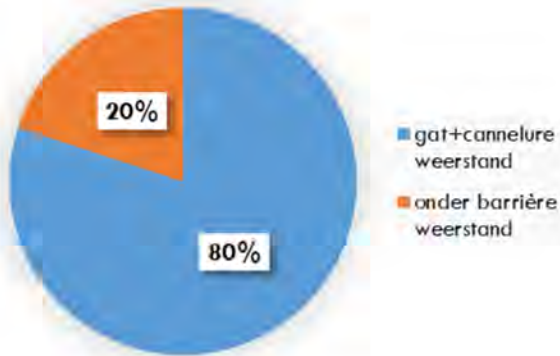
detailmodel	eenheid	input
lengte onderkant barrière	[m]	15,8
breedte onderkant barrière	[m]	6,65
dikte grondverbetering onder barrière	[m]	0,2
aantal gaten + cannelures	[-]	5
lengte cannelure	[m]	1,66
breedte cannelure (per stuk)	[m]	0,363
hoogte cannelures	[m]	0,089
lengte gaten opgesloten (geen uitstroom 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	[m]	0,5
breedte gaten (per stuk)	[m]	0,088
hoogte gaten	[m]	0,088
kD-waarde buiten	[m ² /dag]	2,22
debiet erin (links)	[m ³ /dag]	10
debiet eruit (rechts)	[m ³ /dag]	10
buitenzijde gat skinfactor ^{II} dikte laag	[m]	0,01
reductiefactor k-waarde wegens skinfactor	[-]	10
doorlatendheid grondverbetering ^{III}	[m/dag]	100

^I Voldoende hoog ingezet, zodat de modelnauwkeurigheid geen invloed heeft op resultaat.

^{II} Over de lengte gat buiten (Lgb) kan grondwater in- en uitstromen van/naar de bodem buiten. Het grondwater welke in of uit het gat moet stromen (van of naar bodem) moet door een remmende laag (skinfactor) heen. De skinfactor is een fenomeen welke altijd optreedt en welke afhankelijk is van het verschil tussen korrelgrootte en poriën tussen bodem buiten en de grondverbetering. De skinfactor in dit geval is bepaald door de laagste doorlatendheid (bodem buiten) te reduceren met een factor 1,5, vervolgens rondom het gat een laagje van 0,01 m met deze verlaagde doorlatendheid modelleren. Deze benadering van de skinfactor is aan de veilige kant, dit doordat in de praktijk de doorlatendheid buiten de gaten verwaarloosbaar zal reduceren doordat fijne delen (welke in bodem buiten door stroming getransporteerd kunnen worden) niet kunnen blijven hangen op het contactoppervlakte van de gaten wegens grotere afmeting poriën ten opzichte van oorspronkelijke bodem. Bij de gaten waar grondwater uitstroomt worden geen fijne delen verwacht doordat het uitgangspunt is de fijne delen onder de kelder op te slaan (fijne delen bezinken door de aanzienlijk lagere stroomsnelheid onder de kelder). Het aantal fijne delen welke gedurende de hele levensduur van de kelder toestromen is beperkt, dit doordat de stromingssnelheid in bodem buiten gaten snel afneemt naar extreem lage waarden (waarbij fijne delen niet meer bewegen), alleen de fijne delen welke in de bestaande bodem zitten binnen circa 0,1 à 0,5 m afstand van de gaten kan het systeem binnenstromen. De verwachting is dat de eerste weken en wellicht in de eerste extreem natte periode van het systeem 99% van de fijne delen gaan toestromen.

^{III} Dit is een dummie-waarde. Dit model is enkel ter bepaling in welke verhouding weerstand ontstaat in cannelure + gat versus onder de barrière.

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 4,01 (80% / 20%) meer weerstand. Daarnaast is de damwand 0,5 m. De lengte van barrière is 15,8 m. De transmissiviteit (kD-waarde) ter plaatse van de damwand moet een factor 127 ($4,01 \times 15,8/0,5$) 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 $10 \text{ m}^3/\text{dag}$ toe te voegen en rechts $10 \text{ m}^3/\text{dag}$ uit het model te halen.

In de bestaande situatie bij $kD \text{ } 2,22 \text{ m}^2/\text{dag}$ is er bij $10 \text{ m}^3/\text{dag}$ (hogere waarde voor modelnauwkeurigheid) een potentiaalverschil van 10,7 m tussen links en rechts in het model. In de nieuwe situatie wordt een gelijk potentiaalverschil berekend als de grondverbetering een doorlatendheid heeft van $55 \text{ m}^2/\text{dag}$. Bij deze doorlatendheid van grondverbetering wordt dus de gewenste kD-waarde in de nieuwe situatie gerealiseerd waardoor een grondwaterneutraal ontwerp van toepassing is.



Figuur 15 - 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 $0,125 \text{ m}^3/\text{dag}$ (uit hoofdstuk 3) wordt een leidingweerstand (inclusief bochten) berekend van $0,0001 \text{ mm}$. Dat is verwaarloosbaar vergeleken met de weerstand die bij oplossing 2 van toepassing is onder barrière en in cannellures en gaten. Ten opzichte van oplossing 2 (bijlage 1.3) valt ongeveer 96% van de weerstand (grondverbetering weerstand onder barrière, in cannellure en in gat) weg.

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

Bij de bypass fijn 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 134% 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.

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 (klimaatsverandering) → 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 ^{II} 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

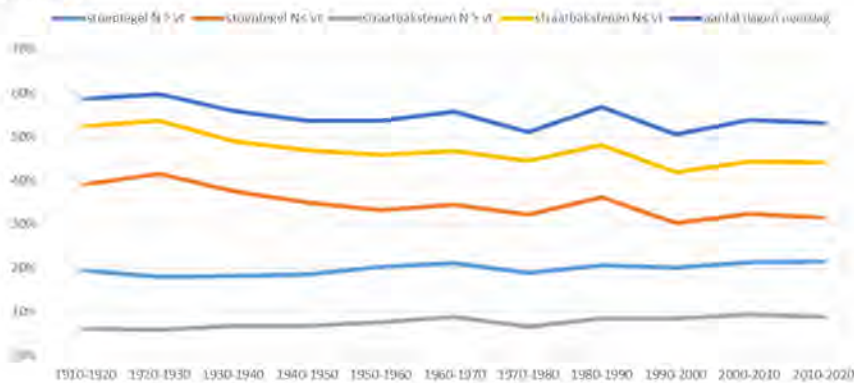
maximale infiltratie [mm]	stoeptegels 30 x 30		baksteen 20 x 5	
	zand voor zandbed	drainagezand	zand voor zandbed	drainagezand
tijd [uren]				
1	0,43	0,47	0,61	0,72
2	0,55	0,63	0,93	1,13
3	0,68	0,80	1,24	1,55
4	0,80	0,97	1,55	1,97
5	0,93	1,13	1,86	2,38
6	1,05	1,30	2,18	2,80
7	1,18	1,47	2,49	3,22
8	1,30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

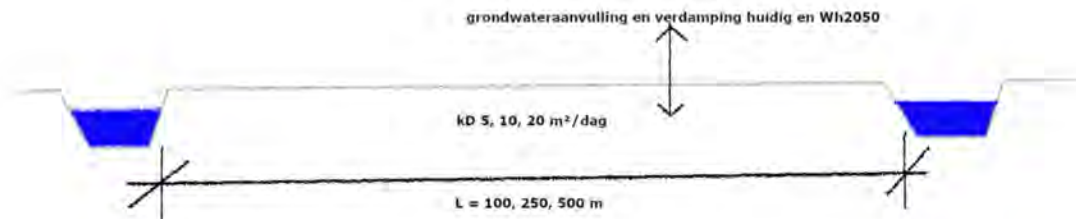


Uit de statistieken (meetreeks KNMI Amsterdam 2000-2014) blijkt dat maximaal 70% van neerslag kan infiltreren door elementenverharding, bij de rest sprake van run-off. Daarnaast is er ook verdamping bij elementenverharding al is deze vrij gering (30% van waarde in tabel 1). Een ander veelvoorkomende 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]	Elementenverharding	Elementenverharding Wh2050	Elementenverharding met bomen	Elementenverharding 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 m ² /dag	0.06	0.04	-0.1 *
kD 10 m ² /dag	0.04	0.07	-0.02*
kD 20 m ² /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 m ² /dag	-0.11	-0.19	-0.32*
kD 10 m ² /dag	-0.075	-0.175	-0.23*
kD 20 m ² /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 m ² /dag	0.03	0.005	-0.15*
kD 10 m ² /dag	0.02	0.03	-0.05
kD 20 m ² /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 m ² /dag	-0.07	-0.125	-0.28*
kD 10 m ² /dag	-0.045	-0.1	-0.17
kD 20 m ² /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). Waarbij de totale opbolling groter is dan 1,5 m bij 0,14 m opbolling (deze opbolling wordt niet waargenomen in de stad Amsterdam en telt daarom niet mee). Uit gemeentelijk grondwatermodel blijkt maximaal 0,12 m stijging, conclusie → rekening houden dat de GHG 0,12 m kan stijgen.

Tabel 11

Stijging ghg [m]	L=100	L=250	L=500
kD 5 m ² /dag	0.035	0.065	0.14*
kD 10 m ² /dag	0.025	0.045	0.09*
kD 20 m ² /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 m ² /dag	-0.035	-0.02	0.06*
kD 10 m ² /dag	-0.017	-0.046	0.01*
kD 20 m ² /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).

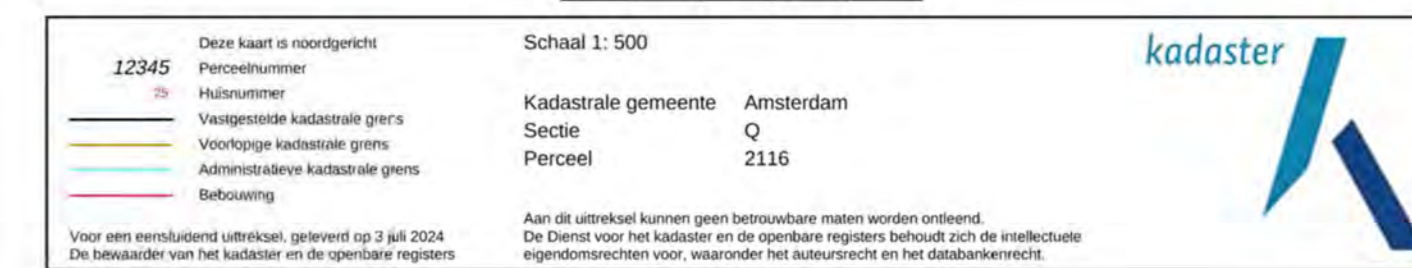
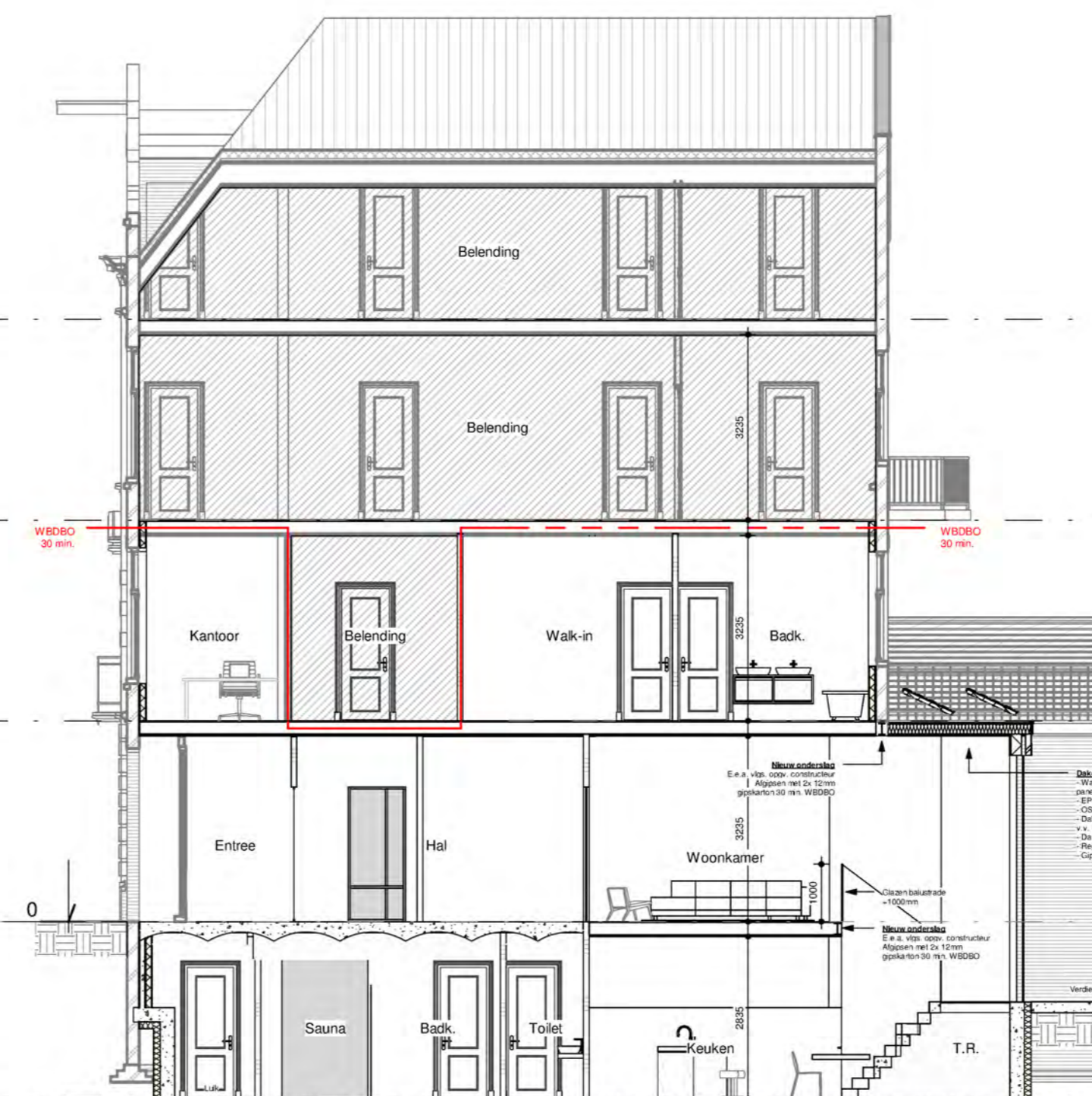
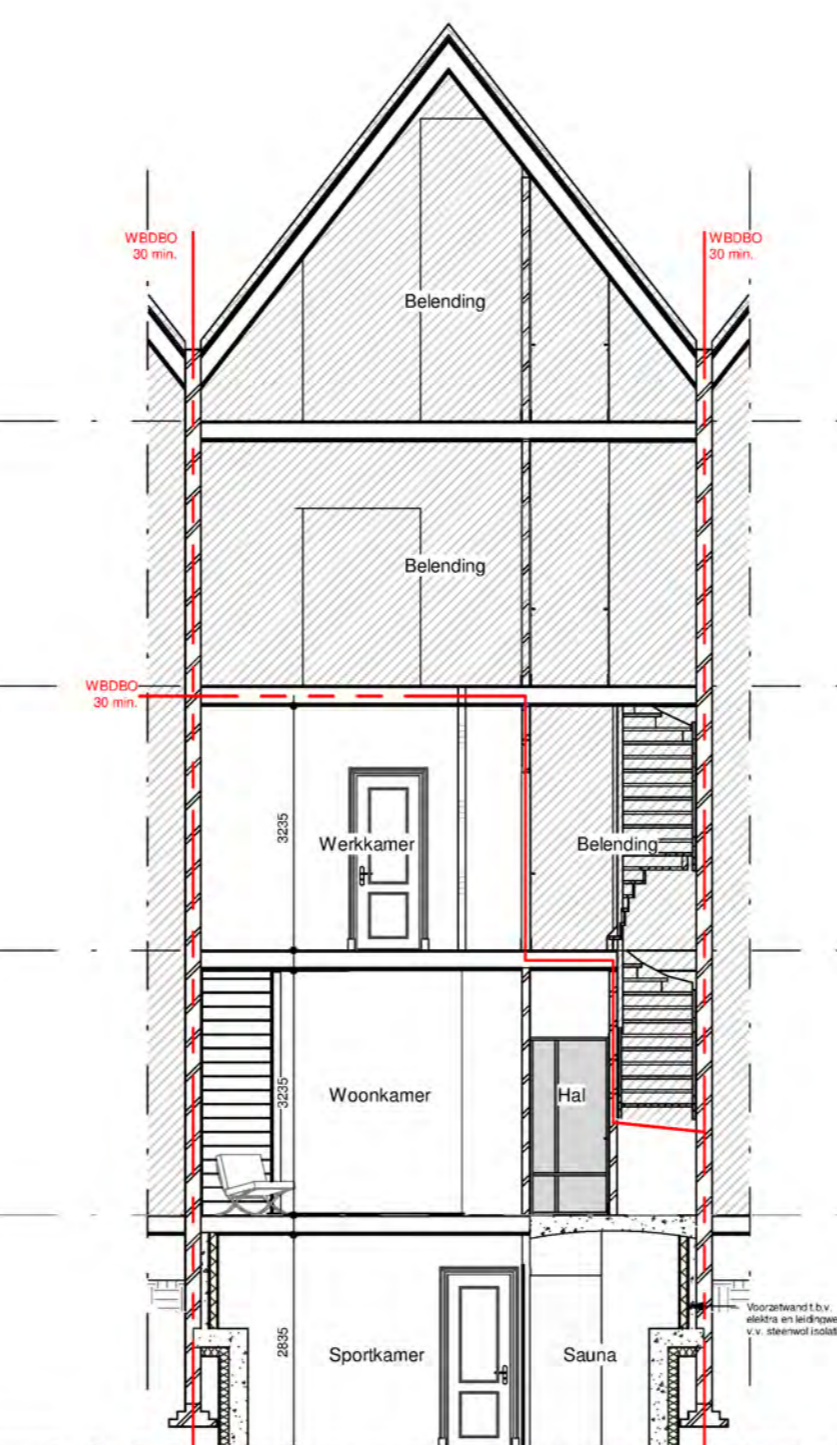
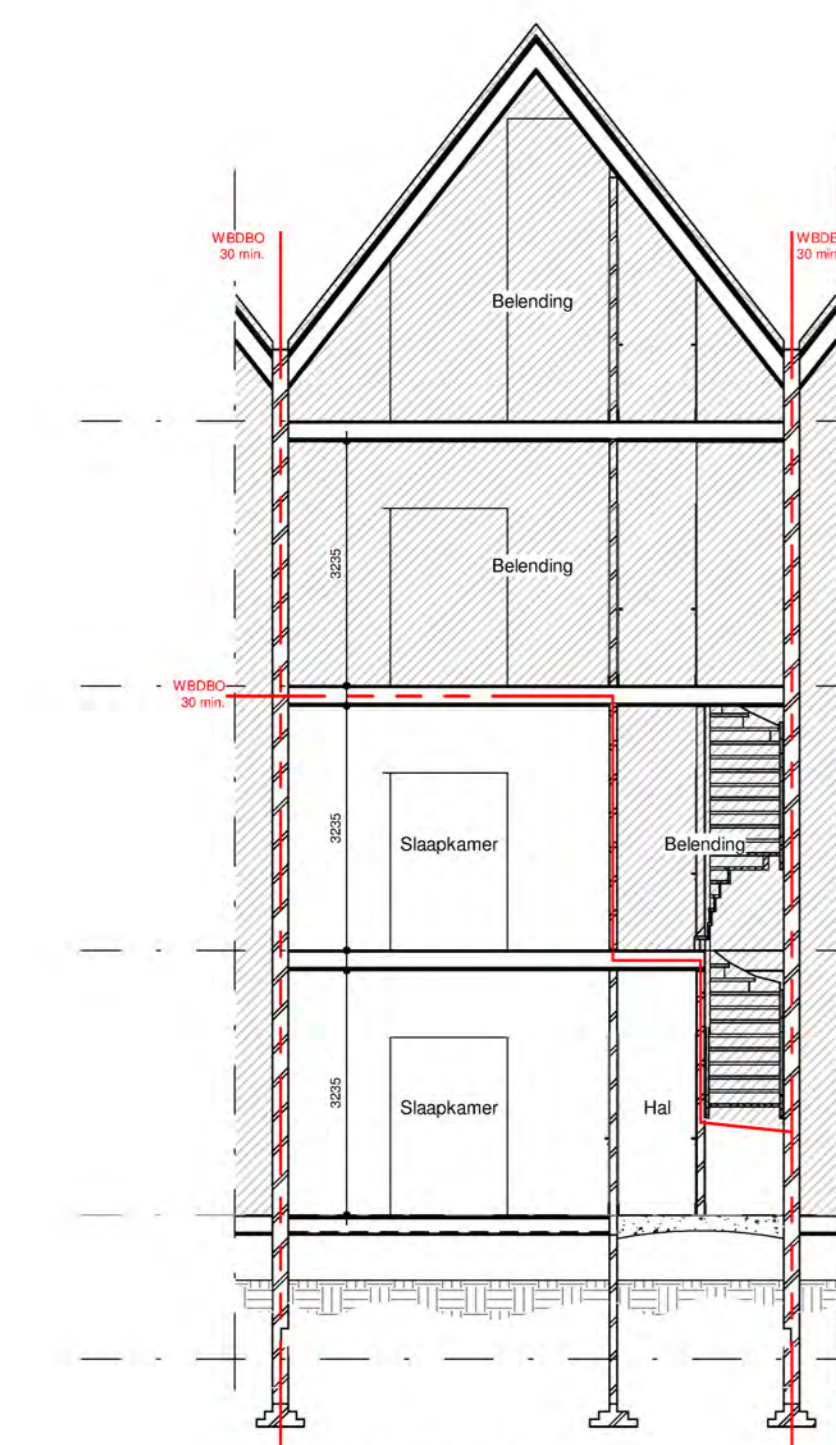
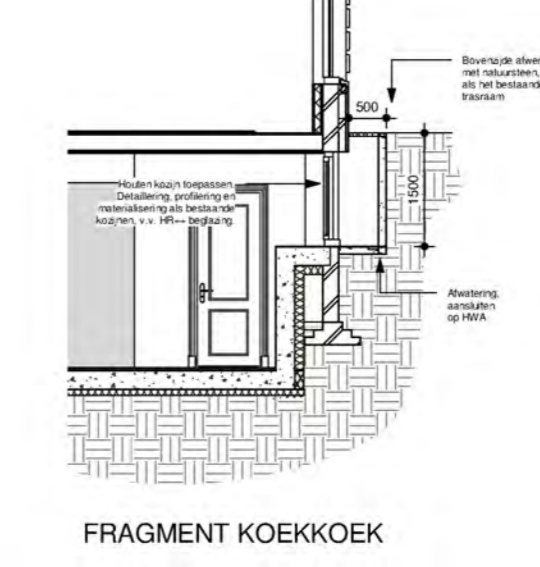
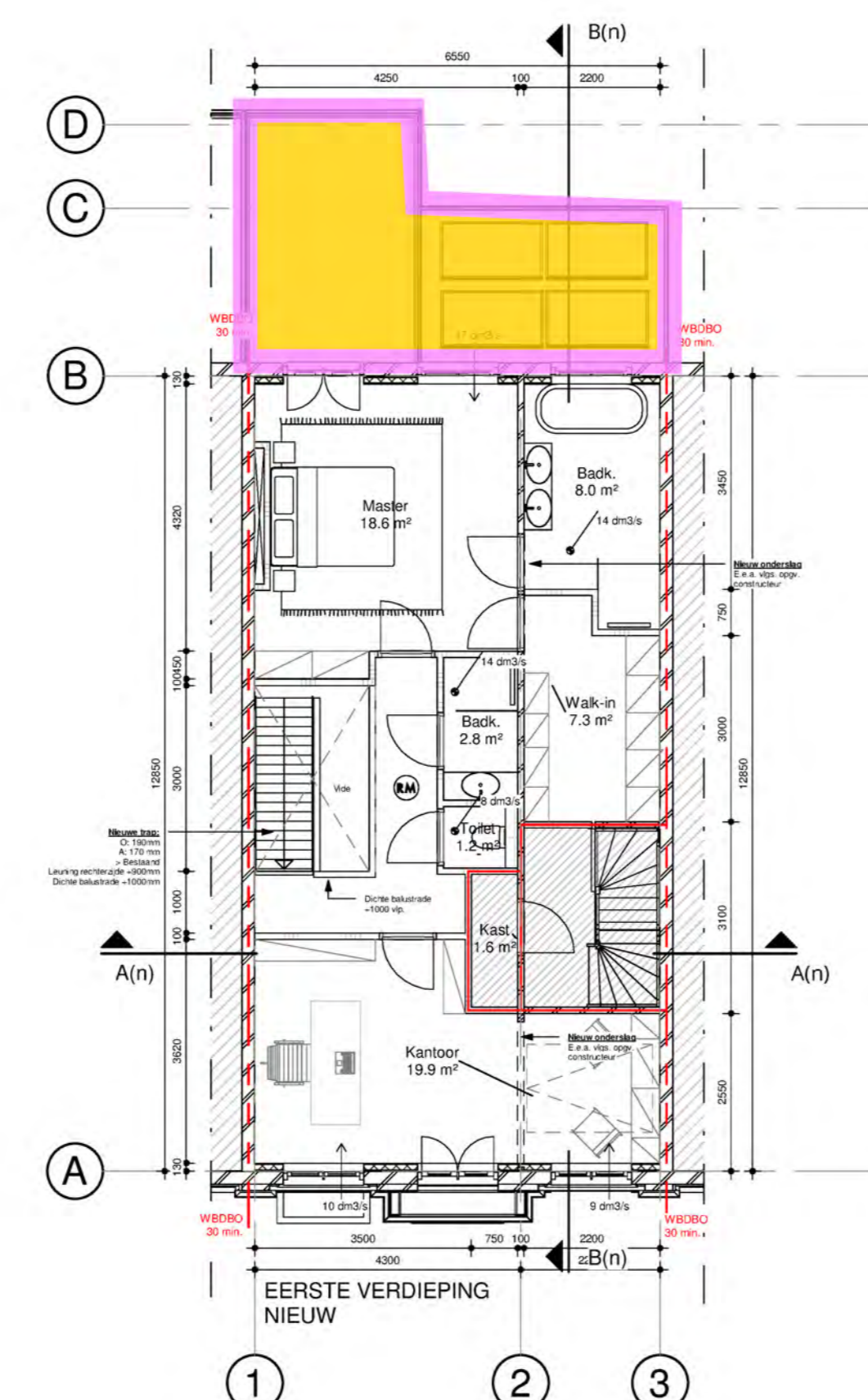
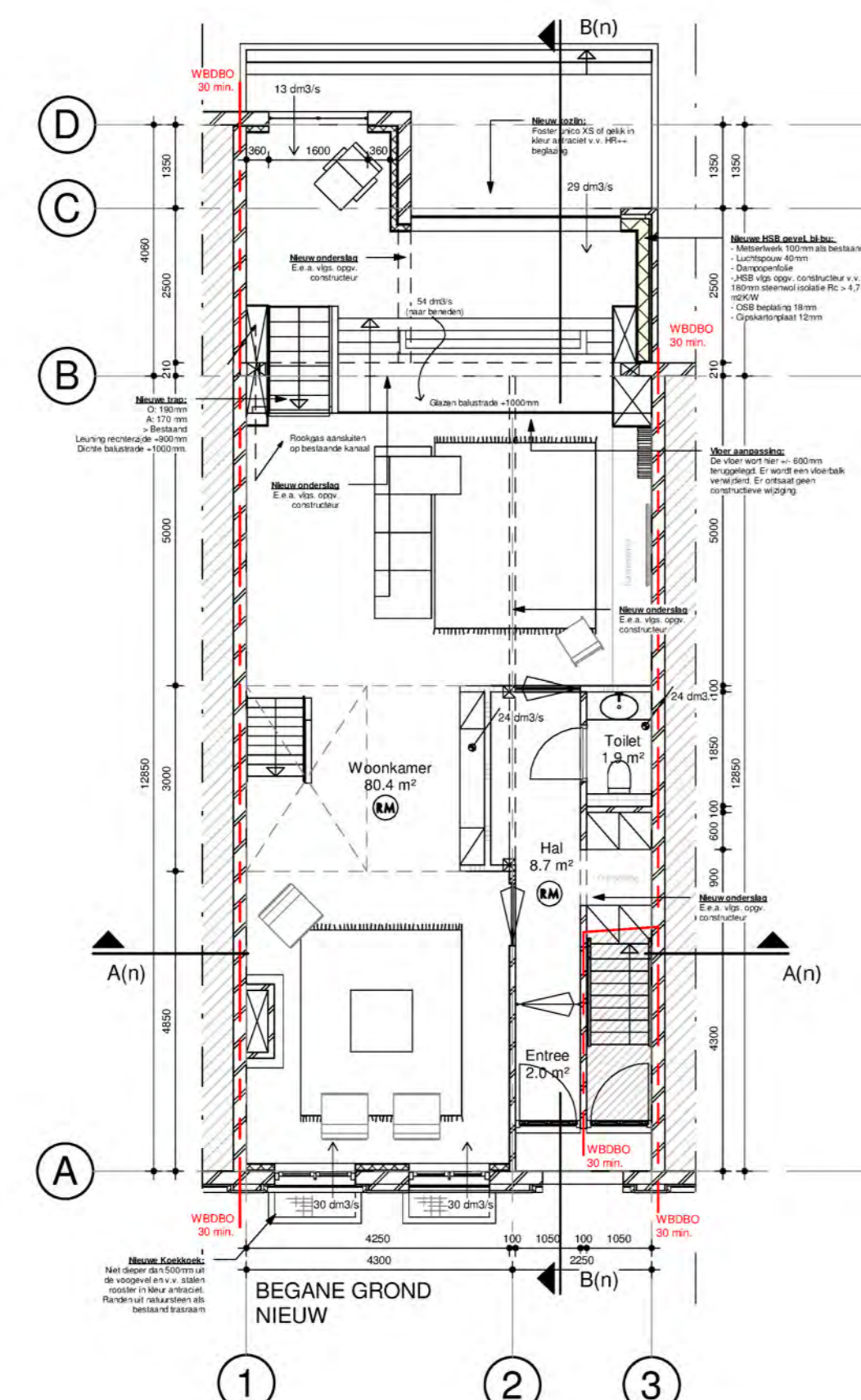
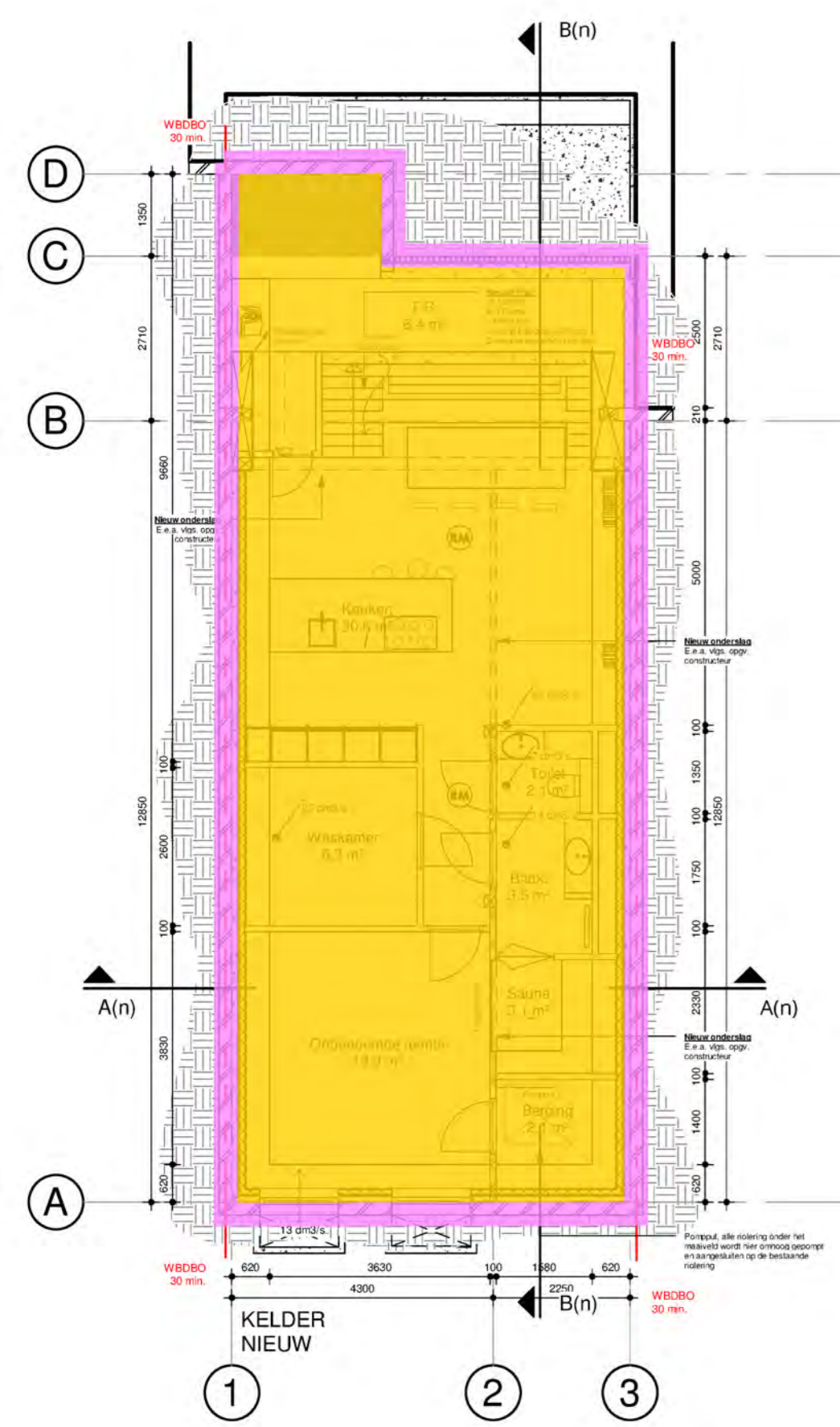
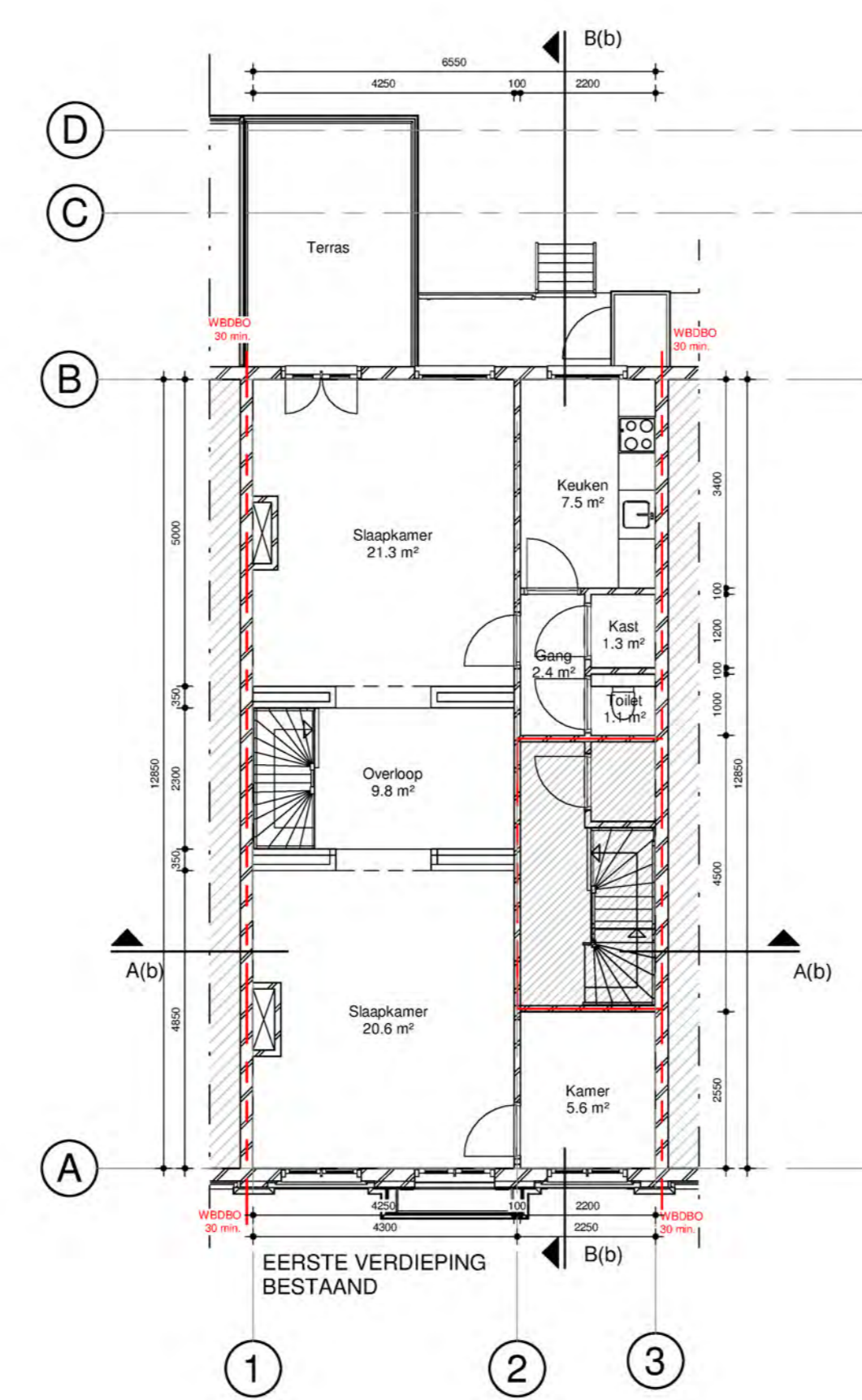
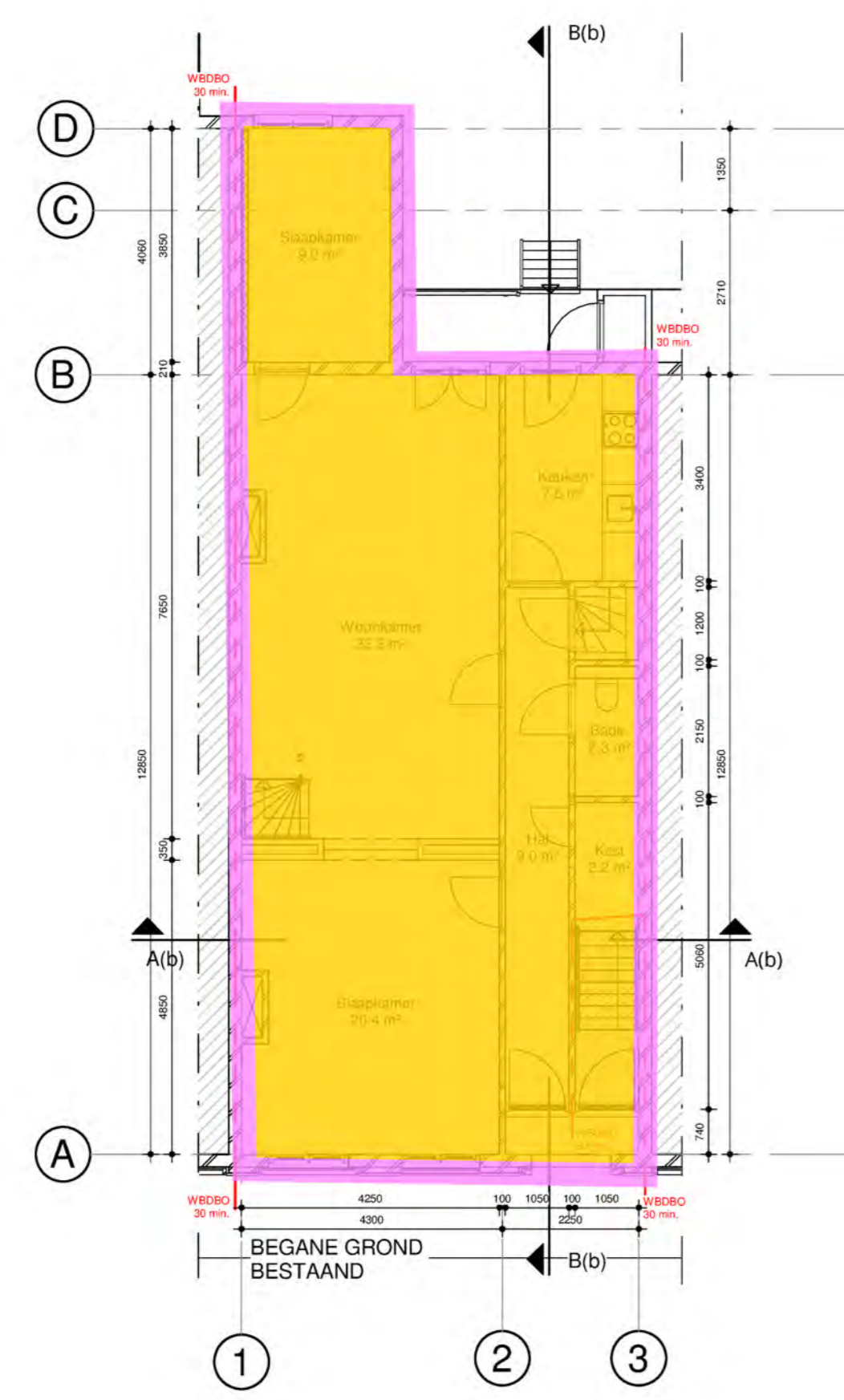
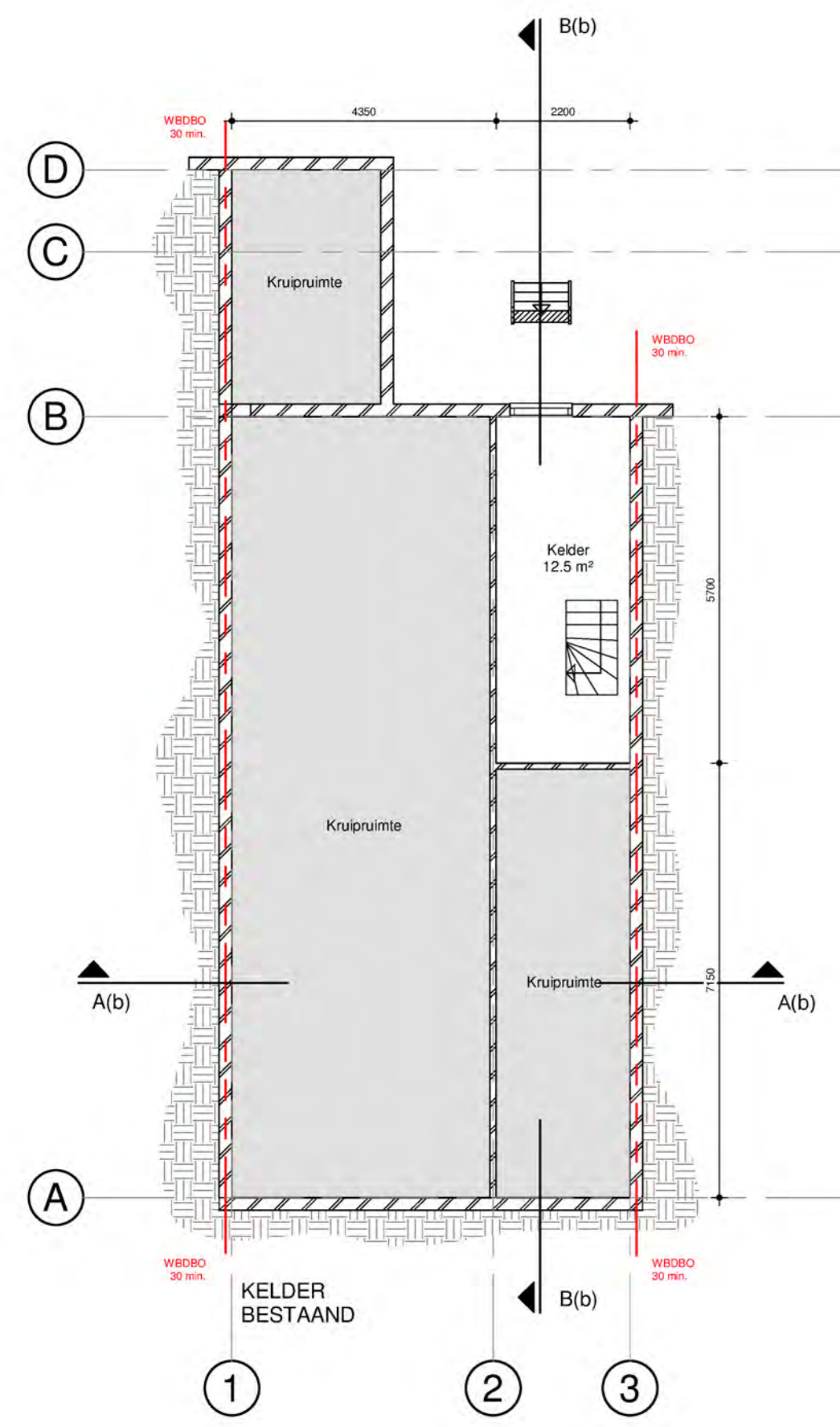
De wijziging van grondwaterstand in tabel 13 wordt meegenomen in het ontwerp, dit door de maatgevende meetreeksen (peilbuizen historisch) te corrigeren (ghg verhogen en glg verlagen) voor het Wh2050 scenario.

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



KADASTRALE KAART (VERSCHAALD)

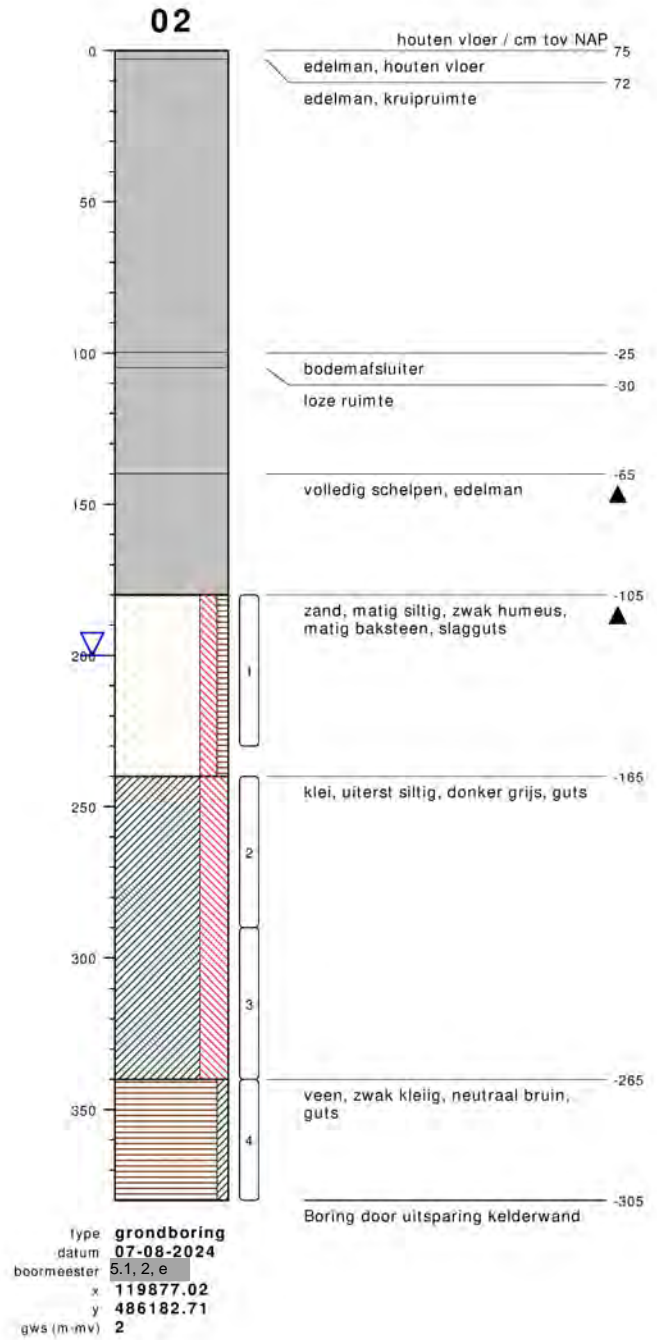
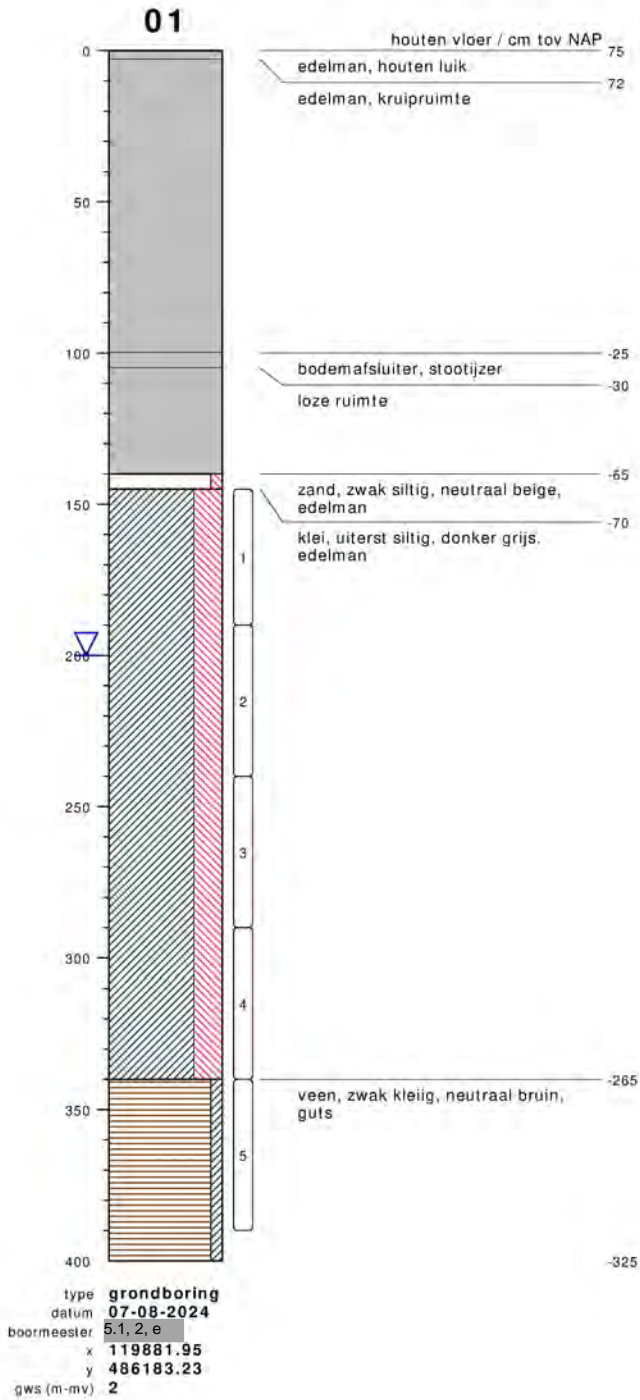
EERSTE HELMERSSTRAAT 113H

BOUWKUNDIG	INSTALLATIES
<ul style="list-style-type: none"> Wand: 100mm Plafond: 100mm ... (other construction details) 	<ul style="list-style-type: none"> Waterleiding Stroom ... (other installation details)
BRANDVEILIGHEID	OVERIG
<ul style="list-style-type: none"> Wegvoering ... (fire safety details) 	<ul style="list-style-type: none"> Wegvoering ... (other details)

Wildverband + www.JPS.amsterdam

PROJECT NR. 0242	PROJECT Eerste Helmersstraat 113	BETREFT VERBOUWING
SCHAAL As indicated	OPDRACHTGEVER 5.1, 2, e	DATUM 08-07-2024
FORMAAT A0	Adressant Eerste Helmersstraat 113, 1054 DN Amsterdam	GEWROEDEN 24-07-2024
TEKENING NR. D-01	FASE DEFINITIEF ONTWERP	30-07-2024

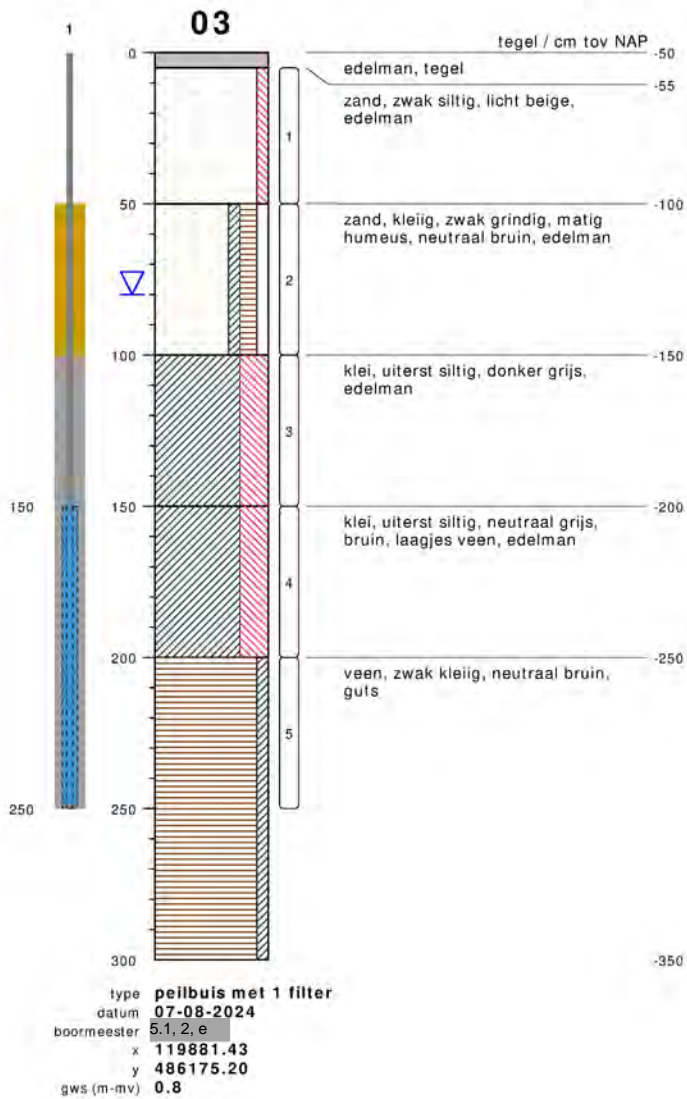
Bijlage 3 – Grondonderzoeken



bodemprofielen schaal 1:25

onderzoek **Eerste Helmersstraat 113 Amsterdam**
 projectcode **BM5962**
 getekend conform **NEN 5104**

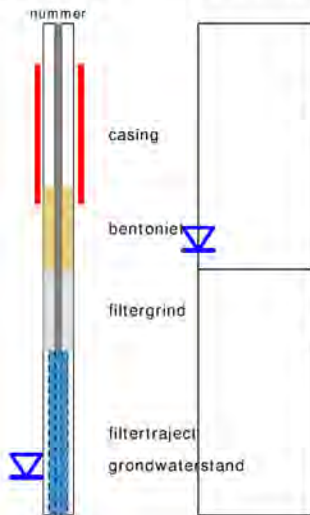




bodemprofielen **schaal 1:25**

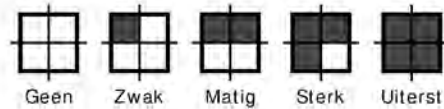
onderzoek **Eerste Helmersstraat 113 Amsterdam**
 projectcode **BM5962**
 getekend conform **NEN 5104**

PEILBUIS

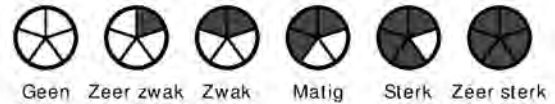


links= cm - maaiveld
rechts= cm + NAP

OLIE OP WATER REACTIE



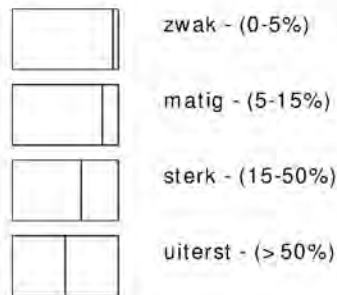
GEUR INTENSITEIT



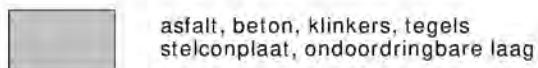
GRONDSOORTEN



MATE VAN BIJMENING



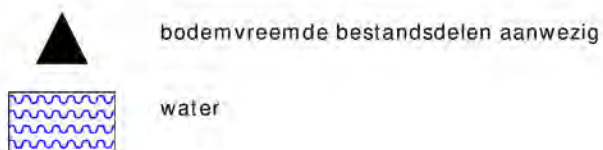
VERHARDINGEN



GRADATIE ZAND

uf = uiterst fijn (63-105 μ m)
zf = zeer fijn (105-150 μ m)
mf = matig fijn (150-210 μ m)
mg = matig grof (210-300 μ m)
zg = zeer grof (300-420 μ m)
ug = uiterst grof (420-2000 μ m)

OVERIG

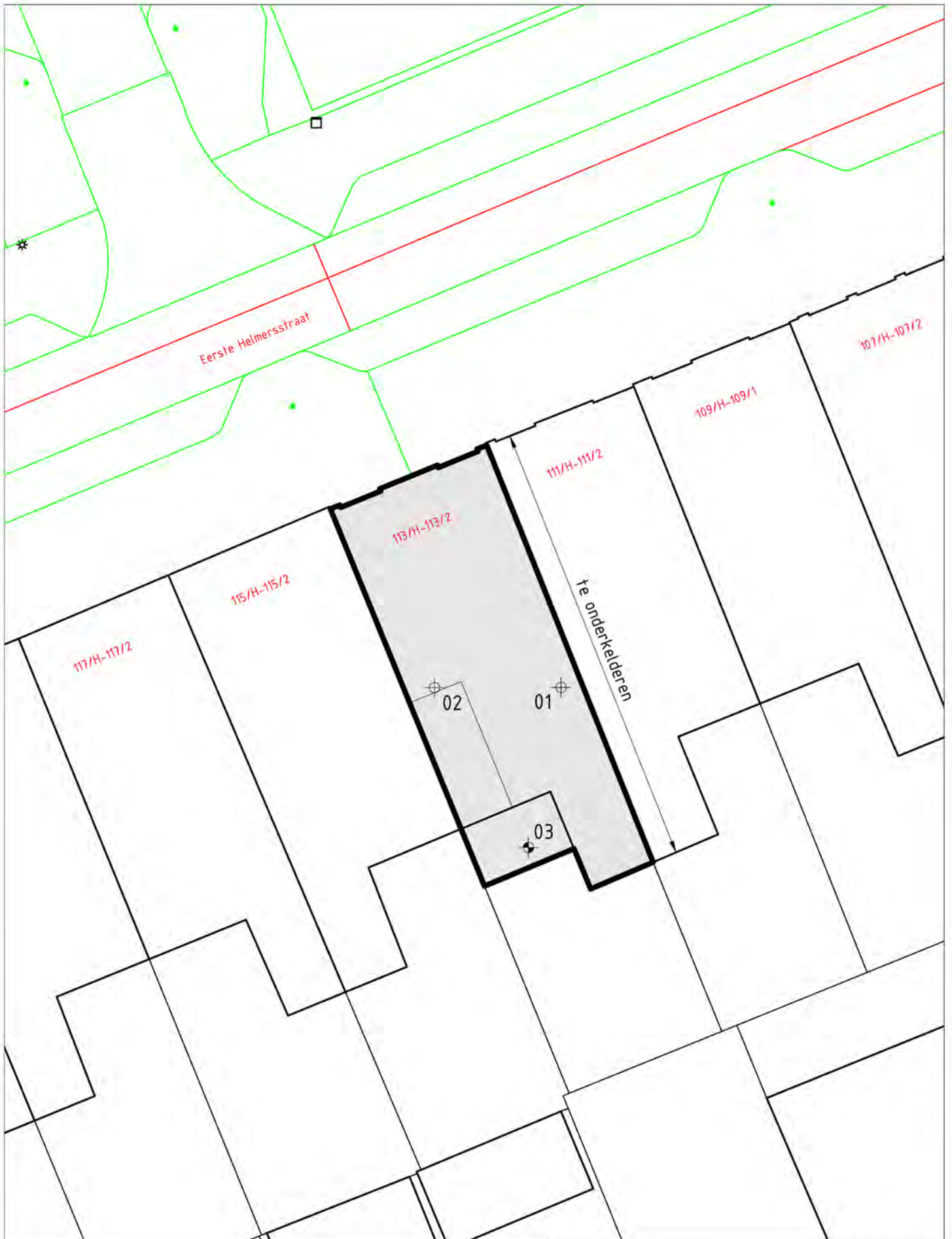


GRADATIE GRIND



f = fijn (2-5.6 mm)
mg = matig grof (5.6-16 mm)
zg = zeer grof (16-63 mm)

BESCHRIJVING BODEMLAAG

pid = foto ionisatie detector
bv = bodemvocht
ow = olie op water



Legenda

-  boring
-  peilbuis



Titel Eerste Helmerstraat 113 Amsterdam: boorlocaties

Opdrachtgever JPS.ARCHITECTEN

Projectnr BM5962

Datum 08-08-2024

Tek.nr 5962-1-ab

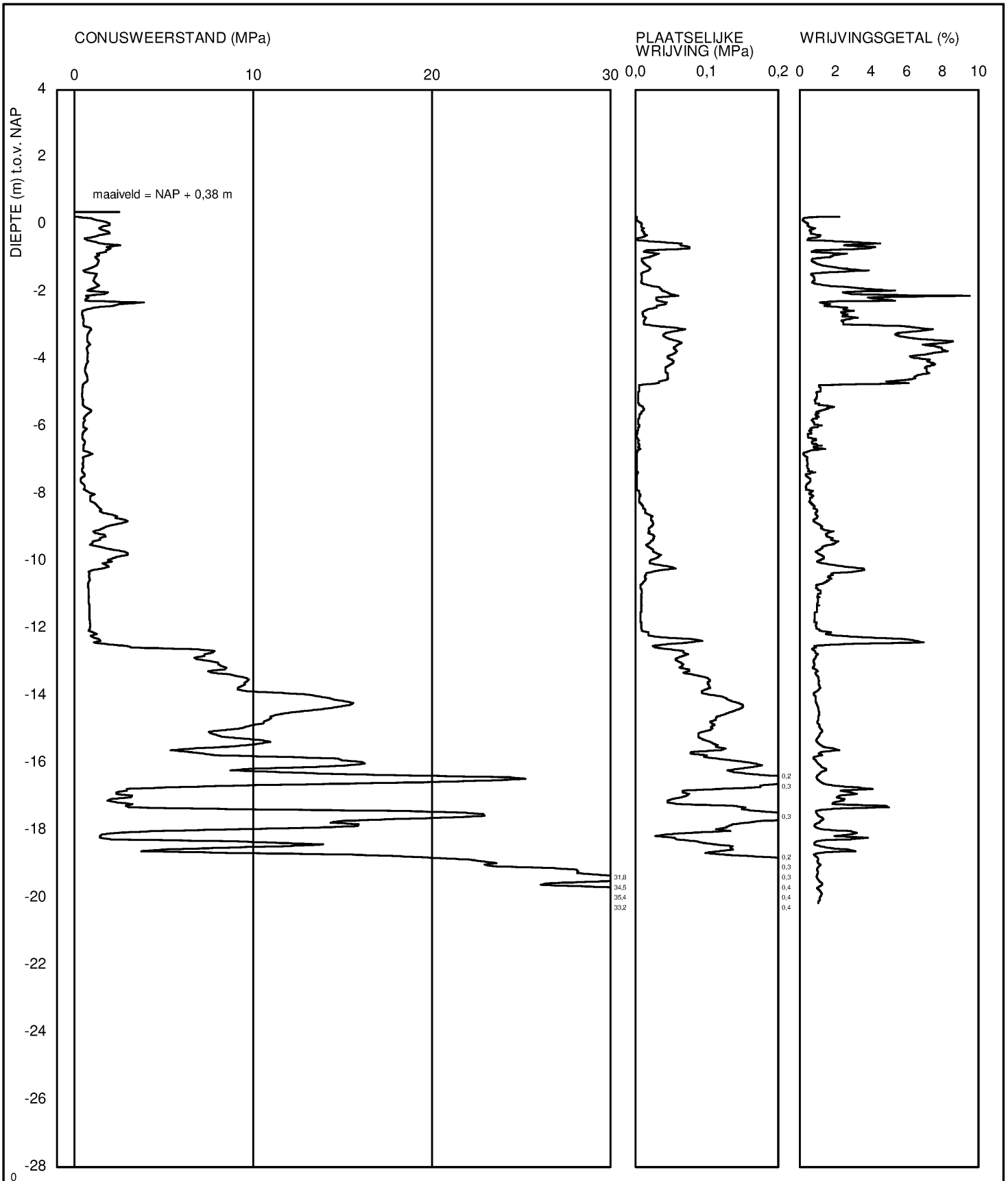
Schaal 1:200

Bijlage 1

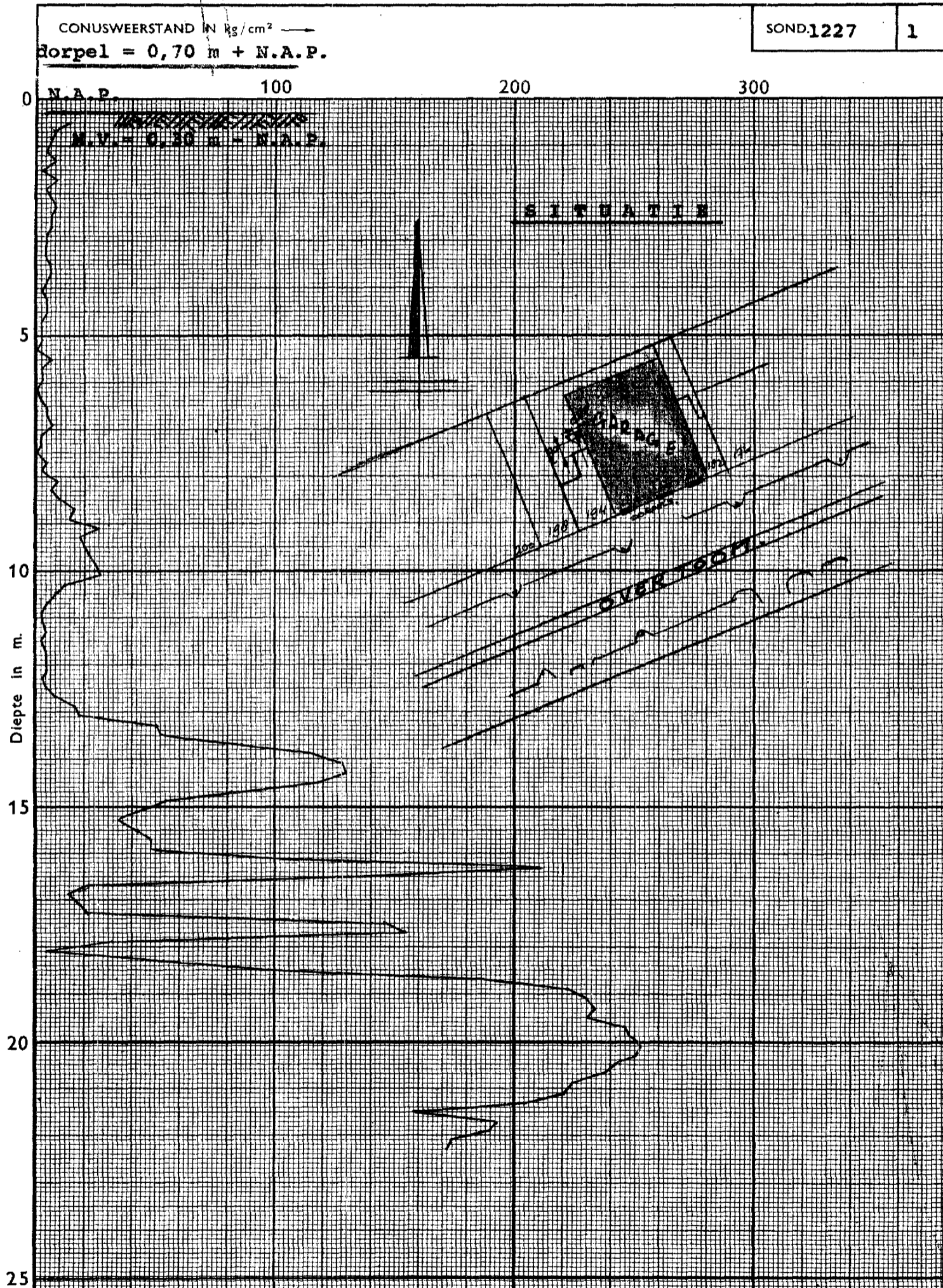
Formaat A4



**BACK MILIEU-ADVIES
EN ONDERZOEK BV**



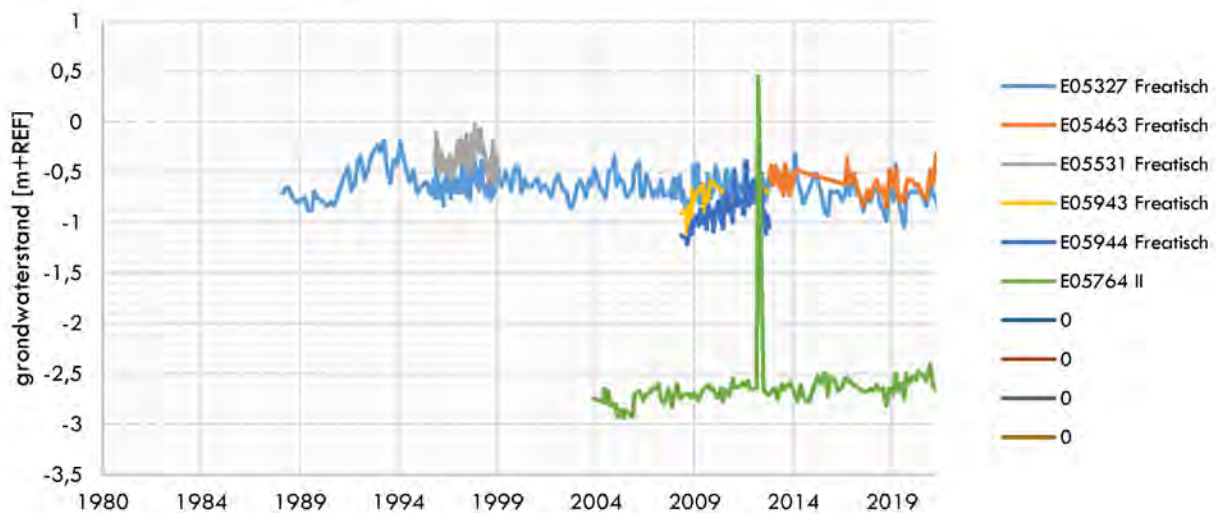
<Not Registered> <Not Registered>	<Not Registered> <Not Registered> <Not Registered>	Telefoon <Not Registered> Telefax <Not Registered>	datum 1990-10-24	get. -
-			BRO-/ BIJL. -	gez. form. A4
Sondering CPT00000031978				



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

REF=NAP

	E05327 Freat	E05463 Freat	E05531 Freat	E05943 Freat	E05944 Freat	E05764 II
naam						
X-coördinaat	119826	119981	119891	119827	119905	119341
Y-coördinaat	486187	486241	486244	486138	486193	486240
maciveld [m+REF]	0,29	0,45	1,17	-0,63	-0,35	1,82
bovenkant filter [m+REF]	-2,23	-1,96	-0,92	-4,01	-2,96	-12,25
onderkant filter [m+REF]	-3,23	-2,96	-1,92	-5,01	-3,96	-13,25
laatste meetjaar	2024	2024	1999	2013	2013	2024
laatste meting	-0,71	-0,57	-0,45	-0,91	-1,13	-2,75
totale meetperiode	35	31	3	4	4	20
aantal metingen	7183	18528	156	91	3158	122
hoogste [hele reeks]	0,33	-0,31	-0,03	-0,59	-0,40	0,45
ghg [laatste 8 jaren]	0,33	-0,38	-0,06	-0,62	-0,43	-2,36
hoog σ [hele reeks]	-0,12	-0,43	-0,10	-0,68	-0,70	-2,02
gemiddelde [hele reeks]	-0,58	-0,57	-0,36	-0,91	-0,91	-2,64
gemiddelde [laatste 8 jaren]	-0,55	-0,65	-0,36	-0,91	-0,91	-2,59
laag σ [hele reeks]	-1,04	-0,72	-0,62	-1,14	-1,12	-3,25
glg [laatste 8 jaren]	-1,05	-0,85	-0,62	-1,10	-1,17	-2,78
laagste [hele reeks]	-1,09	-0,86	-0,64	-1,12	-1,22	-2,94
σ [hele reeks]	0,23	0,07	0,13	0,11	0,11	0,31
januari	● -0,51	● -0,53	● -0,32		● -0,84	◆ -2,66
februari	● -0,43	● -0,53	● -0,34		● -0,84	◆ -2,67
maart	◆ -0,65	▲ -0,57	● -0,28	● -0,76	● -0,84	● -2,38
april	▲ -0,58	◆ -0,60	● -0,33	● -0,78	▲ -0,88	◆ -2,67
mei	▲ -0,58	▲ -0,58	▲ -0,40	● -0,65	▲ -0,86	◆ -2,66
juni	▲ -0,63	▲ -0,59	◆ -0,42	● -0,63	▲ -0,89	◆ -2,69
juli	◆ -0,65	◆ -0,63	◆ -0,44	▲ -0,93	◆ -0,97	◆ -2,68
augustus	◆ -0,74	◆ -0,62	◆ -0,48	◆ -1,12	◆ -1,02	◆ -2,62
september	◆ -0,70	▲ -0,58	▲ -0,41	◆ -0,97	● -0,79	◆ -2,65
oktober	◆ -0,71	● -0,55	▲ -0,35	▲ -0,95	● -0,83	◆ -2,67
november	◆ -0,67	● -0,55	● -0,31	▲ -0,79	▲ -0,89	◆ -2,69
december	● -0,48	▲ -0,59	● -0,28		▲ -0,90	◆ -2,66
2013	-0,59	-0,60		-0,68	-0,94	-2,05
2018	-0,74	-0,69				-2,67



Bijlage 4 – Opbarstberekening

onderdeel: grondverbetering

REF=NAP

grondonderzoek: b02

start maaiveld: 0,75	diepte: -3,5	diepte: -3,5
Atl: 0,00	Abl: 0,00	vierkant top: nee
Atr: 0,00	Abr: 0,00	vierkant beneden: nee
Ctl: 50,00	Cbl: 50,00	Ygvb: 17,0
Ctr: 50,00	Cbr: 50,00	Dtgvb: 0,0
Bt: 3,33	Bb: 3,33	Dbgvb: 0,0

	WVL1	WVL2	WVL3	WVL4	WVL5
d ₂ t:		4,4	8,95		
ft:	0	0,282	0,564		
d ₂ b:		4,4	8,95		
fb:	0	0,282	0,564		

berekening conform Eurocode NEN9997-1+c1:2012

gvb=grondverbetering

grondbeschrijving	y (σ) [kN/m ³]	top [m+REF]	type	ft [m]	fb [m]	d ₂ b [m]	gvb [m]	gronddruk op watervoerende laag [kN/m ²]					
								WVL1	WVL2	WVL3	WVL4	WVL5	
zand, matig fijn, matig silthoudend, los	17 (0,43)	0,75	WVL1	2,4	0	0	0	0,00	11,49	23,00			
klei, organisch, slap	13 (0,33)	-1,65		1	0	0	0	0,00	3,66	7,33			
veen, hollandveen	10,5 (0,26)	-2,65		0,85	0	1,3	0	0,00	16,16	18,68			
klei, zandig, slap	16,5 (0,41)	-4,80		0	0	3,1	0	0,00	51,15	51,15			
zand, uiterst fijn, sterk silthoudend, los	18 (0,45)	-7,90	WVL2	0	0	2,3	0	0,00	0,00	41,40			
klei, hydrobia	15,2 (0,38)	-10,20		0	0	2	0	0,00	0,00	30,40			
veen, basisveen	11,5 (0,29)	-12,20		0	0	0,25	0	0,00	0,00	2,88			
zand, zeer fijn, sterk silthoudend	19 (0,48)	-12,45	WVL3	0	0	4,05	0	0,00	0,00	0,00			
zand, kleilig	20 (0,5)	-16,50	WVL3	0	0	1,9	0	0,00	0,00	0,00			
zand, matig grof, zwak silthoudend, vast	21 (0,53)	-18,40	WVL3	0	0	6,6	0	0,00	0,00	0,00			
klei, zwak siltig, vast	19 (0,48)	-25,00						0,00	0,00	0,00			

paalwerking [kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Uz;d som y x d	0,00	82,46	174,84	0,00	0,00
Uz;d som yσ x d	0,00	2,06	4,37	0,00	0,00

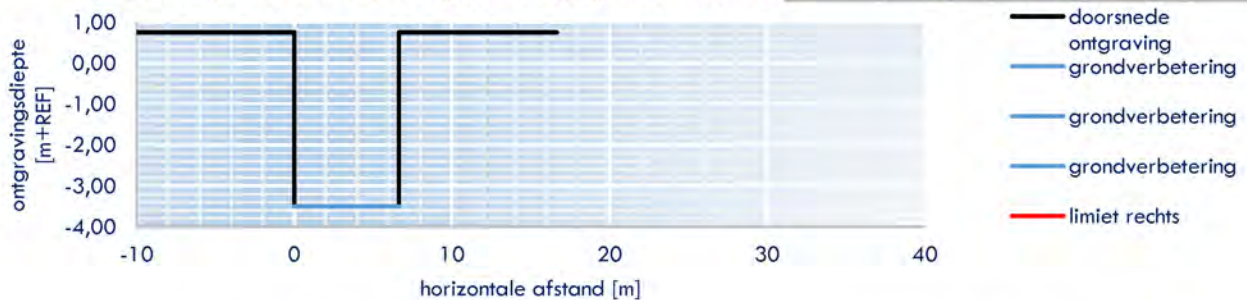
kritieke grondwaterstand [m+REF] faalkans 50%, veiligheidsfactor 1,0	0,51	5,38		
kritieke grondwaterstand [m+REF] faalkans 16%, veiligheidsfactor 1,025	0,30	4,93		
kritieke grondwaterstand [m+REF] faalkans 5%, veiligheidsfactor 1,05	0,09	4,49		
Eurocode kritieke grondwaterstand [m+REF] faalkans 0,5%, veiligheidsfactor 1,1	-0,33	3,60		

hoge grondwaterstand [m+REF] per watervoerende laag

opwaartse waterdruk [kN/m²]

bruto veiligheidsfactor bij maatgevend hoge grondwaterstand

	-0,29	-0,59	-2,02		
	0,00	73,14	104,27		
		1,13	1,68		



	f _{rechts}	f _{links}	f _{limiet-rechts}	f _{limiet-links}	f _t
WVL1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
WVL2	0,28	0,28	0,00	0,00	0,282
WVL3	0,57	0,57	0,00	0,00	0,564
WVL4					
WVL5					

	f _{rechts}	f _{links}	f _{limiet-rechts}	f _{limiet-links}	f _b
WVL1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
WVL2	0,28	0,28	0,00	0,00	0,282
WVL3	0,57	0,57	0,00	0,00	0,564
WVL4					
WVL5					

$$f(\text{Boussinesq}) = (f_{\text{rechts}} + f_{\text{links}})/2 - (f_{\text{limiet-rechts}} + f_{\text{limiet-links}})/2$$