

PM+Vast BV
T.a.v. de heer J. (Joost) Engelen
Stratumsedijk 10
5611 ND Eindhoven

Betreft: Infiltratieonderzoek en waterhuishoudkundig plan Molenweg-Oude Molen fase 1 en 2 in Liessel (gemeente Deurne).

Best, 4 maart 2024

Geachte heer Engelen,

Op uw verzoek heeft Landslide milieu-adviesbureau in november 2022 een infiltratieonderzoek uitgevoerd ter plaatse van de locatie Molenweg-Oude Molen in Liessel (gemeente Deurne). Op deze locatie is nieuwbouw van woningen voorzien. Omdat het hemelwater afkomstig van nieuw verhard oppervlak (daken en terreinverhardingen) op deze locatie in de bodem geïnfiltreerd moet worden, is op donderdag 17 november 2022 een infiltratieonderzoek uitgevoerd en op 2 december 2022 gerapporteerd. Naar aanleiding van deze rapportage heeft de gemeente Deurne tijdens overleg op vrijdag 13 oktober jl. verzocht om de rapportage uit te breiden met een berekening van de maatgevende berging en een praktisch uitvoerbaar voorstel om de maatgevende berging op locatie te realiseren. Ook de opdrachtgever heeft verzocht om de oorspronkelijke rapportage (fase 1) uit te breiden, en wel omdat de ontwikkellocatie groter is geworden (fase 2). Beide ontwikkelingen zijn in deze geactualiseerde rapportage verwerkt¹.

Figuur 1: Situering (links) en impressie (rechts) van de onderzoekslocatie (fase 1 en 2) aan de Molenweg-Oude Molen in Liessel (gemeente Deurne).



¹ Op 4 maart 2024 werd op verzoek van de opdrachtgever tevens het meest recente ontwerp d.d. 7-12-2023 aan figuur 3 en 4 toegevoegd.

Deze rapportage beschrijft daarom de uitkomsten van het in november 2022 uitgevoerde infiltratieonderzoek, berekent de maatgevende berging aan de hand van het meest recente stedenbouwkundig plan en beschrijft een praktisch uitvoerbare wijze om de maatgevende berging en infiltratie van hemelwater, overlastvrij, op locatie te realiseren. Deze rapportage heeft niet het karakter van een definitief ontwerp (DO) op basis waarvan het systeem door een aannemer al aangelegd kan worden (zie aanbevelingen).

1. Opzet infiltratieonderzoek

Ter plaatse van de onderzoekslocatie zijn 6 infiltratiemetingen uitgevoerd in de onverzadigde zone (boven de grondwaterspiegel), zijn 4 boringen geplaatst tot een maximale diepte van 4,0 meter minus maaiveld (m-mv) en is in 1 boorgat het actuele grondwaterpeil gemeten. De doorlatendheidsmetingen zijn uitgevoerd als dubbele-ring-infiltratiemeting (RM1 t/m RM3) om de verticale waterdoorlatendheid (K_v) te meten en als omgekeerde putproef (OP1 t/m OP3) om tevens de horizontale doorlatendheid (K_h) te meten. De boorprofielen zijn opgenomen in bijlage A en de uitwerking van de afzonderlijke infiltratiemetingen in bijlage B (dubbele-ring-infiltratiemetingen) en in bijlage C (omgekeerde putproeven).

Rekening houdend met bestaande bebouwing, zijn de meetpunten zo gelijkmatig mogelijk over de locatie verdeeld. Zo wordt een representatief beeld van de doorlatendheid van de ontwikkellocatie (fase 1) verkregen (figuur 2). Ter plaatse van fase 2 zijn geen metingen uitgevoerd. Dit deel van de ontwikkellocatie is pas bij het stedenbouwkundig plan betrokken na uitvoering van het onderzoek. Tijdens het overleg met de gemeente Deurne en de opdrachtgever op vrijdag 13 oktober is besproken, dat aanvullende infiltratiemetingen op deze beperkte uitbreidingslocatie (fase 2) niet nodig zijn. De variatie in diepte van de infiltratiemetingen is afgestemd op het actuele grondwaterpeil, de verwachte gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en op de potentiële aanlegdiepte van bergings- en infiltratievoorzieningen zoals een wadi, vijver, infiltratiekragen of een infiltratie- en transportriool. Tenslotte is bij de positionering van de meetpunten rekening gehouden met de ligging van de waterloop, die de ontwikkellocatie doorsnijdt (figuur 2).

2. Bevindingen

Uit de boringen blijkt, dat het opgeboorde profiel voornamelijk uit crèmekleurig, matig fijn tot fijn (zwak tot matig lemig) zand bestaat. Naar verwachting is deze zandige bodemopbouw goed waterdoorlatend. Een leemlaag werd alleen in boring 1 op een diepte van 3,74 m-mv aangetroffen. In deze boring werd het grondwaterpeil op donderdag 17 november 2022 op een diepte van 3,20 m-mv aangetroffen. Alle boorbeschrijvingen zijn opgenomen in bijlage A.



Figuur 2: Infiltratieonderzoek fase 1. Situering van de 3 dubbele-ring-infiltratiemetingen (RM1 t/m RM3), de 3 omgekeerde putproeven (OP1 t/m OP3) en de 4 boringen (B1 t/m B4) om de bodemopbouw en het grondwaterpeil vast te leggen en de watergang (blauwe lijn) die beide deelterreinen doorsnijdt. Ter plaatse van fase 2 zijn na overleg met de gemeente Deurne geen metingen uitgevoerd.



Uit de meetresultaten blijkt, dat de bodemopbouw een goede indicator is voor de gemeten waterdoorlatendheid. De crèmekleurige zandlagen zijn overwegend redelijk tot (zeer) goed waterdoorlatend. Deze doorlatendheid geldt voor zowel de metingen waarbij de verticale (ringmetingen) als de horizontale infiltratiecapaciteit (omgekeerde putproeven) gemeten is.

Met k-waarden die variëren van 1,0 tot 8,6 m/d en het ontbreken van ondiepe leemlagen is deze laag geschikt voor het infiltreren van hemelwater. Ook de relatief diepe grondwaterstand (3,20 m-mv) is gunstig voor het infiltreren van hemelwater. De variatie in meetwaarden is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Overzicht 6 meetwaarden waterdoorlatendheid Molenweg-Oude Molen (fase 1) in Liessel (gemeente Deurne).

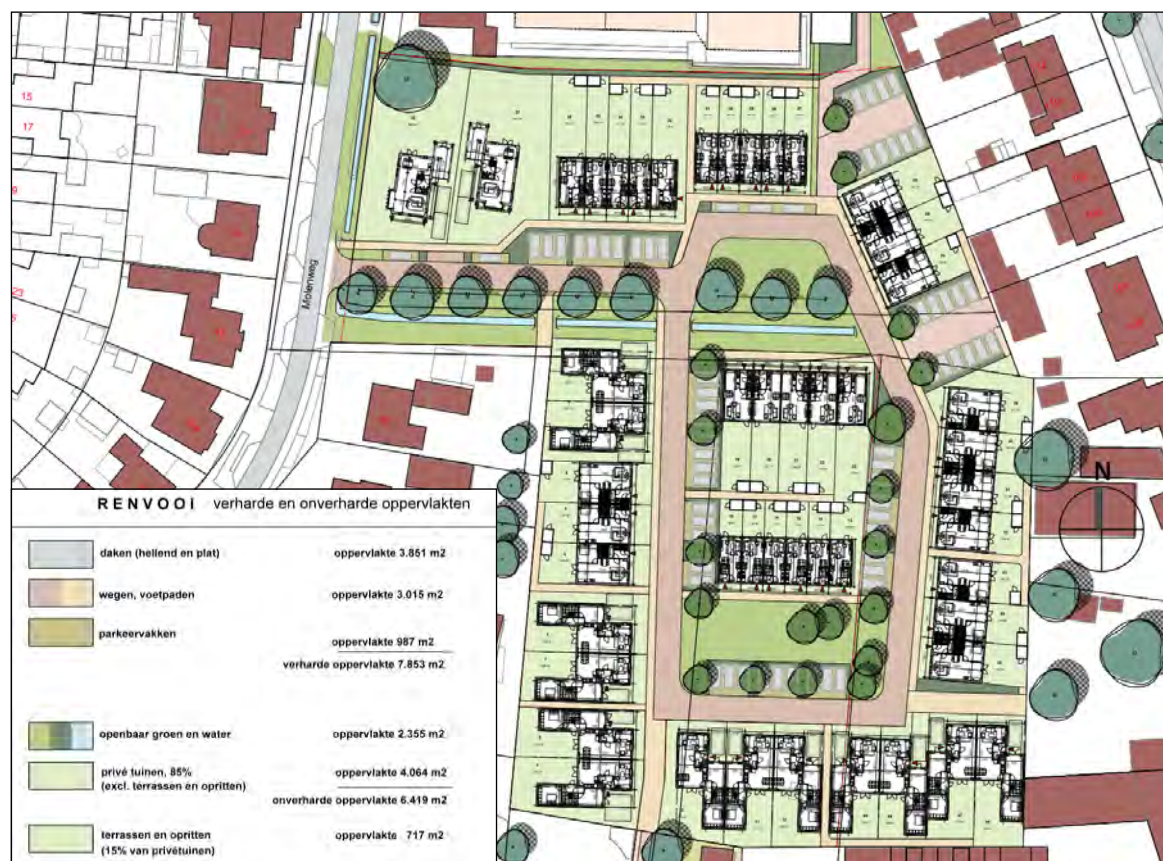
	Nr.	k-waarde	meetdiepte (m-mv)	bodemopbouw	doorlatendheidsrichting	grondwaterstand
1.	RM1	8,6 m/d	0,75	(m)fz*	verticale k-waarde	3,20 m-mv
2.	RM2	5,8 m/d	0,55	(m)fz	verticale k-waarde	3,20 m-mv
3.	RM3	7,2 m/d	0,65	fz	verticale k-waarde	3,20 m-mv
4.	OP1	4,6 m/d	0,82-1,32	fz (zwak lemig)	horizontale k-waarde	3,20 m-mv
5.	OP2	1,0 m/d	0,57-1,85	(m)fz (matig lemig)	horizontale k-waarde	3,20 m-mv
6.	OP3	5,2 m/d	0,50-1,20	(m)fz (leemarm)	horizontale k-waarde	3,20 m-mv

* (matig) fijn zand

3. Berekenen van de maatgevende berging

Op de locatie Molenweg-Oude Molen (fase 1 en 2) worden 49 nieuwe woningen gebouwd. Het meest recente stedenbouwkundig plan is weergegeven in figuur 3. Hieruit volgt het totaal aan verhard en onverhard oppervlak. Daarbij geldt, dat al het hemelwater dat tot afstroming komt van het verhard oppervlak op eigen terrein geborgen en geïnfiltreerd moet worden.

Figuur 3: Meest recente (7 december 2023) stedenbouwkundig plan (bron: PM+VAST) Molenweg-Oude Molen in Liessel (gemeente Deurne) en verdeling van verhard en onverhard oppervlak (bron: opdrachtgever).



Om de bergingsopgave correct te berekenen, moet het verhard oppervlak dat bestaat uit hellende en platte daken (3.851 m^2), wegen en voetpaden (3.015 m^2), parkeervakken (987 m^2) en terrassen en opritten (717 m^2) gesommeerd worden en vermenigvuldigd met 60 mm (0,06 m) neerslag. Hieruit volgt een nominale hemelwaterbergingsopgave² van 514 m^3 . De daarbij gehanteerde oppervlakten volgen uit het meest recente ontwerp zoals weergegeven in figuur 3. Om te kunnen anticiperen op mogelijke wijzigingen in het ontwerp, wordt zekerheidshalve 550 m^3 hemelwaterberging gerealiseerd.

4. Berging en infiltratie van 550 m^3 hemelwater boven de GHG

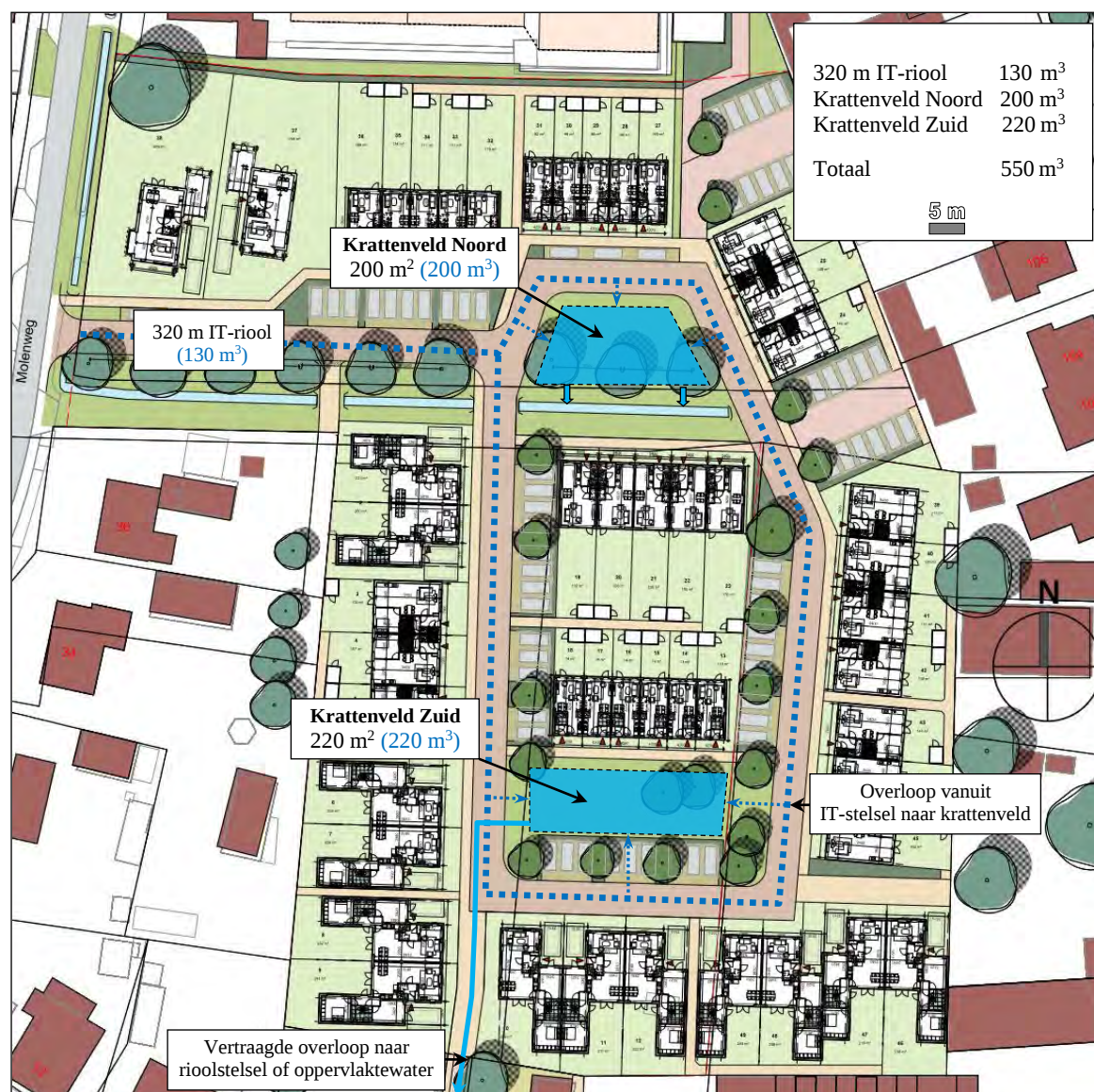
Naar aanleiding van het uitgevoerde infiltratieonderzoek, het stedenbouwkundig ontwerp en aanvullend overleg met de opdrachtgever op vrijdag 27 oktober 2023 is gekozen voor het aanleggen van een **infiltratie- en transportriool (IT-riool)** in combinatie met **2 velden met infiltratiekratten**. Dit systeem kan vertraagd overlopen naar bestaand oppervlaktewater (noordelijk krattenveld) en naar het gemeentelijk rioolstelsel onder de weg Oude Molen (zuidelijk krattenveld). De bergings- en infiltratiecapaciteit van dit gecombineerde systeem, dat is weergegeven in figuur 4, bedraagt 550 m^3 . Indien het bevoegd gezag zich in deze aanpak kan vinden, dan wordt het plan te zijner tijd in detail verder uitgewerkt tot een definitief ontwerp (DO) en voorafgaand aan de aanleg aan de gemeente Deurne en Waterschap Aa en Maas toegezonden. De afzonderlijke elementen van het voorgestelde systeem worden hierna (§4.1-4.3) beschreven.

4.1 IT-RIOOL

In verband met een diepe grondwaterstand en goede waterdoorlatendheid van de bodem is de aanleg van een infiltratie- en transportriool (IT-riool) mogelijk. Op dit infiltratieriool worden de standpijpen (regenpijpen) en de straatkolken aangesloten. Het hemelwater kan vervolgens op eigen terrein geborgen en geïnfilterd worden. Wanneer meer neerslag valt dan het systeem kan bergen en infiltreren loopt het systeem over in het noordelijke en zuidelijke krattenveld (§ 4.2). Rondom de infiltratiebuis in het IT-riool ($\varnothing 300 \text{ mm}$) wordt drainagezand aangebracht. Vanuit de buis kan het regenwater dan in het drainagezand infiltreren en van daar uit weer naar de oorspronkelijke bodem. De lay-out van het IT-riool is afgestemd op de locatiespecifieke omstandigheden, weergegeven in figuur 5.

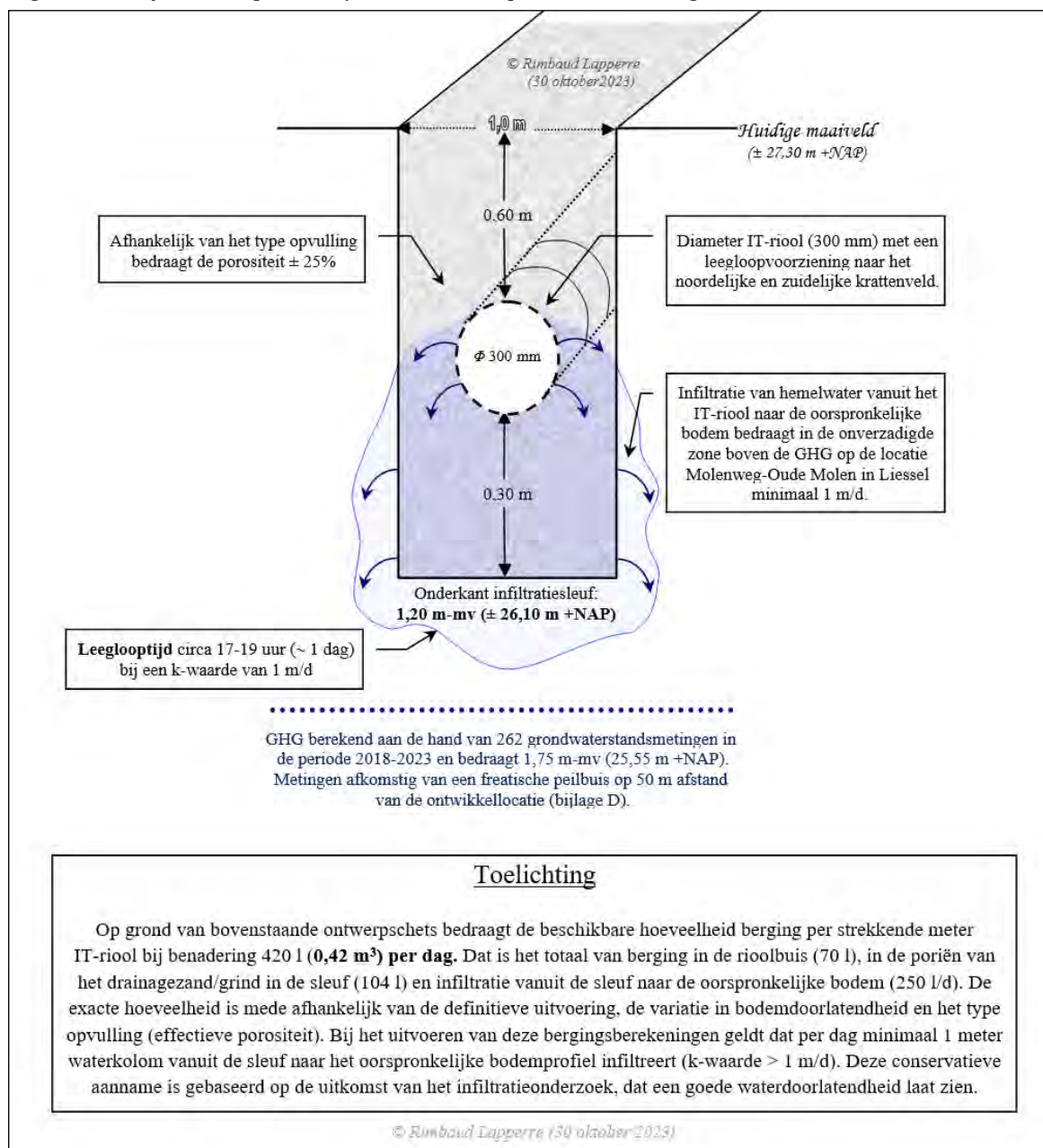
² Rekenregel Waterschap Aa en Maas: $8.570 \text{ m}^2 * 0,06 \text{ m (60 mm)} * 1 \text{ (gevoeligheidsfactor)} = 514,2 \text{ m}^3$. De gevoeligheidsfactor is afkomstig van de Kaart Algemene Regel afvoer regenwater door verhard oppervlak.

Figuur 4: Lay-out hemelwaterberging stedenbouwkundig plan (bron: PM+VAST) Molenweg-Oude Molen Liessel (gemeente Deurne).



De capaciteit van dit IT-riool per strekkende meter kan vrij nauwkeurig bepaald worden door drie afzonderlijke componenten te berekenen en die te sommeren. Ten eerste wordt de capaciteit bepaald door de volledig gevulde buis met een diameter van 300 mm. Per strekkende meter is dat afgerond 70 liter. Ten tweede kan water geborgen worden in de poriën van het omhullende drainagezand. Bij een porievolume van 25% bedraagt de bergingscapaciteit per strekkende meter 104 liter. Ten derde vindt infiltratie plaats naar de omringende bodem. Het IT-riool kan hierdoor extra hemelwater verwerken. Deze hoeveelheid bedraagt 250 l/dag ($1,0 \text{ m breedte} * 1 \text{ m/d} * 25\% \text{ poriën}$) bij een conservatieve k-waarde van 1 m/d per strekkende meter infiltratieriool. De bijbehorende leeglooptijd bedraagt 17-19 uur. De gemeten k-waarden bevonden zich in de range van 1,0 tot 8,6 m/d en duiden naar verwachting op een kortere leeglooptijd.

Figuur 5: Lay-out voorgesteld infiltratie- en transportriool Molenweg-Oude Molen in Liessel.



Wanneer deze drie afzonderlijke componenten worden opgeteld, kan het IT-riool per dag en per strekkende meter 420 l (0,42 m³) verwerken³. Deze hoeveelheid wordt voor een belangrijk deel bepaald door de zeer goede waterdoorlatendheid van de zandige bodem op locatie. Wanneer 320 m IT-riool wordt aangelegd (figuur 4), dan kan per dag 134,4 m³ (afgerond 130 m³) geborgen en geïnfilteerd worden⁴. Bij deze berekening is uitgegaan van een drempelhoogte in het systeem van 0,5 m-mv. Een hoger peil in het IT-riool leidt tot overloop naar een tweetal krattenvelden.

³ 70 l + 104 l + 250 l/dag = 420 l/dag.

⁴ 320 m * 0,42 m³/m = 134,4 m³

4.2 INFILTRATIEKRATTEN

Omdat de aanleg van 320 m IT-riool onvoldoende bergings- en infiltratiecapaciteit genereert, worden aanvullend 2 velden met infiltratiekratten ter plaatse van de groenvoorzieningen aangelegd. Deze kratten met een hoogte van 1 m worden aan gebracht op een diepte tussen 0,5 tot 1,5 m-mv. Dat is zowel boven (§ 4.3) de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) als voldoende diep om beide terreinen nog als groenvoorziening in te kunnen richten. Ter plaatse van de noordelijke groenvoorziening is 200 m² oppervlak beschikbaar om 200 m³ hemelwaterberging met infiltratiekratten te realiseren (figuur 4). Wanneer ook dit krattenveld nagenoeg volledig gevuld is, kan het vertraagd overlopen in de bestaande en te behouden waterloop. Ter plaatse van de zuidelijke groenvoorziening is 220 m² oppervlak beschikbaar om 220 m³ hemelwaterberging met infiltratiekratten te realiseren (figuur 4). Wanneer dit krattenveld nagenoeg volledig gevuld is, kan het vertraagd overlopen naar het gemeentelijk rioolstelsel onder de weg Oude Molen aan de zuidzijde van de locatie.

Na aanleg van de voorgestelde combinatie van 320 m IT-riool (130 m³) en 2 velden met infiltratiekratten (met een gezamenlijk oppervlak van 420 m² en inhoud van 420 m³) kan in totaal 550 m³ hemelwater geborgen en geïnfiltreerd worden. Dit volume is ruimschoots voldoende en overstijgt de berekende maatgevende berging, die 514 m³ bedraagt.

4.3 GEMIDDELD HOOGSTE GRONDWATERSTAND (GHG)

Alle infiltratievoorzieningen dienen boven de GHG aangelegd te worden. Tijdens het uitgevoerde veldwerk in november 2022 bevond het grondwaterpeil zich op 3,2 m-mv en is op basis van het opgeboorde bodemprofiel bij boring 1 (B1) een GHG geschat van 1,5 tot 2,0 m-mv. Recent (oktober 2023) is een meetreeks met grondwaterpeilingen afkomstig van een freatische peilbuis op slechts 50 meter afstand van de ontwikkellocatie ter beschikking gesteld. Op basis van deze particuliere meetreeks is de GHG nauwkeuriger vastgesteld.

Op basis van 262 handmatige peilingen tijdens de periode 2018-2023 is de GHG berekend aan de hand van de 95-percentielwaarde (Hoogland & Runhaar, 2006). Hieruit volgt een peil van 1,75 m-mv (25,55 m +NAP). De locatie van de peilbuis ten opzichte van de ontwikkellocatie en aanvullende berekeningen zijn opgenomen in bijlage D. In deze bijlage is ook een fragment van het regionale grondwaterstromingsbeeld in 2020 (Grondwatertools GDN-TNO) opgenomen, waaruit op regionale schaal een noordwestelijke grondwaterstroming volgt. Deze stromingsrichting, of lokale varianten daarop, vormt in combinatie met diepe grondwaterpeilen en een goede waterdoorlatendheid geen belemmering voor het infiltreren van hemelwater.



5. Conclusies

Ter plaatse van de onderzoekslocatie is de zandige bodemlaag tot een diepte van circa 2,20 m-mv redelijk tot (zeer) goed waterdoorlatend (k-waarden 1,0 tot 8,6 m/d) en daarmee geschikt voor de infiltratie van hemelwater afkomstig van nieuw verhard oppervlak. Op basis van een nabijgelegen peilbuis is een gemiddeld hoogste grondwaterstand van 1,75 m-mv berekend. Uit het meest recente stedenbouwkundig plan voor de ontwikkellocatie blijkt sprake van een toename van het verhard oppervlak met ruim 8.500 m² waaruit een nominale bergings- en infiltratieopgave voor hemelwater volgt van 514 m³. Om te kunnen anticiperen op eventuele wijzigingen en/of onvoorziene omstandigheden is een robuust ontwerp gemaakt met een capaciteit van circa 550 m³.

Dit ontwerp bestaat uit de aanleg van 320 m infiltratie- en transportriool (capaciteit 130 m³), dat kan overlopen naar een noordelijk (capaciteit 200 m³) en zuidelijk (capaciteit 220 m³) gelegen krattenveld, dat ter plaatse van 2 groenvoorzieningen boven de GHG wordt aangelegd. Wanneer het het IT-riool en beide krattenvelden volledig gevuld zijn, kan het vertraagd overlopen naar een bestaande watergang (noordelijk krattenveld) en naar het gemeentelijk rioolstelsel (zuidelijk krattenveld).

Gegeven de vastgestelde geohydrologische omstandigheden ter plaatse van de ontwikkellocatie en de op hoofdlijnen uitgewerkte wijze van bergen en infiltreren blijkt het mogelijk om de nieuwbouw hydrologisch neutraal te realiseren, waarbij geen overlast op locatie of de omgeving daarvan optreedt.

6. Aanbevelingen

Deze rapportage besluit met 2 aanbevelingen.

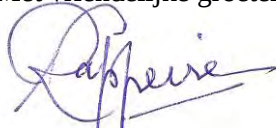
Ten eerste wordt aanbevolen om deze rapportage, waaraan een praktische oplossing voor het bergen en infiltreren van de maatgevende hoeveelheid neerslag is toegevoegd, aan de gemeente Deurne en Waterschap Aa en Maas voor te leggen. Wanneer het bevoegd gezag zich kan vinden in de geschetste oplossing, dan volgt hieruit de 2^e aanbeveling.

Aanbevolen wordt om de detailuitwerking van het toekomstige watersysteem door een infiltratiespecialist verder te laten uitwerken voor wat betreft definitieve aanleg- en stuwpeilen, de constructie van de krattenvelden, de overloopvoorzieningen (drempelhoogte) en de wijze waarop het systeem kan worden beheerd en onderhouden om de werking ook op de lange termijn te kunnen garanderen. En deze uitwerking te delen met de gemeente en met de waterbeheerder.



Mocht u naar aanleiding van het uitgevoerde infiltratieonderzoek en de rapportage daarvan evenals de wijze waarop berging en infiltratie van hemelwater op de ontwikkellocatie wordt voorgesteld nog vragen of opmerkingen hebben, dan verneem ik die graag.

Met vriendelijke groeten,



Ir R. (Rimbaud) E. Lapperre

Landslide milieu-adviesbureau

Bijlage A Boorprofielen

Bijlage B Dubbele-ring-infiltratiemetingen

Bijlage C Omgekeerde putproeven

Bijlage D Gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG)



Bijlage A

Boorprofielen





Boring 1

- 0,00 - 0,35 m-mv donkerbruin matig fijn zand
- 0,35 - 1,55 m-mv grijs/crème matig fijn zand (leemarm)
- 1,55 - 2,20 m-mv grijs/oranje matig fijn zand (zwak lemig)
- 2,20 - 3,74 m-mv grijs/crème matig grof tot matig fijn zand (sterk lemig)
- 3,74 - 4,00 m-mv grijze leem

Maaiveldhoogte: 27,25 m +NAP

Grondwaterstand op 17 november 2022: 3,20 m-mv (24,05 m +NAP)





Boring 2 (OP1) → zie bijlage C

0,00 - 0,40 m-mv donkerbruin matig fijn zand

0,40 - 0,70 m-mv crème matig fijn zand (leemarm)

0,70 - 1,24 m-mv grijs/crème matig fijn zand (zwak lemig)

1,24 - 1,57 m-mv crème/oranje matig fijn zand (matig lemig)

Maaiveldhoogte: circa 27,32 m +NAP

Grondwaterstand op 17 november 2022: 3,20 m-mv (24,12 m +NAP)





Boring 3 (OP2) → zie bijlage C

- 0,00 - 0,42 m-mv donkerbruin matig fijn zand
- 0,42 - 0,67 m-mv crème matig fijn zand (leemarm)
- 0,67 - 1,75 m-mv crème/oranje matig fijn zand (matig lemig)
- 1,75 - 2,00 m-mv grijs matig fijn zand (matig lemig)

Maaiveldhoogte: circa 27,28 m +NAP

Grondwaterstand op 17 november 2022: 3,20 m-mv (24,08 m +NAP)





Boring 4 (OP3) → zie bijlage C

0,00 - 0,35 m-mv donkerbruin matig fijn zand

0,35 - 1,34 m-mv crème matig fijn zand (leemarm)

Maaiveldhoogte: circa 27,31 m +NAP

Grondwaterstand op 17 november 2022: 3,20 m-mv (24,11 m +NAP)



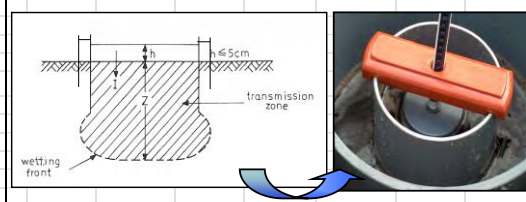
Bijlage B

Dubbele-ring-infiltratiemetingen



Berekenen van de verticale doorlatendheid (K_v) in de onverzadigde zone met behulp van de dubbele-ring-infiltrometer

Methode:



Uitvoering:

1. Ringen correct installeren (h maximaal 5 cm!)
2. Onverzadigde zone voldoende (voor)verzadigen
3. Infiltratiemeting in 3-voud tenzij zeer goed waterdoorlatend
4. Meettabel invoeren en (gemiddelde) k -waarde berekenen

minuten cm	1 ^e serie	2 ^e serie	3 ^e serie
00:00	25.0		
10:00	19.0		

8.6 m/d K_{sat} gemiddeld (berekend via $lnal$)

Berekening:

1. K_{sat} berekenen volgens rekenmethode 1
2. Indicatieve foutmarge in rapportage vermeld

Rekenmethode 1 (Bron: Smedema en Reycroft, Londen, 1983)

Determination of the hydraulic conductivity

16.3.1 Infiltrometer-method

An infiltration measurement is carried out, using either a single or a double ring infiltrometer. Measurements can be made at the surface or at different depths below the soil surface (on 'steps' in a profile pit see figure 16.1). The infiltration rate (I) of water into the soil is governed by Darcy's Law:

$$I = K_a \frac{h+z-P}{z} \quad \dots\dots (eq. 16.4)$$

where: I = infiltration rate ($m \cdot day^{-1}$)
 K_a = hydraulic conductivity of the soil at moisture content θ ($m \cdot day^{-1}$)
 h = water depth on the soil surface (m)
 z = depth to the wetting front (m)
 P = soil water pressure at the wetting front, inside the transmission zone (m)

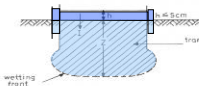


FIGURE 16.10 Single ring infiltration measurement

The moisture content in the transmission zone becomes virtually saturated so that $\theta \rightarrow \theta_{sat}$ and $P \rightarrow 0$ (this applies to most medium/heavy textured soils, but not for coarse textured soils). When $\theta \rightarrow \theta_{sat}$ also $K_a \rightarrow K_{sat}$. After prolonged infiltration, z becomes relatively large compared to $(h-P)$ so that the hydraulic gradient approaches unity $\left(\frac{h+z-P}{z} \rightarrow 1 \right)$.

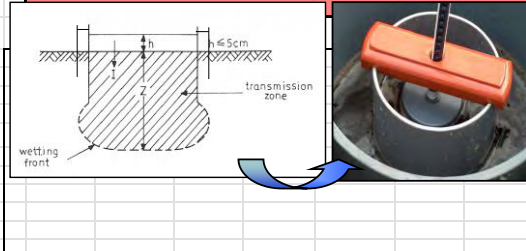
$$So: \quad I_{final} = K_a \frac{h+z-P}{z} \sim K_{sat}$$

- Evaluation**
- (a) This method measures K_v (vertical hydraulic conductivity).
 - (b) The method is simple but is not very accurate due to:
 - I_{final} only approximates K_{sat} (see above)
 - soil variability (small volume of soil involved; at least 3 replicates should be made to arrive at a reasonably reliable value)
 - disturbance of soil when driving the infiltrometer ring into the soil.

Datum: 17 november 2022
 Locatie: Molenweg ong. Liesse
 Meetpuntnummer: RM1-meetpunt RM1
 Projectnummer: 2022-05-001
 Meettraject: 0,75 m-mv

Berekenen van de verticale doorlatendheid (K_v) in de onverzadigde zone met behulp van de dubbele-ring-infiltrometer

Methode:



Uitvoering:

1. Ringen correct installeren (h maximaal 5 cm!)
2. Onverzadigde zone voldoende (voor)verzadigen
3. Infiltratiemeting in 3-voud tenzij zeer goed waterdoorlatend
4. Meettabel invoeren en (gemiddelde) k -waarde berekenen

minuten cm	1 ^e serie	2 ^e serie	3 ^e serie
00:00	30.0		
10:00	26.0		

5.8 m/d K_{sat} gemiddeld (berekend via $lnal$)

Berekening:

1. K_{sat} berekenen volgens rekenmethode 1
2. Indicatieve foutmarge in rapportage vermeld

Determination of the hydraulic conductivity

16.3.1 Infiltrometer-method

An infiltration measurement is carried out, using either a single or a double ring infiltrometer. Measurements can be made at the surface or at different depths below the soil surface (on 'steps' in a profile pit see figure 16.1). The infiltration rate (I) of water into the soil is governed by Darcy's Law:

$$I = K_a \frac{h+z-P}{z} \quad \dots\dots (eq. 16.4)$$

where: I = infiltration rate ($m \cdot day^{-1}$)
 K_a = hydraulic conductivity of the soil at moisture content θ ($m \cdot day^{-1}$)
 h = water depth on the soil surface (m)
 z = depth to the wetting front (m)
 P = soil water pressure at the wetting front, inside the transmission zone (m)

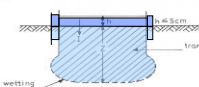


FIGURE 16.10 Single ring infiltration measurement

The moisture content in the transmission zone becomes virtually saturated so that $\theta \rightarrow \theta_{sat}$ and $P \rightarrow 0$ (this applies to most medium/heavy textured soils, but not for coarse textured soils). When $\theta \rightarrow \theta_{sat}$ also $K_a \rightarrow K_{sat}$. After prolonged infiltration, z becomes relatively large compared to $(h-P)$ so that the hydraulic gradient approaches unity $\left(\frac{h+z-P}{z} \rightarrow 1 \right)$.

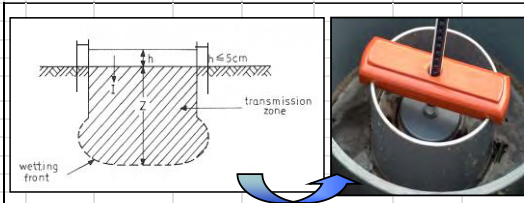
$$So: \quad I_{final} = K_a \frac{h+z-P}{z} \sim K_{sat}$$

- Evaluation**
- (a) This method measures K_v (vertical hydraulic conductivity).
 - (b) The method is simple but is not very accurate due to:
 - I_{final} only approximates K_{sat} (see above)
 - soil variability (small volume of soil involved; at least 3 replicates should be made to arrive at a reasonably reliable value)
 - disturbance of soil when driving the infiltrometer ring into the soil.

Datum: 17 november 2022
 Locatie: Molenweg ong. Liesse
 Meetpuntnummer: RM2-meetpunt RM2
 Projectnummer: 2022-05-001
 Meettraject: 0,55 m-mv

Berekenen van de verticale doorlatendheid (K_v) in de onverzadigde zone met behulp van de dubbele-ring-infiltrometer

Methode:



Uitvoering:

1. Ringen correct installeren (h maximaal 5 cm!)
2. Onverzadigde zone voldoende (voor)verzadigen
3. Infiltratiemeting in 3-voud tenzij zeer goed waterdoorlatend
4. Meettabel invoeren en (gemiddelde) k -waarde berekenen

minuten cm	1 ^e serie	2 ^e serie	3 ^e serie
00:00	30.0		
14:00	23.0		

7.2 m/d K_{sat} gemiddeld (berekend via I_{inf})

Berekening:

1. K_{sat} berekenen volgens rekenmethode 1
2. Indicatieve foutmarge in rapportage vermeld

Rekenmethode 1 (Bron: Smedema en Reycroft, Londen, 1983)

Determination of the hydraulic conductivity

353

16.3.1 Infiltrometer-method

An infiltration measurement is carried out, using either a single or a double ring infiltrometer. Measurements can be made at the surface or at different depths below the soil surface (on 'steps' in a profile pit see figure 16.1). The infiltration rate (I) of water into the soil is governed by Darcy's Law:

$$I = K_s \frac{h+z-P}{z} \quad \dots \dots \text{(eq. 16.4)}$$

where: I = infiltration rate (m day^{-1})
 K_s = hydraulic conductivity of the soil at moisture content θ (m day^{-1})
 h = water depth on the soil surface (m)
 z = depth to the wetting front (m)
 P = soil water pressure at the wetting front, inside the transmission zone (m)

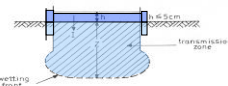


FIGURE 16.10 Single ring infiltration measurement

The moisture content in the transmission zone becomes virtually saturated so that $\theta \rightarrow \theta_{sat}$ and $P \rightarrow 0$ (this applies to most medium/heavy textured soils, but not for coarse textured soils). When $\theta \rightarrow \theta_{sat}$, also $K_s \rightarrow K_{sat}$. After prolonged infiltration, z becomes relatively large compared to $(h-P)$ so that the hydraulic gradient approaches unity ($\frac{h+z-P}{z} \rightarrow 1$).

$$\text{So: } I_{inf} = K_s \frac{h+z-P}{z} \sim K_{sat}$$

Evaluation

(a) This method measures K_s (vertical hydraulic conductivity).

(b) The method is simple but is not very accurate due to:

- I_{inf} only approximates K_{sat} (see above)
- soil variability (small volume of soil involved; at least 3 replicates should be made to arrive at a reasonably reliable value)
- disturbance of soil when driving the infiltrometer ring into the soil.

Datum: 17 november 2022
 Locatie: Molenweg ong. Liessel
 Meetpuntnummer: RM3-meetpunt RM3
 Projectnummer: 2022-05-001
 Meettraject: 0,65 m -mv

Bijlage C

Omgekeerde putproeven



ALGEMEEN			
Projectomschrijving:	Omgekeerde putproeven ten behoeve van doorlatendheidsbepaling in de onverzadigde zone		
Locatie:	Molenweg (ong.) Liessel		
Uitvoerder(s) veldwerk:	Ir. Rimbaud Lapperre		
Projectleider:	Ir. Rimbaud Lapperre		
Projectnummer opdrachtgever:	n.v.t.		
Datum uitvoering metingen:	donderdag 17 november 2022		
Meetpuntnummer:	OP1 in boring 2		
	Enkele meetserie		
Uitwerking meetgegevens:	De heer ir. R.E. Lapperre (Landslide milieu-adviesbureau)		
Datum uitwerking:	2 december 2022		
Projectnummer:	2022-05-001		
MATEN MEETOPSTELLING			
Meetpunt (mp) tot onderkant buis:	1.70	[m]	
Meetpunt tot maaiveld:	0.38	[m]	
Maaiveld (mv) tot onderkant buis:	1.32	[m]	
Diameter (2r) boorgat:	0.07	[m]	
Straal (r) boorgat (peilbuisdiameter):	0.035	[m]	
Onderzochte bodemlaag:	0.82-1.32	[m-mv]	tijdens beschouwde meetperiode
Grondwaterstand (bij benadering):	3.20	[m-mv]	
Voorverzadiging boorgat met peilbuis:	5	[liter]	
MEETGEGEVENS MEETREEKS(EN)			
Tijd (t) (seconden)	meter minus mp (m-mp)	meter minus mv (m-mv)	stijghoogte (h) (m + referentieniveau)
0	1.13	0.75	0.57
20	1.17	0.79	0.53
26	1.20	0.82	0.50
44	1.25	0.87	0.45
75	1.30	0.92	0.40
139	1.35	0.97	0.35
249	1.40	1.02	0.30
HORizontale DOORLATENDHEID (OMGEKEERDE BOORGATMETHODE)			
$k = 1.15 * r \left(\frac{\log(h_0 + r/2) - \log(h_t + r/2)}{t} \right) \quad [m/d]$			
$K_h = 4.6 \text{ m/d}$ (meettraject: 26 tot 139 seconden & 0.50 tot 0.35 meter boven referentieniveau)			



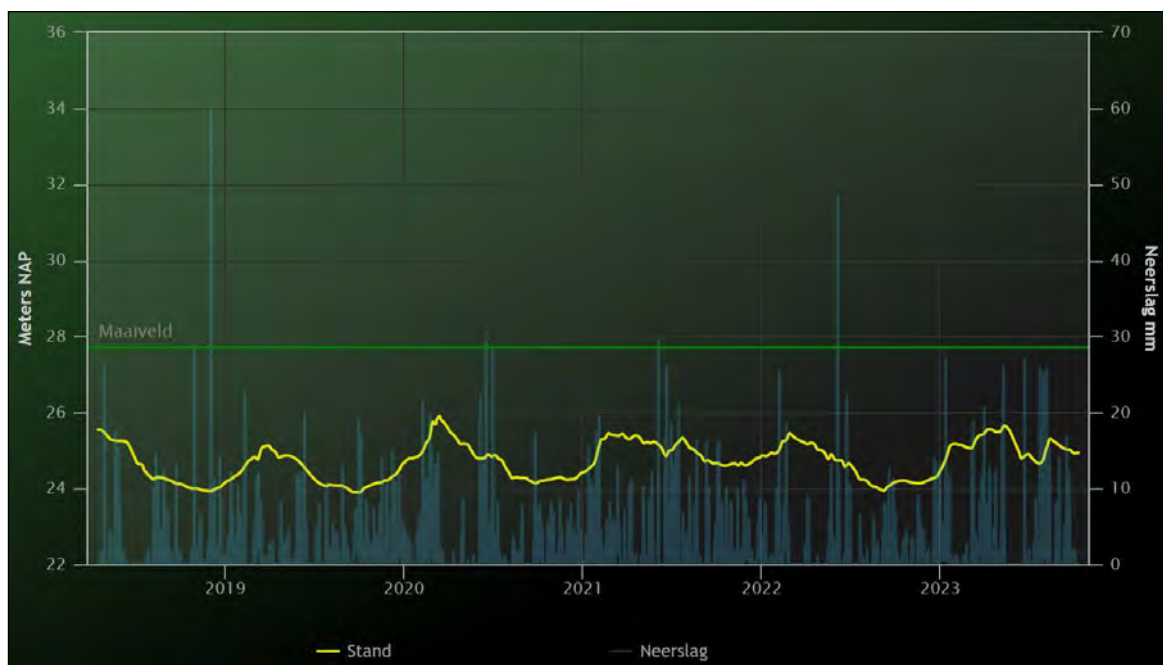
ALGEMEEN			
Projectomschrijving:	Omgekeerde putproeven ten behoeve van doorlatendheidsbepaling in de onverzadigde zone		
Locatie:	Molenweg (ong.) Liessel		
Uitvoerder(s) veldwerk:	Ir. Rimbaud Lapperre		
Projectleider:	Ir. Rimbaud Lapperre		
Projectnummer opdrachtgever:	n.v.t.		
Datum uitvoering metingen:	donderdag 17 november 2022		
Meetpuntnummer:	OP2 in boring 3		
	Enkele meetserie		
Uitwerking meetgegevens:	De heer ir. R.E. Lapperre (Landslide milieu-adviesbureau)		
Datum uitwerking:	2 december 2022		
Projectnummer:	2022-05-001		
MATEN MEETOPSTELLING			
Meetpunt (mp) tot onderkant buis:	1.70	[m]	
Meetpunt tot maaiveld:	-0.15	[m]	
Maaiveld (mv) tot onderkant buis:	1.85	[m]	
Diameter (2r) boorgat:	0.07	[m]	
Straal (r) boorgat (peilbuisdiameter):	0.035	[m]	
Onderzochte bodemlaag:	0.57-1.85	[m-mv]	tijdens beschouwde meetperiode
Grondwaterstand (bij benadering):	3.20	[m-mv]	
Voorverzadiging boorgat met peilbuis:	5	[liter]	
MEETGEGEVENS MEETREEKS(EN)			
Tijd (t) (seconden)	meter minus mp (m-mp)	meter minus mv (m-mv)	stijghoogte (h) (m + referentieniveau)
0	1.10	1.25	0.60
10	1.13	1.28	0.57
43	1.15	1.30	0.55
211	1.20	1.35	0.50
403	1.25	1.40	0.45
721	1.30	1.45	0.40
HORIZONTALE DOORLATENDHEID (OMGEKEERDE BOORGATMETHODE)			
$k = 1.15 \cdot r \left(\frac{\log(h_0 + r/2) - \log(h_t + r/2)}{t} \right) \quad [\text{m/d}]$			
$K_h = 1.0 \text{ m/d}$ (meettraject: 10 tot 211 seconden & 0.57 tot 0.50 meter boven referentieniveau)			

<u>ALGEMEEN</u>			
Projectomschrijving:	Omgekeerde putproeven ten behoeve van doorlatendheidsbepaling in de onverzadigde zone		
Locatie:	Molenweg (ong.) Liessel		
Uitvoerder(s) veldwerk:	Ir. Rimbaud Lapperre		
Projectleider:	Ir. Rimbaud Lapperre		
Projectnummer opdrachtgever:	n.v.t.		
Datum uitvoering metingen:	donderdag 17 november 2022		
Meetpuntnummer:	OP3 in boring 4		
	Enkele meetserie		
Uitwerking meetgegevens:	De heer ir. R.E. Lapperre (Landslide milieu-adviesbureau)		
Datum uitwerking:	2 december 2022		
Projectnummer:	2022-05-001		
<u>MATEN MEETOPSTELLING</u>			
Meetpunt (mp) tot onderkant buis:	1.70	[m]	
Meetpunt tot maaiveld:	0.50	[m]	
Maaiveld (mv) tot onderkant buis:	1.20	[m]	
Diameter (2r) boorgat:	0.07	[m]	
Straal (r) boorgat (peilbuisdiameter):	0.035	[m]	
Onderzochte bodemiaag:	0.50-1.20	[m-mv]	tijdens beschouwde meetperiode
Grondwaterstand (bij benadering):	3.20	[m-mv]	
Voorverzadiging boorgat met peilbuis:	5	[liter]	
<u>MEETGEGEVENS MEETREEKS(EN)</u>			
Tijd (t) (seconden)	meter minus mp (m-mp)	meter minus mv (m-mv)	stijghoogte (h) (m + referentieniveau)
0	1.08	0.58	0.62
27	1.20	0.70	0.50
62	1.30	0.80	0.40
168	1.40	0.90	0.30
432	1.50	1.00	0.20
<u>HORizontale DOORLATENDHEID (OMGEKEERDE BOORGATMETHODE)</u>			
$k = 1.15 * r \left(\frac{\log(h_0 + r/2) - \log(h_t + r/2)}{t} \right) \quad [m/d]$			
$K_h = 5.2 \text{ m/d}$ (meettraject: 27 tot 168 seconden & 0.50 tot 0.30 meter boven referentieniveau)			

Bijlage D

Gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG)





Meetreeks peilbuis Berk001_G (50 m van locatie)

Periode:	16 april 2018 - heden
Aantal metingen:	262
Hoogste peil:	25,90 m +NAP (1,40 m-mv)
Laagste peil:	23,90 m +NAP (3,40 m-mv)
Gemiddeld peil:	24,73 m +NAP (2,57 m-mv)
Stromingsrichting grondwater:	(noord)westelijk (regionaal) → pagina 25
GHG:	25,55 m +NAP (1,75 m-mv) 95 percentiel
GLG:	24,00 m +NAP (3,30 m-mv) 5 percentiel

