

Bemalingsadvies

Bemalingsonderzoek randvoorziening aan de Sandersweg, Maastricht
GB201105.R01.V1.0

8 december 2020



Bemalingsadvies

Bemalingsonderzoek randvoorziening aan de Sandersweg, Maastricht

Documentnummer GB201105.R01.V1.0

8 december 2020

Opdrachtgever

Dura Vermeer Infra Regio Zuid Oost BV

Postbus 359

2130AJ Hoofddorp

Auteurs

Adviseur geohydrologie

Collegiale toets

+31 88 130 06 00

info@geonius.nl

Postbus 1097

6160 BB Geleen

Geonius.nl

| Functie | Naam | Paraaf |
|------------------------|------|--------|
| Adviseur geohydrologie | | |
| Collegiale toets | | |

Inhoud

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Inleiding | 4 |
| 2 | Projectbeschrijving | 5 |
| 3 | Grondonderzoek | 6 |
| 3.1 | Algemeen | 6 |
| 3.2 | Boring | 6 |
| 3.3 | Doorlatendheidsmetingen | 7 |
| 3.4 | Inmeting | 7 |
| 3.5 | Archiefgegevens | 7 |
| 4 | Geohydrologie | 8 |
| 4.1 | Geologie | 8 |
| 4.2 | Grondwaterstanden | 9 |
| 4.3 | Oppervlaktewater | 9 |
| 4.4 | Geohydrologische eigenschappen | 9 |
| 5 | Bemalingsadvies | 11 |
| 5.1 | Algemeen | 11 |
| 5.2 | Bemalingsmethodiek | 11 |
| 5.3 | Modellering | 12 |
| 5.4 | Resultaten | 13 |
| 5.5 | Beoordeling effecten van de verlaging op de omgeving | 15 |
| 5.6 | Toetsing aan de Waterwet en de keur van Waterschap Limburg | 18 |
| 5.6.1 | Onttrekken | 18 |
| 5.6.2 | Lozen | 18 |
| 6 | Conclusie en advies | 20 |
| 6.1 | Algemeen | 20 |
| 6.2 | Aandachtspunten | 20 |
| 6.3 | Overige risico's en maatregelen | 21 |

Bijlagen

Bijlage 1 Situatietekening

Bijlage 2 Boringen

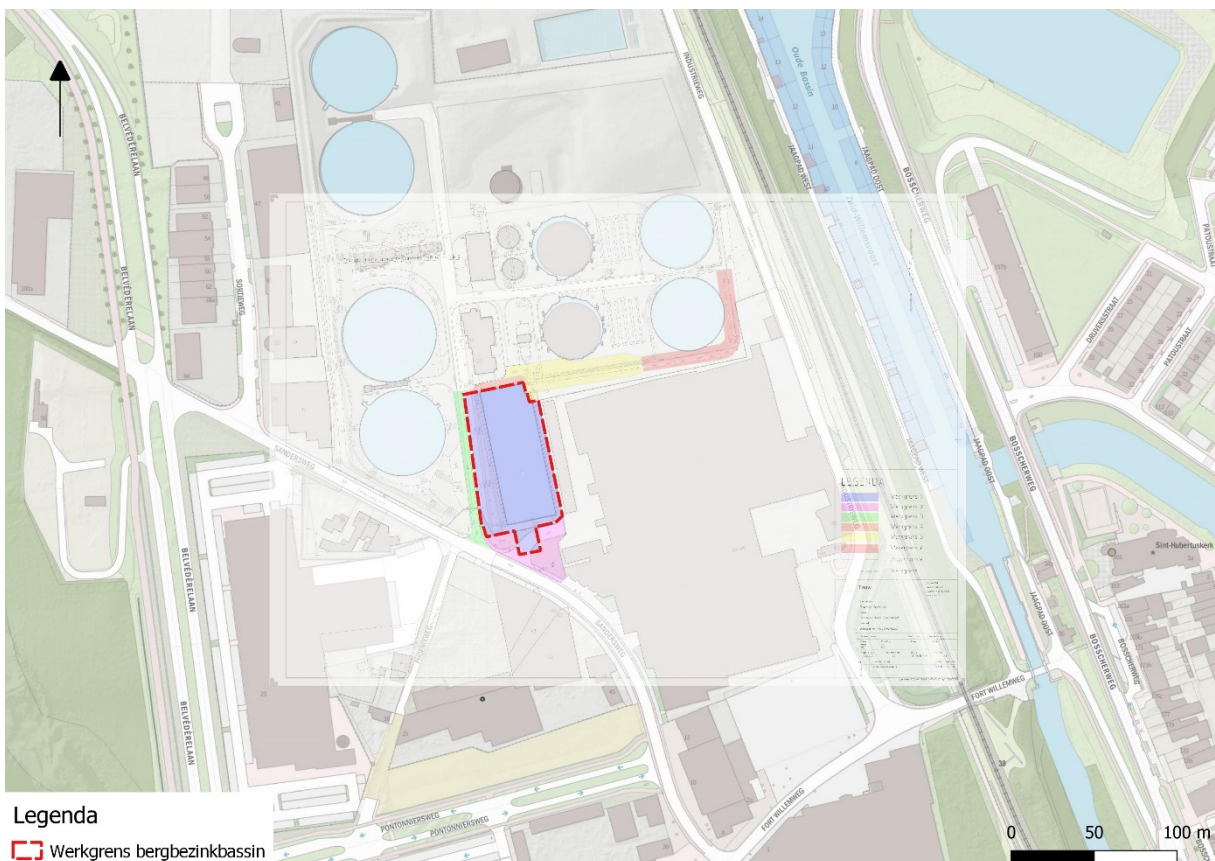
Bijlage 3 Doorlatendheidsmetingen

1 Inleiding

Door Dura Vermeer Infra Regio Zuid Oost BV werd aan Geonius Geotechniek B.V. opdracht gegeven een geohydrologisch grondonderzoek uit te voeren en een bemalingsadvies op te stellen. Dit onderzoek was nodig voor de geplande realisatie van een bergbezinkbassin aan de Sandersweg te Maastricht. De ligging van het bergbezinkbassin is afgebeeld Figuur 1.1. Het doel van het bemalingsadvies is middels geohydrologisch onderzoek een inschatting te maken van het benodigde debiet teneinde werkzaamheden in den droge uit te kunnen voeren. Tevens is middels grondwatermodellering de invloed van de bemaling bepaald op de omgeving.

Ter plaatse van de projectlocatie wordt door ons bureau ook een geotechnisch grondonderzoek uitgevoerd en een funderingsadvies opgesteld. De resultaten van voornoemd onderzoek zullen separaat worden gerapporteerd onder kenmerk: GA201105.R01.V1.0.

Voorliggend rapport bevat de resultaten van het geohydrologisch onderzoek, het bemalingsadvies en de beoordeling van de effecten op de omgeving.



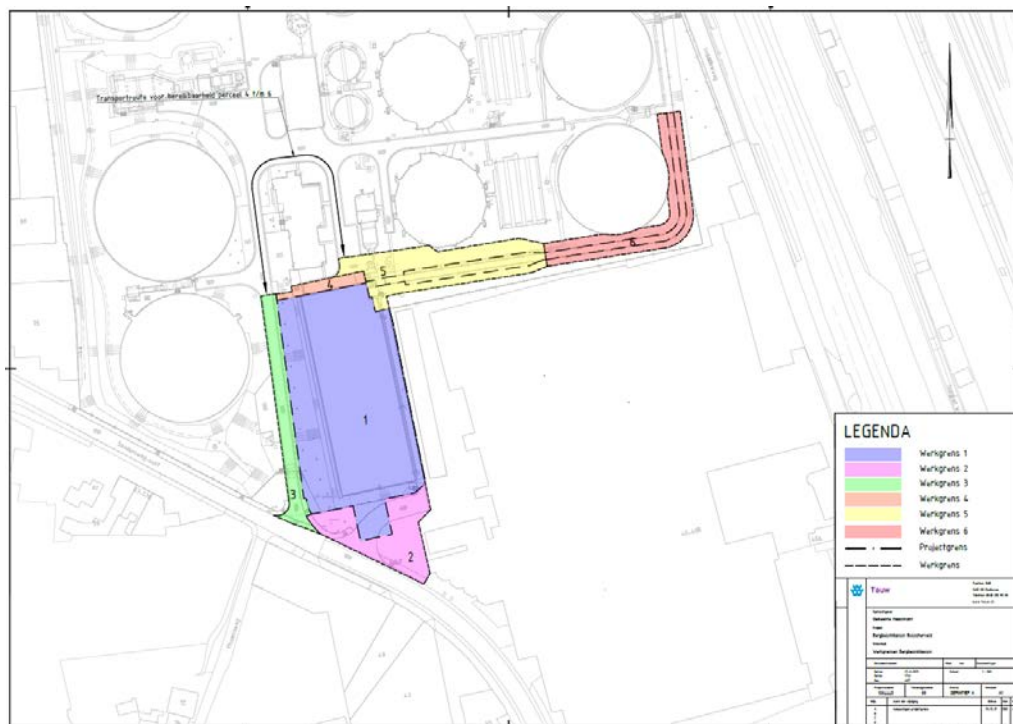
Figuur 1.1 Ligging bergbezinkbassin ter plaatse van de projectlocatie

2 Projectbeschrijving

Aan de Sanderweg te Maastricht is de aanleg van een bergbezinkbassin gepland. Voor het bemalingsadvies zijn op basis van de verstrekte documenten, door ons de onderstaande uitgangspunten aangehouden:

- Het maaiveldniveau ter plaatse van de projectlocatie bedraagt ca. NAP +46,0 m;
- De gewenste grondwaterstand tijdens de uitvoering is conform aanvraag opdrachtgever door ons aangenomen op ca. NAP +40,3 m.
- Op verzoek van de opdrachtgever is uitgegaan van een bemaling middels een horizontaal drainagesysteem;
- In voorliggend rapport is het te bemalen gebied conform aanvraag opdrachtgever aangehouden op "werkgrans 1". De ligging van "werkgrans 1" is aangehouden op basis de door opdrachtgever aangeleverde tekeningen met kenmerk:
 - "D-01 1264443-060-Werkgrenzen-DEFA-20191213.pdf", project nr. 1264443, d.d. 13 december 2019, Tauw (Figuur 2.1)
- De totale duur van de bemaling bedraagt 7 maanden (213 werkdagen);
- Er is van uitgegaan dat er geen waterkerende voorzieningen worden toegepast;
- Er zijn geen bemalingen in de directe nabijheid actief die de invloed en het debiet kunnen beïnvloeden;
- Eventuele beperkingen of randvoorwaarden als gevolg van milieukundige aspecten zijn buiten beschouwing gelaten.

Indien wordt afgeweken van voornoemde uitgangspunten dan dient ons bureau te worden gecontacteerd daar dan het advies mogelijk moet worden aangepast.



Figuur 2.1 Ligging "werkgrans 1" op basis van aangeleverd document:D-01 1264443-060-Werkgrenzen-DEFA-20191213.pdf

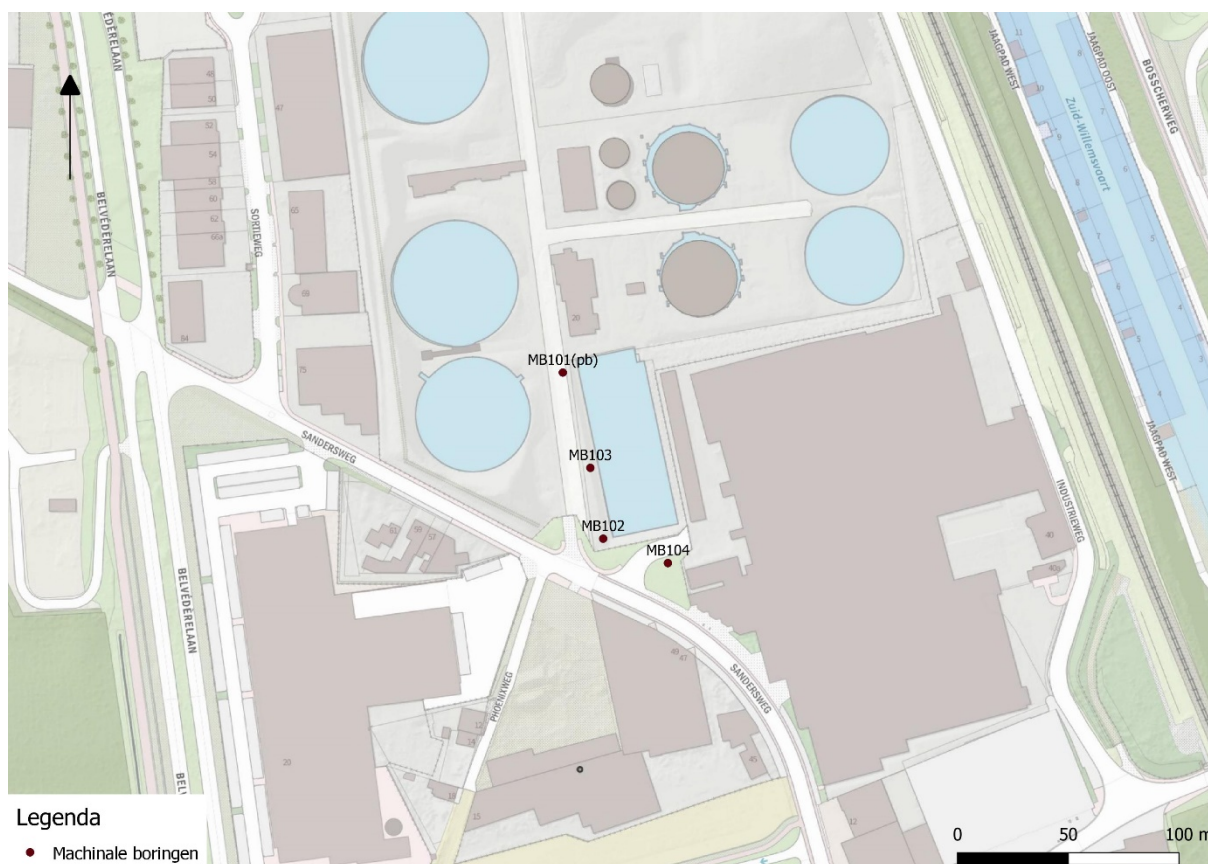
3 Grondonderzoek

3.1 Algemeen

Ten behoeve van het geohydrologisch grondonderzoek zijn in november 2020 in totaal 4 machinale boringen uitgevoerd. Ter plaatse van de boringen zijn tevens 4 doorlatendheidsmetingen uitgevoerd en is 1 peilbuis geplaatst.

3.2 Boring

Om de toplagen nader te verkennen zijn op de locatie 4 machinale boringen (genummerd GB201105 MB101 t/m MB104) tot ca. 8,0 m- maaiveld uitgevoerd. Tijdens de boorwerkzaamheden is het bodemmateriaal lithologisch onderzocht. Bij het lithologisch onderzoek worden de grondsoorten geassocieerd volgens NEN 5104. De boorstaat is opgenomen in de bijlagen. De ligging van de uitgevoerde boringen is afgebeeld in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Ligging machinale boringen ter plaatse van projectlocatie

3.3 Doorlatendheidsmetingen

De doorlatendheidsmetingen zijn in de boorgaten uitgevoerd. Aangezien de doorlatendheid van de verzadigde lagen is bepaald zijn de doorlatendheidsmetingen conform de methode Hooghoudt uitgevoerd. De doorlatendheidsmetingen zijn genummerd GB201105 DM01 t/m DM04.

Bij de Hooghoudtmethode wordt een gat geboord tot in de te beproeven laag. Vervolgens wordt in het boorgat de apparatuur geplaatst voor de bepaling van de waterdoorlatendheid. Daarna wordt onder gestandaardiseerde omstandigheden de stijging van het waterpeil gemeten per tijdsinterval. Per proef worden drie metingen gedaan. De doorlatendheid van de bodem is afhankelijk van het bodemmateriaal, de structuur en de bodemopbouw. Met deze veldgegevens kan de doorlatendheid van het beproefde traject met behulp van de formule van Ernst worden berekend.

3.4 Inmeting

De ligging van de onderzoekspunten is op situatietekening GB201105.T01 weergegeven. De resultaten van het grondonderzoek zijn in de bijlagen toegevoegd.

De onderzoekspunten zijn met behulp van 06-GPS ingemeten t.o.v. het Rijksdriehoekstelsel en NAP (nauwkeurigheid ca. 0,10 m). Alle gegevens van de inmetingen zijn een momentopname en zijn alleen te gebruiken voor voorliggend onderzoek.

3.5 Archiefgegevens

Bij TNO-dinoloket zijn peilbuisgegevens en boringen opgevraagd en verwerkt. Daarnaast is het REGISII-model geraadpleegd teneinde meer inzicht te verkrijgen in de geomorfologische ligging en geohydrologische eigenschappen van de ondergrond.

4 Geohydrologie

4.1 Geologie

De op de locatie te verwachten bodemopbouw kan op basis van de boringen en TNO-gegevens door middel van het volgende lagensysteem worden beschreven, zie ook Figuur 4.1:

Holocene afzettingen

Vanaf maaiveld (ca. NAP +46,0 m) wordt tot ca. NAP 43,5 m een sterk zandig, zwak tot matig grindig leempakket aangetroffen.

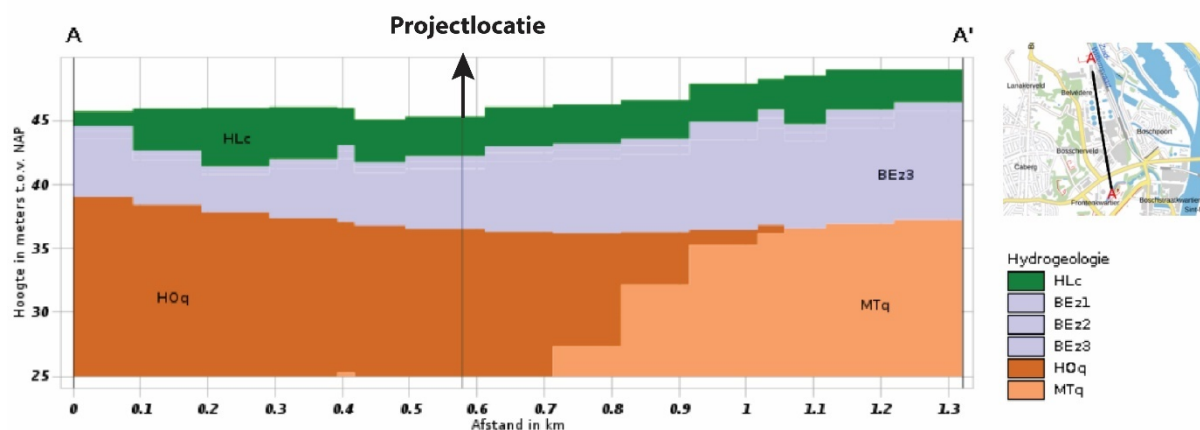
Formatie van Beegden, eerste & tweede zandige eenheid

De hieronder gelegen Formatie van Beegden betreft een (zeer) goed doorlatend zandgrindpakket, welke zich op basis van het REGIS II-mode doorzet tot ca. NAP +36,5 m. De formatie van Beegden is op basis van de machinale boringen matig grof en zwak tot sterk zandig.

Formatie van Houthem, Maastricht & Gulpen, kalksteeneenheden

Vervolgens worden de kalksteeneenheden van de Formatie van Houthem, Maastricht & Gulpen verwacht tot ca. NAP -133 m.

Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2



Figuur 4.1 Verticale doorsnede REGIS II model

4.2 Grondwaterstanden

Tijdens de uitvoering van het geohydrologisch onderzoek is in de boorgaten het grondwater aangetroffen op een diepte van ca. 4,8 tot 4,5 m - maaiveld, hetgeen overeenkomt met een niveau van NAP +41,6 tot NAP +40,9 m. Deze waarneming is slechts een indicatie omdat spanningswater, het grondprofiel, lokale omstandigheden en seizoensafhankelijke factoren een storende invloed kunnen hebben. Exacte grondwaterstanden kunnen alleen middels peilbuismetingen worden verkregen. Derhalve is gebruik gemaakt van een van een bestaande peilbuis (peilbuis 302, filterdiepte 7 m- MV) ter plaatse van de projectlocatie vanuit een door derden uitgevoerd onderzoek (Tauw, kenmerk: N008-1264443AET-V01-hgm-NL d.d. 5 maart 2020). Op basis van een meetreeks van ca. 1 jaar schommelt de grondwaterstand tussen de ca. NAP +41,4 tot +41,7 m. Ter berekening van de benodigde grondwater verlaging wordt in voorliggend advies uitgegaan van een hoge grondwaterstand van ca. NAP +41,6 m.

4.3 Oppervlaktewater

Ten westen van de projectlocatie loopt de Zuid-Willemsvaart en de Maas op ca. 250 m afstand. De Zuid-Willemsvaart heeft een gereguleerd peil van ca. NAP +40,3m, en staat gezien de aanwezige damwanden en kleibekleding of sliblaag, niet of zeer beperkt in verbinding met het grondwater.

De Maas heeft ten zuiden van Stuw Borgharen een gereguleerd peil van ca. NAP +44,1 m. Ten noorden van de stuw fluctueert de waterstand onder normale omstandigheden tussen ca. NAP +37,5 en 39,5 m.

Op basis van eerder uitgevoerd geohydrologisch onderzoek door Tauw (kenmerk: N008-1264443AET-V01-hgm-NL d.d. 5 maart 2020), zijn grondwaterstandsschommelingen waargenomen onder invloed van veranderende waterstanden van de Maas. Deze fluctuatie is echter beperkt tot ca. 0,3 m.

Op basis van de gemeten grondwaterstanden, oppervlaktewaterstanden en fluctuaties, wordt verwacht dat de voeding van de Maas naar het grondwater beperkt is. Ook gezien de aanwezigheid van Zuid-Willemsvaart, welke de stroming van de projectlocatie richting de Maas beperkt. Er is echter niet uit te sluiten dat tijdens hoge Maaswaterstanden (ten noorden van Stuw Borgharen) hogere debieten zijn vereist als gevolg van voeding van het grondwater door de Maas, of dat toch enige voeding vanuit de Zuid-Willemsvaart plaatsvindt.

In de modellering is de Zuid-Willemsvaart als modelgrens met vast peil aangenomen. Dit is reëel aangezien zodoende geen invloed aan de oostkant van de vaart wordt berekend, hetgeen ook is te verwachten. Dit kan echter resulteren in een onderschatting van de berekende grondwaterstandsverlaging tussen de projectlocatie en de vaart.

4.4 Geohydrologische eigenschappen

Met de resultaten van de doorlatendheidsmetingen is de doorlatendheid van het watervoerend pakket bepaald (Formatie van Beegden). De doorlatendheidsmetingen zijn conform de Hooghoudtmethode uitgevoerd, echter is door de (zeer) hoge doorlatendheid van de Formatie van Beegden enkel ter plaatse van MB101 voldoende grondwaterverlaging bereikt om middels de Hooghoudtmethode een betrouwbare k-waarde te berekenen. Door de geringe grondwaterstandsverlaging is ter plaatse van MB103 & MB104 (<10 cm) is de doorlatendheid op basis van de constant head methode berekend. Ter plaatse van MB04 (DM03) is bereikte grondwaterverlaging dusdanig laag, dat hier zowel middels de methode van Hooghoudt als de constant head methode geen betrouwbare k-waarde kan worden berekend. Wel kan worden geconcludeerd dat de doorlatendheid hier waarschijnlijk > 150 m/d bedraagt.

Aanvullend op de doorlatendheidsmetingen, zijn korrelverdelingsanalyses uitgevoerd. Op basis van korrelverdelingen kan middels empirische relaties een doorlatendheid worden berekend. Deze empirisch bepaalde k-waarde geeft een orde van grootte van de doorlatendheid, er kan slechts een beperkte nauwkeurigheid aan worden verbonden. In Tabel 4.1 is een overzicht gegeven van de resultaten.

Tabel 4.1 de doorlatendheid van de bodem op basis van doorlatendheidsmetingen

| Meting | Boring | Methode | Traject [m- maaiveld] | Traject [m t.o.v. NAP] | Grondsoort | Doorlatendheid [m/d] |
|--------|------------------|---------------|--------------------------|------------------------------|---------------|-------------------------|
| DM01 | MB101 | Hooghoudt | 7,0 – 8,0 | 38,6 – 37,6 | Grind, zandig | 60,3 – 120,7 |
| DM02 | MB103 | Constant head | 4,0 – 5,0 | 39,0 – 38,0 | Grind, zandig | 95,2 – 143,0 |
| DM03 | MB104 | Constant head | 7,0 – 8,0 | 40,1 – 39,1 | Grind, zandig | >150 |
| DM04 | MB101 | Zeefanalyse | 4,5 – 6,0 | 41,1 – 39,6 | Grind, zandig | 39,0 – 60,7 |
| DM05 | MB101 & MB104 | Zeefanalyse | 6,0 – 7,0 5,0 – 6,0 | 40,1 – 39,1 40,6 – 39,6 | Grind, zandig | 52,2 |
| DM06 | MB104 | Zeefanalyse | 6,0 – 8,0 | 40,1 – 38,1 | Grind, zandig | 59,1 – 59,6 |
| DM07 | MB101 | Zeefanalyse | 7,0 – 7,0 | 38,6 – 37,9 | Grind, zandig | 152,1 |

Op basis van de uitgevoerde doorlatendheidsmetingen middels de methode van Hooghoudt, constant head en korrelverdelingsdiagrammen is een aanzienlijk grote range aan doorlatendheden berekend (40 - >150 m/dag). Het REGIS II-model geeft een vergelijkbare doorlatendheid (180 m/d). Doordat de ondergrond (zeer) goed doorlatend is, is tijdens de doorlatendheidsmetingen geen toereikende grondwaterstandsverlaging bereikt waardoor de nauwkeurigheid van de proef sterk afneemt. Doorlatendheden kunnen daardoor in de praktijk een stuk hoger uitvallen. Derhalve is in voorliggend rapport uitgegaan van doorlatendheden conform het REGIS II-model. De doorlatendheden in het REGIS II-model zijn gebaseerd op grootschalige pompproeven, welke ten tijde van de bemaling naar verwachting beter overeenkomen met de daadwerkelijke doorlatendheid van de Formatie van Beegden.

5 Bemalingsadvies

5.1 Algemeen

Uitgaande van een gewenste grondwaterstand van NAP +40,3 m en een gemeten grondwaterstand van ca. NAP +41,6 m bedraagt de benodigde verlaging ca. 1,3 m.

Er is van uitgegaan dat de werkzaamheden zullen worden uitgevoerd in een open bouwput. Er is dus geen rekening gehouden met een waterkerende constructie zoals damwanden. De uitvoeringstermijn is door ons aangenomen op 213 werkdagen.

Voorgenoemde uitgangspunten zijn samengevat in Tabel 5.1.

Tabel 5.1: Uitgangspunten

| Ontgravings-niveau [m t.o.v. NAP] | Grondwaterstand [m t.o.v. NAP] | Gewenste grondwaterstand [m t.o.v. NAP] | Verlaging [m] | Duur [dagen] |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---|------------------|-----------------|
| +40,3 | +41,6 | +40,3 | 1,3 | 213 |

De opdrachtgever is voornemens de bemaling uit te voeren middels een horizontaal drainagesysteem, met als doel de debieten en hiermee negatieve omgevingseffecten (verdroging en zettingen) tot een minimum te beperken.

Het doel van voorliggend rapport is dan ook:

- De debieten en omgevingseffecten bij de voorgestelde uitvoeringswijze in beeld te brengen, om vast te stellen of hiermee (voldoende) aan die doelstelling kan worden voldaan;
- De haalbaarheid van de voorgestelde uitvoeringswijze te beoordelen;
- Er wordt wel geadviseerd in alternatieven, deze worden niet doorgerekend. De berekende debieten en reikwijdten kunnen als minimum voor alternatieve bemalingsmethoden worden beschouwd.

5.2 Bemalingsmethodiek

De voorgestelde onttrekkingsmethode wordt over het algemeen enkel in slecht doorlatende gronden toegepast. In grofzandige of grindige ondergrond wordt horizontale drainage sporadisch toegepast, op basis van onze ervaring bij doorlatendheden tot ca. 40 m/d. Of de bereikte verlaging van voldoende is, is ook afhankelijk van het doel van de bemaling: in die gevallen blijkt het bijvoorbeeld wel mogelijk in den droge te werken, maar niet om de grondwaterstand voldoende te verlagen voor het zorgvuldig verdichten van een grondverbetering.

Het te onttrekken debiet zal middels horizontale drainage beperkt zijn t.o.v. een verticale onttrekking, echter bestaat er een aannemelijk risico dat er niet voldoende verlaging kan worden gecreëerd door de (zeer) hoge gemeten doorlatendheden van de Formatie van Beegden (>150 m/dag).

Indien voldoende pompcapaciteit beschikbaar is, kan in theorie voldoende verlaging worden bereikt. In de praktijk kent dit een aantal beperkingen/aandachtspunten (naast het risico op niet bereiken van voldoende verlaging):

- Er kan uitspoeling van taluds en taludinstabiliteit optreden, door de sterke grondwaterstroming bij de teen van de taluds;
- De grondwaterstand wordt niet verder verlaagd dan het ontgravingsniveau waardoor een reguliere grondverbetering niet voldoende kan worden verdicht.

Een bemaling in deze zeer goed doorlatende ondergrond wordt over het algemeen middels verticale onttrekkingsputten uitgevoerd (deep-wells) waarmee in ieder geval voldoende grondwaterverlaging kan worden gecreëerd.

In voorliggend rapport zijn de debieten en effecten berekend uitgaande van een horizontaal drainagesysteem. Indien gezien de praktische uitvoerbaarheid en risico's toch voor een bemaling middels deepwells wordt gekozen, kunnen de berekende debieten en reikwijdten als minimum worden beschouwd.

Indien deze debieten en reikwijdten als te hoog worden beschouwd, zullen als alternatief methoden zonder bemaling overwogen moeten worden.

Het te onttrekken debiet is afhankelijk van de uiteindelijke fasering, drainligging en de grondwaterstanden tijdens de uitvoering, de resultaten dienen derhalve als oriënterend te worden ervaren.

De debieten en de invloed op de omgeving kunnen beperkt worden door de bemaling uit te voeren tijdens perioden met lage grondwaterstanden;

5.3 Modellerings

De grondwaterberekeningen voor het vaststellen van onttrekkingshoeveelheden en verlaginglijnen zijn in MicroFEM uitgevoerd. MicroFEM is een eindig-elementenprogramma waarin in meerdere aquifers de stationaire en niet-stationaire grondwaterstroming gemodelleerd kan worden. Door variatie in dikte en eigenschappen van watervoerende en waterremmende lagen en verhang in stijghoogten is 3D-modellerings van grondwaterstanden en -stromingen mogelijk. In de modellerings wordt uitgegaan van homogene doorlatendheidseigenschappen.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek en de archiefgegevens is een geohydrologisch profiel opgesteld. Op basis van het REGIS II-model wordt voor de kalksteen formaties van Houthem & Maastricht een totaal doorlaatvermogen van ca. 700 m²/d toegewezen (met name de Formatie van Houthem is goed doorlatend). Het REGIS II-model is echter een regionaal model, waarbij het doorlaatvermogen van de kalksteenformaties met name bepaald wordt door de breuken / karsten in het gesteentepakket (de secundaire doorlatendheid). De invloed op kleinere schaal tijdens een bemaling is op voorhand lastig in te schatten, aangezien niet bekend is of op de locatie karsten aanwezig zijn.

In boring MB101, welke tot in de kalksteen is geraakt, zijn geen indicaties van karsten aangetroffen. Aanvullend is het aannemelijk dat er boven de Formatie van Houthem een verweerde laag semipermeabel materiaal ligt, waardoor de invloed op de bemaling nagenoeg te verwaarlozen is.

Afhankelijk van de daadwerkelijke doorlatendheid van de kalksteenformaties kan de invloed op de bemaling aanzienlijk (goed doorlatend) of verwaarloosbaar zijn. Derhalve zijn 2 aparte modelberekeningen als gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarin de invloed van de kalksteen formaties op de onttrekkingsdebieten is bepaald. In Tabel 5.2 & Tabel 5.3 zijn de gehanteerde geohydrologische profielen voor de modellering weergegeven waarin de kalksteen formaties zowel als hydrologische basis als goed doorlatend pakket zijn gemodelleerd. In de modellering is uitgegaan van freatisch grondwater en een horizontaal maaiveld. De transmissiviteit is gelijk aan het product van de doorlatendheid en de dikte van de laag.

Tabel 5.2: overzicht van het geohydrologisch profiel Formatie van Houthem als basis

| Laag | Bovenkant [m t.o.v. NAP] | Onderkant [m t.o.v. NAP] | Dikte [m] | Transmissiviteit [m ² /d] | Hydraulische weerstand [d] |
|---|-----------------------------|-----------------------------|--------------|---|----------------------------------|
| Onverzadigde toplaag | 45,3 | 41,6 | 3,7 | - | - |
| Grind, matig grof, sterk zandig (Beegden) | 41,6 | 36,5 | 5,1 | 920 | - |
| Kalksteen (Houthem) | 36,5 | ∞ | ∞ | - | ∞ |

Tabel 5.3 overzicht van het geohydrologisch profiel Formatie van Gulpen als basis

| Laag | Bovenkant [m t.o.v. NAP] | Onderkant [m t.o.v. NAP] | Dikte [m] | Transmissiviteit [m ² /d] | Hydraulische weerstand [d] |
|---|-----------------------------|-----------------------------|--------------|---|----------------------------------|
| Onverzadigde toplaag | 45,3 | 41,6 | 3,7 | - | - |
| Grind, matig grof, sterk zandig (Beegden) | 41,6 | 36,5 | 5,1 | 920 | - |
| Kalksteen (Houthem) | 36,5 | 23 | 13,5 | 620 | 1 |
| Kalksteen (Maastricht) | 23 | -27 | 50 | 75 | 100 |
| Kalksteen (van Gulpen) | -27 | ∞ | ∞ | - | ∞ |

Ter modellering van verticale stroming tussen de watervoerende lagen, is op basis van een anisotropiefactor van 3 een verticale weerstand aan de watervoerende lagen toegekend.

Op basis van een gewenste grondwaterstand van NAP +40,3 m, is het benodigd debiet voor een horizontaal drainagesysteem bepaald op basis van de gehanteerde doorlatendheden in Tabel 5.2 & Tabel 5.3.

5.4 Resultaten

Op grond van de beschikbare gegevens zijn met het programma MicroFEM de benodigde onttrekkingen bepaald. In Tabel 5.4 is de range in resultaten weergegeven op basis van het geohydrologisch profiel in Tabel 5.2 & Tabel 5.3. In Figuur 5.1 zijn de stationair berekende verlagingcontouren weergegeven.

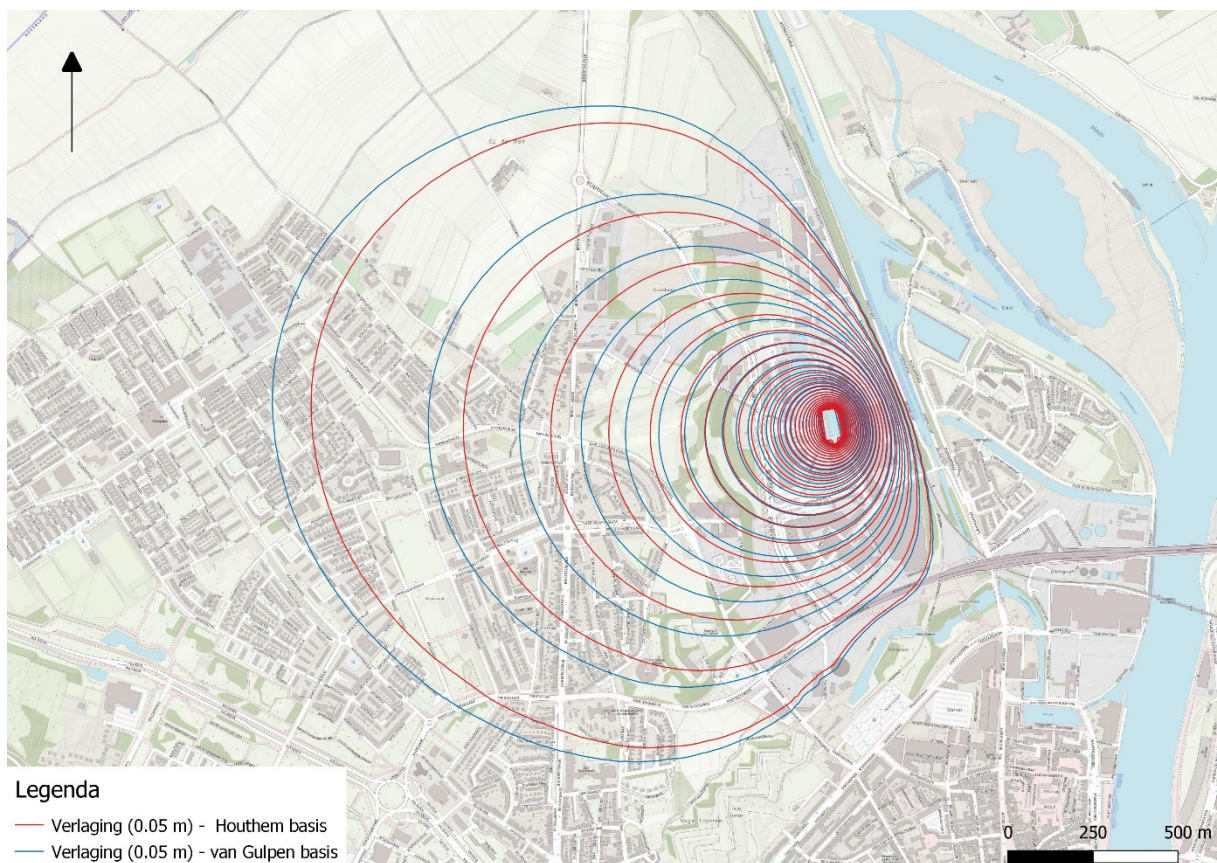
Tabel 5.4 Debieten

| Verlaging [m] | Debiet o.b.v. geschatte duur [m ³] | Debiet [m ³ /uur*] | Reikwijdte [m] |
|------------------|--|----------------------------------|-------------------|
| 1,3 | 722.000 – 1.126.000 | 140 - 220 | 1500 - 1650 |

* Het gegeven debiet is een gemiddelde waarde, bij de start van de bemaling zal het debiet meer bedragen teneinde een stationaire toestand te creëren

In de berekeningen is de Zuid-Willemsvaart als vast freatisch peil in de modellering gestopt. Dit is reëel aangezien zodoende geen invloed aan de oostkant van de vaart wordt berekend, hetgeen ook is te verwachten. Dit kan echter resulteren in een onderschatting van de berekende grondwaterstandsverlaging tussen de projectlocatie en de vaart.

Als bovenrandvoorwaarde is een grondwateraanvulling (neerslagoverschot) van ca. 0,7 mm/dag toegepast. Bij de bepaling van de invloedssfeer van de bemalingen is uitgegaan van een vlak maaiveld. Uit de modellering blijkt dat tot op een afstand van ca. 1500-1650 meter de verlaging ca. 0,05 m bedraagt. De berekende reikwijdte is relatief hoog. Dit kan verklaard worden door de hoge debieten en door de afwezigheid van een verzadigde deklaag, waardoor aan de bovengrens van het model enkel voeding door neerslag plaatsvindt. Deze waarde is sterk afhankelijk van de infiltratieweerstand van nabijgelegen oppervlaktewater en de doorlatendheid op grotere afstand van de bemaling, en kan alleen betrouwbaar middels een pompproef worden bepaald.



Figuur 5.1 Verlagscontouren (0.05) op basis van de geohydrologische schematisering in Tabel 5.2 & 5.3

5.5 Beoordeling effecten van de verlaging op de omgeving

De verlaging van het grondwaterniveau kan een negatief effect hebben op:

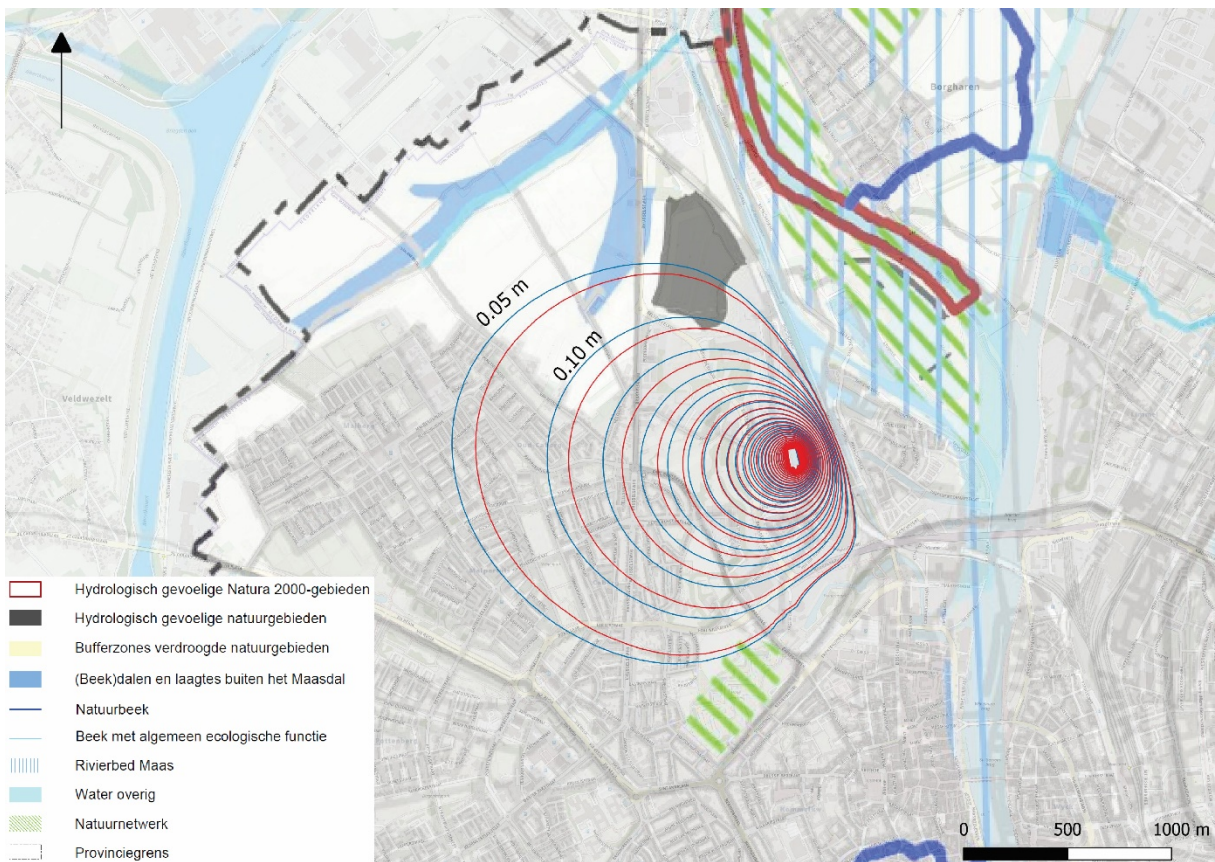
- de natuurwaarden in de omgeving ofwel ecologische beschermingsgebieden met de daarom gelegen bufferzones;
- de opbrengst van landbouwgewassen;
- de aanwezige bebouwing;
- verplaatsing van verontreinigingen;
- wijziging van het grond- en oppervlaktewatersysteem.

Ad 1 en 2

Voor een ecologisch beschermingsgebied en de bufferzones kan worden gesteld, dat de verlagingen lager moeten zijn dan 0,05 meter, om geen schade aan de vegetatie te veroorzaken. Dit betekent echter niet dat bij verlagingen van 0,05 m of groter schade zal ontstaan. Dit is namelijk afhankelijk van een groot aantal factoren zoals, type begroeiing, seizoen waarin de bemaling plaats vindt en de weersomstandigheden tijdens deze periode. Nabijgelegen begroeiing kan op basis van aanzienlijke bemalingsduur (7 maanden) schade ondervinden van de grondwateronttrekking. Gezien de diepte van het grondwater, betreft dit met name de dieper wortelende vegetatie (bomen). In Figuur 5.2 zijn de globale grondwaterverlagingen als gevolg van de grondwateronttrekking inzichtelijk gemaakt. Te noorden van het projectgebied bevindt zich tevens een hydrologisch gevoelig natuurgebied op basis van het Provinciaal Waterplan Limburg (2016-2021), zie Figuur 5.3. Met name de bomen aan de westzijde van de locatie verdienen de aandacht.



Figuur 5.3 Globale grondwaterverlaging ter plaatse van nabijgelegen begroeiing op basis van de modelberekening



Figuur 5.2 Provinciaal Waterplan Limburg (2016-2021).

Ad 3

Als gevolg van het verlagen van de grondwaterstand kan zetting optreden. In hoeverre zettingen en mogelijke zettingschade zullen optreden is afhankelijk van de funderingswijze van de bestaande bouwwerken, de bestaande bouwlasten, de grondwaterstandsverlaging, de tijdsduur van verlaging en de bodemopbouw.

De grondwateronttrekking vindt plaats in grofzandige en grindige ondergrond, welke niet gevoelig zijn voor zettingen. De zettingsgevoelige leemlagen, zijn reeds boven de grondwaterstand gelegen. Het risico op zettingen als gevolg van de bemaling wordt daarom beperkt geacht. Mogelijk komen in de omgeving tot diepere niveaus leemlagen voor waardoor er hier een groter risico op zettingen bestaat. Gezien de hogere gronden aan de westkant, en de (naar verwachting) beperkte voeding uit de Zuid-Willemsvaart, is dit met name ten oosten van de locatie een (beperkt) risico. Er wordt geadviseerd binnen de reikwijdte van de bemaling te inventariseren of kwetsbare (op staal gefundeerde) bebouwing of infrastructuur aanwezig is. Indien dat het geval is, kunnen de risico's op de desbetreffende locaties nader inzichtelijk worden gemaakt met aanvullende boringen. Tevens wordt geadviseerd hier een bouwkundige opname uit te voeren en tijdens de uitvoering de grondwaterstanden en deformaties te monitoren middels peilbuizen en zettingsbouten, om eventuele (on)terechte claims zorgvuldig af te kunnen handelen.

Om de nadelige effecten in de omgeving voor de bestaande funderingen door de grondwaterstandsverlaging te beperken, adviseren wij om de verlaging van het grondwater in de tijd zoveel mogelijk te beperken.

Ad 4

Als gevolg van een bemaling mogen eventuele grondwaterverontreinigingen binnen het invloedsgebied van de bemaling geen significante verplaatsing ondergaan. Gezien het goed doorlatende freatische pakket wordt niet verwacht dat de bemaling een relatieve bijdrage levert aan de verspreiding van eventueel aanwezige verontreinigingen. Bij ons bureau zijn tevens geen verontreinigingen in de nabije omgeving bekend.

Ad 5

Als gevolg van de verlaging van de grondwaterstand zal de grondwaterstroming tijdelijk enigszins worden verstoord. Gezien de tijdelijke duur van de bemaling, de beperkte verlaging en er geen diepe waterdichte obstakels in de grond worden gerealiseerd zal het grondwaterregime na afronding van de bemaling niet of nauwelijks gewijzigd zijn.

5.6 Toetsing aan de Waterwet en de keur van Waterschap Limburg ¹

5.6.1 Onttrekken

Waterwet

Conform artikel 6.4 van de Waterwet geldt een verbod zonder daartoe strekkende vergunning van gedeputeerde staten grondwater te onttrekken of water te infiltreren:

- a. ten behoeve van industriële toepassingen, indien de te onttrekken hoeveelheid water meer dan 150.000 m³ per jaar bedraagt;
- b. ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening of een bodemenergiesysteem.

Gezien de toepassing en de berekende debieten geldt een vergunningseis voor de bemaling.

Keur

Op grond van de Keur van het Waterschap Limburg geldt vergunningsplicht voor het onttrekken van grondwater indien:

- de debieten meer bedragen dan 100 m³ per uur;
- de debieten meer bedragen dan 50.000 m³ per maand;
- de onttrekking langer duurt dan 6 maanden.

Op basis van de keur geldt een vergunningseis voor de bemaling.

5.6.2 Lozen

Algemeen

Conform Artikel 1.4 van het besluit lozingen buiten inrichtingen (Blbi) is de gemeente bevoegd gezag voor lozingen in de bodem, op een diepte minder dan 10 m- maaiveld. Indien lozen dieper dan 10 m- maaiveld plaatsvindt zijn Gedeputeerde staten van de provincie bevoegd gezag.

Bij lozingen op oppervlaktewateren in beheer bij het Rijk is Rijkwaterstaat bevoegd gezag, bij lozen op overige oppervlaktewateren is het waterschap bevoegd gezag.

Bij lozingen op de riolering is de gemeente bevoegd gezag.

Kwantiteit

Voor lozingen geldt een vergunningsplicht indien de lozing meer bedraagt dan:

- 100 m³ per uur via een lozingsvoorziening in een primair water;
- 20 m³ per uur via een lozingsvoorziening in een secundair of overig water;

Op basis van de berekende debieten zijn de bemaling en eventuele lozing op oppervlaktewater vergunningsplichtig.

Kwaliteit

Deze algemene regel ziet niet op de waterkwaliteitsaspecten van het lozen van verontreinigende en schadelijke stoffen. Dat is geregeld in het Besluit lozingen buiten inrichtingen (Blbi).

Conform artikel 3.2 geldt:

- (lid 2) het lozen op of in de bodem is toegestaan;
- (lid 3) het lozen in een oppervlaktewaterlichaam is toegestaan indien:
 - a. het gehalte onopgeloste stoffen in enig steekmonster ten hoogste 50 milligram per liter bedraagt; en
 - b. als gevolg van het lozen geen visuele verontreiniging optreedt;
- (lid 5) Het lozen in een voorziening voor de inzameling en het transport van afvalwater, niet zijnde een vuilwaterriool, is toegestaan indien het gehalte onopgeloste stoffen in enig steekmonster ten hoogste 50 milligram per liter bedraagt en het ijzergehalte in enig steekmonster ten hoogste 5 milligram per liter bedraagt;
- (lid 7) Het lozen in een vuilwaterriool is verboden, tenzij:
 - a. het lozen ten hoogste 8 weken duurt **[voldoet niet]**;
 - b. de geloosde hoeveelheid ten hoogste 5 kubieke meter per uur bedraagt **[voldoet niet]**; en
 - c. het gehalte onopgeloste stoffen in enig steekmonster ten hoogste 300 milligram per liter bedraagt;
- (lid 8) Het bevoegd gezag kan met betrekking tot de tijdsduur en de hoeveelheid, bedoeld in het zevende lid bij maatwerkvoorschrift of bij verordening als bedoeld in artikel 10.32a van de Wet milieubeheer andere waarden stellen.

Op basis van het genomen watermonster kan geconcludeerd worden dat het lozen op oppervlaktewater en een voorziening voor de inzameling en het transport van afvalwater is toegestaan. Gezien het verwachte lozingsdebiet is het niet toegestaan op het vuilwaterriool te lozen.

Gedurende de lozing dient het lozingswater op een doelmatige wijze bemonsterd te kunnen worden en dient het lozingsdebiet op doelmatige wijze bepaald te kunnen worden.

Het actief terugbrengen van bronneringswater in dezelfde watervoerende laag als waaruit het is onttrokken, wordt niet beschouwd als een lozing of infiltratie maar als een retourbemaling. Indien retourbemaling wordt toegepast, is het vanuit een oogpunt van goed grondwaterbeheer noodzakelijk dat het grondwater wordt teruggebracht in het grondwaterpakket waaruit het is onttrokken.

Voor de volledige regelgeving wordt verwezen naar het Besluit lozen buiten inrichtingen.

6 Conclusie en advies

6.1 Algemeen

Er dient een bemaling te worden toegepast om de grondwaterstand met ca. 1,3 m te verlagen. De opdrachtgever is voornemens de bemaling uit te voeren middels een horizontaal drainagesysteem, met als doel de debieten en hiermee negatieve omgevingseffecten (verdroging en zettingen) tot een minimum te beperken.

Voor de bemaling zijn de volgende debieten en reikwijdte naar voren gekomen:

Tabel 6.1 debieten

| Verlaging [m] | Debiet o.b.v. geschatte duur [m ³] | Debiet [m ³ /uur*] | Reikwijdte [m] |
|------------------|--|----------------------------------|-------------------|
| 1,3 | 722.000 – 1.126.000 | 140 - 220 | 1500 - 1650 |

* Het gegeven debiet is een gemiddelde waarde, bij de start van de bemaling zal het debiet meer bedragen teneinde een stationaire toestand te creëren

- Uit de berekeningen volgt dat de reikwijdte van de bemalingen (verlaging = 0,05 m) maximaal ca. 1500 - 1650 m bedraagt. Op basis van de berekeningen wordt het totale waterbezwaar (bij een duur van 213 werkdagen voor de bemaling) geschat op ca. 722.000 – 1.126.000 m³;
- In de berekeningen is de Zuid-Willemsvaart als vast freatisch peil in de modellering gestopt. Dit is reëel aangezien zodoende geen invloed aan de oostkant van de vaart wordt berekend, hetgeen ook is te verwachten. Dit kan echter resulteren in een onderschatting van de berekende grondwaterstandsverlaging tussen de projectlocatie en de vaart.
- De berekende grondwaterverlaging reikt tot in hydrologisch gevoelig natuurgebied;
- Op basis van de Waterwet en de keur van Waterschap Limburg is voor de bemaling een vergunning vereist;
- Op basis van de berekende debieten is de lozing vergunningsplichtig.

6.2 Aandachtspunten

De zettingsrisico's worden beperkt geacht, aangezien de aangetroffen zettingsgevoelige lagen reeds boven de grondwaterstand zijn gelegen (zie §5.2). Er is wel risico op verdroging ter plaatse van de dieper wortelende vegetatie (m.n. bomen).

Met de voorgestelde uitvoeringswijze wordt, als gevolg van de zeer goed doorlatende ondergrond, slechts beperkt aan de doelstelling voldaan om risico's op verdroging te beperken. Bovendien is er een aanzienlijk risico dat de benodigde verlagingen niet worden bereikt.

Als alternatief kan gedacht worden aan een bemaling middels deepwells, waarbij de verlaging ter plaatse van diep wortelende vegetatie wordt beperkt door toepassing van enkele retourfilters. De bemaling dient dan opnieuw te worden doorgerekend op basis van de locatie van de retourbronnen.

Gezien de hoge en vergunningsplichtige debieten, en op basis van eerdere ervaringen in de Gemeente Maastricht, wordt geadviseerd ook een uitvoeringswijze zonder bemaling in overweging te nemen.

Bijvoorbeeld middels damwanden of CSM-wanden (tot op de kalksteen) en onderwaterbeton. Bij inbrengen van damwanden in de zeer grove ondergrond, dient rekening te worden gehouden met trillingen. Mogelijk komen damwanden niet op diepte, of springen deze uit het slot met lekkage tot gevolg. Bodeminjectie kan ook worden overwogen, mogelijk komen de injectielansen echter niet op diepte in de zeer grove ondergrond.

De benodigde verlagingen dienen alvorens de werkzaamheden te starten gecontroleerd te worden. De bemaling dient gestuurd te worden op basis van de bereikte verlaging, zodat niet meer wordt onttrokken dan strikt noodzakelijk.

Het te onttrekken debiet is afhankelijk van de uiteindelijke fasering, ligging van de onttrekkingsdrains en de grondwaterstanden tijdens de uitvoering, de resultaten uit voorliggend dienen derhalve als oriënterend te worden beschouwd.

6.3 Overige risico's en maatregelen

Er wordt benadrukt dat door de variabiliteit in de parameters van de ondergrond en de doorlatendheid van de pakketten de situatie in het terrein kan afwijken. Er wordt geadviseerd tijdens de bemaling regelmatig grondwaterstandpeilingen uit te voeren. Indien nodig kan dan tijdens de uitvoering worden bijgestuurd zodat negatieve effecten worden beperkt. Tevens kan hiermee kan een onnodig groot debiet worden voorkomen.

Indien de daadwerkelijk onttrokken debieten sterk afwijken adviseren wij om met ons bureau contact op te nemen zodat kan worden bepaald wat de effecten van deze afwijking gedurende de uitvoeringstermijn zijn.

Indien gewenst kan door ons bureau een monitoring worden uitgevoerd met peilbuizen en zettingsbouten, waarbij tevens een monitorings- en interventieplan wordt opgesteld en automatisch wordt gewaarschuwd als vooraf vastgestelde interventiewaarden van de grondwaterstand worden onderschreden.

Om te beoordelen wat de nauwkeurigheid van het gehanteerde model is, verzoeken wij de opdrachtgever om de gegevens van de definitieve bemaling aan ons te verstrekken. Het betreft hierbij met name de toegepaste filterstelling, het onttrokken debiet en de bereikte verlaging in de bouwput en in de omgeving. Zodoende hopen wij u in de toekomst nog beter van dienst te kunnen zijn.

Bijlagen



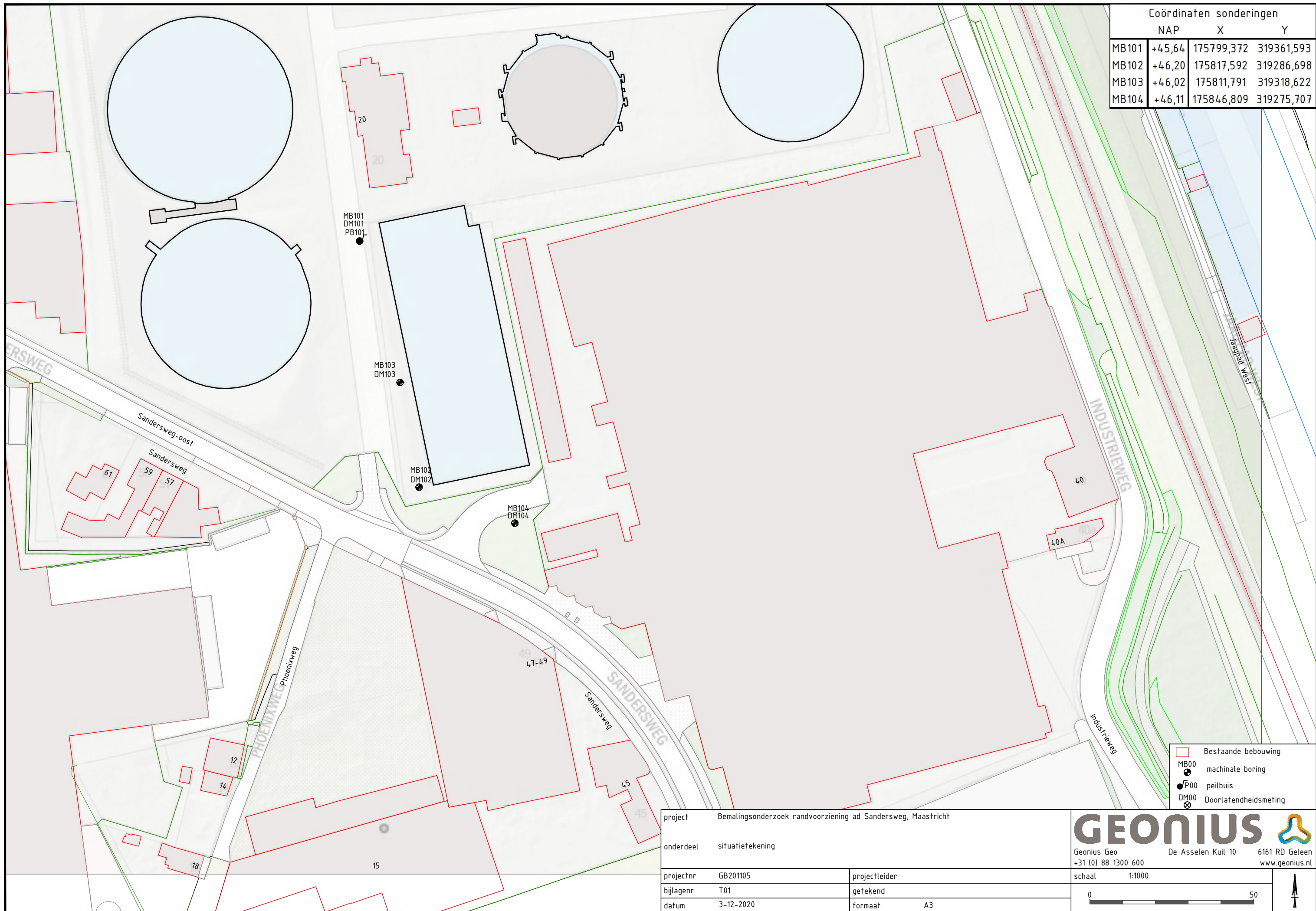
GEONIUS

Bijlage 1 Situatietekening



GEONIUS

| Coördinaten sonderingen | | | |
|-------------------------|--------|------------|------------|
| | NAP | X | Y |
| MB101 | +45,64 | 175799,372 | 319361,593 |
| MB102 | +46,20 | 175817,592 | 319286,698 |
| MB103 | +46,02 | 175811,791 | 319318,622 |
| MB104 | +46,11 | 175846,809 | 319275,707 |



| | | |
|-----------|--|---------------|
| project | Bemalingsonderzoek randvoorziening ad Sandersweg, Maastricht | |
| onderdeel | situatietekening | |
| projectnr | GB201105 | projectleider |
| bijlagenr | T01 | getekend |
| datum | 3-12-2020 | formaat A3 |

GEONIUS 

Geonius Geo De Asselen Kuil 10 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

schaal 1:1000

0 50 



Bijlage 2 Boringen



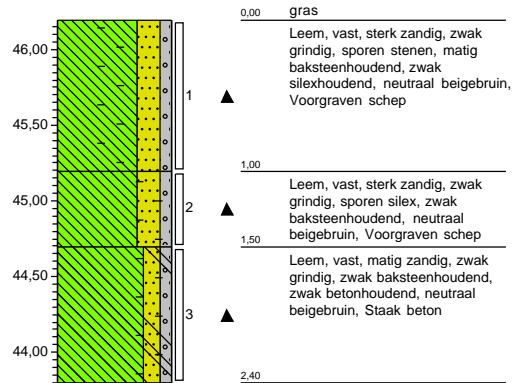
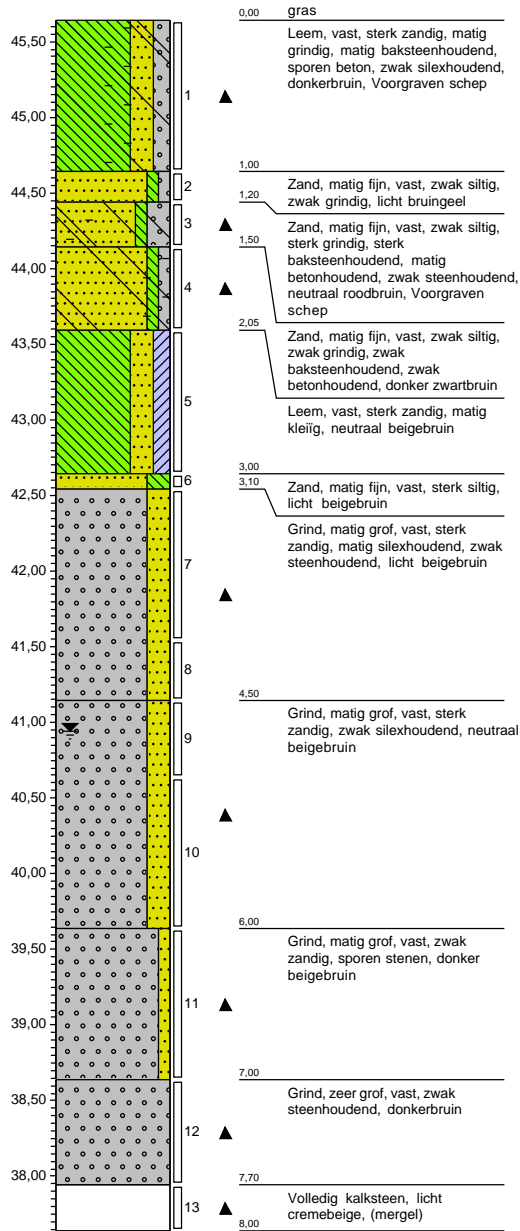
GEONIUS

boring: MB101
 Maaiveldhoogte: 45,642 m. t.o.v. N.A.P.
 GWS: 470 cm. -mv.
 Datum: 20-11-2020

X-coördinaat: 175799,37
 Y-coördinaat: 319361,59

boring: MB102
 Maaiveldhoogte: 46,195 m. t.o.v. N.A.P.
 Datum: 19-11-2020

X-coördinaat: 175817,59
 Y-coördinaat: 319286,69

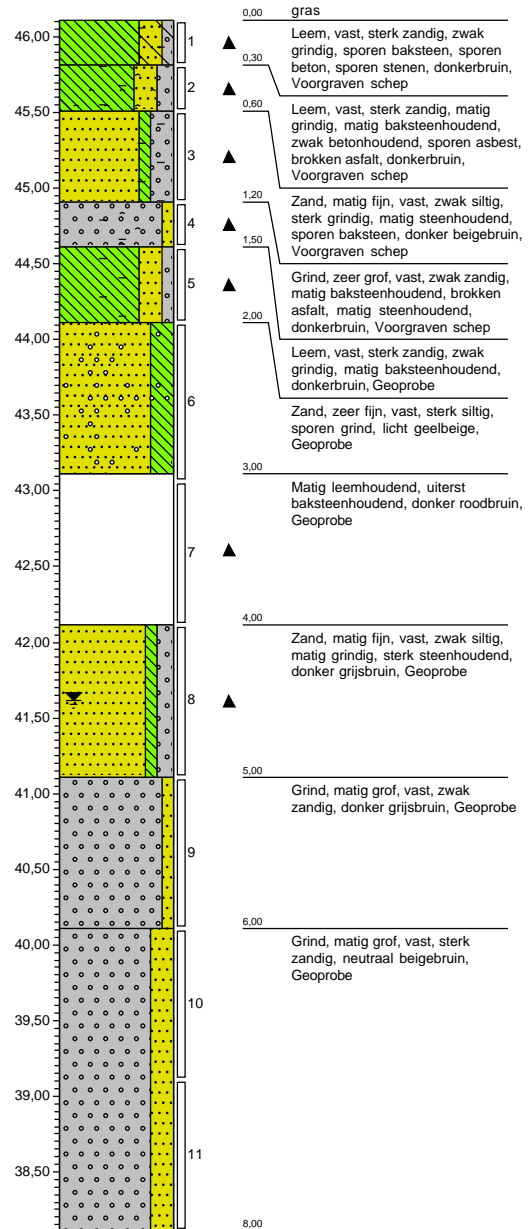
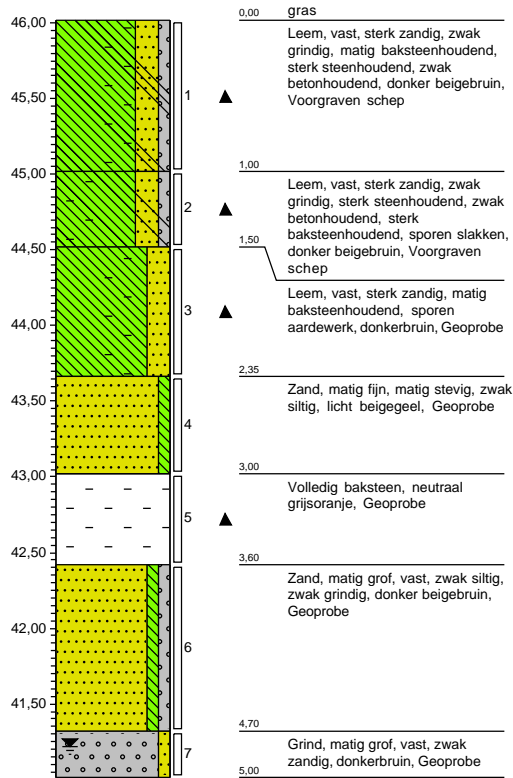


boring: MB103
 Maaiveldhoogte: 46,018 m. t.o.v. N.A.P.
 GWS: 480 cm. -mv.
 Datum: 19-11-2020

X-coördinaat: 175811,79
 Y-coördinaat: 319318,62

boring: MB104
 Maaiveldhoogte: 46,111 m. t.o.v. N.A.P.
 GWS: 450 cm. -mv.
 Datum: 20-11-2020

X-coördinaat: 175846,81
 Y-coördinaat: 319275,71



Bijlage 3 Doorlatendheidsmetingen



GEONIUS

projektschrijving: Bemalingsadvies
 lokatie : Maastricht
 boring : 101

opdr.nr : GB201105
 datum: 20-11-20
 meting: DM01

formule om de doorlatendheid volgens Hooghoudt te bepalen :

voor $S > 0,5H$ geldt :

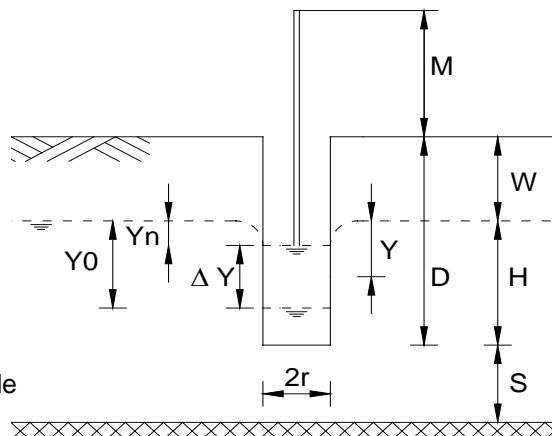
$$k = ((4000r^2)/((H+20r)*((2-(Y/H))*Y)))*(\Delta Y/\Delta t)$$

voor $S = 0$ geldt :

$$k = ((3600r^2)/((H+10r)*((2-(Y/H))*Y)))*(\Delta Y/\Delta t)$$

Hierbij is :

- Y = gemiddelde waterstand over de gehele meetperiode
- r = boorgatradius
- H = diepte boorgat beneden grondwaterspiegel
- Δt = verlopen tijd
- ΔY = stijging van de waterstand in boorgat over de gehele meetperiode

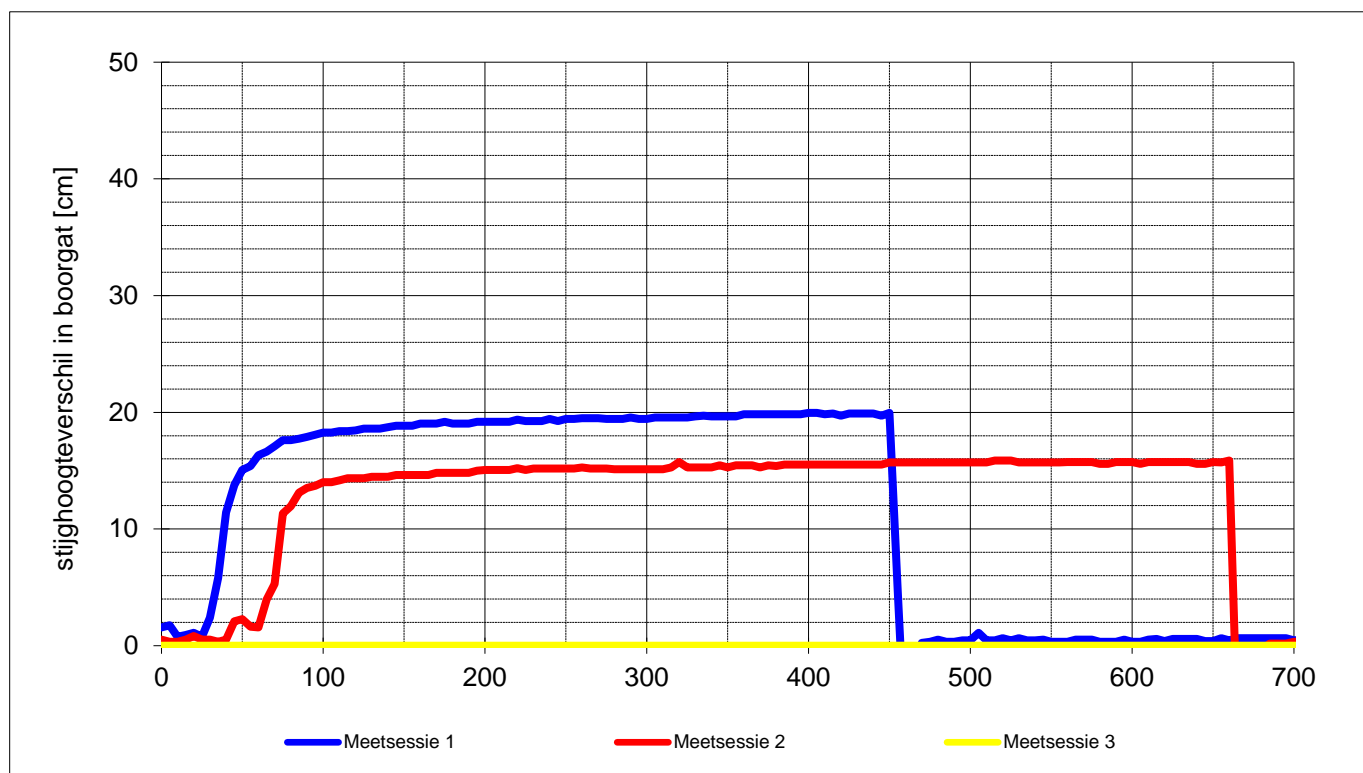


onderzoekswaarden

diepte boorgat beneden grondwaterspiegel
 standaardhoogte
 radiusboorgat
 grondwater

| | | |
|-----|--------|----|
| H : | 363,0 | cm |
| M : | 0,0 | cm |
| r : | 5,0 | cm |
| W : | 437,0 | cm |
| S : | 1000,0 | cm |

diepte v/e ondoorlatende laag beneden de bodem v/h boorgat



| meetsessie 1 | |
|--------------|-----------|
| t0 = | 451 sec |
| Y0 = | 19,95 cm |
| tn = | 460 sec |
| Yn = | -8,92 cm |
| ΔY = | 28,88 cm |
| r = | 5,00 cm |
| H = | 363,00 cm |
| Y = | 5,51 cm |
| Δt = | 9 sec |

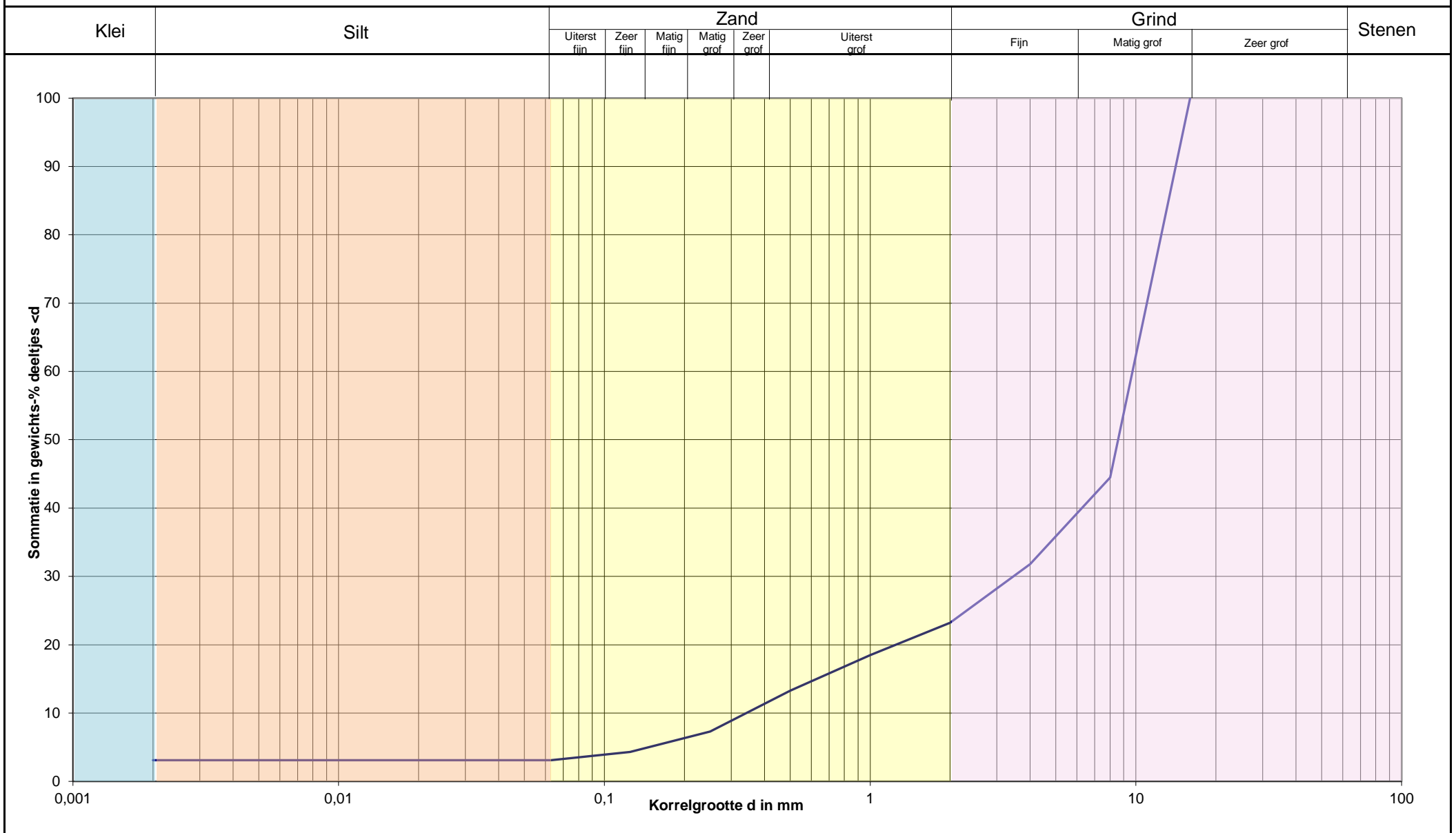
k = 63,33 m/dag

| meetsessie 2 | |
|--------------|-----------|
| t0 = | 660 sec |
| Y0 = | 15,87 cm |
| tn = | 665 sec |
| Yn = | -7,47 cm |
| ΔY = | 23,33 cm |
| r = | 5,00 cm |
| H = | 363,00 cm |
| Y = | 4,20 cm |
| Δt = | 5 sec |

k = 120,69 m/dag

| meetsessie 3 | |
|--------------|-----------|
| t0 = | 0 sec |
| Y0 = | ##### cm |
| tn = | 0 sec |
| Yn = | ##### cm |
| ΔY = | ##### cm |
| r = | 5,00 cm |
| H = | 363,00 cm |
| Y = | ##### cm |
| Δt = | 0 sec |

k = ##### m/dag



| Gebruikte zeven (mm) met cumulatieve gewichtpercentages door zeef heen | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 0,002 | 0,016 | 0,032 | 0,050 | 0,063 | 0,125 | 0,250 | 0,500 | 1,0 | 2,0 |
| 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 4,3 | 7,3 | 13,3 | 18,5 | 23,2 |

| Alle fracties | |
|--|-------|
| klei-/siltfractie [%] | 3,10 |
| zandfractie [%] | 20,10 |
| grindfractie [%] | 76,80 |
| d ₁₀ [mm] | 0,34 |
| d ₅₀ [mm] | 8,57 |
| d ₆₀ [mm] | 9,71 |
| c _u = d ₆₀ / d ₁₀ [-] | 28,43 |
| d ₉₀ / d ₁₀ [-] | 41,35 |
| c _c [-] | 3,61 |

| Aanvullende bepalingen | | |
|------------------------|-------------------|---|
| Classificatie | Uiterst grof zand | 0 |
| Humusgehalte | Niet bepaald | |
| Kalkgehalte | Niet bepaald | |

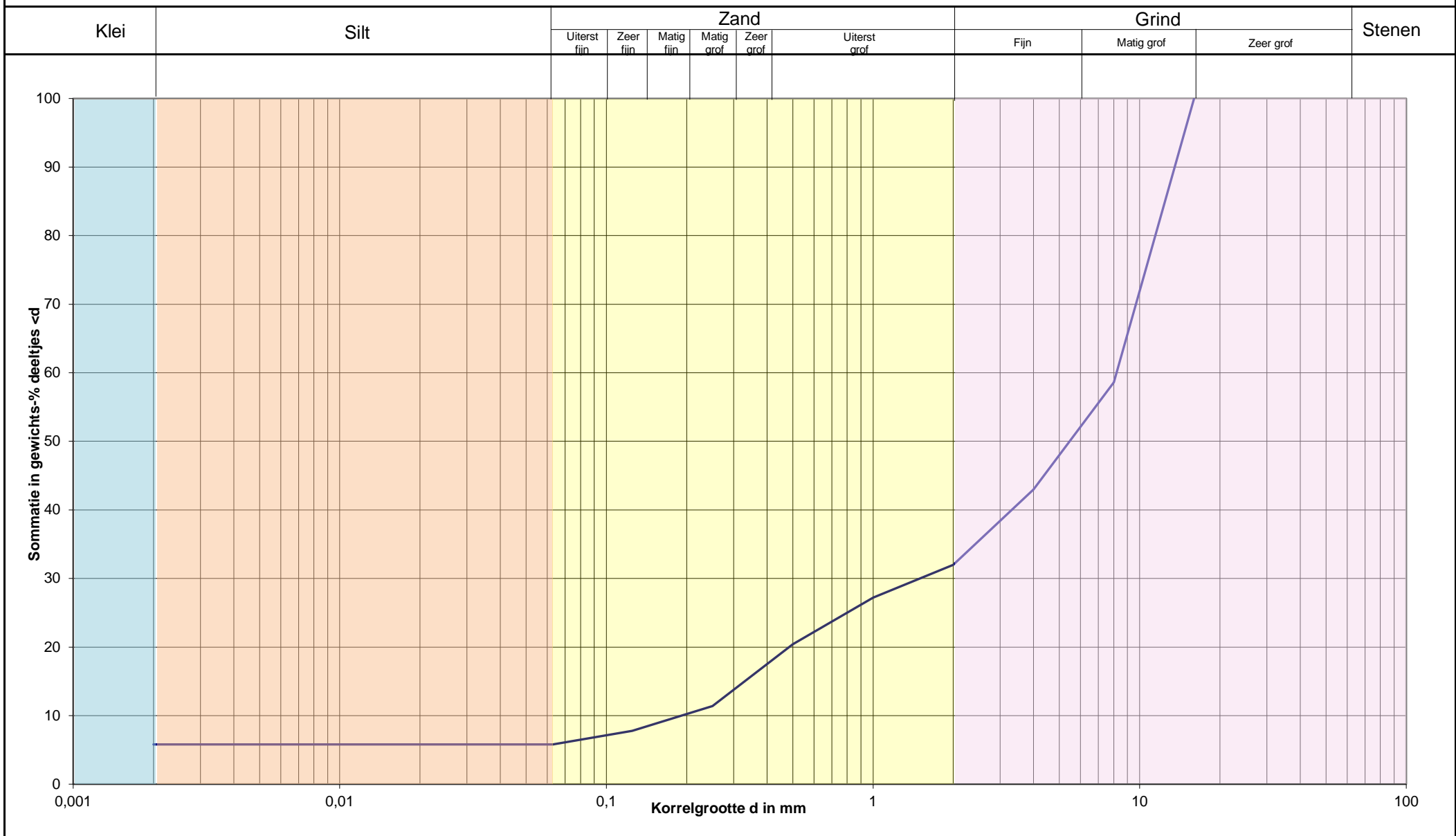
| Toelichting | |
|-------------------|--|
| c _u | = gelijkmatigheidscoëfficiënt |
| c _c | = krommingscoëfficiënt |
| U | = U-cijfer of relatief korreloppervlak |
| F _m | = fijnheidsmodulus |
| M ₆₃ | = zandmediaan |
| M ₂₀₀₀ | = grindmediaan |
| D _m | = Mediane korreldiameter |

| Karakteristieke waarden | |
|-------------------------|------|
| M ₆₃ [mm] | 0,49 |
| M ₂₀₀₀ [mm] | 6,13 |
| D _m [mm] | 8,57 |
| F _m [-] | 0,92 |
| U [-] (0µm-2mm) | 6,70 |

| Zandfractie | |
|--|-------|
| D ₁₀ [mm] | 0,15 |
| D ₅₀ [mm] | 0,49 |
| D ₆₀ [mm] | 0,64 |
| c _u = D ₆₀ / D ₁₀ [-] | 4,25 |
| D ₉₀ / D ₁₀ [-] | 9,87 |
| U [-] (63µm-2mm) | 22,60 |

| Indicatie waterdoorlatendheid op basis van empirische formules* | | | Toepassing | |
|---|---------|--------|--|---|
| Hazen | k [m/d] | 8,51 | 1 < c _u < 5; 0,1 < d ₁₀ < 3,0 mm | x |
| Seelheim | k [m/d] | 60,67 | | |
| Beyer | k [m/d] | 65,30 | c _u < 20; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 mm | x |
| Den Rooijen | k [m/d] | 39,04 | | |
| Alyamani & Sen | k [m/d] | 15,31 | c _u > 4 (grind); c _u > 6 (zand); 1 < c _c < 3 | x |
| USBR | k [m/d] | 517,35 | Glaciale bodems; c _u < 5; d ₁₀ < 0,02 mm; d ₂₀ > 0,002 mm | x |
| Zieschang | k [m/d] | 93,71 | c _u < 25; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 | x |
| Kaubisch | k [m/d] | 9,53 | Klei-/leemhoudende bodem; 5 < c _u < 400 | x |
| Breyer | k [m/d] | 56,51 | 1 < c _u < 20; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 mm | x |
| Kozeny-Carman | k [m/d] | 19,10 | d ₁₀ < 3,0 mm; niet kleilig | x |
| Slichter | k [m/d] | 8,61 | 0,01 < d ₁₀ < 5,0 mm | x |
| Terzaghi | k [m/d] | 12,34 | Grof zand | x |

* De empirisch bepaalde k-waarde geeft een orde van grootte van de doorlatendheid, er kan slechts een beperkte nauwkeurigheid aan worden verbonden



| Gebruikte zeven (mm) met cumulatieve gewichtpercentages door zeef heen | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 0,002 | 0,016 | 0,032 | 0,050 | 0,063 | 0,125 | 0,250 | 0,500 | 1,0 | 2,0 |
| 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 7,8 | 11,4 | 20,4 | 27,2 | 32,0 |

| Alle fracties | |
|--|-------|
| klei-/siltfractie [%] | 5,80 |
| zandfractie [%] | 26,20 |
| grindfractie [%] | 68,00 |
| d ₁₀ [mm] | 0,19 |
| d ₅₀ [mm] | 5,46 |
| d ₆₀ [mm] | 8,19 |
| c _u = d ₆₀ / d ₁₀ [-] | 42,89 |
| d ₉₀ / d ₁₀ [-] | 70,88 |
| c _c [-] | 1,44 |

| Aanvullende bepalingen | | |
|------------------------|-------------------|---|
| Classificatie | Uiterst grof zand | 0 |
| Humusgehalte | Niet bepaald | |
| Kalkgehalte | Niet bepaald | |

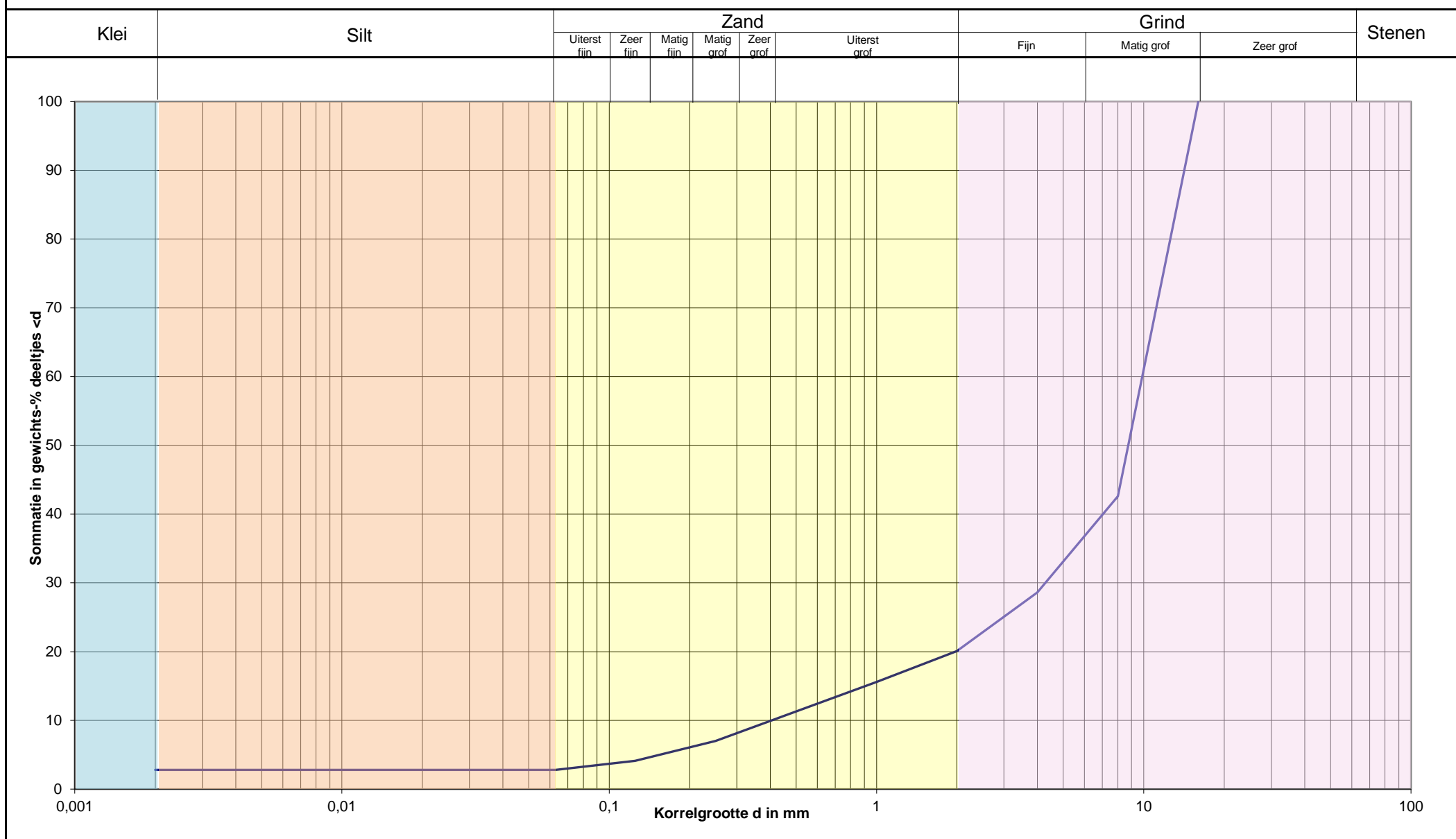
| Toelichting | |
|-------------------|--|
| c _u | = gelijkmatigheidscoëfficiënt |
| c _c | = krommingscoëfficiënt |
| U | = U-cijfer of relatief korreloppervlak |
| F _m | = fijnheidsmodulus |
| M ₆₃ | = zandmediaan |
| M ₂₀₀₀ | = grindmediaan |
| D _m | = Mediane korreldiameter |

| Karakteristieke waarden | |
|-------------------------|------|
| M ₆₃ [mm] | 0,45 |
| M ₂₀₀₀ [mm] | 5,12 |
| D _m [mm] | 5,46 |
| F _m [-] | 1,16 |
| U [-] (0µm-2mm) | 9,60 |

| Zandfractie | |
|--|-------|
| D ₁₀ [mm] | 0,14 |
| D ₅₀ [mm] | 0,45 |
| D ₆₀ [mm] | 0,56 |
| c _u = D ₆₀ / D ₁₀ [-] | 3,98 |
| D ₉₀ / D ₁₀ [-] | 9,73 |
| U [-] (63µm-2mm) | 24,30 |

| Indicatie waterdoorlatendheid op basis van empirische formules* | | | Toepassing | |
|---|---------|-------|--|---|
| Hazen | k [m/d] | 7,34 | 1 < c _u < 5; 0,1 < d ₁₀ < 3,0 mm | x |
| Seelheim | k [m/d] | 52,50 | | |
| Beyer | k [m/d] | 20,41 | c _u < 20; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 mm | x |
| Den Rooijen | k [m/d] | 9,83 | | |
| Alyamani & Sen | k [m/d] | 0,29 | c _u > 4 (grind); c _u > 6 (zand); 1 < c _c < 3 | x |
| USBR | k [m/d] | 58,84 | Glaciale bodems; c _u < 5; d ₁₀ < 0,02 mm; d ₂₀ > 0,002 mm | x |
| Zieschang | k [m/d] | 29,29 | c _u < 25; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 | x |
| Kaubisch | k [m/d] | 4,65 | Klei-/leemhoudende bodem; 5 < c _u < 400 | x |
| Breyer | k [m/d] | 15,13 | 1 < c _u < 20; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 mm | x |
| Kozeny-Carman | k [m/d] | 5,87 | d ₁₀ < 3,0 mm; niet kleilig | x |
| Slichter | k [m/d] | 2,65 | 0,01 < d ₁₀ < 5,0 mm | x |
| Terzaghi | k [m/d] | 3,78 | Grof zand | x |

* De empirisch bepaalde k-waarde geeft een orde van grootte van de doorlatendheid, er kan slechts een beperkte nauwkeurigheid aan worden verbonden



| Gebruikte zeven (mm) met cumulatieve gewichtpercentages door zeef heen | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 0,002 | 0,016 | 0,032 | 0,050 | 0,063 | 0,125 | 0,250 | 0,500 | 1,0 | 2,0 |
| 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 4,1 | 7,0 | 11,3 | 15,6 | 20,1 |

| Alle fracties | |
|--|-------|
| klei-/siltfractie [%] | 2,80 |
| zandfractie [%] | 17,30 |
| grindfractie [%] | 79,90 |
| d ₁₀ [mm] | 0,41 |
| d ₅₀ [mm] | 8,75 |
| d ₆₀ [mm] | 9,87 |
| c _u = d ₆₀ / d ₁₀ [-] | 24,34 |
| d ₉₀ / d ₁₀ [-] | 34,97 |
| c _c [-] | 4,59 |

| Aanvullende bepalingen | |
|------------------------|---------------------|
| Classificatie | Uiterst grof zand 0 |
| Humusgehalte | Niet bepaald |
| Kalkgehalte | Niet bepaald |

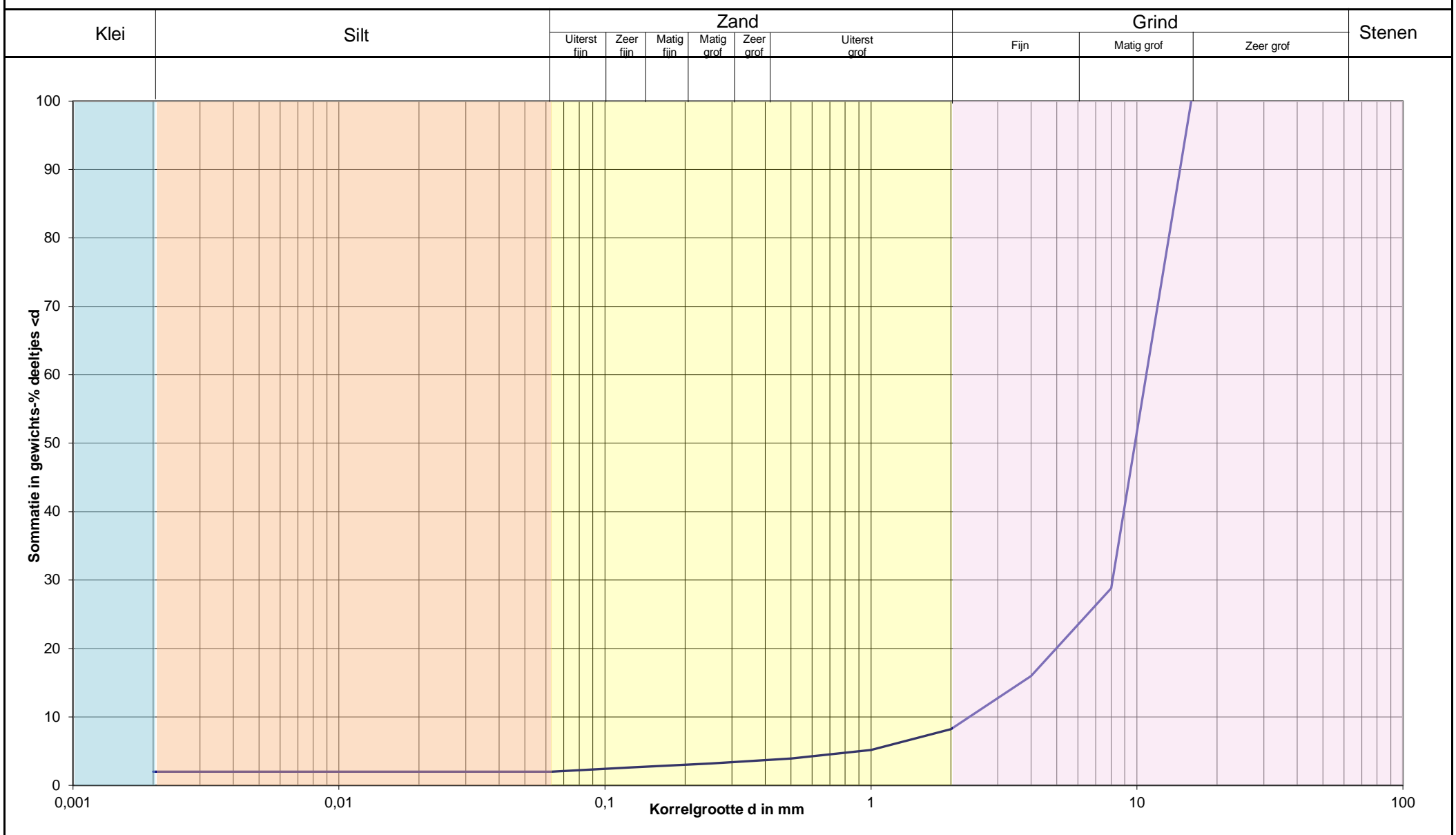
| Toelichting | |
|-------------------|--|
| c _u | = gelijkmatigheidscoëfficiënt |
| c _c | = krommingscoëfficiënt |
| U | = U-cijfer of relatief korreloppervlak |
| F _m | = fijnheidsmodulus |
| M ₆₃ | = zandmediaan |
| M ₂₀₀₀ | = grindmediaan |
| D _m | = Mediane korreldiameter |

| Karakteristieke waarden | |
|-------------------------|------|
| M ₆₃ [mm] | 0,51 |
| M ₂₀₀₀ [mm] | 6,10 |
| D _m [mm] | 8,75 |
| F _m [-] | 0,85 |
| U [-] (0µm-2mm) | 6,06 |

| Zandfractie | |
|--|-------|
| D ₁₀ [mm] | 0,14 |
| D ₅₀ [mm] | 0,51 |
| D ₆₀ [mm] | 0,68 |
| c _u = D ₆₀ / D ₁₀ [-] | 4,89 |
| D ₉₀ / D ₁₀ [-] | 11,06 |
| U [-] (63µm-2mm) | 22,80 |

| Indicatie waterdoorlatendheid op basis van empirische formules* | | | Toepassing | |
|---|---------|---------|--|---|
| Hazen | k [m/d] | 7,30 | 1 < c _u < 5; 0,1 < d ₁₀ < 3,0 mm | x |
| Seelheim | k [m/d] | 59,62 | | |
| Beyer | k [m/d] | 92,05 | c _u < 20; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 mm | x |
| Den Rooijen | k [m/d] | 59,07 | | |
| Alyamani & Sen | k [m/d] | 24,76 | c _u > 4 (grind); c _u > 6 (zand); 1 < c _c < 3 | x |
| USBR | k [m/d] | 1478,42 | Glaciale bodems; c _u < 5; d ₁₀ < 0,02 mm; d ₂₀ > 0,002 mm | x |
| Zieschang | k [m/d] | 132,10 | c _u < 25; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 | x |
| Kaubisch | k [m/d] | 10,34 | Klei-/leemhoudende bodem; 5 < c _u < 400 | x |
| Breyer | k [m/d] | 83,97 | 1 < c _u < 20; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 mm | x |
| Kozeny-Carman | k [m/d] | 27,50 | d ₁₀ < 3,0 mm; niet kleilig | x |
| Slichter | k [m/d] | 12,37 | 0,01 < d ₁₀ < 5,0 mm | x |
| Terzaghi | k [m/d] | 17,82 | Grof zand | x |

* De empirisch bepaalde k-waarde geeft een orde van grootte van de doorlatendheid, er kan slechts een beperkte nauwkeurigheid aan worden verbonden



| Gebruikte zeven (mm) met cumulatieve gewichtpercentages door zeef heen | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|
| 0,002 | 0,016 | 0,032 | 0,050 | 0,063 | 0,125 | 0,250 | 0,500 | 1,0 | 2,0 |
| 2 | 2 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,6 | 3,2 | 3,9 | 5,2 | 8,2 |

| Alle fracties | |
|--|-------|
| klei-/siltfractie [%] | 2,00 |
| zandfractie [%] | 6,20 |
| grindfractie [%] | 91,80 |
| d ₁₀ [mm] | 2,35 |
| d ₅₀ [mm] | 9,83 |
| d ₆₀ [mm] | 10,84 |
| c _u = d ₆₀ / d ₁₀ [-] | 4,62 |
| d ₉₀ / d ₁₀ [-] | 6,19 |
| c _c [-] | 2,58 |

| Aanvullende bepalingen | | |
|------------------------|-------------------|---|
| Classificatie | Uiterst grof zand | 0 |
| Humusgehalte | Niet bepaald | |
| Kalkgehalte | Niet bepaald | |

| Toelichting | |
|-------------------|--|
| c _u | = gelijkmatigheidscoëfficiënt |
| c _c | = krommingscoëfficiënt |
| U | = U-cijfer of relatief korreloppervlak |
| F _m | = fijnheidsmodulus |
| M ₆₃ | = zandmediaan |
| M ₂₀₀₀ | = grindmediaan |
| D _m | = Mediane korreldiameter |

| Karakteristieke waarden | |
|-------------------------|------|
| M ₆₃ [mm] | 0,95 |
| M ₂₀₀₀ [mm] | 6,55 |
| D _m [mm] | 9,83 |
| F _m [-] | 0,57 |
| U [-] (0µm-2mm) | 2,04 |

| Zandfractie | |
|--|-------|
| D ₁₀ [mm] | 0,13 |
| D ₅₀ [mm] | 0,95 |
| D ₆₀ [mm] | 1,13 |
| c _u = D ₆₀ / D ₁₀ [-] | 8,82 |
| D ₉₀ / D ₁₀ [-] | 13,55 |
| U [-] (63µm-2mm) | 14,28 |

| Indicatie waterdoorlatendheid op basis van empirische formules* | | | Toepassing | |
|---|---------|----------|--|---|
| Hazen | k [m/d] | 12,92 | 1 < c _u < 5; 0,1 < d ₁₀ < 3,0 mm | x |
| Seelheim | k [m/d] | 152,10 | | |
| Beyer | k [m/d] | 19117,45 | c _u < 20; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 mm | x |
| Den Rooijen | k [m/d] | 3426,42 | | x |
| Alyamani & Sen | k [m/d] | 2,46 | c _u > 4 (grind); c _u > 6 (zand); 1 < c _c < 3 | x |
| USBR | k [m/d] | 12414,22 | Glaciale bodems; c _u < 5; d ₁₀ < 0,02 mm; d ₂₀ > 0,002 mm | x |
| Zieschang | k [m/d] | 55203,76 | c _u < 25; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 | x |
| Kaubisch | k [m/d] | 12,84 | Klei-/leemhoudende bodem; 5 < c _u < 400 | x |
| Breyer | k [m/d] | 4360,19 | 1 < c _u < 20; 0,06 < d ₁₀ < 0,6 mm | x |
| Kozeny-Carman | k [m/d] | 3488,63 | d ₁₀ < 3,0 mm; niet kleilig | x |
| Slichter | k [m/d] | 1275,58 | 0,01 < d ₁₀ < 5,0 mm | x |
| Terzaghi | k [m/d] | 2196,95 | Grof zand | x |

* De empirisch bepaalde k-waarde geeft een orde van grootte van de doorlatendheid, er kan slechts een beperkte nauwkeurigheid aan worden verbonden

Geonius.nl

Geonius is een middelgroot interdisciplinair ingenieursbureau met brede expertise binnen de GWW- en bouwsector. Door onze unieke combinatie van vakkennis op het gebied van wegen, geotechniek, milieu, geodesie, water, ruimtelijke ontwikkeling, landschap, archeologie en ecologie zijn wij goed in staat mee te denken met de klant en projecten zelfstandig uit te voeren. Grenzen tussen de verschillende divisies vervagen, waardoor steeds meer projecten integraal door ons worden uitgevoerd.

Geonius hecht veel waarde aan een informele, positieve bedrijfscultuur, het welzijn van medewerkers en maatschappelijke betrokkenheid.

-  Wegen
-  Geotechniek
-  Milieu
-  Geodesie
-  Water
-  Ruimtelijke ontwikkeling
-  Landschap
-  Archeologie
-  Ecologie