



Richtlijnen Bemalingen

September 2009

Voorliggende “Richtlijnen Bemalingen” werden opgesteld door de “Werkgroep Bemalingen”, samengesteld uit :

- EurGeol. Paul Van Calster, voorzitter van de werkgroep
- ir. Flor De Cock, Geo.be BVBA
- ir. Monika De Vos, Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB)
- prof. ir. Jan Maertens, Jan Maertens & Partners BVBA en KULeuven
- ir. Gauthier Van Alboom, Vlaamse Overheid, MOW, Afdeling Geotechniek

Er is getracht om zo bruikbaar mogelijke richtlijnen op te stellen. De leden van de Werkgroep kunnen echter niet aansprakelijk gesteld worden voor eventuele onvolkomenheden in dit document.

Foto op de voorpagina (P. Van Calster) : gerestaureerd stoomgemaal Cruquius. Deze oude bemalinginstallatie bevindt zich op ca. 7 km ten zuiden van Haarlem. Ze behoort tot het werelderfgoed. Het gemaal werd gebouwd voor het droogleggen van de Haarlemmermeer, naar aanleiding van de zware stormen in 1836, die een bedreiging vormden voor Amsterdam. De naam Cruquius werd ontleend aan de gelijknamige Nederlandse waterbouwkundige. Van 1852 tot 1949 'slurpten' drie dergelijke stoomgemalen de Haarlemmermeer leeg, zodat achttienduizend hectare klei vrij kwam.

Inhoud

Voorwoord	5
Verantwoordelijkheden	6
1 Vooronderzoek.....	8
2 Grondonderzoek	13
2.1 Richtlijnen voor de uitvoering	13
2.1.1 Sonderingen.....	13
2.1.2 Boringen.....	14
2.1.3 Waterpeilmetingen in peilbuizen	14
2.2 Bemalingsproeven	15
2.3 Bepaling van het type en het aantal proeven	16
2.3.1 Bepaling van de categorie van een werk	16
2.3.2 Minimum grondonderzoek afhankelijk van de categorie van het werk	18
3 Evaluatieverslag van het vooronderzoek en het grondonderzoek.....	20
4 Bepalen van de doorlatendheidscoëfficiënt en andere hydraulische parameters	21
5 Concept van de bemaling	24
5.1 Verwerken van de waterstandsmetingen	24
5.2 Keuze van de bemalingsmethode	25
5.3 Afscherpende maatregelen	27
5.3.1 Verticale schermen en horizontale waterremmende lagen	27
5.3.2 Hervoeding.....	28
5.3.3 Maatregelen om de duur van de bemaling te beperken	30
5.4 Grondwatermodellering.....	30
5.4.1 Hydrogeologisch rekenmodel.....	30
5.4.2 Raming van de bemalingsdebiëten, de invloedssfeer en de verlagingen binnen en buiten de bouwput	31
5.5 Nazicht van de stabiliteitsvoorwaarden in en nabij de bouwput	32
5.6 Invloed van de bemaling op de omgeving	33
5.6.1 Algemeen	33
5.6.2 Zettingen t.g.v. samendrukking van de grond (toename van de korrelspanningen)	33
5.6.3 Beoordeling van het risico op schade of hinder.....	34
6 Monitoring	36
6.1 Peilbuismetingen.....	37
6.2 Debietmetingen	37

6.3	Controle van het onttrokken water	37
6.4	Plaatsbeschrijvingen	38
6.5	Meetpunten en merktekens	38
6.6	Bewaking.....	39
7	Risicoanalyse	40
8	Rapportering van de conceptstudie en besluitvorming.....	41
9	Uitvoeringsaspecten.....	42
9.1	Opstellen van een gedetailleerd bemalingsplan.....	42
9.2	Installatie van de bemaling.....	43
9.3	Proefbemaling	43
9.4	In werking stellen en in stand houden van de bemaling	44
9.5	Beëindigen van de bemaling	45
10	Repertorium bestektekst	46
	Referentielijst.....	54
	Beschikbaarheid van de kaarten ten behoeve van het vooronderzoek	56
	Definities.....	59
	Bijlage A :	
	Richtlijnen voor de uitvoering van grondonderzoek	62
	Bijlage B :	
	Bepaling van de doorlatendheidscoëfficiënt uit de korrelverdeling	68
	Bijlage C :	
	Permeabiliteit van waterremmende wanden.....	71
	Bijlage D :	
	Bepaling van de samendrukkingsconstante ten behoeve van zettingsberekeningen	73

Voorwoord

Grondwater is een essentieel onderdeel van de grondopbouw. Geologisch is het zelfs een gesteente en een delfstof. Grondmechanisch is het vooral een deel van de totale gronddruk.

De aanwezigheid van grondwater kan een zegen en een weldaad zijn. Een overvloed aan grondwater kan in bepaalde omstandigheden een ramp betekenen.

Voor de uitvoering van bouwwerken, klein of groot, heeft men steeds de betrachting om “in den droge” te kunnen werken.

Tijdelijke grondwaterverlagingen of bemalingen zijn dan ook een belangrijk onderdeel geworden van de bouwkunde. Vermits de bruikbare ruimte steeds beperkter wordt, zijn ondergrondse constructies immers meer en meer aan de orde.

Het laatste decennium merken we in dit domein een belangrijke toename van heftige onderlinge discussies tussen opdrachtgever, ontwerper en uitvoerder. Deze discussies eindigen dikwijls in een lange juridische strijd. Dit komt soms omdat het onderwerp behoort tot de specialisatie van de hydrogeologie waarin noch de ontwerper, noch de uitvoerder zich echt thuis voelen. Maar meestal worden de discussies veroorzaakt door slechte of onduidelijke afspraken.

In de hoop om deze conflictsituaties te kunnen verminderen, werd door het TI-KVIV Genootschap Grondmechanica & Funderingstechniek op 10 december 2003 hierover een studiedag georganiseerd met als titel “Bemalingen : eeuwig discussiepunt ?” [1]. Aansluitend hierop werd een werkgroep opgericht. Deze werkgroep heeft een objectieve poging gedaan om richtlijnen voor een grondwaterverlaging of bemaling op te stellen.

Een ontwerptekst van deze richtlijnen werd door de leden van de werkgroep voorgesteld tijdens een workshop op 13 juni 2006 [2]. Deze workshop werd besloten met een uitgebreide paneldiscussie. Wij danken zeer speciaal de panelleden voor hun intensieve medewerking en opmerkingen. Het panel bestond uit vertegenwoordigers van de gespecialiseerde bemalingsfirma's, de algemeen aannemers, de studie bureaus, de opdrachtgevers en de verzekeringsmaatschappijen.

Onze erkentelijkheid gaat ook uit naar al de deelnemers aan deze workshop en vooral naar diegenen die een belangrijke bijdrage hebben geleverd door hun opbouwende kritiek en opmerkingen. Met al deze opmerkingen werd door de werkgroep terdege rekening gehouden bij de definitieve uitwerking van deze Richtlijnen Bemalingen.

Deze richtlijnen hebben tot doel de opdrachtgever en de ontwerper te begeleiden vanaf het vooronderzoek en het grondonderzoek tot bij de technische bestektekst. Eenmaal de uitvoerder aangeduid, vinden de opdrachtgever, de ontwerper en de

uitvoerder in deze richtlijnen de nodige begeleiding bij de uitvoeringsaspecten van de bemaling.

☞ Milieutechnische aspecten zoals de mogelijke verspreiding van verontreinigingen ten gevolge van bemalingen, de regelgeving betreffende hervoeding, en meldings- en vergunningsplichten vallen buiten het bestek van deze richtlijn. Hiervoor wordt verwezen naar de van kracht zijnde wetgeving ter zake [3].

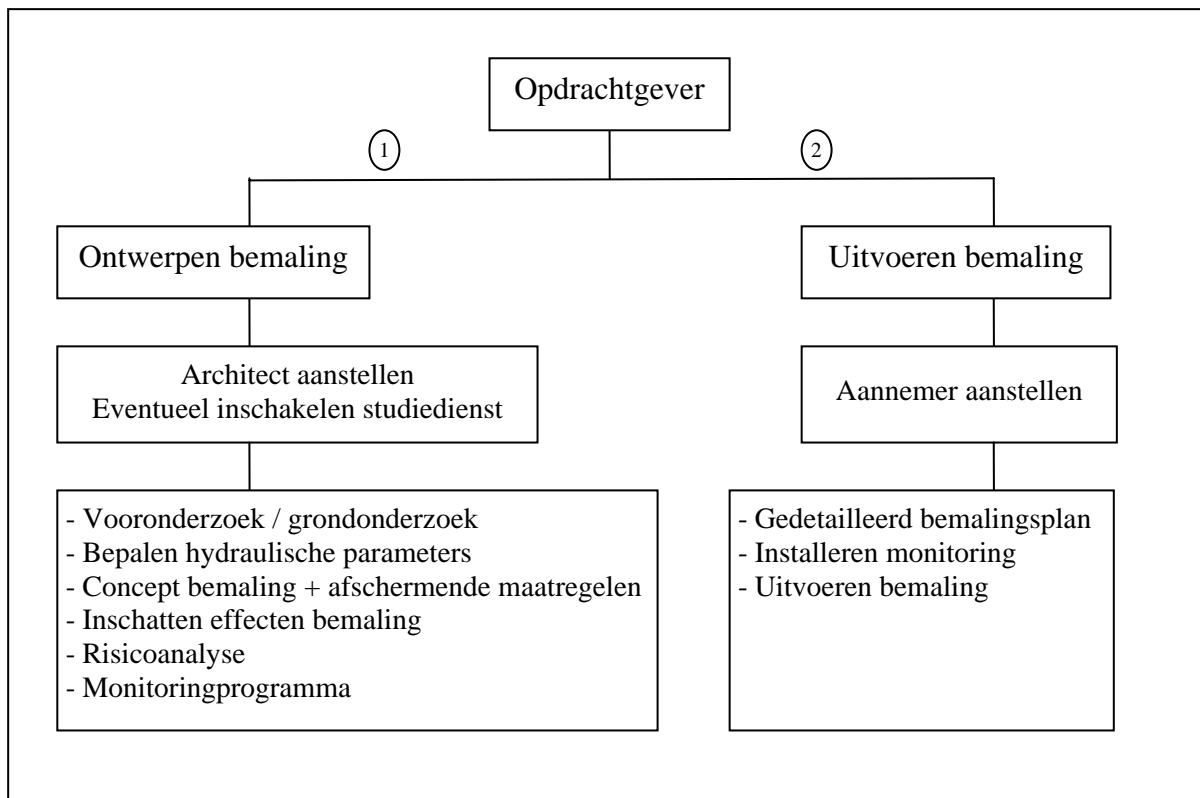
Verantwoordelijkheden

In voorliggende richtlijnen worden de verantwoordelijkheden en de taken vastgelegd respectievelijk van de opdrachtgever, de ontwerper en de uitvoerder bij bemalingswerkzaamheden.

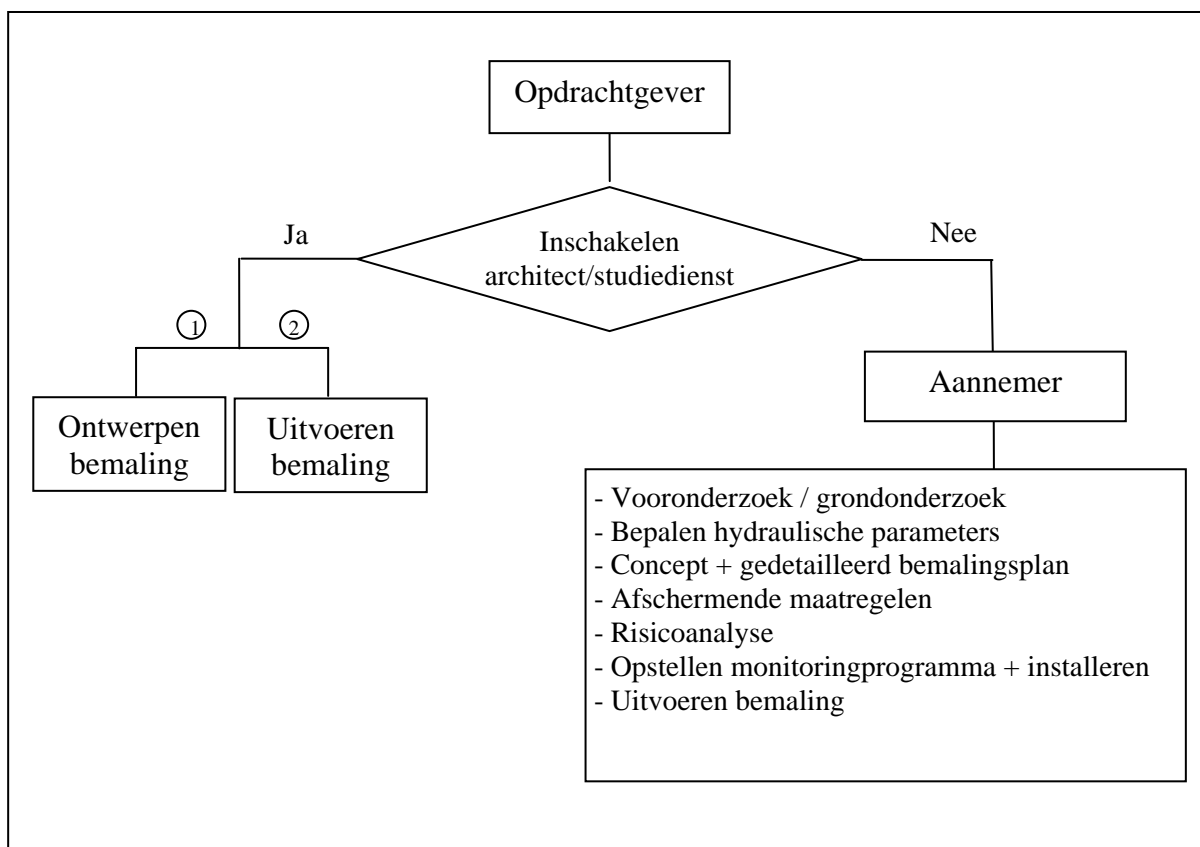
De ontwerper zorgt achtereenvolgens voor het vooronderzoek, het grondonderzoek, de bepaling van de hydraulische parameters, het concept van de bemaling, het definiëren van de monitoring, de risicoanalyse, het rapporteren van de conceptstudie en het opstellen van de bestektekst voor de bemalingswerkzaamheden. De uitvoerder stelt een gedetailleerd bemalingsplan op en voert de bemaling uit.

Als basisregel geldt dat de ontwerper de vermelde taken uitvoert voorafgaandelijk aan de aanbesteding. De architect of de studiedienst van het gehele bouwproject is dus ook ontwerper van de bemaling. Hij kan zich uiteraard laten bijstaan door een specialist ter zake.

Uitzondering hierop zijn bijvoorbeeld de contracten van het type “Design & Build” waarbij de aannemer uitvoerder én ontwerper is. In dat geval moet bij voorkeur het vooronderzoek, het grondonderzoek en de bepaling van de hydraulische parameters vooraf gebeurd zijn door de architect of studiedienst van de opdrachtgever, ofwel moet voldoende tijd voorzien worden voor het door de aannemer uit te voeren en te analyseren grondonderzoek.



Figuur 1 : Traditionele projectorganisatie



Figuur 2 : Design & Build projectorganisatie

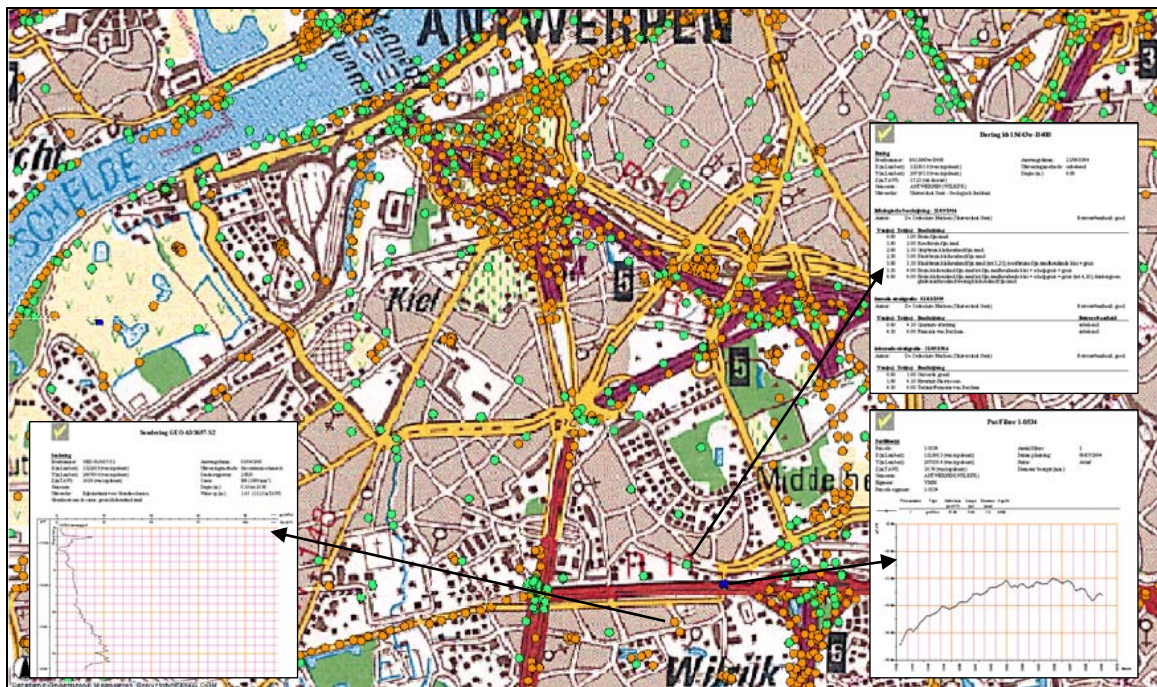
1 Vooronderzoek

De ontwerper voert een vooronderzoek uit.

Dit vooronderzoek bestaat erin de bestaande relevante gegevens te verzamelen.

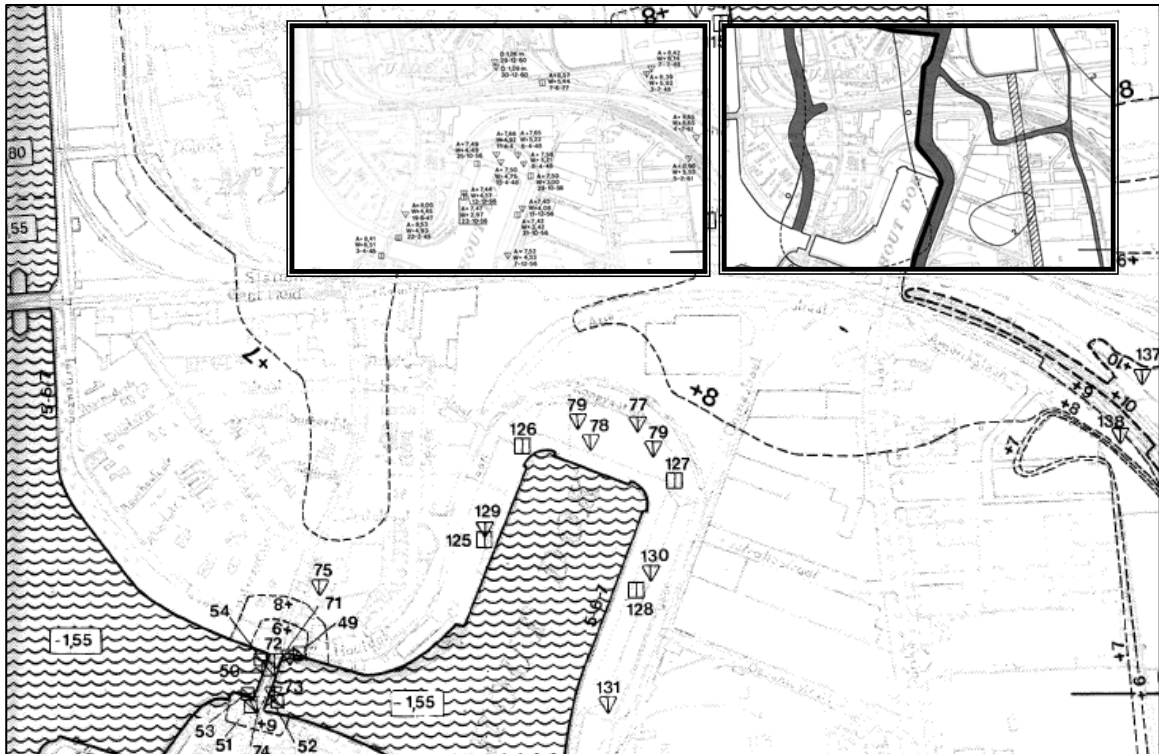
Volgende bronnen kunnen geraadpleegd worden (achteraan wordt een lijst gegeven van de adressen waar deze documenten te consulteren of te verkrijgen zijn) :

1. Databank Ondergrond Vlaanderen :
De databank bevat geologische, hydrogeologische en geotechnische informatie. Ze is gratis toegankelijk (<http://dov.vlaanderen.be>).



Figuur 3 : Databank Ondergrond Vlaanderen

2. Grondmechanische kaarten :
Deze kaarten geven geologische en hydrogeologische informatie op schaal 1:10 000 en 1:5 000. Ze zijn enkel beschikbaar voor de agglomeraties Antwerpen, Brussel, Charleroi, Gent, Liège en Mons.



Figuur 4 : Grondmechanische kaarten

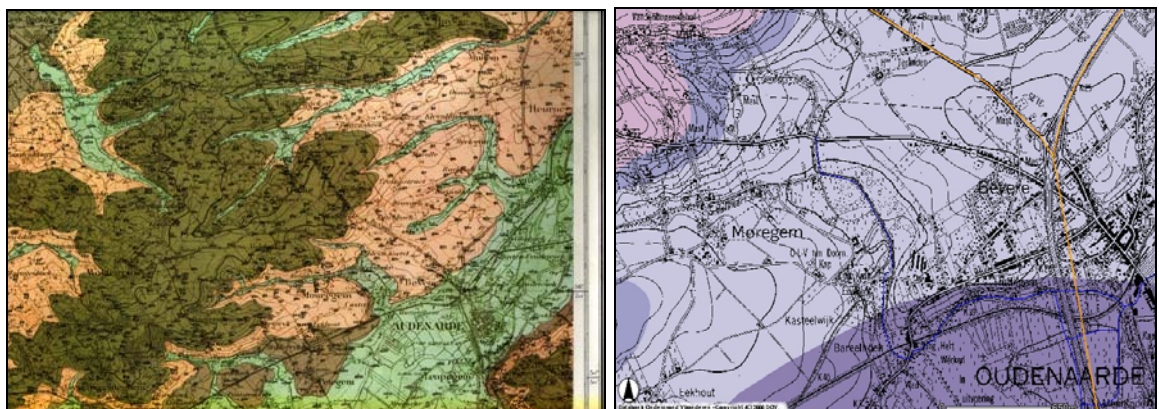
3. Oude en nieuwe geologische kaarten en quartair kaarten :

De oude geologische kaarten op schaal 1:40 000 zijn chronostratigrafische kaarten. Het zijn zogenaamde 'afgedekte' geologische kaarten die het substraat weergeven, gelegen onder de quartaire sedimenten met uitzondering van de 'moderne' afzettingen, zoals de alluviale en eolische afzettingen.

De nieuwe geologische kaarten op schaal 1:50 000 (Vlaanderen) of 1:25 000 (Wallonië) zijn lithostratigrafische kaarten. Het zijn volledig 'afgedekte' kaarten, waarop geen quartaire afzettingen worden weergegeven.

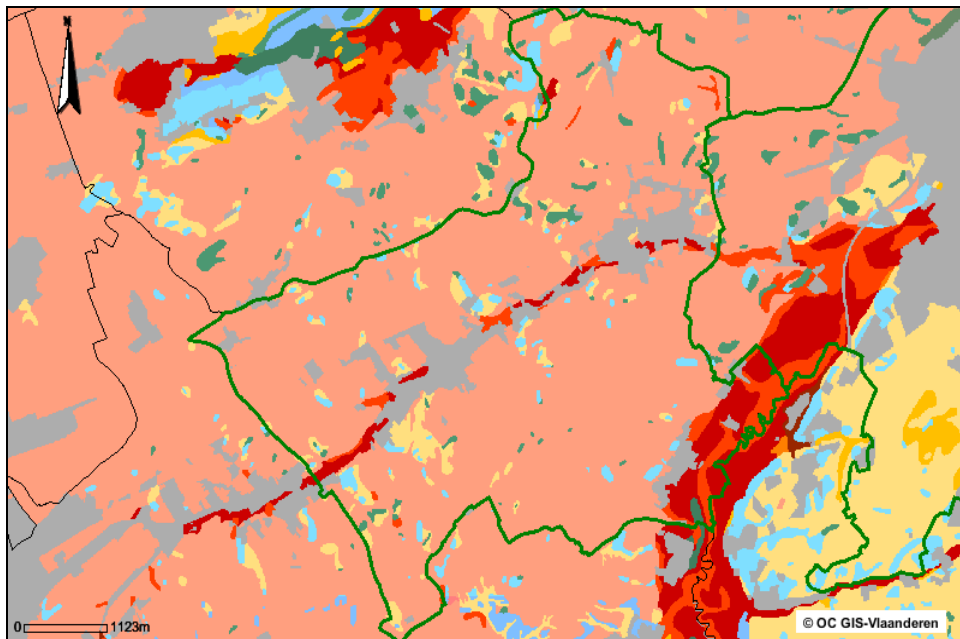
De quartaire afzettingen in Vlaanderen worden weergegeven op profieltypekaarten, eveneens op schaal 1:50 000.

De quartaire sedimenten in België, met ondermeer de aanduiding van de alluviale afzettingen, vindt men op 4 platen op schaal 1:250 000, in de "Geologie van het kwartair van België" van R. Maréchal.



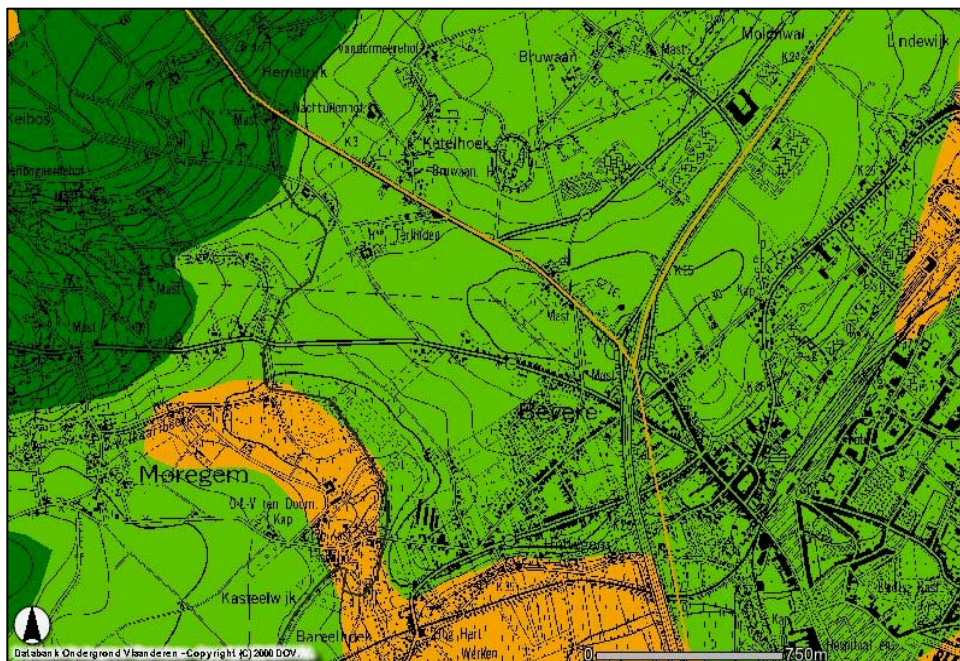
Figuur 5 : Oude (links) en nieuwe (rechts) geologische kaarten

4. Bodemkaarten :
Geven informatie over het bodemprofiel tussen 0.80 m en 1.25 m diepte (schaal 1:20 000).



Figuur 6 : Bodemkaarten

5. Kwetsbaarheidskaarten :
De kaarten op schaal 1:100 000 geven de graad van kwetsbaarheid voor verontreiniging van het grondwater in de bovenste watervoerende laag. Als watervoerende laag wordt beschouwd de verzadigde zone van een formatie die een dikte en een uitbreiding heeft die voldoende groot zijn om er op een economisch verantwoorde wijze water uit te winnen (debiet min. 4 m³/h).



Figuur 7 : Grondwaterkwetsbaarheidskaarten

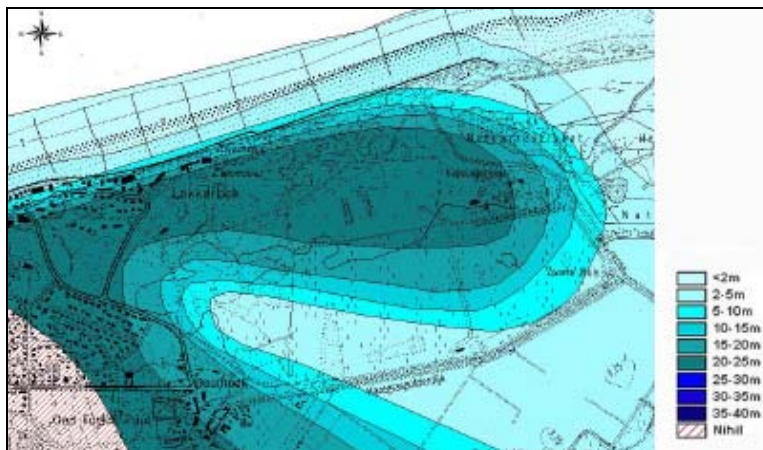
6. Historische kaarten (Ferrariskaarten), oude stadskaarten,...



Figuur 8 : Ferrariskaarten

7. Grondwaterverziltingskaarten :

Deze kaarten (schaal 1:100 000) zijn beschikbaar voor de kustvlakte en noordelijk Vlaanderen. Ze geven de diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water aan.



Figuur 9 : Grondwaterverziltingskaarten

8. Hydrogeologische kaarten :

Voor het Waals Gewest zijn hydrogeologische kaarten beschikbaar op schaal 1:25 000. Ze bevatten o.a. informatie over de aard en de grootte van watervoerende lagen, waterpeilen en stromingsrichtingen, waterwinningen, maar ook resultaten van lokale hydrogeologische studies. Een aantal van de kaarten zijn gratis te downloaden (<http://environnement.wallonie.be>), de andere zijn te consulteren bij de Waalse Regio.

9. Profieltypenkaart van de Holocene kustafzettingen

Deze kaarten op schaal 1:25 000 bestaan uit 2 bladen :

- de algemene profieltypenkaart waarbij de Holocene kustafzettingen worden weergegeven onder de vorm van profieltypen. Geologische dwarsdoorsneden illustreren de variërende samenstelling van de ondergrond,
- een isohypsenkaart van de basis van de Holocene kustafzettingen, afzettingen die sterk zettingsgevoelig zijn.

Daarnaast kan informatie ingewonnen worden over de fundering en uitvoeringswijze van constructies die zich binnen de invloedzone van de bemaling bevinden.

Verder dient ook informatie verzameld te worden over mogelijke bestaande verontreinigingen en over de aanwezigheid van grondwaterwingebieden in de omgeving.

De ontwerper maakt een verslag van dit opzoekingswerk. In dit verslag wordt de geologische en de lithologische opbouw van de betrokken site weergegeven. Tevens wordt hierin de opeenvolging en de diktes van de verschillende watervoerende en waterremmende lagen aangegeven. Er worden aanbevelingen gegeven voor het uit te voeren grondonderzoek : volstaat een minimaal grondonderzoek (zie verder) of is een uitgebreider onderzoek nodig ? Uiteraard kan deze aanbeveling nadien nog aangepast worden wanneer blijkt dat de resultaten van het minimale grondonderzoek afwijken van wat op basis van het vooronderzoek werd vooropgesteld.


2 Grondonderzoek

De ontwerper laat grondonderzoek uitvoeren als noodzakelijke aanvulling op de verzamelde geologische en hydrogeologische gegevens uit het vooronderzoek.

Het grondonderzoek kan één of meerdere van de volgende proeven omvatten :

- sonderingen
- boringen
- waterpeilmetingen in peilbuizen
- pompproeven
- doorlatendheidsproeven in een boorgat, peilbuis of pompput (puntproeven)
- dissipatieproeven met piëzocone sonderingen
- laboratoriumonderzoek op ontnomen geroerde en/of ongeroerde monsters

2.1 Richtlijnen voor de uitvoering

 Hieronder worden enkele aandachtspunten vermeld voor het plaatsen van peilbuizen en de uitvoering van boringen en sonderingen. Aanvullingen hieromtrent, alsook richtlijnen voor de uitvoering van de andere types grondonderzoek worden in bijlage A gegeven.

2.1.1 Sonderingen

De sonderingen worden uitgevoerd in overeenstemming met de meest recente normen of voorschriften. Op het moment van verschijnen van voorliggende richtlijnen, betreft dit de MVI-Berichten 514-A/50 (mechanische sondering) [4] en 514-A/51 (elektrische sondering) [5] en de norm NBN EN ISO 22476-12 [8] (mechanische sondering). De Europese norm betreffende de elektrische sonderingen NBN EN ISO 22476-1 [7] is op het moment van verschijnen van deze richtlijnen nog niet beschikbaar.

Bij voorkeur worden elektrische sonderingen uitgevoerd.

Als richtwaarde voor de diepte van de sonderingen wordt minimaal tweemaal de uitgravingsdiepte vooropgesteld ; wanneer waterremmende of waterafsluitende schermen worden voorzien, reiken een aantal sonderingen best tot voldoende diepte in de afsluitende laag (min. 2 m).

⚠ Het waterpeil dat na de uitvoering van de sondering in het sondeergat wordt opgemeten, is louter een indicatie van het waterpeil in de grond op dat ogenblik. Dit peil kan foutief of onnauwkeurig zijn, in het bijzonder wanneer doorheen meerdere watervoerende lagen gesondeerd wordt.

2.1.2 Boringen

De boringen worden uitgevoerd in overeenstemming met de norm NBN EN ISO 22475-1 [9].

Boringen hebben tot doel de aard van de grond nader te omschrijven, en grondmonsters te ontnemen voor verder onderzoek in het laboratorium. Een verzorgde monsterontname (geroerde en ongeroerde monsters) is van essentieel belang. ⚠ Spoelboringen zijn hiervoor niet geschikt.

Boringen worden bij voorkeur uitgevoerd in de onmiddellijke nabijheid van een reeds uitgevoerde sondering.

Men onderscheidt :

- boringen met discontinue monsterontname
- boringen met continue monsterontname

In principe wordt in het boorgat een peilbuis aangebracht.

Richtlijnen omtrent de boorstaat worden in bijlage A gegeven.

2.1.3 Waterpeilmetingen in peilbuizen

Met behulp van peilbuizen wordt de grondwaterstand opgemeten en opgevolgd over een relevante tijdsperiode.

Peilbuizen worden geplaatst en waterpeilmetingen worden uitgevoerd in overeenstemming met NBN EN ISO 22475-1 [9].

De locatie van de peilbuizen en de hoogte van de filterelementen worden bij voorkeur bepaald na het uitvoeren van sonderingen ter plaatse.

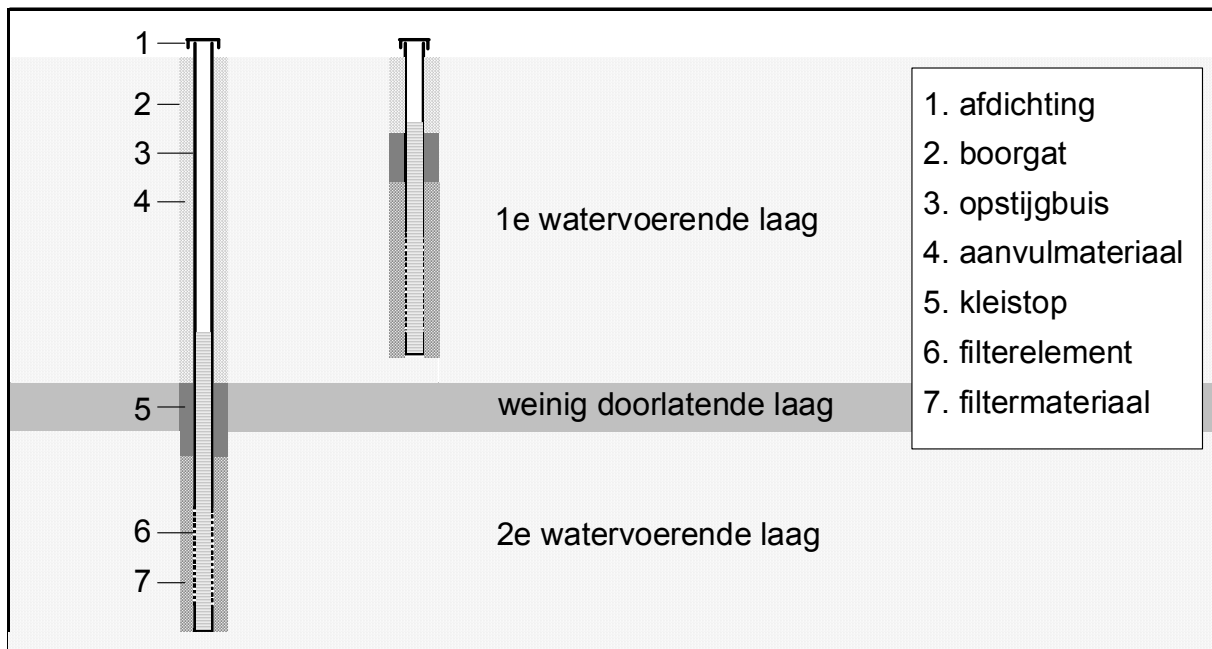
Boven de filter en ter hoogte van weinig doorlatende lagen wordt steeds een kleistop voorzien. Filtermateriaal moet voorzien worden tot 1 m boven de filter.

Het waterpeil in de peilbuizen moet regelmatig en zo vroeg mogelijk opgemeten worden, minstens 1 en 2 maand na de plaatsing van de peilbuizen en vanaf dan bijvoorbeeld om de 2 maanden.

Bij meerdere watervoerende lagen moet in iedere laag een peilbuis worden geplaatst ; de peilbuizen dienen in aparte boorgaten geplaatst te worden, zoals aangegeven in figuur 10. Indien toch wordt besloten om meerdere peilbuizen in één enkel boorgat te plaatsen, moet extra zorg besteed worden aan de uitvoering. In beide gevallen moet ten allen prijze vermeden worden dat een verbinding gecreëerd wordt tussen de verschillende watervoerende lagen.

⚠ Peilbuizen die in een boorgat van een onderkeningsboring geplaatst worden of die met een sondeerwagen worden ingedrukt, mogen alleen gebruikt worden voor het bepalen van de grondwaterstand en dit alleen bij vrij water. Ze mogen niet gebruikt worden voor het bepalen van de doorlatendheid. Peilbuizen die geplaatst worden door middel van een spoelboring mogen gebruikt worden voor de bepaling van de doorlatendheid.

⚠ Peilbuizen mogen alleen toegepast worden in goed doorlatende lagen ; in weinig doorlatende lagen kan de waterdruk worden opgemeten d.m.v. waterdrukcellen.



Figuur 10 : Peilbuizen

De resultaten van de metingen dienen in tabel- en diagramvorm te worden meegedeeld, met aanduiding van alle nodige gegevens. Een voorbeeld van tabel wordt in bijlage A gegeven.

2.2 Bemalingsproeven

Met een bemalingsproef kan het toekomstige pompdebiet en de filteropbrengst worden geschat. Deze gegevens kunnen aangewend worden om de bemaling te dimensioneren en om de verlaging van de grondwaterstand in de omgeving t.g.v. de bemaling te ramen.

Voor een bemalingsproef worden één of enkele pompputten geïnstalleerd, in dezelfde laag en op dezelfde diepte als de toekomstige bemaling, waarbij gedurende een bepaalde tijd water onttrokken wordt. De debieten worden opgemeten. Indien men ook informatie wil i.v.m. de te verwachten verlaging van de grondwaterstand, wordt een aantal peilbuizen geplaatst op verschillende afstanden van de pompput(ten), in die lagen waarin men het effect van de bemaling wenst te kennen. De peilbuizen worden opgemeten.

NOTA : Een bemalingsproef duurt over het algemeen ongeveer een week. De vooropgestelde meetfrequentie voor pompproeven (zie verder) kan hierbij worden aangehouden.

NOTA : De aangebrachte installatie kan nadien eventueel gebruikt worden voor de bemaling zelf.

NOTA : Een bemalingsproef is geen proefbemaling ; deze laatste is bedoeld om de ganse bemaling te testen op doelmatigheid, vooraleer gestart wordt met het effectief bemalen en uitgraven.

2.3 Bepaling van het type en het aantal proeven

Voor elk bemalingsproject dient een grondonderzoek te worden uitgevoerd. Aantal en aard van de proeven worden door de ontwerper bepaald in functie van de categorie van het werk ; deze categorie houdt rekening met de impact en het risico van de bemaling.

In elk geval zal een minimaal grondonderzoek worden voorzien van 2 sonderingen (CPT) en het plaatsen en opmeten van 1 peilbuis per watervoerende laag (dit stemt overeen met het vereiste grondonderzoek voor categorie 0). De peilbuizen mogen met een sondeerwagen ingedrukt worden.

2.3.1 Bepaling van de categorie van een werk

Er worden aan een bemaling verschillende scores toegekend volgens de grondlagenopbouw, de bemaalbaarheid, de afmalingshoogte, de aanwezigheid van constructies in de nabijheid en de bemalingsduur. De som van deze punten bepaalt tot welke categorie een bemaling behoort. Per categorie is vastgelegd welke en hoeveel proeven minimaal uitgevoerd moeten worden.

- Grondlagenopbouw (zettingsgevoeligheid) : puntenschaal van 0 (minste risico) tot 4 (meeste risico). Het risico wordt bepaald door de aanwezigheid (of het vermoeden van de aanwezigheid) van veen, slappe klei, aanvullingen, gespannen of semi-gespannen water.

0 = geen van deze factoren aanwezig

1 = aanwezigheid of het vermoeden van de aanwezigheid van slappe klei OF aanvullingen

2 = aanwezigheid of het vermoeden van de aanwezigheid van slappe klei EN aanvullingen

3 = aanwezigheid of het vermoeden van de aanwezigheid van gespannen of semi-gespannen water, al dan niet samen met andere factoren

4 = aanwezigheid of het vermoeden van de aanwezigheid van veen

- Bemaalbaarheid van de ondergrond : puntenschaal van 1 (minste risico) tot 3 (meeste risico).

1 = watervoerende grondlaag met hoge doorlatendheid

2 = watervoerende grondlaag met lage doorlatendheid

3 = afwisseling van watervoerende grondlagen met hoge en lage doorlatendheid

NOTA : In feite is het de transmissiviteit die bepalend is voor de hoeveelheid water die afgevoerd kan worden. De transmissiviteit ($l/s \cdot m$) is het product van de doorlatendheid met de dikte van een laag. Bv. : een dunne laag met hoge doorlatendheid en een dikkere laag met lagere doorlatendheid kunnen dezelfde transmissiviteit hebben.
--

- Afmalingshoogte (definitie zie achteraan) : puntenschaal van 1 (minste risico) tot 3 (meeste risico).

1 = afmalingshoogte < 3 m

2 = afmalingshoogte 3 tot 6 m

3 = afmalingshoogte > 6 m

- Risico op schade aan constructies : puntenschaal van 0 (minste risico) tot 3 (meeste risico).

Voor normale gebouwen geldt :

0 = geen gebouwen binnen een afstand van 1 km

1 = gebouwen binnen een afstand van 50 m tot 1 km

2 = gebouwen binnen een afstand van 20 tot 50 m

3 = gebouwen binnen een afstand < 20 m

In functie van het type gebouw (appartementengebouw, oud gebouw,...) kan een hogere quotering gehanteerd worden. Ook kan, voor kleine gebouwen met gering

risico of diep gefundeerde constructies eventueel een lagere of zelfs een nulquotering gehanteerd worden.

NOTA : Ten behoeve van de quotering kan men zich bijvoorbeeld inspireren op de SBR Meet- en beoordelingsrichtlijn 1 « Trillingen – Schade aan gebouwen » [10] welke constructies in verschillende klassen opdeelt.

- Bemalingsduur : puntenschaal van 1 (minste risico) tot 3 (meeste risico).

1 = bemalingsduur \leq 2 maanden

2 = bemalingsduur 2 à 6 maanden

3 = bemalingsduur $>$ 6 maanden

Algemene opmerkingen :

De waarde van de factoren kan zowel verhoogd als verlaagd worden, indien dit verantwoord kan worden, bijvoorbeeld :

- indien het vooraf vaststaat dat een waterkerend scherm voorzien zal worden of dat een retourbemaling zal toegepast worden, mogen de waarden van de factoren verlaagd worden, rekening houdende met de effectiviteit van deze maatregelen,
- bij sterk heterogene gronden is het aangewezen om verhoogde waarden toe te kennen.

Bij (een vermoeden van) aanwezigheid van verontreinigingen kan uitgebreider grondonderzoek aangewezen of noodzakelijk zijn.

De categorie van de bemaling wordt dan bepaald door de som van de 5 waarden :

categorie 0 : \leq 5 punten

categorie 1 : 6 tot 9 punten

categorie 2 : 10 tot 12 punten

categorie 3 : 13 tot 16 punten

2.3.2 Minimum grondonderzoek afhankelijk van de categorie van het werk

Afhankelijk van de categorie van het werk zal volgend grondonderzoek uitgevoerd worden :

NOTA : Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de sonderingen, uitgevoerd in het kader van de algemene studie van het project.

- Categorie 0 :

Voor een werk van categorie 0 zal minstens het minimum minimumum grondonderzoek uitgevoerd worden, namelijk 2 CPTs en 1 peilbuis per watervoerende laag.

▪ Categorie 1 :

Voor een werk van categorie 1 zullen CPTs en peilbuismetingen voorzien worden.

Het aantal CPTs is functie van de omvang van de te bemalen oppervlakte : voor lineaire bemalingen wordt min. 1 CPT om de 50 m voorzien ; voor tweedimensionele uitgestrekte bemalingen wordt 1 CPT per 500 m² voorzien. Het aantal bedraagt echter nooit minder dan dat van het minimum minimum (i.c. 2).

Het aantal peilbuizen is functie van de omvang van de te bemalen oppervlakte : voor lineaire bemalingen wordt min. 1 peilbuis om de 200 m voorzien ; voor tweedimensionele uitgestrekte bemalingen wordt 1 peilbuis per 2000 m² voorzien, steeds in iedere watervoerende laag. Het aantal bedraagt echter nooit minder dan dat van het minimum minimum (i.e. 1 per watervoerende laag).

▪ Categorie 2 :

Voor een werk van categorie 2 zullen CPTs, peilbuismetingen en boringen voorzien worden.

Het aantal CPTs en peilbuizen zal bepaald worden door de ontwerper op basis van de resultaten van de voorstudie, maar zal nooit minder bedragen dan de aantallen, geldig voor categorie 1.

Er wordt minimum 1 boring voorzien door de ontwerper.

NOTA : Er kan gebruik gemaakt worden van de boringen uitgevoerd in het kader van de algemene studie van het project.
--

▪ Categorie 3 :

Voor een werk van categorie 3 zullen CPTs, peilbuismetingen en boringen voorzien worden. De ontwerper beslist of al dan niet pompproeven nodig zijn. Hij onderbouwt deze beslissing.

Het aantal CPTs, peilbuizen en boringen zal bepaald worden door de ontwerper op basis van de resultaten van de voorstudie, maar zal nooit minder bedragen dan de aantallen, geldig voor categorie 2.

3 Evaluatieverslag van het vooronderzoek en het grondonderzoek

De resultaten van het grondonderzoek worden door de ontwerper geëvalueerd, samen met deze van het vooronderzoek. Er wordt opnieuw een verslag van opgesteld.

Indien de ontwerper dit nodig acht (bv. bij belangrijke verschillen tussen de resultaten van het grondonderzoek en deze van het vooronderzoek), wordt het grondonderzoek uitgebreid met extra sonderingen, peilbuizen, boringen en/of pompproeven of met bijkomende proeven zoals een bemalingsproef, laboratoriumproeven, doorlatendheidsproeven in een boorgat of een pompput,...

Uitzonderlijk kan in het bestek bijkomend onderzoek opgenomen worden. Het gaat hier om bijkomende proeven die (bv. omwille van ontoegankelijkheid) niet in het basisonderzoek konden worden opgenomen en dit ter bevestiging of controle van de basishypothesen van het ontwerp. Het type proeven, het aantal, de locatie en de diepte worden in dat geval in het bestek aangegeven. De ontwerper zal na uitvoering van dit bijkomend grondonderzoek het ontwerp herevalueren en zo nodig bijsturen.

4 Bepalen van de doorlatendheidscoëfficiënt en andere hydraulische parameters


De ontwerper bepaalt de doorlatendheidscoëfficiënt en desgevallend andere hydraulische parameters.


De doorlatendheidscoëfficiënt kan bepaald worden uit :

1. bestaande gegevens
2. de korrelverdeling
3. puntproeven
4. pompproeven
5. doorlatendheidsproeven in het labo
6. proeven met een piëzoconus (dissipatieproeven)
7. samendrukkingsproeven
8. een inversiemodel

In tabel 1 worden de proeven gerangschikt volgens hun betrouwbaarheid voor de bepaling van de doorlatendheidscoëfficiënt. Daarbij duidt “1” op “meest geschikt” en hoe hoger de waarde, hoe minder geschikt.

Doorlatendheidscoëfficiënten, bekomen uit proeven waaraan een score van 1 of 2 werd toegekend, kunnen rechtstreeks in de berekeningen ingevoerd worden. Waarden bekomen uit proeven waaraan een score van 3 of hoger werd toegekend, moeten getoetst worden aan andere beschikbare gegevens (lokale of regionale proefgegevens) ; uiteindelijk zal op basis van engineering judgement (en gekoppeld aan een sensitiviteitsanalyse) de meest geschikte waarde worden aangenomen. Indien uit de sensitiviteitsanalyse blijkt dat de impact van de hydraulische parameterkeuze dermate ingrijpend is, zal de ontwerper toch overgaan tot het uitvoeren van bijkomende proeven met score 1 of 2.

 Wanneer geen ervaringsgegevens beschikbaar zijn in verband met de doorlatendheid van de grond, is het aangewezen om een boring met continue monsternamen te laten uitvoeren en om daarna de korrelverdeling te laten bepalen van de lagen die op zicht de grofste korrels en/of het laagste gehalte aan fijne deeltjes hebben.

 Doorlatendheidsproeven in het labo worden best beperkt tot cohesieve lagen, daar voor zandlagen de doorlatendheid sterk kan worden onderschat. Ook voor cohesieve lagen dienen de resultaten van de doorlatendheid geïnterpreteerd in het ruime kader van het volledige onderzoek, met aandacht voor anisotropie en representativiteit van het beperkte monstervolume voor de volledige laag. Wanneer dergelijke proefresultaten beschikbaar zijn, wordt aangeraden te vermelden dat ze niet als enige bron van informatie betreffende de doorlatendheid van de grond gebruikt mogen worden, en dat men de resultaten met de nodige omzichtigheid moet hanteren.

Type proef	Voor niet-cohesieve gronden	Voor cohesieve gronden
Rechtstreekse bepaling		
Pompproef	1	(2)*
Doorlatendheidsproeven in een boorgat**	2	-
Doorlatendheidsproeven in het laboratorium : proef met veranderlijk verval	-	3
Doorlatendheidsproeven in het laboratorium : proef met constant verval	5	-
Doorlatendheidsproeven in het laboratorium : flexible wall permeameter	-	2
Onrechtstreekse bepaling		
Uit korrelverdeling (d_{10})	3	-
Uit samendrukkingsproeven	-	4
Uit dissipatieproeven bij piëzoconesonderingen	-	3
Uit inversiemodel (grondwatermodellering)	3	3
Uit beschikbare gegevens	3 à 4	3 à 4

Tabel 1 : Betrouwbaarheid van proeven ter bepaling van de doorlatendheid

*verticale doorlatendheden van een continue waterremmende laag tussen 2 watervoerende lagen kunnen ook uit pompproeven worden afgeleid

** door een verbuisde boring wordt de grond "gesmeerd", waardoor de doorlatendheid die gemeten wordt, lager kan zijn dan de werkelijke doorlatendheid

Ter bepaling van de doorlatendheidscoëfficiënt uit de korrelverdeling zijn diverse benaderingsformules beschikbaar, waarvan er enkele in bijlage B gegeven worden. Ze zijn gebaseerd op kenmerkende waarden zoals de korreldiameters d_{10} , d_{60} , d_{50} (definities zie achteraan) en de ongelijkvormigheidsgraad $U = d_{60} / d_{10}$. De diverse methodes mogen slechts worden aangewend binnen hun grenzen van toepasbaarheid.

Best gekend is de formule van Hazen [10, 11] :

$$k = 0.0116 d_{10}^2$$

met :

k = doorlatendheidscoëfficiënt (m/s)

d_{10} = actieve korreldiameter (mm)

Deze formule is geldig voor de doorlatendheid van water in middelmatig dicht gepakt zand met $d_{10} = 0.1$ à 0.6 mm en $U = 3$ à 5 .

Verder kunnen o.a. volgende parameters bepaald worden (definities zie achteraan) :

- hydraulisch gradiënt
- transmissiviteit
- bergings- of stockagecoëfficiënt

5 Concept van de bemaling

De ontwerper :

- verwerkt de waterstandsmetingen
- bepaalt de keuze van de bemalingsmethode
- bepaalt in welke laag/lagen gepompt moet worden en tot welke peilen
- bepaalt of schermen voorzien moeten worden en zo ja, de aanzetdiepte ervan
- bepaalt of een retourbemaling noodzakelijk is

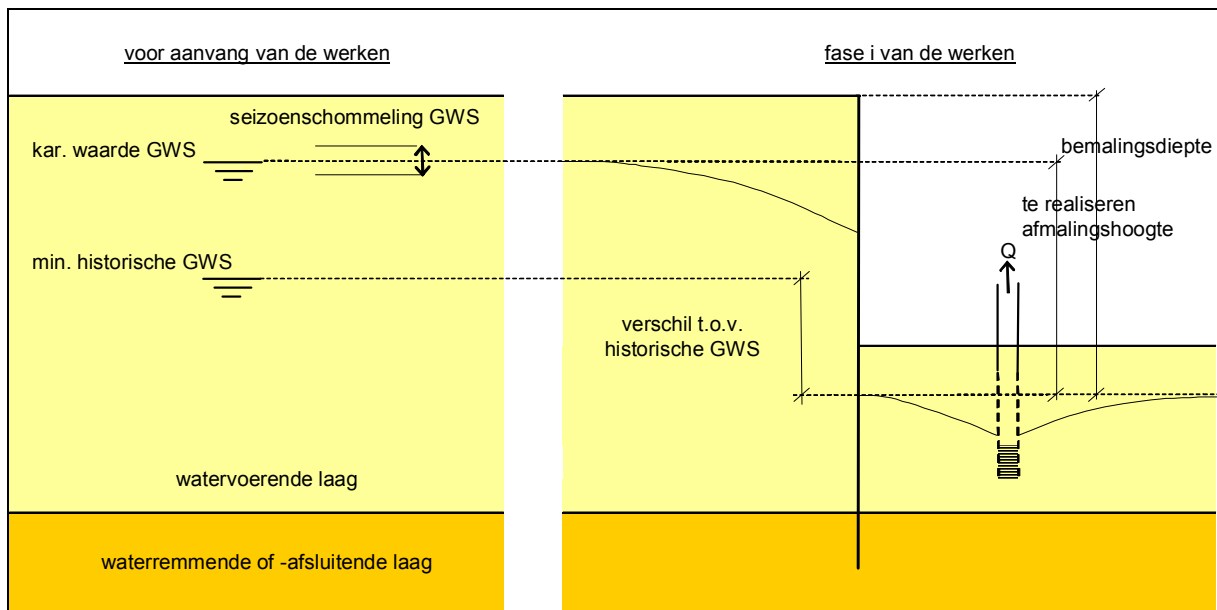
5.1 Verwerken van de waterstandsmetingen

De ontwerper definieert volgende kenmerkende grondwaterstanden in rust :

- de karakteristieke waarde van de grondwaterstand(en) in rust die bij het dimensioneren van de bemaling worden gehanteerd ; behoudens sterke seizoensvariaties kunnen de karakteristieke grondwaterstanden meestal gelijk worden genomen aan de gemiddelde gemeten waarden
- de vermoede of gekende minimale historische grondwaterstand die bij de bepaling van de invloed op de omgeving (zettingen) wordt aangehouden
- de karakteristieke waarden van de grondwaterstand(en) die bij de diverse stabiliteitscontroles (zie verder) in de diverse bouwfases en voor de afgewerkte constructie (lange termijn) worden gehanteerd ; als karakteristieke waarde dient hierbij meestal een veilige schatting te worden gemaakt van de hoogst mogelijke waterstanden of van het hoogst mogelijk stijghoogteverschil tussen verschillende grondlagen

 De grondwaterstanden gebruikt voor het ontwerp van de bemaling zijn over het algemeen verschillend van de grondwaterstanden waarvan uitgegaan wordt voor de controle op opdrijven.

Indien relevant, zal uit de waterstandsmetingen tevens het natuurlijke verhang van het grondwater worden afgeleid.



Figuur 11 : Kenmerkende grondwaterstanden (GWS)

De ontwerper beslist of, in aanvulling op de grondwaterstanden, ook voor waterbekkens, rivieren, stromen, ... die het dimensioneren van de bemaling beïnvloeden, karakteristieke waterhoogten moeten worden vastgelegd, hetzij op basis van metingen, hetzij op basis van beschikbare informatie. Over het algemeen kan hiervoor de gemiddelde waterstand en de gemiddelde getijdenhoogte worden toegepast.

5.2 Keuze van de bemalingsmethode

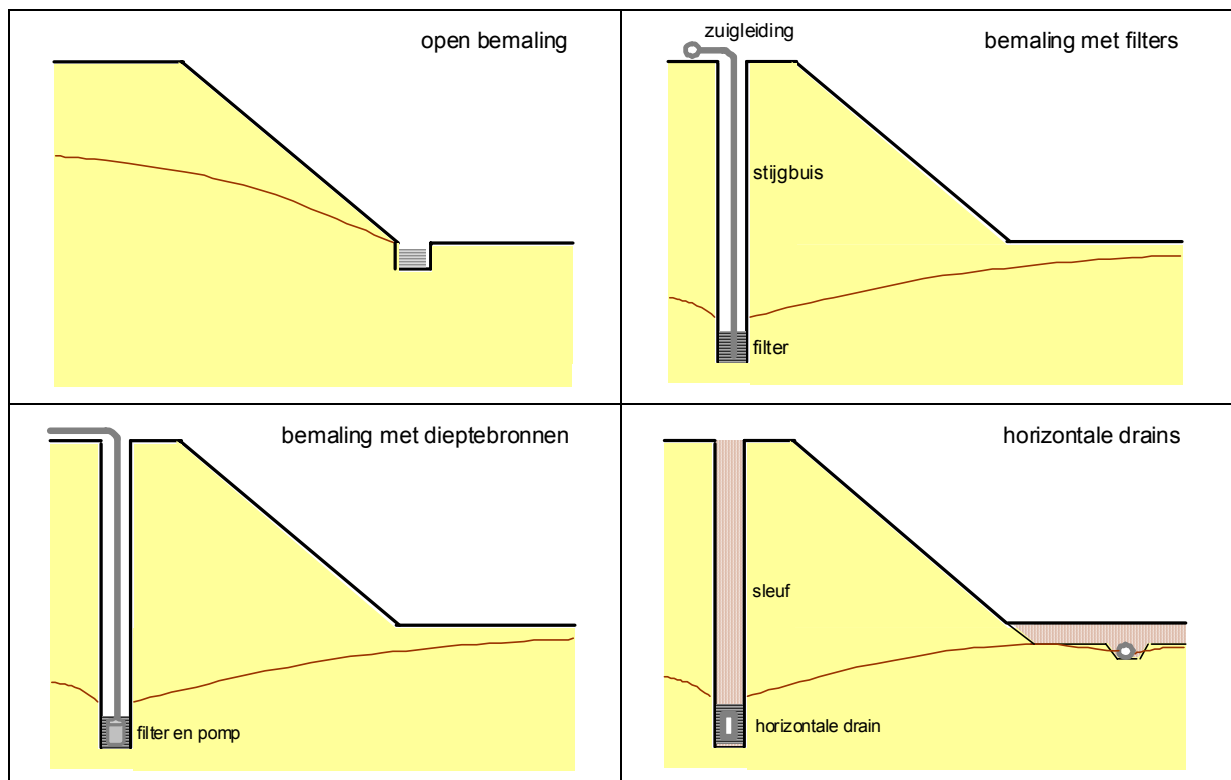
De ontwerper bepaalt op basis van de verzamelde en ontvangen informatie de bemalingsmethode, de lagen waarin bemaald moet worden en tot welke peilen. Deze keuze hangt af van :

- de bestaande grond- en grondwateromstandigheden
- de karakteristieken van het project, namelijk de uitgravingsdiepte en de omvang van de te realiseren grondwaterverlaging
- de eventuele noodzaak om de invloed van de bemaling op de omgeving te beperken
- de milieuvergunningseisen
- de uitvoeringswijze van de constructie

Men maakt onderscheid tussen :

- een open bemaling, waarbij het water dat uit het talud en de bouwputbodem stroomt, verzameld wordt in grachten en van daaruit weggepompt wordt
- een bemaling met verticale filterelementen
 - bemaling waarbij verticale filters in de te bemalen laag worden ingebracht ; zij zijn verbonden met een verzamelleiding waarop een pomp is aangesloten
 - zwaartekrachtbemaling, waarbij de filters bovenaan open zijn en het water via een stijgbuis naar de zuigleiding gevoerd wordt
 - vacuümbemaling, waarbij de filters bovenaan afgesloten worden en m.b.v. een vacuümpomp een onderdruk gerealiseerd wordt
 - bemaling met dieptebronnen, waarbij in elke pompput d.m.v. onderwaterpompen het water opgepompt wordt
- een bemaling met horizontale drains, waarbij drainagebuizen horizontaal in daartoe gegraven sleuven geplaatst worden ; het drainagewater wordt al dan niet via een pompput afgevoerd
- een spanningsbemaling, die tot doel heeft de stijghoogte in een gespannen waterlaag te verlagen om opbarsten van de bouwputbodem (zie verder) te voorkomen

Voor een nadere omschrijving van de uitvoeringswijze, het toepassingsgebied en de beperkingen van de diverse methoden wordt verwezen naar de literatuur [12, 13].



Figuur 12 : Bemalingsmethoden

5.3 Afscherpende maatregelen

De ontwerper bepaalt op basis van de verzamelde en ontvangen informatie of afscherpende maatregelen nodig zijn.

De afscherpende maatregelen om de invloed van de bemaling op de omgeving te beperken kunnen in 4 groepen worden onderverdeeld :

- de realisatie van verticale waterremmende wanden
- een horizontale natuurlijke of kunstmatige waterremmende laag
- het hervoeden van water in de grond door middel van retourbemaling of oppervlakte-infiltratie
- maatregelen om de duur van de bemaling te beperken

5.3.1 Verticale schermen en horizontale waterremmende lagen

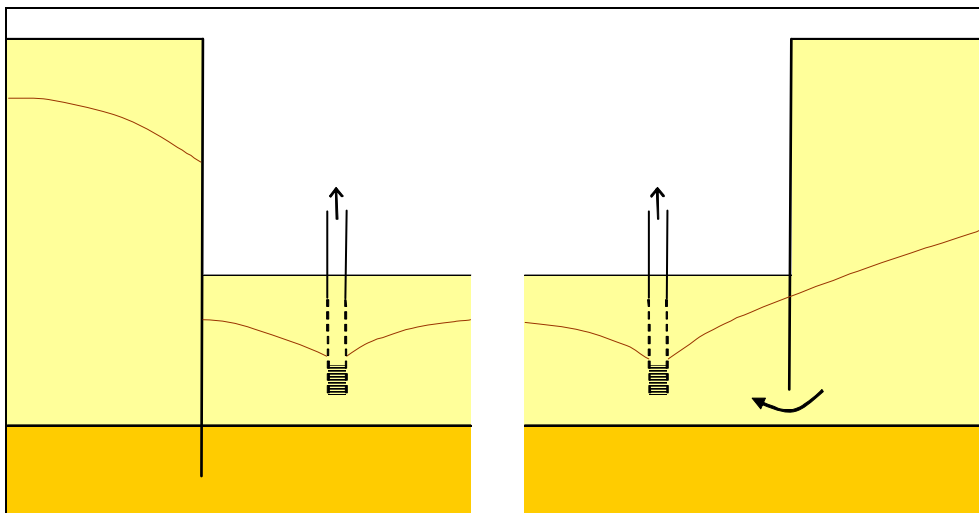
Verschillende types van waterremmende wanden en richtinggevende waarden voor hun hydraulische weerstand (bij normale, verzorgde uitvoering!), worden in de informatieve bijlage C gegeven.

Een waterremmende wand moet over de volledige omtrek van de bouwput uitgevoerd worden en mag niet onderbroken worden, bijvoorbeeld onder een leidingdoorvoer. Indien dit wel het geval is, dient de achterloopsheid (grondwaterstroming door de opening in het waterkerend scherm) in rekening gebracht te worden.

Om efficiënt te zijn, moeten waterremmende wanden uitgevoerd worden tot voldoende diep in een waterremmende grondlaag. De ontwerper bepaalt de aanzetdiepte van de waterremmende wanden. Aangewezen is een minimum van 1.50 m in de waterremmende grondlaag, eventueel te verhogen in functie van de doorlatendheid van de laag, het aanwezige verhang en het variërend peil van de bovenkant van de waterremmende grondlaag. Dit laat toe (mits controle van het gevaar voor opbarsten : zie verder) om de grondwaterverlaging te realiseren door wateronttrekking binnen een semi-gesloten bouwkuip, met aldus een beperkt onttrekkingsdebiet en een geringe invloed op de omgeving.

In het geval een dergelijke waterremmende grondlaag niet aanwezig is of slechts op zeer grote diepte wordt aangetroffen, bestaat de mogelijkheid om een waterremmende laag kunstmatig aan te brengen door middel van bijvoorbeeld lagedrukinjectie (permeation-grouting) of door middel van insnijdende Jetgrout-kolommen.

NOTA : Een alternatieve oplossing bestaat erin de bouwput binnen de waterremmende wanden in den natte uit te voeren en een waterkerende bodemplaat van onderwaterbeton te storten. Deze oplossing vergt een speciale studie.
--



Figuur 13 : Waterremmende wand al dan niet tot in een waterremmende grondlaag

Het gebruik van bovenstaande verticale of horizontale barrières beperkt niet alleen de grondwaterverlaging in de omgeving, zowel naar diepte als naar afstand ; het heeft tevens een aantal bijkomende, voordelige effecten :

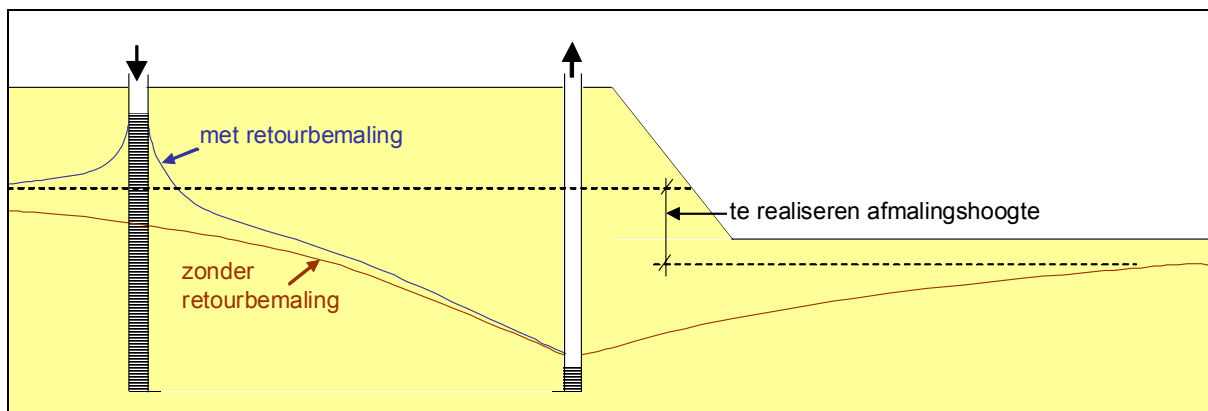
- vermindering van het te ontwateren grondvolume, en bijgevolg een kortere vereiste bemalingstijd met een geringer debiet voor het bereiken van de vereiste grondwaterverlaging
- een vermindering van het pompdebiet in regime, en bijgevolg geringere materieel- en energiekosten en geringere belasting vanwege het lozingswater
- in het geval van verontreinigde grond of verontreinigd grondwater : geringe verplaatsing van de verontreiniging in de omgeving, enerzijds, en minder verontreinigd water te lozen na zuivering

5.3.2 Hervoeding

Als alternatief, of soms in combinatie met bovenstaande afschermende wanden, kan een retourbemaling worden toegepast. De haalbaarheid van deze retourbemaling wordt door de ontwerper afgewogen, rekening houdende met de resultaten van de risicoanalyse, de kostprijs, de beschikbare ruimte, de technische haalbaarheid,...

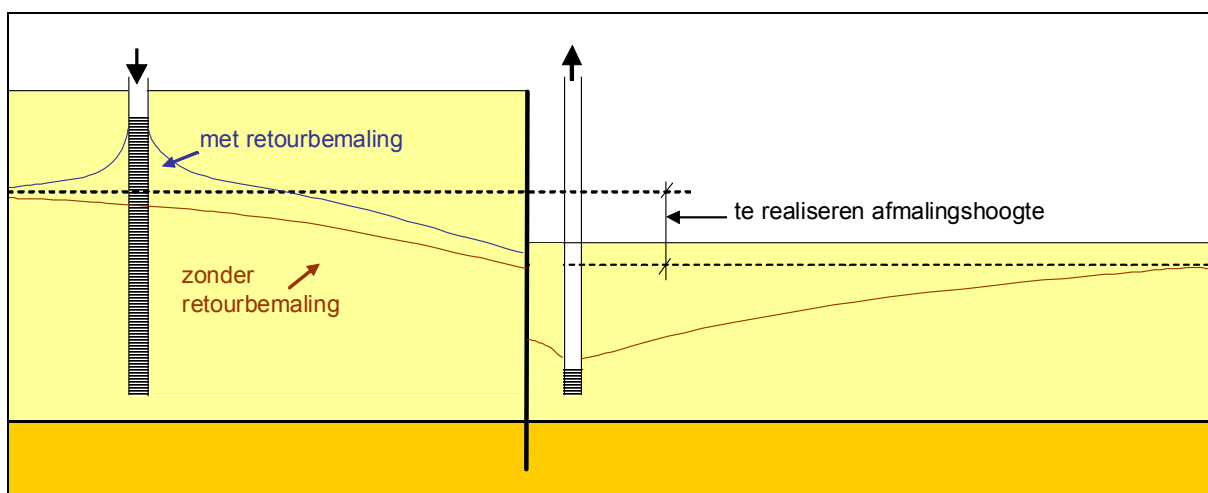
Het toepassen van een retourbemaling leidt tot een verhoging van het verhang naar de bouwput toe, en bijgevolg tot een toename van het vereiste onttrekkingsdebiet, vooral bij afwezigheid van een waterremmend scherm tussen de onttrekkingszone en de hervoedingszone. Ten einde bij afwezigheid van een waterremmend scherm een overdadig "rondpompen" te vermijden, moet een minimum tussenafstand worden gerespecteerd van de onttrekkingsbronnen tot de hervoedingsbronnen. Wanneer wel een waterremmend scherm aanwezig is, kan in daardoor verticaal afgesloten watervoerende tussenlagen wel worden hervoed tot onmiddellijk achter het scherm toe.

⚠ Een eventuele verzanding van de bemaling ten gevolge van de retourbemaling dient mee verrekend te worden in het ontwerp.



Figuur 14 : Retourbemaling bij afwezigheid van een waterremmend scherm

De hervoeding geschiedt oordeelkundig in die lagen, waarbij een maximaal effect van de reductie van zettingen en/of van ongewenste migratie van de verontreiniging ten gevolge van de bemaling wordt bereikt.



Figuur 15 : Retourbemaling bij aanwezigheid van een waterremmend scherm

Bij een retourbemaling is het van belang dat het opgepompte water niet te veel vaste deeltjes bevat. Daarom dient de membraanfilterindex bepaald te worden.

NOTA :

De membraanfilterindex wordt bepaald door een deel van het opgepompte water door een membraanfilter van $0,45 \mu\text{m}$ met een persdruk van 2 bar te pompen. De filtratietijd gedeeld door de gefiltreerde hoeveelheid water in het kwadraat (s/l^2) wordt de membraanfilterindex genoemd. De ontwerper bepaalt desgevallend de grenswaarde voor de membraanfilterindex. Over het algemeen is bij een membraanfilterindex kleiner dan 5 à 10 het grondwater geschikt voor hervoeding en zal het geen abnormale verstopping veroorzaken.

Indien de membraanfilterindex te hoog is, dienen de nodige maatregelen genomen te worden. Dit kan inhouden dat beslist wordt om geen retourbemaling uit te voeren, of om een put te regenereren of een nieuwe put te boren indien het probleem zich situeert ter hoogte van één bepaalde put.

Daarnaast mag het opgepompte water ook niet te veel gas bevatten. Dit wordt bepaald aan de hand van een ontgassingsproef.

NOTA : Bij een ontgassingsproef wordt het grondwater met behulp van een onderwaterpomp onder druk opgepompt en door een glazen vat geleid, waarbij de vorming van gasbellen bij verschillende drukhoogten wordt onderzocht.

Alle leidingen en verbindingen moeten zodanig uitgevoerd worden dat beluchting van het water zoveel mogelijk wordt voorkomen.

Als alternatief voor verticale hervoedingsbronnen kan soms een gravitaire oppervlaktehervoeding worden toegepast door middel van ondiepe horizontale of verticale drains, tijdelijke infiltratiesloten of –vijvers. Hierbij moet rekening gehouden worden met het feit dat de infiltratiesnelheid en bijgevolg de efficiëntie van de hervoeding met deze systemen over het algemeen met verloop van tijd afneemt door verstopping of vervuiling van de drains of door het ontstaan van een afsluitende sliblaag op de bodem van de sloot of de vijver.

5.3.3 Maatregelen om de duur van de bemaling te beperken

Maatregelen die de duur van de bemaling beperken, beperken aldus ook de invloed van de bemaling op de omgeving.

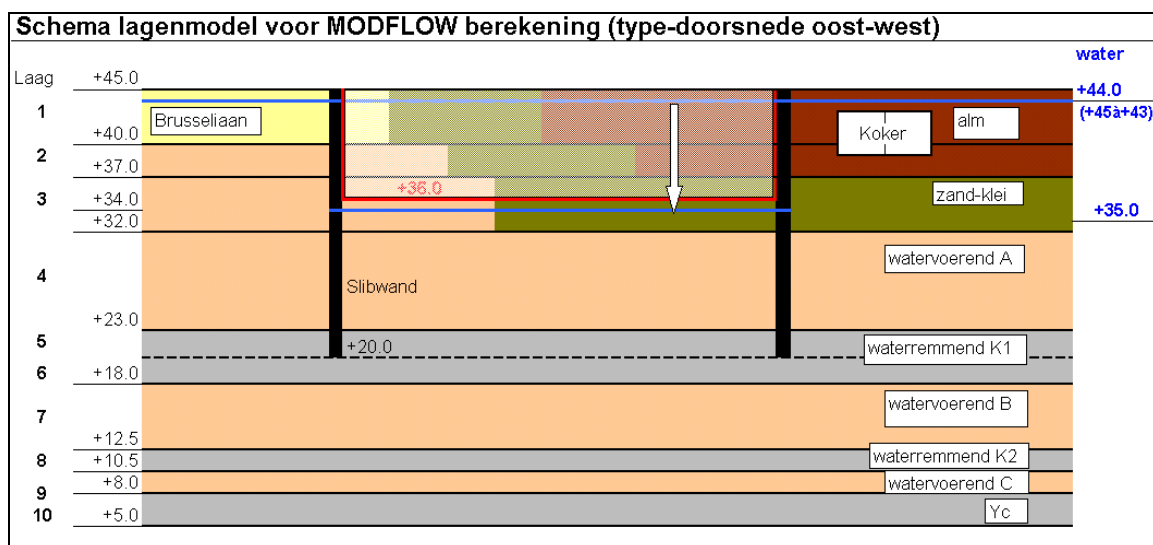
Een mogelijke maatregel bestaat erin om voor het uitgraven van de bouwput verticale trekelementen aan te brengen en om de algemene funderingsplaat of de vloerplaat van de op te richten constructie aan deze trekelementen vast te maken. De trekelementen en de vloerplaat worden zodanig gedimensioneerd dat de bemaling kan worden stopgezet van zodra de kelderwanden opgetrokken zijn. Op deze wijze kan worden voorkomen dat er nog gedurende een zeer lange periode gepompt moet worden totdat het gewicht van de constructie voldoende groot is om opdrijven tegen te gaan.

5.4 Grondwatermodellering

5.4.1 Hydrogeologisch rekenmodel

De ontwerper stelt een hydrogeologisch rekenmodel op. De berekeningen kunnen gaan van zeer eenvoudig/handmatig tot zeer complex via performante rekenprogrammatuur. We onderscheiden :

- eenvoudige analytische berekeningen, quasi handmatig uit te voeren, met toepassing van analytische formules voor de berekening van debieten en verlagingen
- specifieke analytische rekenprogramma's voor de berekening van grondwaterverlagingen met toepassing van één of meerdere verticale of horizontale bronnen, in één- of meerslagensystemen ; deze programma's zijn nog steeds gebaseerd op analytische formules en aldus beperkt tot vrij eenvoudige hydrogeologische modellen (homogene grondlagen van constante dikte, afwezigheid van semi-waterremmende schermen, ...) ; de berekeningen gebeuren in stationaire toestand en in vele gevallen ook tijdsafhankelijk
- eindige differentie- en eindige elementenrekenprogramma's voor het modelleren en berekenen van grondwaterstromingen



Figuur 16 : Voorbeeld van modellering voor eindige differentieprogramma

5.4.2 Raming van de bemalingsdebieten, de invloedssfeer en de verlagingen binnen en buiten de bouwput

De ontwerper maakt voor de mogelijke bemalingsmethoden in combinatie met de eventuele afschermdende maatregelen een raming van de verlagingen buiten de bouwput, de invloedssfeer van de bemaling en de bemalingsdebieten om de gewenste verlagingen ter plaatse van de bouwput te realiseren.

NOTA : De invloedssfeer van een bemaling is de afstand tot een bemaling waarbinnen nog juist meetbare verlagingen (bv. 5 cm) van de grondwaterstand optreden.

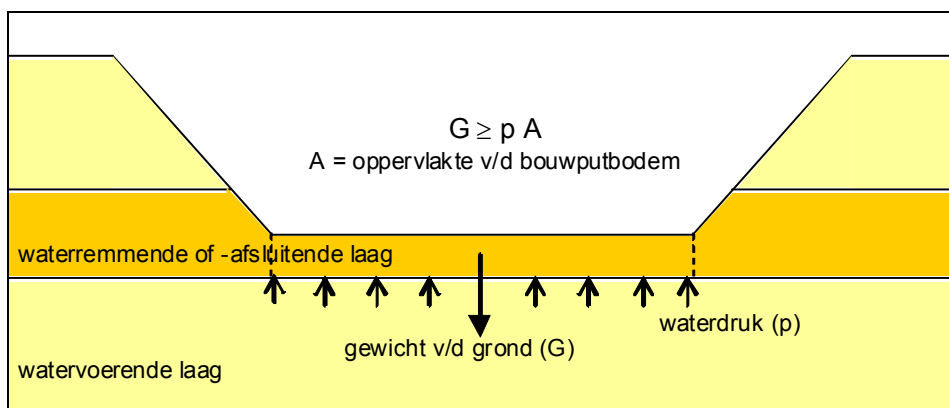
De berekeningen dienen minstens te gebeuren voor de stationaire toestand. Waar dit van belang is, is het aangewezen ook niet-stationaire berekeningen uit te voeren voor het bepalen van de afmalingshoogte en de debieten in functie van de bemalingstijd.

Door de vele aannamen mogen de analytisch berekende resultaten in veel gevallen slechts als een globale indicatie van de mogelijke effecten van de bemaling worden gezien. Dit is afdoende voor eenvoudige situaties, maar vaak ongeschikt of onhandig voor ingewikkeldere situaties, voor nauwkeurige berekeningen of voor het berekenen van niet-stationaire (dynamische) problemen.

5.5 Nazicht van de stabiliteitsvoorwaarden in en nabij de bouwput

Naast de analyse van de omgevingszettingen ten gevolge van de bemaling (zie §5.6.2), dient de ontwerper eveneens een aantal andere stabiliteitsaspecten die gepaard gaan met de grondwaterverlaging te beschouwen, met name :

- de veiligheid tegen opbarsten van de bouwputbodem (figuur 17)
- de stabiliteit van de bouwputbegrenzing, hetzij bestaande uit een grond- en/of waterkerende wandconstructie, hetzij uit een open talud
- kwel door de bouwputbodem, of eventueel door verticale gaten of langsheen paalschachten
- welvorming (Renard) die ontstaat wanneer de opwaartse stromingsdrukken in de bouwputbodem de effectieve gewichtskrachten overschrijden
- de opwaartse waterdrukken op de ondergrondse constructies die ontstaan wanneer in een latere bouwphase of de eindfase de grondwaterverlaging wordt verminderd of stopgezet
- de mogelijke instabiliteiten die ontstaan tijdens de realisatie van de grond- en/of waterkerende constructies tengevolge van de nog aanwezige waterdrukken (bv. stabiliteit van de bentonietvulling bij een slibwand, inkalvingen tijdens de beschoeiing door middel van een Berlijnse wand, instabiliteit bij de realisatie van een onderschoeiing,...)



Figuur 17 : Controle van het gevaar op opbarsten van de bouwputbodem

5.6 Invloed van de bemaling op de omgeving

Volgende invloedsaspecten op de omgeving dienen door de ontwerper beschouwd te worden, indien relevant :

- het ontstaan van zettingen in de omgeving en het eraan verbonden risico op schade
- het verplaatsen van grond- en/of grondwaterverontreinigingen
- de invloed op de omgevende flora : bomen, gewassen, landbouw (bij langdurige bemalingen)
- de invloed op waterwinningen, waterputten, vijvers (gevaar op droogvallen)
- de invloed op de begrenzingen van zoet en brak water

Hierna worden enkel de zettingen besproken. Voor de andere invloedsaspecten wordt verwezen naar gespecialiseerde literatuur.

5.6.1 Algemeen

Grondwaterverlagingen kunnen om diverse redenen leiden tot het ontstaan van zettingen. We onderscheiden :

- samendrukking ten gevolge van een vermindering van de waterspanningen in de grond en bijgevolg een toename van de korrelspanningen
- krimp ten gevolge van een vermindering van het watergehalte (klei)
- degradatie (verwering) van organische gronden in contact met de atmosfeer ; ten gevolge van de werking van aerobische bacteriën ontstaat een versnelde oxidatie en daardoor verwering en zakkingen, die bij een langdurige bemaling vrij belangrijk kunnen worden
- inwendige erosie in de omgeving van de bemalingsbronnen
- verwering van houten funderingen (bv. houten palen)

5.6.2 Zettingen t.g.v. samendrukking van de grond (toename van de korrelspanningen)

Door afname van de waterspanningen in de grond, nemen de korrelspanningen toe, waardoor de grond samengedrukt wordt. Dit leidt tot :

- zettingen van ondiep gefundeerde constructies (funderingen op staal, algemene funderingsplaat, fundering op korte putten)
- negatieve kleeft op diepe funderingen (putten of palen), en bijgevolg tot een bijkomende zetting en een reductie van de veiligheid op het draagvermogen
- zettingen van wegen, verhardingen, en van de aanwezige nutsleidingen

De te verwachten zettingen kunnen door de ontwerper worden geraamd door het uitvoeren van een zettingsberekening volgens één of andere geëigende methode (bv. met toepassing van de samendrukkingswet van Terzaghi). Ten einde een vrij realistische waarde van de te verwachten zetting te verkrijgen, zal men rekening houden met het volgende :

- de samendrukkingskarakteristieken worden zo goed mogelijk geschat op basis van de gegevens van het grondonderzoek en de beschikbare empirische correlaties ; richtwaarden voor de samendrukkingsconstante worden gegeven in bijlage D
- de grondspanningen worden in principe berekend met inbegrip van de aanwezige belastingen vanwege de bestaande constructies ; een veilige benadering bestaat erin de berekening uit te voeren voor het niet-belaste maaiveld
- de grondwaterdrukken bij bemaling worden zo goed mogelijk geschat voor de diverse maatgevende grondlagen
- de laagste seizoenwaterstand die met voldoende zekerheid is gemeten of vastgesteld
- de verlaagde grondwaterstanden die bij vroegere grondwaterverlagingen reeds zijn opgetreden
- het gunstige effect van andere historische voorbelastingen

5.6.3 Beoordeling van het risico op schade of hinder

De ontwerper bepaalt de grenswaarden voor totale en differentiële zettingen.

Afgezien van het feit dat geen schade aangericht mag worden door de werken, mogen de totale absolute zettingen veroorzaakt door de grondwaterverlaging in geen enkel punt meer dan 20 mm bedragen.

De totale absolute zettingen van gebouwen, veroorzaakt door de grondwaterverlaging, mogen niet meer dan 15 mm bedragen.

Verder dient de differentiële zetting tussen 2 punten van nutsleidingen of wegdek, gelegen op een tussenafstand van 5 m, zodanig beperkt te blijven dat de hellingshoek van de zettingscurve kleiner is dan 1/700.

Voor gebouwen kan verwezen worden naar de norm NBN B03-003 « Vervormingen van draagsystemen. Vervormingsgrenswaarden – Gebouwen » [14], waarin voor verschillende situaties aanbevolen grenswaarden van de verplaatsingen gegeven worden.

Volgende situaties vragen daarenboven bijzondere aandacht :

- gebouwen met een kelder die zich (gedeeltelijk) onder het grondwaterpeil bevindt
- aanpalende gebouwen met verschillende funderingswijze, bijvoorbeeld één gebouw op staal gefundeerd (zolen of algemene funderingsplaat) en een ander op putten of palen gefundeerd
- gebouwen met diep gefundeerde structuur en vlottende vloer op volle grond
- zeer rotatiegevoelige slanke constructies, bijvoorbeeld een mast die zich in de zone van sterke kromming van de verhanglijn bevindt
- constructies met een zettingsgevoelig of rotatiegevoelig productieproces
- zettings- of rotatiegevoelige hydraulische constructies, bijvoorbeeld een zwembad, een bekken van een zuiveringsstation,...
- hyperstatische constructies, bijvoorbeeld een hyperstatische brugconstructie

In het bijzonder moet men opletten bij :

- de aanwezigheid van veenlagen
- langdurige bemalingen.

6 Monitoring

De ontwerper specificceert de door de uitvoerder uit te voeren monitoring, met name :

- welke metingen uitgevoerd moeten worden
- de plaats en het aantal meetpunten (eventueel de zone aangeven op plan)
- wanneer gemeten moet worden (gedurende welke periode en met welke frequentie)

De uitgebreidheid van de monitoring zal afhankelijk zijn van de categorie van het werk (zie §2.3.1). Voor werken van categorie 0 zal meestal geen monitoring vereist zijn, voor werken van categorie 3 zal over het algemeen een uitgebreide monitoringcampagne te verkiezen zijn, en voor werken van categorie 1 of 2 zal, afhankelijk van de specifieke omstandigheden, een eerder beperkte of eerder uitgebreide monitoringcampagne aangewezen zijn.

Wanneer bij het monitoren van de bemaling een overschrijding van de alarmwaarde of de drempelwaarde van een opgevolgde parameter wordt vastgesteld, zal de uitvoerder de ontwerper en de opdrachtgever verwittigen.

De drempelwaarde (ORANJE LICHT) wordt gelijk gesteld aan 2/3 van de grenswaarde, zoals vooropgesteld in de ontwerpeisen en dit per kunstwerktype.

De alarmwaarde (ROOD LICHT) wordt gelijk gesteld aan de grenswaarde, zoals vooropgesteld in de ontwerpeisen en dit per kunstwerktype.

Bij het overschrijden van de drempelwaarde (ORANJE LICHT) neemt de ontwerper de volgende maatregelen :

- hij bepaalt de nieuwe meetfrequentie van de gemonitorde parameter,
- hij evalueert de alarmwaarde en past deze eventueel aan in functie van de specifieke constructie,
- hij definieert in overleg met de uitvoerder de maatregelen die genomen moeten worden wanneer de alarmwaarde (ROOD LICHT) overschreden wordt en legt deze voor aan de opdrachtgever.

Bij het overschrijden van de alarmwaarde (ROOD LICHT) neemt de ontwerper de volgende maatregelen :

- hij evalueert het probleem constructiespecifiek,
- hij geeft opdracht aan de uitvoerder om de maatregelen die gedefinieerd werden bij het overschrijden van de drempelwaarde en goedgekeurd werden door de opdrachtgever, uit te voeren.

Monitoring kan bestaan uit :

- peilbuismetingen
- debietmetingen
- controle van het onttrokken water
- plaatsbeschrijvingen
- inmeten van meetpunten en merktekens

6.1 Peilbuismetingen

Het is ten eerste aangewezen een aantal relevante peilbuizen te plaatsen :

- binnenin de te bemalen zone, ten einde de bemalingsdiepte optimaal in te stellen
- net buiten de te bemalen zone, om bijvoorbeeld na te gaan of het effect van de afsluitende schermen voldoet aan de eisen en verwachtingen
- op enige afstand van de te bemalen zone om na te gaan of de verhanglijn voldoet aan de verwachtingen

Peilbuizen worden bij voorkeur geplaatst in de 4 windrichtingen en met een filterelement in de relevante grondlagen.

Voor langdurige en zware bemalingen kunnen de peilbuizen worden uitgerust met waterdruksensoren en continue meting en registratie.

6.2 Debietmetingen

Bij elk bemalingsregime dient door de uitvoerder het bemalingsdebiet te worden gemeten, minstens manueel (bv. door chronometreeren van de tijd voor het vullen van een vat met gekend volume), maar bij voorkeur via één of meerdere debietmeters. Het aantal debietmeters dient door de ontwerper oordeelkundig bepaald te worden zodat een globaal beeld van de werking van de bemaling verkregen kan worden.

6.3 Controle van het onttrokken water

Om ontzanding via de bronnen te vermijden zal minstens bij het opstarten van de bemaling gecontroleerd worden of het onttrokken water zandvrij is. Dit kan door een

monster van het onttrokken water (1 à 2 liter) in een maatcilinder te gieten en kortstondig aan een krachtige draaiende beweging te onderwerpen. Het eventueel aanwezige zand zal zich in het midden op de bodem verzamelen. Dit is een zuiver kwalitatieve proef. Een nauwkeurigere meting kan gebeuren met behulp van een proefopstelling, waarbij een deel van het onttrokken water over een zandopvang (60 μm) geleid wordt. Na droging van het opgevangen zand wordt het zandgehalte bepaald in g/m^3 water. De ontwerper bepaalt desgevallend de grenswaarde voor het zandgehalte. Richtwaarden zijn max. $0.01 \text{ g}/\text{m}^3$ bij hoge onttrekkingsdebieten ($\geq 30 \text{ m}^3/\text{u}$ per put) en max. $0.1 \text{ g}/\text{m}^3$ bij middelmatige onttrekkingsdebieten ($\leq 2 \text{ m}^3/\text{u}$ per put). Bij tussengelegen waarden kunnen de richtwaarden bepaald worden door interpolatie. Als deze waarden overschreden worden, moet de betreffende bron uitgeschakeld worden en de bemaling zo nodig aangepast worden.

6.4 Plaatsbeschrijvingen

Voor bemalingen van categorie 2 of 3 (zie § 2.3.1) is het aangewezen een voorafgaande plaatsbeschrijving – zowel binnen als buiten - op te maken van ondiep gefundeerde constructies gelegen op minder dan 50 m afstand van de bemaling. Deze plaatsbeschrijving wordt best tegensprekelijk uitgevoerd.

De plaatsbeschrijving kan worden beperkt, bijvoorbeeld tot een beschrijving van de buitengevels, wanneer tevens een voldoende aantal meetpunten (zie § 6.5) op de omgeving wordt aangebracht en ingemeten.

In wezen dienen de plaatsbeschrijvingen bij de verschillende belangrijke bouwfases (bv. na het uitvoeren van de beschoeiingswanden, na het aanleggen van de bemaling, na de uitvoering van heiverken,...) te worden hernomen ten einde het oorzakelijke verband met eventuele schade te kunnen vastleggen. Als alternatief kunnen de aangebrachte meetpunten op geregelde tijdstippen worden ingemeten.

6.5 Meetpunten en merktekens

De ervaring leert dat het aanbrengen en geregeld inmeten van een aantal meetpunten op omgevende constructies en wegenis de meest directe en meest eenduidige methode is voor een goede opvolging van de invloed, zowel van de bemaling als van andere bouwactiviteiten.

In de invloedzone van de grondwaterverlaging worden meetbouts aangebracht. De ontwerper bepaalt de plaats van deze meetbouts. Ze kunnen bijvoorbeeld aangebracht worden naast elke geplaatste peilbuis op 4 of 8 sneden loodrecht op de as van de bouwput, op verschillende afstanden.

In losse gronden kunnen meetbouten geplaatst worden op betonnen paaltjes die tot 80 cm onder het maaiveld reiken. De meetbouten worden genummerd en door de uitvoerder op een situatieplan opgetekend.

De meetpunten dienen voldoende vroegtijdig (minstens 2 weken voor de start van de grondwaterverlaging) en met een goede nauwkeurigheid (0.1 mm) in hoogte worden ingemeten t.o.v. een ongevoelige referentie. De metingen worden geregeld hernomen in de kritieke bouwperioden en geëvalueerd.

In aanvulling op de meetpunten kan op een aantal markante plaatsen (bv. op de scheidingsvoeg tussen aanpalende gebouwen, op al aanwezige scheuren in de constructie, ...) een merkteken of scheurmeter worden aangebracht zodat de evolutie hier in het bijzonder kan worden nagegaan.

6.6 Bewaking

Voor kritische bemalingsperioden moet de bemaling zijn uitgerust met een afdoend bewakingssysteem, zodanig dat storingen in de bemaling ten spoedigste worden gemeld aan de verantwoordelijke werftoezichter(s). Dit kan bijvoorbeeld door een alarm te plaatsen op één of meerdere peilfilters en dit aan te sluiten op een GSM.

De ontwerper beslist of een reservegroep voorzien moet worden

De bemaling dient eveneens te worden opgenomen in het veiligheidsplan van het werk.

7 Risicoanalyse

Aansluitend bij het ontwerp maakt de ontwerper een risicoanalyse. Dit houdt in dat de mogelijke problemen die kunnen optreden bij een bemaling overlopen moeten worden en dit wat betreft de oorzaak, de kans op voorkomen, en de schade die eruit zou voortvloeien. Voor de kritische situaties moet een interventiescenario opgesteld worden, waarin omschreven wordt welke voorzieningen getroffen moeten worden om desgevallend de schade te voorkomen of te beperken.

Volgende situaties dienen hierbij beschouwd te worden :

- het grondwaterpeil wordt onvoldoende verlaagd omdat :
 - de doorlatendheid te laag werd geschat
 - de gelaagdheid anders is dan voorzien
 - het grondwaterpeil in rust verkeerd werd geschat
 - de bemalingsinstallatie niet goed functioneert

- er treedt schade op in de bouwput :
 - de bodem van de bouwput barst op
 - de bouwputbegrenzing (talud of keerconstructie) is niet stabiel
 - er treedt kwel of welvorming op

- er ontstaat schade aan de in de omgeving aanwezige constructies doordat :
 - de te verwachten zettingen werden onderschat
 - de invloedzone van de bemaling werd onderschat
 - de in de omgeving aanwezige verontreinigingen worden verplaatst

Deze risicoanalyse wordt aan de opdrachtgever voorgelegd.

8 Rapportering van de conceptstudie en besluitvorming

De ontwerper maakt van de conceptstudie een rapport op. Dit rapport bevat minstens :

- de probleemstelling en de randvoorwaarden
- informatie en documentatie (grondgegevens,...)
- de keuze van de bemalingsmethode, de lagen waarin bemaald moet worden en eventuele afscherpende maatregelen
- de toegepaste grondwatermodellering met raming van de debieten en de grondwaterverlagingen
- de risicoanalyse

Dit rapport wordt aan de opdrachtgever en de uitvoerder overgemaakt.

De besluitvorming van deze conceptstudie wordt verwoord in het bestek.

9 Uitvoeringsaspecten

9.1 Opstellen van een gedetailleerd bemalingsplan

Het gedetailleerd bemalingsplan wordt opgemaakt door de uitvoerder en ter goedkeuring voorgelegd aan de ontwerper.

Bepaalde onderdelen van het bemalingsplan kunnen worden overgenomen uit de conceptstudie, voor zover de uitvoerder zich hiermee akkoord verklaart.

Het omvat :

- een beknopte omschrijving van de uitgangspunten (grondgegevens, eisen van het ontwerp m.b.t. bemalingsdiepte en –tijd)
- een raming van de te verwachten hoeveelheden op te pompen water in de diverse fasen
- een beschrijving van het bemalingsstelsel :
 - type bemaling
 - locatie, diepte en opbouw van de bemalingselementen (drains, filters, dieptebronnen)
 - plaatsingswijze van deze elementen (boormethode, boormaterieel, graafmaterieel, ...)
 - situering van afvoerleidingen en lozingspunten
 - situering, capaciteit en type van de pompen
 - type energievoorziening
 - indien van toepassing, beschrijving van de schermen : type, aanzetdiepte, uitvoering,...
 - indien van toepassing, beschrijving van de hervoedingssystemen : componenten, werkwijze,...
- een beschrijving van de bewaking en de monitoring :
 - bewaking en beveiliging van de goede werking van het bemalingsstelsel (bv. alarmering, reservestroomaggregaat, ...)
 - opvolging van de bemaling : peilbuismetingen (locatie en diepte van de peilbuizen, meetfrequentie), debietmetingen, controle op onttrokken water
 - opvolgen van het effect van de bemalingen : visuele controle, plaatsbeschrijvingen, opmetingen van meetpunten en merktekens, ...
- risicoanalyse en interventieplan

9.2 Installatie van de bemaling

De effectiviteit van de bemaling is niet alleen afhankelijk van de hydrogeologische omstandigheden (grond- en grondwaterkarakteristieken) en van het bemalingssysteem, maar ook in belangrijke mate van de wijze waarop de bemalingselementen worden aangebracht.

De uitvoerder meldt bijtijds (minimum 1 week op voorhand) aan de ontwerper de datum van installatie van de bemaling, zodat hij de mogelijkheid heeft hierbij aanwezig te zijn.

De uitvoerder kiest oordeelkundig de boortechniek voor het plaatsen van de filters of bronnen, zodanig dat het rendement en de bedrijfszekerheid van de filters of bronnen niet ongunstig worden beïnvloed. Er moet worden vermeden dat de toegepaste boormethode leidt tot het ontstaan van een smeerlaag op de boorwand, waardoor de opbrengst van de filter of bron wordt gereduceerd.

De filterbuizen moeten centraal in het boorgat worden geplaatst en gehouden, waarna ze worden omstort met geschikt filtermateriaal. Waar en wanneer nodig worden klei- of bentonietstoppen aangebracht (bv. bij het voorkomen van verontreinigde waterlagen, bij spanningsbemaling, bij vacuümbemaling).

De filterbuizen worden schoongepompt, waarbij fijne deeltjes uit of omheen de filteromstorting worden verwijderd. Dit schoonpompen dient zo lang door te gaan tot wanneer de put zand- en slibvrij water levert.

Bij retourbemalingen wordt in het bijzonder de kwaliteit van het aangewende retourwater en de luchtdichtheid van de leidingen gecontroleerd.

9.3 Proefbemaling

Het bestek kan voorzien in het uitvoeren van een proefbemaling. Hierbij wordt de bemalingsinstallatie of een deel ervan gedurende één of enkele dagen in werking gesteld en worden de effecten van de bemaling intens en nauwkeurig opgevolgd.

Mogelijke doelstellingen van dergelijke proefbemaling zijn :

- vaststellen of de voorziene installatie toelaat om de beoogde verlaging te realiseren en/of de capaciteit van de pompinstallatie voldoet
- vaststellen of de invloed van de bemaling en de impact van de begrenzingsmaatregelen beantwoorden aan de verwachtingen

- nazicht of door de bemaling ook dieper gelegen niet-bemaalde lagen onder de bouwputbodem voldoende mee worden afgemalen om instabiliteit van de bouwputbodem door opbarsten of welvorming te voorkomen ; omgekeerd kan bij het stilleggen van de proefbemaling worden nagegaan hoe snel de waterspanningen in deze dieper gelegen lagen stijgen, teneinde het risico hiervan bij stroomuitval te kunnen evalueren
- nazicht of door de bemaling ook hooggelegen lagen boven eventueel voorkomende stoorlagen voldoende worden ontwaterd om instabiliteiten of ongewenste waterinfiltraties van de bouwputwanden te voorkomen

9.4 In werking stellen en in stand houden van de bemaling

Bij het ontbreken van een proefbemaling dienen de effecten van de bemaling bij het in werking stellen van nabij te worden opgevolgd. Desgevallend worden de nodige aanpassingen en bijstellingen doorgevoerd, zoals :

- afregelen in meer of in min van de pompgebieden
- uitschakelen van één of meerdere filters of bronnen
- plaatsen van bijkomende filters of bronnen, in dezelfde laag en/of in hoger of dieper gelegen lagen

Eventueel moet worden overgegaan tot het aanpassen van de beschermende maatregelen.

Tijdens het verdere verloop van de bemaling wordt deze volgens noodzaak bijgestuurd om te voldoen aan de vooropgestelde eisen naar bemalingsdiepte in de verschillende bouwfasen. In het bijzonder zal de bemalingscurve worden getoetst aan de vastgelegde alarmpeilen.

De diverse voorziene controles en metingen worden door de uitvoerder uitgevoerd op de afgesproken wijze en frequentie, en ten gepaste tijde gerapporteerd.

Tijdens de gehele bemalingsperiode wordt door de uitvoerder de nodige aandacht besteed aan :

- de bedrijfszekerheid van de bemalingsinstallatie
- de daartoe geëigende alarmprocedure (bv. in weekends en vakantieperiodes)
- het onderhoud van de boveninstallaties (aggregaten, pompen, leidingen, ...)
- het onderhoud van de putten, zowel voor onttrekking, maar meer in bijzonder nog voor hervoeding

9.5 Beëindigen van de bemaling

Het verminderen en uiteindelijk stopzetten van de bemaling geschiedt in overeenstemming met de desbetreffende eisen en voorwaarden van het ontwerp en de afspraken met de ontwerper.

In het bijzonder moet hierbij worden gelet op het volgende :

- het uitschakelen van de bemaling moet voldoende geleidelijk geschieden om belangrijke verhangen te vermijden die kunnen leiden tot instabiliteiten (bv. welvorming, waterstroming langs paalschachten, ...)
- er moet te allen tijde een voldoende veiligheid voorhanden zijn tegen opdrijven
- spanningsbemalingen worden pas uitgeschakeld wanneer er geen gevaar meer bestaat voor opbarsten van de bouwputbodem
- er wordt nauwlettend toegezien op het ontstaan van ontoelaatbare waterinsijpelingen doorheen de kelderwanden (bv. aan voegen van dichtwanden, doorboringen voor trekankers, ...) of de kelderplaat (bv. aan stortvoegen, aan de doorgangen van de putten)
- achtergelaten bronnen worden opgevuld met klei. Ook filters die belangrijke scheidende lagen perforeren moeten worden opgevuld met klei of bentoniet

10 Repertorium bestektekst

Hieronder wordt een leidraad gegeven voor het opstellen van een bestektekst voor bemalingswerkzaamheden. Er wordt een logische opsomming gegeven van de op te nemen punten in het bestek. *Schuin gedrukt* worden voorbeelden gegeven en keuzemogelijkheden worden aangeduid met het symbool “□” of “/”. Waarden die ingevuld moeten worden, staan vermeld met xxx.

1. Inleiding

1.1. Omschrijving van de noodzaak van de bemaling

Voorbeeld : Voor de bouw van een tunnel moet het grondwater, met rustpeil +6.00 verlaagd worden tot het peil -5.00.

1.2. Opvatting van het bestek

- Het concept van de bemaling (bemalingsmethode, pompen in welke lagen en tot welke peilen, al of niet voorzien van waterremmende schermen en/of retourbemaling) wordt in voorliggend bestek beschreven.

of :

- De uitvoerder kan alternatieven voorstellen op het concept dat in voorliggend bestek beschreven wordt. Hij legt dit ter goedkeuring voor aan de ontwerper. Deze alternatieven dienen uitgewerkt en onderbouwd te zijn conform de Richtlijnen Bemalingen.

2. Beschikbare gegevens

2.1. Referentiepunten

Vastleggen van het/de te gebruiken referentiepunt(en) : benaming van het/de referentiepunt(en), omschrijving en verwijzing naar het plan waarop de ligging van het/de punt(en) aangeduid is. Referentiepunten kunnen bestaande punten zijn of te materialiseren punten buiten de invloedzone van de bemaling.

Voorbeeld : Referentiepunt R01 is de dorpel van de voordeur van het huis gelegen xxx. Referentiepunt R02 is de meetbout aangebracht op een betonnen paaltje en aangeduid op plan xxx.

2.2. Geotechnische gegevens

Opsomming van de rapporten van het grondonderzoek op de werfsite en eventueel in de onmiddellijke omgeving.

Voorbeeld : De resultaten van het grondonderzoek zijn vervat in de verslagen xxx.

Uitzonderlijk kan bijkomend onderzoek gevraagd worden. Het gaat hier om bijkomende proeven die niet in het basisonderzoek konden worden opgenomen en dit ter bevestiging of controle van de basishypothesen van het ontwerp. Het type proeven (sonderingen, boringen), het aantal, de locatie (eventueel verwijzing naar plan) en de diepte worden in 4.1.1 aangegeven. Desgevallend wordt hiernaar verwezen in deze paragraaf.

2.3. Hydrogeologische gegevens

Opsomming van de rapporten van de waterpeilmetingen en opgave van de syntheseresultaten.

Opsomming van de rapporten van de pompproeven of opgave van de resultaten.

Indien bijkomende peilbuizen geplaatst moeten worden, worden het aantal, de locaties en de diepte of de grondlaag waarin ze geplaatst moeten worden, aangegeven in 4.1.2. Desgevallend wordt hiernaar verwezen in deze paragraaf.

2.4. Geotechnische en hydrogeologische randvoorwaarden

Opgave van de in rekening te brengen waterpeilen in rivieren, beken, waterbekkens, ...

Opgave van de hydraulische weerstand van eventueel afdekkende sliedlagen

Omschrijving van de grondlagenopbouw en de geotechnische en hydrogeologische parameters ten behoeve van de berekeningen

2.5. Omgevingsvoorwaarden

Onder dit punt worden alle elementen uit de omgeving vermeld waar rekening mee gehouden moet worden. Het betreft :

- de constructies die schade kunnen ondervinden ten gevolge van zettingen
- mogelijke grond- of grondwaterverontreinigingen die verplaatst kunnen worden
- belangrijke flora die ten gevolge van de grondwaterverlaging kan afsterven

- waterwinningen, waterputten, vijvers die kunnen droogvallen
- begrenzingen van zoet en brak water die verstoord kunnen worden

3. Omschrijving van de bemalingsopdracht

Hier worden de opgelegde eisen en de ontwerpgegevens mee te delen door de ontwerper, vermeld.

3.1. Algemene omschrijving van de bemalingswerkzaamheden

- Te realiseren waterpeilverlaging in de verschillende bouwfases
- Afbakening van de invloedzone en vermelding van de toelaatbare waterverlaging aan de rand van deze invloedzone
- Alarmpeilen van het grondwater buiten de afgebakende invloedzone
- Criteria voor het stopzetten van de bemaling
- Toelaatbare absolute en differentiële zettingen

3.2. Vastleggen van de toe te passen bemalingsmethode(n)

De grondwaterverlaging wordt gerealiseerd door toepassing van :

- een open bemaling

of :

- een verticale zwaartekrachtbemaling of vacuümbemaling

of :

- een verticale bemaling met onderwaterpompen (dieptebronnen)

of :

- een verticale spanningsbemaling

of :

- een horizontale bemaling of drainage

3.3. Vastleggen van de maatregelen om de effecten van de bemaling te beheersen

Teneinde de effecten van de bemaling op de omgeving te beperken worden volgende maatregelen voorzien :

- een verticaal waterremmend scherm :
In het algemeen bestek wordt een verticale waterremmende wand voorzien. De wand wordt uitgevoerd tot peil xxx / tot xxx m in de ondoorlatende / waterremmende grondlaag. Het lekdebiet van de wand bedraagt max. xxx m³/h. De uitvoering van deze wand maakt geen deel uit van dit bestek.

en/of :

- een horizontaal waterremmend scherm :
In het algemeen bestek wordt een horizontale waterremmende laag voorzien op peil xxx, d.m.v. een lagedrukinjectie (permeation grouting) / insnijdende Jetgrout kolommen, met een lekdebiet van max. xxx m³/h. De uitvoering hiervan maakt geen deel uit van dit bestek.

en/of :

- een retourbemaling :
Specificaties worden in 4.2 gegeven.

3.4. Referentiebemalingsplan

Hier wordt vermeld in welke lagen bemaald moet worden, en welke de geraamde pompdebieten zijn.

4. Uitvoering van de bemalingsopdracht

De ontwerper specificeert hier de werkzaamheden uit te voeren door de uitvoerder van deze bemalingsopdracht.

4.1. Vorbereidende werkzaamheden

4.1.1. Bijkomend grondonderzoek.

Indien uitzonderlijk een deel van het grondonderzoek niet in het basisonderzoek kon worden opgenomen, wordt hier gespecificeerd welk bijkomend grondonderzoek door de uitvoerder uitgevoerd moet worden, waarbij verwezen wordt naar de Richtlijnen Bemalingen. Men vermeldt hier dat de uitvoerder de resultaten van het bijkomend grondonderzoek aan de ontwerper overmaakt, die het ontwerp zal herevalueren en zo nodig bijsturen.

4.1.2. Bijkomende peilbuizen.

Indien (bijkomende) peilbuizen geplaatst moeten worden door de uitvoerder voor de aanvang van de grondwaterverlaging, wordt dit hier gespecificeerd, waarbij verwezen wordt naar de Richtlijnen Bemalingen.

4.1.3. Opmeting van de peilbuizen.

- specificatie van de op te meten peilbuizen
- vermelding van de meetperiode
- vermelding van de meetfrequentie

4.1.4. Plaatsbeschrijvingen van de naburige constructies.

- specificatie van de constructies waarvan een plaatsbeschrijving gemaakt moet worden
- specificatie van de inhoud van de plaatsbeschrijving (binnen, buiten,...)
- specificatie van de tijdstippen waarop de plaatsbeschrijvingen uitgevoerd moeten worden : enkel voor aanvang van de werken of ook bij welbepaalde bouwfases en zo ja, welke

4.1.5. Referentietoestand van de meetpunten en de merktekens.

Specificatie van de meetpunten en de merktekens waarvan de referentietoestand opgemeten moet worden, met aanduiding van de gewenste nauwkeurigheid.

4.1.6. Opmaken van een gedetailleerd bemalingsplan.

Het gedetailleerd bemalingsplan moet opgemaakt worden in overeenstemming met de Richtlijnen Bemalingen, paragraaf 9.1.

4.1.7. Uitvoeren van een proefbemaling.

Specificatie of, voorafgaandelijk aan de start van de eigenlijke bemaling, een proefbemaling uitgevoerd moet worden.

Zo ja :

- specificatie of de bemalingsinstallatie volledig of gedeeltelijk in werking gesteld moet worden
- specificatie van de duur (aantal dagen) van de proefbemaling of het criterium dat bereikt moet worden

- specificatie van de op te volgen effecten (grondwaterverlaging in verschillende lagen, zettingen,...) en de meetfrequentie ervan
- specificatie van de wijze waarop de effecten geëvalueerd moeten worden

4.1.8. Bouwplaatsinrichting

Hier worden gegevens vermeld betreffende de voorzieningen voor de bouwplaatsinrichting (energie- en watervoorziening, toegankelijkheid en afsluiting van de werf,...).

4.1.9. Aanvragen van de nodige vergunningen

De uitvoerder dient te voldoen aan de geldende meldings- en vergunningsplichten.

4.2. Realiseren van de maatregelen om de invloed van de bemaling te beperken

Hier worden de eisen naar technische uitvoering en controles betreffende de installatie van een retourbemaling vermeld, indien van toepassing. De eisen naar technische uitvoering en controles betreffende de installatie van een verticaal en/of horizontaal scherm worden vermeld in het algemeen bestek.

Er wordt een retourbemaling voorzien :

- specificatie van de zones waar hervoeding plaatsvindt, de grondlagen waarin hervoed wordt en de debieten
- specificatie of ter controle van de hoeveelheid vaste deeltjes in het opgepompte water de membraanfilterindex bepaald moet worden voor aanvang van de retourbemaling (sterk aanbevolen voor grote retourbemalingen) ; de waarde moet steeds < xxx ; indien deze waarde overschreden wordt, dienen in overleg met de ontwerper en de opdrachtgever de nodige maatregelen genomen te worden (bv. geen retourbemaling, put regenereren, nieuwe put boren)
- alle leidingen en verbindingen moeten zodanig uitgevoerd worden dat beluchting van het water zoveel mogelijk wordt voorkomen
- specificatie of ter controle van de hoeveelheid gas in het opgepompte water een ontgassingsproef uitgevoerd moet worden voor aanvang van de retourbemaling ; wanneer gas voorkomt in het opgepompte water, moeten alle leidingen onder druk gehouden worden om te beletten dat gas vrijkomt
- specificatie of als alternatief voor verticale hervoedingsbronnen een gravitaire oppervlaktehervoeding mag worden toegepast door middel

van ondiepe horizontale of verticale drains, tijdelijke infiltratiesloten of – vijvers

4.3. Uitvoeringsaspecten van de bemaling

Hier worden de eisen vermeld betreffende :

- de uitvoering van de bemalingselementen
- de instandhouding en de bewaking van de bemaling (alarmsysteem, reserve stroomaggregaat,...)
- de beëindiging en de verwijdering van de bemaling

Hiervoor kan verwezen worden naar de Richtlijnen Bemalingen, hoofdstuk 9.

4.4. Monitoring

De ontwerper specificeert de door de uitvoerder uit te voeren monitoring, met name :

- het programma van de monitoring (type metingen, plaats en aantal meetpunten, meetperiode en -frequentie)
- de rapporteringsvorm en de frequentie van de rapportering
- de te nemen maatregelen wanneer een drempel- of een alarmwaarde overschreden wordt

Er kan bovendien verwezen worden naar de Richtlijnen Bemalingen, hoofdstuk 6.

4.5. Posten van de opmetingsstaat

Volgende posten worden opgenomen in de opmetingsstaat, indien van toepassing :

- bouwplaatsinrichting
- uitvoering van bijkomende sonderingen en/of boringen
- plaatsing van bijkomende peilbuizen
- opmeting van peilbuizen voorafgaandelijk aan de bemaling
- referentiemeting meetpunten en merktekens
- voorafgaande plaatsbeschrijvingen
- opmaken van een bemalingsplan
- installatie van de bemalingselementen
- installatie van de retourbemaling
- uitvoeren van een proefbemaling
- bijstellen van het bemalingsplan (waar nodig)
- in stand houden van de bemaling
- in stand houden van de retourbemaling (in werking / niet in werking)

- monitoring van de effecten van de bemaling :
 - plaatsbeschrijvingen
 - opmeten meetpunten en merktekens
 - peilbuismetingen
 - debietmetingen
 - controle van het onttrokken water
- beëindigen van de bemaling en in oorspronkelijke staat herstellen van de site

Referentielijst

- [1] MAERTENS, J., DE VEIRMAN, W., PEIFFER, H., [et al.], *Bemalingen : eeuwig discussiepunt ? - Studiedag, Antwerpen, 10 December 2003*, Technologisch Instituut Grondmechanica & Funderingstechniek, 2003.
- [2] DE VOS, M., [et al.], *Workshop Bemalingen - Studiedag, Antwerpen, 13 Juni 2006*, Technologisch Instituut, Genootschap Grondmechanica en Funderingstechniek, 2006.
- [3] HEYMAN, J., SMOUT, L., *Milieuwetboek - Vlarem I - Inclusief Vlarem actualisatietrein*, 16de uitgave, België : Wolters Kluwer Belgium, 2008.
- [4] MINISTERIE VAN VERKEER EN INFRASTRUCTUUR, *Bericht 514-A/50. Uitvoeringswijze van de statische discontinue sondering met mechanische conus (CPT-M)*, België : Brussel, 1997.
- [5] MINISTERIE VAN VERKEER EN INFRASTRUCTUUR, *Bericht 514-A/51. Uitvoeringswijze van de statische continue sondering met elektrische conus (CPT-E & CPT-U)*, België : Brussel, 1997.
- [6] WAARTS, P., OSTENDORF, C., *Trillingen - Deel A. Schade aan gebouwen : meet- en beoordelingsrichtlijnen*, Rotterdam : Stichting Bouwresearch (SBR), 2002.
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *prEN ISO 22476-1 : Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 1 : Electrical cone and piezocone penetration tests (Voorlopige norm)*, International Organization for Standardization.
- [8] BUREAU VOOR NORMALISATIE, *NBN EN ISO 22476-12 : Geotechnisch onderzoek en beproeving - Veldproeven - Deel 12 : Mechanische sondering (CPTM)*, België : Brussel, 2009.
- [9] BUREAU VOOR NORMALISATIE, *NBN EN ISO 22475-1 : Geotechnisch onderzoek en beproeving - Monsternemingsmethoden en grondwatermetingen - Deel 1: Technische uitvoeringsprincipes*, België : Brussel, 2007.
- [10] Lambe, T., Whitman, R., *Soil Mechanics*, Massachusetts Institute of Technology, John Wiley & Sons, 1969.
- [11] HAZEN, A., "Some physical properties of sands and gravels with special reference to their use in filtration", in *24th Annual Report State Board of Health*, Boston, 1982, p. 541-556.

- [12] MAERTENS, J., VAN ZEGBROECK, B., "Uitvoeringsaspecten bij grondwaterverlaging en grondwaterbeheersing", in *Cursus Uitvoerings- en funderingstechnieken*, Antwerpen, 2009, Technologisch Instituut, Genootschap Grondmechanica en Funderingstechniek, 2009.
- [13] FRAANJE, M., *Bronbemaling*, Amsterdam : Agon Elsevier, 1974.
- [14] BUREAU VOOR NORMALISATIE, *NBN B 03-003 : Vervormingen van draagsystemen. Vervormingsgrenswaarden – Gebouwen*, België : Brussel, 2003.
- [15] JANSSEN, G., *Bemaling van bouwputten*, Rotterdam : Stichting Bouwresearch (SBR), 2003.
- [16] BUREAU VOOR NORMALISATIE, *NBN EN 1997-2 : Eurocode 7 - Geotechnisch ontwerp - Deel 2 : Grondonderzoek en beproeving*, België : Brussel, 2007.
- [17] CASSAN, M., *Les essais de perméabilité sur site dans la reconnaissance des sols*, Paris : Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2005.
- [18] PROFILARBED, *The impervious steel sheet pile wall. Part 1 : Design*, Luxembourg : Esch/Alzette, 1998.
- [19] Langguth, H., Voigt, R., *Hydrogeologische Methoden*, Berlin : Springer-Verlag, 1980.
- [20] Beyer, W., "Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve", in *WWT 14*, Berlin, 1964, p. 165-168.
- [21] AFNOR, *NF P 94-130 : Sols : reconnaissance et essais - Essai de pompage*, France : Paris, 2000.
- [22] AFNOR, *NF P 94-132 : Sols : reconnaissance et essais - Essai d'eau Lefranc*, France : Paris, 2000.
- [23] AFNOR, *NF P 94-131 : Sols : reconnaissance et essais - Essai d'eau Lugeon*, France : Paris, 1994.

Beschikbaarheid van de kaarten ten behoeve van het vooronderzoek

De kaarten, vermeld in het Hoofdstuk 1 “Vooronderzoek” zijn te consulteren of te verkrijgen bij :

- Databank Ondergrond Vlaanderen :

<http://dov.vlaanderen.be>

- Grondmechanische kaarten :

Antwerpen en Gent : Geologisch Instituut
Krijgslaan 281-S8
9000 Gent

Brussel, Mons, Charleroi en Liège :
M.E.T. - Direction de la Géotechnique
Rue Côte d'Or 253
4000 Liège

- Oude en nieuwe geologische kaarten :

Belgische Geologische Dienst
Jennerstraat 13
1000 Brussel
<http://www.natuurwetenschappen.be/geology>

en :

Vlaams Gewest : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement LNE (Leefmilieu, Natuur en Energie)
ALBON (Afdeling Land en Bodembescherming,
Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen)
Dienst Natuurlijke Rijkdommen
Ferrarisgebouw
Koning Albert II-laan 20 bus 20
1000 Brussel
<http://www.vlaanderen.be/natuurlijkerijkdommen>

Waals Gewest : MRW – DGRNE
Avenue Prince de Liège
5100 Jambes
<http://cartographie.wallonie.be>
<http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartegeologique>

- Quartair kaarten :

Maréchal, R. Geologie van het Kwartair van België :
Belgische Geologische Dienst
Jennerstraat 13
1000 Brussel
<http://www.natuurwetenschappen.be/geology>

Vlaams Gewest (profieltypekaarten) :
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement LNE (Leefmilieu, Natuur en Energie)
ALBON (Afdeling Land en Bodembescherming,
Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen)
Dienst Natuurlijke Rijkdommen
Ferrarisgebouw
Koning Albert II-laan 20 bus 20
1000 Brussel
<http://www.vlaanderen.be/natuurlijkerijkdommen>

en :

<http://dov.vlaanderen.be>

- Bodemkaarten :

Vlaams Gewest : Universiteit Gent
Laboratorium voor Bodemkunde
Krijgslaan 281-S8
9000 Gent

en :

<http://geo-vlaanderen.gisvlaanderen.be/geo-vlaanderen/bodemkaart>

Waals Gewest : Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de
Gembloux
Géopédologie
Avenue Maréchal Juin 27
5030 Gembloux
<http://www.fsagx.ac.be/gp>

- Grondwaterkwetsbaarheidskaarten (Vlaams Gewest) :

Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
A. Van de Maelestraat 96
9320 Erembodegem
053 / 72 64 45
<http://www.vmm.be>

of :

<http://dov.vlaanderen.be>

- Hydrogeologische kaarten (Waalse regio) :

MRW – DGRNE
Avenue Prince de Liège
5100 Jambes
<http://cartographie.wallonie.be>
<http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo>

- Historische kaarten (b.v. Ferrariskaarten) :

Nationaal Geografisch Instituut
Abdij ter Kameren 13
1000 Brussel
<http://www.ngi.be>

Cartothèque de la Région Wallonne
<http://patrimoine.met.wallonie.be>

- Grondwaterverziltingskaarten :

Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie
Krijgslaan 281-S8
9000 Gent

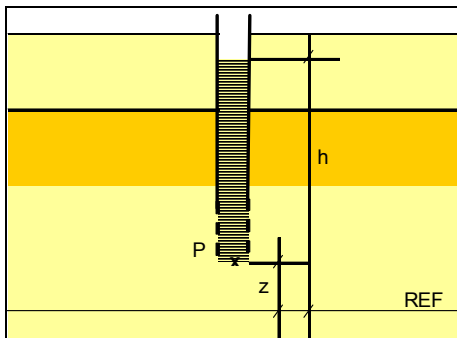
- Profieltypenkaart van de Holocene Kustafzettingen :

Belgische Geologische Dienst
Jennerstraat 13
1000 Brussel
http://www.natuurwetenschappen.be/geology/gsb_website/products/geolmaps/holocene

Definities

- grondwaterstand :
de hoogte van het grondwater ten opzichte van een referentieniveau (bv. maaiveld, TAW,...)
- waterpeil :
de hoogte van het water in een peilbuis, pompput, gracht, rivier of enig ander open waterreservoir ten opzichte van een referentieniveau (bv. maaiveld, TAW,...)
- stijghoogte h in een punt :
de hoogte t.o.v. een referentieniveau tot waar het water stijgt in een peilbuis

$$h = z + p/\gamma \quad \text{met} \quad h : \text{stijghoogte in een punt (m)}$$
$$z : \text{hoogte van het punt t.o.v. een referentieniveau (m)}$$
$$p : \text{waterdruk in het punt (N/m}^2\text{)}$$
$$\gamma : \text{volumegewicht van het water (N/m}^3\text{)}$$



Figuur 18 : Stijghoogte

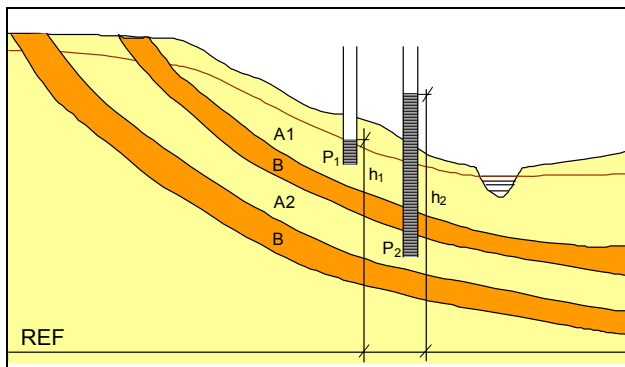
- watervoerende laag, aquifer :
een met water verzadigde grondlaag die genoeg doorlatend is om water in voldoende hoeveelheden naar ontginningsputten te laten doorstromen

NOTA : Zand- en grindlagen zijn voorbeelden van watervoerende lagen

- waterremmende laag, aquitard :
een met water verzadigde grondlaag die weinig doorlatend is en water slechts in beperkte hoeveelheden naar ontginningsputten kan laten doorstromen
- waterafsluitende laag, aquiclude :
een met water verzadigde grondlaag die nagenoeg ondoorlatend is, zodat er geen significante doorstroming van water kan optreden ; een grondlaag wordt geotechnisch gezien als afsluitend beschouwd indien de doorlatendheid ervan minstens 100 maal kleiner is dan deze van de aangrenzende grondlaag.

NOTA : Een zuivere kleilaag is volgens bovenstaande definitie een voorbeeld van een waterafsluitende laag

- vrij (grond)water, freatisch (grond)water :
water in een watervoerende grondlaag die langs boven niet afgedekt is door een aquitard of aquiclude
- gespannen (grond)water :
water in een watervoerende grondlaag die aan de boven- en onderzijde begrensd wordt door een aquiclude
- artesisch (grond)water :
water in een gespannen grondwaterlaag waarvan de stijghoogte boven het grondoppervlak uitkomt
- semi-gespannen (grond)water :
water in een watervoerende laag die aan de boven- en onderzijde begrensd wordt door een aquitard of langs één zijde door een aquiclude en langs de andere zijde door een aquitard



Figuur 19 : Freatische en artesische grondwaterlagen (A_1 = watervoerende laag, vrij grondwater ; A_2 = watervoerende laag, artesisch grondwater ; B = waterafsluitende laag ; h_1 , h_2 = stijghoogten in de punten P_1 en P_2)

- waterkerend scherm :
een constructief scherm met waterkerende functie
- waterremmend scherm :
een constructief scherm dat waterstroming afremt
- waterafsluitend scherm :
een constructief scherm dat waterstroming verhindert
- hydraulische conductiviteit, doorlatendheid, permeabiliteit :
het vermogen van grond om een vloeistof te laten doorstromen
- transmissiviteit θ :
het product van de doorlatendheidscoëfficiënt en de dikte van de verzadigde zone van de watervoerende laag :

$$\theta = k \cdot d \text{ met } \begin{array}{l} \theta : \text{transmissiviteit van de laag (m}^2\text{/s)} \\ k : \text{doorlatendheidscoëfficiënt van de laag (m/s)} \\ d : \text{dikte van de verzadigde zone van de laag (m)} \end{array}$$

- hydraulische weerstand C :
een maat voor de weerstand van een aquitard of een waterremmende wand tegen doorstroming :

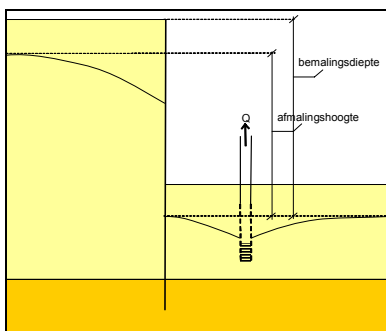
$$C = d/k \text{ met } \begin{array}{l} C : \text{hydraulische weerstand (s)} \\ d : \text{dikte van de aquitard of waterremmende wand (m)} \\ k : \text{doorlatendheidscoëfficiënt van de aquitard of waterremmende wand (m/s)} \end{array}$$

- bergings- of stockagecoëfficiënt :
het volume water dat door een watervoerende laag kan worden opgenomen of afgegeven

- hydraulisch gradiënt, verhang i tussen 2 punten :
verschil in stijghoogte tussen 2 punten t.o.v. de doorstroamlengte van het water :

$$i = \Delta h / \Delta l \text{ met } \begin{array}{l} i : \text{hydraulisch verhang (-)} \\ \Delta h : \text{stijghoogteverschil (m)} \\ \Delta l : \text{doorstroamlengte (m)} \end{array}$$

- afmalingshoogte :
de hoogte waarover het water neergeslagen wordt
- bemalingsdiepte :
de diepte onder het maaiveld tot waarop het water neergeslagen wordt



Figuur 20 : Definitie van bemalingsdiepte en afmalingshoogte

- ongeroerd monster :
monster waarbij door een aangepaste onnametechniek pakingsdichtheid, structuur en watergehalte zo min mogelijk worden verstoord
- retourbemaling :
bemaling waarbij de hoeveelheid opgepompt water geheel of gedeeltelijk terug in de grond wordt gebracht via retourputten
- korreldiameters d10 , d50 , d60 :
de korreldiameter die overeenstemt met een doorval van respectievelijk 10 %, 50 % en 60 % bij zieving ; dit wil bijvoorbeeld zeggen dat in gewicht 10 % van de korrels kleiner zijn dan d₁₀

Bijlage A :

Richtlijnen voor de uitvoering van grondonderzoek

Onderstaande richtlijnen betreffende de uitvoering van grondonderzoek, vormen een aanvulling op de richtlijnen, vermeld in paragraaf 2.1.

Boringen

Er wordt een boorstaat opgemaakt, waarop minstens volgende gegevens vermeld worden :

- de grondsoort : hoofdbestanddeel en bijmengingen en/of onzuiverheden
- de kleur en de consistentie (cohesieve gronden)
- een indicatie van de verzadigingsgraad van de grond
- het gebruikte boortuig en de diameter van de voerbuizen
- specifieke waarnemingen

Een voorbeeld van boorstaat wordt in tabel A1 gegeven.

Waterpeilmetingen in peilbuizen

De resultaten van de metingen dienen in tabel- en in diagramvorm te worden meegedeeld, met aanduiding van alle nodige gegevens, zoals weergegeven in tabel A2.

Onderzoekspunt	B1	B2	B3	B4	B5
Maaiveldpeil					
Peil bovenkant buis					
Diameter peilbuis					
Lengte filterend gedeelte					
Bentonietstop tussen de peilen					
Filterend gedeelte en kift tussen de peilen					
Peil onderkant buis					
Datum plaatsing					
Waterpeil onmiddellijk na plaatsing van de peilbuis + datum					

Tabel A2 : Voorbeeld van weergave van de resultaten van waterpeilmetingen in peilbuizen

Pompproeven

Door middel van een pompproef kan de doorlatendheid van de grond bepaald worden. Gedurende één tot enkele dagen wordt uit een pompput grondwater onttrokken. Vervolgens wordt de pomp uitgezet. Hierbij wordt het waterpeil opgevolgd in verschillende peilbuizen, aangebracht op verschillende afstanden, in verschillende richtingen t.o.v. de pompput en in verschillende watervoerende grondlagen. De pompproeven worden opgevolgd door de ontwerper.

De boring voor de pompput dient uitgevoerd te worden tot voldoende diep in de watervoerende laag waarvan men de doorlatendheid wenst te bepalen. De pompput dient filterend te zijn over de hoogte in de watervoerende laag. Tussen de onderkant van de watervoerende laag en het einde van de boring dient desgevallend het boorgat opgevuld te worden met bentoniet. Boven de bovenkant van de watervoerende laag wordt eveneens een bentonietstop aangebracht.

De peilbuizen dienen geplaatst te worden zoals hierboven en in paragraaf 2.1 omschreven. Ze worden geplaatst minstens in twee onderling loodrechte richtingen ten opzichte van de pompput, in alle watervoerende lagen en op verschillende afstanden van de pompput. De peilfilters worden elk in een afzonderlijk boorgat geplaatst.

De pompingen dienen uitgevoerd met een onderwaterpomp van voldoende debiet (zo mogelijk 50 m³/h) en opvoerhoogte. Voor het in werking stellen van de pomp dienen de waterstanden in rust in alle peilbuizen minstens twee maal opgemeten te worden. Het debiet wordt tijdens het pompen constant gehouden en wordt opgemeten. Tijdens het uitvoeren van de pumping en na het stopzetten ervan worden de waterstanden in alle peilbuizen opgevolgd.

NOTA : Hierbij kan bijvoorbeeld volgend schema aangehouden worden :
1^o dag na het starten en na het stopzetten van de pomping : na 2, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60 minuten en vervolgens om het uur ;
vanaf de 2^o dag na het starten en na het stopzetten van de pomping : een meting 's morgens en 's avonds.

De duur van de pomping is afhankelijk van het tijdstip waarop een evenwichtstoestand van de neergeslagen grondwaterspiegel wordt bereikt en wordt tijdens de proef oordeelkundig bepaald.

De resultaten van de metingen dienen in tabel- en in diagramvorm te worden meegedeeld, met aanduiding van alle nodige gegevens.

NOTA : Men kan zich baseren op de Franse norm NF P 94-130 Essai de Pompage [21].

Doorlatendheidsproeven in een boorgat, een pompput of een peilbuis

De hydraulische doorlatendheid van de grond kan ook bepaald worden door op één punt (in een boorgat, een pompput of een peilbuis) water aan de grond toe te voegen of te onttrekken en ofwel de debieten te meten ofwel de watertoe- of afvoer na zekere tijd stop te zetten en de evolutie van het waterpeil te volgen.

Voorbeelden hiervan zijn :

- Slug test (Falling head test) : wordt meestal uitgevoerd in een peilbuis (of een boorgat met casing) met een filtrerend element in de te onderkennen watervoerende laag. In de peilbuis wordt een gewijzigd – meestal hoger – waterpeil ingesteld, door toevoeging van water in de peilbuis, waarna men de verandering van het waterpeil in de peilbuis opmeet in functie van de tijd. Verschillende methodes (bv. Horslev, Bouwer-Rice, Cooper, Bredehoeft) laten toe hieruit een waarde van de verzadigde horizontale hydraulische doorlatendheid af te leiden. De proef kan zowel in vrij als gespannen grondwater worden verricht. De proef geeft meer betrouwbare resultaten bij kleinere doorlatendheden, omdat bij grote doorlatendheden het evenwicht zo snel hersteld wordt dat er weinig tijd is voor de metingen. Voordelen van deze proef zijn de lage kostprijs, de snelle uitvoering en het feit dat er maar een kleine hoeveelheid water moet toegevoegd of opgepompt worden. Nadelen zijn dat ze slechts informatie geeft over de doorlatendheid van een klein volume grond vlak bij de peilbuis of het boorgat.
- Putproef : tijdens een periode van één tot enkele uren wordt uit een pompput een hoeveelheid grondwater onttrokken. Vervolgens wordt de pomp uitgezet. Uit het verloop van de stijging van de waterstand in de pompput in functie van de tijd kan de hydraulische doorlatendheid worden bepaald.

Lefranc-proef : de Lefranc-proef wordt uitgevoerd in een verbuisd boorgat, waarin men een constante wateroverhoogte instelt. Men meet het daartoe vereiste toevoerdebiet en leidt hieruit een “sferische” doorlatendheid af van de grondlaag aan de onderkant van het boorgat. De proef is geschikt voor goed doorlatende grondlagen (watervoerende zandlagen).

NOTA : Men kan zich baseren op de Franse norm NF P 94-132 Essai d'eau Lefranc [22].

- Lugeon-proef : de Lugeon-proef wordt uitgevoerd in een boorgat, waarbij over een welbepaalde afgesloten hoogte van het boorgat water onder druk wordt geïnjecteerd. Men meet het daarbij vereiste toevoerdebiet en leidt hieruit een horizontale hydraulische doorlatendheid ter hoogte van de injectiekamer af. De proef is veeleer geschikt voor rotslagen.

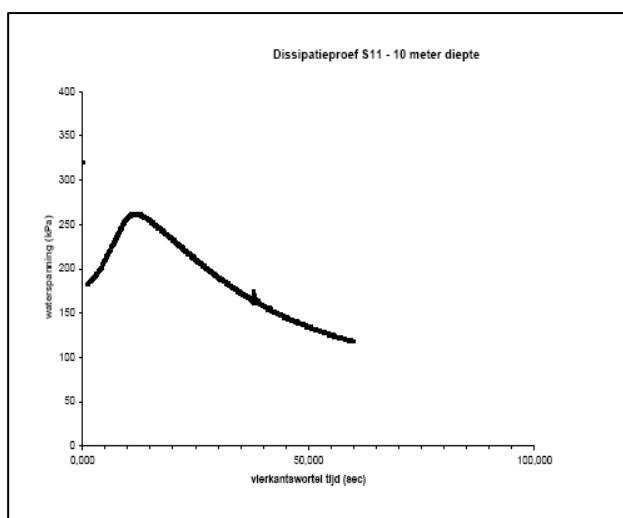
NOTA : Men kan zich baseren op de Franse norm NF P 94-131 Essai d'eau Lugeon [23].

☞ Door een verbuisde boring wordt de grond “gesmeerd”, waardoor de doorlatendheid die gemeten wordt, lager kan zijn dan de werkelijke doorlatendheid.

Dissipatieproeven met piëzocone sonderingen

Piëzocone sonderingen (CPTU) zijn elektrische sonderingen waarbij naast de conusweerstand en de plaatselijke kleef tevens de poriënwaterdruk in de grond wordt opgemeten.

Een sondering uitgevoerd in verzadigde kleien veroorzaakt ongedraineerde afschuiving in de grond en bijgevolg een hoge poriënwateroverspanning. Wanneer de sondering op een bepaalde diepte wordt gestopt, kan de wateroverspanning dissiperen en bereikt uiteindelijk de hydrostatische waterspanning. Figuur A1 geeft een voorbeeld van een dissipatiecurve opgemeten met de piëzoconus. Via een theoretische modellering van deze dissipatiecurven is het mogelijk de consolidatiecoëfficiënt c_h en de doorlatendheidscoëfficiënt k_h in horizontale richting te bepalen.



Figuur A1 : Voorbeeld van een dissipatiecurve

In goed doorlatende zanden kan men uit de piëzocone sonderingen ook het waterpeil in rust voor watervoerende grondlagen bepalen.

Laboratoriumonderzoek op de ontnomen ongeroerde monsters

In het kader van de dimensionering van een bemaling kunnen volgende laboratoriumproeven nuttige informatie leveren :

- onderkeningsproeven (proeven ter bepaling van de korrelverdeling, de consistentie, het humusgehalte, het kalkgehalte,...)
- proeven ter bepaling van de volumemassa (i.v.m. het gevaar op opbarsten van de bodem van de bouwput of sleuf)
- samendrukkingsproeven (i.v.m. de te verwachten zettingen t.g.v. de bemaling)
- doorlatendheidsproeven (i.v.m. de bepaling van de invloedzone van de bemaling)

Voor de uitvoering van de proeven wordt verwezen naar de gespecialiseerde literatuur.

Bijlage B :

Bepaling van de doorlatendheidscoëfficiënt uit de korrelverdeling

Ter bepaling van de doorlatendheidscoëfficiënt uit de korrelverdeling zijn diverse benaderingsformules beschikbaar. Hieronder worden de formules van Hazen, Zieschang en Beyer met de grenzen van hun toepasbaarheid gegeven. Men mag echter niet uit het oog verliezen dat deze formules slechts benaderingen zijn, waarbij o.a. weinig of geen rekening gehouden wordt met de pakingsdichtheid van de grond, anisotropie,... Ook dient aandacht besteed te worden aan de representativiteit van het monster. De bekomen waarden moeten getoetst worden aan andere beschikbare gegevens (lokale of regionale proefgegevens). Uiteindelijk zal op basis van engineering judgement (en gekoppeld aan een sensitiviteitsanalyse) de meest geschikte waarde worden aangenomen. Indien uit de sensitiviteitsanalyse blijkt dat de impact van de hydraulische parameterkeuze zo ingrijpend is, zal de ontwerper overgaan tot het uitvoeren van bijkomende proeven, zoals in hoofdstuk 4 beschreven.

Volgende symbolen worden gehanteerd :

k (m/s) :	doorlatendheidscoëfficiënt
d_{10} (mm) :	actieve korreldiameter (zie definities)
C (-) :	empirische factor
U (-) :	ongelijkvormigheidsgraad ; $U = d_{60} / d_{10}$
θ (°C) :	temperatuur van het grondwater

Formule van Hazen [10, 11]

De formule van Hazen is geldig voor middelmatig dichtgepakt zand met :
 $d_{10} = 0.1$ à 0.6 mm en $U = 3$ à 5 .

$$k = 0.0116 d_{10}^2 (0.70 + 0.03 \theta)$$

Voor $\theta = 10^\circ\text{C}$, wordt de formule herleid tot :

$$k = 0.0116 d_{10}^2$$

Formule van Zieschang [19]

$$k = C d_{10}^2 (0.70 + 0.03 \theta)$$

Voor $\theta = 10^\circ\text{C}$, wordt dit :

$$k = C d_{10}^2$$

Richtwaarden voor C en de grenzen van toepasbaarheid (grondsoort, U en d_{10}) worden in tabel B1 gegeven.

Grondsoort	U (-)	d_{10} (mm)	C (-)
Zand, grindhoudend zand	1 à 3	0.1 à 0.6	0.0139
Zand, grindhoudend zand	3 à 5	0.1 à 0.6	0.0116 *
Weinig leemhoudend zand (max. 2 % < 0.01 mm)	< 5	0.1 à 0.6	0.0093
Weinig kleihoudend zand (max. 3 % < 0.01 mm)	< 5	0.08 à 0.6	0.0070
Kleihoudend zand (max. 4 % < 0.01 mm)	< 5	0.06 à 0.6	0.0046

Tabel B1 : Richtwaarden voor C en grenzen van de toepasbaarheid van de formule van Zieschang
* hier vindt men de formule van Hazen terug

Formule van Beyer [20]

Uit pomp- en laboratoriumproeven op rond quartair en tertiair zand en grind met middelmatige pakkingsdichtheid leidde Beyer de relatie tussen de parameters d_{10} en U en de doorlatendheid af. De relatie is geldig binnen de grenzen :

$U = 1$ à 20 en $d_{10} = 0.06$ à 0.6 mm.

De waarde van de doorlatendheidscoëfficiënt wordt weergegeven in tabel B2.

d_{60} (mm)	d_{10} (mm)														
	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18
0,06	4,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,08	4,1	5,0	5,8	6,7	7,7	-	-	-	-	-	-	10 ⁻⁴ m/s	-	-	-
0,10	4,0	4,7	5,3	6,4	7,3	8,4	9,6	1,2	-	-	-	-	-	-	-
0,12	3,8	4,4	5,0	6,2	7,0	8,1	9,2	1,1	1,4	1,7	-	-	-	-	-
0,15	3,6	4,2	4,9	5,9	6,7	7,8	8,8	1,1	1,4	1,7	2,1	2,3	2,7	-	-
0,20	3,4	4,0	4,7	5,6	6,4	7,3	8,4	1,0	1,3	1,6	2,0	2,2	2,6	2,9	3,8
0,25	3,2	3,8	4,5	5,3	6,1	7,0	8,0	1,0	1,2	1,6	1,9	2,1	2,5	2,8	3,6
0,30	3,1	3,6	4,3	5,1	5,9	6,7	7,7	9,6	1,2	1,5	1,8	2,0	2,4	2,7	3,5
0,40	2,9	3,4	4,1	4,8	5,6	6,3	7,3	9,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,3	2,6	3,3
0,50	2,8	3,3	3,9	4,6	5,3	6,0	7,0	8,6	1,1	1,4	1,6	1,8	2,2	2,5	3,2
0,60	2,7	3,2	3,7	4,4	5,1	5,8	6,7	8,4	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	3,1
0,80	2,5	3,0	3,5	4,2	4,9	5,5	6,3	7,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,9
1,0	2,4	2,9	3,4	4,0	4,7	5,2	6,0	7,5	9,5	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,8
1,2	2,3	2,8	3,3	3,8	4,5	5,0	5,8	7,3	9,2	1,1	1,4	1,5	1,8	2,0	2,7
1,5	-	-	3,1	3,6	4,3	4,8	5,5	7,0	8,8	1,0	1,3	1,4	1,8	1,9	2,6
2,0	-	-	-	-	-	-	5,2	6,6	8,3	1,0	1,2	1,4	1,7	1,8	2,4
2,5	-	-	10 ⁻⁵ m/s	-	-	-	-	-	7,8	9,5	1,2	1,3	1,6	1,8	2,3
3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	1,5	1,7	2,2

Tabel B2 : Doorlatendheidscoëfficiënt volgens Beyer [20]

d ₆₀ (mm)	d ₁₀ (mm)														
	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,45	0,50	0,55	0,60
0,20	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	4,6	5,6	6,9	-	-	-	-	-	-	-	-	10 ⁻³ m/s	-	-	-
0,30	4,5	5,4	6,6	8,0	9,3	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,40	4,2	5,1	6,3	7,5	8,8	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	-	-	-	-	-
0,50	4,0	4,9	6,0	7,2	8,4	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4	3,0	-	-
0,60	3,8	4,7	5,8	6,9	8,1	9,4	1,1	1,4	1,6	1,8	2,0	2,3	2,9	3,6	4,3
0,80	3,6	4,4	5,4	6,5	7,7	9,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,7	3,4	4,1
1,0	3,5	4,2	5,2	6,2	7,3	8,5	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,6	3,2	4,0
1,2	3,3	4,1	5,0	6,0	7,0	8,1	1,0	1,2	1,4	1,5	1,7	2,0	2,5	3,1	3,9
1,5	3,2	3,9	4,8	5,7	6,7	7,7	9,3	1,1	1,3	1,4	1,6	1,9	2,4	3,0	3,7
2,0	3,0	3,7	4,5	5,4	6,4	7,3	8,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,3	2,8	3,4
2,5	2,8	3,5	4,4	5,2	6,1	7,0	8,3	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	2,2	2,7	3,3
3,0	2,7	3,4	4,2	5,0	5,8	6,6	8,0	9,5	1,1	1,3	1,4	1,6	2,1	2,6	3,1
4,0	2,6	3,2	3,9	4,7	5,5	6,3	7,6	9,0	1,1	1,2	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0
5,0	-	-	3,7	4,5	5,2	6,1	7,2	8,5	1,0	1,2	1,3	1,4	1,9	2,4	2,8
6,0	-	-	-	-	5,0	5,9	6,9	8,1	9,7	1,1	1,2	1,3	1,8	2,3	2,7
8,0	-	-	10 ⁻⁴ m/s	-	-	-	-	7,7	9,2	1,0	1,2	1,3	1,7	2,2	2,6
10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,7	1,1	1,2	1,6	2,1	2,5
12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	2,0	2,4

Tabel B2 (vervolg) : Doorlatendheidscoëfficiënt volgens Beyer [20]

Bijlage C :

Permeabiliteit van waterremmende wanden

De debieten doorheen een waterremmende wand kunnen geraamd worden aan de hand van onderstaande formules [18] :

Damwand :

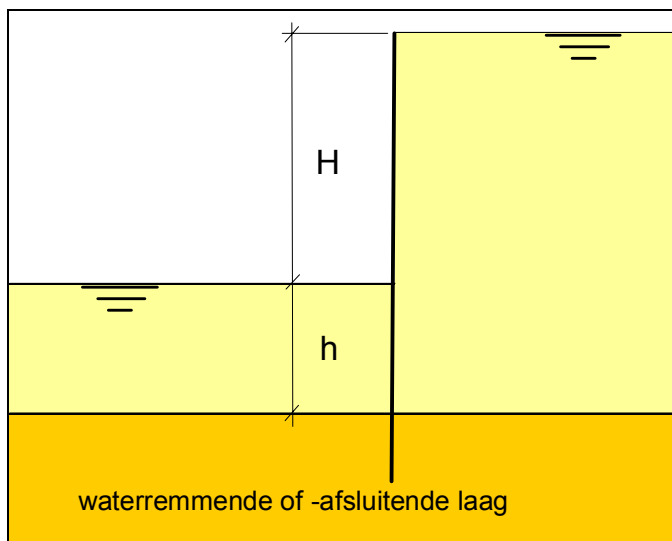
$$Q = \rho * H * (H/2 + h) * n$$

met : Q (m³/s) : debiet
ρ (m/s) : inverse voegweerstand
H, h (m) : zie figuur C1
n (-) : aantal voegen over de omtrek van de bouwput
n = L/b met
L : de omtrek van de bouwput
b : de afstand tussen de voegen

Poreuze wand :

$$Q = k/d * H * (H/2 + h) * L = 1/C * H * (H/2 + h) * L$$

met : Q (m³/s) : debiet
k (m/s) : permeabiliteit van de wand
d (m) : dikte van de wand
H, h (m) : zie figuur C1
L (m) : omtrek van de bouwput
C (s) : hydraulische weerstand van de wand




Figuur C1 : Waterremmende wand

In tabel C1 worden, ter informatie, richtinggevende waarden voor de doorlatendheid van verschillende types poreuze waterremmende wanden gegeven. De waarden zijn geldig voor wanden zonder onderbrekingen, bij een normale, verzorgde uitvoering.

Type wand	Typische afmetingen & bijzonderheden	Permeabiliteit (k)
Betonnen diepwand, met voegband	Dikte 60 - 100 cm	10^{-8} m/s
Cementbentoniet diepwand (dichtwand)	Dikte 50 - 80 cm	10^{-8} m/s mits de doorlatendheid getest op monsters $\leq 10^{-9}$ m/s andere gevallen : 10^{-7} m/s
Cementbentoniet smalwand	Dikte 8 - 15 cm	10^{-7} m/s
Secanspalenwand kleine diameter	Diameter 40 - 60 cm Overlap 5 - 12 cm	10^{-6} m/s
Secanspalenwand grote diameter	Diameter 75 - 128 cm Overlap 10 - 18 cm	10^{-7} m/s

Tabel C1 : Richtwaarden doorlatendheid poreuze waterremmende wanden

 Secanspalenwanden mogen nooit als definitieve waterdichte wand gebruikt worden.

In tabel C2 worden, ter informatie, richtinggevende waarden voor de inverse voegweerstand van verschillende types voegen voor stalen damwanden gegeven. De waarden zijn geldig voor wanden zonder onderbrekingen, bij een normale, verzorgde uitvoering.

Type voeg	Max. drukverschil	Inverse voegweerstand (ρ)
Zonder voegvulling	100 kPa	$> 10^{-7}$ m/s
Bitumineuze voegvulling	100 kPa	$6 \cdot 10^{-8}$ m/s
Zwellende voegvulling	200 kPa	$3 \cdot 10^{-10}$ m/s
Gelaste voeg	-	0 m/s

Tabel C1 : Richtwaarden inverse voegweerstand damwanden

Bijlage D :

Bepaling van de samendrukkingsconstante ten behoeve van zettingsberekeningen

Bij berekening van zettingen op basis van sonderingen, dient de samendrukkingsconstante C bepaald te worden. Benaderend kan gesteld worden :

$$C = \alpha q_c / \sigma'_v$$

Als vuistregel voor het berekenen van zettingen ten gevolge van bemalingen is het gebruikelijk uit te gaan van een waarde van $\alpha = 3$, behalve voor veen en sterk veenhoudende gronden.

Indien men over meer informatie beschikt betreffende de grondsoort, kunnen de waarden, vermeld in tabel D1 aangenomen worden. Deze waarden zijn geïnspireerd op de waarden, vermeld in Eurocode 7, Deel 2 [16].

grondsoort	q_c (MPa)	α , C (-)
klei, weinig plastisch	$q_c < 0.7$ $0.7 < q_c < 2$ $q_c > 2$	$\alpha = 5$ $\alpha = 3$ $\alpha = 1.5$
leem, weinig plastisch	$q_c < 2$ $q_c > 2$	$\alpha = 4$ $\alpha = 2$
klei en leem, plastisch	$q_c < 2$	$\alpha = 3$
humushoudende leem	$q_c < 1.2$	$\alpha = 5$
veen, humushoudende klei	$q_c < 0.7$	$\alpha = 2.5$ ($50 < w < 100$) $\alpha = 1.5$ ($100 < w < 200$) $\alpha = 0.7$ ($w > 200$)
klei- of leemhoudend zand zandhoudende leem of klei	$q_c < 2.5$ $2.5 < q_c < 5$	$\alpha = 2$ $C = (4 q_c - 5) / \sigma'_v$
zand, normaal geconsolideerd	$q_c < 10$ $10 < q_c < 50$ $q_c > 50$	$\alpha = 4$ $C = (2 q_c + 20) / \sigma'_v$ $C = 120 / \sigma'_v$
zand, overgeconsolideerd	$q_c < 50$ $q_c > 50$	$\alpha = 5$ $C = 250 / \sigma'_v$

Tabel D1 : Richtwaarden samendrukkingsconstante

Indien men voor de identificatie van de grondsoort geen boringen of bijvoorbeeld informatie uit grondmechanische kaarten ter beschikking heeft, maar enkel sonderingen, neemt men voor cohesieve gronden de waarde van weinig plastische klei of leem.

Bij veen waarbij $q_c > 0.7$ MPa of indien men het watergehalte w niet kent, neemt men $\alpha = 1.5$.