

MASTER

Grond- en waterkeringsconstructies

hulpmiddel voor het bepalen van de optimale uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies

Schoffelen, A.J.

Award date:
2008

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

Grond- en waterkeringsconstructies

‘Hulpmiddel voor het bepalen van de optimale uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies



A.J. Schoffelen (0547434)

Eindhoven, november 2008

Technische Universiteit Eindhoven

Faculteit Architecture, Building and Planning

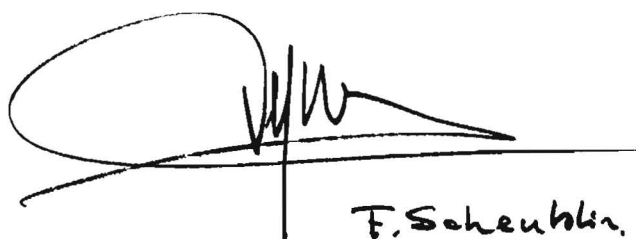
Capaciteitsgroep Construction Technology

Onderzoeksverslag

Grond- en waterkeringsconstructies

'Hulpmiddel voor het bepalen van de optimale uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van grond- en waterkeringconstructies'

Bijlage: Onderzoeksverslag



F. Scheuker.
7-11-2008

Dit rapport is het verslag van een eindstudie die is gedaan voor het doctoraal examen van de Masteropleiding Architecture, Building and Planning. Het rapport heeft daarbij mede gediend als toetssteen voor de beoordeling van de studieprestatie. In het rapport voorkomende conclusies, resultaten, berekeningen en dergelijke kunnen verder onderzoek vereisen alvorens voor extern gebruik geschikt te zijn.

We beschouwen dit rapport daarom als een intern rapport dat niet zonder onze toestemming voor externe doeleinden mag worden gebruikt.

Master of Science opleiding 'Architecture, Building and Planning'
Specialisatie Construction Technology
Faculteit Bouwkunde
Technische Universiteit Eindhoven

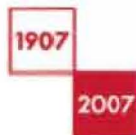
Grond- en waterkeringsconstructies

'Hulpmiddel voor het bepalen van de optimale uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van grond- en waterkeringconstructies'



A.J. Schoffelen
0547434
Schoenmakerstraat 16
5612 AD Eindhoven

Technische Universiteit Eindhoven
Faculteit Architecture, Building and Planning
Capaciteitsgroep Construction Technology



Van Wijnen Eindhoven B.V.
Flight Forum 3517
Postbus 105
5600 AC Eindhoven
Tel. 040-750 70 00

Begeleidingscommissie:

Voorzitter	Prof. Ir. F.J.M. Scheublin	(Technische Universiteit Eindhoven)
Hoofdbegeleider	Ir. M.M.J. Vissers	(Technische Universiteit Eindhoven)
Medebegeleider	Dr. Ir. E.W. Vastert	(Technische Universiteit Eindhoven)
Bedrijfsbegeleider	Dhr. J.P.H. Glazenborg	(Van Wijnen Eindhoven)

Eindhoven, november 2008

Voorwoord

Dit verslag is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de Technische Universiteit Eindhoven, faculteit Bouwkunde, capaciteitsgroep Uitvoeringstechniek.

Het verslag is het rapport van het onderzoeksgedeelte van het afstudeertraject. Aan de hand van gesignaleerde knelpunten uit een eerdere analysefase bij het gastbedrijf Van Wijnen Zuid is in het afstudeerplan het probleem gedefinieerd en kwalitatief onderzocht. Het probleem is dat niet altijd de optimale uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van grond en waterkeringsconstructies wordt gekozen. De kernoorzaken die hieruit voortkwamen zijn het gebrek aan kennis, ervaring en tijd en kunnen worden opgelost door het opstellen van een beslissingsmodel.

Het afstudeertraject is op te delen in een onderzoeksfase en een ontwerpfase. Dit rapport omschrijft het onderzoeksgedeelte van het afstudeertraject en dient als basis voor de ontwerpfase. Het onderzoeksgedeelte is uitgevoerd aan de hand van het opgestelde plan van aanpak in het afstudeerplan.

Gedurende de onderzoeksfase van het afstudeeronderwerp ben ik begeleid door:

- de heer R.H.M.M. Henderix (Van Wijnen Zuid)
- de heer F.J.M. Scheublin (TU/e)
- de heer E.W. Vastert (TU/e)
- de heer M.M.J. Vissers (TU/e)

Ik wil dan ook van deze mogelijkheid gebruik maken hen te bedanken voor hun steun en bijdrage tijdens het afstuderen. Tevens ben ik dank verschuldigd aan enkele adviesbureaus met betrekking grond- en waterkeringsconstructies, de gemeente Eindhoven, het waterschap Roer en Overmaas en de projectleiders of werkvoorbereiders die mij te woord hebben gestaan bij het bezichtigen van referentieprojecten. Als laatste wil ik de medewerkers het gastbedrijf hartelijk danken voor de gastvrijheid en de genomen moeite met het begeleiden en het beantwoorden van mijn vragen.

Dit rapport is bestemd voor iedereen met een bouwkundige achtergrond en specifiek voor de Technische Universiteit Eindhoven en Van Wijnen Zuid B.V.

Arno Schoffelen
Eindhoven, juni 2008

Samenvatting

Het verslag is het rapport van het onderzoeksgedeelte van het afstudeertraject aan de Technische Universiteit Eindhoven, faculteit Bouwkunde, capaciteitsgroep Uitvoeringstechniek. Aan de hand van een eerdere analysefase bij het gastbedrijf Van Wijnen Zuid is een probleem gesignaleerd en onderzocht. Het probleem is dat niet altijd de optimale uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van grond en waterkeringsconstructies wordt gekozen. Uit een kwalitatieve analyse blijkt dat de kernoorzaken van het probleem zijn dat er een gebrek aan kennis, ervaring en tijd zijn. Door het aanpakken van de kernproblemen kan het probleem opgelost worden. Middels het opstellen van een beslissingsondersteunend model kunnen kernoorzaken aangepakt worden. Aan de hand van de conclusies van de probleemdefiniëring kan de doelstelling van dit afstudeerplan kan als volgt geformuleerd worden:

'het ontwikkelen van een beslissingsondersteunend model om in korte tijd de optimale uitvoeringsmethode te bepalen voor het vervaardigen van de constructie ten behoeve van de grond- en waterkering.'

Het afstudeertraject is op te delen in een onderzoeksfase en een ontwerpfase. Dit rapport omschrijft het onderzoeksgedeelte van het afstudeertraject en dient als basis voor de ontwerpfase. Het onderzoeksgedeelte is uitgevoerd aan de hand van het opgestelde plan van aanpak in het afstudeerplan en is opgebouwd uit drie gedeeltes, namelijk:

Probleemstelling 1: Het omschrijven van de huidige uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van grond en waterkeringsconstructies.

Het eerste gedeelte van het onderzoek bestaat uit het in kaart brengen van de mogelijke uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies. Voor het maken van een keuze zal bekend moeten zijn waaruit gekozen kan worden. Alle mogelijke uitvoeringsmethoden zijn bestudeerd aan de hand van een literatuuronderzoek en het bezichtigen van referentieprojecten en worden in dit verslag beschreven aan de hand van de kenmerken, de toepassingen, de voor- en nadelen, de uitvoeringsvolgorde, de uitvoeringsvarianten, de invloed op de omgeving en het benodigde materieel, materiaal en arbeid. Naast de uitvoeringsmethoden voor de keringsconstructies worden ook de verscheidene mogelijkheden aan verankering behandeld. Bouwkuipen dienen vaak verankerd of gestempeld te worden om buigende momenten, vervormingen en zettingen te beperken. Verankeringen moeten horizontale trekkrachten kunnen overbrengen op de grond.

Probleemstelling 2: Het onderzoeken van welke factoren en gegevens een rol spelen in de keuze van de optimale uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies.

Bij de tweede probleemstelling is ingegaan op gegevens en factoren die een rol spelen bij de keuze van de optimale uitvoeringsmethode voor grond- en waterkeringsconstructies. In feite zijn dit de gegevens waarop de keuze gebaseerd wordt. De factoren die een rol spelen zijn onderverdeeld in de categorieën ontwerpfactoren, situatiefactoren, kennisfactoren en uitvoeringsmiddelen. Ontwerpfactoren hebben betrekking op de afmetingen, esthetische eisen, de duurzaamheid, toekomstplannen en constructieve eisen van het ontwerp. Bij de situatie dient gekeken te worden naar de geotechnische en geohydrologische situatie en welke streefwaarden en grenswaarden er tijdens de uitvoering gesteld moeten worden in verband met omliggende belendingen. De kennisfactoren hebben betrekking op welke normen en regelgevingen van toepassing zijn en welke aspecten en rol spelen bij het beheersen van het uitvoeringsproces.

Probleemstelling 3: Het bepalen van de relaties en verhoudingen tussen de keuzefactoren.

De derde probleemstelling beschrijft de relaties tussen de keuzefactoren onderling, zoals beschreven in de tweede probleemstelling, en de relaties tussen de keuzefactoren en de mogelijke uitvoeringsmethoden die behandeld zijn bij de eerste probleemstelling. Bij de relatie tussen de uitvoeringsmethoden en de keuzefactoren is onderzocht welke eisen er aan de keuzefactoren gesteld kunnen worden die ertoe leiden dat bepaalde bouwmethoden niet meer toegestaan of mogelijk zijn. Naast de relaties is middels een onderzoek gekeken naar de prioriteitstelling tussen de keuzefactoren. Aan dit onderzoek hebben projectleiders, werkvoorbereiders, uitvoerders, en adviseurs hun

medewerking verleend. Er kan geconcludeerd worden dat er in eerste instantie voldaan moet worden aan zowel de projectonafhankelijke als de projectafhankelijke eisen met betrekking tot ontwerpeisen, constructieve eisen en de huidige normen en regelgevingen. Na selectie of met de uitvoeringsmethode voldoet aan alle eisen, kan uit een vergelijking tussen de overgebleven uitvoeringsmethoden bepaald worden waar de keuze op valt. Hier zijn alle partijen het over eens dat de bouwkosten bepalen welke uitvoeringsmethode, die de gewenste kwaliteit levert en aan alle eisen voldoet, gekozen zal worden. Bij de andere keuzefactoren blijkt dat er door de verscheidene partijen verschillen in prioriteitstelling worden toegekend. Zo hechten uitvoerders bijvoorbeeld meer waarde aan de benodigde uitvoeringsmiddelen dan adviseurs.

Inhoud

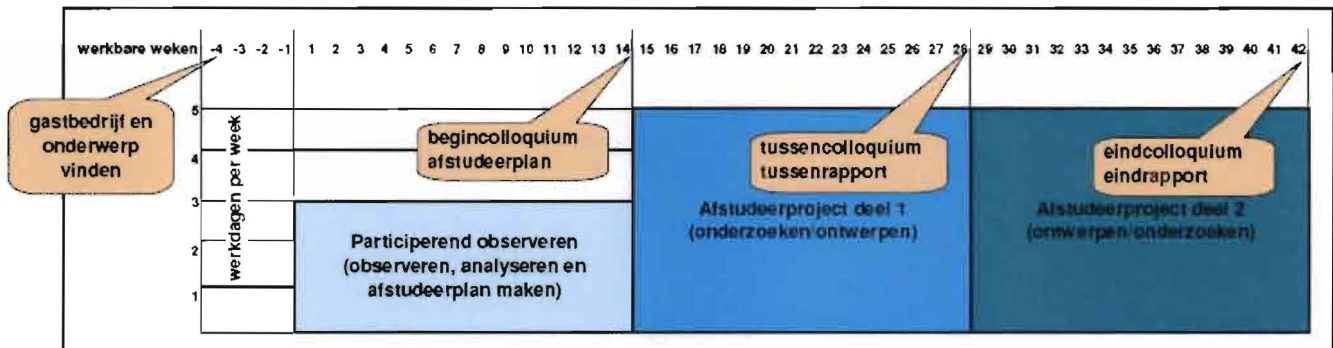
Voorwoord	III
Samenvatting	IV
1. Inleiding	1
1.1 Probleemanalyse	2
1.2 Conclusies analyse	6
1.3 Doelstelling	7
1.4 Probleemstelling & bijbehorende onderzoeksvragen	7
1.5 Afbakening	8
1.6 Relevantie	9
1.7 Plan van aanpak	10
1.7.1 Plan van aanpak voor probleemstelling 1	10
1.7.2 Plan van aanpak voor probleemstelling 2	12
1.7.3 Plan van aanpak voor probleemstelling 3	18
1.7.4 Onderzoek	19
2. Uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies	20
2.1 Inleiding.....	20
2.2 Uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van een open bouwput	23
2.2.1 Taluds.....	23
2.3 Uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van een open bouwkuip.....	27
2.3.1 Berliner wanden	27
2.4 Uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van een gesloten bouwput.....	31
2.4.1 Afdichting door folieconstructies	31
2.5 Uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van gesloten bouwkuipen	33
2.5.1 Stalen damwanden	34
2.5.2: Betonnen damwanden	38
2.5.3: Combiwand	40
2.5.4: Palenwanden.....	43
2.5.5: Diepwanden	47
2.5.6: Combinatiescherm	52
2.5.7: Cementbentonietwanden	53
2.5.8: Mix-In-Place (MIP)	57
2.5.9: Frees Meng Injectie (FMI)	59
2.5.10: Cutter Soil Mix	61
2.5.11: Jetgrouten	63
2.5.12: Bodeminjecties	68
2.5.13: Folieconstructies	70
2.5.14: Kunstmatige bevroeringstechnieken	71
2.5.15: Onderwaterbetonvloer.....	73
2.6 Uitvoeringsmethoden voor het verankeren van bouwkuipen.....	78
2.6.1: Ankerschotten of ankerwanden.....	78
2.6.2: Schroefankers	79
2.6.3: Schroefinjectieankers.....	80
2.6.4: Groutankers.....	81
2.6.5: Ankerpalen	83
2.6.6: Stempelen van bouwkuipen.....	85
2.7 Samenvatting van de verschillende uitvoeringsmethoden	87
3. Keuzefactoren voor het kiezen van de optimale bouwmethode voor de grond- en waterkeringsconstructie	89
3.1 Inleiding.....	89
3.2 Ontwerpaspecten die invloed hebben op de keuze van de uitvoeringsmethode voor grond- en waterkeringsconstructies.	89
3.2.1 Ontwerpeisen	89
3.2.2 Functionele eisen	90
3.2.3 Esthetische eisen	90

3.2.4 Duurzaamheid	91
3.2.5 Constructieve eisen.....	91
3.2.6 Toekomstige plannen en eisen	91
3.2.7 Conclusie onderzoeksvraag 2.1	91
3.3 Situatie van de bouwplaats	92
3.3.1 Inleiding	92
3.3.2 Geotechnische aspecten.....	92
3.3.3 Geohydrologische aspecten.....	94
3.3.4 Invloedsaspecten op de omgeving en belendingen.....	97
3.4 Kennisfactoren voor het bepalen van de optimale grond- en waterkeringsconstructie	104
3.4.1 Inleiding	104
3.4.2 Normen en regelgevingen met betrekking tot grond- en waterkeringsconstructies.....	104
3.4.3 Het beheersen van het ontwerpproces en het uitvoeringsproces van grond- en waterkeringsconstructies.....	107
3.5 Uitvoeringsmiddelen bij het vervaardigen van een grond- en waterkeringsconstructies	110
3.5.1 Inleiding	110
3.5.2 Materieel.....	110
3.5.3 Arbeid	112
3.6 Conclusie	113
4. Beïnvloeding van factoren die een rol spelen bij de keuze van de optimale uitvoeringsmethode	114
4.1 Inleiding	114
4.2 Relaties tussen de verschillende keuzefactoren onderling.....	115
4.3 Relatie tussen de verschillende keuzefactoren en de mogelijke uitvoeringsmethoden	117
4.4 Prioriteitstelling tussen de verschillende keuzefactoren	129
4.5 Conclusie	132
Literatuurlijst.....	133

1. Inleiding

In dit rapport zal de onderzoeksfase van het afstudeerrapport voor de mastertrack Construction Technology worden behandeld van A.J. Schoffelen, student aan de faculteit Architecture, Building and Planning van de Technische Universiteit Eindhoven. Het gastbedrijf voor het afstuderen is Van Wijnen Eindhoven BV.

Het afstudeertraject is op te delen in drie fasen. De eerste fase bestaat uit het in beeld brengen van een of meerdere processen op de bouwplaats middels participierend observeren. Aan de hand van de geobserveerde knelpunten kan een afstudeerplan opgesteld worden.



Abbeelding 1.1: Schematische weergave van het afstudeerproces aan de TU/e voor de richting Construction Technology. [1]

In de analysefase zijn knelpunten geconstateerd. Als eerste zal in dit hoofdstuk een probleemdefiniëring worden gegeven, die heeft geleid tot het afstudeeronderwerp. Vervolgens zal de doelstelling geformuleerd worden en uitgewerkt worden in probleemstellingen en bijbehorende onderzoeksvragen. Ook zal er een afbakening van het onderwerp worden gegeven en zal de relevantie worden toegelicht.

In het vervolg van het verslag zullen alleen de probleemstellingen worden behandeld, die betrekking hebben op het onderzoeksgedeelte van het afstudeerplan. De eerste probleemstelling over het beschrijven van de mogelijke uitvoeringsmethoden zal in hoofdstuk 2 worden uitgewerkt. In hoofdstuk 3 alle gegevens en factoren die een rol spelen in de keuze van de uitvoeringsmethode opgesomd en toegelicht worden. De laatste probleemstelling met betrekking tot de relaties en verhoudingen tussen de gegevens en factoren zullen in hoofdstuk 4 worden behandeld. Het onderzoek vindt plaats aan de hand van een opgesteld plan van aanpak. De aanpak wordt in paragraaf § 1.7.1 behandeld. Tijdens de beantwoording van de probleemstellingen en de onderzoeksvragen zal er steeds een koppeling worden gelegd naar het plan van aanpak.

1.1 Probleemanalyse

Rond juli 2008 zal er in het plangebied Suytkade te Helmond door Van Wijnen gestart worden met het realiseren van drie 'Waterblokken'. De drie waterburchten zijn mede bijzonder door hun ligging. Het kanaal wordt verbreed tot een waterzone waarin een aantal groene eilandjes en wooncomplexen zullen verrijzen. Het worden wooncomplexen waarbij men komt te wonen aan, op én in het water.



Afbeelding 1.1.1: Impressie van de drie waterburchten die in het plangebied Suytkade zullen verrijzen. [2]

Voor het bouwen van de waterburchten moet er een grondkering en een waterkering gemaakt worden. Een grondkering is een constructie die gebouwd is om een hoogteverschil tussen het maaiveld aan beide zijden te overwinnen om het bouwwerk te vervaardigen. Vaak moet de grondkering ook een waterkerende functie vervullen.

Grond- en waterkeringsconstructies kunnen middels verschillende uitvoeringsmethoden vervaardigd worden, die niet allemaal bij iedereen bekend zijn. Bij de keuze voor de grond- en waterkeringsconstructie spelen veel aspecten een rol. Het bedrijf zelf heeft weinig ervaring en expertise met het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies. Uit gesprekken met medewerkers van het bouwbedrijf bleek dat er vaak niet goed onderzocht wordt welke uitvoeringsmethode nu het beste toegepast kan worden. Dit heeft een aantal oorzaken, namelijk:

- Geen deelname aan het ontwerp;
Doordat de aannemer pas in de aanbestedingsfase na het ontwerp door de architect en de opdrachtgever erbij wordt gehaald, kan de aannemer geen invloed uitoefenen op het ontwerp.

De specifieke kennis van een aannemer kan het ontwerp en de opdrachtgever ten goede komen.

- Veranderende eisen van de opdrachtgever;
Doordat de eisen en wensen van een opdrachtgever gedurende het ontwerpproces kunnen veranderen, bestaat de kans dat de werktekeningen aangepast dienen te worden. Tekeningen dienen dan aangepast te worden en de uitvoeringsmethoden kunnen veranderen.
- Het ontwerp en de tekeningen zijn te laat definitief;
Zolang het ontwerp en de tekeningen nog niet definitief zijn, kunnen er nog wijzigingen plaatsvinden. De aannemer kan dan wel al starten met het voorbereiden van het uitvoeringsproces en het uitdenken van de beste bouwmethode, maar als er toch nog veranderingen optreden kan dit werk voor niets zijn geweest. Tevens als niet alle informatie die nodig is om tot een goede keuze te komen beschikbaar is, kan de keuze nog niet gemaakt worden. Besluit de aannemer te wachten totdat alle tekeningen definitief zijn, dan bestaat de kans dat de tijd om het proces voor te bereiden te kort is.
- Te weinig tijd voor werkvoorbereiding;
Besluit de aannemer te wachten totdat alle tekeningen definitief zijn, dan bestaat de kans dat de tijd om het proces voor te bereiden te kort is. De aannemer is hiermee ook afhankelijk van de startdatum en de opleverdatum van het project.
- Verschillend beleid per gemeente;
Per gemeente zijn er verschillen in beleid op te merken. Voordat er een keuze gemaakt wordt, dient bij de gemeente geïnformeerd te worden naar de voorschriften en eisen die er gelden. Indien niet aan deze eisen voldaan wordt, zal de gemeente geen goedkeuring geven.
- Omstandigheden locatie per project verschillend;
Doordat de omstandigheden per project anders zijn, is het vaak niet mogelijk om op die kennis voort te borduren. De bodemopbouw is anders, de draagkrachtige laag, het grondwater niveau en de minimale en maximale waterstand zullen op een ander niveau liggen en ten opzichte van elkaar verschillen. Tevens kunnen er per project ook nog eens bijzondere omstandigheden optreden, zoals vervuilde grond.
- Onvoldoende technische kennis met betrekking tot grond- en waterkeringconstructies;
Door een gebrek aan ervaring met dit probleem, onvoldoende opleiding en onvoldoende kennis van de huidige mogelijkheden kan er zonder externe hulp niet de optimale keuze gemaakt worden.
- Onvoldoende kennis van de huidige uitvoeringsvarianten;
Niet alle mogelijkheden met betrekking tot het uitvoeren van grond- en waterkeringconstructies zijn bekend bij het personeel. Uit de interviews bleek dat de medewerkers van een groot aantal technieken en uitvoeringsvarianten nog nooit gehoord hebben.
- Eenvoudigste, maar dure oplossing wordt gekozen;
Door een gebrek aan voorbereidingstijd, de tijdsdruk met betrekking tot aanvang van het werk, technische kennis en kennis van verschillende varianten wordt vaak gekozen voor een oplossing die eenvoudig uit te voeren is en bekend is binnen het personeel, ondanks dit meestal niet de goedkoopste oplossing hoeft te zijn. Eenvoudig betekent in dit geval dan ook dat er ervaring is met de gekozen uitvoeringsmethode.
- Nieuwe mogelijkheden worden niet onderzocht;
Door het gebrek aan technische kennis, de ervaring met de toegepaste constructiesystemen voor grond- en waterkering en het niet op de hoogte zijn van alle varianten wordt niet onderzocht of er nieuwe methoden mogelijk en beter zijn. Vaak heeft de tijdsdruk er ook mee te maken dat nieuwe mogelijkheden niet onderzocht worden.
- Relaties met andere bouwdelen worden niet onderzocht;

Doordat er vaak in de voorbereiding en de uitvoering een gebrek aan tijd is, wordt niet onderzocht welke voordelen in relatie met andere bouwdelen met de grond- en waterkeringconstructie te halen zijn. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan het inzetten van de keringconstructie als bekisting of dat de keringconstructie de dragende functie van de funderingspalen onder de gevel geheel of gedeeltelijk overneemt. De keringconstructie zal dan misschien duurder uitvallen, maar dat wordt dan gecompenseerd door minder kosten of tijdswinst bij andere bouwdelen.

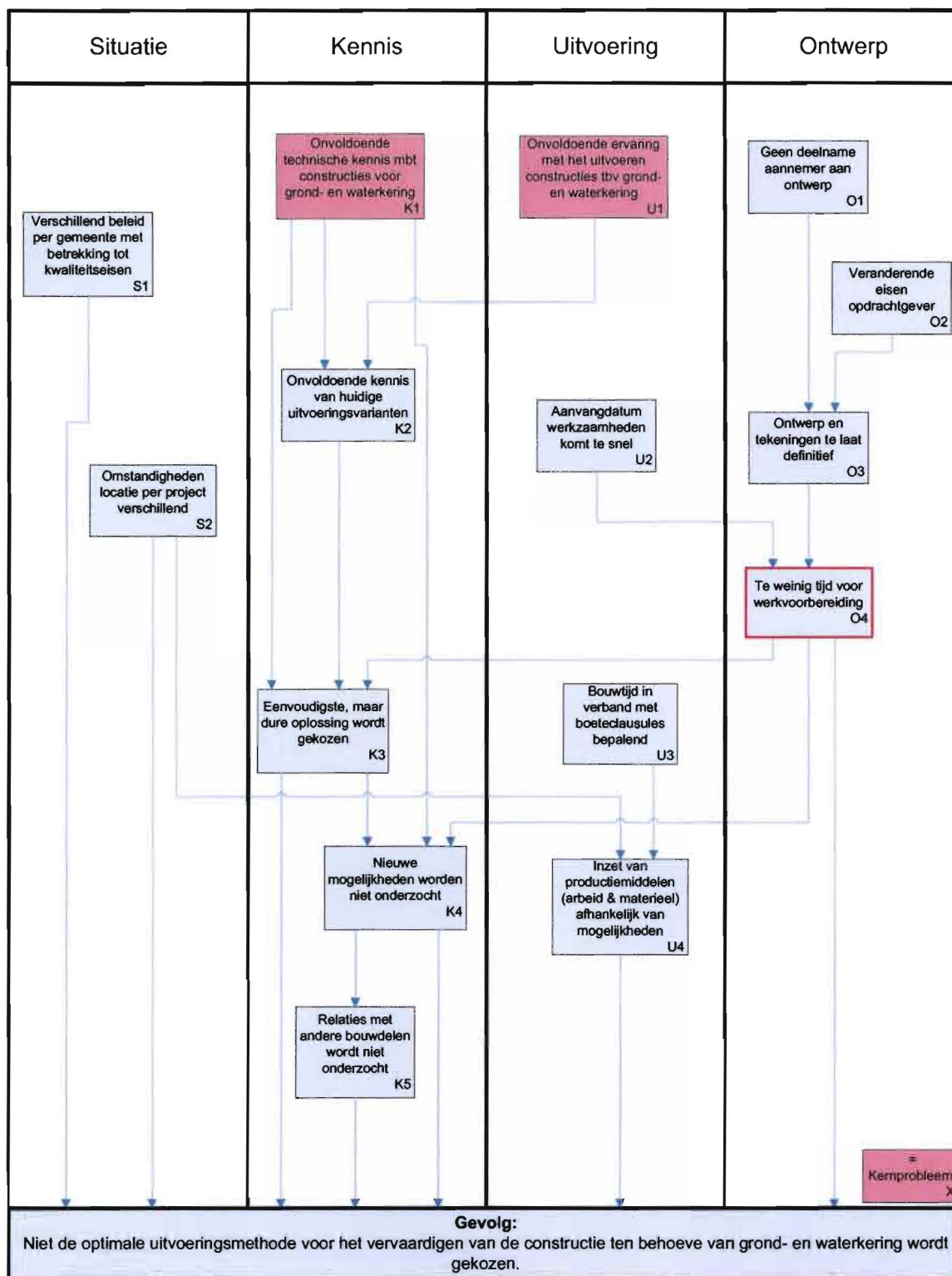
- Onvoldoende ervaring met het uitvoeren constructies ten behoeve van grond- en waterkering; Niet alleen in het voorbereidingsproces waar de uitvoeringsmethode bedacht en ontworpen wordt, maar ook bij de uitvoering zelf blijkt dat er weinig ervaring met dit probleem is. Er wordt tijdens de uitvoering blindelings uitgegaan van de expertise van een onderaannemer.
- Aanvangsdatum werkzaamheden komt vaak te snel; De aanvangsdatum bepaald wanneer er gestart moet worden met bouwen. Aangezien het maken van de grond- en waterkering één van de eerste activiteiten in het uitvoeringsproces is, dient de keuze vaak te snel gemaakt te worden.
- Bouwtijd vaak bepalend in verband met boeteclausules; Door de tijdsdruk moet er vaak snel een keuze gemaakt worden. Er is geen tijd om te onderzoeken wat de meest optimale keuze zal zijn, of dat er nog nieuwe mogelijkheden zijn.

Deze oorzaken zijn geanalyseerd en in beeld gebracht via de stroomanalyse van J.I. Porras [2]. Met behulp van de stroomanalyse wordt op een eenvoudige wijze een complex probleem duidelijk gemaakt door onderzoek te doen naar de belangrijkste problemen en de onderlinge relaties tussen deze problemen. Door de aanpak van grote basale oorzaken, zullen vele (ultieme) gevolgen worden opgelost. Het is dus van belang de basale oorzaken op te sporen.

Als eerste zijn de opgesomde problemen en oorzaken onderverdeeld in vier categorieën, namelijk:

- *'Ontwerp'*
Het ontwerp van het betreffende gebouw en het ontwerp van het uitvoeringsproces. Hierbij dient ook gedacht te worden aan de aspecten duurzaamheid, gewenste kwaliteit en onderhoud.
- *'Situatie'*
De omstandigheden die specifiek voor de locatie gelden.
- *'Kennis'*
De benodigde kennis die nodig is voor het onderzoeken van de verscheidene mogelijkheden, als de beschikbare kennis van de huidige varianten. Tevens ook de ervaring met dergelijke projecten.
- *'Uitvoering'*
Het uitvoeringsproces van een gebouw kent 'lastige' activiteiten die uitgevoerd moeten worden.

Deze vier categorieën dekken alle stappen en informatie die onderzocht en bekeken moeten worden om te komen tot een goede oplossing voor het uitvoeren van de grond- en waterkeringconstructie. Er worden relaties gelegd tussen de problemen en oorzaken die zijn gesignaleerd. Aan de hand van de relaties kan onderzocht worden waar de kernproblemen zich bevinden. In het stroomanalyse diagram (figuur 2.1.2) zijn de relaties tussen de verschillende problemen weergegeven. Tevens is te zien hoe de problemen onderverdeeld zijn in de vier categorieën.



Figuur 1.1.2: stroomanalyse diagram volgens J.I. Porras van de oorzaken waardoor niet de optimale uitvoeringsmethode voor de grond- en waterkeringsconstructie wordt onderzocht.

1.2 Conclusies analyse

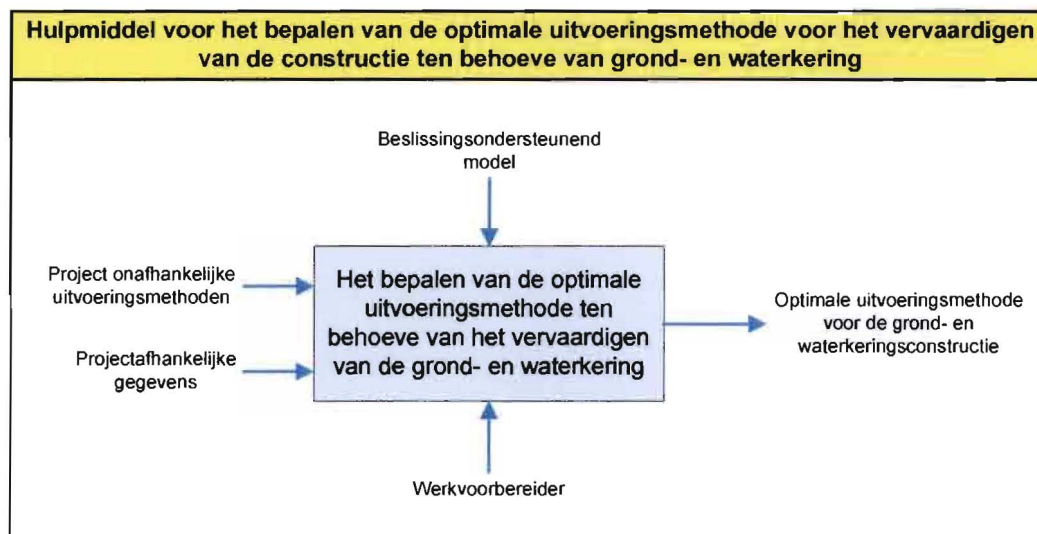
Uit het diagram van de stroomanalyse kan worden opgemerkt waar de kernproblemen zich bevinden. Getracht moet worden om de kernproblemen aan te pakken en op te lossen. Als kernproblemen kunnen worden aangeduid dat er te weinig technische kennis en te weinig ervaring is om tot een goede keuze voor het vervaardigen van de grond- en waterkeringconstructie te komen. De twee kernproblemen zijn in het schema (figuur 2.1.2) roze gekleurd. Het gebrek aan technische kennis en ervaring uit zich er met name in dat er maar enkele technieken of uitvoeringsvarianten voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies bekend zijn en men niet op de hoogte is van alle mogelijke uitvoeringsvarianten. Jetgrouten is bijvoorbeeld een techniek waar nog niemand van de geïnterviewden van gehoord had. Een ander voorbeeld is dat men wel heeft gehoord van het heien, trillen of indrukken van damwandelementen, maar van een combinatie van trillen met fluïderen om de grondweerstand te verlagen, is onbekend.

Aangezien niet alle uitvoeringsmethoden voor grond- en waterkeringsconstructies bekend zijn, is het ook moeilijk om een goede keuze te maken. Er wordt vaak een methode gekozen waar men in het verleden al een keer ervaring mee heeft opgedaan. Maar aangezien het ontwerp en de situatie per project verschillen, worden op basis van verkeerde aannames een keuze gemaakt. Per project is het van belang om de specifieke kenmerken die voor dat project een rol spelen in de keuze van de keringsconstructie goed in kaart te brengen.

Naast een gebrek aan de benodigde kennis is er nog een belangrijk aspect op te merken waardoor niet beste keuze wordt gemaakt, namelijk dat er te weinig tijd is in de voorbereidingsfase om alles goed te onderzoeken en uit te werken. Vaak wordt de keuze voor de grond- en waterkeringsconstructie neergelegd bij onderaannemers, die hun eigen product proberen te verkopen. Zij houden alleen rekening met hun eigen technieken en kijken niet welke gevolgen de keuze voor de keringsconstructie heeft voor het vervaardigen van andere bouwdeelen. Dit moet de werkvoorbereider onderzoeken, maar door een gebrek aan tijd gebeurt dit vaak niet. Ook is het zo dat als er op het laatste moment een wijziging optreedt, niet meer opnieuw onderzocht kan worden of dit gevolgen heeft voor de keuze van de keringsconstructie.

Voor het bedrijf zou het handig zijn om een hulpmiddel te hebben voor het bepalen van de optimale uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van de constructie ten behoeve van de grond- en waterkering. Het hulpmiddel moet inspelen op gebrek aan kennis, ervaring met betrekking tot grond- en waterkeringsconstructies en het moet het mogelijk maken om in korte tijd een advies te geven. Dit hulpmiddel kan gezien worden als een beslissingsondersteunendmodel. Het model zal aan de volgende eisen moeten voldoen:

- Eenvoudige invoer van de gegevens;
- Veranderingen/wijzigingen moeten door te voeren zijn;
- De uitvoer moet de optimale methode presenteren;
- In de uitvoer moet een vergelijking te zien zijn tot de andere methoden;
- In de uitvoer moet te zien zijn waarom bepaalde methoden niet geschikt zijn;



Figuur 1.2.1: Schematische weergave van het model

Bij de invoer gaat het om het ingeven van de gegevens uit het ontwerp en de situatie. Het model moet de benodigde kennis aanleveren met betrekking tot de mogelijke projectonafhankelijke uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van de keringsconstructie. Bij de uitvoer moet de optimale keuze van de uitvoeringsmethode aan de hand van een vergelijking naar voren komen die wordt toegelicht ten opzichte van andere varianten. Om aan de hand van de invoergegevens tot de juiste uitvoer te komen dient er aan de hand van de invoergegevens een vergelijking gemaakt te worden. Middels berekeningen, toetsingen en ervaringen (= de kennis) en de beschikbare middelen (arbeid en materieel) dient bepaald te worden wat nu de optimale uitvoeringsmethode is.

1.3 Doelstelling

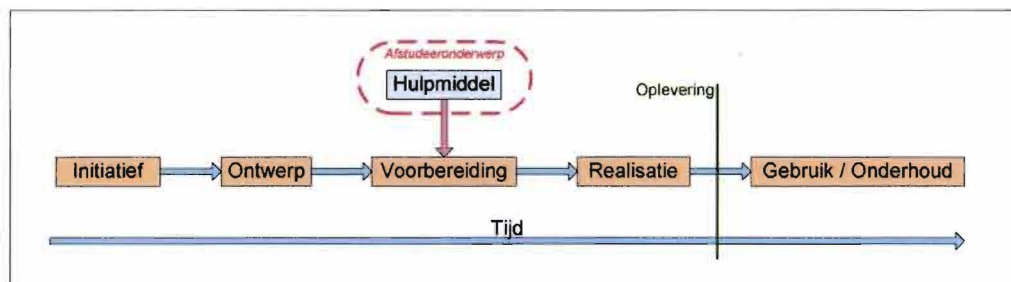
Aan de hand van de conclusies van de probleemdefiniëring kan de doelstelling van dit afstudeerplan kan als volgt geformuleerd worden:

'het ontwikkelen van een beslissingsondersteunend model om in korte tijd de optimale uitvoeringsmethode te bepalen voor het vervaardigen van de constructie ten behoeve van de grond- en waterkering.'

Toelichting op doelstelling:

De uitkomst uit het model zal een advies geven over welke uitvoeringsmethode het beste toegepast kan worden. De uitkomst is niet bindend voor de aannemer, maar zal een ondersteuning zijn voor de uiteindelijke keuze en onderbouwing. Het model zal voor de gebruiker de benodigde kennis over de mogelijke uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van de grond- en waterkeringsconstructie bevatten. Daarnaast zal het model de factoren die een rol spelen bij het kiezen van de uitvoeringsmethode voor een bepaald project moeten aangeven.

In de doelstelling staat geformuleerd dat de optimale uitvoeringsmethode in korte tijd bepaald moet kunnen worden. Voor het invullen van het model wordt ervan uitgegaan dat het bestek, de tekeningen, de situatie en het bodemonderzoek bestudeerd zijn. Na bestudering van deze documenten moet het mogelijk zijn om binnen een halve werkdag het model in te vullen en een advies voor de optimale uitvoeringsmethode te verkrijgen. Verder moet het model de mogelijkheid bieden om wijzigingen, die kunnen plaatsvinden, eenvoudig en snel door te kunnen voeren.

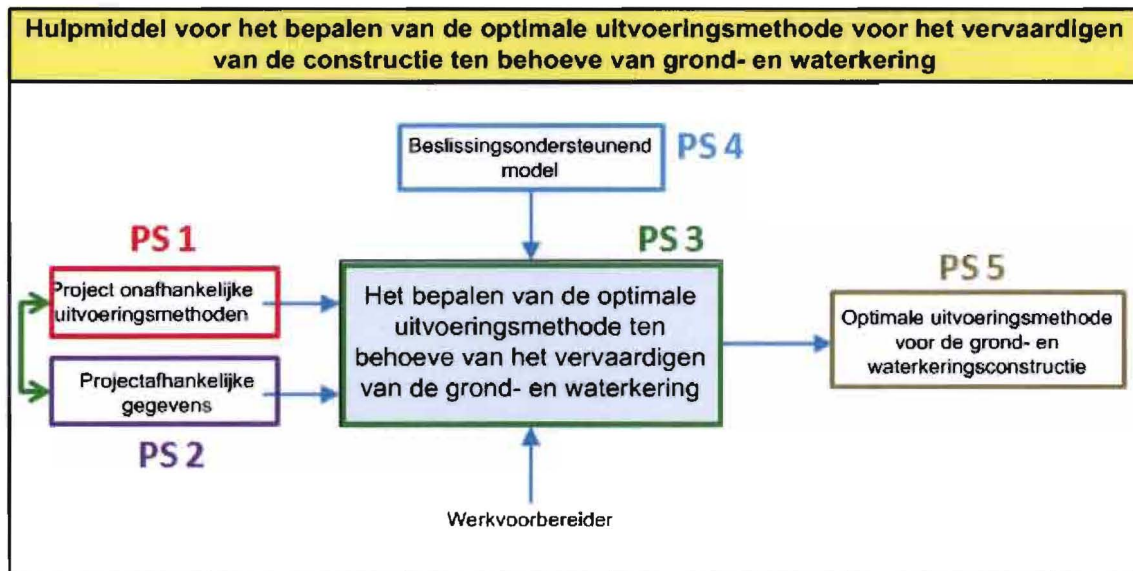


Figuur 1.3.1: Schematische weergave van wanneer het beslissingsmodel toegepast kan worden.

1.4 Probleemstelling & bijbehorende onderzoeksvragen

1. Welke mogelijke uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van constructies ten behoeve van grond- en waterkering bestaan er?
 - 1.1 Welke mogelijke uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies bestaan er?
 - 1.2 Welke mogelijke uitvoeringsmethoden voor het verankeren van de keringsconstructie bestaan er?
2. Welke gegevens/factoren spelen een rol bij het bepalen van de beste uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van de constructie ten behoeve van grond- en waterkering?
 - 2.1 Welke kwalitatieve eisen worden er gesteld aan de constructie ten behoeve van de grond- en waterkering? (invoer, ontwerp)
 - 2.2 Welke invloed heeft de locatie op de keuze van de uitvoeringsmethode? (invoer, situatie)
 - 2.3 Welke normen en regelgevingen hebben invloed op de keuze? (kennis)

- 2.4 Wat is de invloed van de procesbeheersmiddelen (Geld, Organisatie, Tijd, Informatie en Kwaliteit) op de keuze? (kennis)
- 2.5 Welke factoren met betrekking tot de uitvoeringsmiddelen spelen een rol? (materieel en arbeid)
3. Hoe beïnvloeden deze factoren elkaar?
 - 3.1 Welke relaties zijn er tussen de verschillende invloedsfactoren onderling met betrekking tot de keuze aan te merken?
 - 3.2 Welke relaties zijn er tussen de verschillende invloedsfactoren en de mogelijke uitvoeringsmethoden met betrekking tot de keuze aan te merken?
 - 3.3 Welke prioriteitstelling met betrekking tot de keuze wordt er gegeven aan de verschillende invloedsfactoren?
4. Hoe ziet een methode eruit voor het bepalen van de beste constructie ten behoeve van grond- en waterkering?
 - 4.1 Aan welke eisen moet het beslissingsmodel voldoen? (programma van eisen)
 - 4.2 Hoe moet het beslissingsmodel opgebouwd zijn? (structuur)
 - 4.3 Welke invoergegevens zijn er nodig? (invoer)
 - 4.4 Waaraan dient de uitvoer te voldoen? (uitvoer)
5. Voldoet het ontwikkelde hulpmiddel?
 - 5.1 Voldoet het ontwikkelde hulpmiddel?
 - 5.2 Welke aanpassingen dienen er gemaakt te worden om het model te verbeteren?



Figuur 2.4.1: Probleemstellingen (PS) gekoppeld aan de conclusies die volgen uit de analyse.

1.5 Afbakening

Uit de analyse bleek dat grond- en waterkeringconstructies bij het bouwen op het water niet nodig zijn, aangezien er boven het openwaterniveau wordt gebouwd. Een voorbeeld van een dergelijk bouwproject is een olieboorplatform. Hierdoor wordt in het afstudeeronderzoek niet gekeken naar bouwen op het water. Wel wordt er gekeken naar bouwen in en aan het water.

De term ondergronds bouwen heeft verschillende betekenissen, afhankelijk van de context. In dit rapport betekent ondergronds bouwen: het planmatig creëren van of aanpassen van ondergrondse of in de grondse constructies. Hierbij is een ondergrondse constructie een constructie die geheel onder het maaiveld ligt en met grond bedekt is. In de grondse constructies kunnen worden omschreven als constructies die zich voor een deel onder het maaiveld bevinden en niet of gedeeltelijk met grond bedekt zijn. Ondergrondse constructies sluiten aan op de richting civiele techniek. In de grondse constructies kunnen gezien worden als het bouwen vanaf het maaiveld. Van een aannemer wordt verwacht dat hij deze constructies kan vervaardigen en sluit dus aan op de richting uitvoeringstechniek. Ondergrondse constructies worden niet meegenomen, aangezien deze vallen onder de richting civiele techniek.

Het beslissingsmodel is bedoeld voor de aannemer, opdat deze in korte tijd kan bepalen wat de optimale uitvoeringsmethode is voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies. Bij een traditioneel aanbestedingsmodel wordt een ontwerp besteksgereed aangeboden bij een aantal aannemers om hun prijsaanbiedingen te doen. Er geldt een strenge scheiding tussen ontwerp en uitvoering. Aangezien de aannemer pas in de uitvoeringsfase wordt ingeschakeld, is het onmogelijk om bij het ontwerpen gebruik te maken van zijn uitvoeringsdeskundigheid. De grond- en waterkeringsconstructie is in besteksfase al omschreven en de aannemer dient zich hier aan te houden. In dit geval kan de aannemer niet zelf beslissen welke uitvoeringsmethode het beste is, waardoor het beslissingsmodel geen nut heeft. Het model zal daarom zich toespitsen op projecten die van eigen ontwikkeling zijn of bij de contractvormen Turn-key, Bouwteam en Design And Build. Bij een turnkey-project besteedt de opdrachtgever het ontwerp en de realisatie van het bouwwerk volledig uit. De opdrachtgever stelt veelal slechts een globaal programma van eisen op. Een turnkey-organisatie is een verzameling van disciplines die in het bouwproces werkzaam zijn. Veelal bestaat zo'n organisatie uit een hoofdaannemer, een interne architect en eventueel adviseurs en/of financiers.

1.6 Relevantie

Relevantie met uitvoeringstechniek:

Aannemers krijgen steeds meer te maken met bouwprojecten aan, in of op het water. Dit geldt niet alleen in Nederland, maar ook in andere landen. Aannemers hebben vaak nog geen of te weinig ervaring met het bouwen van woningen of utiliteitsgebouwen onder deze bijzondere omstandigheden. Aan de hand van het hulpmiddel, het beslissingsmodel, moet het mogelijk zijn om in korte tijd de optimale uitvoeringsmethode te bepalen voor het vervaardigen van de constructie tegen de grond- en waterkering. Tevens dienen aanpassingen eenvoudig doorgevoerd te kunnen worden. Aangezien aannemers problemen hebben met het bepalen van de ideale methode door een gebrek aan kennis, ervaring en gebrek aan tijd zal het hulpmiddel handig zijn om op eenvoudige en snelle manier te bepalen welke optie het beste zal zijn.

Wetenschappelijke relevantie:

Aan de hand van kwalitatief onderzoek worden alle bestaande technieken in beeld gebracht en met elkaar vergeleken. Op dit moment zijn er maar enkele personen die over de kennis en ervaring van een aantal uitvoeringsmethoden beschikken om tot een optimale keuze voor de uitvoering van de keringconstructie te komen, maar er bestaat nog geen hulpmiddel voor die alle kennis bundelt. In het beslissingsondersteunend model worden de onderzochte relaties tussen de onderzoeksfactoren onderling en de uitvoeringsmethoden vastgelegd. Met deze nieuwe wetenschappelijke kennis die het hulpmiddel biedt, wordt het voor bouwkundigen eenvoudiger om in een korte tijd, zonder zelf over alle kennis te beschikken, mogelijk om tot een goede en onderbouwde keuze te komen.

Maatschappelijke relevantie:

Doordat het mogelijk wordt om met behulp van het hulpmiddel eenvoudig en snel tot een goede keuze te komen, zal dit tijdens de uitvoering ten goede komen. Het proces zal met minder problemen verlopen. Dit zal de samenwerking tussen de opdrachtgever, de omgeving en de aannemer ten goede komen.

Persoonlijke relevantie:

In mijn portfolioplan heb ik drie competenties omschreven die ik wil ontwikkelen. Hier heb ik gedurende mijn opleiding aan gewerkt om deze verder te ontwikkelen. Het gaat om de competenties:

- plannen en organiseren;
- kwalitatief onderzoek;
- brede kennis uitvoering en bouwtechniek.

Het afstudeeronderwerp zal me helpen om mijn tweede en derde competentie verder te ontwikkelen. Doordat het afstuderen begint met het uitvoeren van een kwalitatief onderzoek kan ik hier mijn opgedane vaardigheden toepassen, verder ontwikkelen en toetsen. Gedurende mijn opleiding heb ik al veel kennis opgedaan over uitvoering en bouwtechniek, maar niet al te veel aandacht is er besteed aan grond- en waterkeringconstructies. Door dit afstudeeronderwerp kan ik hier veel kennis over opdoen en dus mijn kennis met betrekking tot uitvoering en bouwtechniek vergroten.

1.7 Plan van aanpak

In het plan van aanpak worden de probleemstellingen en onderzoeksvragen uitgewerkt. Er wordt vastgelegd welke vragen beantwoord moeten worden in het verslag, hoe de beantwoording plaats zal vinden, de bronnen en de wijze van dataverzameling. Allereerst worden de vijf probleemstellingen apart uitgewerkt en als laatste zal er ter samenvatting van het plan van aanpak een overzichtstabel gegeven worden.

1.7.1 Plan van aanpak voor probleemstelling 1

1. Welke mogelijke uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van constructies ten behoeve van grond- en waterkering bestaan er?
 - 1.1 Welke mogelijke uitvoeringsmethoden bestaan er?
 - 1.2 Wat zijn de voordelen en de nadelen van de bestaande constructies?

Inleiding

De eerste probleemstelling beschrijft de huidige technieken die worden toegepast voor het vervaardigen van constructies ten behoeve van grond- en waterkering. In het beslissingsmodel moet een keuze worden gemaakt voor de beste uitvoeringmethode aan de hand van gegevens over het ontwerp en de situatie. Voor het maken van die keuze is het van belang om te weten welke uitvoeringsmethoden toegepast kunnen worden. Er dient dus een compleet overzicht van de huidige uitvoeringsmethoden voor grond- en waterkeringsconstructies te worden opgesteld.

Uitgangspunten voor de dataverzameling

- 1.1 Het beschrijven van de uitvoeringsmethoden zal plaatsvinden door:
 - A. het beschrijven van kenmerken;
 - B. het beschrijven van toepassingen van de betreffende methode;
 - C. het beschrijven van voordelen en nadelen;
 - D. het beschrijven van de uitvoeringsvolgorde;
 - E. het beschrijven van eventuele uitvoeringsvarianten;
 - F. het beschrijven van het benodigde materieel;
 - G. het beschrijven van de benodigde materialen;
 - H. het beschrijven van de bouwplaatsinrichting;
 - I. het beschrijven van de invloed van de uitvoeringsmethode op de omgeving;
 - J. het beschrijven van de risico's en hoe deze geminimaliseerd kunnen worden.
- 1.2 Niet alleen de uitvoeringsmethoden zullen behandeld worden, ook de manieren waarop een bouwkuip verankerd of gestempeld kan worden moeten worden toegelicht.
 - A. het beschrijven van kenmerken;
 - B. het beschrijven van toepassingen van de betreffende methode;
 - C. het beschrijven van voordelen en nadelen;
 - D. het beschrijven van de uitvoeringsvolgorde;
 - E. het beschrijven van eventuele uitvoeringsvarianten;
 - F. het beschrijven van het benodigde materieel;
 - G. het beschrijven van de benodigde materialen;

Uiteindelijk zal in de conclusie een overzicht van de kenmerken en verschillen tussen alle uitvoeringsmethoden gegeven worden.

Bron en dataverzamelmethode

Literatuur:

- boeken bibliotheek TU/e;
- vaktijdschriften;
- cobouw.

Internet:

- afbeeldingen zoeken;
- informatie op internet zoeken.

Bedrijven

- productbladen van bedrijven;
- bestuderen van uitvoeringsmethoden van bouwbedrijven;
- adviesbureaus (bijvoorbeeld Grontmij, Arcadis, Geodelft);
- referentieprojecten bezichtigen van bedrijven.

Normen, regelgevingen en aanbevelingsrapporten

- NEN-normen;
- CUR-aanbevelingsrapporten;
- Stichting Bouwresearch (SBR)

Betrouwbaarheid van de data

Bestaande materialen zijn niet altijd gecreëerd door en voor onderzoeken. Hierdoor zijn de materialen vaak gemaakt met een bepaald doel en in een bepaalde context, waardoor deze kan verschillen van een onderzoekssituatie. "Het is van belang om vragen te stellen om te toetsen of het materiaal geldig voor het onderzoek. Het gaat om vragen als:

- *Auteur*: Wie is de auteur en wat is zijn achtergrond?
- *Context*: Onder welke omstandigheden zijn de materialen tot stand gekomen?
- *Motivatie*: Wat was de motivatie om het document op te stellen? Bijvoorbeeld propaganda of juist voorlichting.
- *Doelgroep*: Voor wie was het materiaal bedoeld?
- *Triangulatie*: Is er andere informatie, die het gegeven beeld kan bevestigen, nuanceren of ontkrachten?
- *Onder- of overrapportage*: Wordt er een reëel beeld geschetst, of wordt er bijvoorbeeld te rooskleurig of te dramatisch verteld?
- *Leefdomeinen*: Zijn de documenten allesomvattend of beperkt?
- *Compleet*: Zijn de documenten compleet of bewerkt?" [2a]

Rapportage

De gevonden data worden geanalyseerd en vervolgens gereduceerd. Per uitvoeringsmethode zal de gevonden data worden gepresenteerd volgens een vaste structuur. De gegevens van een uitvoeringsmethode zullen worden onderverdeeld in de categorieën:

- *Omschrijving*; een korte, kernachtige omschrijving van de uitvoeringsmethode.
- *Kenmerken*; het aangeven of met de uitvoeringsmethode een grondkerende, waterkerende of dragende functie verkregen kan worden.
- *Toepassing*; het aangeven in welke situaties de betreffende uitvoeringsmethode toegepast kan worden.
- *Voor- en nadelen*; het aangeven van voordelen en nadelen van de uitvoeringsmethode ten opzichte van andere uitvoeringsmethoden of andere uitvoeringsvarianten.
- *Uitvoeringsvolgorde*; het weergeven van de volgorde van de uitvoeringsmethode om de bouwput of bouwkuip te vervaardigen.
- *Uitvoeringsvarianten*; het beschrijven van alle verschillende uitvoeringsvarianten per uitvoeringsmethode.
- *Materieel*; aangeven welk materieel er nodig is voor de uitvoeringsmethode en welk plaatsgebruik er nodig is.
- *Materiaal*; aangeven welke materialen er worden toegepast en wat de functie van deze materialen zijn.
- *Bouwplaatsinrichting*; het beschrijven van hoe de bouwplaats ingericht dient te worden met betrekking tot het benodigde materieel en de benodigde aanvoer, afvoer en opslag van materialen.
- *Invloed op de omgeving*; de consequenties voor de omgeving.
- *Uitvoeringsrisico's*; het aangeven van de uitvoeringsrisico's die zich kunnen voordoen en op welke manieren die van te voren worden erkend en getracht te voorkomen.

Uiteindelijk zal er als conclusie een overzicht van de kenmerken en verschillen tussen alle uitvoeringsmethoden gegeven worden. In tabelvorm moet in één oogopslag de belangrijkste informatie met betrekking tot de keuze op de uitvoeringsmethode af te lezen zijn. Van belang is dat alle uitvoeringsmethoden en alle verankeringsmethoden beschreven zijn.

1.7.2 Plan van aanpak voor probleemstelling 2

2. Welke gegevens/factoren spelen een rol bij het bepalen van de beste uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van de constructie ten behoeve van grond- en waterkering?
 - 2.1 Welke eisen worden er kwalitatief gesteld aan de constructie ten behoeve van de grond- en waterkering? (invoer, ontwerp)
 - 2.2 Welke invloed heeft de locatie op de keuze? (invoer, situatie)
 - 2.3 Welke normen en regelgevingen hebben invloed op de keuze? (kennis)
 - 2.4 Wat is de invloed van de procesbeheersmiddelen (Geld, Organisatie, Tijd, Informatie en Kwaliteit) op de keuze? (kennis)
 - 2.5 Welke factoren met betrekking tot de uitvoeringsmiddelen spelen een rol? (materieel en arbeid)

Inleiding

Nadat de huidige uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies in beeld zijn gebracht, zal er een keuze tussen de uitvoeringsmethoden gemaakt moeten worden. Die keuze is gebaseerd op een aantal verschillende gegevens en factoren. De keuzefactoren kunnen worden onderverdeeld in de categorieën:

- 'Ontwerp'
Het ontwerp van het betreffende gebouw en het ontwerp van het uitvoeringsproces. Hierbij dient ook gedacht te worden aan de aspecten duurzaamheid, gewenste kwaliteit en onderhoud.
- 'Situatie'
De omstandigheden die specifiek voor de locatie gelden. Hierbij valt te denken aan de bodemopbouw, de grondwaterstand en belendingen.
- 'Kennis'
De benodigde kennis die nodig is voor het onderzoeken van de verscheidene mogelijkheden, als de beschikbare kennis van de huidige varianten. Tevens ook de ervaring met dergelijke projecten. De benodigde kennis heeft betrekking op de normen en regelgevingen die gelden, alsmede op de beheersmiddelen die een rol spelen om het uitvoeringsproces te bewaken.
- 'Uitvoeringsmiddelen'
De benodigde inzet van arbeid en materieel bij het uitvoeringsproces.

In het plan van aanpak voor de tweede probleemstelling zal per categorie precies worden aangegeven wat onderzocht dient te worden en welke gegevens het onderzoek dient op te leveren. Tevens wordt aangegeven op welke manier de data verkregen zullen worden.

Uitgangspunten voor de dataverzameling

Onderzoeksvraag 2.1: Welke eisen worden er kwalitatief gesteld aan de constructie ten behoeve van de grond- en waterkering?

- A. Ontwerp
 - Welke afmetingen van het ontwerp zijn van belang voor het vervaardigen van de bouwput of bouwkuip?
 - Welke materialen worden er voorgeschreven?
- B. Functionele eisen
 - Dient het ontwerp waterkerend te zijn?
 - Dient het ontwerp grondkerend te zijn?
 - Is de grond- en waterkerende constructie definitief of tijdelijk?
- C. Esthetische eisen
 - Welke eisen kunnen er worden gesteld aan het uiterlijk van het oppervlak van de grond- en waterkerende constructie?
 - Welke eisen kunnen er worden gesteld met betrekking tot de maatvoering van de grond- en waterkerende constructie?
- D. Duurzaamheid
 - Wat is de verwachte levensduur van het ontwerp?
 - Wat is de economische levensduur van het ontwerp?
 - Hoe lang duurt de garantieperiode die aannemer moet verstrekken?
 - Moet onderhoud aan de keringsconstructie mogelijk zijn?
- E. Constructieve eisen

- Dient de grond- en waterkeringsconstructie een dragende functie te vervullen?
 - Dient de grond- en waterkeringsconstructie verankerd of gestempeld te worden?
 - Wanneer wordt de verankeringsconstructie toegepast? Alleen tijdens de uitvoering of is verankering ook tijdens de gebruiksfase noodzakelijk?
- F. Toekomstige plannen / eisen
- Mogen ankers in de grond blijven zitten?
 - Houdt het ontwerp rekening met toekomstige uitbreidingsplannen?

Conclusievraag: Welke gevolgen heeft het ontwerp op de keuze van de uitvoeringsmethode? Ofwel welke uitvoeringsmethoden zijn door de ontwerpeisen niet toepasbaar en waarom?

Bron en dataverzameling:

- Definities van de keuzefactoren in bestaande literatuur zoeken en definiëren.
- Bestuderen van referentieprojecten door deze te bezichtigen en het doornemen van tekeningen en bestekken.

Onderzoeksvraag 2.2: Welke invloed heeft de locatie op de keuze

- A. Geotechnische aspecten
- Welke grondparameters moeten uit het grondonderzoek naar voren komen?
 - Welke eigenschappen van de verschillende grondsoorten hebben invloed op de keuze?
 - Wat zijn de gevolgen van obstakels in de ondergrond?
 - Wat zijn de gevolgen van holle ruimten in de ondergrond?
 - Wat zijn de gevolgen van vervuilde grond?
- B. Geohydrologische aspecten
- Wat is de invloed van de diepte van het grondwater?
 - Is het nodig om de grondwaterstand te verlagen?
 - Mag de grondwaterstand buiten de bouwput of bouwkuip verlaagd worden?
 - Welke vergunningen dienen aangevraagd te worden voor het verlagen van de grondwaterstand?
- C. Omgeving en belendingen
- Wat is de relatie tussen de keuze voor de uitvoeringsmethode en de afstand van de omliggende gebouwen ten opzichte van de bouwput of bouwkuip?
 - Wat is de invloed van de wijze van fundatie van de omliggende gebouwen op de keuze van de uitvoeringsmethode?
 - Wat is de invloed van de staat van de omliggende gebouwen op de keuze van de uitvoeringsmethode?
 - Kunnen er specifieke eisen gesteld worden door de functie van een omliggend gebouw?
 - Welke eisen kunnen er gesteld worden met betrekking tot geluidsoverlast?
 - Welke eisen kunnen er gesteld worden met betrekking tot overlast ten gevolge van trillingen?
 - Zijn er belendingen door infrastructuur en wat is hun invloed? Bijvoorbeeld rioleringen of wegen?
 - Zijn er belendingen door naastgelegen funderingen en wat is hun invloed?
 - Zijn er belendingen door naastgelegen kelders en wat is hun invloed?

Conclusievraag: Welke gevolgen heeft de situatie in de zin van de bodemopbouw, de omgeving, de belendingen en het grondwater op de keuze van de uitvoeringsmethode? Ofwel welke uitvoeringsmethoden zijn niet meer toepasbaar en waarom?

Bron en dataverzameling:

- Definities van de keuzefactoren in bestaande literatuur zoeken en definiëren.
- Bestuderen van referentieprojecten door deze te bezichtigen en het doornemen van tekeningen en bestekken.
- Literatuur bestuderen.
- Rapporten van grondonderzoeken bestuderen.
- Interview met bureau dat sonderingsonderzoeken uitvoert. (Bijvoorbeeld Inpijn Blokpoel)
- Interview met watermaatschappij ten behoeve van het grondwater.
- Procedure voor het aanvragen van vergunningen / meldingsplichten bij de provincie opvragen en bestuderen.

Onderzoeksvraag 2.3: Welke kennisfactoren hebben invloed op de keuze?**A. Normen en regelgevingen:**

- Normen
 - o Welke normen gelden voor grond- en waterkeringsconstructies?
- Regelgeving
 - o Welke regelgevingen gelden voor grond- en waterkeringsconstructies?
 - o Welke aanvullende regelgevingen kunnen door de gemeente, waar gebouwd wordt, geëist worden?
- Aanbevelingsrapporten
 - o Welke aanbevelingsrapporten bestaan er?
- Vergunningen
 - o Welke vergunningen dienen aangevraagd te worden?
 - o Bij welke instantie dienen de vergunningen aangevraagd te worden?
 - o Hoe lang is de proceduredtijd bij het aanvragen van een vergunning?

Conclusievraag: Welke gevolgen hebben normen, regelgevingen, aanbevelingsrapporten en vergunningen op de keuze van de uitvoeringsmethode? Ofwel welke uitvoeringsmethoden zijn niet meer toepasbaar en waarom?

Bron en dataverzameling:

- Definities van de keuzefactoren in bestaande literatuur zoeken en definiëren.
- Bestuderen van referentieprojecten door deze te bezichtigen en het doornemen van tekeningen en bestekken.
- Procedure voor het aanvragen van vergunningen / meldingsplichten bij de provincie opvragen en bestuderen.
- Procedure voor het aanvragen van vergunningen / meldingsplichten bij gemeenten opvragen en bestuderen / vergelijken.

B. Procesbeheersmiddelen (GOTIK)

- Geld
 - o Wat zijn de kostenposten voor het vervaardigen van een grond- en waterkeringsconstructie?
 - o Wat zijn de eenheidsprijzen voor het vervaardigen van een grond- en waterkeringsconstructie?
 - o Wat zijn de hoeveelheden die af te leiden zijn uit het ontwerp?
 - o Hoeveel manuren zijn er nodig voor het vervaardigen van de constructie?
 - o Welke investeringskosten dienen er gemaakt te worden?
 - o Welke kosten voor het materieel dienen er gerekend te worden?
 - o Hoe groot is het budget voor het vervaardigen van de grond- en waterkeringsconstructie?
- Organisatie
 - o Welke partij (architect, constructeur, opdrachtgever, aannemer) maakt de keuze voor de uitvoeringsmethode of uitvoeringsvariant?
 - o In welke fase wordt de keuze voor de uitvoeringsmethode bepaald?
 - o Wat is de invloed van de bouwovereenkomst (traditioneel, bouwteam, design & build) op de vragen wie en wanneer de keuze voor de uitvoeringsmethode maakt?
 - o Hoe dienen de verschillende partijen op elkaar afgestemd te worden?
 - o Welke afspraken dienen er tussen verschillende partijen gemaakt te worden?
 - o Welke afspraken dienen er intern gemaakt te worden?
- Tijd
 - o Hoe lang mag de bouwtijd voor de keringsconstructie bedragen?
 - o Hoe lang duren de deelprocessen om de keringsconstructie uit te voeren?
 - o Welke activiteiten kunnen parallel verlopen en welke serieel? Wat is bij parallele activiteiten het tijdsinterval?
 - o Wat is de relatie tussen de verschillende activiteiten?
- Informatie
 - o Welke informatie dient er vooraf beschikbaar te zijn om het uitvoeringsproces te beheersen?
 - o Welke informatie is er tijdens het uitvoeringsproces nodig?

- Kwaliteit
 - o Welke maatregelen worden er vooraf getroffen om de kwaliteit te controleren?
 - o Welke maatregelen worden er tijdens de uitvoering getroffen om de kwaliteit te controleren?
 - o Welke risico's kunnen er van te voren gesignaleerd worden bij de verschillende uitvoeringsmethoden?
 - o Welke maatregelen worden er getroffen om bouwrisico's te beperken of te verkleinen?

Conclusievraag: Welke gevolgen hebben procesbeheersmiddelen op de keuze van de uitvoeringsmethode? Ofwel welke uitvoeringsmethoden zijn niet meer toepasbaar aangezien het bouwproces van deze uitvoeringsmethoden niet beheersbaar zullen zijn?

Bron en dataverzameling:

- Definities van de keuzefactoren in bestaande literatuur zoeken en definiëren.
- Bestuderen van referentieprojecten door deze te bezichtigen en het doornemen van tekeningen en bestekken.
- Kostenposten definiëren en eenheidsprijzen aanvragen bij de afdeling calculatie. Deze eenheidsprijzen vergelijken met cijfers van SBR.
- Arbeidsnormen voor de verschillende activiteiten van de uitvoeringsmethoden opvragen bij de afdeling calculatie.
- Productietijden die per dag of per uur gerealiseerd kunnen worden opvragen bij onderaannemers en de afdeling calculatie.
- Bestuderen van risicoanalyses van referentieprojecten.
- Bestuderen van werkplannen van referentieprojecten.

Onderzoeksvraag 2.4: Welke factoren met betrekking tot de uitvoeringsmiddelen spelen een rol?

- A. Materieel
 - o Welk materieel dient er ingezet te worden?
 - o Hoeveel plaatsbeslag neemt het materieel in?
 - o Welke productie per dag/week kan er behaald worden met het in te zetten materieel?
- B. Arbeid
 - o Wat is de norm met betrekking tot het aantal manuren per activiteit?
 - o Hoeveel arbeiders worden er ingezet?
 - o Welke veiligheidsmaatregelen dienen voor de arbeiders getroffen te worden?

Bron en dataverzameling:

- Definities van de keuzefactoren in bestaande literatuur zoeken en definiëren.
- Bestuderen van referentieprojecten door deze te bezichtigen en het doornemen van tekeningen en bestekken.
- Eigenschappen van materieel opvragen bij materieeldiensten.
- Veiligheidsplannen van referentieprojecten bestuderen.

Interviews / gesprekken ten behoeve van dataverzameling

Per aspect is aangegeven hoe de data verzameld zullen worden. Voor het verzamelen van de data van de tweede probleemstelling zijn naast het bezichtigen van enkele referentieprojecten gesprekken gepland met medewerkers van Van Wijnen en adviesbureaus. Door de gesprekken moet het mogelijk worden om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden en de eerder gevonden data te verifiëren. In onderstaande tabel staat per categorie aangegeven met wie er een gesprek plaats zal vinden. Bij het interviewen van één persoon of bedrijf kunnen meerdere aspecten aan de orde komen.

Probleemstelling	Aspect	Interview / gesprek met:
2.1 Ontwerp	Eisen ontwerp	Projectcoördinator Van Wijnen Eindhoven: dhr. T. Sanders
		Projectontwikkeling Van Wijnen Eindhoven: dhr. F. de Jong
		Architect Waterburchten: Hoer architecten
		Constructeur Van Wijnen: Wijcon
2.2 Situatie	Bodemopbouw	Inpijn Blokpoel
		Geodelft
		Grontmij
	Omgeving	Gemeente
		Projectontwikkeling Van Wijnen Eindhoven: dhr. F. de Jong
	Belendingen	Projectcoördinator Van Wijnen Eindhoven: dhr. T. Sanders
		Gemeente Eindhoven
	Grondwater	Gemeente Eindhoven
Waterschap (De Dommel of Roer en Overmaas)		
Geodelft		
2.3 Kennis	Normen / regelgevingen	Gemeente Eindhoven
		Waterschap (De Dommel of Roer en Overmaas)
	Geld	Afdeling Calculatie Van Wijnen
		Afdeling Inkoop Van Wijnen
		SBR (stichting bouwresearch)
	Organisatie	Architect Waterburchten: Hoer architecten
		Constructeur Van Wijnen: Wijcon
		Projectontwikkeling Van Wijnen Eindhoven: dhr. F. de Jong
	Tijd	Projectcoördinator Van Wijnen Eindhoven: dhr. T. Sanders
		Werkvoorbereider Van Wijnen Eindhoven: dhr. B. Leijten
		Uitvoerder Van Wijnen Eindhoven: dhr. J. Truijen
	Informatie	Projectontwikkeling Van Wijnen Eindhoven: dhr. F. de Jong
		Projectcoördinator Van Wijnen Eindhoven: dhr. T. Sanders
	Kwaliteit	Architect Waterburchten: Hoer architecten
Projectontwikkeling Van Wijnen Eindhoven: dhr. F. de Jong		
Werkvoorbereider Van Wijnen Eindhoven: dhr. B. Leijten		
2.4 Uitvoeringsmiddelen	Materieel	Materieeldienst Van Wijnen: Wijmat
		Werkvoorbereider Van Wijnen Eindhoven: dhr. B. Leijten
		Uitvoerder Van Wijnen Eindhoven: dhr. J. Truijen
	Arbeid	Werkvoorbereider Van Wijnen Eindhoven: dhr. B. Leijten
		Uitvoerder Van Wijnen Eindhoven: dhr. J. Truijen
	Plaats	Werkvoorbereider Van Wijnen Eindhoven: dhr. B. Leijten
		Uitvoerder Van Wijnen Eindhoven: dhr. J. Truijen
		Uitvoerder Van Wijnen Eindhoven: dhr. J. Truijen

Tabel 1.7.2.1: overzicht van wie of welke partij voor het afstuderen per onderwerp geïnterviewd wordt.

Betrouwbaarheid van de data

Door het bezichtigen van meerdere projecten kunnen vergelijkingen worden getrokken en kan de gevonden informatie bevestigd of ontkracht worden. Bij bijvoorbeeld eenheidsprijzen is het van belang om bij verschillende partijen waarden te verkrijgen om te kijken of de gevonden eenheidsprijzen overeenkomen. Tevens dient hier gekeken te worden hoe actueel de eenheidsprijzen zijn, of dat deze geïndexeerd dienen te worden om prijsstijgingen of dalingen op te nemen.

Bij het bestuderen van normen, regelgevingen en vergunningen dient goed gelet te worden op de datum. Het is van belang dat de laatste versie of herziening wordt bestudeerd en verwerkt.

Tevens is het bij het gebruiken van bestaande literatuur van belang om te kijken naar wie de auteur is en wat zijn motivatie is. Een bedrijf dat gespecialiseerd is in één bepaalde uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies, zal deze uitvoeringsmethode op zijn website of productbladen ook propageren.

Rapportage

De rapportage zal geschieden door de punten die zijn omschreven in de dataverzameling één voor één te onderzoeken en te beschrijven. Als eerste zullen er definities gegeven worden, opdat duidelijkheid en eenduidigheid bestaat over wat er wordt verstaan onder de betreffende keuzefactor. Vervolgens zullen de verschillende mogelijkheden van de keuzefactoren omschreven worden. Aan de hand hiervan kunnen de consequenties, die de keuzefactor op de verschillende uitvoeringsmethoden kan hebben, beschreven.

1.7.3 Plan van aanpak voor probleemstelling 3

- 3 Hoe beïnvloeden deze factoren elkaar?
 - 3.1 Welke relaties zijn er tussen de verschillende invloedsfactoren onderling met betrekking tot de keuze aan te merken?
 - 3.2 Welke relaties zijn er tussen de verschillende invloedsfactoren en de mogelijke uitvoeringsmethoden met betrekking tot de keuze aan te merken?
 - 3.3 Welke prioriteitstelling met betrekking tot de keuze wordt er gegeven aan de verschillende invloedsfactoren?

Inleiding

De verschillende invloedsfactoren op de keuze voor de optimale uitvoeringsmethode beïnvloeden elkaar. Het is van belang om te weten hoe deze elkaar beïnvloeden en welke prioriteitstelling er aan de invloedsfactoren gegeven moet worden. Prioriteitstelling kan in dit rapport worden omschreven als het aangeven van welke invloedsfactoren belangrijker zijn en dus voorgaan ten opzichte van andere invloedsfactoren. Bij de prioriteitstelling in dit onderzoek geldt ten eerste dat de grond- en waterkeringsconstructie die wordt verkregen door het toepassen van een bepaalde uitvoeringsmethode móét voldoen aan:

- de ontwerpeisen;
- de eisen gesteld door de situatie;
- de wetgeving, normeringen en vergunningen.

Indien er dan nog meerdere uitvoeringsmethoden of uitvoeringsvarianten toepasbaar zijn, wordt er een vergelijking gemaakt aan de hand van de procesbeheersmiddelen en de uitvoeringsmiddelen. Ook hier zal een prioriteitstelling aangegeven moeten worden.

Uitgangspunten voor de dataverzameling

- 3.1 Relaties tussen de keuzefactoren onderling:
 - A. relaties tussen de keuzefactoren onderling weergeven
- 3.2 Relaties tussen de keuzefactoren en de uitvoeringsmethoden:
 - A. relaties tussen de keuzefactoren en de uitvoeringsmethoden weergeven
 - B. het aangeven welke relaties leiden tot beperkingen in de keuze van de uitvoeringsmethode
- 3.3. Prioriteitstelling:
 - A. Aangeven aan welke keuzefactoren ten alle tijden voldaan moet worden. Dus met andere woorden welke uitvoeringsmethoden of uitvoeringsvarianten toegepast mogen worden en welke niet.
 - B. Voor de overige keuzefactoren een duidelijke rangorde aangeven waarmee het mogelijk is om een keuze tussen de toegestane uitvoeringsmethoden of uitvoeringsvarianten te maken.

Uit de relaties en prioriteitstelling moet geconcludeerd worden welke factoren of gegevens de beslissing beïnvloeden en welke factoren of gegevens de keuze bepalen. De invloedsfactoren zijn factoren die de keuze beïnvloeden, maar niet beslissend hoeven te zijn. Beslissingsfactoren zijn wel beslissend voor de keuze van de uitvoeringsmethode of uitvoeringsvariant.

Bron en dataverzameling

Bij deze probleemstelling wordt in principe gewerkt met de gegevens die verkregen zijn uit de beantwoording van de eerste en de tweede probleemstelling. Door het bezichtigen van referentieprojecten, het houden van interviews en de het bestuderen van bestaande literatuur kunnen relaties aangegeven worden. Met behulp van een onderzoek in de vorm van een enquête kan de prioriteitstelling tussen de keuzefactoren bepaald worden.

Rapportage

Door het opstellen van schema's worden relaties tussen de invloedsfactoren onderling en tussen de invloedsfactoren en de uitvoeringsmethoden in één oogopslag duidelijk. Tevens zullen de relaties tekstueel worden toegelicht.

1.7.4 Onderzoek

Probleemdefiniëring

'Vaak wordt niet de optimale uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van de constructie ten behoeve van de grond- en waterkering gekozen.'

Kernproblemen

- Onvoldoende technische kennis met betrekking tot grond- en waterkeringsconstructies
- Onvoldoende ervaring met het uitvoeren van grond- en waterkeringsconstructies
- Onvoldoende tijd in de voorbereidingsfase om alles goed te onderzoeken

Doelstelling

'Het ontwikkelen van een beslissingsondersteunend model om in korte tijd de optimale uitvoeringsmethode te bepalen voor het vervaardigen van de constructie ten behoeve van de grond- en waterkering.'

Probleemstelling	1	Welke mogelijke uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van constructies ten behoeve van grond- en waterkerings bestaan er?	Type antwoord	Bron	Dataverzamelmethode		
					Observatie	Interviews	Bestaande informatie
Onderzoeksvraag	1.1	Welke mogelijke uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies bestaan er?					
	A	Wat zijn de kenmerken van de uitvoeringsmethode?	A Kenmerken	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	B	Wanneer wordt de uitvoeringsmethode toegepast?	B Toepassingen	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	C	Wat zijn de voordelen en de nadelen van de uitvoeringsmethode?	C Voordelen en nadelen	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	D	Wat is de uitvoeringsvolgorde de uitvoeringsmethode?	D Volgorde	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	E	Welke uitvoeringsvarianten zijn er bij deze uitvoeringsmethode mogelijk?	E Varianten	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	F	Welk materieel is nodig bij de uitvoeringsmethode?	F Materieel	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	G	Welke materialen zijn er nodig bij de uitvoeringsmethode?	G Materialen	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	H	Hoe moet de bouwplaats ingedeeld worden bij de uitvoeringsmethode?	H Bouwplaatsinrichting	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	I	Wat zijn de invloeden op de omgeving van de uitvoeringsmethode?	I Omgevingsinvloeden	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	J	Welke risico's zijn er aan te merken bij deze uitvoeringsmethode en welke maatregelen worden hiertegen getroffen?	J Risico's	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
Onderzoeksvraag	1.2	Welke mogelijke uitvoeringsmethoden voor het verankeren van de keringsconstructie bestaan er?					
	A	Wat zijn de kenmerken van de verankeringsmethode?	A Kenmerken	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	B	Wanneer wordt de verankeringsmethode toegepast?	B Toepassingen	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	C	Wat zijn de voordelen en de nadelen van de verankeringsmethode?	C Voordelen en nadelen	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	D	Wat is de uitvoeringsvolgorde de verankeringsmethode?	D Volgorde	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	E	Welke uitvoeringsvarianten zijn er bij deze verankeringsmethode mogelijk?	E Varianten	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	F	Welk materieel is nodig bij de verankeringsmethode?	F Materieel	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
	G	Welke materialen zijn er nodig bij de verankeringsmethode?	G Materialen	Literatuur (productbladen, NEN, SBR, CUR) & referentieprojecten	x	x	x
Probleemstelling	2	Welke gegevens/factoren spelen een rol bij het bepalen van de beste uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van de constructie ten behoeve van grond- en waterkering?					
Onderzoeksvraag	2.1	Welke kwalitatieve eisen worden er aan de constructie ten behoeve van de grond- en waterkering gesteld?					
	A	Welke ontwerpaspecten spelen een rol in de keuze?	A Ontwerpfactoren	Literatuur, referentieprojecten, architect, constructeur		x	x
	B	Welke functionele eisen worden er gesteld aan het ontwerp?	B Functionele eisen	Literatuur, referentieprojecten, architect, constructeur		x	x
	C	Welke esthetische eisen kunnen er gesteld worden aan het ontwerp?	C Esthetische eisen	Literatuur, referentieprojecten, architect		x	x
	D	Welke eisen met betrekking tot duurzaamheid kunnen aan het ontwerp worden gesteld?	D Duurzaamheidsaspecten	Literatuur, referentieprojecten			x
	E	Welke constructieve eisen kunnen aan het ontwerp gesteld worden?	E Constructieve toetsingscriteria	Literatuur, referentieprojecten, constructeur Wijcon		x	x
	F	Welke toekomstige plannen en eisen kunnen aan het ontwerp gesteld worden?	F Toekomstige aspecten	Literatuur, referentieprojecten			x
Onderzoeksvraag	2.2	Welke invloed heeft de locatie op de keuze van de uitvoeringsmethode?					
	A	Welke geotechnische aspecten spelen een rol in de keuze van de uitvoeringsmethode?	A Geotechnische aspecten	Literatuur, adviesbureaus, sonderingsbedrijven		x	x
	B	Welke geohydrologische aspecten spelen een rol in de keuze van de uitvoeringsmethode?	B Geohydrologische aspecten	Literatuur, waterschap		x	x
	C	Welke invloedsaspecten op de omgeving en belendingen spelen een rol?	C Overzicht invloedsaspecten	Literatuur, SBR, Adviesbureau, waterschap		x	x
Onderzoeksvraag	2.3	Welke kenmistaken hebben invloed op de keuze van de uitvoeringsmethode?					
	A	Welke regelgevingen, normen, aanbevelingsrapporten en richtlijnen zijn van invloed op de uitvoeringsmethoden?	A Opsomming, procedure	NEN-normen, VROM, CUR, SBR, Gemeente, Waterschap, CUR, SBR		x	x
	B	Wat is de invloed van procesbeheersmiddelen (geld, organisatie, tijd, informatie en kwaliteit) op de keuze van de uitvoeringsmethode?	B Omschrijving	Literatuur			x
Onderzoeksvraag	2.4	Welke factoren met betrekking tot de uitvoeringsmiddelen spelen een rol in de keuze van de uitvoeringsmethode?					
	A	Welke aspecten met betrekking tot het middel materieel spelen een rol in de keuze van de uitvoeringsmethode?	A Omschrijving	Literatuur, adviesbureaus, onderaannemers			x
	B	Welke aspecten met betrekking tot het middel arbeid spelen een rol in de keuze van de uitvoeringsmethode?	B Omschrijving	Literatuur, adviesbureaus, onderaannemers			x
Probleemstelling	3	Hoe beïnvloeden de keuzefactoren elkaar?					
Onderzoeksvraag	3.1	Welke relaties zijn er tussen de verschillende keuzefactoren onderling met betrekking tot de keuze aan te merken?					
	A	Welke relaties zijn er onderling aan te duiden?	A Relatieschema's / tabel	Literatuur, interviews, referentieprojecten, adviesbureaus		x	x
Onderzoeksvraag	3.2	Welke relaties zijn er tussen de verschillende keuzefactoren en de mogelijke uitvoeringsmethoden met betrekking tot de keuze aan te merken?					
	A	Welke relaties zijn er tussen de factoren en de uitvoeringsmethoden aan te duiden?	A Relatieschema's	Literatuur, interviews, referentieprojecten, adviesbureaus		x	x
	B	Welke relaties kunnen ertoe leiden dat een uitvoeringsmethode niet meer toepasbaar is?	B Toelichting en schema's	Literatuur, interviews, referentieprojecten, adviesbureaus		x	x
Onderzoeksvraag	3.3	Welke prioriteitstelling met betrekking tot de keuze wordt er gegeven aan de verschillende invloedsfactoren?					
	A	Aan welke eisen moet ten alle tijden voldaan worden als deze worden gesteld?	A Lijst met verplichte eisen	Literatuur, interviews, referentieprojecten, adviesbureaus		x	x
	B	Welke prioriteitstelling wordt er gegeven aan de eisen die niet verplicht zijn?	B Rangorde/prioriteitstelling	Literatuur, interviews, referentieprojecten, adviesbureaus		x	x

Tabel 1.7.6.1: Overzichtstabel van het onderzoeksplan met de doelstelling, probleemstelling, het type antwoord, de bronnen en de dataverzamelmethode

2. Uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies

2.1 Inleiding

De term ondergronds bouwen heeft verschillende betekenissen, afhankelijk van de context. In dit rapport betekent ondergronds bouwen: het planmatig creëren van of aanpassen van ondergrondse of in de grondse constructies. Hierbij is een ondergrondse constructie een constructie die geheel onder het maaiveld ligt en met grond bedekt is. In de grondse constructies kunnen worden omschreven als constructies die zich voor een deel onder het maaiveld bevinden en niet of gedeeltelijk met grond bedekt zijn. Ondergrondse constructies sluiten aan op de richting civiele techniek. In de grondse constructies kunnen gezien worden als het bouwen vanaf het maaiveld. Van een aannemer wordt verwacht dat hij deze constructies kan vervaardigen en sluit dus aan op de richting uitvoeringstechniek. In dit rapport zal worden ingegaan op de keuze van de bouwmethode aan de hand van verschillende uitvoeringsaspecten. Zodoende wordt alleen gekeken naar bouwen vanaf het maaiveld en niet naar ondergrondse constructies.

Bij bouwen vanaf het maaiveld dienen maatregelen getroffen te worden om de grondkering te waarborgen en eventueel moet er ook een waterkerende constructie worden aangebracht. Deze constructies kunnen tijdelijk of definitief zijn. In het geval dat ze definitief zijn dan blijven de constructies ook aanwezig tijdens de gebruiksfase. Tijdelijke constructies worden alleen gebruikt tijdens de uitvoering en vervolgens verwijderd.

"Om ondergrondse bouwwerken vanaf het maaiveld te kunnen maken staan verschillende bouwmethoden ter beschikking. Ongeacht de keuze die gemaakt wordt, komt het bouwwerk in alle gevallen tot stand in een bouwput of een bouwkuip. Tussen beide bestaat een verschil. Bouwputten zijn ontgravingen tussen taluds en bouwkuipen worden begrensd door wanden. Het nadeel van bouwputten is dat deze veel ruimte vereisen." [3]

"Naast het onderscheid tussen bouwputten en bouwkuipen kan er een onderscheid worden gemaakt tussen een open en een gesloten bouwput of bouwkuip. Bij een open bouwput of bouwkuip is geen sprake van een waterdichte afsluiting, noch horizontaal, noch verticaal. Een bemaling om de grondwaterstand binnen het werkterrein te verlagen zal tot op grote afstand van de bouwput merkbaar zijn. Gesloten bouwputten of bouwkuipen worden gekenmerkt door waterdichte verticale begrenzingen die aansluiten op een horizontale onderafsluiting. Vrijwel nooit is de afsluitende laag volledig waterdicht waardoor het beter is om te spreken van waterremmende lagen. In principe alleen is alleen bemaling binnen de bouwput of bouwkuip nodig." [4]

Varianten op de gesloten bouwmethode zijn het polderprincipe en de 'wanden-dak-methode'. Bij het polderprincipe bestaat de onderafdichting zowel in de bouwfase als in de eindfase uit een van nature aanwezige slecht doorlatende laag. De verticale bouwputbegrenzingen worden doorgezet tot in deze laag en vormen tevens de definitieve kelderwand. De keldervloer wordt licht uitgevoerd en is niet bestand tegen de waterdruk, waardoor permanente bemaling noodzakelijk is. Bij de wanden-dak-methode worden eerst de zijwanden aangebracht en vervolgens het dak van de kelder. Daarna wordt er onderdaks verder gewerkt. Het voordeel van deze methode is dat de infrastructuur minimaal verstoord wordt en dat de bovenbouw gelijktijdig gebouwd kan worden met de rest van de kelder. Nadeel is dat het een gecompliceerde werkwijze is en dat er problemen kunnen optreden bij het aanvoeren en afvoeren van materialen in de kelder.

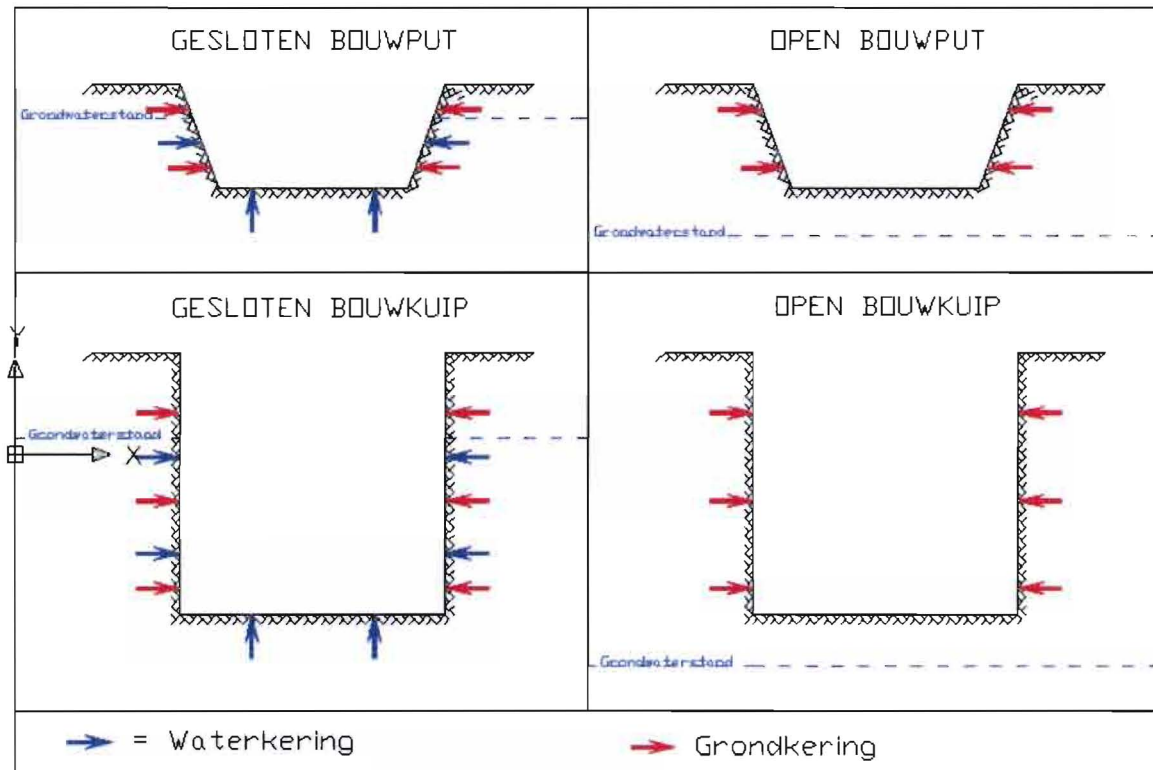
In dit hoofdstuk zullen de verschillende uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van de grond- en waterkeringsconstructies worden besproken aan de hand van het uitvoeringsproces, de uitvoeringsvolgorde, de bouwtijd, de kenmerken, de voordelen en de nadelen, de toepassingen en de risico's. Hierbij zal er een onderscheid worden gemaakt tussen uitvoeringsmethoden voor een open bouwput, een open bouwkuip, een gesloten bouwput en een gesloten bouwkuip.

	Talud	Verticale begrenzing door wanden
Waterdichte afsluiting	Gesloten bouwput	Gesloten bouwkuip
Geen waterdichte afsluiting	Open bouwput	Open bouwkuip

Tabel 2.1: onderverdeling van de toe te passen uitvoeringsmethoden

Als er een doorsnede van een bouwput of bouwkuip wordt gemaakt, kan er onderscheid worden gemaakt tussen de verticale componenten en de horizontale componenten die aangebracht moeten

worden. De verticale componenten verzorgen de grondkering en indien nodig ook waterkering. Horizontaal gezien hoeft er geen grondkering plaats te vinden. Wel is het van belang dat er sprake is van waterkering indien er onder het grondwaterniveau wordt gebouwd. Indien er in de bodem een natuurlijk aanwezige horizontale afsluitende bodemlaag is, kunnen de verticale schermen tot in die laag reiken. De grondwaterstand kan dan in de bouwkuip verlaagd worden zonder dat er buiten het scherm en onder de afsluitende laag geen of nauwelijks verlaging van het grondwaterniveau optreedt. Als de natuurlijk aanwezige waterremmende grondlaag te diep in de bodem ligt, is het niet aantrekkelijk om deze te gebruiken aangezien de verticale schermen dan te lang en te duur worden. In dit geval of als er geen afsluitende bodemlaag aanwezig is, dient er een kunstmatige bodemafluiting vervaardigd worden.



Abbeelding 2.1: Afbeelding waar waterkering of grondkering benodigd is bij bouwkuipen en bouwputten indien er geen natuurlijk waterkerende laag aanwezig is en verlaging van de grondwaterstand niet gewenst is.

Bij het kiezen van de oplossing die economisch het meest aantrekkelijke is, dienen de volgende aspecten overwogen te worden:

- De mogelijkheden en beperkingen van de uitvoeringstechnieken;
- De vraag hoe deze technieken in het ondergrondse bouwwerk kunnen worden geïntegreerd;
- De relatie tussen het ontwerp en de uitvoering;
- De gevolgen voor de omgeving.

Voor de keuze van het ontwerp van de bouwput of bouwkuip moet gekeken worden naar de vragen:

- Waar gaat men bouwen?
- Wat gaat men bouwen?
- Hoe gaat men bouwen?

Bij de beantwoording op deze vragen spelen een aantal beslissingsfactoren een rol die leiden tot de keuze van de optimale uitvoeringsconstructie. In hoofdstuk drie zal worden ingegaan op deze beslissingsfactoren die een rol spelen.

Zoals aangegeven (tabel 2.1) zullen de uitvoeringsmethoden onderverdeeld worden in uitvoeringsmethoden voor:

- een open bouwput (§2.2);
- een open bouwkuip (§2.3);
- een gesloten bouwput (§2.4);
- een gesloten bouwkuip (§2.5);

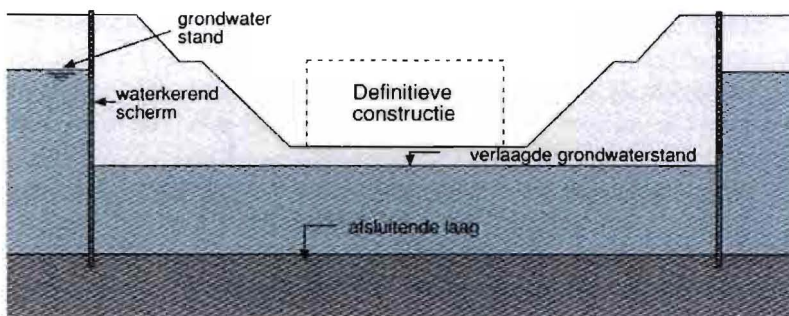
Bij het beschrijven van de verschillende uitvoeringsmethoden wordt bij elke methode gekeken naar:

- Onderzoeksvraag 1.1 A: de kenmerken van de uitvoeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.1 B: de toepassingen van de uitvoeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.1 C: de voordelen en de nadelen van de uitvoeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.1 D: de uitvoeringsvolgorde van de uitvoeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.1 E: de uitvoeringsvarianten van de uitvoeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.1 F: het benodigde materieel bij de uitvoeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.1 G: de benodigde materialen bij de uitvoeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.1 H: de bouwplaatsinrichting bij de uitvoeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.1 I: de invloeden op de omgeving door het toepassen van de uitvoeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.1 J: de mogelijke risico's en benodigde maatregelen bij de uitvoeringsmethode.

Naast de verschillende uitvoeringsmethoden voor de grond- en waterkering zullen in paragraaf 2.6 de verschillende manieren voor verankering of stempeling behandeld worden aan de hand van:

- Onderzoeksvraag 1.2 A: de kenmerken van de verankeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.2 B: de toepassingen van de verankeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.3 C: de voordelen en de nadelen van de verankeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.4 D: de uitvoeringsvolgorde van de verankeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.5 E: de uitvoeringsvarianten van de verankeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.6 F: het benodigde materieel bij de verankeringsmethode;
- Onderzoeksvraag 1.7 G: de benodigde materialen bij de verankeringsmethode;

Indien er een verticale begrenzing middels een verticale wand wordt gemaakt voor de waterkering en binnen deze begrenzing wordt gegraven met taluds, dan kan er gediscussieerd worden of er sprake is van een bouwkuip of een bouwput. In dit rapport wordt dan aangehouden dat er sprake is van een gesloten bouwkuip aangezien het talud binnen de verticale begrenzing is gemaakt.



Afbeelding 2.2: voorbeeld van een gesloten bouwkuip waarbinnen een talud is gegraven. [5]

2.2 Uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van een open bouwput

De kenmerken van een open bouwput zijn dat er zowel horizontaal als verticaal geen waterdichte constructie aanwezig is en dat er wordt ontgraven tussen taluds. Aangezien er geen waterkering aanwezig is, dient er bemaling te worden toegepast. Open bouwputten worden meestal toegepast bij ondiepe bouwputten, bij voldoende ruimte en als verlaging van de grondwaterstand in de omgeving niet bezwaarlijk is. Er is geen sprake van een horizontale bouwputbegrenzing.

2.2.1 Taluds

Omschrijving

Het talud is het schuine vlak langs een weg, watergang of van een dijk. De helling van een talud wordt weergegeven als de verhouding hoogte : aanleg. De maximale helling is afhankelijk van de grondsoort. Iedere grondsoort heeft, afhankelijk van de cohesie en hoek van inwendige wrijving, een natuurlijk talud waarbij de grondsoort niet gaat schuiven.

Kenmerken {1.1.A}

Taluds	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Nee
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Nee
Dragende functie	Nee
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Ja
Bouw- en gebruiksfase	Ja
Maximale diepte	Onbeperkt

Tabel: 2.2.1.1: kenmerken van een talud

Toepassing {1.1.B}

De beschikbare ruimte is in hoge mate bepalend voor de methode die toegepast kan worden. De uitvoering in een bouwput tussen taluds vraagt veel ruimte op maaiveldniveau. In het vrije veld hoeft dit geen probleem te zijn, maar vooral in stedelijke gebieden en in de bebouwde kom zal deze methode zo goed als uitgesloten zijn. Bouwputten die worden vervaardigd met taluds zijn meestal tijdelijke bouwputten. Tijdelijk wil zeggen dat de voorziening alleen wordt gebruikt om er de definitieve constructie in te bouwen. Nadat de constructie is gebouwd, zal deze worden aangeaard.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van taluds zijn:

- Goedkope uitvoeringsmethode;
- Snelle uitvoeringsmethode om een bouwput te realiseren.

Nadelen van taluds zijn:

- Veel ruimte nodig;
- Veel kubieke meter grond om af te voeren of op te slaan;
- Vaak extra kosten voor bemaling;
- Negatieve gevolgen voor omgeving door grondwaterstandverlaging.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Bij het vervaardigen van een open bouwput wordt als eerste de bronbemaling geïnstalleerd en vervolgens de bouwput ontgraven. Nadat de blijvende constructie gemaakt is, wordt de bouwput aangeaard en kan de bemaling stoppen. Hierbij dient de opmerking dat bij bronbemaling gestart wordt met deze te installeren en vervolgens wordt gestart met ontgraven. Bij een open bemaling wordt eerst

ontgraven en daarna pas de open bemaling geïnstalleerd. Bij grote bouwputten kan het aantrekkelijk zijn om reeds met het bouwen van de definitieve constructie te beginnen als de ontgraving nog niet geheel is voltooid. Om de bouwduur te verkorten wordt dan bij voorkeur eerst ontgraven ter plaatse van het constructiedeel dat de langste bouwtijd vergt. Tevens kan het door het gefaseerd werken mogelijk worden om de vrijgekomen grond te gebruiken voor aanaarding van een reeds voltooide constructie.

Materieel {1.1.F}

De meest goedkope uitvoering is vrijwel altijd bouwen in een tijdelijke bouwput met taluds. Om de bouwput uit te graven worden graafmachines ingezet. Aangezien er geen waterkering is, zal er afhankelijk van de grondwaterstand, bemaling moeten plaatsvinden. Dit is het geval als de bouwputbodem beneden het grondwaterniveau ligt. Door bemaling wordt de grondwaterstand tot beneden de putbodem verlaagd. De daardoor veroorzaakte grondwaterverlaging in de omgeving is meestal niet toegestaan, tenzij het om beperkte verlagingen of een voor schade weinig gevoelig gebied gaat. Een mogelijke methode om de bemalingsgevolgen te beperken is het toepassen van retourbemaling. Daarbij wordt het opgepompte water weer geheel of gedeeltelijk teruggebracht in de ondergrond.

Om de definitieve constructie in de bouwput te kunnen bouwen moet, indien beneden het grondwaterniveau gegraven moet worden, de grondwaterstand verlaagd worden. De grondwaterstand wordt meestal tot ongeveer een halve meter beneden de bouwputbodem verlaagd om geen verweekt werkterrein te krijgen en om over enige reserve te beschikken bij zware neerslag of bij het tijdelijk slecht functioneren van de bemalingsinstallatie. Afhankelijk van de noodzakelijke grondwaterstandverlaging, de doorlatendheid van de grond en de grootte van de putbodem wordt er gekozen voor open bemaling, bronbemaling, spanningsbemaling of eventueel retourbemaling toe te passen.

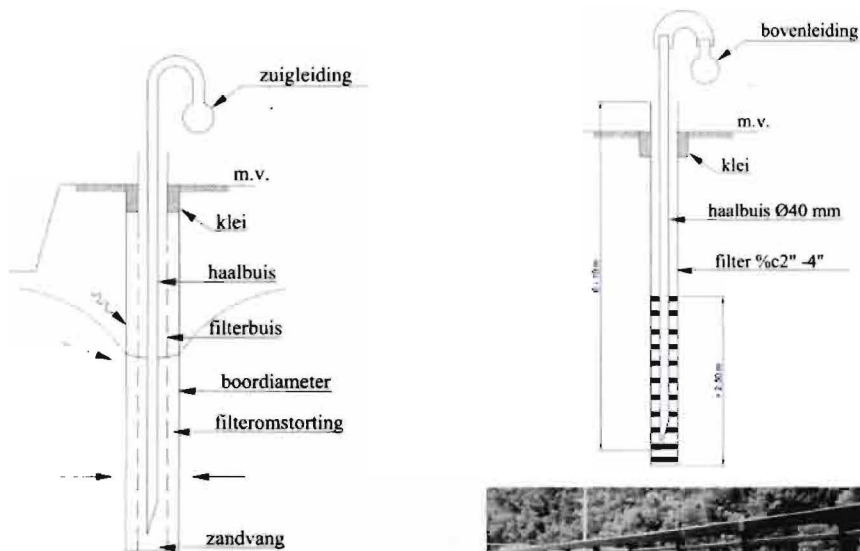
“Open bemaling dient ter verlaging van de vrije waterspiegel dan wel ter verwijdering van neerslag en uittreden van grondwater (lek- en kwelwater) met als doel het droog houden van de ontgraving. Open bemaling vindt vooral toepassing bij een bouwput in slecht doorlatende cohesieve grond, waar een geringe toestroming van water kan worden verwacht.” [6]

Een bronbemaling is een bemaling ter verlaging van de grondwaterstand door middel van aangebrachte horizontale of verticale filters. Het toestromende water wordt opgevangen voordat het de bouwput heeft bereikt. Hiertoe worden op verschillende plaatsen rond of in de bouwput putfilters of drainbuizen in de grond aangebracht, waaruit het grondwater wordt onttrokken. Bij bronbemaling kan weer onderscheid worden gemaakt tussen:

- zwaartekrachtbemaling;
- vacuumbemaling;
- horizontale bemaling.

Bij zwaartekrachtbemaling zijn de putten van boven open en staan de putfilters direct in contact met de atmosfeer, waardoor de toestroming van water uitsluitend kan plaatsvinden onder invloed van zwaartekracht.

Bij een vacuumbemaling wordt met behulp van een vacuümpomp gezogen aan van de atmosfeer afgesloten putfilters, waardoor in het grondwater rond de filter een lagere druk dan de atmosferische druk kan ontstaan. Dit type bemaling is met name geschikt voor de bemaling in matig doorlatende fijnkorrelige gronden. In leemgronden bijvoorbeeld wordt het water door capillaire zuigkrachten vastgehouden, zodat een zwaartekrachtbemaling ongeschikt is en er beter voor vacuumbemaling kan worden gekozen.



Abbeelding 2.2.1.1: Links een afbeelding en het principe van zwaartekrachtbemaling, rechts van vacuümbemaling. [7]

Bij een horizontale bemaling worden in één of meerdere sleuven onder de bouwputbodembodem drains aangebracht. Het toestromende water wordt afgevoerd met behulp van een zuigpomp die direct op de drains is aangesloten. In een bouwput waar een fundering op staal wordt toegepast is een horizontale bemaling ongewenst vanwege de verstoring van de grondlagen.

Indien zich onder de putbodembodem een natuurlijk aanwezige afsluitende laag bevindt met daaronder zand, dan kan men te maken krijgen met het openbarsten van de grond. Er moet dan gecontroleerd worden of het gewicht van de na ontgraving onder de putbodembodem resterende grond groter is dan de opwaartse druk van het spanningswater juist onder de afsluitende laag. Is er geen evenwicht, dan moet de stijghoogte van het spanningswater met behulp van onderwaterpompen worden verlaagd tot een diepte waarbij wel aan de veiligheidseisen wordt voldaan. Voor het drooghouden van de bouwput zelf kan een open bemaling of bronbemaling worden geïnstalleerd.

Nadelen van spanningsbemaling zijn dat de verlaging zich meestal doorzet tot op grote afstanden van de bouwput en dat eventueel uitvallen van de pompen alsnog tot opbarsten van de bodembodem kan leiden. De gevolgen daarvan zijn ernstiger dan instromen van water alleen, omdat ook de funderingsgrondslag wordt verstoord.

Een manier om de negatieve effecten geheel of gedeeltelijk te voorkomen is de aanleg van een retourbemaling. Hiervoor worden de afvoerleidingen van de bemalingsbronnen aangesloten op putten met filters via welke het opgepompte water weer terugstroomt in de ondergrond op enige afstand van het werk. Als de retourputten rondom de bouwput worden geplaatst, wordt de invloed van de bemaling in alle richtingen afgeschermd. Hierbij geldt wel dat het op te pompen debiet groter is, aangezien het benodigde debiet om een bepaalde verlaging te van de grondwaterstand te bereiken recht evenredig is met het verhang van de grondwaterspiegel. Een beperking is dat indien er sprake is van verontreinigd of zout bemalingswater dit wegens milieutechnische bezwaren niet terug mag stromen in de grond.

Plaats {1.1.H}

De ontgraving van de bouwput gebeurt tot aan de onderzijde van de te maken constructie. De afmetingen aan de bodem van de ontgraving corresponderen met de uitwendige maten van de constructie, vermeerderd met die van de werk- en bekistingsruimte. De taluds worden zo steil mogelijk gehouden om het grondverzet te beperken. Dit scheelt tijd en ruimte bij het ontgraven, opslaan en aanvullen. De helling van de taluds is afhankelijk van de grondsoort of grondsoorten waaruit de ondergrond is opgebouwd op de locatie. Iedere grondsoort heeft, afhankelijk van de cohesie en de hoek van inwendige wrijving, een natuurlijk talud waarbij de grondsoort niet gaat schuiven. Hierbij dient uiteraard de vereiste veiligheid in verband met afschuiving in acht worden genomen. In zandgrond kan veelal een stabiele ontgraving van een bouwput worden gerealiseerd met taluds onder een helling van 1:1,5 à 1:2 (verticaal:horizontaal), ervan uitgaande dat het grondwater niet vrij kan uitstromen. In cohesieve grond is soms een steiler talud mogelijk. Een zeer steil talud in cohesieve grond kan door wateronderspanning, ontstaan door ontlasting, gedurende korte tijd stabiel zijn. Door het toestromen van het water wijzigt de spanningstoestand, waardoor een dergelijk steil talud later alsnog kan bezwijken. Een andere optie is het aanbrengen van een tussenberm boven de natuurlijke grondwaterspiegel, waardoor ook steilere hellingen toegepast kunnen worden.

Invloed op de omgeving {1.1.I}

Een probleem met betrekking tot het verlagen van grondwaterstand of de stijghoogte van het grondwater is of het wel is toegestaan. De vraag tijdens het ontwerpen van de uitvoeringsmethode dient te zijn of de verlaging van het grondwater niet meer is dan het toelaatbare. De beantwoording van deze vraag hangt af van de invloed die de omgeving van de verlaging ondervindt. Volgens de grondwaterwet is voor het onttrekken van grondwater een vergunning vereist. Voor het verkrijgen van een vergunning moet rekening worden gehouden met een proceduredtijd van minimaal zes maanden. In bebouwde omgevingen geldt meestal dat de grondwaterstand niet mag worden verlaagd. De redenen hiervoor zijn dat door de verlaging verstrekkende gevolgen heeft voor:

- het droog komen te staan van houten paalfunderingen;
- zettingen van samendrukbare lagen, waardoor zakking optreedt van op staal gefundeerde gebouwen, straten, kabels en leidingen;
- zakking van paalfunderingen met een te lage veiligheid.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

- Het droog te komen staan van houten paalfunderingen; het toepassen van retourbemaling en controlemetingen.
- Het optreden van zakkingen en zettingen van omliggende gebouwen door het toepassen van bemaling; het toepassen van retourbemaling en controlemetingen.

2.3 Uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van een open bouwkuip

Het verschil tussen een open bouwput en een open bouwkuip is dat een bouwput een ontgraving is tussen taluds en dat bouwkuipen worden begrensd door verticale wanden. De overeenkomst is dat bij beide methoden geen sprake is van verticale of horizontale waterdichting. Zodoende zal er net als bij bouwputten bemaling moeten worden toegepast. De verschillende bemalingsmethoden zijn reeds besproken in paragraaf 2.2. Voor het vervaardigen van een verticale wand ten behoeve van grondkering die niet waterkerend is, komt er één uitvoeringsmethode aan de orde, namelijk de berliner wand.

2.3.1 Berliner wanden

Omschrijving

Berliner wanden bestaan uit in de grond geplaatste stalen H-profielen (stijlen), waartussen tijdens het ontgraven houten of betonnen planken of schotten worden geplaatst. De wanden kunnen eventueel worden verankerd of gestempeld. De onderste regel zit ongeveer ter hoogte van de putbodem. Dit betekent dat als de bodem zandig is, er grondwater onder de wand kan doorlopen waardoor bemaling noodzakelijk is. De stijlen zorgen in combinatie met eventuele verankering voor de stabiliteit. De hart op hart afstanden van de stijlen bedraagt meestal 1,5 tot 3 meter.



Abbeelding 2.3.1.1: Berliner wand toegepast bij de aanleg van een parkeergarage voor de Sint Maartenskliniek te Nijmegen

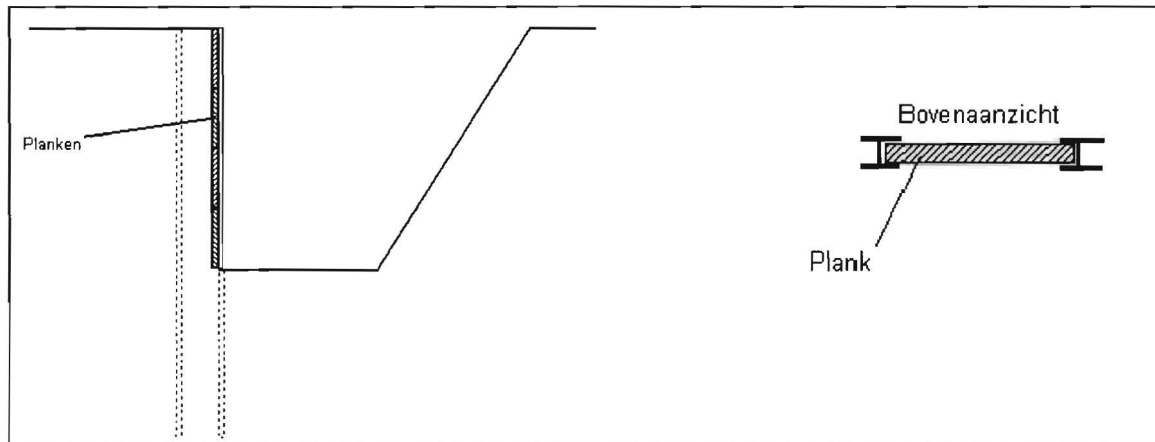
Kenmerken {1.1.A}

Berliner wand	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Nee
Dragende functie	Ja
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Ja
Bouw- en gebruiksfase	Ja
Maximale diepte	30 meter

Tabel: 2.3.1.1: kenmerken van een berliner wand

Toepassing {1.1.B}

Berliner wanden zijn geschikt voor plaatsen waar de ruimte voor een talud ontbreekt en zijn geschikt voor grondkering en kunnen dragende functie vervullen. Indien er grote krachten opgenomen moeten worden, bijvoorbeeld schuifkrachten van naastgelegen funderingen, dan worden de houten regels versterkt met spuitbeton. Aangezien ze niet waterkerend zijn, worden ze meestal alleen toegepast indien de grondwaterstand dieper ten opzichte van het maaiveld ligt dan de ontwerpdiepte.



Abbeelding 2.3.1.2: doorsnede en bovenaanzicht van een berlinerwand [8]

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van berliner wanden zijn:

- Goedkope uitvoeringsmethode;
- Weinig ruimte nodig;
- Snelle uitvoeringsmethode om een bouwput te realiseren.

Nadelen van berliner wanden zijn:

- Hei- of trillingsenergie komt vrij bij het aanbrengen van de profielen;
- Arbeidsintensieve methode door het aanbrengen en opwigen van de houten regels.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Het uitvoeren van een berlinerwand bestaat uit twee stappen, namelijk het aanbrengen van de stijlen en het aanbrengen van de regels. Als eerste worden de stalen profielen in de grond aangebracht door deze te heien of te trillen. De grondkering wordt gerealiseerd door het plaatsen van horizontale regels tussen de stijlen. Om de regels tijdens het graven tussen de stijlen te krijgen, moet de lengte ervan gelijk zijn aan de hartafstand van de stijlen, min de halve flensbreedte. Tijdens het ontgraven wordt de grond tussen de stijlen weggestoken en worden de regels geplaatst. De ontgraving kan nooit zo goed worden gedaan dat de regels volledig tegen de grond aansluiten. Om de voorkomen dat door aanrollen en uitbuigen van de wand grond aan de omgeving wordt onttrokken, moeten de regels tegen de stijlen opgewigd worden. De schotten of baddings die als regels worden toegepast, worden van boven naar beneden geplaatst, tred houdend met de ontgraving.

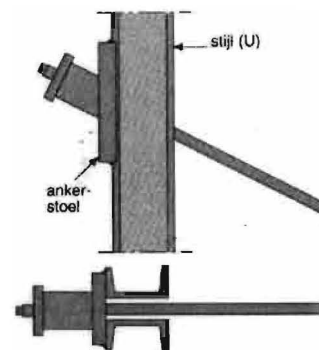
Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

De H-profielen worden geheid of getrild in de grond aangebracht. De hei- en trilenergie zijn zeer plaatselijk waardoor de gevolgen voor de omgeving geringer zijn dan bij damwanden. In het geval dat er toch nog wordt gevreesd voor teveel trillingen, kan worden gekozen voor lichtere en kortere profielen en deze dan door middel van drukken in de grond aan te brengen. Voorspuiten wordt niet aanbevolen, omdat tijdens het voorspuiten meer ruimte in de grond wordt gemaakt dan voor het profiel nodig is.

Een andere optie om de profielen aan te brengen is door de inbrengweerstand van de grond terug te brengen door de profielen voor te boren met een avegaar. Tijdens het inboren wordt de avegaar tegengehouden en als de gewenste boordiepte is bereikt, wordt de avegaar teruggedraaiend getrokken. Vervolgens wordt de stijl met een trilblok in het losgeboorde gat op diepte gebracht. Een nadeel van deze methode is dat de losgeboorde grond door het trillen weer snel verdicht wordt en het effect van het voorboren teniet wordt gedaan.

Een derde optie is om de gaten die zijn voorgeboord met de avegaar tijdens het terugtrekken te vullen met een cementbentoniet suspensie. De stijlen kunnen in de verse kolommen worden gestoken. Om aanhechting te voorkomen kunnen de kassen van het H-profiel gevuld worden met bijvoorbeeld piepschuimblokken of het staal kan worden ingevet.

“Om de afmetingen van de stijlen en de verplaatsingen van de wand binnen de perken te houden kan hij worden gestempeld of verankerd. De ankers worden meestal bij de stijlen aangebracht. De gemakkelijkste oplossing voor de doorvoering is dan om voor de stijl geen HE-profiel, maar voor gekoppelde U-profiel te kiezen. Het anker kan dan tussen beide U-profielen door worden aangebracht en de ankerstoel kan op de profielen worden gelast.” [9]



Afbeelding 2.3.1.3: Doorvoer ankers

Materiaal {1.1.F}

Voor het vervaardigen van berliner wanden zijn heimachines of trilblokken nodig voor het aanbrengen van de stijlen. Daarnaast zijn er graafmachines nodig voor het ontgraven van de bouwkuip. Indien de berliner wand verankerd wordt, worden meestal groutankers toegepast. Voor het aanbrengen van de groutankers is een ankerboormachine nodig en worden er ankerstoelen toegepast.



Afbeelding 2.3.1.4: Ankerboormachine (bron: www.vsf.nl)

Materiaal {1.1.G}

De stijlen die worden toegepast zijn stalen HE-profielen of gekoppelde U-profielen. Het type profiel, de staalkwaliteit en de doorsnede zijn afhankelijk van de horizontale krachten die de berliner wand moet opnemen, de lengte van de profielen, de hart op hart afstand en het aantal verankeringen. Als regels worden houten planken of baddingen toegepast. Indien de berlinerwand grote krachten moet opnemen, wordt er ook nog spuitbeton toegepast.

Plaats {1.1.H}

Een voordeel van deze uitvoeringsmethode is dat er vanuit de bouwkuip gewerkt kan worden. Hierdoor is er geen ruimte nodig buiten de bouwkuip, tenzij er onvoldoende plaats is voor de opslag van de benodigde materialen. Deze uitvoeringsmethode is daardoor geschikt voor bouwplaatsen kort gelegen op belendingen.

Invloeden op de omgeving { 1.1.1}

Door het inheien of trillen van de stalen profielen kan er kans op trillingsoverlast optreden. Deze overlast is wel aanzienlijk kleiner dan bij het aanbrengen van bijvoorbeeld stalen damwanden, omdat de trillingsenergie alleen zeer plaatselijk zal optreden. Een ander voordeel voor de omgeving is dat alle bouwactiviteiten binnen de grenzen van de bouwkuip zelf kunnen plaats vinden. Dit levert geen overlast op voor omliggende gebouwen of het versperren van de doorgang van omliggende wegen.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

- Het uitbuigen van de berliner wand; het toepassen van voldoende ankers.
- Het overschrijden van de toelaatbare trillingen; de stalen profielen indrukken of ter plaatse voorboren van de profielen.
- Het afschuiven van de grond tijdens het ontgraven; direct na het ontgraven van een kleine laag het aanbrengen van de houten regels. Ook kan er gekozen worden om tegen de berliner wand een steunberm toe te passen.

2.4 Uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van een gesloten bouwput

Indien horizontaal een natuurlijke afsluitende laag ontbreekt of niet op de juiste diepte ligt en er gewerkt wordt in een bouwput waarbij beneden de grondwaterstand gewerkt moet worden, is het nodig om een kunstmatige waterkering aan te brengen. Bij taluds kan door het aanbrengen van een folieconstructie horizontaal en verticaal een waterdichte bouwput verkregen worden.

2.4.1 Afdichting door folieconstructies

Omschrijving

Een folie kan gedefinieerd worden als een dun doek dat geen vloeistof doorlaat en geen buigstijfheid bezit. Onder een folieconstructie wordt een constructie verstaan waarbij een folie als waterafsluitende laag wordt gebruikt. De folie bevindt zich in een dieper gelegen ontgraving waar ten behoeve van het verticale evenwicht een aanaarding op de folie moet plaatsvinden. Het vlies wordt zo diep aangebracht dat het gewicht van het zand en het water erboven voorkomt dat het vlies door de natuurlijke grondwaterdruk eronder opgetild wordt. De tijdelijke ontgraving die nodig is voor het aanbrengen van de folie is groter dan het profiel van het talud dat nodig is tijdens de bouwfase. Het horizontale ruimtebeslag is hierdoor groot.



Abbeelding 2.4.1: Bouwput waar een waterkerend folie is aangebracht.
(bron: www.foliebouw.nl)

Kenmerken {1.1.A}

Folieconstructie	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Ja
Grondkerend	Nee
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Nee
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Ja
Bouw- en gebruiksfase	Ja

Tabel: 2.4.1.1: kenmerken van folieconstructies

Toepassingen {1.1.B}

Folieconstructies worden toegepast bij bouwputten, waar problemen tijdens de uitvoering optreden door de grondwaterstand.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Het grote voordeel van folieconstructies is dat ze kwalitatief goed zijn en goedkoop. Maar folieconstructies hebben ook enkele nadelen, namelijk:

- Groot ruimtebeslag door de taluds en de diepe ligging;
- Aanzienlijk grondverzet nodig;
- Hoge onderhoudskosten wegens controles;
- Beschadigingen die tijdens de levensduur van buitenaf kunnen optreden.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Voor de uitvoeringsvolgorde kan onderscheid worden gemaakt tussen het uitvoeren in den droge of het uitvoeren in den natte. Bij het aanbrengen van een folie in den droge wordt als eerste de bouwput

gegraven en vervolgens de benodigde bemaling geïnstalleerd. De folie wordt uitgerold met een mobiele kraan. Op de bouwplaats worden de verschillende foliedelen aan elkaar gelast. Ook wordt de folie gecontroleerd op beschadigingen die eventueel gerepareerd moeten worden. Als laatste wordt er zandaanvulling aangebracht voor verticaal evenwicht.

Als de folie in den natte wordt aangebracht wordt gestart met het ontgraven van de bouwput en vervolgens wordt vanaf een ponton de folie die aan elkaar gelast is afgezonken door middel van het eigen gewicht of door overdruk. De folie wordt gefaseerd ontvlucht waardoor de folie naar beneden zakt. Ook hier wordt de folie gecontroleerd op beschadigingen die gerepareerd worden. Als laatste wordt er zandaanvulling aangebracht en kan de bouwput middels open bemaling leeggepompt worden.



Afbeelding 2.4.3: het afzinken van een folie door middel van overdruk [11]

Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

Voor de uitvoering maakt het verschil of er in den droge of in den natte wordt gewerkt. In den droge wordt de folie op de bodem en de taluds gelegd, waarna het aanvullen met de grond volgt. Bij het leggen van de folie in den droge dienen de arbeiders te letten op hun schoeisel en er mag niet gerookt worden om beschadigingen aan de folie te voorkomen. Voor het ontgraven in den droge is een tijdelijke verlaging van de grondwaterstand noodzakelijk. Indien dit niet is toegestaan, kan de folie in den natte worden afgezonken. Voor het in den natte aanbrengen van folie zijn er twee uitvoeringsmogelijkheden, namelijk:

- afzinken door middel van het eigen gewicht van de folie;
- afzinken door middel van overdruk.

Voor het afzinken door middel van het eigen gewicht dient de soortelijke massa van de folie groter te zijn dan die van het water. Daarom is het bij deze methode niet mogelijk om een PE-folie te gebruiken. Bij het afzinken door middel van overdruk ligt de folie van oever tot oever en vormt het een waterscheiding tussen de voor- en achterkant van de ponton. Het water achter de ponton wordt in het ontstane foliebassin gepompt. Tijdens het verpompen wordt op de folie een overdruk van enkele millimeters water gezet. Daardoor wordt de folie tegen de bodem gedrukt. Tevens vormt de overdruk de aandrijvende kracht die de ponton in achterwaartse richting laat bewegen. De mate van overdruk op de folie is van belang, omdat deze de belasting op de folie en de ponton bepaalt.



Afbeelding 2.4.2: het afzinken van een folie door middel van overdruk.

Materiaal {1.1.G}

“De dikte van de folies varieert van 0,8 tot 1,3 mm. Materialen die worden toegepast zijn polyvinylchloride (PVC) en polyetheen (PE). Het voordeel van PVC is dat de soortelijke massa (1350 kg/m^3) groter is dan de soortelijke massa van water (1000 kg/m^3) waardoor het geschikt is voor verwerking in den natte. Er kunnen verschillende typen polyetheen worden onderscheiden, namelijk LDPE, MDPE en HDPE (Low / Medium / High Density Polyetheen). De foliedelen dienen tot één geheel te worden samengesteld. Hiervoor zijn enkele verscheidene lastechnieken te onderscheiden. Deze technieken zijn te verdelen in thermische en niet-thermische lasmethoden. De meest toegepaste lasmethode in de fabriekshals zijn de hoogfrequentmethode en de heet-elementlasmethode. De laatstgenoemde methode wordt ook het meest op de werklocatie toegepast. Hierbij worden twee vellen folie door verhitting mechanisch aan elkaar geperst.” [10]

2.5 Uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van gesloten bouwkuipen

Gesloten bouwkuipen worden gekenmerkt door waterdichte wanden die aansluiten op een waterdichte horizontale laag, waardoor in principe alleen bemaling binnen de bouwkuip nodig is eventueel gecombineerd met spanningsbemaling onder de onderafsluitende laag. De waterdichte horizontale laag kan een natuurlijk aanwezige laag zijn of een kunstmatig aangebrachte laag. De verticale wanden dienen grond- en waterkerend te zijn. Indien deze alleen waterkerend zijn, dient er wapening aan worden toegevoegd of indien er voldoende ruimte beschikbaar is binnen het waterkerende scherm een talud te worden gegraven. Gesloten bouwkuipen worden toegepast bij hoge grondwaterstanden of als aan verlaging van de grondwaterstand in de omgeving beperkingen zijn gesteld.

Voor het vervaardigen van waterdichte bouwkuipwanden zijn verscheidene methoden mogelijk die in de komende paragrafen besproken worden. In onderstaande tabel staan alle methoden die behandeld worden. Alle uitvoeringsmethoden zijn toepasbaar voor het vervaardigen van verticale wanden, met uitzondering van de onderwaterbetonvloer. Deze methode is geschikt voor het vervaardigen van een kunstmatige horizontale waterdichte laag indien er geen natuurlijk waterkerende laag aanwezig is. Enkele technieken zijn zowel toepasbaar voor het vervaardigen van waterdichte wanden als voor het vervaardigen van een kunstmatige waterdichte horizontale laag.

	Constructiemethoden voor gesloten bouwkuipen	Toepassing		Functie			
		Verticale scheiding	Horizontale scheiding	Grondkerend	Waterkerend	Constructief	Stabilisatiemethode
§ 2.5.1	Stalen damwanden	x		x	x	x	
§ 2.5.2	Betonnen damwanden / spanwand	x		x	x	x	
§ 2.5.3	Combiwand	x		x	x	x	
§ 2.5.4	Palenwanden	x		x	x	x	
§ 2.5.5	Diepwanden	x		x	x	x	
§ 2.5.6	Combinatiescherm	x		x	x	x	
§ 2.5.7	Cementbentonietwanden	x			x		
§ 2.5.8	Mix-In-Place	x		x			x
§ 2.5.9	FMI (frees meng injectie)	x		x			x
§ 2.5.10	Cutter Soil Mix	x		x	x	x	
§ 2.5.11	Jetgrouten	x	x	x	x	x	x
§ 2.5.12	Bodeminjecties	x	x	x	x	x	x
§ 2.5.13	Folieconstructies	x	x		x		
§ 2.5.14	Kunstmatige bevrozingstechnieken	x	x	x	x		
§ 2.5.15	Onderwater betonvloer		x		x	x	

Tabel 2.5.1: uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van gesloten bouwkuipen

Bij het aanleggen van bouwkuipen kunnen ook grondverbeteringstechnieken worden toegepast. Er zijn twee grondverbeteringstechnieken, namelijk consolidatiemethoden en stabilisatiemethoden. Consolidatiemethoden zijn bedoeld om de zetting van de samendrukbare lagen zodanig te versnellen, dat de definitieve constructie weinig hinder ondervindt van eventuele restzettingen. Consolidatietechnieken leiden niet tot waterremmende afsluitingen of grondkeringen. Zodoende zullen deze niet behandeld worden in dit rapport. Stabilisatiemethoden zijn bedoeld om het zettingsgedrag te elimineren door de belastingen vanuit de definitieve constructie direct af te dragen aan dieper liggende draagkrachtige lagen. Stabilisatiemethoden kunnen bij bouwkuipen worden toegepast om te zorgen voor de benodigde grondkering. De stabilisatiemethoden die worden behandeld zijn:

- Mix-In-Place (MIP);
- Frees Meng Injectie (FMI);
- Jetgrouten;
- Stabiliserende bodeminjecties.

2.5.1 Stalen damwanden

Omschrijving

Een stalen damwandconstructie bestaat uit naast elkaar in de grond geplaatste slanke constructie-elementen, die verticaal of onder een kleine hoek in de grond worden gezet. De stalen damwandplanken grijpen in elkaar via de zogenaamde sloten. Stalen damwandprofielen zijn er in verschillende vormen en staalkwaliteiten. De meest voorkomende profielen zijn het U-profiel en het Z-profiel. Damwanden kunnen een permanente functie hebben, maar ze kunnen ook alleen tijdens de bouwfase worden gebruikt. Na voltooiing van de definitieve constructie worden ze dan getrokken.



Abbeelding 2.5.1.1: Stalen damwanden met gordingen toegepast in een bouwkuip. [12]

Kenmerken {1.1.A}

Stalen damwanden	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Ja

Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Ja
Bouw- en gebruiksfase	Ja
Maximale diepte	31 meter

Tabel: 2.5.1.1: kenmerken van een stalen damwandconstructie

Toepassing {1.1.B}

Damwanden worden veelal zowel als tijdelijke als definitieve constructie toegepast in bouwkuipen en als definitieve constructie in bijvoorbeeld keerwanden.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van stalen damwanden zijn:

- Relatief korte bouwtijd;
- Kan verticale belastingen op de ondergrond overbrengen.

Nadelen van stalen damwanden zijn:

- Trillen en heien gaat gepaard met geluidsoverlast en trillingsoverlast;
- Diepte is beperkt tot maximaal 31 meter;
- Relatief slappe wand met als gevolg gevaar voor zakking/vervorming van belendingen door uitbuigingen.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Bij het vervaardigen van een bouwkuip met stalen damwanden wordt gestart met het aanbrengen van de damwandschermen. Dit kan middels de beschreven technieken heien, trillen, fluïderen of indrukken. De volgende stap is dat de bouwkuip gedeeltelijk wordt ontgraven. Tijdens het ontgraven worden de benodigde stempels of de verankeringen aangebracht. In dit geval wordt er van uit gegaan dat er een natuurlijk waterkerende laag aanwezig is. De bouwkuip kan dan middels open bemaling of bronbemaling leeggepompt worden. De definitieve constructie kan dan gebouwd worden. Op het moment dat de definitieve constructie klaar is of boven het maaiveld uitkomt, kan gestart worden met aanaarden en kunnen de stempels of verankeringen verwijderd worden. Na het verwijderen van de stempels of ankers kan verder aangeaard worden tot aan het maaiveld en kunnen de damwanden getrokken worden.

Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

"Het aanbrengen van stalen damwanden in de bodem geschiedt meestal middels heien of trillen. In speciale gevallen wordt gebruik gemaakt van fluïderen en/of indrukken.

Bij het heien wordt herhaaldelijk een zeer hoge, pulsachtige belasting op de kop van een damwandelement uitgeoefend. Dit kan gebeuren door middel van de vrije val van een heiblok, dat door middel van stoom, diesel dan wel hydraulisch aangedreven wordt. De zakking van een damwandelement is afhankelijk van de grondweerstand langs het element, de grondweerstand bij de punt en de grootte en de duur van de uitgeoefende klap.



Afbeelding 2.5.1.2: Inbrengen van een stalen damwandelement [13]

Bij het trillen van damwandelementen wordt een sinusvormige verticale belasting op de kop van het damwandelement uitgeoefend met behulp van een onbalansvibrator. Bovendien werkt de massa van de vibrator als een statische belasting op het element. Bij het intrillen van damwandelementen wordt de grondweerstand door de spanningsgolven overschreden.

De voordelen van trillen ten opzichte van heien zijn:

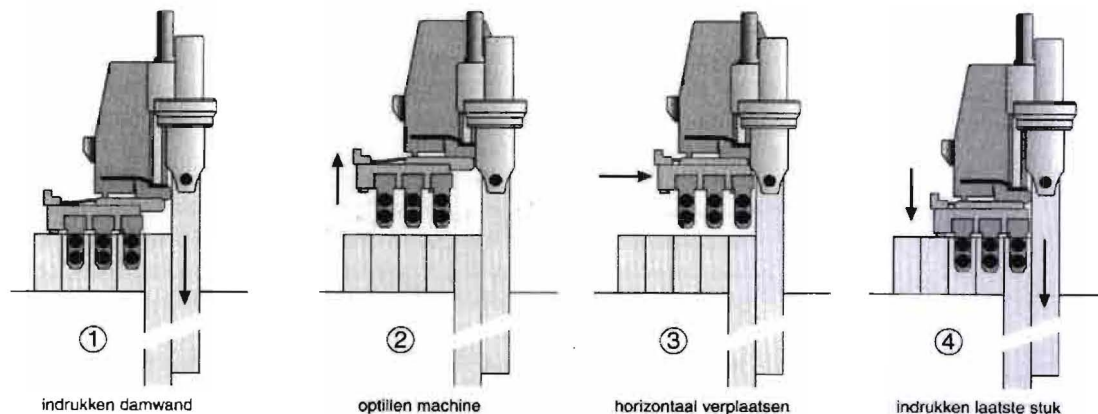
- Hogere productie;
- Sterke reductie van de grondweerstand, waardoor de kans op deformaties van het damwandelement of het uit het slot lopen worden verminderd;
- Minder hinder voor de omgeving;

Nadelen van trillen ten opzichte van heien zijn:

- Bij trillen kan niet altijd de gewenste diepte worden bereikt;
- Trillingshinder voor de omgeving kan zeer groot worden als de damplank tijdens het trillen geheel of nagenoeg geheel vastloopt.

Om het inbrengen van damplanken te vergemakkelijken of de hinder te beperken kan gebruik worden gemaakt van voorboren of fluïderen. Bij het voorboren met een avegaar wordt de grond losgewoeld. Deze grond wordt eventueel gemengd met een bentoniet suspensie. Fluïderen is zeer effectief bij het trillend inbrengen van damplanken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een spuitlans, die vast aan het te heien of te trillen element is bevestigd en waarvan de spuitopening door middel van een ventiel is afgesloten. Onder hoge druk wordt water tijdens de damwandinstallatie geïnjecteerd, waardoor de plank gemakkelijker zakt.

Het drukken van damwandplanken in de grond veroorzaakt geen hinder voor de omgeving. De kosten zijn aanzienlijk hoger en het werk verloopt langzamer dan bij heien of trillen. Bij de methode wordt gebruik gemaakt van een hydraulische indrukking die zichzelf vastklemt op de koppen van een aantal reeds ingebrachte planken. Deze methode wordt vaak gebruikt in zandgronden in combinatie met fluïderen.



Afbeelding 2.5.1.3: volgorde van het indrukken van damwandplanken. [14]

Het afdichten van damwandsloten kan op verschillende momenten middels enkel manieren, namelijk:

- "het dichtlassen in de fabriek;
- voor het inbrengen in het slot een pasta of kunststof strip aanbrengen;
- Voor het inbrengen in de grond een cementbentonietkolom aanbrengen;
- Tijdens het inbrengen van de damwanden aanbrengen. Aan de onderzijde is een stalen schoentje gemonteerd en middels een lans wordt bentoniet geïnjecteerd.
- Na het inbrengen van de damwand. Dit is mogelijk door ter plaatse van het slot met water een gat in de grond te spuiten en vervolgens, als de spuitlans op diepte is gekomen, door de lans cementbentoniet te spuiten in plaats van water." [15]

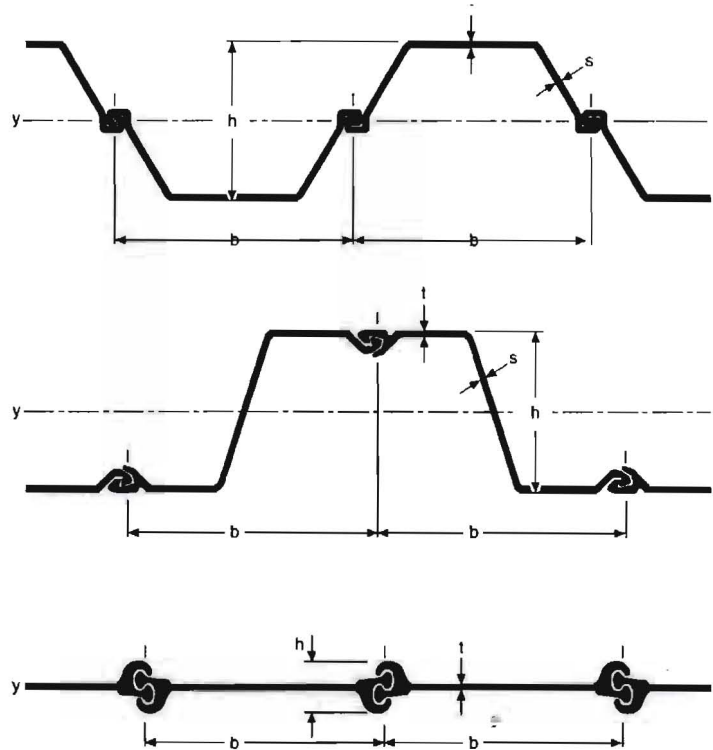
Materieel {1.1.F}

Naast het materieel dat nodig is voor de het graven van de bouwkuip en het wegpompen van het grondwater in de bouwkuip is er materieel nodig voor het aanbrengen van de damwanden. Het materieel voor het aanbrengen van de stalen damwanden is afhankelijk van de uitvoeringsmethode.

- Heimachines; kunnen worden aangedreven door diesel, stoom, lucht of hydraulische aandrijving. De keuze voor de heimachine is afhankelijk van het valgewicht (kg), het aantal slagen per minuut, de energie per slag (kNm) en de maximale schoorstand (voorover : achterover).
- Trilblokken worden gekozen aan de hand van het minimale en het maximale toerental, de amplitude die geleverd wordt, de maximale centrifugaalkracht per slag en de maximale trekkracht.
- De gekozen boorstelling bij het boren met een avegaar is afhankelijk van de maximale lengte, de maximale schoorstand en het toerental.
- Het indrukken van damwanden vindt plaatst met een sylent piler. Deze beweegt voort op reeds gezette panelen en drukt de panelen één voor één in de grond. De drukpers steekt hierbij naar voren uit en kan de in te brengen plank als het ware omarmen met behulp van een hydraulische klem. De hydraulische klem pakt de plank in het midden van het damwandpaneel vast en drukt deze vervolgens ongeveer een halve meter naar beneden. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de trekkracht die de reeds ingebrachte planken leveren. (zie afbeelding 2.5.1.3)

Materiaal {1.1.G}

De stalen damwandprofielen zijn er in vele verschillende vormen en staalkwaliteiten. De meest voorkomende profielen zijn het U-profiel, het Z-profiel en het vlakke profiel.



Abbeelding 2.5.1.4: Verschillende stalen damwandprofielen

Invloed op de omgeving {1.1.I}

- Geluidsoverlast en trillingsoverlast
- Zakking van de belending; bij damwanden kunnen door verdichting van de zandlagen onder de fundering door trillingen zakkingen optreden.
- Door trillend inbrengen van damwanden wordt de waterspanning verhoogd en neemt de schuifweerstand in de grond af. Hierdoor neemt het draagvermogen van nabij gelegen paalfunderingen af.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

- Het uit het slot lopen van damwandplanken waardoor grote horizontale krachten kunnen ontstaan; controlemetingen tijdens de uitvoering.
- Lekkages; maatregelen tegen lekkages zijn het lokaal injecteren van de grond, het lokaal bevriezen van de grond, het dichtlassen van de sloten of het dichtzetten met houten wiggen.
- Schades die kunnen ontstaan als de toelaatbare trillingen worden overschreden.

Trillingsbeperkende maatregelen zijn:

- o Werken met een hoogfrequent en voldoende zwaar trilblok;
- o Geen druk op de plank uitoefenen bij het opstarten en stopzetten van het blok;
- o Smeren van de sloten
- o Stoppen met trillen wanneer op puin of obstakels wordt gestoten;
- o Voorboren ter plaatse van de sloten;
- o Fluïderen
- o Toepassen van een gedrongen grondprofiel om de grondweerstand te beperken.

2.5.2: Betonnen damwanden

Omschrijving

"Een nieuwe ontwikkeling is de prefab voorgespannen betonnen damwand. Deze betonnen damwanden worden ook wel spanwanden genoemd. Een damwand van voorgespannen beton is in een aantal gevallen een alternatief voor een stalen damwand, indien een combinatie van grote horizontale en verticale belastingen moeten worden opgevangen en de eis van duurzaamheid een grote rol speelt. Betonnen damwanden hebben een messing en een groef. Om te zorgen voor een waterdichte constructie wordt er een rubber profiel tussen de elementen aangebracht." [16]



Afbeelding 2.5.2.1: prefab betonnen damwandelementen

Kenmerken {1.1.A}

Spanwand	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Ja
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Ja, beperkt verwijderbaar
Bouw- en gebruiksfase	Ja
Maximale diepte	21 meter

Tabel: 2.5.2.1: kenmerken van een voorgespannen betonnen damwandconstructie

Toepassing {1.1.B}

De wanden kunnen fungeren als definitieve grond- en/of waterkerende constructie met de mogelijkheid tot het opnemen van verticale belastingen.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van spanwanden zijn:

- Duurzamer dan stalen damwanden;
- Grote corrosiebestendigheid;
- Grotere sterkte dan stalen damwanden;
- Kunnen grote horizontale en verticale krachten opnemen;
- Materiaal is goedkoper dan staal.

Nadelen van spanwanden zijn:

- Zwaarder dan stalen damwanden;
- Gevoelig voor beschadigingen;
- Zwaarder en duurder materieel nodig voor het aanbrengen ten opzichte van stalen damwanden.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Betonnen damwanden worden door te heien of vibrerend op diepte gebracht. Als ze verticaal draagvermogen moeten bieden, wordt tot één meter boven inheinniveau getrild. Daarna wordt de laatste meter gestaffeld. Bij het inbrengen wordt gebruik gemaakt van een stalen heigording. Voor de

zijdelingse borging zorgt het 'hondje' op de heigording. Op diepte gebeurt dat met een bles die aan het element is gebracht. Het aanbrengen van de prefab betonnen elementen dient vanwege het permanente karakter, de waterkering en de verticale belasting secuur te gebeuren. Tijdens het inbrengen van de elementen vindt er controle plaats, als de planken nog niet op diepte zijn gebracht. Indien in deze fase tussen twee betonnen elementen aan de bovenzijde een verschil in breedte van de naad ontstaat, moet de plank opnieuw worden gesteld.

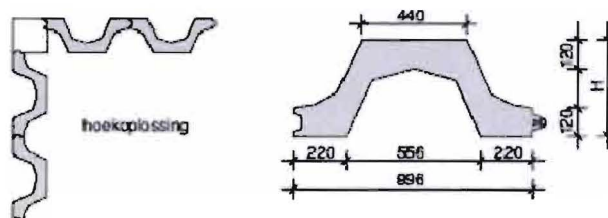
Het inbrengen van betonnen damwanden is duurder dan van stalen damwanden. Door het grotere gewicht is er zwaarder materieel nodig. Daarnaast verdient de afdichting van de sloten extra aandacht. Het voegprofiel dient nauwkeurig geplatest te worden met behulp van geleidingen.

Materieel {1.1.F}

Naast het materieel dat nodig is voor de het graven van de bouwkuip en het wegpompen van het grondwater in de bouwkuip is er materieel nodig voor het vibrerend aanbrengen van de voorgespannen betonnen damwandplanken.

Materiaal {1.1.G}

De betonnen damwandelementen zijn voorgespannen. De elementen zijn 12 cm dik en hebben en zijn één meter breed. De hoogte van de damwand is afhankelijk van het buigend moment. Er bestaan drie typen keerwanden met een hoogte van 350, 450 en 600 mm. De wapening in de elementen is afgestemd op de vereiste belasting. De kop en de voet van een element hebben vanwege het inbrengen extra wapening. De sterkteklasse van het beton dat meestal wordt toegepast is B65, maar uitvoering in hoge sterkte (B85) is ook mogelijk. Voor hoek en passtukken zijn speciale profielen mogelijk.



Type	H hoogte (mm)	max. lengte (m)	A (x10 ⁶ mm ²)	I (x10 ⁶ mm ⁴)	W (x10 ⁶ mm ³)
350/65*	350	15	162,84	1730,84	9,9
450/65*	450	17	190,38	3554,49	15,80
600/65*	600	21	214,81	7888,93	26,30

* /65 is element van beton B65

Abbeelding 2.5.2.1: Afmetingen van prefab betonnen damwandelementen (bron: www.spanbeton.nl)

Invloed op de omgeving {1.1.I}

Het trillend aanbrengen van spanwanden heeft invloed op de omgeving. Het intrillen gaat gepaard met trillingshinder. Hierbij dient gelet te worden op:

- Zakkingen van de belendingen; door trillingen kunnen verdichtingen van de zandlagen onder de fundering optreden met zakkingen tot gevolg.
- Door trillend inbrengen van damwanden worden de waterspanningen verhoogd en neemt de schuifweerstand in de grond af. Het draagvermogen van nabij gelegen paalfunderingen kan afnemen.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

- schade aan de omgeving door trillingen; om trillingshinder te beperken kan water bijgespoten worden waardoor de weerstand van de grond afneemt. Het water dient wel aangevoerd en afgevoerd te worden in de nabijheid van het werk.
- beschadigingen aan de elementen; controlemetingen tijdens het werk en eventueel naïnjectie.

2.5.3: Combiwand

Omschrijving

"Een stalen combiwand is opgebouwd uit afwisselend damwandplanken, buispalen en/of H-profielen. De buispalen of de H-profielen fungeren hierbij als hoofdelement van de wand terwijl de

Kenmerken {1.1.A}

Combiwand	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Ja
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja

Tabel: 2.5.3.1: kenmerken van een combiwand

Toepassing {1.1.B}

De toepassing van combiwanden is op grond van materiaaleconomische overwegingen ontstaan. De tussenplanken kunnen aanzienlijk minder diep worden uitgevoerd dan de buispalen. Omdat de tussenplanken slechts voornamelijk waterdruk keren en deze voor een deel zijwaarts naar de buispalen afdragen, is het mogelijk om ze korter uit te voeren dan buispalen. Ook worden combiwanden toegepast indien stempels in de bouwkuip niet zijn gewenst. Combiwanden kunnen een grote stempelvrije hoogte hebben.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van combiwanden zijn:

- Relatief korte bouwtijd;
- Grotere diepte mogelijk dan bij stalen damwanden;
- Relatief stijve wand mogelijk.

Nadelen van combiwanden zijn:

- Trillings- en geluidsoverlast voor de omgeving;
- Kan verticale belastingen op de ondergrond overbrengen.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Voor het heien of trillen van de buispalen wordt als eerste een heiframe geplaatst om de kans op afwijkingen te minimaliseren. Vervolgens worden de buispalen geheid. Hierbij worden deze geheid in de volgorde 1-3-5-7-9-..., en vervolgens de tussenliggende buispalen 2-4-6-8-.... Deze volgorde wordt aangehouden om het verloop van de buispalen als gevolg van het verdichten van de grond tijdens het heien zo klein mogelijk te houden. Nadat de buispalen zijn aangebracht worden de tussenliggende damwandplanken ingeheid of ingetrild.

Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

De buispalen of H-profielen en de damwandplanken kunnen aangebracht worden door deze in de grond te:

- Heien;
- Trillen;
- Voorboren of fluïderen
- Indrukken.

Deze vier methoden zijn reeds behandeld in paragraaf 2.5.1: 'stalen damwanden'.

Materieel {1.1.F}

Voor het minimaliseren van maatafwijkingen wordt er bij combiwanden gebruik gemaakt van een heiframe. Het materieel dat nodig is voor het inbrengen van de buispalen en de damwandelementen is afhankelijk van de uitvoeringsmethode. Bij inheien is een heimachine nodig, bij trillen een trilblok, bij voorboren een avegaarboor en voor het indrukken van elementen is een silent piler nodig. De keuze van de eigenschappen van het materieel zijn besproken in paragraaf 2.5.1.

Materiaal {1.1.G}

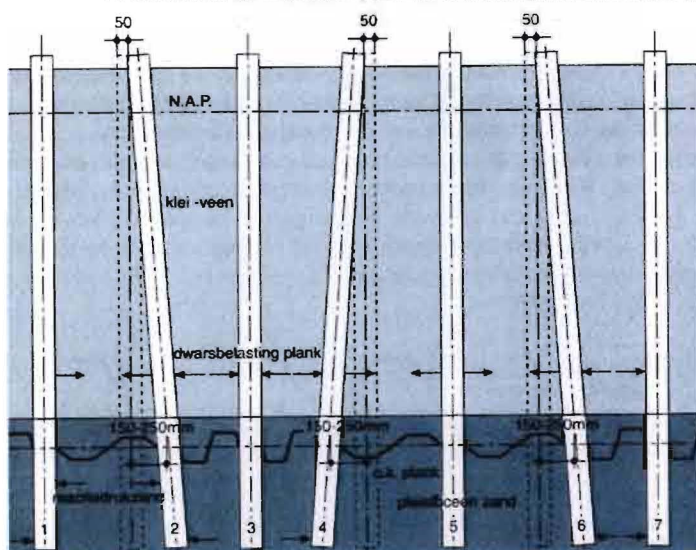
De damwandprofielen kunnen I-profielen, H-profielen, kokerprofielen of ronde buisprofielen zijn. De meest toegepaste damwandelementen zijn Z-profielen, U-profielen of de vlakke profielen. Deze zijn in verscheidene afmetingen verkrijgbaar. "Er is onderzoek gedaan naar de invloed van heiafwijkingen op het draagvermogen van de buispalen. Indien de verhouding tussen de wanddikte bij buisprofielen en de buisdiameter ten minste 1:100 bedraagt, dan zijn de sterkte en de stabiliteit van de doorsnede voldoende groot." [19]

Invloed op de omgeving {1.1.I}

- Geluidsoverlast en trillingsoverlast
- Zakking van de belending; bij damwanden kunnen door verdichting van de zandlagen onder de fundering door trillingen zakkingen optreden.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

- Vervormingen van de damwandelementen tussen de profielen in; bij grote waterkerende hoogten zijn de horizontale vervormingen van tussenplanken groot. Dit kan opgevangen worden door horizontale regels tussen de buispalen in te bouwen om de waterdruk van de tussenplanken op de buispalen over te dragen.
- Het uit het slot lopen van damwandplanken; controlemetingen tijdens de uitvoering;
- Trillings- en geluidsoverlast; dit kan verminderd worden door voor te boren of te fluïderen.
- Heiafwijkingen bij palen leiden tot grote horizontale krachten in de tussenplanken; dit dient voorkomen te worden door te werken met een heiframe.



Abbeelding 2.5.3.2: Heiafwijkingen van de buispalen en de krachten en vervormingen die dan ontstaan ten gevolge van het heien van de tussenplanken.

2.5.4: Palenwanden

Omschrijving

Een palenwand bestaat uit een rij in de grond gevormde palen van beton, cementgrout, bentonietcement of geïnjecteerde grond, die enigszins overlappend naast elkaar zijn geplaatst. Indien de wand slechts een grondkerende functie moet vervullen, kan worden overwogen om de palen met tussenruimten uit te voeren in plaat van overlappingsen. Om buigende momenten te kunnen opnemen moeten de palen gewapend zijn. Voor dit type wand worden avegaarpalen en buisschroefpalen toegepast. Bij niet-grondverdringende palen wordt de grond verwijderd door te schroeven of boren, waarna het boorgat met betonmortel, cementgrout of bentonietcement wordt gevuld. Palenwanden hebben als voordeel ten opzichte van damwanden dat ze niet alleen een gronderende functie vervullen, maar ook grotere verticale belastingen kunnen dragen.



Afbeelding 2.5.4.1: Bouwkuip met een palenwand [20]

Kenmerken {1.1.A}

Palenwand	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	
	Ja
Waterkerend	
	Ja
Dragende functie	
	Ja
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja

Tabel: 2.5.4.1: kenmerken van een palenwand

Toepassing {1.1.B}

Palenwanden worden voornamelijk toegepast bij bouwkuipen die op zeer korte afstand van de belendingen gelegen zijn aangezien deze trillingsarm en geluidsarm aangebracht kunnen worden. Zettingen kunnen in hoge mate beperkt worden. Doordat bij het maken van een boorpaal maar een kleine hoeveelheid grond wordt weggehaald, is de kans op ontspanning van de grond een stuk kleiner dan bij bijvoorbeeld diepwanden.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van palenwanden zijn:

- Trillingsvrije en geluidsarme uitvoering;
- Goede waterdichtheid;
- Geringe invloed van de grondwaterstand;
- Kan een dragend onderdeel van de constructie zijn;
- Starre constructie;
- Goed toepasbaar nabij belendingen.

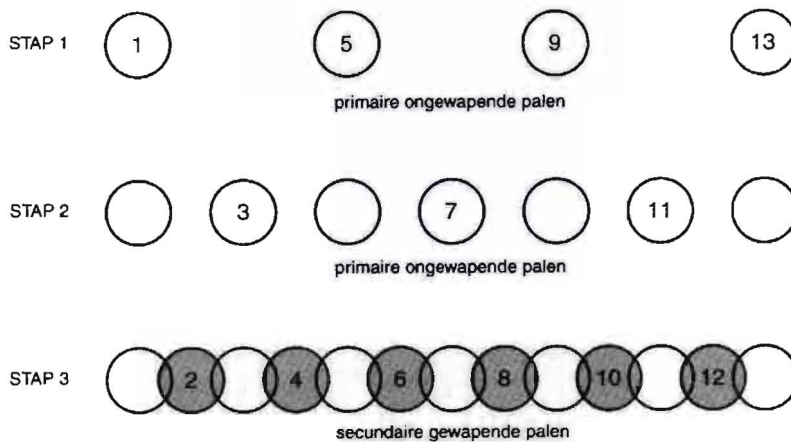
Nadelen van palenwanden zijn:

- Tijdrovende constructiemethode;
- Dure uitvoeringsmethode;
- Technisch moeilijk uitvoerbare methode;
- Strak tijdschema vereist.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

“De plaats van de palen moet nauwkeurig worden gemarkeerd. Het gebruik van een boorframe is daarom aan te bevelen. De verticaliteit van elke paal dient gecontroleerd te worden door een lange waterpas langs de steunbuis te houden.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire palen. Onder primaire palen worden ongewapende palen verstaan, terwijl secundaire palen gewapend zijn. De werkvolgorde is eerst de primaire palen 1-5-9-13-... te maken en vervolgens de primaire palen 3-7-11-... Daarna worden de secundaire palen 2-4-6-8-10-12-... ingeboord. Pas als de betonspecie van de primaire palen stijf genoeg is, mogen de secundaire palen gemaakt worden. Is de betonspecie van de primaire palen voldoende gezet, maar nog niet gehard, dan kunnen de secundaire palen geboord worden. Er is een strak tijdschema nodig. Een secundaire paal kan immers niet in een primaire paal worden geboord als deze al verhard is. Als alternatief voor de primaire palen kan gebruik worden gemaakt van een cementbentoniet-suspensie. Het nadeel hiervan is dat het enige dagen duurt voordat de secundaire palen kunnen worden ingeboord. Het voordeel is echter dat na voldoende opstijving van de primaire palen het inboren van de secundaire palen niet aan tijd gebonden is.” [21]



Afbeelding 2.5.4.2: Afbeelding van de uitvoeringsvolgorde van het aanbrengen van de palen.

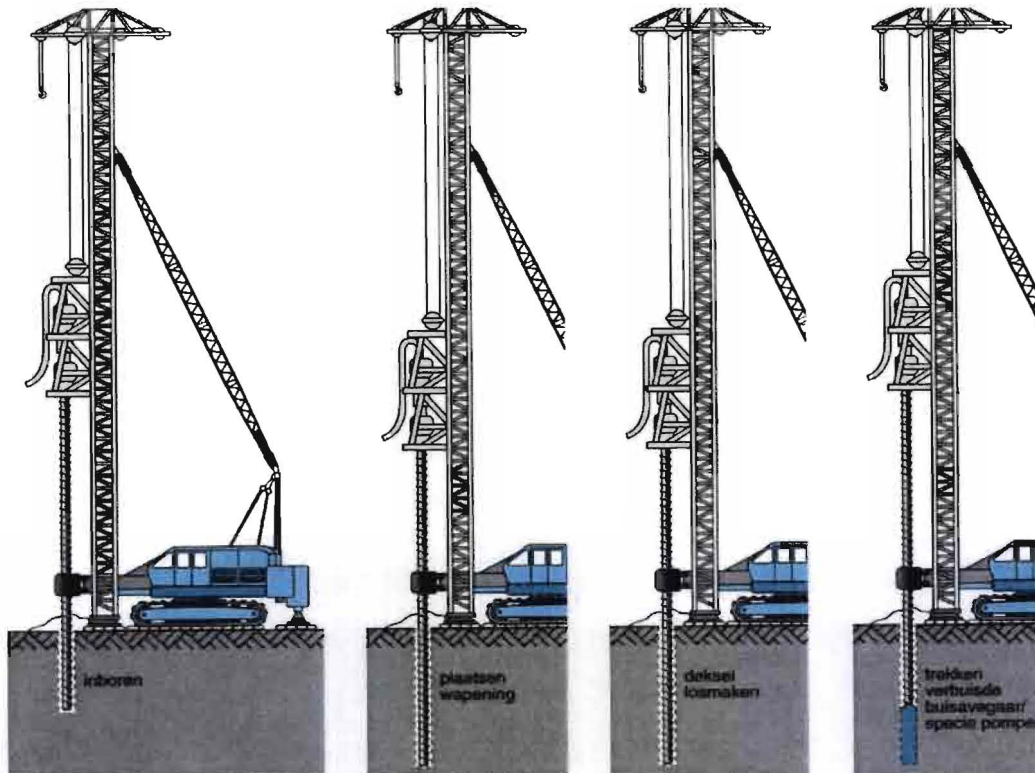
Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

“Voor het uitvoeren van een palenwand zijn drie uitvoeringsmethoden mogelijk, namelijk:

- uitvoeringsmethode met avegaar;

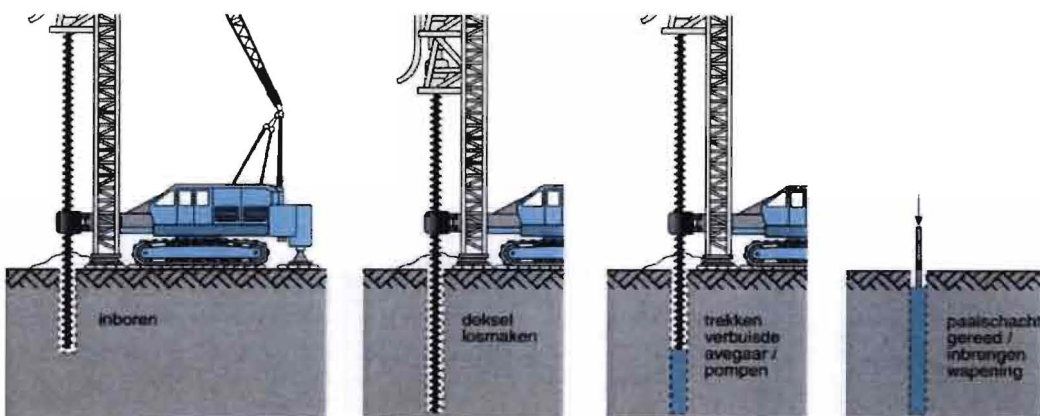
Bij deze methode wordt nadat de avegaar op diepte is ingeboord, hij getrokken en tegelijkertijd beton gestort. Direct daarna wordt de wapeningskorf trillend ingebracht worden. Deze methode is minder geschikt in de nabijheid van belendingen vanwege ontspanning van de omliggende grond tijdens uitvoering.
- uitvoeringsmethode met verbuisde buisschroefpalen;

Een verbuisde buisschroefpaal is een avegaar met een grote binnenbuis asdiameter en relatief kleine schoepen, waaromheen een buitenbuis in tegengestelde richting draait. Als eerste wordt de verbuisde buisavegaar op diepte ingeboord, waarna de wapening wordt aangebracht. Daarna wordt het beton gestort en wordt tegelijkertijd de verbuisde avegaar getrokken. Deze methode is geschikt voor uitvoering in de nabijheid van belendingen. Door de toepassing van de buis treedt er geen of nauwelijks ontspanning van de omliggende grond op.



Afbeelding 2.5.4.3: uitvoeringsvolgorde met verbuilde buisschroefpalen. (bron: handboek ondergronds bouwen deel 2)

- uitvoeringsmethode met verbuilde schroefpalen;
Een verbuilde schroefpaal is een avegaar met een kleine binnenbuis asdiameter en relatief grote schoepen, waaromheen een buitenbuis in tegengestelde richting draait. De uitvoeringsvolgorde lijkt op die van een verbuilde buisschroefpalen, alleen wordt hier eerst het beton gestort en de avegaar getrokken en daarna pas wordt de wapening met behulp van een trilblok ingebracht." [22]



Afbeelding 2.5.4.4: Uitvoeringsvolgorde met verbuilde schroefpalen. (bron: handboek ondergronds bouwen deel 2)

Materieel {1.1.F}

Voor het aanbrengen van de palen is het aan te bevelen om te werken met een boorframe ten behoeve van de nauwkeurige maatvoering. In de bochten zal echter elke paal afzonderlijk moeten worden gemarkeerd. Tijdens de uitvoering wordt gebruik gemaakt van een steunbuis om de verticaliteit te controleren.

Voor het boren van de palen wordt gebruik gemaakt van een schroefboor. Aan de bovenzijde is de boor aangesloten aan de betonpomp.

Materiaal {1.1.G}

De palen kunnen gevormd worden met beton, cementgrout of een cementbentoniet suspensie. Om tijdens het betonstorten silowerking in de buisavegaar te voorkomen wordt het gebruik van grind in de betonsamenstelling vermeden. Een gangbare betonmortel voor een dergelijke toepassing is:

- Sterkteklasse : B25
- Hoeveelheid cement : 500 kg/m³
- Milieuklasse : 2
- Consistentiegebied : 4
- Zand : 0 - 4 mm
- Hoeveelheid zand : 1500 kg/m³
- Vertrager : naar behoefte.

Voor de wapening van de palen kan een wapeningskorf, een stalen profiel of een centrale voorspanstaaf worden gebruikt.

Invloed op de omgeving {1.1.I}

Het uitvoeren van een verbuisde buisschroefpalenwand of een verbuisde schroefpalen wand zijn zeer geschikt voor uitvoering in de nabijheid van belendingen, omdat door de toepassing geen of nauwelijks ontspanning van de omliggende grond optreedt. Bij het uitvoeren van de palenwand met een avegaar is dit wel het geval.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

- lekkages worden niet uitgesloten; lekkages kunnen gedicht worden door injecties in de grond.
- verticaliteit van de palen; het uitvoeren van controlemetingen tijdens de uitvoering. Met behulp van een lange waterpas kan de verticaliteit van elke paal gecontroleerd worden langs de steunbuis.
- Verstoringen van het strakke tijdschema bij het optreden van calamiteiten of onderbrekingen zoals weekenden of feestdagen; In die gevallen dient de een secundaire paal buiten de lijn van het tracé vervaardigd te worden, zo dicht mogelijk tegen de buitenkant van de primaire palen. Om lekkages te voorkomen dienen extra aanvullende maatregelen getroffen te worden in de vorm van injecties aan de zijde van de waterdruk.
- Calamiteiten die het strakke tijdschema verstoren.

2.5.5: Diepwanden

Omschrijving

Diepwanden zijn in de grond gevormde betonnen elementen en afhankelijk van hun functie al dan niet voorzien van wapening. Door meerdere elementen in elkaars verlengde te plaatsen is het mogelijk om een doorgaande wand te formeren. Bij de diepwandtechniek wordt met behulp van een grijper een verticale rechthoekige sleuf gegraven. Om instorten van de sleuf te voorkomen wordt deze tijdens het ontgraven voortdurend bijgevuld met een bentoniet suspensie. Is de sleuf eenmaal op diepte, dan kan de bentoniet suspensie worden gereinigd en de wapeningskorf worden geplaatst. Door het via een stortbuis inbrengen van vloeibaar beton wordt van onderuit de bentoniet in het paneel verdrongen door het zwaardere beton.



Afbeelding 2.5.5.1: Afbeelding van het vervaardigen van een diepwand. [23]

Kenmerken {1.1.A}

Diepwand	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Ja
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja
Maximale diepte	100 meter

Tabel: 2.5.5.1: kenmerken van een diepwand

Toepassing {1.1.B}

De diepwand vindt onder andere toepassing als:

- grond- en waterkerende wand;
- waterafsluitende wand;
- funderingsconstructie voor het opnemen van grote verticale belastingen.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van diepwanden zijn;

- toepasbaar als definitieve wand;
- mogelijkheid om montagevoorzieningen voor vloeraansluitingen vooraf in te storten;
- zijn toepasbaar als funderingselement;
- trillingsarm uitvoeringsproces;
- stijve elementen tot grote dieptes mogelijk;
- uitvoering ook mogelijk bij aanwezigheid van harde lagen of kleine obstakels.

Nadelen van diepwanden zijn:

- grote werkruimte tijdens uitvoering nodig;
- de uitkomende grond moet worden afgevoerd;
- absolute waterdichtheid is niet te garanderen;
- de minimale werktijd is een dag en avond.

Uitvoeringsvolgorde (1.1.D)

Voordat met het graven van panelen kan worden begonnen moeten er aan het maaiveld geleidebalken worden aangebracht. Deze geleidebalken hebben enkele essentiële functies, namelijk:

- geleiding voor de grijper;
- opslagbuffer voor de steunvloeistof tijdens het ontgraven;
- maatvlak voor het ophangen van de wapening;
- grondkering om inkalving van de bovengrond te voorkomen;
- vaste maatvoering;
- afdracht van reactiekrachten bij het trekken van voegmallen met zware vijzels.

Geleidebalken worden meestal gemaakt van beton. Afhankelijk van de voorbereidingstijd en hergebruik worden deze in het werk gestort of geprefabriceerd.

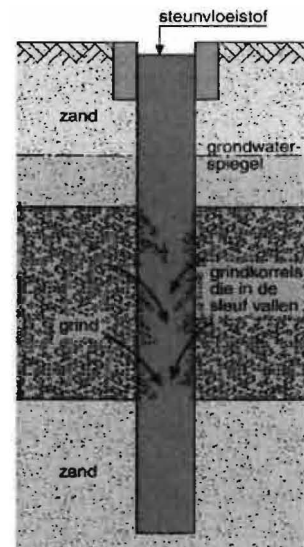
Tijdens het graven van de diepe sleuf, zal de wand de neiging vertonen zijn stabiliteit te verliezen. Dit wordt voorkomen door de sleuf tijdens het graven te vullen met een steunvloeistof. Als steunvloeistof wordt meestal een bentonietspoeling gebruikt. De suspensie heeft thixotrope eigenschappen, dat wil zeggen dat het dun en vloeibaar is als de vloeistof in beweging is en verstart als de vloeistof stil staat. De steunvloeistof dient altijd op een hoogte boven het grondwaterniveau gehandhaafd te worden.

"Tijdens het ontgraven raakt de bentonietsuspensie vervuild met grondkorrels. Hierdoor loopt het volumegewicht ervan op, waardoor de kwaliteit van het beton in het geding kan komen. Daarom wordt vlak voor het beton storten de vervuilde suspensie verwisseld voor een schone suspensie. Hierbij wordt de suspensie ontzand met behulp van schudzeven en het regenereren van de bentoniet. Door het ontzanden wordt het volumegewicht weer verlaagd. Getracht moet worden om het verschil in volumegewicht tussen de steunvloeistof en het beton zo groot mogelijk te houden om vermenging tegen te gaan." [24]

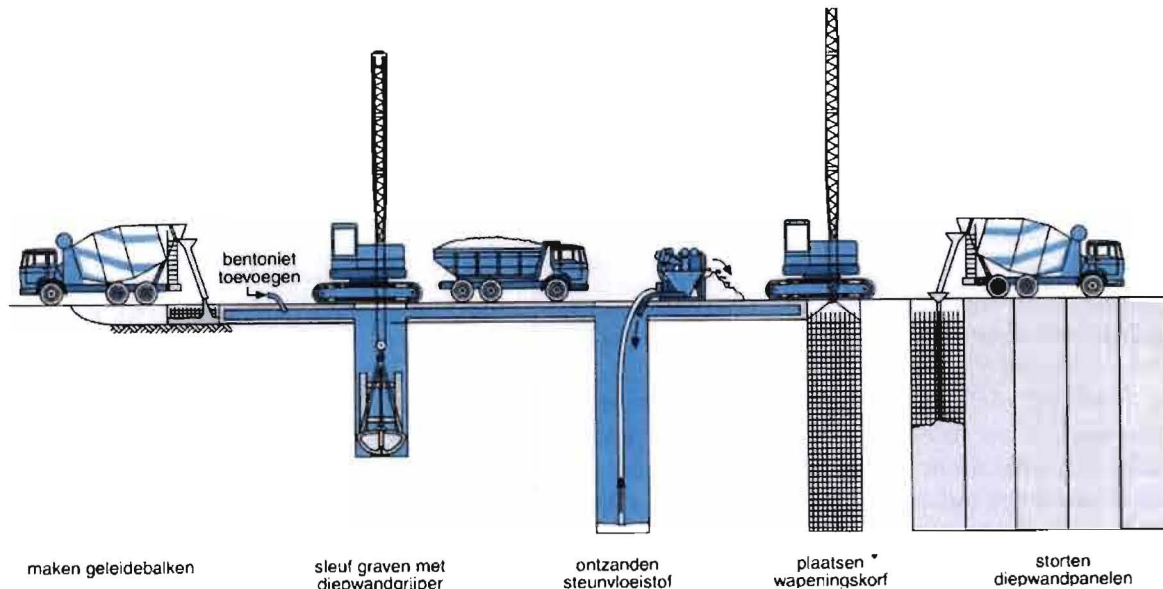
Aangezien een diepwand bestaat uit tegen elkaar gestorte panelen, zijn er voorzieningen nodig om goed sluitende voegen te realiseren. Hiertoe worden in de panelen aan de zijden waar nog geen aansluiting met een reeds gestort paneel gemaakt is, stalen voegprofielen geplaatst. De voegprofielen worden verticaal geplaatst zodra er ontgraven is. De voegprofielen dienen ongeveer een halve meter in de bodem worden geplaatst om instromen van betonspecie te voorkomen. De voegbuizen worden verwijderd, zodra de betonspecie tot boven in de sleuf een korrelige structuur heeft.

Met behulp van een kraan worden de wapeningskorven opgepakt en in de sleuf op diepte gehangen. Ze dienen te zijn berekend op de transportfasen. Vaak worden ze daarom versterkt met supporten, een vakwerkconstructie van wapeningsstaal. De maaswijdte tussen de staven moet ruim worden gekozen, opdat de wapening zo min mogelijk een obstakel vormt voor de omhoog stromende bentonietsuspensie. Ten behoeve van voldoende dekking worden op de wapeningskorven diepwandrollen bevestigd.

Voorafgaand aan het storten van het beton wordt tot op de bodem van de sleuf een stortbuis geplaatst. De volgpijp wordt middels snelkoppelingen aan elkaar verbonden. Aan de bovenkant wordt een trechter geplaatst. Vervolgens wordt er een bal in de buis gestopt om een scheiding tussen het beton en de bentonietsuspensie aan te brengen. Door de opwaartse stroming schuurt het beton langs de wapeningsstaven en reinigt deze van de bentonietaanslag. De onderkant van de stortpijp moet gedurende het gehele stortproces enkele meters onder het specieniveau blijven. Tijdens het storten dient insluiting van de bentonietsuspensie voorkomen te worden.



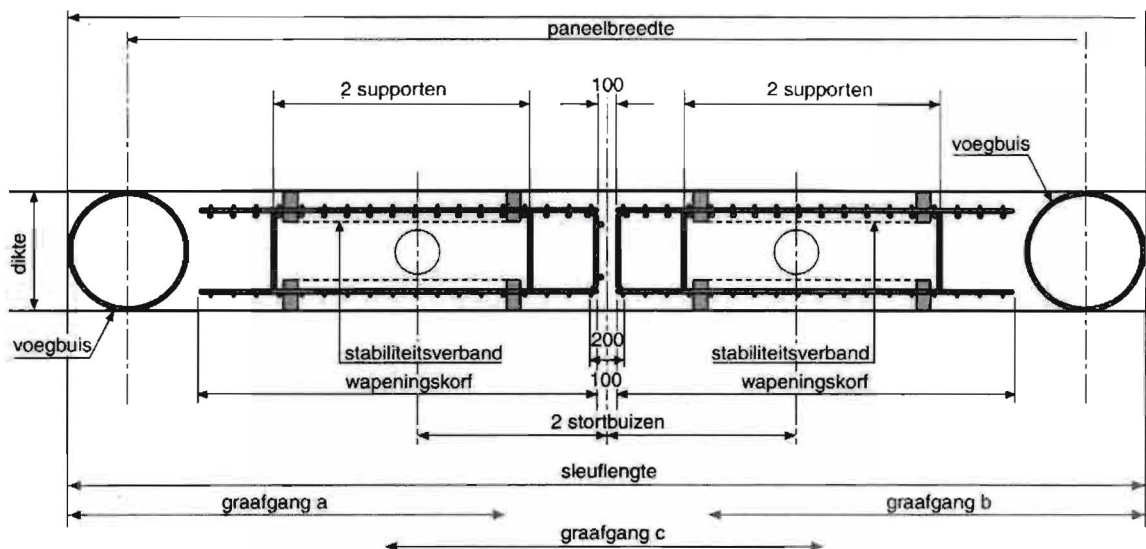
Afbeelding 2.5.5.2: Het vervuilen van de bentonietsuspensie.



Abbeelding 2.5.5.3: Uitvoeringsvolgorde van het vervaardigen van een diepwand [25]

Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

“Bij het graven van de panelen kan bij diepwanden onderscheid worden gemaakt tussen startpanelen, sluitpanelen en volpanelen. Uit economisch oogpunt is het het beste om de panelen zo groot mogelijk te werken en te werken met driegangspanelen. Hierbij wordt bij het startpaneel eerst de twee buitenste grijpergangen gegraven en daarna wordt de ‘dam’ weg gegraven. De graafvolgorde is dus a-b-c (zie afbeelding 2.5.5.4). Nadat de sleuf op diepte is, worden aan weerszijden voegmallen geplaatst. Tussen twee startpanelen kan naderhand een sluitpaneel gemaakt worden. De werkvolgorde voor de panelen is dus 1-3-5-2-7-4-... Bij een driegangssluitpaneel wordt bij toepassing van voegbuizen eerst de middelste grijpergang gegraven en vervolgens worden de resterende dammen weg gegraven.” [26]



Abbeelding 2.5.5.4: Dwarsdoorsnede van een driegangspaneel waarbij voegbuizen worden toegepast.

Indien grote sleuflengten niet mogelijk zijn is het toepassen van volpanelen een optie. In dat geval wordt de sleuf gemaakt in twee grijpergangen. De werkvolgorde voor de panelen is dan bijvoorbeeld 10-11-9-12-8-enz. Hierbij is 10 het startpaneel en wordt er vervolgens in twee richtingen met volpanelen gewerkt.

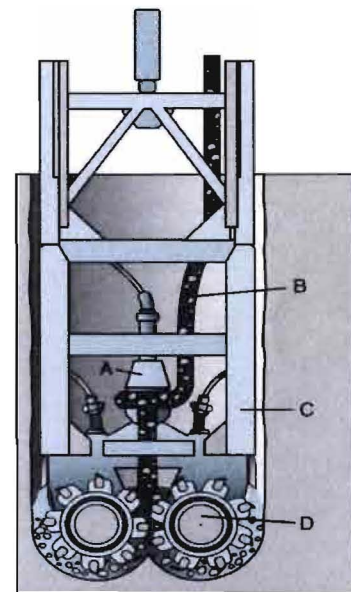
Eengangspanelen worden alleen in bijzondere situaties gemaakt. Het gebruik van kleinere en dus meer panelen leidt tot een langere bouwtijd en bovendien tot een groter aantal voegen, wat in wezen

potentieel zwakke plekken zijn. Eengangspanelen worden toegepast om zettingen van nabijgelegen belendingen te beperken.

Materieel {1.1.F}

Voor het graven zijn zware kranen nodig. De kranen moeten niet alleen over grote lieren met een hoge trekkracht beschikken, maar dienen vooral stabiel te zijn. Te veel beweging van de kraan tijdens het vieren, hijsen en graven leidt tot afwijkingen. Als graafwerktuig worden mechanische draadgrijpers of hydraulische draadgrijpers toegepast. In het buitenland wordt er vaak gewerkt met diepwandfreesen. Diepwandfreesen bestaan uit twee tegengestelde ronddraaiende meswielen die de grond lossnijden en met behulp van een ingebouwde pomp afvoeren. Deze zijn geschikt voor wanden tot een grote diepte in hardere grond. Door de continue graafgang is er een hoge productiesnelheid, zolang er zich geen obstakels in de grond voordoen.

Behalve een graafkraan en een hulpkraan bestaat het noodzakelijke materieel uit een stortbuizenrek, een ontzander, een aggregaat, een magazijncontainer en een grondbak.



Afbeelding 2.5.5.5: Afbeelding van een diepwandfrees

A= hydraulisch aangedreven motor
B= afvoer van spoeling met grond
C= stalen frame
D= wielmessen

Materiaal {1.1.G}

De materialen die benodigd zijn voor het vervaardigen van een diepwand zijn een steunvloeistof in de vorm van een cementbentonietsuspensie, wapeningskorven en het te storten beton. Ook is er beton nodig voor het storten van de geleidebalken.

Plaats {1.1.H}

De minimale werkbreedte die nodig is voor het materieel en het verplaatsen van het materieel bedraagt 15 meter. Voor het plaatsen van de bentonietcentrale dient rekening te worden gehouden met een minimale ruimte van 800 m². Er moet rekening worden gehouden met opslag- en opstelruimte van onder andere bentonietbassins, ontzandingsinstallatie, voegprofielen en betonmixers. Aangezien het een stationaire installatie betreft, is een Hinderwetvergunning vereist.

Naast de benodigde ruimte voor het materieel is er ook opslagruimte nodig voor de wapeningskorven. Door de grote afmetingen en dieptes van de panelen zullen de wapeningskorven ook grote afmetingen hebben.

Invloed op de omgeving {1.1.I}

Het diepwandmaterieel is grootschalig. Er is behoefte aan een groot oppervlak voor de bentonietcentrale. De uitvoeringsmethode is trillingsvrij en geluidsarm. Wel dient er rekening te worden gehouden dat de bentonietcentrale een stationaire installatie is.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

- Insluiten van bentonietsuspensie; de onderkant van de stortbuis dient gedurende het gehele stortproces onder het specieniveau te blijven.
- De kwaliteit van het beton kan in het geding komen doordat tijdens het ontgraven de bentonietsuspensie vervuld raakt met zandkorrels; door het ontzanden moet het volume gewicht van de bentonietsuspensie lager worden dan die van het beton waardoor het beton de suspensie zal verdringen.

2.5.6: Combinatiescherm

Omschrijving

Combinatieschermen kunnen als grondkering en als waterkering fungeren, maar ook als verticaal dragende elementen. Ze worden uitgevoerd als prefab diepwandpanelen. De gegraven sleuven worden niet met plastisch beton gevuld, maar met een complete geprefabriceerde wandsectie.

Kenmerken {1.1.A}

Combinatiescherm	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Ja
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja

Tabel: 2.5.6.1: kenmerken van een combinatiescherm

Toepassing {1.1.B}

Combinatieschermen fungeren als definitieve grond- en waterkerende constructies, die worden toegepast in binnenstedelijke gebieden vanwege de trillingsvrije en geluidsarme werkmethode. Deze techniek wordt vaak toegepast bij een wanden-dak-methode. De wanden-dak-methode maakt het mogelijk om te bouwen met een minimale verstoring van de infrastructuur. Bij deze methode worden eerst de zijwanden aangebracht en vervolgens het dak van het ondergrondse gedeelte. Daarna wordt er onderdaks verder gewerkt, waarbij boven de grond de infrastructuur al hersteld kan worden.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van combinatieschermen zijn:

- Betere kwaliteit dan bij diepwanden;
- Geringere toleranties in de afmetingen;
- Regelmatig uiterlijk.

Nadelen van combinatieschermen zijn:

- Hoge kosten om de voegen waterdicht te maken;
- Waterdichtheid is moeilijk te garanderen.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Evenals bij diepwanden wordt met behulp van draadgrijpers een sleuf gegraven. De stabiliteit van de sleuf wordt tijdens het graven gewaarborgd door een bentoniet suspensie. Als de sleuf op diepte is gekomen, worden de elementen met behulp van een schoengeleiding in de sleuf geplaatst. De planken worden nauwkeurig op hoogte en in verticaliteit gesteld middels stelframes op de geleidebalken. De onderlinge waterdichtheid wordt gegarandeerd door een rubber afdichtingsprofiel en de aanwezige cementbentoniet. Nadat de bouwput ontgraven is, wordt de cementbentoniet schil van de spanwanden verwijderd en kunnen de spanwanden als kelderwanden in het zicht blijven.

Materieel {1.1.F}

Voor het vervaardigen van de sleuf zijn of draadgrijpers of een diepwandfrees nodig. Voor het aanbrengen van de steunvloei stof is een bentoniet centrale noodzakelijk. Verder zijn er voor het positioneren en stellen van de prefab elementen schoengeleidingen en stelframes nodig.

Invloed op de omgeving {1.1.I}

Deze uitvoeringsmethode is trillingsvrij en geluidsarm. Wel is er een groot oppervlakte nodig voor het materieel, het opslaan van materialen en de aan- en afvoerroutes.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

De waterdichtheid is moeilijk te garanderen; door plaatselijke bodeminjecties op punten waar het combinatiescherm lekkages vertoont aan de waterzijde kan de wand volledig waterdicht worden gemaakt.

2.5.7: Cementbentonietwanden

Omschrijving

"Cementbentonietwanden worden ook wel afdichtingswanden genoemd. Het zijn in de grond gevormde wanden met een zeer lage doorlatendheid. Ze worden gebruikt om horizontale grondwaterstromen te onderbreken of af te schermen. Tijdens het graven van de dichtingswand wordt de sleuf constant gevuld gehouden met een steunvloeistof, meestal een cementbentonietsuspensie. Deze zorgt voor de stabiliteit van de sleuf. In een latere fase verhardt de suspensie, zodat een vaste substantie wordt gevormd met een lage volumieke massa en een geringe sterkte. Hierdoor hebben deze wanden geen momentcapaciteit. De afdichtingswanden zijn vloeistofkerend, maar niet grondkerend. Indien er toch een momentcapaciteit moet worden geleverd of als er extra eisen worden gesteld aan de doorlatendheid of de erosiebestendigheid, dan kunnen er stalen damplanken of HDPE-platen in de verse cementbentoniet worden gedrukt." [27]

De stabiliteit van de sleuf is tijdens de uitvoering van diverse factoren afhankelijk, namelijk:

- de poriënwaterdruk;
- de vorm en de afmetingen van de geleidebalken;
- de hijs- en zaksnelheid van de grijper;
- het volumegewicht van de steunvloeistof
- de vullingsgraad van de sleuf.

Kenmerken {1.1.A}

Cementbentonietwand	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Nee
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Nee
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Ja
Bouw- en gebruiksfase	Ja
Maximale diepte	60 meter

Tabel: 2.5.7.1: kenmerken van een cementbentonietwand

Toepassing {1.1.B}

Cementbentonietwanden worden onder andere toegepast voor:

- het isoleren van open bouwputten, zodat met een open bemaling kan worden volstaan. Door de cementbentonietwanden wordt de grondwaterstand in de nabije omgeving niet of nauwelijks verlaagd en taluds kunnen steiler worden opgezet;
- om verontreiniging van het grondwater in de omgeving te voorkomen;
- het isoleren van bodemverontreinigingen.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van cementbentonietwanden zijn:

- lage doorlatendheid; in het werk worden waarden bereikt van 1×10^{-8} m/s;
- goede aansluiting mogelijk op diepliggende slecht doorlatende lagen die als bodemafluiting moeten dienen;

- grote vervormingscapaciteit, zonder dat scheurvorming optreedt;
- weinig trillingshinder of geluidhinder bij het aanbrengen
- relatief goedkoop.

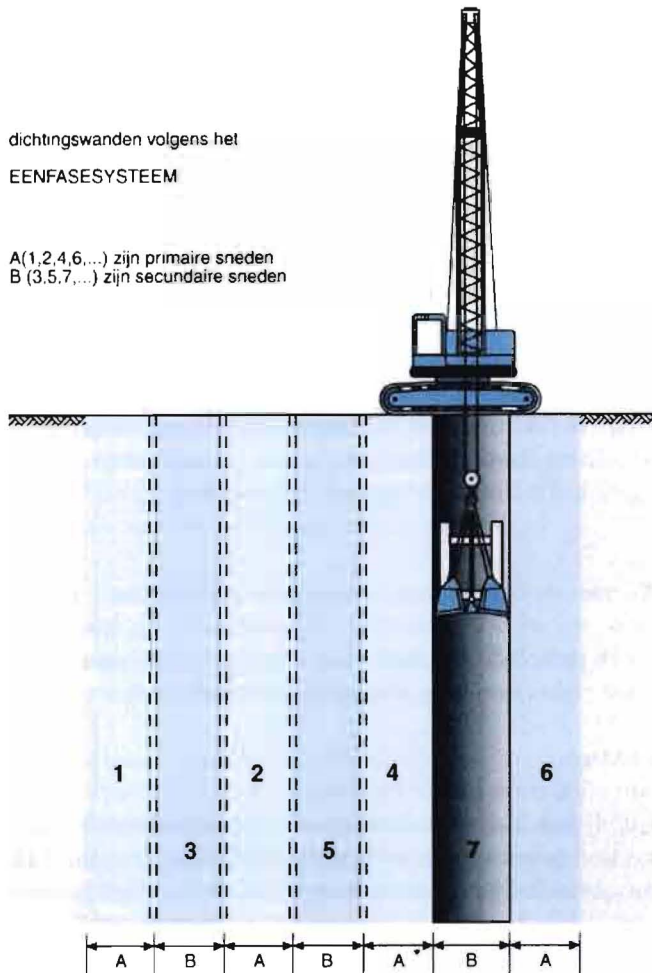
Nadelen van cementbentonietwanden zijn:

- grote werkruimte tijdens de uitvoering nodig;
- de uitkomende grond moet worden afgevoerd;
- niet grondkerend.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Voordat met het graven van de sleuf wordt begonnen, worden op het maaiveld geleidebalken aangebracht. Ze dienen om tijdens het graven van de sleuf de grijpers van de graafapparatuur te geleiden en het inkalven van de bovenkant van de sleuf te voorkomen. Tijdens het graven wordt de sleuf gevuld met het cementbentoniet watermengsel dat voldoende steundruk geeft om de stabiliteit te waarborgen. Het cementbentonietmengsel wordt meestal op de bouwplaats met water gemengd met behulp van speciale opslag-, afweeg- en mengapparatuur.

De meest gebruikte methode bij het graven en frezen is het eenfasensysteem. Hierbij wordt de cementbentonietsuspensie tijdens het graven als steunvloeistof gebruikt. De suspensie is dun en vloerbaar, zodat de grijper er gemakkelijk doorheen kan bewegen. Na een paar dagen is de steunvloeistof verhard en heeft de wand zijn waterremmende eigenschappen gekregen. De wand wordt bij dit systeem zoveel mogelijk ononderbroken uitgevoerd. Als eerste wordt snede 1 gegraven, gevolgd door snede 3. Na opstijving van beide sneden wordt snede 2 ertussen gegraven en vervolgens snede 4 (zie afbeelding 2.5.7.1). De secundaire sneden worden steeds met een overlap van ongeveer 30 cm gegraven. De massa van de dichtingswanden is nog niet verhard. Hierdoor ontstaat een voegloze, homogene wand.

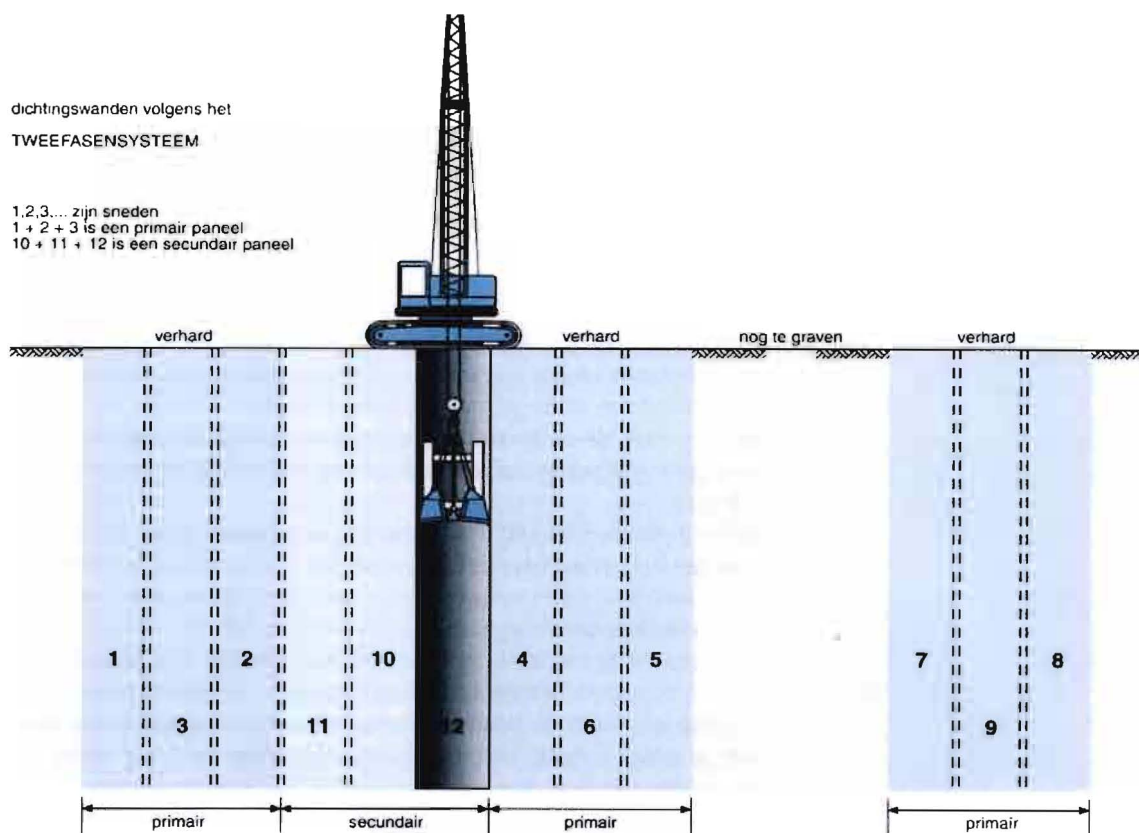


Abbeelding 2.5.7.1: uitvoeringsvolgorde volgens het éénfasensysteem (bron: handboek ondergronds bouwen deel 2)

Naast het eenfasensysteem bestaat er ook het tweefasensysteem. Hierbij bestaan twee opties, namelijk het werken met of zonder voegbuizen. Het tweefasensysteem wordt minder toegepast dan het eenfasensysteem. Bij het tweefasensysteem zonder voegbuizen worden eerst de sneden 1-3-5-... gegraven. Na enkele dagen is de suspensie voldoende verhard om de tussenliggende sneden 2-4-6-... te maken. Voor deze secundaire sneden wordt 30 cm overlap aangehouden. Een nadeel van deze methode is dat voor de secundaire sneden steeds van de reeds verharde primaire sneden 30 cm weg moet worden gegraven. Dit veroorzaakt productieverlies. Tevens bestaat de kans dat als de suspensie sneller verhardt, de grijper kan afglijden wat een risico inhoudt voor de continuïteit van de wand. Dit kan voorkomen worden door te werken met voegbuizen.

Bij het tweefasensysteem met voegbuizen worden panelen gegraven die zijn opgebouwd uit drie sneden. Als eerste worden de primaire panelen gegraven. De volgorde van de sneden bij de panelen is 1-3-2. Aan beide uiteinden van het paneel worden voegbuizen geplaatst. Voegbuizen zijn buizen met een iets kleinere diameter dan de dikte van de wand. Na het voltooien van het eerste primaire paneel wordt een volgend primair paneel gemaakt. Als de massa van de primaire panelen voldoende is opgestijfd, worden de voegbuizen getrokken. Hierna worden de tussenliggende secundaire panelen gegraven. Bij deze panelen is de graafvolgorde van de afzonderlijke sneden 2-1-3.

Het werken met voegbuizen, inclusief de hiervoor benodigde hulpkraan geeft extra kosten. Het moeizaam aansnijden van de verticale zijvlakken van de primaire panelen wordt hiermee voorkomen. Een nadeel is de vergrote kans op het verlopen van de grijper waardoor de functie van de wand in gevaar kan komen.



Afbeelding 2.5.7.2: uitvoeringsvolgorde volgens het tweefasensysteem met voegbuizen. (bron: handboek ondergronds bouwen deel 2)

Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

- Kettingfreesmethode; bij deze werkwijze wordt de sleuf met een kettingfrees gegraven. De sleufdiepte is beperkt tot ongeveer 6 meter.
- Slurry-trenchmethode; het graven van de sleuf met een dieplepel. De graafarm kan verlengd worden en de bakbreedte kan verbreed worden. De minimale dikte is 0,6 meter en graafdiepte tot circa 10 meter is mogelijk.
- Gegraven cementbentonietwanden; inzetten van een graafkraan en een diepwandgrijper. De grijper hangt aan een staaldraad (kellystang) die telescopisch in elkaar schuift. De grijpers

kunnen met behulp van een draad of hydraulisch geopend en gesloten worden. Dikte tot twee is meter mogelijk bij deze uitvoeringsmethode en een diepte tot circa 50 meter.

- Gefreesde cementbentonietwanden; het loslaan, met snijmesses die onder aan de frees zijn bevestigd, van de grond. De losgeslagen grond wordt weggepompt. Dit is een continuproces waarbij diepten tot meer dan 100 meter mogelijk zijn.
- Getrilde cementbentonietwanden; stalen HE-profielen worden met behulp van een trilblok in de bodem gebracht. De inbrenglans is voorzien van een verbrede schoen. De ruimte die de schoen in de grond achterlaat wordt direct gevuld met cementbentoniet. Dikte van wanden volgens deze methode zit tussen 0,08 en 0,15 meter en de diepte is beperkt tot 15 à 20 meter.

Materieel {1.1.F}

Voor het vervaardigen van een cementbentonietwand is er graafmaterieel nodig en een menginstallatie. Het graafwerk wordt meestal met een diepwandgrijper of een diepwandfrees gedaan. Een voordeel van het grijpersysteem is dat de grondlagen van verschillende samenstelling in een doorgaand proces ontgraven kunnen worden. Er bestaan twee soorten grijpers, namelijk draadgrijpers en kellygrijpers. Door de vorm van de grijpers is het mogelijk dat de steunvloei stof gemakkelijk doorheen en langs kan vloeien.

Met de freestechiek kan een continue wand worden gemaakt of in een tweefasensysteem worden gewerkt waarbij geen voegbuizen worden gebruikt. De frees moet in de spoeling worden aangezet. Dit houdt in dat er altijd gestart wordt in een gegraven sleuf. Er moet dus een keuze worden gemaakt voor twee technieken, zowel voor de grijper als voor de frees. Een voordeel van de diepwandfrees ten opzichte van de diepwandgrijper is dat bij een gelijkmatige opbouw van de bodem het productieproces hoger is. Bij een grijper gaat er veel tijd verloren met het ophalen en vieren van de grijper terwijl met een frees sprake is van een continu proces.

De menginstallatie op het terrein maakt het mogelijk om de verschillende grondstoffen, die moeten worden opgeslagen op de bouwplaats in silo's, te mengen. Naast het mengen van de suspensie dient het verpompt te worden.

Materiaal {1.1.G}

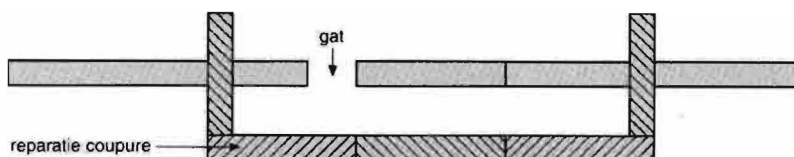
De suspensie van een cementbentonietwand zijn in het algemeen samengesteld uit geactiveerde calciumbentoniet, cement, hulpstoffen en water. De hulpstoffen worden toegevoegd aan de suspensie om de verwerkbaarheid, de stabiliteit en de aanvang van de binding van het cement te beïnvloeden.

Invloed op de omgeving {1.1.I}

- trillingsvrij en geluidsarme uitvoeringsmethode;
- groot oppervlak nodig voor de menginstallatie en de pompinstallatie.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

- De continuïteit van de wand kan door het verlopen van de grijper in gevaar komen; toepassen van een geleidebalk en voegbuizen.
- De suspensie voldoet niet altijd aan de uitgangspunten van de berekeningen; door het uitvoeren van controlemetingen voor, tijdens en na uitvoering kunnen de waterdoorlatendheid, de axiale druksterkte, de elasticiteitsmodulus en de elastische rek gecontroleerd worden.
- Lekkages; na het bepalen van de plaats van de lekkage, moeten er haaks op het vlak van de wand ter begrenzing van het lekkende traject panelen worden gegraven. Vervolgens wordt evenwijdig aan de wand aansluitend op de begrenzingspanelen een tweede dichtingswand geplaatst.



Abbeelding 2.5.7.3: reparatiewijze van een lek in een cementbentonietwandscherm

2.5.8: Mix-In-Place (MIP)

Omschrijving

MIP (Mix-In-Place) is de verzamelnaam voor een grote verscheidenheid aan technieken, waarbij de grond ter plaatse wordt gemengd met een bindmiddel waardoor de grondeigenschappen verbeteren. Het wordt ook wel deep mixing genoemd. Meestal worden bij deze techniek kalk toegepast als bindmiddel. Er wordt onderscheid gemaakt tussen natte en droge methoden. Bij de droge methoden wordt het bindmiddel zonder toevoeging van water door de grond gemengd. Het droge bindmiddel komt pas met grondwater in contact op de plaats zelf. Bij de natte methoden is het bindmiddel vooraf met water gemengd.

Bij MIP kunnen kolommen geformeerd worden door de grond kolomsgewijs met behulp van een roerwerk aan een boorstang met een bindmiddel te mengen. De schuifsterkte en het draagvermogen van de grond worden verhoogd en de samendrukbaarheid wordt verlaagd.



Abbeelding 2.5.8.1: Uitvoering van kalk-cementkolommen.

Kenmerken {1.1.A}

Mix-In-Place (MIP)	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Nee
Dragende functie	Nee
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja
Maximale diepte	15 meter

Tabel: 2.5.8.1: kenmerken van een MIP-techniek

Toepassing {1.1.B}

De techniek wordt toegepast als grondstabilisatie of voor het verbeteren van de taludstabiliteit bij grondophogingen en ontgravingen. Ook worden ze toegepast om zettingen en zettingsverschillen te

reduceren. Omdat een droog bindmiddel toegepast kan worden, is de methode zeer geschikt voor grond met een hoog watergehalte, die moeilijk te stabiliseren zou zijn met andere technieken.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van MIP zijn:

- trillingsvrij en geluidsarm;
- verbetering van de draagkracht;
- snelle installatie;
- reductie van zettingen en zettingsverschillen;
- economisch interessant in kleigrond;
- de sterkte neemt in de loop der tijd toe;
- Hogere schuifsterkte in de grond.

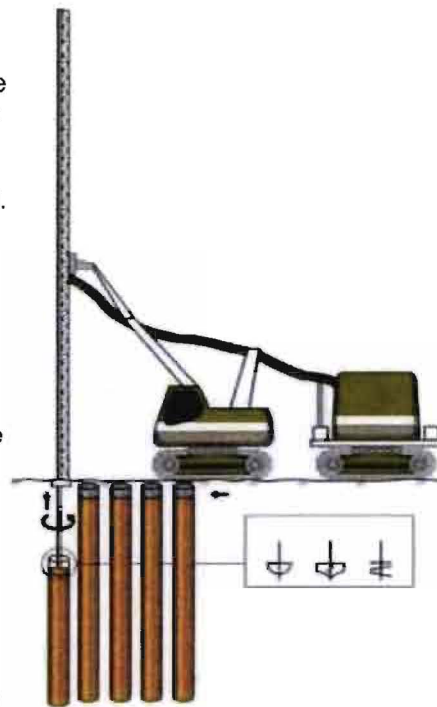
Nadelen van MIP zijn:

- Beperkte lengtes van kalkkolommen mogelijk door inzet van licht materieel;
- Harde grondlagen zijn moeilijk te doorboren;
- Het mengen van cohesieve grondsoorten gaat minder eenvoudig;
- Niet waterkerend.

Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen twee uitvoeringsmethoden. De eerste methode is de Scandinavische methode. Bij deze methode, ook wel droge methode genoemd, worden de kolommen vervaardigd met behulp van een relatief lichte boorstelling op brede rupsbanden. De gronddruk moet immers beperkt blijven. Met de boorstelling kunnen kolommen worden vervaardigd. Door het boren wordt de grond losgewoeld en tijdens het trekken van de boor wordt de grond intensief gemengd door het inblazen van de bindmiddelen. De treksnelheid dient aangepast te worden aan de grondsoort en het watergehalte in de ondergrond.

De tweede methode is de Japanse methode, ook wel de natte methode genoemd. Het verschil met de Scandinavische methode betreft zowel het materieel als de wijze van mengseltoevoer. Het materieel is groter en zwaarder, wat nadelig is op een te stabiliseren slappe grond. Voordeel is dat er ook door hardere lagen geboord kan worden. Het tweede verschil is dat de bindmiddelen als een met water aangemaakte suspensie in de grond worden gepompt. Enerzijds heeft dit als voordeel dat de bindmiddelen nauwkeuriger kunnen worden gedoseerd. Anderzijds is het nadeel dat de verhouding tussen het water en het bindmiddel groter zal zijn. Bij beide methoden is het aanbrengen trillingsvrij en geluidsarm.



Abbeelding 2.5.8.2: Mix-In-Place

Materieel {1.1.F}

Bij MIP wordt er licht materieel ingezet. Te zwaar materieel is nadelig op te stabiliseren grond. Doordat het materieel vrij licht is, kan er moeilijk door hardere grondlagen geboord worden en is de lengte van de kolommen beperkt tot ongeveer 15 meter. De boor van de boorstelling bestaat uit een holle buis met een diameter van 100 tot 150 mm. De boorkop die aan de onderzijde is bevestigd, bestaat uit half rondgebogen snijmesses. Op de boorstelling zijn twee voorraadcontainers bevestigd om de bindmiddelen op te slaan. Om een goede menging van het mengsel in de grond te verkrijgen moet de treksnelheid per omwenteling van de boor tijdens het trekken ongeveer constant blijven.

Invloed op de omgeving {1.1.I}

De uitvoeringsmethode is trillingsvrij en geluidsarm. Doordat er bijna geen trillingen optreden lijkt de methode geschikt voor uitvoering in de nabijheid van belendingen, maar doordat er ontspanning in de ondergrond zal optreden is deze methode niet geschikt nabij belendingen.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

Slechte menging van het bindmiddel in de grond; de toevoer van het bindmiddel verloopt door het gebruik van lucht als medium niet geheel constant. Door de voorraadcontainers op weegcellen te plaatsen kan de gewichtsafname continu worden gemeten en de treksnelheid iteratief worden afgesteld. Tevens is het nodig om de treksnelheid van de boor per omwenteling gelijk te houden om een goede menging van het mengsel in de grond te verkrijgen.

2.5.9: Frees Meng Injectie (FMI)

Omschrijving

FMI staat voor Frees Meng Injectie. Bij deze techniek wordt de ondergrond ter plekke gestabiliseerd met gebruikmaking van bindmiddelen. Voor het FMI-procédé zijn twee voorzieningen nodig. Als eerste een veldvoertuig dat de bodem opensnijdt, homogeniseert en met een cementsuspensie injecteert. Daarnaast is een stationaire eenheid nodig, bestaande uit een tankwagen, silo's, mengreservoirs, pompen en buis- en slangverbindingen.

Uit veld- en laboratoriumonderzoek is aangetoond dat door bodemstabilisatie het FMI-procédé de cohesie, de druksterkte en de elasticiteitsmodulus tot een veelvoud verhoogd worden. Tevens neemt de waterdoorlatendheid sterk af. [28]

Kenmerken {1.1.A}

Frees Meng Injectie (FMI)	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Nee
Dragende functie	Nee
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja
Maximale diepte	9 meter

Tabel: 2.5.9.1: kenmerken van Frees Meng Injectie

Toepassing {1.1.B}

FMI wordt toegepast voor bodemstabilisatie. Dit kan gerealiseerd worden tot maximaal 9 meter diepte. Alle grondsoorten kunnen in principe gestabiliseerd worden. FMI kan ook worden toegepast voor bijvoorbeeld het indammen van verontreinigingen in de buurt van stortplaatsen.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van FMI zijn:

- Vrijwel voor elk terrein geschikt;
- Elke afwijking door oneffenheden in het terrein wordt automatisch gecorrigeerd;
- Economische en milieuvriendelijke methode;
- Eenvoudige en snelle uitvoeringsmethode;
- Relatief goedkoop.

Nadelen van FMI zijn:

- Beperkte freesdiepte van 9 meter;
- Vrijkomen van restmateriaal dat afgevoerd dient te worden;
- De methode is een stabilisatiemethode. Grondkering kan vervuld worden, maar constructieve krachten kunnen niet worden opgenomen.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Net behulp van een freesmengmachine wordt een sleuf in de ondergrond gegraven. De freesbreedte bedraagt tussen de 0,5 en 1 meter. Door de bijzondere wijze van bevestiging van de messen wordt de grond niet uitgegraven, maar direct ondergronds met een cementsuspensie bereid. Het te injecteren mengsel wordt ter plaatse bereid. Tijdens de uitvoering dienen de rijsnelheid, de freesdiepte en de geïnjecteerde hoeveelheden continu gecontroleerd te worden. Het economische voordeel van het systeem is dat de gebruikelijke maatregelen op en rond het werkterrein niet nodig zijn en dat men niet op werkstroken is aangewezen. Tijdens de uitvoering van een bodemstabilisatie komt ongeveer 10% restmateriaal vrij. Het oorspronkelijke bodemmateriaal blijft grotendeels op zijn plaats.

Materieel {1.1.F}

De freesmengmachine bestaat uit een stuurcabine, een machine-eenheid en een freesboom en wordt door rupsbanden aangedreven. In de cabine bevinden zich de nodige besturingssystemen. Daarbij behoort ook een voor de precieze, rechtlijnige besturing noodzakelijke laser- en radiografische afstandsbediening. Elke afwijking door oneffenheden in het terrein worden automatisch gecorrigeerd. De freesboom bevindt zich aan de achterzijde van het voertuig, waarop een tweetal met messen uitgeruste kettingsystemen ronddraait.

In een externe mixunit worden water en cement uit silo's tot een suspensie vermengd en met behulp van een pomp door een systeem van slangen en buizen naar de freesmengmachine gevoerd. Hier wordt tijdens het freesproces de cementsuspensie door verschillende aan de binnen- en buitenzijde van het systeem aangebrachte ventielen in de bodem aangebracht.



Afbeelding 2.5.9.1: het veldvoertuig en de ondersteunende apparatuur voor frees meng injectie. [29]

2.5.10: Cutter Soil Mix

Omschrijving

De techniek Cutter Soil Mix (CSM) kan gezien worden als een combinatie van frees meng injectie en cementbentoniet wanden. Het is een recent ontwikkeld proces voor het creëren van grondkerende en dragende wanden. Met behulp van twee hydraulisch tegengesteld draaiende snijwielen wordt de grond gemixt met een groutmengsel, waardoor er een keringswand wordt verkregen. Het resultaat kan vergeleken worden met een cementbentonietwand. Evenals deze wand heeft een wand verkregen door de techniek CSM geen momentcapaciteit. Door het aanbrengen van wapening in de vorm van stalen HE-profielen, kan de wand ook dragende en grondkerende functies vervullen. Het voordeel van een CSM wand ten opzichte van bijvoorbeeld een palenwand, is dat er een vlak oppervlakte verkregen wordt, dat niet meer afgewerkt hoeft te worden.



Abbeelding 2.5.10.1: een bouwkuip met een vervaardigde CSM-wand en de hydraulische frees (rechts) die bestaat uit twee tegengesteld draaiende snijwielen.

Kenmerken {1.1.A}

Cutter Soil Mix	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Nee
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Ja
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja
Maximale diepte	15 meter

Tabel: 2.5.10.1: kenmerken van Cutter Soil Mix.

Toepassing {1.1.B}

De wand wordt toegepast om dragende, grondkerende en waterkerende wanden te verkrijgen. Aangezien de methode trillingsvrij is en alleen voor plaatselijke ontspanning in de bodem zorgt, is de methode geschikt om naast belendingen toe te passen.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van de Cutter Soil Mix methode zijn:

- De wand levert een vlak oppervlakte op in vergelijking met een palenwand;
- Trillingsarm;

- Uitermate geschikt om toe te passen nabij belendingen door geringe ontspanning van de ondergrond;
- Geen uitkomende grond die afgevoerd moet worden, zoals bij diepwanden.

Nadelen van de Cutter Soil Mix methode zijn:

- De wand bezit zelf geen momentcapaciteit. Hiervoor dient extra wapening in de vorm van HE-profielen aangebracht te worden;
- Groot plaatsgebruik voor materieel nodig;
- Niet in elke grondsoort mogelijk. In te cohesieve grondsoorten of grondsoorten met een te laag poriëgehalte kan de grond niet goed met het groutmengsel gemengd worden.

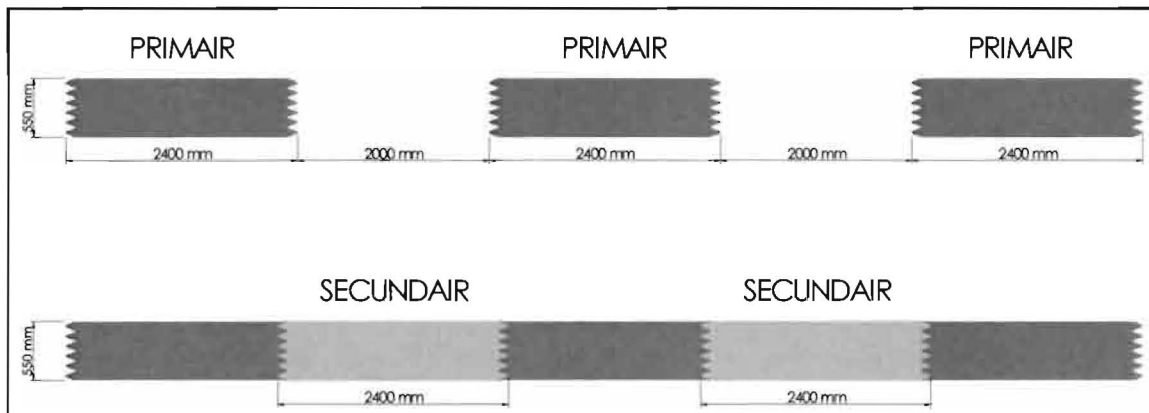
Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

De aanwezige grond wordt door middel van 2 freeswielen losgefreesd en tegelijkertijd gemengd met een rijke cementspecie, terwijl de frees steeds dieper in de grond wordt gebracht. Wanneer de frees op de gewenste diepte gekomen is, wordt bij het optrekken van de frees de grond verder gemengd. Doordat er gefreesd wordt, kan de uitvoering eveneens gebeuren in grond welke stoorlagen uit vastgepakt zand, mergel of grind bevat. De grond wordt gebruikt als grondstof aangevuld met cement zodat men toeslagstoffen als zand en grind kan uitsparen.

De freeswielen zijn voorzien van hardmetalen beiteltanden zodat steenachtige grondlagen stuk gefreesd kunnen worden. De injectiehoeveelheid is regelbaar zodat afhankelijk van de grondsoort en het injectiemateriaal de juiste pompdrukken bereikt kunnen worden om een stabiele kolom te verkrijgen.

De geïnjecteerde specie dient zich homogeen met de aanwezige grond te vermengen, waarna binding optreedt. De samenstelling van de injectiespecie, de injectiedruk en injectieduur zijn afhankelijk van de eigenschappen van de grond en van de weerstand die bereikt moet worden.

Net als bij diepwanden en cementbentonietwanden wordt er bij de uitvoering onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire panelen. De panelen die door het frezen en mengen gemaakt worden, hebben een breedte van 2400 mm. De dikte van de panelen bedraagt meestal tussen de 500 en de 550 mm. Voor een goede waterdichte wand te verkrijgen, worden de panelen met een kleine overlap gefreesd.



Afbeelding 2.5.10.2: primaire en secundaire panelen die worden uitgevoerd bij CSM-wanden.

De uitvoeringsvolgorde bedraagt meestal eerst de primaire panelen 1-3-5-... en vervolgens de secundaire panelen 2-4-6-... Afhankelijk van belendingen en de grondsoort kan er ook voor gekozen worden om ook nog met tertiaire panelen te werken.

Materieel {1.1.F}

De wand wordt vervaardigd met twee hydraulische frezen die in tegen gestelde richting van elkaar bewegen. Door middel van drukopnemers die zich op de frees bevinden kan men de steundruk van de groutspecie meten. De druk onderaan is ook de hydraulische druk welke zich in de soilmix-kolom ontwikkeld. Deze druk dient altijd meer te zijn dan de gronddruk, hierdoor vermijdt men zettingen wanneer er naast belendingen gewerkt wordt. Deze hydraulische druk onderaan kan worden bijgestuurd door de pompdrukken en het volume van de grondspecie te regelen, dit gebeurt vanuit de machinecabine.

Naast de hydraulische freesmachine zijn ook een soilmixinstallatie, een cementmixinstallatie, een cementhogedruk pomp en een cementsilo nodig. Deze dienen op of naast de bouwplaats gestationeerd te worden.

Materiaal {1.1.G}

De vloeibare injectiespecie is een mengsel van cement, water en lucht. De water-cement factor varieert tussen 0,5 en 1,8 en is afhankelijk van de grondkarakteristieken.

Invloed op de omgeving {1.1.I}

Doordat het een trillingsvrije en geluidsarme uitvoeringsmethode levert het vervaardigen van een CSM wand weinig overlast op voor de omgeving. Wel neemt het materieel dat ingezet moet worden veel plaats in beslag.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

Het gevaar bij het uitvoeren van een CSM wand, is dat men niet met het oog kan controleren of de grond goed en homogeen is gemengd met voldoende grout. Het is van belang om tijdens de uitvoering de verwerkte hoeveelheden van de injectieproducten te controleren en bij te houden. Na het vervaardigen van de wand en het uitgraven van de bouwkuip kan een controle gedaan worden door cilindrische kernen te boren en de druksterkte hiervan te meten. Na zeven dagen kunnen kernen geboord en getest worden op de druksterkte, buigdruksterkte en het bepalen van de E-modulus.

2.5.11: Jetgrouten

Omschrijving

De techniek Jetgrouten berust op het onder hoge druk injecteren van de grond door middel van stralen van onder meer cement en water (grout). Jetgrouten is ook bekend als hogedrukinjectie (HDI). De grond wordt hierbij losgesneden en vermengd met de geïnjecteerde vloeistof. De poriën van de grond worden geopend met een na enig tijd uithardende vloeistof of suspensie. Na uitharding ontstaan vaste grond-cementelementen die voor verschillende doeleinden gebruikt kunnen worden. Jetgrouten is gebaseerd op het eroderen van de grondstructuur.

Door middel van jetgrouten kan in nagenoeg iedere grondsoort een grond- en waterkerende wand geformeerd worden. De wand is opgebouwd uit overlappende groutkolommen die om en om worden vervaardigd. Het resultaat van het jetgroutproces is afhankelijk van de grondgesteldheid. Cohesieve grondsoorten zijn moeilijker los te snijden dan loskorrelige gronden. De diameters in samenhangende gronden die gerealiseerd kunnen worden zijn dan ook kleiner.

Aangezien het resultaat van jetgrouten van vele factoren afhankelijk is, zijn er nog geen betrouwbare toepasbare rekenmodellen ontwikkeld. Toch dienen de resultaten die bereikt moeten worden binnen bepaalde marges bekend te zijn voor de aanvang van het werk. De parameters voor de uitvoering worden daarom meestal op basis van het grondonderzoek, de ontwerpeisen en ervaringen met referentieprojecten vastgesteld. Indien geen betrouwbare parameters bepaald kunnen worden is het nodig om van te voren een praktijkproef uit te voeren.



Afbeelding 2.5.11.1: Afbeelding waar een jetgroutkolom wordt gemaakt. [30]

Kenmerken {1.1.A}

Jetgrouten	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Ja
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Ja
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja
Maximale diepte	15 meter

Tabel: 2.5.11.1: kenmerken van Jetgrouten

Toepassing {1.1.B}

De techniek jetgrouten kan voor meerdere doeleinden toegepast worden, namelijk voor:

- het herstellen van funderingen;
- het stabiliseren van de grond;
- het aanbrengen van een combinatie van fundering en grondkering, indien tot onder het funderingsniveau van belendende bebouwing gegraven moet worden;
- het afdichten van damwandaansluitingen en damwandlekkages.

Het jetgroutproces is voornamelijk geschikt onder bijzondere omstandigheden, zoals onder belendende funderingen, aangezien het massief zowel een dragende functie als een grond- en waterkerende functie kan vervullen.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van jetgrouten zijn:

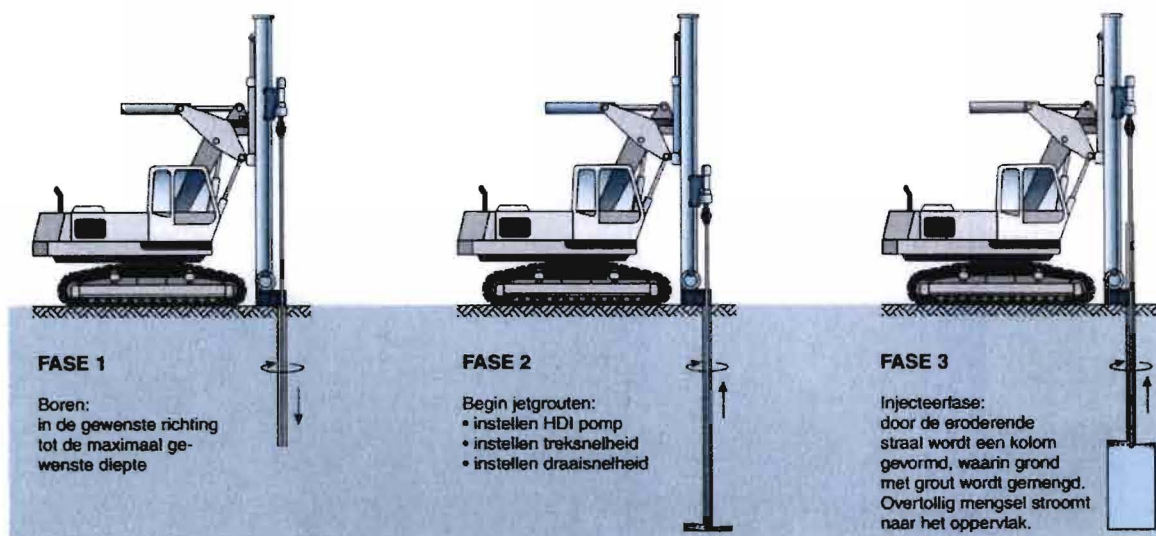
- veel configuratiemogelijkheden;
- de techniek is onafhankelijk voor grondgelaagdheden.

Nadelen van jetgrouten zijn:

- het toepassen van een praktijkproef leidt tot een langere bouwtijd en hogere kosten;
- tijdens de uitvoering altijd rekening houden met retourspoeling;
- de ontstane massieven zijn grillig van vorm;
- grote opstelruimte nodig voor het materieel;
- lange bouwtijd;
- de diameterbepaling: er zijn geen praktische methoden beschikbaar om de diameter en relatie tot de diepte te meten.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Het jetgroutproces vindt plaats vanuit een boorgat. Dit boorgat wordt door middel van spoelboren gemaakt. Vervolgens wordt met dezelfde lans de jetgroutkolom vervaardigd. De injectielans is voorzien van horizontaal gerichte spuitmonden, nozzles genoemd. Met zeer hoge druk wordt vanuit dit boorgat met een injectielans een vloeistof in de grond gestuwd, beginnend op het diepste punt van het boorgat. Door de hoge vloeistofdruk wordt de korrelspanning tijdelijk volledig opgeheven en ontstaat een dikke brij. Door de injectielans te roteren en gelijktijdig langzaam te trekken, wordt er een cilindervormige kolom in de grond gevormd. De treksnelheid dient per verschillende grondlaag aangepast te worden om een enigszins gelijkmatige diameter te verkrijgen.



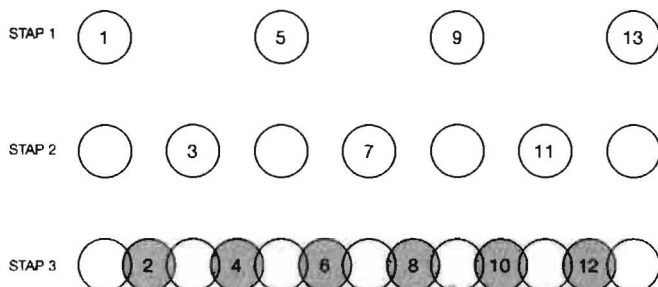
Afbeelding 2.5.11.2: De drie uitvoeringsfasen bij jetgrouten.

Door de toevoer van water en grout zal het geërodeerde grond-watmengsel via de ruimte tussen de injectielans en het boorgat afstromen. Dit materiaal moet worden opgevangen en afgevoerd.

Tijdens het jetgrouten wordt de grond plaatselijk verweekt. Als vuistregel geldt dat een kolom na een dag een zekere sterkte heeft gekregen. Wanneer onder een bestaande fundering een jetgroutkolom wordt gemaakt, vereist dit een grote zorgvuldigheid. Meestal worden dan eerst primaire kolommen gemaakt op een zekere afstand van elkaar. De werkvolgorde bedraagt dan:

- eerst de kolommen 1-5-9-...;
- vervolgens de kolommen 3-7-11-...;
- en tenslotte de kolommen 2-4-6-8-....

Bij dergelijke projecten is het belangrijk om het zettinggedrag van het betreffende object gedurende de uitvoering te meten.



Afbeelding 2.5.11.3: Werkvolgorde voor het maken van jetgroutkolommen onder een fundering.

Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

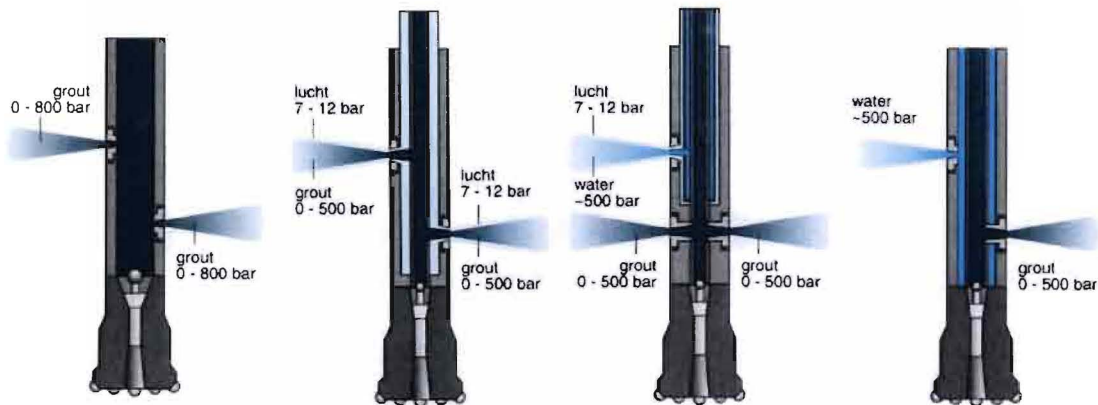
"Bij het jetgrouten kunnen een aantal processystemen worden onderscheiden waarbinnen weer enkele varianten mogelijk zijn, namelijk het eenfasensysteem, het tweefasensysteem, het driefasensysteem en het tweefasenswatersysteem.

Bij het eenfasensysteem wordt via de nozzles cementgebonden grout geïnjecteerd. De straal heeft een gecombineerde snij- en vulfunctie. Met het eenfasensysteem kunnen, afhankelijk van de grondslag beperkte diameters worden gerealiseerd tot ongeveer 1,2 meter.

Het tweefasensysteem is in principe gebaseerd op het vergroten van de reikwijdte van de straal met behulp van een luchtomhulling. De vergrotingsfactor in vergelijking tot het eenfasensysteem kan 2 tot 3 bedragen. De luchtomhulling stabiliseert de straal, zodat deze minder snel uiteen waaiert. De boorlans bij het tweefasensysteem bestaat uit een dubbelwandige buis.

Bij het driefasensysteem worden de snij- en de vulfuncties gescheiden. Via snijnozzles wordt water met luchtomhulling gebruikt om een zeer krachtige snijstraal te vormen. Gelijkijdig wordt via vulnozzles een grout met een aanzienlijk lagere druk in de plastische grondmassa geïnjecteerd. Vergeleken met het tweefasensysteem zijn de realiseerbare sterktes in het driefasensysteem

geringer. Omdat de grout wordt geïnjecteerd in reeds met water bewerkte grond zal de cement-grondverhouding namelijk kleiner zijn dan bij het tweefasensysteem. Een voordeel van het driefasensysteem is er geringere slijtage van de pomp, de leidingen en de nozzles optreedt. Tevens geldt dat water minder viskeus is, zodat er minder drukverlies in het leidingsysteem optreedt. Een afgeleide van het driefasensysteem is het tweefasenwatersysteem. Hierbij bestaat de snijstraal enkel uit water, dus zonder luchtommanteling. De cement wordt met behulp van de vulstralen in de grond gepompt. Dit systeem wordt toegepast wanneer het niet nodig is om de diameter zo groot mogelijk te maken. Voordelen van dit systeem zijn de geringere slijtage en een eenvoudigere afvoer van retourstromen.” [31]

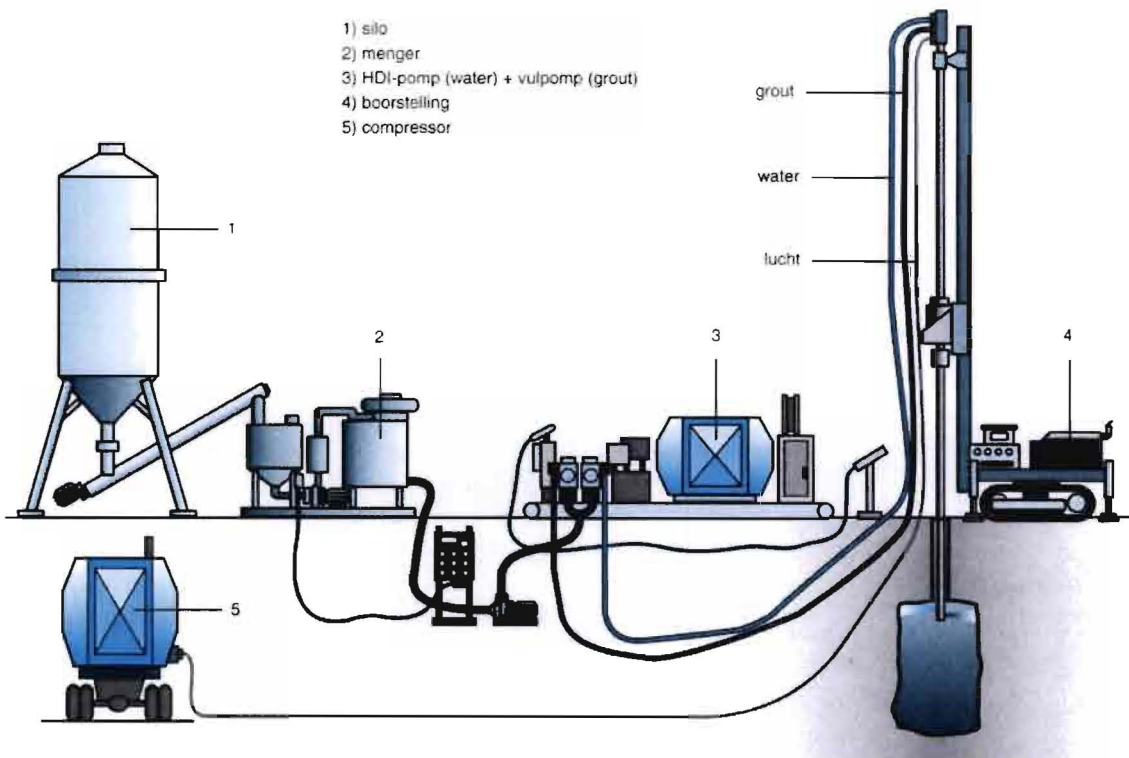


Afbeelding 2.5.11.4: De verschillende processystemen die te onderscheiden zijn bij jetgrouten. Van links naar rechts: het eefasensysteem, het tweefasensysteem, het driefasensysteem en het tweefasenwatersysteem.

Materieel {1.1.F}

Het stationaire materieel wordt op een ruimte nabij de werklocatie opgesteld. Het gaat hierbij om:

- één of meerdere silo's, nodig voor het opslaan van het cement, de cementgebonden producten en de vulstoffen;
- Een menger;
- Een voorraadvat met een roerwerk waarin aangemaakte grout in opslag gehouden wordt;
- Eventueel een buffertank voor het water;
- Een hogedrukpomp;
- Een compressor;
- Een magazijncontainer.



Abbeelding 2.5.11.5: Het benodigde materieel voor het jetgrouten bij het driefasensysteem.

De op elkaar aangesloten onderdelen van bovengenoemd equipment vormen de jetgroutcentrale. Voor de jetgroutcentrale dient rekening te worden gehouden met minimaal 60 m² oppervlakte. De jetgroutcentrale is via slangen aangesloten op de boorkraan. De boorkraan is meestal een hydraulisch aangedreven machine op rupsbanden. Indien er tot op grote diepte geboord moet worden, kan door het aankoppelen van extra boorbuizen het gewenste boorniveau bereikt worden. Voor de jetgroutcentrale dient rekening te worden gehouden met minimaal 60 m² oppervlakte.

Involed op de omgeving {1.1.1}

De techniek jetgrouten is trillingsvrij en geluidsarm. Dit zal weinig tot geen overlast opleveren voor de omgeving. Wel dient er rekening te worden gehouden met de benodigde ruimte voor de jetgroutcentrale. Indien er in de omgeving in de nabijheid van andere funderingen gewerkt moet worden of tot onder funderingsniveau gegraven wordt, is de methode uitermate geschikt om toe te passen en om zettingen van de bestaande funderingen te voorkomen. Wel dient er rekening te worden gehouden met de uitvoeringsvolgorde van te vormen wand. De jetgroutkolommen kunnen niet na elkaar gemaakt worden. Eerst dienen de primaire jetgroutkolommen vervaardigd te worden en vervolgens de secundaire.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

Jetgrouten is een moeilijk beheersbaar proces. Het is moeilijk om controle uit te oefenen op de doorsnede van de paal. Als bijvoorbeeld aan een zijde van de paal toevallig een hardere laag zit, zal de paal hier minder breed worden dan aan de andere zijde. Ook zijn er nog geen betrouwbare rekenmodellen ontwikkeld. Indien referentieprojecten en ervaringen ontbreken, kunnen geen betrouwbare parameters opgesteld worden. Gezien deze factoren is het aan te raden om van te voren op de bouwlocatie een praktijkproef uit te voeren.

2.5.12: Bodeminjecties

Omschrijving

“Niet cohesieve grond, zoals zand en grind, kan geïnjecteerd worden met een mengsel. Dit gebeurt met een relatieve lage injectiedruk. Hiermee worden de korrels aan elkaar gekit of de ruimtes tussen de korrels gevuld. Het is dus een vereiste dat er een bepaalde hoeveelheid poriën in de grond aanwezig is. Dit is bijvoorbeeld niet het geval bij klei of leem. Bij chemische bodeminjecties vindt tijdens het injecteren geen vervanging of mechanische menging plaats zoals bij jetgrouten of MIP, maar alleen opvulling. De chemische injecties worden uitgevoerd door met behulp van injectielansen stoffen in de bodem te brengen.

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen een hardgel en een softgel. De softgel heeft geen constructieve eigenschappen en wordt alleen toegepast voor waterremmende injecties. De hardgel geeft wel sterkte aan de grond. De keuze voor het injectiemiddel wordt bepaald door de doorlatendheid van de grond, de duurzaamheid, de constructieve eisen en de prijs.”



Abbeelding 2.5.12.1: Het uitvoeren van bodeminjectie. [32]

Kenmerken {1.1.A}

Bodeminjecties	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Ja
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Ja
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja

Tabel: 2.5.12.1: kenmerken van bodeminjecties

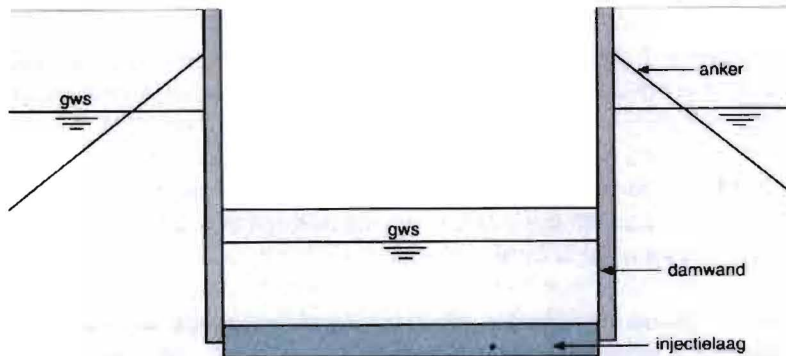
Toepassing {1.1.B}

“Chemische bodeminjecties worden toegepast bij:

- het aanleggen van een waterremmende laag, indien bronbemaling voor het verlagen van de grondwaterstand niet is toegestaan;

- het maken van een vaste bodemstructuur;
- het formeren van grondkerende wanden;
- het ondersteunen van constructies naast ontgravingen;
- het verbeteren van een losse korrelstapeling in zandgrond.

Aangezien chemisch injecteren kostbaar is wordt er voor deze methode over het algemeen slechts gekozen als er geen andere mogelijkheden meer openstaan." [33]



Afbeelding 2.5.12.2: Bouwkuip met een waterremmende bodeminjectie

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van bodeminjecties zijn:

- verbetering van de kwaliteit van de ondergrond;
- er kan trillingsarm gewerkt worden, dus weinig omgevingsoverlast;
- geschikte methode indien er weinig ruimte is om een grondkering aan te brengen.

Nadelen van bodeminjecties zijn:

- chemisch injecteren is kostbaar;
- chemisch injecteren is niet in alle grondsoorten uit te voeren. Er dient sprake te zijn van een homogene niet cohesieve grondlaag;
- de techniek is niet mogelijk bij een te snelle grondwaterstroming;
- de kwaliteitscontrole neemt tijd in beslag.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

Voor het inbrengen van de injectievloeistoffen in de grond wordt gebruik gemaakt van injectiebuisen of slangen. De injectiebuisen worden door middel van intrillen of boren op diepte gebracht. Een grondverhardende injectie wordt trapsgewijs aangebracht. De manchetten worden in de grond aangebracht. Ter hoogte van de uit te voeren injecties zijn perforaties aangebracht, die tijdelijk met een rubber membraam zijn afgedicht. Daardoor is het mogelijk om met behulp van het injectie-element de injectievloeistof op elk gewenst niveau te doseren. Voor het aanbrengen van een dunne afsluitende geleïachte laag waarbij slechts op één niveau behoeft te worden geïnjecteerd, wordt een enkelvoudig injectie-element toegepast. Een slang vormt de verbinding met de injectieinstallatie op het maaiveld.

Het doseren, mengen en verpompen van de injectievloeistof kan bij grotere hoeveelheden gebeuren vanuit geautomatiseerde units. De pompdruk en de verpompte hoeveelheden worden continu gemeten en geregistreerd.

Het injecteren geschiedt volgens een vooraf vastgesteld injectieplan, waarin de per punt te verpompen hoeveelheid en de injectievolgorde in zijn vastgelegd. Van ieder punt wordt het verloop van de injectie geregistreerd en in grafiekvorm weergegeven. Het injectieraster is in belangrijke mate bepalend voor de kwaliteit van de waterremmende laag. De diameter van de geïnjecteerde bollen is afhankelijk van de hart op hart afstand. "Tevens speelt de volgorde van de injecties een rol. Er zijn verschillende volgordes te onderscheiden voor het injecteren, namelijk:

- Golfvront: de injectie vanuit het beginpunt gelijkmatig uitbreiden;
- Dambord: het om en om injecteren van de punten;
- Een combinatie van golfvront en dambord;
- Het injecteren van eerst primaire injectiepunten en vervolgens secundaire injectiepunten. In eerste instantie wordt er door de primaire injectie een ondoorlatend rooster gevormd, waarna de overblijvende ruimten door de secundaire injectie worden gevuld." [34]

Materieel {1.1.F}

Het benodigde materieel voor het injecteren behoeft weinig ruimte. Er is alleen een boorstelling nodig voor het aanbrengen van de injectiebuizen.

Materiaal {1.1.G}

Voor het injecteren van de grond kunnen diverse middelen worden gebruikt, die allen hun eigen toepassingsgebied hebben, afhankelijk van het doel, de bodemeigenschappen en de plaatselijke omstandigheden. In principe kunnen er drie hoofdgroepen worden onderscheiden, namelijk:

- cementen;
- silicaten;
- kunstharsen.

Door reactie van cement met water, silicaat met een harder of kunsthars met een tweede component vormt zich in de grond een vaste stof, de zogenaamde gel. Bij kunstharsen wordt de reactietijd bepaald door de hoeveelheid katalysator in het mengsel.

Invloed op de omgeving {1.1.I}

De techniek is trillingsvrij en geluidsarm en levert weinig overlast op voor de omgeving. Een ander voordeel is dat er geen uitkomende grond vrijkomt. Tevens is het ruimtebeslag dat benodigd is voor het materieel beperkt.

2.5.13: Folieconstructies

Omschrijving

Een folie kan gedefinieerd worden als een dun doek dat geen vloeistof doorlaat en geen buigstijfheid bezit. Onder een folieconstructie wordt een constructie verstaan waarbij een folie als waterafsluitende laag wordt gebruikt. De folie bevindt zich in een dieper gelegen ontgraving waar ten behoeve van het verticale evenwicht een aanaarding op de folie moet plaatsvinden. Het vlies wordt zo diep aangebracht dat het gewicht van het zand en het water erboven voorkomt dat het vlies door de natuurlijke grondwaterdruk eronder opgetild wordt. De tijdelijke ontgraving die nodig is voor het aanbrengen van de folie is groter dan het profiel van het talud dat nodig is tijdens de bouwfase. Het horizontale ruimtebeslag is hierdoor groot.

Kenmerken {1.1.A}

Folieconstructies	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Ja
Grondkerend	Nee
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Nee
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja

Tabel: 2.5.13.1: kenmerken van bodeminjecties

Folieconstructies kunnen worden toegepast voor zowel horizontale als verticale waterdichte scheidingen, maar ze kunnen niet constructief gebruikt worden. Folieconstructies zijn toepasbaar voor het vervaardigen van zowel gesloten bouwputten en gesloten bouwkuipen. Paragraaf 2.4 gaat over uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van gesloten bouwputten. In paragraaf 2.4.1: 'folieconstructies' zijn alle aspecten met betrekking tot folieconstructies reeds behandeld.

2.5.14: Kunstmatige bevroeringstechnieken

Omschrijving

“Bij grondbevroering wordt het aanwezige grondwater bevroren. Het principe bij grondbevroeren is het onttrekken van warmte uit de grond totdat het grondwater bevroren is. Door het bevroeren wordt het bevroren grondmassief waterondoorlatend en neemt de sterkte toe. In vrijwel alle grondsoorten kan grondbevroeren worden toegepast, mits het grondmassief genoeg water bevat (minimaal 10%). Aangezien het vrieslichaam in stand moet worden gehouden en het proces voortdurend gecontroleerd dient te worden is het bevroeren van de grond een kostbaar proces. Daarom is het alleen geschikt voor tijdelijke toepassing.

Het vriespunt van water is 0 °C. Door de aanwezigheid van opgeloste zouten en de oppervlaktespanning van het water kan het vriespunt lager liggen. Ook de grondwaterstroming heeft een nadelige invloed op de vorming van het vrieslichaam.” [35]



Abbeelding 2.5.14.1: Toepassing van grondbevroeren.

Kenmerken {1.1.A}

Kunstmatige bevroeren	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Ja
Horizontale laag	Ja
Grondkerend	Ja
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Nee
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Ja
Bouw- en gebruiksfase	Nee

Tabel: 2.5.14.1: kenmerken van kunstmatig bevroeren

Toepassing {1.1.B}

Kunstmatige grondbevriezing wordt toegepast voor:

- het vervaardigen van grondkerende wanden en ondervanging van belendingen;
- het afdichten van tijdelijke doorvoeringen, bijvoorbeeld een leiding door een damwandgat;
- het bevriezen van verontreinigde grond. Door de keuze voor bevriezen hoeft geen vervuilde grond of grondwater afgevoerd te worden.
- Het afdichten van lekken bij damwandconstructies.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van kunstmatig bevroren zijn:

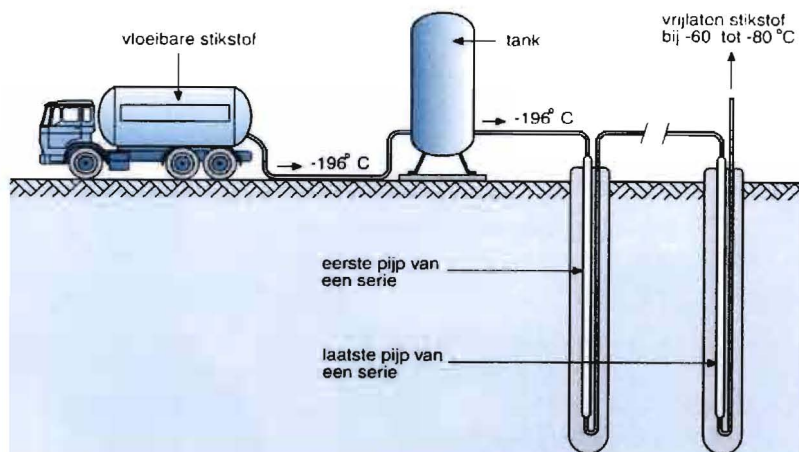
- Trillings- en geluidsarm;
- Toepasbaar in elke grondsoort;
- Betrouwbaar en waterdicht;
- Milieuvriendelijk.

Nadelen van kunstmatig bevroren zijn:

- kostbare methode wegens het instandhouden en monitoren van het vrieslichaam;
- moeilijk toepasbaar bij snelle grondwaterstromen.

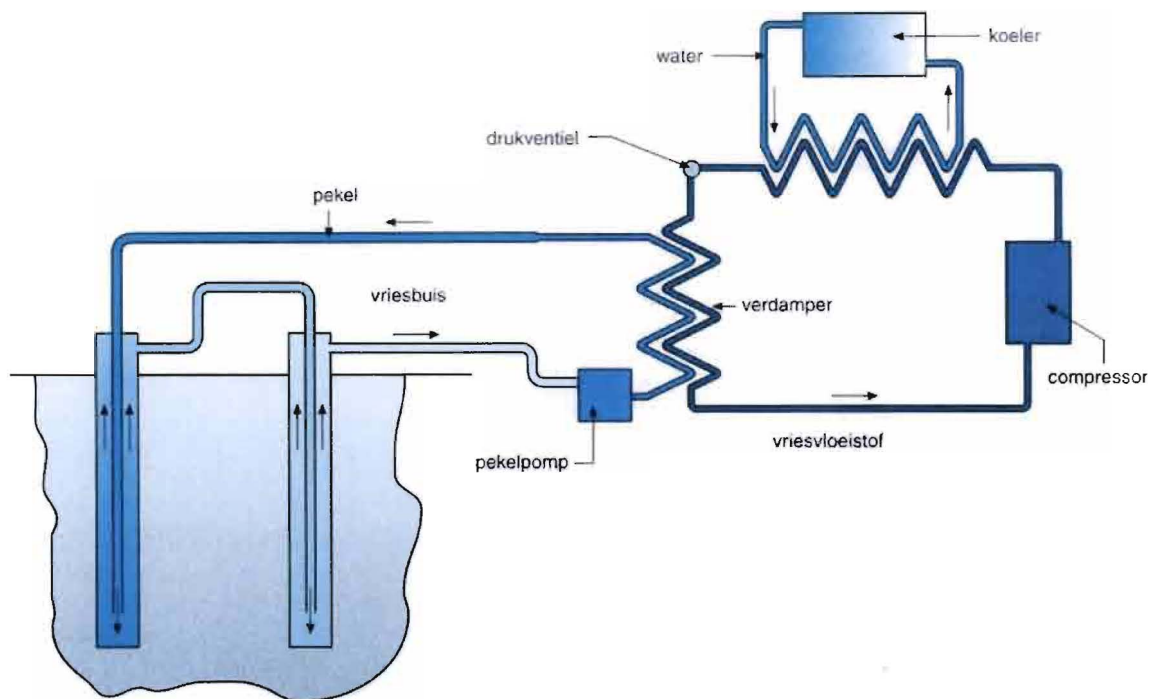
Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

Het bevriezen van de grond kan middels drie systemen. Het eerste systeem wordt het open systeem genoemd. Bij het open systeem wordt het grondwater met behulp van vloeibare stikstof bevroren. De stikstof wordt met speciale tankwagens aangevoerd en in dubbelwandige vaten bewaard bij een temperatuur van $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vanuit de vaten wordt de stikstof naar de leidingen in de grond gepompt. De vriespijpen zijn als dubbele buizen uitgevoerd. Doordat de stikstof in de pijpen verdampt, wordt aan de grond warmte onttrokken. De stikstof komt tenslotte vrij bij een temperatuur van $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Een voordeel van dit systeem is de grote vriessnelheid. Nadelen zijn de hoge kosten en de noodzaak van speciaal materieel dat langdurig tegen lage temperaturen bestand moet zijn. De open methode wordt meestal alleen bij kleine vrieslichamen toegepast.



Abbeelding 2.5.14.2: Het bevroren middels het open systeem met vloeibare stikstof. [36]

Het tweede systeem is het gesloten vriessysteem, ook wel aangeduid als mechanisch vriezen. Het systeem wordt uitgevoerd in twee circuits. Eerst is er een koudebron. Deze bestaat uit een primair circuit die door middel van compressors en koelers de vriesgassen in vloeibare fase brengt. Vervolgens worden deze met een draagvloeistof in het secundaire circuit rondgepompt. Als draagvloeistof wordt in de regel een pekeloplossing gebruikt. Het gesloten systeem heeft ten opzichte van het open systeem een lagere vriessnelheid, maar wordt vanwege de veel lagere kosten vaker toegepast.



Afbeelding 2.5.14.3: Het bevroren middels het gesloten systeem met behulp van een pekeloplossing. [37]

Het derde toegepaste systeem is het gemengde vriessysteem. Dit systeem is een combinatie van het vriezen met behulp van vloeibare stikstof en een pekeloplossing. De pekeloplossing wordt gebruikt voor de ontwikkeling en instandhouding van het vrieslichaam. De vloeibare stikstof wordt gebruikt in het geval van calamiteiten of in sommige gevallen voor de ontwikkeling van het vrieslichaam. Op deze manier worden de voordelen van het open en het gesloten systeem gecombineerd.

Materieel {1.1.F}

Het benodigde materieel is afhankelijk van het toe te passen systeem. Bij het open systeem wordt de vloeibare stikstof middels tankwagens aangevoerd en in tanks opgeslagen. Via leidingen wordt de stikstof in de vriespijpen gepompt.

Het gesloten systeem is opgebouwd uit twee circuits. Voor dit systeem zijn een koeler, een compressor, een drukventiel, een pekelpomp en vriesbuizen nodig.

Invloed op de omgeving {1.1.I}

Het bevroren van de grond is een trillingsarme en geluidsarme methode. Tevens is voor het bevroren van de ondergrond maar een beperkte ruimte benodigd.

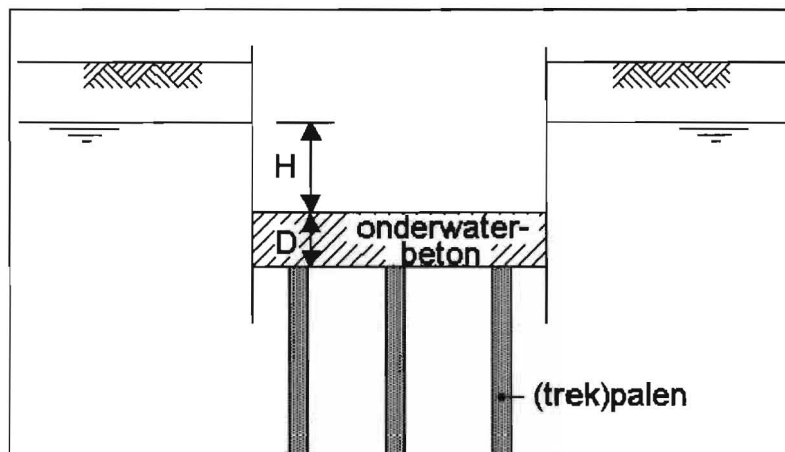
Risico's en maatregelen {1.1.J}

- het uitvallen van de bevroeringsinstallatie; reservematerieel op de bouwplaats aanwezig hebben.

2.5.15: Onderwaterbetonvloer

Omschrijving

Indien er geen sprake is van een natuurlijk aanwezige waterafsluitende laag of indien deze te diep in de grond ligt, kan er een kunstmatige waterafsluitende laag worden aangebracht in de vorm van een onderwaterbetonvloer. Na het aanbrengen van waterdichte wanden zal een bouwkuip ontgraven en gestempeld kunnen worden. De grondwaterstand tussen de wanden blijft hierbij gelijk aan die van de omgeving. De onderwaterbetonvloer is een techniek om een waterdichte bodemafluiting te creëren. In de loop der jaren heeft de onderwaterbetonvloer met trekpalen zich ontwikkeld tot een veelvuldig toegepaste techniek voor bodemafluiting wegens de economische ontwikkelingen en de wettelijke regelgeving om de tijdelijke en permanente onttrekking van grondwater zo veel mogelijk te beperken.



Afbeelding 2.5.15.1: Doorsnede van een bouwkuip met een onderwaterbetonvloer met trekpalen om de grondwaterspanning te kunnen opnemen.

Kenmerken {1.1.A}

Onderwaterbetonvloer	
Toepasbaar als:	
Verticale wanden	Nee
Horizontale laag	Ja
Grondkerend	Nee
Waterkerend	Ja
Dragende functie	Ja
Toepassing gedurende:	
Alleen bouwfase	Nee
Bouw- en gebruiksfase	Ja

Tabel: 2.5.15.1: kenmerken van een onderwaterbetonvloer

Toepassing {1.1.B}

Onderwaterbetonvloeren worden toegepast bij bouwkuipen waar geen natuurlijk aanwezige horizontale waterafsluitende laag is of waar deze zich te diep in de grond bevindt waardoor de kosten voor de verticale wandconstructies te duur worden. Door het creëren van een gesloten bouwkuip kan volstaan worden met open bemaling voor het wegpompen van het hemelwater. Permanente onttrekking van het grondwater of een verlaging van de grondwaterstand in de omgeving is hierdoor niet nodig. Vaak is het ook niet toegestaan om de grondwaterstand te verlagen.

Voordelen en nadelen {1.1.C}

Voordelen van onderwaterbetonvloeren zijn:

- Onderwaterbetonvloeren kunnen de opwaartse waterdruk compenseren;
- Onderwaterbetonvloeren kunnen de bovenbelasting afdragen aan de ondergrond;
- Waterkerend.

Nadelen van onderwaterbetonvloeren zijn:

- Nauwkeurige kwaliteitscontrole is vereist;
- Hoge consistentie nodig om het beton te laten vloeien en zo een vlakke vloer te krijgen;
- De samenhang van het beton moet groot zijn, anders bestaat de mogelijkheid dat het beton ontmengt tijdens het storten.

Uitvoeringsvolgorde {1.1.D}

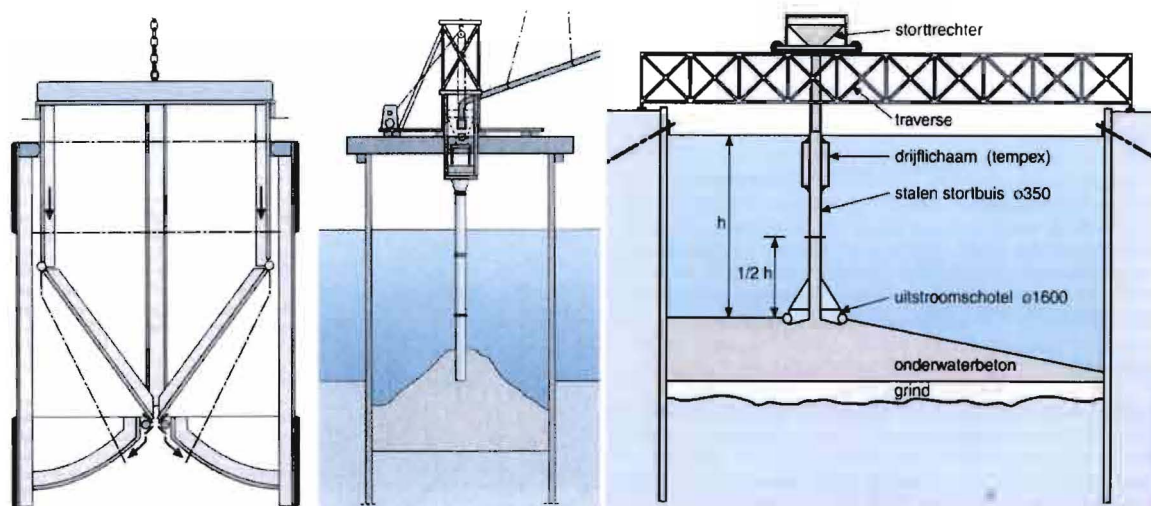
Na het plaatsen van de grondkeringsconstructie vindt ontgraving in den natte plaats. Na een rustperiode wordt de bodem opgeschoond van slib, waarbij de randen en de paalkoppen als speciale aandachtspunten gelden. Bij veengrond dient na het ontgraven altijd grondverbetering te worden toegepast. Bij kleigrond wordt eerst grof en vervolgens fijn ontgraven. Het ontgravingsniveau reikt tot

onder het aanlegniveau van de onderwaterbetonvloer. Om een vlakke bouwkuipbodem te krijgen wordt bij klei vaak uitgevuld met een laag grind. Bij zandgrond kan na het ontgraven en de rustperiode direct het onderwaterbeton op de vlakke bodem gestort worden.

Uitvoeringsvarianten {1.1.E}

"Er zijn verschillende stortmethoden ontwikkeld voor het onder water aanbrengen ofwel vervaardigen van beton. Het meest toegepaste principe is dat waarbij het betonmengsel boven water wordt vervaardigd en met speciaal hiervoor ontwikkelde apparatuur wordt gestort. Stortmethoden bij het boven het water vervaardigen van het betonmengsel zijn:

- Bakken- of kubelmethode: bij deze methode wordt een volle bak of kubel langzaam onder water aangebracht en gelost. Hierbij is de kans op uitspoeling of ontmenging is vrij groot.
- Buismethode: de specie wordt met behulp van een verticale stortbuis of stortkoker in het werk gebracht. Om uitspoeling te voorkomen wordt de onderzijde van de buis voortdurend in de eerder gestorte betonmassa gehouden. De betonspecie wordt met een pomp aangevoerd. Deze methode is minder geschikt voor gestempelde bouwkuipen, omdat het insluiten van water tijdens het passeren van de stempels vrijwel niet te voorkomen is. Wel is het een economische methode voor onderbroken, relatief kleine storten.
- Pompmethode: deze methode kan gezien worden als een verdere ontwikkeling van de buismethode. De beweging van de specie vindt hier plaats doordat er druk wordt uitgeoefend.
- Van de dobbermethode (hopdobbermethode): De hopdopper bestaat uit een stalen buis waaraan zich aan de onderzijde een schotel en aan de bovenzijde een verstelbaar drijflichaam bevindt. Voordelen zijn de relatief eenvoudige controle op hoogtemaatvoering, nauwelijks optredende ontmenging, de afzetting van cementslib, de te bereiken vlakheid en de eenvoud in de uitvoering. Nadeel van de schotel is dat eventueel aanwezige wapening en paalconcentraties al vrij snel een obstakel vormen.
- Ventielmethode: methode met een gesloten systeem. Hierbij wordt de betonspecie op diepte gebracht via een rubberen waterdichte pijp, omsloten door een stalen buis. Door de waterdruk wordt de flexibele buis bij onvoldoende aanvoer van beton dichtgedrukt waardoor insluiting van water wordt voorkomen. Aan de onderzijde van de buis bevindt zich een schild waarmee de betonspecie kan worden uitgevlakt. Een ontwikkeling betreft de ventielvarianten op basis van perslucht. Hierbij kan de flexibele stortpijp aan de onderzijde afgesloten worden. Deze methode is geschikt voor situaties met obstakels zoals palen en stempels." [38]

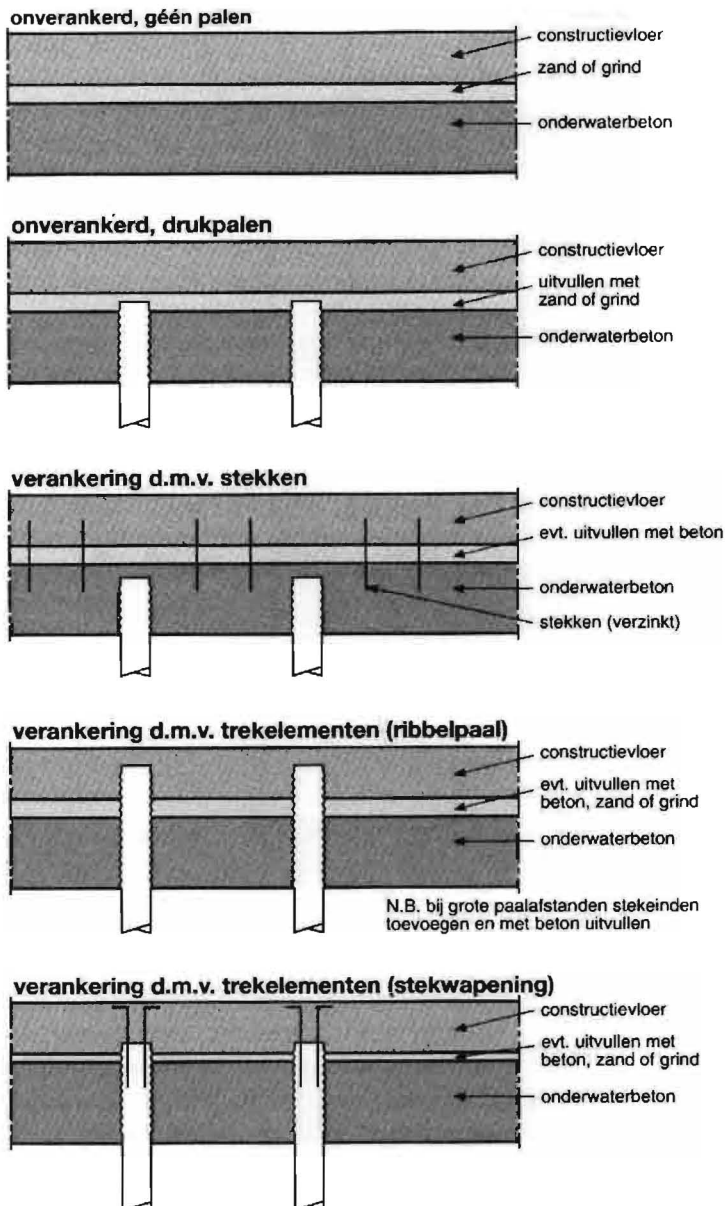


Afbeelding 2.5.15.2: het materieel voor het storten van onderwaterbeton met behulp van een stortbak (links), een stortpijp (midden) of de Hopdobber (rechts).

Tevens bestaat de mogelijkheid om het betonmengsel onder water te vervaardigen. Een onder water op hoogte aangebracht grof mengsel van grind of steenslag wordt achteraf geïnjecteerd met behulp van pijpen. Het grind moet schoon zijn. Ten behoeve van algengroei dient direct na het aanbrengen van het grind geïnjecteerd worden. Aangezien het onmogelijk is om de holle ruimten tussen de grindkorrels volledig te vullen ontstaat een onderwaterbetonvloer met een geringere sterkte en een hogere porositeit. De prijs van zo'n onderwaterbetonvloer is hoger dan van een vloer die met een boven water vervaardigd mengsel is gemaakt.

Bij het vervaardigen van beton onder water is geen directe visuele controle mogelijk. Correcties achteraf zijn uitermate moeilijk en daardoor zeer kostbaar. Verder kan het bij onderwaterbetonvloeren economisch gunstiger zijn om trekelementen te gebruiken om opwaartse waterdruk op te vangen, zodat de onderwaterbetonvloer minder dik hoeft te zijn. Ankers en palen kunnen worden toegepast als trekanker.

Over de interactie tussen de constructievloer en de onderwaterbetonvloer bestaan twee verschillende opvattingen. De eerste is dat hechting tussen de beide vloeren voorkomen moet worden, zodat de constructievloer vrij kan krimpen zonder trekspanningen. Men moet dan tussen de twee vloeren een geschikte uitvullaag aanbrengen. Dit wordt ook wel de uitvullaagmethode genoemd. De tweede opvatting is dat de hechting zo veel mogelijk bevorderd moet worden om daarmee de door krimp optredende trekspanningen te reduceren. Dit is de methode zonder uitvullaag.



Afbeelding 2.5.15.3: Verschillende mogelijkheden voor de constructieve betonvloer op de onderwaterbetonvloer.

Materieel {1.1.F}

Het materieel dat wordt ingezet is afhankelijk van de stortmethode van het onderwaterbeton. Er kan gekozen worden voor een stortbak, een stortpijp, een hopdobber of een hydroventiel. Daarnaast wordt er vaak een ponton ingezet waar vanaf gestort wordt. Tevens wordt er meestal gebruik gemaakt van een betonpomp.

Materiaal {1.1.G}

Door de kans op uitspoeling van cement moet de samenhang van het mengsel zo zijn dat er zo min mogelijk ontmenging optreedt. Tevens dient het mengsel een goede vloerbaarheid bezitten. Een ander middel om uitspoeling te voorkomen is het toepassen van colloïdaal beton. Colloïdaal beton is een betonmengsel waarbij door toevoeging van lijmachtige hulpstoffen, hoofdzakelijk natuurlijke polymeren, een zodanige samenhang wordt verkregen dat bij vrije val door water vrijwel geen uitspoeling meer optreedt. De eigenschappen van beton worden door de toevoeging van deze lijmachtige hulpstoffen niet nadelig beïnvloed.

In het algemeen worden onderwaterbetonvloeren niet gewapend. In de gevallen waarin het wel gebeurt, wordt de wapening na het ontgraven en het vervaardigen van de trekelementen geplaatst. Gelet dient te worden op voldoende dekking van de wapening. De maaswijdte van de wapening moet zodanig zijn dat de betonspecie goed kan uitvloeien.

Invloed op de omgeving {1.1.I}

Door het toepassen van een onderwaterbetonvloer wordt er een kunstmatige horizontale waterafsluitende laag gecreëerd die goed aansluit op de verticale waterdichte wanden. Hierdoor ontstaat er een gesloten bouwkuip waarbij open bemaling kan volstaan. Het is niet nodig om de grondwaterstand in de omgeving te verlagen.

Risico's en maatregelen {1.1.J}

- Slibinsluiting; het verwijderen van het slib in de bouwkuip na een rustperiode.
- Ontmenging; het toepassen van een colloïdaal betonmengsel.
- Krimpscheuren; het toepassen van een uitvullaag.
- Directe visuele controle niet mogelijk; het inzetten van duikers.

2.6 Uitvoeringsmethoden voor het verankeren van bouwkuipen

Bouwkuipen worden toegepast indien er niet genoeg ruimte beschikbaar is voor het graven van een bouwput. Bij bouwkuipen worden de ontgravingen begrensd door verticale wanden, die dienen als grondkering en de toestroming van het grondwater verhinderen. Om buigende momenten en verplaatsingen van de verticale wanden te voorkomen worden bouwkuipen vaak gestempeld of verankerd. Bij verankeringen moet een horizontale trekkracht op de grond worden overbracht. Voor het verankeren van een bouwkuip kunnen meerdere systemen worden toegepast, namelijk:

- ankerschotten of ankerwanden;
- schroefankers;
- schroefinjectieankers;
- groutankers;
- ankerpalen.

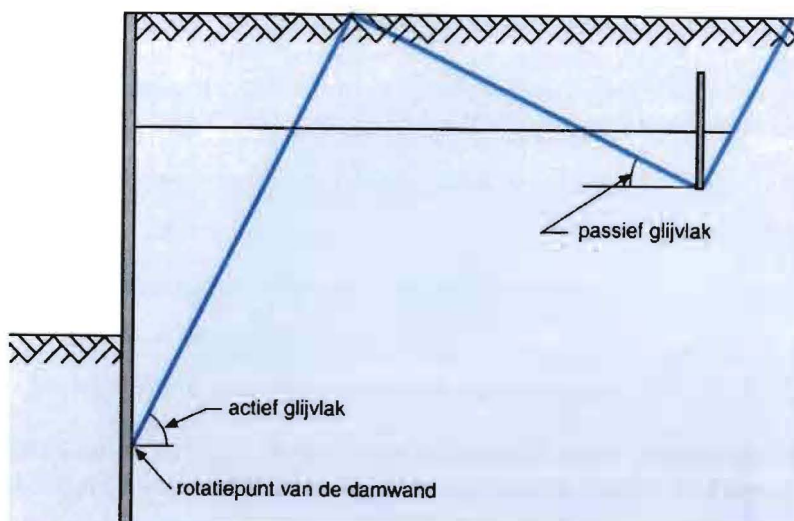
De verschillende verankeringssystemen en het stempelen van een bouwkuip zullen in de komende paragrafen behandeld aan de hand van de kenmerken en de uitvoeringsaspecten.

2.6.1: Ankerschotten of ankerwanden

Omschrijving

Ankerschotten zijn platen of wanden waaraan een ankerwand is bevestigd. Door middel van een ankerstaaf die is verbonden met een ankerwand wordt de bouwkuipwand verankerd. Ankerschotten kunnen van hout, beton of staal zijn.

De ankerwand dient op ruime afstand van de bouwkuip te worden aangebracht. Getracht moet worden dat het actieve glijvlak achter de bouwkuipwand en het passieve glijvlak voor het ankerschot elkaar niet snijden. Indien de glijvlakken elkaar wel snijden, geldt dat er een reductie optreedt van de verankeringskracht. Het aangrijpingspunt van de kracht op het ankerschot hoort op het zwaartepunt van de spanningen te liggen. Bij damwanden in homogene grond die tot aan het maaiveld doorlopen, grijpt de op een derde van de hoogte aan.



Afbeelding 2.6.1.1: het actieve en het passieve glijvlak bij een ankerschot

Kenmerken {1.2.A}

Ankerschotten of ankerwanden	
Krachten die opgenomen kunnen worden:	
Trek	Ja
Druk	Nee
Toepassing:	
Tijdelijk	Ja

Definitief	Ja
------------	----

Tabel 2.6.1.1: kenmerken van ankerschotten of ankerwanden

Toepassing {1.2.B}

Ankerschotten of ankerwanden worden meestal op een geringe diepte toegepast. Ze leveren een horizontale weerstand door een passieve korreldruk op te bouwen.

Voordelen en nadelen {1.2.C}

Voordelen van ankerwanden of ankerschotten zijn:

- Leveren een grote horizontale weerstand op, waardoor het aantal ankerwanden dat toegepast moet worden beperkt is.

Nadelen van ankerwanden of ankerschotten zijn:

- houten ankerschotten kunnen rotten.
- Corrosiebescherming nodig voor de ankerstangen.

Uitvoeringsvolgorde {1.2.D}

Na het plaatsen van het anker dient de ankerplaat aangebracht en gemonteerd te worden. Na montage van de ankerplaat wordt er aangevuld en het aanvulzand dient goed verdicht te worden. Als er zettingsverschillen kunnen optreden tussen het anker en de constructie, dan moet hiermee rekening worden gehouden door bijvoorbeeld de ankerstang in een koker te leggen.

Materieel {1.2.F}

Voor het plaatsen van ankerwanden zijn een graafmachine nodig om de ankerplaat aan te brengen en vervolgens voor het aanvullen van het zand. Na het aanvullen kan de grond met een trilplaat, trilwals of trilstamper verdicht worden.

Materialen {1.2.G}

De ankerschotten kunnen van beton, staal of hout zijn. Als de ankerschotten van hout zijn, dan dienen deze zo geplaatst te worden dat deze zich permanent onder het grondwater niveau bevinden. De ankerstaven kunnen gewone voorspanstaven of voorspanstrengen zijn. Wel dienen deze tegen corrosie beschermd te worden. Dit is met name van belang als het gaat om een permanente toepassing. Het beschermen van de ankerstaven kan door omhulling met een laag bitumen of door een polyetheleenbuis waarbij de ruimte tussen de buis en de staaf met een corrosiewerende pasta wordt gevuld.

2.6.2: Schroefankers

Omschrijving

Schroefankers zijn ankerstaven met aan het einde een opgelast schroefblad. De diameter van het schroefblad ligt meestal tussen de 0,3 en 0,5 meter. De ankerstaaf heeft meestal een diameter van 0,3 meter. Het schroefblad is één spoed lang en levert de horizontale weerstand.

Kenmerken {1.2.A}

Schroefankers	
Krachten die opgenomen kunnen worden:	
Trek	Ja
Druk	Nee
Toepassing:	
Tijdelijk	Ja
Definitief	Nee

Tabel 2.6.2.1: kenmerken van schroefankers

Toepassing {1.2.B}

Schroefankers dienen bij voorkeur op een diepte onder het maaiveld te worden aangebracht die minimaal vijfmaal de diameter is van het schroefblad. Schroefankers kunnen alleen worden toegepast in een niet agressief milieu. Door het indraaien van de schroef slijt namelijk de corrosiebescherming om het staal.

Voordelen en nadelen {1.2.C}

Voordelen van schroefankers zijn:

- makkelijk en snel aan te brengen.

Nadelen van schroefankers zijn:

- Schroefankers zijn niet geschikt voor het verankeren van bouwkuipwanden vanwege de beperkte houdkracht.
- Alleen toepasbaar in een niet agressief milieu.

Uitvoeringsvolgorde {1.2.D}

Schroefankers worden met behulp van een motor ingebracht. Bij het inbrengen in een losgepakt korrelskelet kan enige verdichting optreden waardoor de grond sterker wordt. Omgekeerd kan een dichtgepakt zand een lossere pakking krijgen. Als er een groot indraaimoment nodig is, kan vooraf over de ankerstang een hulpbuis worden gemonteerd om torderen van de ankerstang te voorkomen.

Materieel {1.2.F}

Het materieel bestaat uit een boormotor voor het indraaien van de ankers en eventueel het gebruiken van een hulpbuis om het torderen van de ankerstang te voorkomen.

Materialen {1.2.G}

Schroefankers zijn meestal tijdelijke ankers zonder corrosiebescherming van enkelstaafs staal;

2.6.3: Schroefinjectieankers

Omschrijving

Schroefinjectieankers zijn dikwandige buizen met aan het eind een schroefblad over de lengte van ongeveer één meter.

Kenmerken {1.2.A}

Schroefinjectieankers	
Krachten die opgenomen kunnen worden:	
Trek	Ja
Druk	Nee
Toepassing:	
Tijdelijk	Ja
Definitief	Ja

Tabel 2.6.3.1: kenmerken van schroefinjectieankers



Abbeelding 2.6.3.1: Schroefinjectieankers

Toepassing {1.2.B}

Schroefinjectieankers worden gebruikt voor zowel tijdelijke als definitieve toepassing om bouwkuipwanden te verankeren.

Voordelen en nadelen {1.2.C}

Voordelen van schroefinjectieankers zijn:

- Kunnen grotere krachten opnemen dan schoefankers;
- Zowel tijdelijk als definitief toepasbaar.

Nadelen van schroefinjectieankers zijn:

- Corrosiebescherming is niet volledig betrouwbaar, omdat het niet zeker is dat de ankerstaaf over de gehele doorsnede en de volle lengte met grout omhuld is.
- Constante doorsnede van het groutlichaam is zeer afhankelijk van de snelheid en druk waarmee geïnjecteerd wordt, alsmede van de samenstelling van de grond.

Uitvoeringsvolgorde {1.2.D}

De ankers worden schroevend op diepte gebracht onder voortdurende injectie van cementgrout. Over het vrije ankerdeel kan ook een water of bentonietmengsel worden toegepast. De geïnjecteerde grout dient tevens als corrosiebescherming, maar deze is niet volledig betrouwbaar omdat het niet zeker is dat de ankerstaaf over de gehele doorsnede en de volle lengte met grout omhuld is. Het injectieanker levert de horizontale weerstand door wrijving langs de schacht van het groutlichaam.

Over het traject waar de kracht van het anker moet worden overgedragen aan de omliggende grond wordt de grout onder verhoogde druk geïnjecteerd opdat er een groutlichaam ontstaat. De lengte van het groutlichaam varieert tussen de 4 en de 10 meter, afhankelijk van de op te nemen kracht. De resterende lengte van de buis wordt onder een kleinere druk met grout geïnjecteerd als corrosiebescherming. Door de boorsnelheid te beperken wordt de grout goed met de grond gemengd.

Materieel {1.2.F}

Voor het aanbrengen van de schroefinjectieankers wordt een ankerboormachine gebruikt.

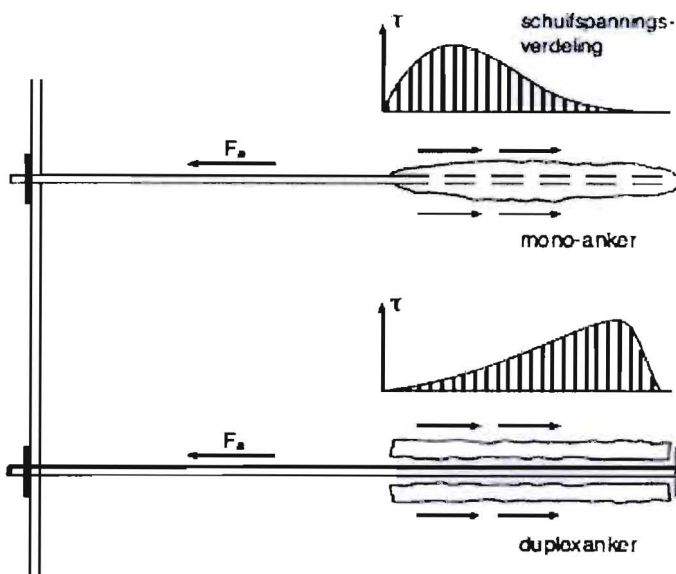
Materialen {1.2.G}

De benodigde materialen zijn de stalen schroefinjectieankers en het cementgrout. Schroefinjectieankers zijn dikwandige buizen met aan het eind een schroefblad van ongeveer een meter. Ze bestaan uit enkelstaafs normaal staal. De corrosiebescherming bestaat uit geïnjekteerde grout vermengd met grond.

2.6.4: Groutankers

Omschrijving

Een groutanker bestaat uit een in de grond gevormd cilindrisch lichaam van cementgrout. De ankerkracht wordt door middel van een stalen voorspanstaaf of voorspanstreng van de bouwkuipwand op het groutlichaam overgebracht. Het groutanker ontleent zijn uittrekkraft aan de schuifweerstand tussen het grondlichaam, dat onder hoge injectiedruk is gevormd, en de omringende grond. Bij de toepassing van een groutanker dient erop gelet te worden dat er voldoende gronddekking op het groutlichaam is en dat het groutlichaam in een voldoende draagkrachtige zandlaag wordt gemaakt. De krachtsoverdracht van de ankerstaaf op het groutlichaam kan op twee manieren geschieden, namelijk vanaf de voorzijde van het groutlichaam (mono-anker) of vanaf de achterzijde van het groutlichaam (duplexanker).



Afbeelding 2.6.4.1: krachtsoverdracht bij groutankers [39]

Kenmerken {1.2.A}

Groutankers	
Krachten die opgenomen kunnen worden:	
Trek	Ja
Druk	Nee
Toepassing:	
Tijdelijk	Ja
Definitief	Ja

Tabel 2.6.4.1: kenmerken van groutankers

Toepassing {1.2.B}

Het plaatsen van groutankers onder een helling maakt het mogelijk om een groutanker onder een belendende bebouwing aan te brengen. In binnensteden leeft steeds meer de wens om een groutanker na afloop van de gebruikperiode te verwijderen. Bij toekomstige bouwactiviteiten kan anders hinder van het anker worden ondervonden. Met het duplexanker is het mogelijk om de stalen staaf of streng volledig uit de grond te verwijderen. Bij het mono-anker kunnen voorzieningen worden aangebracht om het vrije deel van de ankerstaaf te verwijderen. Het deel van de staaf in het groutlichaam blijft hierbij echter in de grond achter.

Voordelen en nadelen {1.2.C}

Voordelen van groutankers zijn:

- Kunnen grotere krachten opnemen dan schoefankers;
- Zowel tijdelijk als definitief toepasbaar.

Nadelen van groutankers zijn:

- Bij het voorspannen van groutankers moet rekening worden gehouden met de afname van de voorspankracht door kruip.

Uitvoeringsvolgorde {1.2.D}

In het algemeen wordt de mantelbuis heidend ingebracht met behulp van een snelslaghamer. Het voordeel van indrijven met een hamer is dat de grond wordt opgespannen. Het anker verdringt de grond, waardoor de korrelspanning toeneemt. Indien met heien niet de gewenste diepte wordt bereikt, wordt overgegaan op de spoelboormethode. Door het spoelboren wordt er grond verwijderd, zodat de korrelspanning afneemt. Met deze methode kunnen ankers ook in vastgepakte zandlagen worden aangebracht.

Nadat de mantelbuis op diepte gebracht is, wordt deze van binnen gereinigd en gevuld met grout. Daarna wordt de ankerstang in de mantelbuis geplaatst. Vervolgens wordt deze buis getrokken en de grout tegelijkertijd onder hoge druk geïnjecteerd. Dit wordt de primaire injectie genoemd. Als de mantelbuis tot de ontwerplengte van het groutlichaam getrokken is, wordt de druk verlaagd. Over het traject van de vrije ankerlengte wordt grout met een geringe overdruk geïnjecteerd. Dit wordt secundaire injectie genoemd.

Uitvoeringsvarianten {1.2.E}

Groutankers kunnen op twee verschillende manieren worden ingebracht, namelijk door:

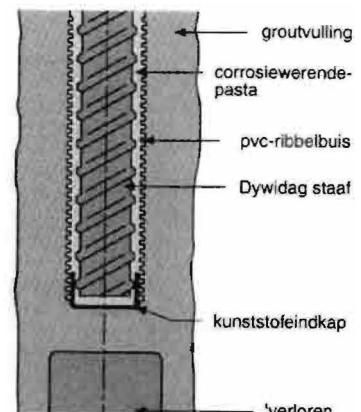
- het indrijven van de mantelbuis met een snelslaghamer;
- het inbrengen van de mantelbuis na het spoelboren.

Materieel {1.2.F}

Het benodigde materieel is afhankelijk van de uitvoeringsvariant. Er kan gekozen worden voor het gebruiken van een snelslaghamer of een spoelboor. Tevens worden vaak ankerstoelen toegepast om groutankers onder een helling aan te brengen.

Materialen {1.2.G}

Groutankers worden meestal geheel tegen corrosie beschermd. Soms wordt ter plaatse van het groutlichaam een kunststofribbelbuis aangebracht die ervoor zorgt dat bij een grote scheur het staal niet kan roesten. De geribbelde vorm zorgt voor de krachtoverdracht.

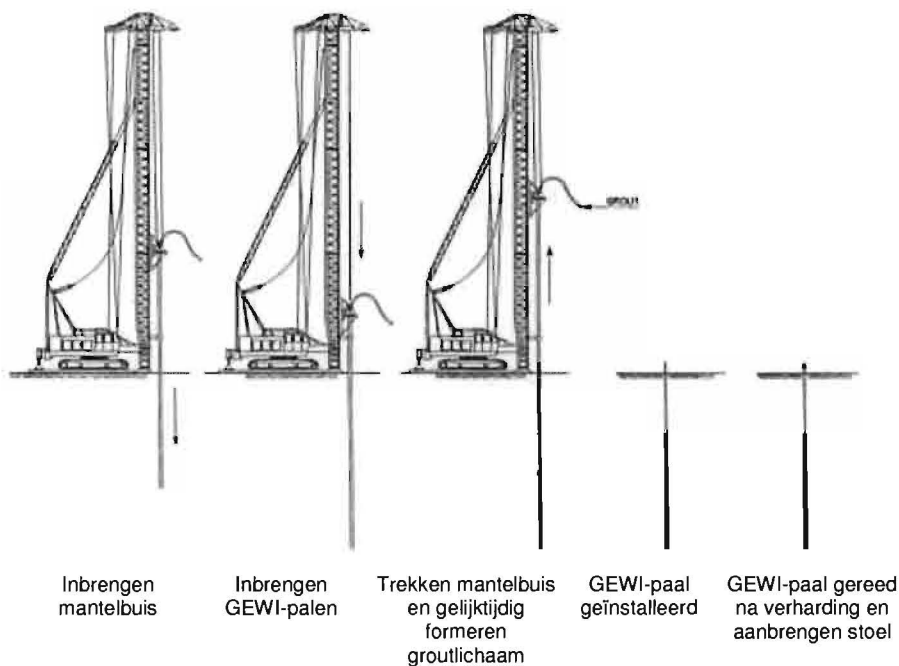


Afbeelding 2.6.4.2: Detaillering van een groutankers

Permanente ankers worden vaak voorzien van een dubbele bescherming of van een mantel, waarbij de ruimte tussen de mantel en de stang wordt opgevuld met een corrosiewerende pasta.

Een voorbeeld van groutankers die vaak worden toegepast voor het verankeren van een onderwaterbetonvloer zijn GEWI-palen. "GEWI-palen zijn slanke funderingselementen die verticaal en schoor kunnen worden toegepast. Ze zijn in staat om zowel druk- als trekbelastingen naar de ondergrond over te brengen. De GEWI-paal bestaat uit een hoogwaardige stalen staaf die aan de buitenzijde is voorzien van een grof gerolde draad. Over het gedeelte van de paal dat de belasting moet overdragen op de ondergrond wordt onder hoge druk een cirkelvormig cementgrout lichaam aangebracht." [40]

De GEWI staven worden aangebracht in een mantelbuis die door middel van boren, heien of trillen op diepte wordt gebracht. De GEWI-staaf kan indien nodig voorzien worden van een corrosiebescherming en in de mantelbuis worden aangebracht. Nadat de groutomhulling voldoende is verhard, kan de kop van de GEWI-paal worden bevestigd met behulp van een ankerplaat met moer waarna de paal kan worden belast aan de constructie.



Abbeelding 2.6.4.3: Uitvoeringsvolgorde voor het aanbrengen van GEWI-palen [41]

2.6.5: Ankerpalen

Omschrijving

Ankerpalen zijn gewone op trek belaste palen. Door ze schoor te zetten kunnen ze een horizontale kracht op een draagkrachtige grondlaag overbrengen. De palen ontlenen hun trekkracht aan de schachtwrijving over de effectieve lengte van de paal. De effectieve lengte is de afstand van de paalpunt tot het snijpunt met het actieve glijvlak.

Kenmerken {1.2.A}

Ankerpalen	
Krachten die opgenomen kunnen worden:	
Trek	Ja
Druk	Ja
Toepassing:	

Tijdelijk	Nee
Definitief	Ja

Tabel 2.6.5.1: kenmerken van ankerpalen

Toepassing {1.2.B}

Ankerpalen worden toegepast om grote krachten te kunnen opnemen.

Voordelen en nadelen {1.2.C}

Voordelen van ankerpalen zijn:

- Ankerpalen kunnen grote krachten opnemen;
- Ankerpalen zijn met uitzondering van stalen profielen en buizen niet gevoelig zijn voor corrosie zolang de scheurwijdte beperkt blijft.

Nadelen van ankerpalen zijn:

- Dure uitvoeringsmethode ten opzichte van andere verankeringsmethoden;
- Het inbrengen van de ankerpalen kan trillingen en geluidsoverlast veroorzaken;
- Lange uitvoeringstijd ten opzichte van andere verankeringsmethoden.

Uitvoeringsvolgorde {1.2.D}

De uitvoeringsvolgorde is afhankelijk van het type ankerpaal dat wordt toegepast. Prefab betonnen palen worden aangebracht door te heien of te trillen. Bij MV-palen wordt er een stalen paal de grond in geheid, waarbij tijdens het heien grout van onderaf langs de schacht wordt aangebracht. De groutkolom staat stil ten opzichte van de grond. Door het injecteren van grout wordt een hoge schachtwrijving bereikt.

Vibropalen zijn in de grond gevormde grondverdringende betonpalen. Als eerste worden een stalen hulpbuis, die voorzien is van een voetplaat, in de grond geheid. Vervolgens wordt er wapening in de hulpbuis aangebracht en hierna volgestort met beton. Als laatste wordt de stalen hulpbuis uit de grond getrokken. De voetplaat blijft in de grond achter.

Boorpalen zijn in de grond gevormde betonpalen die gemaakt worden door een gat in de grond te boren, dat gesteund wordt met bentonietspoeling. Met behulp van een stortpijp wordt het gat van onderaf gevuld met beton.

Uitvoeringsvarianten {1.2.E}

Ankerpalen kunnen aangebracht worden door ze te heien, te trillen of te boren. De uitvoeringsvariant is afhankelijk van het type ankerpaal dat wordt toegepast. Aspecten die een rol spelen in de keuze zijn de kosten, de uitvoeringsgevoeligheid, trillingshinder, geluidhinder en de benodigde draagdracht.

Materieel {1.2.F}

Afhankelijk van de uitvoeringsmethode is een heimachine, een trilblok of een boorstelling nodig.

Materialen {1.2.G}

Versillende typen palen kunnen als ankerpaal gebruikt worden. Voorbeelden zijn de MV-paal (dit is een geheide stalen paal waarbij tijdens het heien grout van onderaf langs de schacht wordt aangebracht om een hogere schachtwrijving te bereiken), de prefab betonpaal, de vibropaal en de Gewi-ankers. Al deze paaltypen kunnen zowel op trek als op druk worden belast.

2.6.6: Stempelen van bouwkuipen

Omschrijving

Met stempels kunnen bouwkuipwanden op elkaar worden afgestempeld. Deze methode kan aantrekkelijk zijn om economische redenen of indien er geen toestemming wordt verkregen om ankers of palen buiten de bouwkuipwand toe te passen.



Afbeelding 2.6.6.1: Bouwkuip met stalen damwanden die onderling zijn gestempeld,

Kenmerken {1.2.A}

Stempelconstructie	
Krachten die opgenomen kunnen worden:	
Trek	Nee
Druk	Ja
Toepassing:	
Tijdelijk	Ja
Definitief	Nee

Tabel 2.6.6.1: kenmerken van stempelconstructies

Toepassing {1.2.B}

Stempelconstructies worden toegepast indien er geen toestemming wordt verkregen om ankers of palen buiten de bouwkuipwand toe te passen. Ook is het een economisch aantrekkelijke methode aangezien het staal na het verwijderen van de staalconstructie weer verkocht of opnieuw gebruikt kan worden.

Voordelen en nadelen {1.2.C}

Voordelen van stempelconstructies zijn:

- Economische aantrekkelijke oplossing;
- Geen verankering buiten de bouwkuip nodig.

Nadelen van stempelconstructies zijn:

- Overige bouwwerkzaamheden belemmerd kunnen worden door de stempels;
- Alleen tijdelijk toepasbaar.

Uitvoeringsvolgorde {1.2.D}

Meestal worden er extra gordingen aangebracht om de krachten van de bouwkuipwand over te dragen naar de stempels. Deze gordingen worden vast gelast aan de bouwkuipwand. Vervolgens worden tussen de gordingen de stempelbuizen of stempelprofielen gelegd met behulp van een hijskraan.

Materieel {1.2.F}

De stempels worden aangebracht met behulp van een hijskraan. Tevens worden de gordingen vaak aan bijvoorbeeld damwanden vast gelast. Hiervoor zijn lasapparatuur en lasstaven nodig.

Materialen {1.2.G}

Stempels kunnen worden uitgevoerd in staal of gewapend beton. Voor tijdelijke constructies wordt meestal gekozen voor stalen stempels. In verband met de gunstige knikstabiliteit worden meestal stalen buizen toegepast. Als een stempel een permanente functie heeft, is gewapend beton het aangewezen materiaal. Denk hierbij bijvoorbeeld bij de wanden-dak-methode waarbij de vloer als stempel uitgevoerd kan worden.

2.7 Samenvatting van de verschillende uitvoeringsmethoden

Voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies kan onderscheid worden gemaakt tussen bouwputten en bouwkuipen. Bij open bouwputten of bouwkuipen is geen sprake van verticale of horizontale waterkering. Gesloten bouwputten of bouwkuipen worden gekenmerkt door waterdichte verticale begrenzingen die aansluiten op een horizontale onderafsluiting.

De verschillende uitvoeringsmethoden kunnen worden onderverdeeld in een aantal kenmerken. Sommige kunnen worden toegepast voor het vervaardigen van een horizontale kering of een verticale kering, andere technieken kunnen zowel horizontaal als verticaal toegepast worden. Niet elke uitvoeringsmethode levert een grondkerende of waterkerende constructie op. In sommige gevallen kan de keringsconstructie de functie van de fundering gedeeltelijk of geheel overnemen. De keringsconstructie vervult dan een dragende functie. Daarnaast kan er ook nog een onderscheid worden gemaakt of de keringsconstructie tijdelijk dan wel definitief toegepast kan worden. Tijdelijke constructies worden alleen gedurende de bouwfase toegepast, definitieve constructies zowel tijdens de bouwfase als de gebruiksfase van het gebouw. In tabel 2.7.1 staan de kenmerken nog een keer samengevat voor de verschillende uitvoeringsmethoden.

Uitvoeringsmethode	Toepassing		Toepassing		Dragende functie		Levensduur constructie	
	Verticaal	Horizontaal	Grondkerend	Waterkerend	Ja	Nee	Bouw- & gebruiksfase	Bouwfase
Open bouwputten								
Taluds	x		x			x	x	x
Steunbermen	x		x			x	x	x
Open bouwkuip								
Berlinerwanden	x		x		x		x	x
Gesloten bouwput								
Folieconstructies icm talud	x	x		x		x	x	x
Gesloten bouwkuipen								
Stalen damwanden	x		x	x	x		x	x
Betonnen damwanden / spanwand	x		x	x	x		x	x
Houten damwanden	x		x	x		x		x
Diepwanden	x		x	x	x		x	
Palenwanden	x		x	x	x		x	
Combiwand	x		x	x	x		x	
Combinatiescherm	x		x	x	x		x	
Mix-In-Place	x		x			x	x	
FMI (frees meng injectie)	x		x			x	x	
Cutter Soil Mix (CSM)	x		x	x	x		x	
Cementbentonietwanden	x			x		x	x	
Jetgrouten	x	x	x	x	x		x	
Bodeminjecties	x	x	x	x	x		x	
Folieconstructies	x	x		x		x	x	
Kunstmatige bevriezingstechnieken	x	x	x	x		x		x
Onderwater betonvloer		x		x	x		x	

Tabel 2.7.1: de kenmerken voor de verschillende uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies.

Bouwkuipen dienen vaak verankerd of gestempeld te worden om buigende momenten, vervormingen en zettingen te beperken. Verankeringen moeten horizontale trekkrachten kunnen overbrengen op de grond. Tevens worden verankeringsconstructies toegepast om het openbarsten van de grond te voorkomen wanneer de opwaartse druk van het spanningswater onder de afsluitende laag groter is het gewicht van de putbodem. Deze ankers moeten ook drukbelasting kunnen opnemen als ze onderdeel zijn van de funderingsconstructie.

Stempelconstructies zijn altijd tijdelijk. Een nadeel van stempelconstructies is dat ze tijdens de uitvoering in de weg zetten en dus obstakels zijn. Dit probleem is niet het geval met verankeringen. Verankeringen zitten buiten de bouwkuip en kunnen bij toekomstige werkzaamheden in de weg zitten. Hierdoor wordt bij het verkrijgen van vergunningen vaak geëist dat deze na het vervaardigen van de bouwkuip weer verwijderd moeten worden.

Verankeringsmethoden	Trek	Druk	Definitief	Tijdelijk
Ankerschotten of ankerwanden	x		x	x
Schroefankers	x			x
schroefinjectieankers	x		x	x
Groutankers	x		x	x
GEWI-palen	x	x	x	x
Ankerpalen	x	x	x	
Stempels		x		x

Tabel 2.7.2: Overzicht van de verschillende verankeringsmethoden bij grond- en waterkeringsconstructies.

3. Keuzefactoren voor het kiezen van de optimale bouwmethode voor de grond- en waterkeringsconstructie

{probleemstelling 2}

3.1 Inleiding

Nadat de huidige uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies in beeld zijn gebracht, zal er een keuze tussen de uitvoeringsmethoden gemaakt moeten worden. Die keuze wordt gebaseerd op een aantal verschillende gegevens en factoren. De keuzefactoren kunnen worden onderverdeeld in de categorieën:

- *'Ontwerp'*
Het ontwerp van het betreffende gebouw en het ontwerp van het uitvoeringsproces. Hierbij dient ook gedacht te worden aan de aspecten duurzaamheid, gewenste kwaliteit en onderhoud.
- *'Situatie'*
De omstandigheden die specifiek voor de locatie gelden, zoals de bodemopbouw, problemen met het grondwaterniveau en (omliggende) belendingen.
- *'Kennis'*
De benodigde kennis die nodig is voor het onderzoeken van de verscheidene mogelijkheden, als de beschikbare kennis van de huidige varianten. Tevens ook de ervaring met dergelijke projecten. De benodigde kennis heeft betrekking op de normen en regelgevingen die gelden, alsmede op de beheersmiddelen die een rol spelen om het uitvoeringsproces te bewaken.
- *'Uitvoeringsmiddelen'*
De benodigde inzet van arbeid en materieel bij het uitvoeringsproces.

In het plan van aanpak voor de tweede probleemstelling zal per categorie precies worden aangegeven wat onderzocht dient te worden en welke gegevens het onderzoek dient op te leveren. Tevens wordt aangeven op welke manier de gegevens verkregen zullen worden.

3.2 Ontwerpaspecten die invloed hebben op de keuze van de uitvoeringsmethode voor grond- en waterkeringsconstructies.

{Onderzoeksvraag 2.1}

Het ontwerp van een gebouw stelt eisen aan het definitieve ontwerp. De ontwerpeisen hebben invloed op de keuze van de grond- en waterkeringsconstructie die toegepast moet worden. Te denken valt aan functionele eisen, esthetische eisen, eisen met betrekking tot de duurzaamheid van de constructie, constructieve eisen en eisen met betrekking tot toekomstige plannen. In deze paragraaf zullen de ontwerpeisen die van belang zijn voor de keuze toegelicht worden en zullen de mogelijke consequenties voor de keuze van de verschillende uitvoeringsmethoden, zoals beschreven in hoofdstuk 2, aangegeven worden.

3.2.1 Ontwerpeisen {2.1.A}

Als eerste kunnen de afmetingen van het te vervaardigen ontwerp een rol spelen in de keuze. De omtrek van het gebouw, bepaald door de lengte en breedte, heeft geen directe invloed op de keuze van de uitvoeringsmethode. Indirect spelen deze afmetingen wel een rol spelen bij het opstellen van een vergelijking van de bouwkosten en of er een bouwput of bouwkuip toegepast zal worden. Belangrijker zijn de diepte van het ontwerp en de maximaal vrije hoogte. De diepte van de keringsconstructie is beperkt en verschilt per uitvoeringsmethode. In tabel 3.2.1.1 staan per uitvoeringsmethode de maximale diepte die mogelijk is ten opzichte van het maaiveld.

Verticale keringsconstructies	Maximale diepte	Opmerking
Talud	Onbeperkt	Onbeperkt, indien voldoende ruimte
Folieconstructie	Onbeperkt	
Berliner wand	30 meter	Afhankelijk van verankering en doorsnede profielen
Stalen damwand	31 meter	
Stalen damwand indrukken	15 meter	In combinatie met fluïderen
Spanwand heien	21 meter	
Diepwand graven	100 meter	

Palenwand	40 meter	
Combiwand	40 meter	
Combinatiescherm	21 meter	Diepte beperkt door lengte prefab spanwanden
Mix-In-Place	15 meter	
FMI (frees meng injectie)	9 meter	
Cementbentonietwanden	60 meter	
Jetgrouten	15 meter	Meestal alleen toegepast voor horizontale kering
Bodeminjecties	5 meter	Meestal alleen toegepast voor horizontale kering
Kunstmatige bevroeringstechnieken	10 meter	Afhankelijk van het grondwater

Tabel 3.2.1.1: de maximale diepte die mogelijk is voor de keringsconstructie per bouwmethode.

De maximale diepte die bereikt kan worden is ook afhankelijk van het aantal ankers dat wordt toegepast of hoe de bouwkuip gestempeld wordt. Het kan een eis zijn dat er een grote vrije hoogte gewenst is. Dan is stempelen geen optie en dienen er ankers aangebracht te worden. Het aantal ankerrijen en de hart op hart afstand tussen de ankers is dan afhankelijk van de gewenste vrije hoogte.

Op de tweede plaats kan de architect aan de keringsconstructie eisen stellen aan de materialen die toegepast moeten worden als er geen sprake is van een tijdelijke keringsconstructie. De keringsconstructie kan dan in het zicht blijven. Een voorbeeld hiervan is het project van de nieuwe inrichting van het 18 septemberplein in Eindhoven, waar een ondergrondse fietsenstalling wordt vervaardigd. Bij deze fietsenstalling is door de architect voorgeschreven dat er stalen damwanden toegepast moesten worden die ook in het zicht blijven. Bij de keuze van de uitvoeringsmethode moet dan aan de eisen met betrekking tot materialisatie voldaan worden.

3.2.2 Functionele eisen {2.1.B}

Keringsconstructies hebben een aantal eisen waaraan voldaan moet worden. Afhankelijk van de grondwaterstand en de ontwerpdiepte moet de keringsconstructie waterkerend zijn. Indien de ontwerpdiepte beneden het grondwaterniveau ligt en de grondwaterstand niet verlaagd mag worden, dan moet de keringsconstructie waterdicht zijn. Waterkerende wanden of vloeren dienen de toestroming van grondwater te voorkomen.

Indien er niet voldoende ruimte is om een bouwput te graven, moet er een verticale begrenzing worden toegepast die grondkerend is. De helling van taluds bedraagt meestal 1:3 (breedte : diepte). Is de afstand van het ontwerp tot omliggende gebouwen kleiner dan 1/3 deel van de diepte die ontgraven moet worden, dan is het niet mogelijk om een bouwput te graven. In dat geval zal er een verticale scheiding gecreëerd moeten worden die grondkerend is. Onder een grondkerende constructie wordt verstaan dat deze constructie afschuiving van de grond voorkomt waardoor binnen de ontstane bouwkuip het ontwerp gebouwd kan worden. Een grondkerende constructie hoeft geen verticale krachten van het ontwerp over te dragen naar de ondergrond of de fundering. Andersom is een constructieve constructie wel grondkerend.

Daarnaast is het de vraag of het om een tijdelijke of een definitieve keringsconstructie gaat. Tijdelijke keringsconstructies worden na het vervaardigen van de bouw verwijderd. Niet alle keringswanden kunnen verwijderd worden.

Het is dus van belang om bij de keuze meteen af te vragen of de keringsconstructie waterkerend en/of grondkerend dient te zijn en of deze tijdelijk of definitief toegepast wordt. In tabel 2.7.1 wordt aangegeven welke uitvoeringsmethoden leiden tot een waterkerende of grondkerende constructie en of ze tijdelijk of definitief toegepast kunnen worden.

3.2.3 Esthetische eisen {2.1.C}

Meestal is er geen sprake van dat de keringsconstructie in het zicht blijft. De keringsconstructie is tijdelijk of bevindt zich onder de grond. Indien er sprake is van een definitieve keringsconstructie waarbij de binnenzijde wel in het zicht blijft, kunnen er esthetische eisen gesteld worden. Esthetische eisen kunnen gesteld worden aan de materialisatie en het oppervlak dat in het zicht blijft. Ook aan de maatafwijkingen die kunnen optreden kunnen maximaal toelaatbare eisen worden gesteld. Door het beperken van maatafwijkingen kunnen problemen met de afwerking en de waterdichtheid van de constructie worden voorkomen. Maatafwijkingen leiden niet alleen tot esthetische problemen, maar ook tot problemen met betrekking tot functieverlies of duurzaamheid.

3.2.4 Duurzaamheid {2.1.D}

Bij definitieve keringsconstructies kunnen eisen gesteld worden met betrekking tot de duurzaamheid van de constructie. De duurzaamheid wordt bepaald door de levensduur van de constructie, de mate van onderhoud en de mogelijkheid tot onderhoud. Vanuit het oogpunt van de aannemer dient gekeken te worden of de extra kosten om de constructie duurzamer te maken, waardoor geen of minder onderhoud nodig is, opwegen tegen de onderhoudskosten die binnen de garantieperiode of het onderhoudscontract vallen.

Aspecten die een rol spelen in de duurzaamheid van een constructie zijn de gevoeligheid voor vocht, de gevoeligheid voor vorst, de vorstbestendigheid, de weerstand tegen slijtage, de weerstand tegen erosie en de chemische en fysische stabiliteit van de constructie.

Bij betonnen constructies is het van belang dat er voldoende de betondekking is ten opzichte van de wapening. Bij keringsconstructies van staal kan het staal door verven of kathodiseren duurzamer worden gemaakt. Ook de ankers die toegepast worden moeten beschermd zijn tegen corrosie. Bij toepassing van houten keringsconstructies is het van belang dat er geen houtrot optreedt.

Indien de wanden hun waterkerende functie verliezen door bijvoorbeeld het optreden van zettingen, vervormingen, roesten of rotten dan kunnen deze lekkages door plaatselijke bodeminjecties opgelost worden.

3.2.5 Constructieve eisen {2.1.E}

Keringsconstructies kunnen een dragende functie vervullen. Als een keringsconstructie een dragende functie vervult, dan worden er via de keringsconstructie krachten afgedragen op een dieper gelegen draagkrachtige laag. Niet alle keringsconstructies kunnen een dragende functie vervullen. In tabel 2.7.1 staat per uitvoeringsmethode aangegeven of de verkregen keringsconstructie een dragende functie kan vervullen.

Naast een dragende functie moet ook berekend worden of de wand de afschuiving van de grond kan voorkomen en of deze wanden niet te veel uitbuigen. Als bijvoorbeeld de keringsconstructie definitief in de grond blijft zitten en als bekisting wordt gebruikt voor het vervaardigen van in het werk gestorte betonnen muren dan moet er getracht worden dat de wand overal even dik zal worden en dat er voldoende dekking is voor de wapening. Door het aanbrengen van ankers of een stempelconstructie kunnen vervormingen beperkt worden en kan de afschuiving van de grond voorkomen worden. Bij een stempelconstructie dient er rekening te worden gehouden dat deze tijdelijk is. De constructieve werking van het stempelraam dient dan door bijvoorbeeld een (verdiepings)vloer overgenomen worden.

3.2.6 Toekomstige plannen en eisen {2.1.F}

Vaak komt het voor dat gebouwen erop ontworpen worden met de mogelijkheid dat deze na enkele jaren uitgebreid kunnen worden. Bij het toepassen van een definitieve keringsconstructie kan dit leiden tot problemen. Ook ankers die aangebracht moeten worden, blijven vaak in de grond zitten. Gemeenten kunnen hier bezwaar tegen maken en geen vergunning verlenen. In dat geval moeten de ankers verwijderd worden en zullen de horizontale krachten op de keringswanden overgedragen worden op de definitieve constructie. Deze constructie dient hier op berekend te zijn. Een andere mogelijkheid is de bouwkuip dan te stempelen. Na het verwijderen van de stempels dient de definitieve constructie ook de horizontale krachten op te kunnen vangen.

3.2.7 Conclusie onderzoeksvraag 2.1

Kijkend naar de ontwerpfactoren blijkt dat de vraag gesteld moet worden welke uitvoeringsmethode niet of juist wel mogelijk zijn om toe te passen aan de hand van het ontwerp. Door het beantwoorden van enkele vragen is het mogelijk om direct enkele uitvoeringsmethoden weg te strepen. Deze uitvoeringsmethoden hoeven dan bij een variantenstudie niet meer onderzocht te worden. Het gaat hierbij om de vragen:

- Dient de constructie waterkerend te zijn?
- Dient de constructie grondkerend te zijn?
- Moet de constructie een dragende functie vervullen?
- Wat is de ontwerpdiepte?
- Is uitbreiding in de toekomst mogelijk?

Door het beantwoorden van deze vragen kunnen enkele uitvoeringsmethoden uitgesloten worden. In combinatie van de omgevingsfactoren van de bouwplaats, die behandeld worden in paragraaf 3.3, zullen in hoofdstuk 4 de relaties tussen de factoren en de uitvoeringsmethoden aan de hand van beantwoording van deze vragen weergegeven worden.

3.3 Situatie van de bouwplaats

{Onderzoeksvraag 2.2}

3.3.1 Inleiding

Bouwprojecten zijn ieder op zich uniek. Doordat er steeds op een andere locatie wordt gebouwd, zijn er steeds andere omstandigheden die een rol spelen bij het ontwerpproces, het voorbereidingsproces en het uitvoeringsproces. Bouwplaatsen zijn te omschrijven aan de hand van enkele gegevens die onder te verdelen zijn in:

- Geotechnische aspecten;
- Geohydrologische aspecten;
- Invloedsaspecten op de omgeving;
- Belendingen.

In de komende paragrafen zal behandeld worden welke gegevens een rol spelen in de keuze van de uitvoeringsmethode.

3.3.2 Geotechnische aspecten {2.2.A}

Bij het bouwen in Nederland heeft men te maken met de typische aard van de Nederlandse grondgesteldheid: meestal zeer slappe toplagen, een hoge grondwaterstand en een grote variatie in grondsoorten, zowel in verticale als horizontale richting. Geotechniek wordt in het woordenboek omschreven als: "de toegepaste wetenschap die zich bezig houdt met het bestuderen van het gedrag van grond en rots ten behoeve van het ontwerpen en tot stand brengen van grondwerken en kunstwerken." [42] In de Nederlandse normeringen wordt een geotechnische constructie gedefinieerd als: "constructie waarbij de mechanische eigenschappen van de grond bepalend zijn voor de stabiliteit, de maximum draagkracht en de vervormingen." [43]

Door het uitvoeren van grondonderzoek middels sonderingen kunnen geotechnische grondprofielen weergegeven worden. Bij sonderingen wordt de conusweerstand en de wrijvingsweerstand weergegeven in relatie van de diepte ten opzichte van het maaiveldniveau. Bij het tekenen van de grondprofielen is het dan wel van groot belang dat de maaiveldhoogten ter plaatse van de sonderingen zijn gerelateerd aan NAP of aan een duidelijk vast peil. Aan de hand van de geotechnische grondprofielen, in meerdere richtingen, kan een ruimtelijk inzicht van de bodemopbouw verkregen worden. De profielen geven dan een indicatie van de ruimtelijke spreiding van dikte en ligging van de verschillende grondlagen.

Grondsoort	Conusweerstand [Mpa]	Wrijvingsgetal
grind	>10	0.2-0.5
grof zand	>10	0.4-0.6
zand	>5	0.6-1.0
zand, siltig	>4	0.8-1.4
zand, kleilig	>2	1.0-2.0
leem	1-3	2.0-4.0
klei, vast	0-8	2.0-4.0
klei, matig	0-4	3.0-5.0
klei, slap	0-2	4.0-6.0
potklei	2-5	5.0-7.0
venige klei	0-6	5.0-8.0
veen	0-4	5.0-10.0

Tabel 3.3.2.1: Indicatieve waarden voor de conusweerstand en het wrijvingsgetal van verschillende grondsoorten.

De conusweerstand kan invloed hebben op de keuze van de uitvoeringsmethode. Bij grondsoorten met een grote conusweerstand kunnen er problemen optreden met het heien of trillen van bijvoorbeeld damwanden. De maximaal toelaatbare trillingen kunnen dan overschreden worden of de damwanden kunnen niet diep genoeg in de grond worden aangebracht. Met name bij het trillen van damwanden kan niet altijd de gewenste diepte bereikt worden. In zulke omstandigheden kan bijvoorbeeld beter gekozen worden voor diepwanden. Het uitvoeren van diepwanden is een trillingsarm proces en de uitvoering is ook goed mogelijk bij obstakels of grondsoorten die een hoge weerstand leveren.

Fysische eigenschappen:

Grondsoorten kunnen worden omschreven aan de hand van enkele fysische eigenschappen. Deze fysische eigenschappen kunnen invloed hebben op de keuze van de uitvoeringsmethode. Als eerste zullen de fysische eigenschappen beschreven worden en vervolgens zullen de relaties met betrekking tot de keuze van de uitvoeringsmethode behandeld worden. De fysische eigenschappen van de grond zijn:

- De volumieke massa en het volumieke gewicht;
- De consistentie;
- De korrelgrootte;
- De hydraulische eigenschappen.

Grond bestaat in hoofdzaak uit korrels, water en lucht. Samen vormen deze drie het totale volume van de grond. Het volumieke gewicht (kN/m^3) van verzadigde grond is te berekenen door het totale gewicht van de grond te delen door het totale volume van de grond. Als de grond wordt gedroogd en daarna het gewicht van de korrels wordt bepaald, kan het volumieke gewicht van droge korrels bepaald worden. De volumieke massa is de massa van een bestanddeel gedeeld door het werkelijke volume van dat bestanddeel, dus zonder poriën. Het poriëngehalte n van de grond is gelijk aan het volume van de poriën gedeeld door het totale volume. Het poriëngetal is gedefinieerd als het volume van de poriën gedeeld door het volume van de korrels.

Grondsoort	Poriëngehalte [%] n	Poriëngetal [-] e	Volumieke gewicht [kN/m^3]	
			γ_d	γ_{sat}
grind	20-40	0,25-0,67	21-16	23-20
grof zand	25-45	0,33-0,82	20-15	22-19
zand	35-45	0,54-0,82	17-15	21-19
zand, gegradeerd	25-35	0,33-0,54	20-17	22-20
zand, zeer fijn	30-45	0,43-0,82	18-15	21-18
zandige klei	35-45	0,54-1,00	17-14	21-18
klei, slap	70-80	2,33-4,00	8-5	15-13
klei, matig	50-70	1,00-2,33	13-8	18-15
klei, vast	35-50	0,54-1,00	17-13	20-18
veen	70-95	2,90-15,50	6-2	13-10

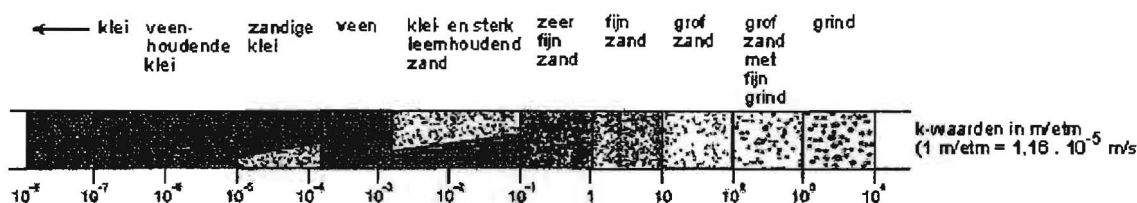
Tabel 3.3.2.2: Poriëngehalte, poriëngetal en het volumieke gewicht voor de in Nederland veel voorkomende grondsoorten. [44]

Het poriëngehalte is van belang bij enkele uitvoeringsmethoden. Bij het injecteren van grond worden de grondkorrels aan elkaar gekit of de ruimtes tussen de korrels, dus de poriën gevuld. Het is dus een vereiste dat er een bepaalde hoeveelheid poriën in de grond aanwezig is, waarbij sprake is van een niet cohesieve grondlaag. Tijdens het injecteren dient de hoeveelheid geïnjecteerde vloeistof gemeten en geregistreerd te worden.

Onder de consistentie van de grond wordt verstaan de mate van vastheid van de grond. De consistentie zegt iets over de samenhang van de grond. Kleigronden hebben een zeer grote vastigheid, zand- en grindgronden juist niet. Daarnaast heeft de pakkingsdichtheid van de grond een relatie met de conusweerstand. Hoe groter de pakkingsdichtheid van de grond, hoe groter de conusweerstand.

Het uitvoeren van frees-meng-injectie of het uitvoeren van Mix-In-Place gaat minder goed bij cohesieve grondsoorten. Bij het uitvoeren van een cementbentonietscherm of een diepwand is het juist wel gewenst dat de grond samenhangend is. Hierdoor zal de gegraven sleuf minder snel instorten. Ook zal de steunvloeistof minder vervuild worden, waardoor de steunvloeistof misschien niet ontzand hoeft te worden om het volumegewicht lager te houden dan het volumegewicht van beton. Met jetgrouten kan in nagenoeg iedere grondsoort plaatsvinden. Wel is het resultaat afhankelijk van de grondgesteldheid. Cohesieve grondsoorten zijn moeilijker los te snijden dan loskorrelige gronden. De verkregen diameters in samenhangende gronden die gerealiseerd kunnen worden zijn dan ook kleiner. Door het toepassen van bijvoorbeeld het tweefasensysteem of het driefasensysteem in plaats van het eenfasensysteem kan de diameter vergroot worden. Verder is het van belang dat de treksnelheid per verschillende grondlaag aangepast wordt om een enigszins gelijkmatige diameter van het groutlichaam te verkrijgen.

De korrelgrootte geeft een indicatie van de doorlatendheid en is derhalve van belang bij het ontwerp van bemaling. Tevens geeft de korrelgrootte een indicatie van de mogelijkheid tot verbetering van de grond door injecteren met cement of chemische middelen. De gemiddelde stroomsnelheid van het grondwater [m/s] is afhankelijk van de doorlatendheidscoëfficiënt [m/s] van de grond en het verhang. Het verhang is het verschil in stijghoogte over een bepaalde afstand.



Afbeelding 3.3.2.1: doorlatendheidscoëfficiënten van de in Nederland meest voorkomende bodemsoorten. [45]

Kleilagen in de grond zijn natuurlijk aanwezige waterkerende lagen. Als er waterkering nodig is, kan gekozen worden om de verticale wanden door te zetten tot deze laag. Bemaling is dan niet meer noodzakelijk, met uitzondering van het bemalen van het hemelwater. Zand- en grindgronden hebben een grote doorlatendheidscoëfficiënt en zijn dusdoende niet waterkerend. Indien een natuurlijk aanwezige laag zich te diep in de grond bevindt, kan ervoor gekozen worden om een kunstmatig waterkerende laag aan te brengen.

Naast de omschreven fysieke eigenschappen kunnen er ook bijzondere omstandigheden optreden. Te denken valt aan obstakels of holle ruimten in de grond. Deze hoeven niet altijd bij het grondonderzoek gesignaleerd te worden. Als bij het trillen van damwanden wordt gestuit op een obstakel, kan er trillingsoverlast optreden, die tot op grote afstand merkbaar is. Door het monitoren van de trillingen dient er in de gaten te worden gehouden of de maximaal toelaatbare trillingen niet overschreden worden. Holle ruimten kunnen een gevaar opleveren indien er bijvoorbeeld wordt gewerkt met een steunvloeistof. De steunvloeistof kan dan in de holle ruimte weglopen, waardoor de sleuf instabiel wordt.

Wanneer uit het grondonderzoek blijkt dat er sprake is van vervuilde grond dient de ernst hiervan bestudeerd te worden. Als er sprake is van ernstige vervuiling kan bodemsanering noodzakelijk zijn. Is de ernst van de vervuiling niet zo groot of bevindt de vervuilde bodemlaag zich diep genoeg onder de grond, dan kan de eis zijn dat vervuilde bodemlaag niet opgegraven mag worden. In dat geval mogen de diepwanden, combinatieschermen, cementbentonietwanden niet meer toegepast worden. Voor deze methoden zal geen vergunning verleend worden.

3.3.3 Geohydrologische aspecten {2.2.B}

Als het niveau, waarop een bouwwerk aangelegd moet worden beneden de grondwaterstand ligt, zijn geohydrologische maatregelen nodig. Geohydrologische maatregelen zijn maatregelen tegen het grondwater. Als de uitvoering in den droge plaats dient te vinden, zijn er drie mogelijkheden:

- Het verwijderen van het toestromend grondwater met bemaling om de bouwput of bouwkuip droog te houden;
- Het gebruik maken van waterkerende voorzieningen rond het bouwproject;
- Een combinatie van gedeeltelijke grondwaterkering en bemaling.

Bij de beschouwing van de geohydrologische situatie wordt eerst onderscheid gemaakt tussen freatisch water en spanningswater. Bij freatisch water is sprake van een watervoerende laag waarin de grondwaterspiegel zich vrij kan bewegen. In het geval dat een watervoerende laag aan de bovenzijde is afgedekt door slecht doorlatende of ondoorlatende laag wordt gesproken van spanningswater. Bij bemaling kan onderscheid worden gemaakt tussen freatische bemaling en spanningsbemaling. Om de negatieve gevolgen van bemaling voor de omgeving te beperken kan retourbemaling toegepast worden.

Bemaling kan worden toegepast om een droge bouwput of bouwkuip te creëren of om het opbarsten van de bouwputbodem te voorkomen. Dit kan leiden tot schade aan belendingen ten gevolge van zakking, verhoogde negatieve kleef op een paalfundering, een (versneld) rottingsproces van houten paalkoppen en schade aan beplanting en gewassen. Indien er sprake is van een open bouwput of open bouwkuip zal een bemaling leiden tot een verlaging van de grondwaterstand in de omgeving. Door aanvullende maatregelen kan de verlaging van de grondwaterstand in de omgeving beperkt

worden. Aanvullende maatregelen zijn het toepassen van retourbemaling, het treffen van voorzieningen aan belendingen of door een gesloten bouwkuip te realiseren.

Voor de berekening ten behoeve van de bemalingsinrichting en de stijghoogteveranderingen in de omgeving moeten representatieve waarden zijn bepaald van de geohydrologische eigenschappen van de onderscheiden grondlagen. Het betreft de doorlatendheid en de dikte van zowel de lagen die goed als slecht waterdoorlatend zijn.

Wet- en regelgeving

Voor een bemaling en de lozing van het opgepompte water is toestemming nodig van de gemeente, de provincie en het waterschap. Voor een bemaling zijn er bepalingen uit de Grondwaterwet van toepassing, voor de lozing die uit de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO). In het algemeen is het beleid het onttrekken van grondwater zo veel mogelijk te ontmoedigen.

“De grondwaterwet is het laatst herzien in 2003 en bevat het wettelijke kader omtrent het onttrekken van grondwater. Het doel van de wet is de verzekering van een doelmatig gebruik van de totale hoeveelheid grondwater. De uitvoering van de grondwaterwet ligt bij de provincies. Hiervoor beschikt de provincie over een aantal instrumenten. Dit zijn onder andere meldingsplicht, registratieplicht of vergunningsplicht. De provincie stelt een grondwaterbeleidsplan op dat geldt als toetsingskader.” [46] Het is in principe verboden grondwater te onttrekken of water te retourneren, tenzij daarvoor door de Gedeputeerde Staten een vergunning is verleend. Er bestaan uitzonderingen op deze vergunningsplicht. Wanneer een onttrekking niet vergunningsplichtig is, kan met een melding worden volstaan. Dit is onder andere het geval indien de pompcapaciteit niet meer dan 10 m³/uur bedraagt. Gegevens bij het melden van grondwateronttrekking zijn het doel, de plaats en de manier van onttrekking, de kwaliteit van het water, de te onttrekken hoeveelheden en de diepte waarop de onttrekking plaatsvindt. Eenieder die water uit de bodem haalt of in de bodem brengt, dient deze hoeveelheden te meten en te registreren.

Uit het interview met het waterschap blijkt dat wanneer een onttrekking niet aan de algemene regels of uitzonderingen op de vergunningsplicht voldoet, is deze vergunningsplichtig. Het verkrijgen van een vergunning voor tijdelijke bemaling is eenvoudiger te verkrijgen dan voor permanente bemaling. Vergunningen worden verleend door het betreffende waterschap of bij grote onttrekkingen door de provincie. Het beleid verschilt per waterschap en provincie. Bij de projectvoorbereiding dient rekening te worden gehouden met een periode van minimaal een half jaar voor de afhandeling van de vergunningaanvraag door de provincie. De vergunningsprocedure bestaat uit een beginoverleg met het waterschap, het opstellen van een aanvraag, het ter inzage leggen van de vergunningaanvraag en het besluit of de vergunning wordt gegeven. Hierna wordt dit definitieve besluit nog eens zes weken ter inzage gelegd. In deze periode kan tegen het besluit beroep worden ingesteld bij de Raad van State. Indien er geen beroep wordt ingesteld, kan na de beroepstermijn de vergunning in gebruik worden genomen. Is er wel beroep aangetekend, dan moet de beslissing van de Raad van State worden afgewacht.

Voor de lozing van opgepompt water moet een vergunning worden aangevraagd bij de beherende instantie, dat wil zeggen het waterschap of de gemeente. Bij de vergunning voor het lozen van het opgepompt water speelt de waterkwaliteit een belangrijke rol.

“Provinciale Staten zijn bevoegd, bij wijze van provinciale belasting, voor het onttrekken van grondwater een heffing in te stellen. De grondwaterheffing dient om door de provincie gemaakte kosten van voor het grondwaterbeheer noodzakelijke onderzoeken te dekken. Ook worden de heffingsinkomsten gebruikt om eventuele schadevergoedingen uit te keren die in voorkomende gevallen niet toegeschreven kunnen worden aan vergunninghouders. Het heffingsstarief wordt jaarlijks vastgesteld en verschilt per provincie tussen de €0.008 en €0.025 per kubieke meter voor het onttrekken van grondwater. Voor het lozen van grondwater kunnen de kosten hoger oplopen, variërend van €0.04 en €0.40 per kubieke meter.” [47]

Overige wetten waar rekening mee dient gehouden te worden zijn de Wet Geluidshinder en het Bouwstoffenbesluit. De Wet Geluidshinder bevat de regelgeving om geluidshinder te voorkomen of te beperken. In de wet zijn voorschriften opgenomen over geluidsnormen, metingen en heffingen. Het Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterbescherming omvat regels voor het gebruik van steenachtige bouwstoffen die in contact kunnen komen met regen-, grond- of oppervlaktewater. De regels zijn bedoeld om eventuele uitspoeling van verontreinigingen uit bouwstoffen naar de bodem of het oppervlaktewater te beperken.

Uitvoering

De wijze van uitvoering en het gebruikte materieel voor de plaatsing van de onttrekkingfilters zijn bepalend voor de kwaliteit van het bemalingssysteem. Voor de plaatsing van de putfilters staan

verschillende technieken ter beschikking die in het kort behandeld zullen worden. Hierbij valt onderscheid te maken tussen onverbuisde technieken en verbuisde technieken.

“Onverbuisde boortechnieken zijn:

- Spuiten met water; met behulp van een spuitlans met spuitkrans. Dit is een snelle en relatief goedkope techniek en wordt veel toegepast in niet cohesieve grond en is met name geschikt voor het plaatsen van een groot aantal kleine filters. Klei- of veenlagen zijn met deze techniek moeilijk te doorboren.
- Roterende holle avegaarboor; filters met een beperkte diameter kunnen geplaatst worden met een roterende holle avegaarboor. Met behulp van de avegaar wordt roterend de gewenste diepte bereikt, waarna het filter in de holle centrale buis wordt geplaatst en de avegaar weer uit de grond wordt gedraaid.
- Roterend spuitboren; bij deze techniek wordt spoelwater via een pomp door een perssling en boorstangen naar spuitgaten in de ronddraaiende boor gevoerd. De grond wordt met de boorvloeistof tussen boorstang en boorgatwand naar boven afgevoerd. Met deze techniek kunnen boorgaten verkregen worden tot circa 0,3 meter doorsnede.

Bij onverbuisde boortechnieken is het van belang dat zo spoedig mogelijk wordt begonnen met het schoonpompen van het filter, om achtergebleven kleidelen uit de omstorting te verwijderen.

Verbuisde boortechnieken zijn:

- Pulsboren; bij deze boortechniek wordt een boorbuis ter grootte van het boorgat in de grond aangebracht. Gangbare diameters liggen tussen de 120 en de 220 mm, maar grotere diameters tot 600 mm zijn ook mogelijk. De boorbuis wordt met een draaiende beweging in de grond aangebracht. Met behulp van een puls die in de boorbuis aan een lier hangt, wordt de grond onder in de boorbuis met een pulserende beweging opgepakt en de puls wordt op het maaiveld geleegd. Dit is een arbeidsintensieve en langzame methode. Een voordeel van deze methode is dat er grondmonsters verkregen worden, waardoor de filters op zorgvuldige wijze op diepte geplaatst kunnen worden. Pulsboren wordt meestal alleen toegepast voor grondonderzoek en op locaties waar andere technieken niet zijn toegestaan of niet mogelijk zijn.
- Indien er sprake is van gebieden met veel grind, verkitten grindlagen of vast gesteente worden de holepincher, de luchthamer en de emmerboor toegepast. Met geweld met behulp van lucht, water of grijpers wordt het bodemmateriaal in de mantelbuis verwijderd, waarna deze naar beneden wordt geheid.

Indien er horizontale bemaling wordt toegepast hoeven er geen putfilters geboord te worden. Het voordeel van horizontale bemaling is dat er weinig bovengrondse obstakels zijn en omdat de drains onder de bouwput worden aangebracht, de bemaling erg effectief is. Horizontale bemaling wordt wel beperkt wanneer er sprake is van kruisende ondergrondse infrastructuur zoals kabels en leidingen. Steeds vaker wordt retourbemaling toegepast om de invloed van het onttrekken van het grondwater voor de omgeving te beperken. Bij retourbemaling moet toetreding van lucht in het bemalingssysteem uitgesloten worden. Hierdoor vallen bemalingstypen met zuigpompen af en is retourbemaling alleen mogelijk in combinatie met onderwaterpompen.

De pompen die kunnen worden toegepast bij het bemalen zijn onder te verdelen in enkele categorieën, namelijk:

- Zuigerpompen; deze hebben een hoog rendement en zijn verkrijgbaar tot een capaciteit tot 100 m³/uur. Dit type pomp is geschikt voor vacuümbemaling en open bemaling, aangezien mengsel van lucht en water probleemloos verwerkt kunnen worden.
- Centrifugaalpompen; deze zijn minder geschikt voor water-luchtmengsels te pompen, maar werken efficiënter bij het verpompen van grotere debieten. Deze pompen worden voornamelijk toegepast bij grover zand.
- Onderwaterpompen; deze pompen worden in de bron gehangen en zijn opgebouwd uit een centrifugaalpompe met meer waaiers in serie, aangedreven door een elektromotor.” [48]

Vooraf bij centrifugaalpompen en onderwaterpompen bestaat het gevaar dat bij uitval van de pomp water via het pomphuis terugstroomt naar de putfilters. Dit dient te voorkomen te worden door het plaatsen van terugslagkleppen in de afvoerleidingen.

Monitoring

In verband met de vergunningsvoorwaarden dient er gedurende het toepassen van de bemaling een verslaglegging gemaakt te worden met de hoeveelheden onttrokken en geloosd water, de grondwaterstanden en stijghoogten, de controle van hoogtemerken, de invloed op de omgeving en de controle hierop en de controle van de waterkwaliteit. De stijghoogte kan gedefinieerd worden als de

som van de drukhoogte van het grondwater in een punt in de grond en de plaatshoogte van dat punt ten opzichte van een horizontaal referentievlak (NAP-niveau of het maaiveld).

De monitoring van verlagingen van de grondwaterstand en stijghoogten kan geschieden door middel van het plaatsen van peilbuizen. De hoogteligging van objecten dient in beeld gebracht te worden om de grootte van de zakking, de verschikzakking en de snelheid van zakking te toetsen aan de voorspellingen en zo nodig doelgerichte maatregelen te kunnen treffen om verdere deformaties te voorkomen of te beperken. Hoogtemerken, zoals hoogteboutjes, worden meestal één week voor aanvang van de bemaling aangebracht en ingemeten ten opzichte van het NAP. Dit is de zogenaamde nulmeting. De waarden van herhalingsmetingen worden vergeleken met de waarden van de nulmeting. Vaak worden parallel aan het meten van deformaties scheurmetingen uitgevoerd om te kunnen beoordelen of bestaande scheuren in objecten tijdens de bemalingswerkzaamheden of andere werkzaamheden in de bouwput vergroten of veranderen.

Naast de controle van vervormingen van de aangrenzende percelen en belendingen ten gevolge van de grondwaterstandverlaging respectievelijk de stijghoogteverlaging, dient ook gekeken te worden naar de schade aan vegetatie door grondwaterstandverlaging en de beïnvloeding van eventueel aanwezig grond(water)verontreinigingen.

3.3.4 Invloedsaspecten op de omgeving en belendingen {2.2.C}

Bij aanleg van constructies onder het maaiveld moet grond en vaak ook grondwater verwijderd worden, waardoor vervormingen in de ondergrond kunnen optreden. De aard van de problemen voor de omgeving, die door het ondergronds bouwen verwacht kunnen worden, zijn afhankelijk van de soort en de omvang van het werk, het bodemtype en de grondwaterproblematiek. Reeds bestaande constructies in de omgeving van de bouwplaats kunnen beïnvloed worden door optredende vervormingen en spanningsveranderingen met als gevolg dat het draagvermogen van de omliggende grond kan veranderen. De problemen en de te verwachten schade dienen vooraf te worden geanalyseerd. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de staat van de omliggende gebouwen alsmede met de functie en de bijzondere waarde van gebouwen. Denk hierbij aan bijvoorbeeld monumenten.

Bouwwerkzaamheden hoeven niet altijd schade op te leveren. Het kan ook leiden tot hinder, zoals storingen aan apparatuur of geluidshinder. In dat geval komen partijen met verschillende belangen tegenover elkaar te staan. Ook in die situaties is het zinvol om het probleem vast te stellen en criteria op te stellen die onacceptabel zijn. In het geval om schade te voorkomen wordt gesproken van grenswaarden. Bij hinder gaat het om streefwaarden en niet om grenswaarden. Bij grenswaarden dient wel de opmerking geplaatst te worden dat bij overschrijding dit niet daadwerkelijk tot schade hoeft te leiden aangezien de grenswaarden een veiligheidsmarge bevatten.

Schade en hinder ten gevolge van het uitvoeren van de grond- en waterkeringsconstructie zullen toegelicht worden aan de hand van de trillingen die kunnen optreden, geluidsoverlast, schade ten gevolge van de grondwaterstandverlaging, de invloed van de fundatie van omliggende gebouwen, voorkomende belendingen en extra gestelde eisen door de functie van omliggende gebouwen.

Trillingen

Onder het begrip trillingen wordt verstaan: "een variatie van een grootte (verplaatsing, snelheid, versnelling) als functie van de tijd, die de beweging of de positie van een systeem beschrijft waarbij de grootte afwisselend groter en kleiner is dan een gemiddelde waarde." [49]

Door trillingen kan schade optreden. Onder schade aan een bouwwerk wordt een verandering van de eigenschappen of van de positie van (een onderdeel van) een bouwwerk verstaan, met één of meer van de volgende gevolgen:

- een verlies van functie, zoals het bezwijken van dragende onderdelen;
- een vermindering van de integriteit van het onderdeel of van het bouwwerk, waarbij sprake is van een vermindering van de veiligheid op korte of lange termijn;
- een vermindering van de economische waarde of van de gebruikswaarde, zoals bij scheurvorming in afwerkklagen of betegeling.

Bij het heien van palen of het heien of intrillen van een damwand op beperkte afstand van bestaande bebouwing kan aanleiding geven tot trillinghinder. Trillingen kunnen dus ontstaan bij het vervaardigen van damwanden, combiwanden of palenwanden. Door de energie die trilling van de bodem veroorzaakt, kan verdichting optreden die weer tot zettingen leidt.

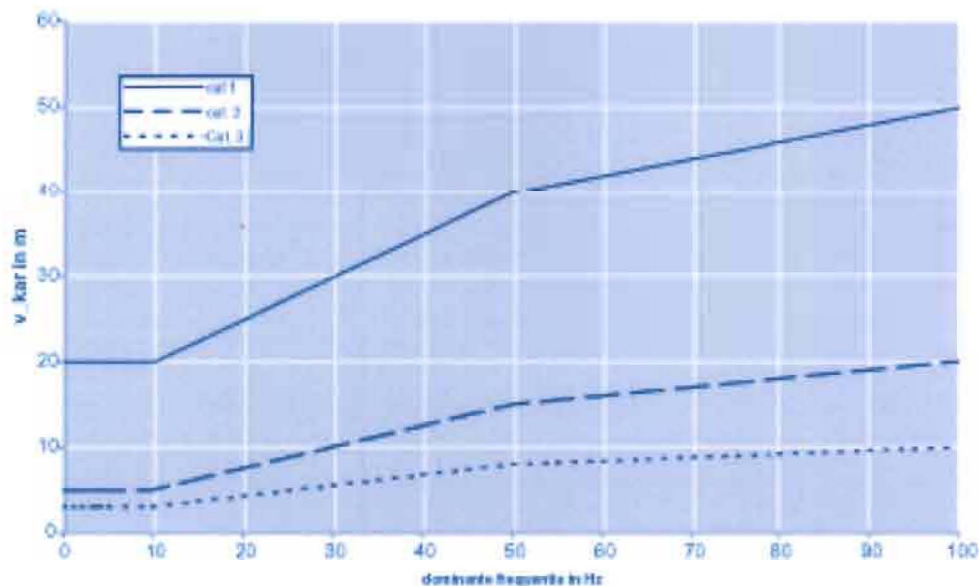
Bij trillingen is het van belang dat de grenswaarden niet overschreden worden. Hierbij wordt gekeken of de topwaarde met de rekenwaarde van de grenswaarde vergeleken. Er kan proefondervindelijk worden vastgesteld of de grenswaarden niet overschreden worden. Om schade aan de

draagconstructie van bouwwerken en gebouwen als gevolg van trillingen te voorkomen, dient de trillingssterkte, bepaald in de meetproef, zodanig te zijn dat de grenswaarden niet worden overschreden.

Bij het bepalen van de grenswaarden voor trillingen die schade aan gebouwen veroorzaken, komen in de richtlijnen enkele punten aan de orde. Als eerste wordt er onderscheid in het type bebouwing, met betrekking tot de constructiewijze en de staat van het bouwwerk. Voor kwetsbare gebouwen liggen de toelaatbare niveaus aanmerkelijk lager dan die voor gebouwen die in goede staat verkeren. Er is een indeling gemaakt naar categorieën:

- Categorie 1; in goede staat verkerende draag constructies en onderdelen van gebouwen in gewapend beton of staal.
- Categorie 2; in goede staat verkerende draagconstructies en onderdelen van gebouwen in metselwerk,
- Categorie 3; in slechte staat verkerende gebouwen en oude en monumentale gebouwen met een grote culturele waarde.

Aan de hand van de categorie en de dominante frequentie kan de karakteristieke waarde van de grenswaarde bepaald worden uit figuur of tabel 3.3.4.1. De dominante frequentie is de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde van de meting optreedt.



Figuur 3.3.4.1: Karakteristieke waarde van de grenswaarde op begane grondniveau als functie van de dominante frequentie.

f [Hz]	cat. 1	cat. 2	cat. 3	fund.
0	20,00	5,00	3,00	
5	20,00	5,00	3,00	31,83
10	20,00	5,00	3,00	15,92
15	22,50	6,25	3,63	10,61
20	25,00	7,50	4,25	7,96
25	27,50	8,75	4,88	6,37
30	30,00	10,00	5,50	5,31
35	32,50	11,25	6,13	4,55
40	35,00	12,50	6,75	3,98
45	37,50	13,75	7,38	3,54
50	40,00	15,00	8,00	3,18
55	41,00	15,50	8,20	2,89

60	42,00	16,00	8,40	2,65
65	43,00	16,50	8,60	2,45
70	44,00	17,00	8,80	2,27
75	45,00	17,50	9,00	2,12
80	46,00	18,00	9,20	1,99
85	47,00	18,50	9,40	1,87
90	48,00	19,00	9,60	1,77
95	49,00	19,50	9,80	1,68
100	50,00	20,00	10,00	1,59

Tabel 3.3.4.1: De numerieke waarden van de karakteristieke grenswaarde in mm/s.

Daarnaast wordt er bij de metingen onderscheid gemaakt tussen:

- Een kortdurende meting;
- Een herhaalde kortdurende meting;
- Een continu meting.

Afhankelijk van het type meting en of er sprake is van een (herhaalde) kortdurende of continu meting wordt er ook hier een veiligheidsfactor aan toegekend om de rekenwaarde van de grenswaarde te bepalen.

Meting	Veiligheidsfactor:
kortdurend	1,0
herhaald kortdurend	1,5
continu	2,5

Tabel 3.3.4.2: partiële veiligheidsfactor die het type trilling in rekening brengt.

De karakteristieke grenswaarde kan bepaald worden aan de hand van figuur of tabel 3.4.1. De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald door de karakteristieke waarde van de grenswaarde te delen door de veiligheidsfactor:

$$V_{\text{rekenwaarde grenswaarde}} = V_{\text{karakteristiek}} / \text{Veiligheidsfactor}$$

Nadat de grenswaarde bekend is, kan de meetwaarde bepaald worden. Er wordt onderscheid gelegd tussen de verschillende soorten metingen. Er kan sprake zijn van:

- Een indicatieve meting;
- Een beperkte meting;
- Een uitgebreide meting.

De gemeten topwaarde van de trillingssnelheid is de grootste momentane waarde van de trillingsgrootte gemeten in een meetpunt en meetrichting tijdens de meetduur. Op deze waarde wordt ook veiligheidsfactor toegepast om een representatieve rekenwaarde te verkrijgen. In het geval van een uitgebreide meting is dit niet nodig, de verkregen waarde is al een representatieve waarde. Zodoende is hier de veiligheidsfactor 1,0.

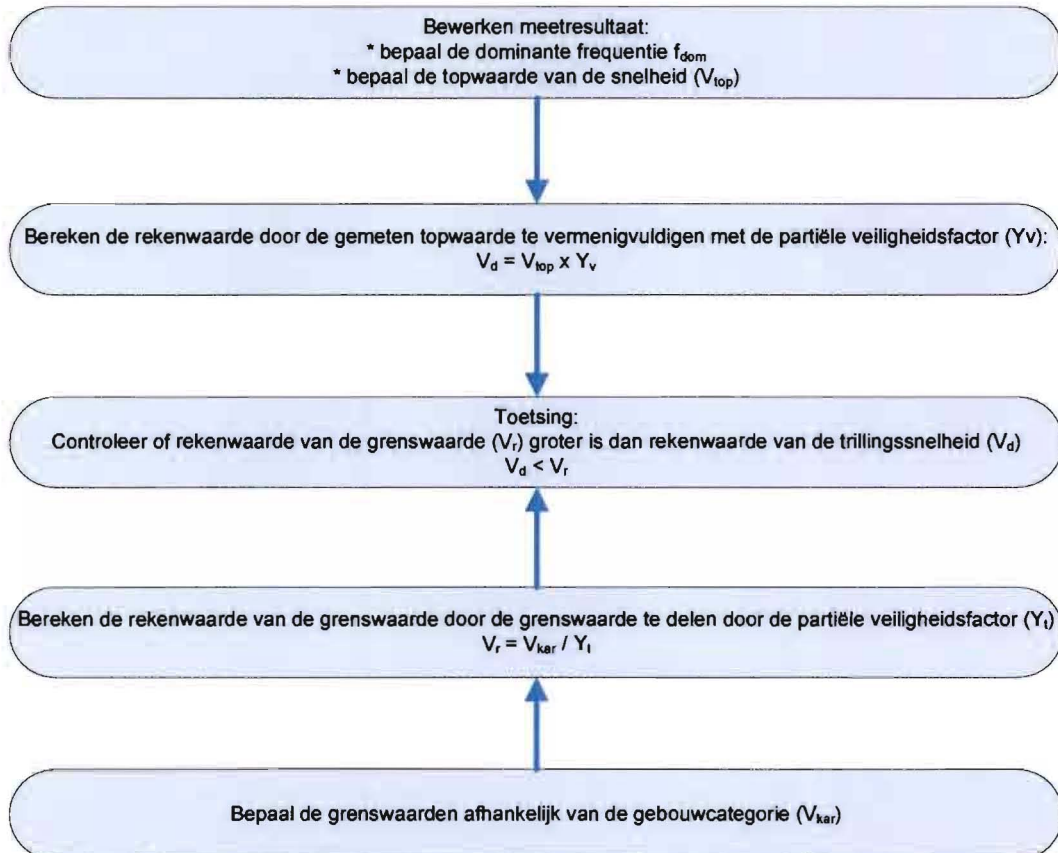
Type meting	Veiligheidsfactor:
indicatief	1,6
beperkt	1,4
uitgebreid	1,0

Tabel 3.3.4.3: partiële veiligheidsfactor die het type meting in rekening moet brengen.

De rekenwaarde van de gemeten trillingssnelheid kan verkregen worden door de gemeten waarde voor de trillingssnelheid te vermenigvuldigen met de veiligheidsfactor:

$V_{\text{rekenwaarde gemeten trillingssnelheid}} = V_{\text{gemeten topwaarde trillingssnelheid}} \times \text{Veiligheidsfactor}$

Als de rekenwaarden van de gemeten trillingssnelheid en de grenswaarde bekend zijn, kan getoetst worden of de grenswaarde niet overschreden wordt:



Figuur 3.3.4.4 Schematisch stroomschema om te beoordelen of de gemeten trillingen de toelaatbare grenswaarden niet worden overschreden.

Zoals al aangegeven treden trillingen op bij het aanbrengen van damwanden, combiwanden of palenwanden. In de loop der tijd zijn er enkele varianten ontwikkeld met betrekking tot de wijze van inbrengen die de sterkte van de trillingen reduceren. Het onderstaand overzicht van installatiemethoden is opgesteld in orde van afnemende trillingshinder:

- Heien;
- Trillen;
- Hoogfrequent trillen;
- Heien in combinatie met voorboren;
- Heien en/of trillen in combinatie met voorboren en vullen van de geboorde gaten met bentoniet;
- Trillen met fluidatie;
- Indrukken eventueel in combinatie met fluidatie.

Uiteraard nemen de kosten toe naarmate meer voorzieningen moeten worden getroffen om de trillingshinder te beperken. In stedelijk gebied met nabijgelegen funderingen kan het trillend inbrengen van bijvoorbeeld damwanden tot ernstige schade leiden als gevolg van de optredende verdichting van losgepakt zand en het ontstaan van wateroverspanningen. Door de verhoging van de waterspanningen neemt de schuifweerstand in de grond af en daarmee ook het draagvermogen van paalfunderingen. Om zettingen te vermijden worden nabij paalfunderingen wel de volgende grenswaarden gesteld:

- binnen 6 meter afstand niet trillen maar heien;
- tussen 6 en 10 meter trillend trekken met voortdurend controleren van de zettingen;
- buiten de 10 meter geen beperkingen.

Bij funderingen op staal dienen grotere afstanden aangehouden te worden, niet alleen bij trillen, maar ook bij heien. Ook zijn er methoden om trillingen te reduceren, namelijk:

- door het toepassen van hoogfrequent trillen. "Uit onderzoek en proefnemingen blijkt dat de kans op ongewenst verdichten wel aanwezig blijft, maar dat de kans op directe trillingschade verkleind wordt" [50];
- Fluidisatie tijdens het intrillen van damwanden. Deze techniek is gebaseerd op het verhogen van de waterspanning direct naast de plank, waardoor de wrijving gereduceerd wordt.
- Het wegdrukken van damwandprofielen. Hierbij is de diepte wel beperkt tot 15 meter bij niet te grote weerstanden. Ook is dit alleen uitvoerbaar als er geen obstakels in de ondergrond zijn.

Geluidsoverlast

Geluid ontstaat door trillingen. Trillingen hoeven niet altijd schade op te leveren, maar kunnen wel leiden tot hinder. Geluidshinder kan de dagelijkse bezigheden van omliggende locaties of gebouwen storen. Als zich bijvoorbeeld een school naast de bouwkuip bevindt, moet getracht worden dat de lessen niet verstoord worden. Er kunnen dan streefwaarden of zelfs grenswaarden opgesteld worden om geluidshinder te voorkomen of bepaalde bouwactiviteiten mogen enkel gedurende vastgelegde tijdstippen op een dag plaatsvinden.

Bij activiteiten voor het vervaardigen van een keringsconstructie die leiden tot geluidsoverlast valt te denken aan heien en trillen. Daarnaast kunnen stationaire eenheden bij bijvoorbeeld bemalingen, cementbentonietcentrales of grondbevriezing geluidsoverlast veroorzaken. Ook het materieel dat ingezet wordt produceert geluid. Te hoge geluidsniveaus leiden tot gehoorschade. Mensen die eenmaal schade aan het gehoor hebben, houden dit de rest van hun leven. "Om werknemers hiertegen te beschermen zijn in de Arbo-wet grenswaarden voor geluid vastgesteld. Uitgangspunt is dat geluidsniveaus boven 80 dB(A) schadelijk zijn voor de gezondheid." [51]

Op machines worden geluidsstickers geplakt met een LWA-waarde en een LPA-waarde. Het getal op de LWA-sticker geeft aan welk geluidsvermogen de machine onder de afgesproken testcondities heeft. Hoe lager het getal, hoe beter. Het is verplicht deze waarde op de machine te vermelden. Het getal op de LPA-sticker op de cabine geeft aan hoe hoog het geluidsniveau onder de afgesproken testcondities in de cabine is. Ook hier geldt, hoe lager het geluidsniveau hoe beter het is. Het is niet verplicht deze waarde te vermelden, maar veel cabines hebben wel zo'n sticker. Welk getal nu bepalend is, is afhankelijk waarvoor de machine gebruikt wordt. In stedelijke gebieden waar het geluid dat de machine maakt zo laag mogelijk moet zijn, is de LWA-waarde bepalend. Wordt de machine ingezet voor werk buiten de stad, dan is de LPA-waarde bepalend. In tabel 3.3.4.5 worden enkele waarden weergegeven van geluidsniveaus die bij het vervaardigen van een keringsconstructie kunnen optreden, afhankelijk van de bouwmethode.

Activiteit	dB(A)
Heien betonpalen	126
Heien stalen buispalen	140
Heien damwanden	130
Intrillen buispalen	121
Trillen lichte damwandplanken in zachte ondergrond	110 - 120
Trillen zware damwandplanken in harde ondergrond	120 - 132
Graven diepwand	104 - 110
Stationaire eenheid	dB(A)
Compressor	100
Geluidarm aggregaat	93
Geluidarme pomp (elektrisch)	90
Materieel	dB(A)
Graafmachine	107
Vrachtwagen	106

Tabel 3.3.4.5: geluidsniveaus die geproduceerd worden bij bouwactiviteiten, stationaire eenheden of materieel bij het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies.

"De Wet Geluidhinder geeft een uitgebreid stelsel voor geluidnormen. Maar voor de bouwwerkzaamheden zelf zijn ruimere mogelijkheden om geluidnormen te stellen. In de praktijk wordt gebruik gemaakt van:

- APV-ontheffingen;

De meeste gemeenten kennen een Algemene Plaatselijke Verordening (APV) waarin een verbod is opgenomen om geluidhinder te veroorzaken met een bouwmaschine. Hiervan kan door het college van B&W ontheffing worden verleend.

- Privaatrechtelijke overeenkomsten;

Bij deze vorm worden in het bestek of in het Programma van Eisen door de opdrachtgever regels opgenomen om geluidhinder te voorkomen. Dat kunnen algemene eisen zijn zoals het voorschrijven van het gebruik van geluidarme apparatuur en machines indien in de nabijheid van woningen wordt gewerkt, maar het kan ook door lijsten van toegestane geluidbelastingen per adres en per soort van bouwactiviteit op te nemen.

- Vergunningen Wet milieubeheer

In sommige situaties kan een bouwterrein onder de vergunningplicht van de Wet milieubeheer vallen. Dit hangt af van zaken zoals de begrenzing van het terrein, het al dan niet gebruiken van bepaalde stoffen of apparaten en de tijd dat de bouwactiviteiten op die plek duren.

De hoogten van de grenswaarden die gesteld worden zijn meestal gebaseerd op de circulaire Bouwlaaai van het ministerie VROM." [52]

Indien er geen ruimere geluidnormen worden gesteld, dan wordt meestal als eis gesteld dat op 15 meter afstand van de bouwplaats het geluiddrukkniveau overdag maximaal 60 tot 65 dB(A) mag bedragen. "Volgens het verband tussen het geluiddrukkniveau en het geluidvermogeniveau bij een bolbron is: $L_p = L_w + 10 \lg(1/(4\pi r^2))$." [53] Dit houdt in dat de bron een geluidvermogeniveau van respectievelijk 94,5 of 99,5 dB(A) mag produceren om het toegestane geluiddrukkniveau niet te overschrijden.

Gevolgen voor de omgeving door verlaging van de grondwaterstand

Bij het toepassen van bemaling kunnen twee duidelijk verschillende stromingstoestanden worden onderscheiden, namelijk:

- Verlaging van de grondwaterstand, waarbij de vrije grondwaterstand (de freatische grondwaterspiegel), wordt verlaagd.
- Verlaging van de stijghoogte in een relatief doorlatend pakket, dat aan de bovenzijde is afgedekt met een matig doorlatende laag. De stijghoogte vermindert in de richting van de onttrekking, maar de dikte van de doorstromende laag blijft constant. In principe neemt de waterdruk af.

Door het toepassen van bemaling zal de kwel- of wegzijgingssituatie tijdelijk kunnen veranderen. Na het beëindigen van de bemaling kan de oorspronkelijke situatie zich weer herstellen. Kwel en wegzijging zijn primaire effecten van het toepassen van bemaling. Kwel ontstaat wanneer de stijghoogte van het grondwater hoger is dan het open waterpeil en er grondwater uittreedt. Wanneer de stijghoogte van het grondwater in een dieper gelegen laag hoger is dan in die laag erboven, zal eveneens een opwaartse grondwaterstroming optreden. Wegzijging is de neerwaartse stroming van grondwater. Dit treedt bijvoorbeeld op wanneer het open waterpeil hoger ligt dan het freatische grondwaterpeil of wanneer neerslag infiltreert in de bodem en zich bij het grondwater voegt.

Ten aanzien van ingrepen in de geohydrologische situatie worden, als het gaat om een bouwkuip in bebouwde omgeving, vaak de volgende randvoorwaarden gesteld:

- verlaging van het freatisch vlak is niet toegestaan;
- verlaging van de stijghoogte van het spanningswater in de watervoerende lagen is toegestaan, mits een dergelijke verlaging niet dieper reikt dan in een overeenkomstige periode in het verleden reeds het geval was. Deze voorwaarde wordt meestal alleen gesteld bij bebouwingen die kwetsbaar zijn voor zettingen.

Voor kortdurende verlaging van de grondwaterstand in bovenlagen wordt ondanks bovenstaande zaken niet zelden een uitzondering gemaakt. De reden dat deze randvoorwaarden worden gesteld, is dat de verlaging van het freatische vlak verstrekkende gevolgen heeft, namelijk:

- houten paalfunderingen kunnen droog te komen staan;
- er kunnen zettingen optreden in samendrukbare lagen, waardoor zakking optreedt bij op staal gefundeerde gebouwen en bij straten, kabels en leidingen;
- Er kunnen zakkingen optreden bij gebouwen op paalfunderingen met een te lage veiligheid.

Zettingen met vervormingen van omliggende gebouwen tot gevolg en het aantasten van houten funderingen worden de secundaire effecten van het toepassen van bemaling genoemd. Overige secundaire effecten die kunnen optreden zijn het aantasten van landbouwgewassen of stadsgroen,

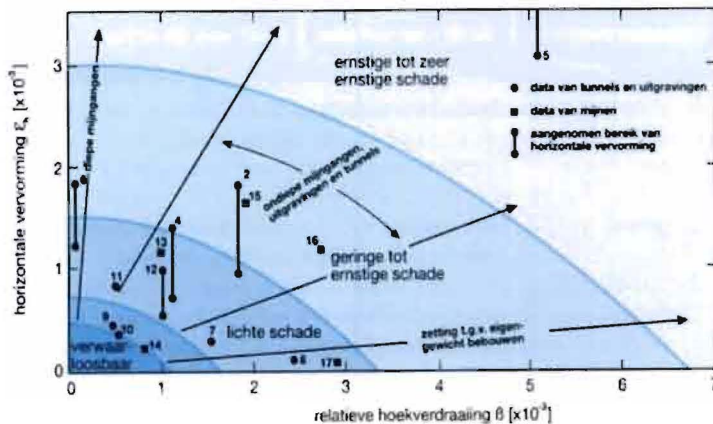
het beperken van functioneren van drinkwaterpompstations en het beïnvloeden van koude- en warmteopslagsystemen.

Naastgelegen belendingen

Indien er zettingen in de grond optreden, bijvoorbeeld door trillingen, het uitgraven van grond of ten gevolge van bemalingen, zal moeten worden nagegaan in welke mate de fundering van de omliggende bebouwing deze zakking volgt. Hierbij kan de volgende indeling gehanteerd worden:

- Staalfunderingen volgen de vervormingen van de ondergrond;
- Houten paalfundering, in het bijzonder de vooroorlogse, hebben een lage veiligheid en zijn daardoor gevoelig voor vervormingen in lagen boven het paalpuntniveau;
- Betonnen paalfunderingen zijn meestal gedimensioneerd met voldoende veiligheid voor onder andere de negatieve kleeft. Deze palen zijn niet kwetsbaar voor vervormingen boven de funderingslaag.

Hoekverdraaiingen kunnen optreden ten gevolge van zakkingen onder het eigen gewicht en de hoekverdraaiing ten gevolge van ontgravingen. Tussen deze twee hoekverdraaiingen zit een verschil. Het eigen gewicht brengt hoofdzakelijk verticale verplaatsingen teweeg, hoekverdraaiingen ten gevolge van ontgravingen kan ook leiden tot horizontale verplaatsingen. De horizontale verplaatsing leidt tot trekspanningen in de fundering, verticale doorbuiging en soms schuifspanningen tot gevolg. Er is weinig literatuur waarin grenswaarden worden gegeven voor toe te laten vervormingen door zakkingen van funderingen ten gevolge van het vervaardigen van een bouwkuip. In een rapport van Boscardin en Cording worden zowel de grenswaarden ten gevolge van zakking onder eigen gewicht als ten gevolge van externe invloeden, zoals bouwkuipen, weergegeven. In onderstaand figuur, uit hun publicatie, zijn de schadegrenzen ten gevolge van relatieve hoekverdraaiingen en horizontale vervormingen weergegeven. De horizontale vervorming wordt hierbij veroorzaakt door ontgravingen en de relatieve hoekverdraaiing door zakking onder eigen gewicht. Op de afbeelding worden de bekende grenswaarden bij kleine horizontale vervormingen gegeven voor zakking onder het eigen gewicht, namelijk $\beta = 1:300$ voor de grens waarbij lichte schade optreedt en $\beta = 1:150$ voor de grens waarbij ernstige schade optreedt. Voor de kritieke horizontale vervorming bij kleine waarden van de relatieve hoekverdraaiing sluit de grafiek aan op in de literatuur gegeven waarden voor de overgang naar zichtbare schade: ϵ_H ligt tussen 0,0005 en 0,00075.



Abbeelding 3.3.4.6: schade als gevolg van zakking onder eigen gewicht en vervorming door ontgraving. [54]

Bij paalfunderingen wordt als maximale horizontale verplaatsing bij betonnen palen een verplaatsing van de paal toegelaten, gelijk aan 1/6 van de schachtdoorsnede. De achterliggende gedachte hierbij is dat een centrische belasting op de paal in dat geval geen trekspanningen in de schacht veroorzaakt ten gevolge van de excentriciteit.

Functies omliggende gebouwen

Door de functie die wordt vervuld in omliggende gebouwen, kan het voorkomen dat er extra eisen of zelfs beperkingen aan uitvoeringsmethoden wordt gesteld om vergunningen te verkrijgen. Indien er in één van de omliggende gebouwen wordt gewerkt met elektronische apparaten die gevoelig zijn voor trillingen, zoals in ziekenhuizen, kan het niet toegestaan zijn om te heien of door middel van trillen damwanden aan te brengen. In dat geval moet er gekozen worden voor een methode die trillingsvrij is, zoals het vervaardigen van een diepwand of voor een methode waarbij bijna geen trillingen optreden, zoals het maken van een berliner wand.

3.4 Kennisfactoren voor het bepalen van de optimale grond- en waterkeringsconstructie

{Onderzoeksvraag 2.3}

3.4.1 Inleiding

Voor het bepalen van de uitvoeringsmethode moet men ten eerste weten welke verscheidene uitvoeringsmogelijkheden en varianten er zijn. Aan de hand van ontwerpgegevens en de bouwsituatie vallen enkele uitvoeringsmethoden af. De huidige uitvoeringsmethoden, de ontwerpgegevens die van belang zijn en de situatiekenmerken zijn reeds beschreven. Aspecten met betrekking tot het ontwerp en de situatie zijn per project uniek. Naast deze aspecten moet ook getoetst worden of alle uitvoeringsmethoden voldoen aan de huidige normen en wetgeving. Tussen de overgebleven mogelijkheden dient uiteindelijk aan de hand van de procesbeheersmiddelen en de uitvoeringsmiddelen welke uitvoeringsmethode het beste is. Wetgeving, normen en procesbeheersmiddelen zijn in principe op elk project toepasbaar. In deze paragraaf zullen de normen en wetgevingen, waaraan voldaan moet worden, aangegeven worden en zullen de procesbeheersmiddelen geld, organisatie, tijd, informatie en kwaliteit behandeld worden.

3.4.2 Normen en regelgevingen met betrekking tot grond- en waterkeringsconstructies {2.3.A}

Grond- en waterkeringsconstructies moeten voldoen aan de huidige normen en regelgevingen. De meeste normeringen hebben betrekking op de constructieve eisen die gesteld worden aan de constructie en zijn van minder belang voor de uitvoerende partij. De constructeur zal het ontwerp moeten berekenen en toetsen aan de hand van de normen. Voor de aannemer is het meer van belang om te weten aan welke eisen de uitvoering moet voldoen. Zodoende zullen de normen en regelgevingen behandeld worden die van belang zijn voor de uitvoerende partij en de eisen die in het bestek worden gesteld, welke adviesrapporten, aanbevelingsrapporten en onderzoeksrapporten van belang zijn. Tevens wordt weergegeven aan welke eisen men moet voldoen om vergunningen te verkrijgen. De procedure voor het verkrijgen van vergunningen zal worden aangegeven en bij welke instanties vergunningen aangevraagd moeten worden.

NEN-normen

In onderstaande tabel staan de belangrijkste NEN-normen die van belang met betrekking tot het uitvoeren van grond- en waterkeringsconstructies.

NEN-normen	
2881	Maximaal toelaatbare maatafwijkingen voor gebouwen
2887	Maximaal toelaatbare maatafwijkingen voor uitzetten
5140	Sondeernorm
5740	Onderzoeksstrategie bij bodem - verkennend onderzoek - onderzoek naar de milieuhygiënische kwaliteit van bodem en grond
6702	Technische grondslagen voor bouwconstructies - TGB 1990 - Belastingen en vervormingen
6720	Voorschriften beton
6740	Classificatie van ondergrondse constructies in een geotechnische categorie in verband met onderzoek, berekeningen en uitvoeringseisen

Tabel 3.4.2.1: Overzicht van de NEN-normen die betrekking hebben op de uitvoering van grond- en waterkeringsconstructies.

Wetgeving

Voor het aanvragen van vergunningen en tijdens de uitvoering dient men te voldoen aan de wetgevingen. Bij grond- en waterkeringsconstructies gaat het om de volgende wetten:

- Grondwaterwet; bepalingen voor het toepassen van bemaling.
- Wet verontreiniging oppervlaktewater; bepalingen voor het lozen van grondwater.
- Wet geluidhinder; uitgebreid stelsel voor geluidnormen.
- Bouwstoffenbesluit; "Het Bouwstoffenbesluit (Bsb) stelt regels voor bouwstoffen (grond of steenachtige materialen) die worden toegepast in een werk en in contact kunnen komen met regen-, grond- of oppervlaktewater. Het besluit moet eventuele uitspoeling van verontreinigingen uit bouwstoffen naar de bodem of het oppervlaktewater beperken.
- Bouwbesluit; voorschriften met betrekking tot het bouwen van bouwwerken uit het oogpunt van veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieu.

- Bouwverordening; voorschriften voor het gebruik van woningen en terreinen of voorschriften voor het uitvoeren van bouwwerkzaamheden." [55]

Bestekseisen

In het bestek worden eisen met betrekking tot regels en de gevraagde kwaliteit vastgelegd. Het gaat hierbij om de aspecten:

- KLIC-melding; de aannemer moet minimaal vijf werkdagen vóór de aanvang van de werkzaamheden, waarbij mogelijk in de grond aanwezige kabels en leidingen betrokken zijn, de uitvoering daarvan melden aan het Kabels en Leidingen Informatie Centrum (KLIC)
- De aannemer dient garantie te verstrekken aan de grond- en waterkeringsconstructie met betrekking tot scheuren en lekkages ten gevolge van zakkingen en zettingen. Meestal bedraagt deze garantieperiode 10 jaar.
- De aannemer moet een kwaliteitsverklaring voor de bouwstoffen afgeven en moet een bewijsmiddel aanleveren dat de bouwstof voldoet aan het bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterenbescherming.
- De aannemer moet de nodige verkeersmaatregelen nemen om het wegennet rondom het werkterrein in functie te houden.

CUR

Het civieltechnisch centrum uitvoering research en regelgeving (CUR) geeft publicaties voor bouw en infra uit. Deze publicaties zijn onder te verdelen in rapporten, handboeken en aanbevelingen. Uitgiften van het CUR die betrekking hebben op grond- en waterkeringsconstructies zijn:

CUR-rapporten (bevatten resultaten van onderzoek)		
91-11	Ondergronds bouwen	1991
CUR-handboeken (overzicht van een bepaald onderwerp of thema)		
162	Construeren met grond. Grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare ondergrond	1992
166	Damwandconstructies (4e druk, deel 1+2)	2005
182	Geofysische technieken voor bodemonderzoek	1995
189	Cementbentoniet schermen	1997
198	Kerende constructies in gewapende grond. Taludhelling steiler dan 70°	2000
211	Handboek kademuren	2003
CUR-Aanbevelingen (geven regels voor toepassing van nieuwe materialen en technieken)		
69	Stalen damwandprofielen. Eigenschappen en levering	
76	Rekenregels voor diepwanden	
77	Rekenregels voor ongewapende onderwaterbetonvloeren	
84	Cementbentonietwanden	

Tabel 3.4.2.2: publicaties van het civieltechnisch centrum uitvoering research en regelgeving met betrekking tot grond- en waterkeringsconstructies.

Praktijkrichtlijnen SBR

De Stichting Bouw Research (SBR) geeft praktijkrichtlijnen voor de bouw. SBR beschrijft de bouwregelgevingen aan de hand van de technische voorschriften uit het bouwbesluit en aan de hand van regelgevingen die te maken hebben met de bouw, zoals over milieuaspecten en (brand)veiligheid. Eén document van het SBR dat van belang is voor grond- en waterkeringsconstructies is de uitgave over schade en hinder door trillingen. In dat deel wordt de schade aan gebouwen behandeld. De richtlijnen in het document geven objectieve criteria om meetresultaten te interpreteren aan de hand van onderzoek, praktijkvoorbeelden en metingen.

Vergunningen

Voor aanvang van de bouwwerkzaamheden dienen er bij de betreffende gemeenten een bouwvergunning aangevraagd te worden. De bouwregelgeving is opgesteld om een veilige en gezonde gebouwde omgeving te waarborgen. Bouwwerken moeten immers niet alleen voldoen aan wensen en behoeften van de opdrachtgever, maar mogen ook geen gevaar opleveren voor de veiligheid en gezondheid van anderen. De gemeente toetst voor het verlenen van een vergunning het

ontwerp en de uitvoering op het bestemmingsplan, de bouwverordening, welstand, het bouwbesluit en eventuele extra benodigde onderzoek. De procedure en de toetsingscriteria zijn landelijk bepaald en voor elke gemeente hetzelfde, met uitzondering van het bestemmingsplan en de welstandscommissie. Deze aspecten verschillen doordat de bouwlocaties verschillen.

Een reguliere bouwvergunning kan ook gefaseerd aangevraagd worden. In de eerste fase wordt bekeken of er ruimtelijke en welstandstechnische bezwaren zijn. In de tweede fase wordt het bouwwerk getoetst op de bouwtechnische aspecten. Op deze manier worden geen onnodige kosten gemaakt als blijkt dat het bouwplan ruimtelijk niet past.

Het bestemmingsplan wordt door de gemeente zelf opgesteld. Een bestemmingsplan is een beleidsdocument dat de ruimtelijke ordening bepaalt. Een bestemmingsplan geeft de "bestemming" van een gebied aan. Een bestemmingsplan zegt iets over het gebruik van de grond en de opstallen en het bepaalt de bouw mogelijkheden van de grond. Het rijk, de provincie en gemeenten worden verplicht om een structuurvisie op te stellen. Bestemmingsplannen moeten om de tien jaar geactualiseerd worden. Bijzonder aan het bestemmingsplan is dat het het enige ruimtelijke plan is dat juridisch bindend is.

Gemeenten hebben een welstandsnota waarin welstandscriteria zijn opgenomen.

Bouwvergunningaanvragen worden aan deze criteria getoetst door een onafhankelijke welstandscommissie. Deze commissie geeft een advies aan de gemeente. Er wordt gekeken naar de vorm van de bouwwerkzaamheden, vlakindeling en materiaalgebruik. Een van de belangrijkste criteria is dat het ontwerp in de omgeving moet passen.

Het Bouwbesluit bevat bouwtechnische voorschriften waaraan alle bouwwerken, zoals woningen, kantoren, winkels e.d. in Nederland minimaal moeten voldoen. De eisen hebben betrekking op veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieu. Het eerste Bouwbesluit is in 1992 in werking getreden en daarmee werden de technische bouwvoorschriften voor het hele land gelijk. Het ontwerp en de uitvoeringsmethode worden gecontroleerd of deze niet in strijd zijn met de voorschriften in het bouwbesluit.

"In de bouwverordening staan voorschriften voor bijvoorbeeld het gebruik van woningen en terreinen of het uitvoeren van bouwwerkzaamheden. De gemeente stelt de bouwverordening op. Bij de betreffende gemeente kan getoetst worden of de bouwplannen voldoen aan de bouwverordening. In de bouwverordening komen in ieder geval de volgende onderwerpen aan bod:

- stedenbouwkundige voorschriften, zoals wegen waaraan mag worden gebouwd, rooilijnen of de plaatsing van bouwwerken ten opzichte van elkaar;
- brandveiligheidsinstallaties;
- aansluiting op nutsvoorzieningen;
- tegengaan van bouwen op verontreinigde grond;
- gebruiksbepalingen;
- sloopvoorschriften;
- voorschriften voor het uitvoeren van bouw- en sloopwerkzaamheden met betrekking tot veiligheid bouw-/sloopplaats, tijdstippen, e.d.;
- belasting voor het gebruik van het trottoir om bijvoorbeeld tijdelijk een afvalcontainer te plaatsen;
- controle door de gemeente tijdens de bouw." [56]

Naast het bestemmingsplan, welstand, het bouwbesluit en de bouwverordening kan een gemeente ook nog extra onderzoeksrapporten eisen in verband met bodemonderzoeken, monumentale panden of archeologische opgravingen. Uit een interview met mevrouw C. Janssen van de gemeente Eindhoven bleek dat de gemeente extra onderzoeksrapporten met betrekking tot bodemonderzoek en onderzoeken naar eventuele optredende schade en beperkende maatregelen ten gevolge van trillingen en bemaling worden vereist bij grond- en waterkeringsconstructies.

"Voor het aanvragen van een bouwvergunning is een procedure vastgelegd, die landelijk hetzelfde is. De procedure voor het aanvragen van een vergunning is als volgt:

- De bouwvergunning wordt aangevraagd.
- De gemeente doet melding van de aanvraag in een dag-, nieuws- of huis-aan-huisblad.
- Als de aanvraag niet compleet is (ontvankelijk) stelt de gemeente een termijn waarbinnen de aanvraag compleet gemaakt kan worden.
- De gemeente is gehouden aan enkele beslistermijnen. Voor een lichte bouwvergunning geldt dat binnen zes weken een beslissing moet worden genomen op uw aanvraag. Er bestaat voor de gemeente geen mogelijkheid om deze termijn te verlengen. Oftewel: na zes weken moet de gemeente uitsluitel hebben gegeven. Voor een reguliere bouwvergunning die in één keer is aangevraagd geldt dat binnen 12 weken een beslissing moet worden genomen. De

gemeente kan deze termijn eenmalig verlengen met 6 weken. Voor een reguliere bouwvergunning die in twee fasen is aangevraagd geldt de volgende regeling: op de eerste fase moet binnen 6 weken worden beslist, met een eenmalige verlengingstermijn van 6 weken. Voor de tweede fase gelden dezelfde termijnen. De totale termijn bedraagt dus maximaal 24 weken. Als het bouwwerk in strijd is met het bestemmingsplan wordt de aanvraag om de bouwvergunning automatisch beschouwd als een verzoek tot het verlenen van vrijstelling van dat bestemmingsplan. In dat geval gelden de beslistermijnen niet.

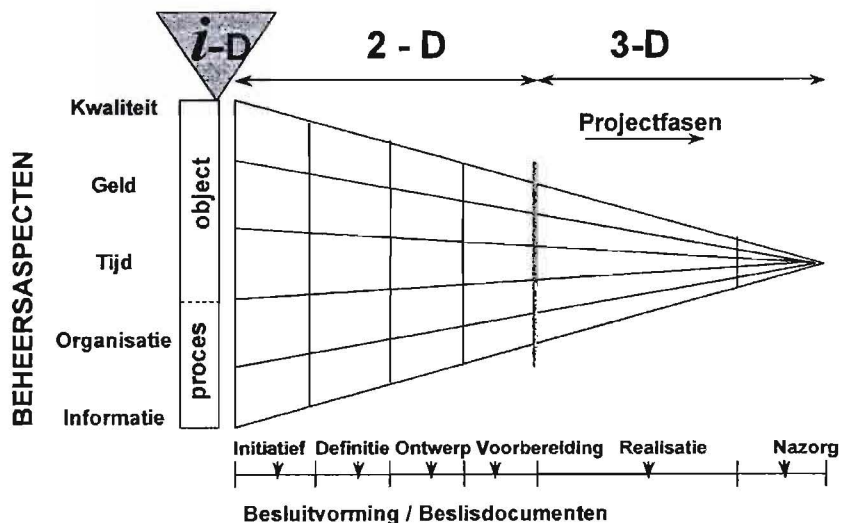
- Na verlening (of weigering) van een bouwvergunning start de termijn van 6 weken waarin bezwaar gemaakt kan worden tegen de beslissing.
- Mocht het bezwaar ongegrond worden verklaard dan kan beroep ingesteld worden bij de Rechtbank. Dat moet binnen 6 weken.
- Tegen de uitkomst van het beroep kan in hoger beroep worden gegaan bij de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State. Dat moet binnen 6 weken." [57]

3.4.3 Het beheersen van het ontwerpproces en het uitvoeringsproces van grond- en waterkeringsconstructies {2.3.B}

Inleiding: procesbeheersmiddelen

Het beheersen van een project omvat alle sturende en regelende activiteiten, die erop gericht zijn deze planmatig en binnen de beschikbare middelen te doen verlopen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar beheersing van het object en beheersing van het proces. Het beheersen van het object vindt plaats door het beheersen van de aspecten geld, tijd en kwaliteit. Deze drie beheersaspecten zijn onderling sterk van elkaar afhankelijk. Bij het beheersen van het proces zijn een slagvaardige organisatie en een effectieve informatiestroom nodig. Alle vijf de procesbeheersmiddelen samen worden vaak aangeduid als GOTIK (Geld, Organisatie, Tijd, Informatie en Kwaliteit).

Besluitvorming van welke uitvoeringsmethode gekozen wordt, vindt plaats op basis van beslisdocumenten. Voor een goede en verantwoorde besluitvorming is de beschikbaarheid van relevante gegevens een basisvoorwaarde. Aan de hand van deze relevante gegevens kan een besluit genomen worden waarbij de vijf beheersaspecten onderbouwd worden. Naarmate het project vordert, is het project steeds beter beschreven en neemt de bandbreedte van de ontwikkeling af. Hiermee wordt bedoeld dat er in de beginfase nog veel ruimte zit. Naarmate het project vordert tot een eindpunt, neemt de beslissingsruimte af. Dit is schematisch weergegeven in figuur 3.4.3.1.



Afbeelding 3.4.3.1: De managementdriehoek verbeeldt voor alle vijf de beheersaspecten de trechtervorm. Naarmate het project vordert is het project steeds beter beschreven en neemt de bandbreedte van de ontwikkeling af. [58]

Per procesbeheersaspect zal nu behandeld worden welke gegevens van belang zijn voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies en welke eisen of grenswaarden hier aan worden gesteld. Tevens dient gekeken te worden wie wat en in welke fase bepaald.

Geld

Van te voren wordt door de opdrachtgever een budget opgesteld. Een budget is een bepaalde hoeveelheid geld die is gereserveerd om bepaalde zaken te kunnen (laten) realiseren zonder een gedetailleerde omschrijving hiervan. De globaliteit van de omschrijving biedt een zekere mate van vrijheid, en daarmee de mogelijkheid, tot realisering binnen dat budget. Aan de hand van het ontwerp kan de uitvoeringsmethode getoetst worden of deze voldoet aan de gewenste kwaliteit, normen en regelgevingen. Gedurende het ontwerpproces vallen bepaalde oplossingen af. Tijdens de bouwvoorbereiding worden de overgebleven realisatiemethoden onderling met elkaar vergeleken met betrekking tot de bouwkosten. Een eis is dat deze binnen het budget moeten vallen. De goedkoopste uitvoeringsmethode die aan de gewenste eisen en kwaliteit voldoet, zal gekozen worden.

Het vergelijken van de methoden kan middels het opstellen van een elementenbegroting. "Een elementenbegroting is een begroting van de directe kosten die uitgaat van de verschillende onderdelen van een gebouw (of terrein). Een groot voordeel van de elementenmethode, in tegenstelling tot de werksoortenbegroting, is dat de wijze van opbouw van de begroting aansluit bij de denkwijze van de ontwerpers." [59]

Voor alle uitvoeringsmethoden dient voor het opstellen van de vergelijking aan de hand van de elementenbegroting bekend te zijn welke handelingen er uitgevoerd moeten worden, welk materiaal benodigd is, welk materieel ingezet dient te worden en hoeveel arbeid erin gaat zitten. Aan de hand van de hoeveelheden uit het ontwerp kan door het vermenigvuldigen van de actuele eenheidsprijzen de totale directe bouwkosten berekend worden (prijs = hoeveelheid x eenheidsprijs).

Ontwerp			Arbeid			Materiaal			Materieel			TOTAAL
Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid	Norm	Eenheid	Subtotaal	Norm	Eenheid	Subtotaal	Norm	Eenheid	Subtotaal	
TOTAAL												

Tabel 3.4.3.1: Tabel voor het berekenen van de totale kosten voor het vervaardigen van een grond- en waterkeringsconstructie met behulp van de elementenbegroting.

Bij het berekenen van de bouwkosten gaat het niet alleen om de kengetallen van eenheidsprijzen. Er dient ook gekeken te worden naar de capaciteit en het productietempo. Afhankelijk van de bouwtijd en het productietempo worden de uitvoeringsmiddelen (arbeid en materieel) hier op afgestemd.

Daarnaast dient er rekening te worden gehouden met extra kosten. Hier valt te denken aan:

- kosten voor mitigerende maatregelen;
- kosten voor het omleggen of verwijderen van infrastructuur, kabels en leidingen;
- kosten voor eventuele sloop en herbouw;
- kosten voor schadegevallen, zoals zakkingen en optredende scheuren bij belendingen.

Om een reëel beeld te krijgen van de vergelijking van bouwkosten van de keringsconstructie door verschillende uitvoeringsmethoden moet ook rekening worden gehouden met de functies die de keringsconstructie overneemt. Als bijvoorbeeld diepwanden worden toegepast, dan hoeven er geen constructieve kelderwanden meer gestort te worden. Bij damwanden moeten alsnog kelderwanden gestort worden. In de vergelijking moeten de extra kosten voor het vervaardigen van de kelderwanden bij de damwanden meegenomen worden.

Organisatie

Het beslissingsmodel is bedoeld voor de aannemer, opdat deze in korte tijd kan bepalen wat de optimale uitvoeringsmethode is voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies. Bij een traditioneel aanbestedingsmodel wordt een ontwerp besteksgereed aangeboden bij een aantal aannemers om hun prijsaanbiedingen te doen. Er geldt een strenge scheiding tussen ontwerp en uitvoering. Aangezien de aannemer pas in de uitvoeringsfase wordt ingeschakeld, is het onmogelijk om bij het ontwerpen gebruik te maken van zijn uitvoeringsdeskundigheid. De grond- en waterkeringsconstructie is in besteksfase al omschreven en de aannemer dient zich hier aan te houden. In dit geval kan de aannemer niet zelf beslissen welke uitvoeringsmethode het beste is, waardoor het beslissingsmodel geen nut heeft.

Het model zal daarom zich toespitsen op projecten die van eigen ontwikkeling zijn of bij de contractvormen Turn-key, Bouwteam en Design And Build. Bij een turnkey-project besteedt de opdrachtgever het ontwerp en de realisatie van het bouwwerk volledig uit. De opdrachtgever stelt veelal slechts een globaal programma van eisen op. Een turnkey-organisatie is een verzameling van

disciplines die in het bouwproces werkzaam zijn. Veelal bestaat zo'n organisatie uit een hoofdaannemer, een interne architect en eventueel adviseurs en/of financiers. Het bouwteam is een onderhandelingsmodel. Bij deze vorm is een bouwteam verantwoordelijk voor het ontwikkelen van een bouwwerk. Kenmerkend voor een bouwteam is dat de belangrijkste partners in het bouwproces er deel van uitmaken, zoals de architect, de aannemer, de installateurs, de installatieadviseurs, de constructeur en de bouwkostenskundige. In een bouwteam kan een aannemer uitvoeringsdeskundigheid en specifieke productkennis inbrengen. Aan de hand van het invullen van het beslissingsmodel kan de aannemer de optimale uitvoeringsmethode adviseren voor het vervaardigen van de grond- en waterkeringsconstructie. Wel dient de opmerking geplaatst te worden dat de bouwer in het bouwteam niet vanzelfsprekend de uiteindelijke bouwer is. Bij design and build is één organisatie verantwoordelijk voor zowel het ontwerp als de uitvoering. Het gaat hierbij om complexe bouwopgaven die vaak door één bedrijf niet uit te voeren zijn. Bij design and build is de organisatie niet alleen een organisator, maar levert het zelf ook een wezenlijk aandeel in ontwerp en uitvoering door de inbreng van eigen specialismen. Naast de verschillende contractvormen dient gelet te worden op de organisatiebeheersing. De organisatiebeheersing bevat die werkzaamheden en taken die ervoor zorgen, dat alle betrokkenen bekend zijn in welk samenwerkingsverband met elkaar functioneren. Hierbij worden taken verdeeld, communicatiekanalen afgesproken en op elkaar afgestemd en besluitvormingsprocessen bepaald. Bij het projectwerk dient er taakgericht, proceduregericht en procesgericht gewerkt te worden.

Tijd

Bij het vervaardigen van een grond- en waterkeringsconstructie dient rekening te worden gehouden met de beschikbare bouwtijd. Indien de bouwtijd te lang duurt, bestaat de kans op overschrijding van de opleverdatum. De aannemer moet dan, indien een boeteclausule is opgenomen, geld terug geven aan de opdrachtgever. Afhankelijk van de gekozen bouwmethode en de beschikbare bouwtijd zullen de uitvoeringsmiddelen hierop aangepast worden. Hierbij dient gelet te worden op de dag- of weekproductie die men wil bereiken. Afhankelijk van deze productie zal de capaciteit aan arbeid en materieel erop afgestemd worden.

Een goede planning is een belangrijk hulpmiddel om een bouwproject te beheersen. Het is een communicatiemiddel om de complexiteit van het ontwikkel- en bouwproces voor alle betrokkenen inzichtelijk te maken. Het dient als leidraad voor de werkzaamheden en vormt de basis om voortgang te signaleren en adequate besluitvorming te ondersteunen. Bij plannen dient er een analyse van het proces gemaakt te worden, onderlinge relaties weergegeven te worden, de benodigde tijd per activiteit bepaald te worden en moeten onderlinge activiteiten geordend worden waardoor het kritieke pad aangeduid kan worden.

Bij cementbentonietwanden, diepwanden en palenwanden dient rekening te worden gehouden met de dagcyclus. Het is bij deze uitvoeringsmethoden van belang dat er wordt gelet op de verhardingstijd. Als er bij bijvoorbeeld te lang gewacht wordt bij palenwanden met het maken van secundaire palen, bestaat de kans dat de primaire palen geheel verhard zijn en dat er geen goede waterdichte constructie verkregen wordt. Een secundaire paal kan immers niet in een primaire paal worden geboord als deze al verhard is.

Bij het kiezen van een uitvoeringsmethode moet gekeken worden of het mogelijk is om binnen de gestelde bouwtijd de keringsconstructie te vervaardigen. Indien bijvoorbeeld bij methode A geen deelprocessen parallel kunnen verlopen, maar bij methode B wel bestaat de kans dat met methode A de geëiste bouwtijd wordt overschreden. Wil men dan toch de bouwtijd met methode A halen, dan moet er extra materieel en extra arbeid worden ingezet, waardoor de bouwkosten stijgen. In principe kan gesteld worden dat de bouwtijd of extra bouwtijd omgerekend kan worden naar extra kosten. Niet alleen tussen uitvoeringsmethoden zijn verschillen met betrekking tot de bouwtijd, ook tussen uitvoeringsvarianten zijn verschillende bouw tijden mogelijk. Damwanden trillend aanbrengen gaat bijvoorbeeld sneller dan damwanden te heien.

Behalve te kijken naar de uitvoeringstijd moet ook gelet worden op de voorbereidingstijd. Bij de voorbereidingstijd moet gedacht worden aan het uitwerken van de keringsconstructie, het aanvragen van materialen, het opstellen van de uitvoeringsvolgorde, het inkopen van materialen waarbij gelet dient te worden op de levertijd en het controleren van tekeningen.

Informatie

Voor informatiebeheer dienen afspraken en procedures opgesteld te worden tussen de verschillende partijen over wie welke informatie mag of moet goedkeuren en wijzigen. Bij projectinformatie kan gedacht worden aan technische inhoudelijke informatie, rapportages en verslagen. Er dient onderscheid te worden gemaakt tussen documentregistratie en documentbeheersing. Onder

registratie wordt het coderen, distribueren en archiveren van informatie verstaan. Onder beheersing wordt de voortgangsbewaking, de goedkeuringsprocedure, de statusbewaking en de bevroering van (goedgekeurde) documenten verstaan.

Naast de informatie is communicatie ook van belang. Communicatie is tweezijdig gericht, waarbij onderscheid gemaakt kan worden tussen interne en externe communicatie. Met interne communicatie wordt bedoeld de communicatie tussen groepen binnen het project. Externe communicatie vindt plaats tussen het project en partijen, die niet tot de projectorganisatie behoren.

Kwaliteit

Kwaliteit kan worden omschreven als de geschiktheid van een product voor gebruik. Voor de bouw wordt kwaliteit als volgt omschreven: "de mate, waarin het gerealiseerde object voldoet aan de eisen, die de afnemer er vooraf en middels expliciete beslissingen tijdens het ontwikkelingsproces aan heeft gesteld." De gewenste kwaliteit wordt omschreven in achtereenvolgens het programma van eisen, het ontwerp, het bestek met bijbehorende bestekstekeningen, de nota's van wijzigingen en van inlichtingen en de diverse attesten, certificaten en normen voor de toegepaste materialen. De gewenste kwaliteit van het product is afhankelijk van de wensen van de toekomstige gebruikers. In de bouw is dat meestal de opdrachtgever die deze wensen inbrengt.

De kwaliteit wordt gedurende het bouwproces steeds nauwkeuriger vastgelegd. Per fase worden elementen toegevoegd, die de uiteindelijke kwaliteit bepalen. Voor de aannemer geldt dat hij aan de gewenste kwaliteit moet voldoen. In het bestek staat vaak aangegeven waaraan de kwaliteit moet voldoen. De aannemer mag hiervan afwijken, indien het resultaat minimaal gelijkwaardig is.

3.5 Uitvoeringsmiddelen bij het vervaardigen van een grond- en waterkeringsconstructies

{Onderzoeksvraag 2.4}

3.5.1 Inleiding

Voor het vervaardigen van de keringsconstructies dienen uitvoeringsmiddelen ingezet te worden. De uitvoeringsmiddelen bestaan uit materieel en arbeid, die ingezet worden om de werkzaamheden te voltooien. Het gaat hierbij om de basisactiviteiten prepareren, transporteren, uitzetten, bewerken, verwerken en conditioneren. In deze paragraaf zullen normeringen, productienormen, de benodigde capaciteit en arbeidsomstandigheden aan de orde komen.

3.5.2 Materieel {2.4.A}

Voor het vervaardigen van een keringsconstructie is materieel nodig. Het materieel kan in eigen bezit zijn of moet gehuurd worden. Materieelkosten die een rol spelen zijn investeringskosten of huurkosten, afschrijvingskosten, rente, reparatie- en onderhoudskosten en beheerskosten. Naast deze kosten dient er ook rekening te worden gehouden met eenmalige kosten, zoals kosten voor het aanvoeren en afvoeren van het materieel en voor het opzetten en afbreken van het materieel. De bezettingsgraad geeft aan de mate waarin het materieel daadwerkelijk ingezet kan worden. Gestreefd moet worden om de bezettingsgraad zo hoog mogelijk te houden.

In hoofdstuk 2 zijn de verschillende mogelijke uitvoeringsmethoden voor het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies behandeld. Hierbij is ook steeds bij elke uitvoeringsmethode aangegeven welk materieel benodigd. In tabel 3.5.2.1 wordt nog een keer een overzicht gegeven van het in te zetten materieel.

Benodigd materieel	
Keringsconstructies	
Taluds	Graafmachine
Folieconstructies	Ponton, pomp, kraan
Berliner wand	Heimachine/trilblok/avegaarboor, graafmachine
Stalen damwanden heien	Heimachine (stoom, lucht, diesel of hydraulisch)
Stalen damwanden trillen	Trilblok
Stalen damwanden indrukken	Silent piler
Combiwand	Heimachine/trilblok/silent piler
Palenwanden	Schroefboor/avegaar/betonpomp, boorframe

Diepwanden	Kraan, lier, draadgrijper (mechanisch of hydraulisch) of diepwandfrees, stortbuizenrek en ontzander
Combinatiescherm	Graafmaterieel (grijper of frees), bentonietcentrale, schoengeleidingen en stelframes
Cementbentonietwanden	Graafmaterieel (grijper of frees) en menginstallatie, pomp, silo's
Mix-In-Place	Boorstelling, voorraadcontainers
FMI (frees meng injectie)	Freesmengmachine en mixunit (silo's, pomp, slangen en buizen)
Jetgrouten	Boorstelling, silo, menginstallatie, voorraadvat, pomp en compressor
Bodeminjecties	Boorstelling
Kunstmatige bevrozingstechnieken	Koeler, pekelpomp, compressor, tank, drukventielen en vriesbuizen
Onderwater betonvloer	Betonpomp, ponton en een stortbak/stortpijp/hopdobber of hydroventiel
Verankeringen	
Ankerschotten of ankerwanden	Graafmachine, trilplaat
Schroefankers	Schroefmotor
schroefinjectieankers	Boormachine
Groutankers	Boormachine/indrijfhamer, mantelbuis
GEWI-palen	Boormachine, mantelbuis
Ankerpalen	Heimachine
Stempels	Bouwkraan
Bemaling	
Bronbemaling	Putfilters
Vacuumbemaling	Vacuumpomp
Zwaartekrachtbemaling	Zuigpomp
Plaatsen putfilters	Spuiltans/roterende holle avegaarboor/pulsboor

Tabel 3.5.2.1: het benodigde materieel per uitvoeringsmethode voor het vervaardigen van een grond- en waterkeringsconstructie.

Kijkend naar de keuze van de uitvoeringsmethode met betrekking tot het materieel dat ingezet wordt, zal een grote rol spelen welk materieel het bedrijf zelf bezit. Indien in een eerder stadium in materieel voor een betreffende uitvoeringsmethode is geïnvesteerd, zal het bedrijf dit materieel ook zoveel mogelijk willen inzetten. De keuze voor een bepaalde uitvoeringsmethode kan dus per bedrijf verschillen door de factor materieel.

Aan de hand van de planning kan berekend worden capaciteit aan materieel ingezet moet worden. Gekeken wordt naar de productienorm die gehaald moet worden. Dit is verschillend per uitvoeringsmethode. Bij sommige uitvoeringsmethoden is het van belang dat er een bepaalde dagcyclus of weekcyclus wordt gehaald. Het materieel wordt hier evenals de arbeid op afgestemd. Door gegevens van reeds uitgevoerde projecten, bodemonderzoek en een analyse van het ontwerp kan een productienorm worden aangegeven waarmee gerekend kan worden. Is de productienorm niet haalbaar met het minimale materieel, dan zal er meer materieel ingezet moeten worden. Dit houdt in dat er extra eenmalige kosten en huurkosten gemaakt moeten worden.

In tabel 3.5.2.2 is een voorbeeld te zien van welke dagproductie gehaald kan worden aan de hand van kengetallen voor het heien van damwanden. De dagproductie die berekend is aan de hand van kengetallen hoeft in de praktijk niet altijd te betekenen dat deze wordt gehaald. Er kunnen altijd problemen tijdens de uitvoering optreden, zoals het stuiten op obstakels.

Activiteit	Damwand	Diepte in m	Aantal ploegleden		Dagproductie in m
			Heier	Hulparbeider	
Heien	Hout, enkelwandig	3	2	1	15
		5	2	1	10
		7	2	1	7

Staal, enkelwandig	5	3	1	15
	9	3	1	10
	12	3	1	8
Staal, dubbelwandig	5	3	1	12
	9	3	1	7
	12	3	1	5

Tabel 3.5.5.2: dagproductie voor het heien van damwanden die mogelijk is met één heistelling. [60]

3.5.3 Arbeid {2.4.B}

Net als het benodigde materieel, kan het aantal manuren voor het vervaardigen van de keringsconstructie aan de hand van productienormen berekend worden. Per deelactiviteit dient de norm met de te maken hoeveelheid vermenigvuldigd te worden. De productienorm wordt bepaald door de bewerkingstijd. De bewerkingstijd is de tijd in manuren die nodig is om een werkzaamheid te verrichten. De bewerkingstijd is afhankelijk van het gebruikte materieel, de materiaalsoort, de afmetingen en de omstandigheden waaronder gewerkt wordt.

Van belang is dat het aantal arbeiders wordt afgestemd op het materieel dat wordt ingezet. Het materieel zal bestuurd, onderhouden en gecontroleerd moeten worden. Daarnaast is het van belang dat het materieel maximaal wordt gebruikt door een zo hoog mogelijke bezettingsgraat te verwezenlijken. In tabel 3.5.5.2 is ook te zien uit hoeveel arbeiders één ploeg bestaat voor het heien van stalen damwanden.

Voor de arbeiders is het van belang dat er veilig wordt gewerkt. De werkzaamheden moeten onder goede arbeidsomstandigheden uit te voeren zijn en alle benodigde (persoonlijke) veiligheidsmiddelen moeten getroffen zijn.

De factor arbeid speelt ook een rol in de keuze van de uitvoeringsmethode. Als een bedrijf bijvoorbeeld zich gespecialiseerd heeft in damwanden en uit de kostenanalyse blijkt dat het vervaardigen van damwanden even duur is bij een bepaald project als het vervaardigen van een berliner wand, dan zal het bedrijf kiezen voor damwanden. De cultuur van het bedrijf speelt dan een rol in de keuze.

3.6 Conclusie

In dit hoofdstuk is ingegaan op gegevens en factoren die een rol spelen bij de keuze van de optimale uitvoeringsmethode voor grond- en waterkeringsconstructies. In feite zijn dit de gegevens waarop de keuze gebaseerd wordt. De factoren die een rol spelen zijn onderverdeeld in de categorieën ontwerpfactoren, situatiefactoren, kennisfactoren en uitvoeringsmiddelen.

De ontwerpfactoren en de situatiefactoren zijn projectspecifieke gegevens. Deze gegevens zullen bij verschillende projecten altijd verschillen. Kennisfactoren en de uitvoeringsmiddelen waarop de keuze gebaseerd wordt, zijn niet projectspecifiek maar op alle projecten van toepassing. De gegevens van deze twee categorieën worden wel beïnvloed door het ontwerp en de situatie. Afhankelijk het ontwerp en de situatie gelden specifieke voorwaarden met betrekking tot regelgevingen, procesbeheersmiddelen en uitvoeringsmiddelen.

In tabel 3.6.1 wordt een overzicht gegeven per categorie welke factoren een rol spelen in de keuze van de uitvoeringsmethode. De factoren zijn in dit hoofdstuk toegelicht.

Keuzefactoren voor het kiezen van de optimale uitvoeringsmethode het vervaardigen van grond- en waterkeringsconstructies				
Ontwerpfactoren		Situatiefactoren		
Ontwerpeisen	Ontwerpdiepte	Geotechnische situatie	Bodemopbouw	
	Lengte x breedte		Conusweerstand	
	Materialisatie		Wrijvingsgetal	
Functionele eisen	Waterkering		Geohydrologische situatie	Volumieke massa
	Grondkering			Poriëngehalte
	Constructieve functie			Korrelgrootte
	Tijdelijke of definitieve functie			Cohesie
Maatafwijkingen	Doorlatendheidscoëfficiënt			
Esthetische eisen	Materialisatie	Belendingen en omgeving		Grondwaterstand
	Maatafwijkingen			Stijghoogte
	Oppervlaktestructuur			Spanningswater
Duurzaamheid	Levensduur			Bemaling
	Garantie			Vergunningen
Constructieve eisen	Dragende functie		Monitoring	Schade
	Grondkering	Hinder	Trillingen	
	Verankering	Geluidsoverlast		
Toekomstige plannen	Uitbreidingsmogelijkheden	Uitvoeringsmiddelen	Grondwaterstandverlaging	
	Aansluitingen		Afstand tot belendingen	
			Zettingen omliggende gebouwen	
			Functie omliggende gebouwen	
			Fundatie omliggende gebouwen	
			Toestand omliggende gebouwen	
Kennisfactoren		Materieel	Benodigd materieel	
Normen en regelgevingen	Normen		Materieelinzet	
	Regelgevingen		Materieelcapaciteit	
	Vergunningen		Productienorm	
	Bestekseisen		Bezettingsgraad	
	Praktijkrichtlijnen		Materieelkosten	
	Onderzoeksrapporten		Arbeid	Arbeidsnormen
Procesbeheersmiddelen	Geld			Manuren
	Organisatie			Arbeidsomstandigheden
	Tijd			
	Informatie			
	Kwaliteit			

Tabel 3.6.1: Overzicht van alle factoren die een rol spelen in de keuze van de uitvoeringsmethode, onderverdeeld in de categorieën ontwerp, situatie, kennis en middelen.

4. Beïnvloeding van factoren die een rol spelen bij de keuze van de optimale uitvoeringsmethode

{Probleemstelling 3}

4.1 Inleiding

Nadat alle factoren zijn omschreven moet onderzocht welke invloed de verschillende keuzefactoren hebben. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen hoe de keuzefactoren elkaar beïnvloeden en welke relatie ze hebben met de verschillende uitvoeringsmethoden. Bij de relatie tussen de factoren en de uitvoeringsmethoden dient voornamelijk de vraag te worden gesteld welke gevolgen de factoren hebben op de uitvoeringsmethoden. Bij welke condities van de factoren ontstaat de situatie dat bepaalde uitvoeringsmethoden helemaal niet meer toegepast mogen worden of alleen indien er extra maatregelen worden toegepast.

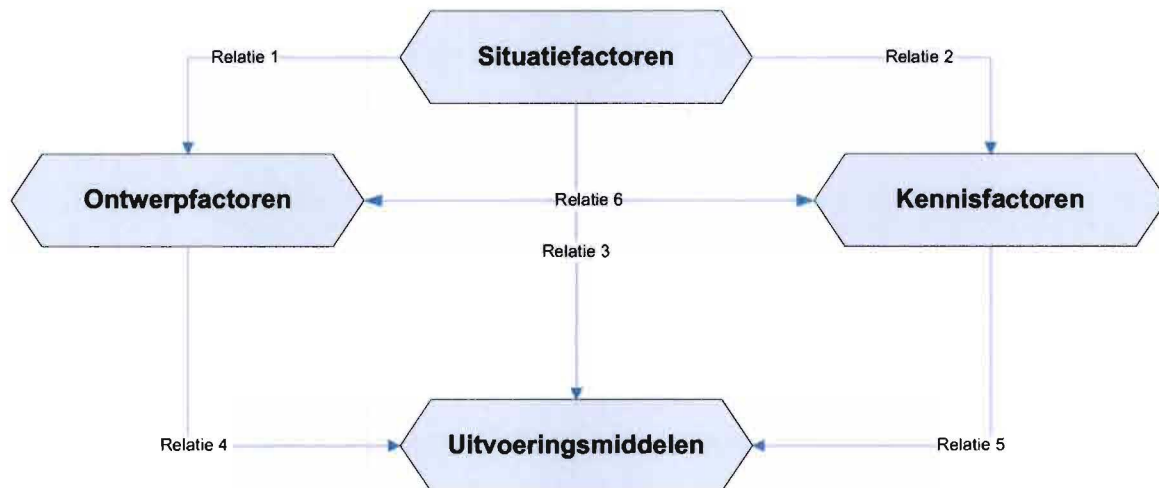
Indien er na toetsing van de verschillende uitvoeringsmethoden aan de factoren die een rol spelen blijkt dat er nog meerdere uitvoeringsmethoden of uitvoeringsvarianten toepasbaar zijn, moet er een vergelijking gemaakt worden aan de hand van de procesbeheersmiddelen en de uitvoeringsmiddelen. Aangezien hier meerdere aspecten nog een rol in kunnen spelen is het noodzakelijk om de verhouding tussen de keuzeaspecten helder te hebben. Er zal een prioriteitstelling tussen de verschillende keuzefactoren opgesteld moeten worden.

Middels een relatieschema zullen de onderlinge relaties tussen de keuzefactoren behandeld worden in paragraaf 4.2. In de daaropvolgende paragraaf zullen zal aangegeven worden onder welke criteria die voor de keuzefactoren kunnen gelden, dit tot beperkingen leidt voor het toepassen van bepaalde uitvoeringsmethoden. Met andere woorden welke uitvoeringsmethode onder die omstandigheden niet meer toegepast kunnen worden. In paragraaf 4.4 zal voor de keuzefactoren die geen beperkingen opleggen aan de mogelijkheid van het toepassen van een uitvoeringsmethode een duidelijke prioriteitstelling worden geformuleerd.

4.2 Relaties tussen de verschillende keuzefactoren onderling

{Probleemstelling 3.1}

De factoren en gegevens zoals omschreven in hoofdstuk 3 die een rol spelen in de keuze voor de optimale uitvoeringsmethode staan niet los van elkaar. Zoals aangegeven zijn de factoren onderverdeeld in vier categorieën. Tussen de vier categorieën zijn ook relaties weer te geven (figuur 4.2.1) over hoe deze elkaar beïnvloeden.



<i>Relatie 1</i>	Het ontwerp en ontwerpfactoren worden aangepast aan de situatie, zoals beleningen, omliggende gebouwen, de bodemopbouw en het grondwaterniveau.
<i>Relatie 2</i>	Het ontwerp wordt getoetst aan de normen en regelgevingen aan de hand van situatiefactoren zoals geotechnische en geohydrologische factoren en mogelijke schade en hinder voor beleningen en omliggende gebouwen.
<i>Relatie 3</i>	Bij het inzetten van de uitvoeringsmiddelen moet onderzocht worden of deze geschikt zijn voor de situatiefactoren en of de middelen gezien de beleningen geen obstakel vormen met het materieel.
<i>Relatie 4</i>	Afhankelijk van het ontwerp wordt bepaald welk materieel ingezet wordt.
<i>Relatie 5</i>	Bij het verlenen van vergunningen en het toetsen aan regelgevingen wordt gekeken of het materieel dat ingezet wordt voldoet aan de gestelde eisen en dat de arbeidsomstandigheden goed zijn.
<i>Relatie 6</i>	Het ontwerp en de ontwerpfactoren worden mede bepaald door de procesbeheersmiddelen en door toetsing aan regelgevingen en normen. Andersom worden de procesbeheersmiddelen ook op het ontwerp afgestemd.

Figuur 4.2.1: relatieschema tussen de vier categorieën waarin de keuzefactoren zijn onderverdeeld.

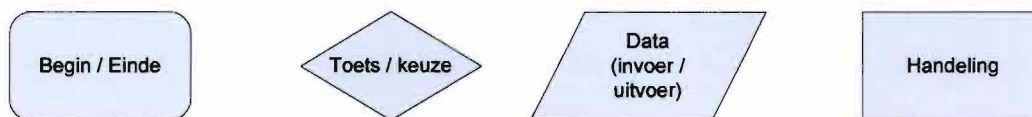
Uit het relatieschema blijkt dat de situatie de ontwerpfactoren, de kennisfactoren en de uitvoeringsmiddelen beïnvloedt. Andersom is dat niet het geval. De eigenschappen van de locatie waar gebouwd wordt, bestaande uit de beleningen, de ondergrond en de omgeving, liggen vast bij aanvang van het ontwerpproces. Het ontwerp, de benodigde kennisfactoren en de inzet van de middelen worden op de situatie afgestemd. Verder worden de uitvoeringsmiddelen naast de situatie ook bepaald door het ontwerp, de normen en regelgevingen en de procesbeheersmiddelen. Behalve de relaties tussen de vier categorieën zijn alle factoren binnen de categorieën zelf aan elkaar gerelateerd. In tabel 4.2.1 wordt in een overzichtstabel aangegeven welke factoren onderling een relatie met elkaar hebben. De tabel is opgesteld aan de hand van het literatuuronderzoek, bevindingen uit het bezichtigen van referentieprojecten en de verkregen informatie uit interviews.

4.3 Relatie tussen de verschillende keuzefactoren en de mogelijke uitvoeringsmethoden

{Probleemstelling 3.2}

Aan de gegevens en factoren die een rol spelen in de keuze van de uitvoeringsmethode kunnen eisen worden gesteld die ertoe leiden dat bepaalde bouwmethoden niet meer toegestaan of mogelijk zijn. In deze paragraaf zullen alle eisen behandeld worden die beperkingen opleggen aan de keuze van de uitvoeringsmethode. Aan de hand van de eis zal worden behandeld in welke omstandigheden dit problemen oplevert en welke uitvoeringsmethoden dan niet meer toegepast kunnen worden. Ook bestaat de mogelijkheid dat uitvoeringsmethoden wel nog toegepast mogen en kunnen worden, met als voorwaarde dat er extra voorwaarden gelden en dat er mitigerende maatregelen toegepast moeten worden. Als dat het geval is, zullen de mitigerende maatregelen en extra voorwaarden aangegeven worden.

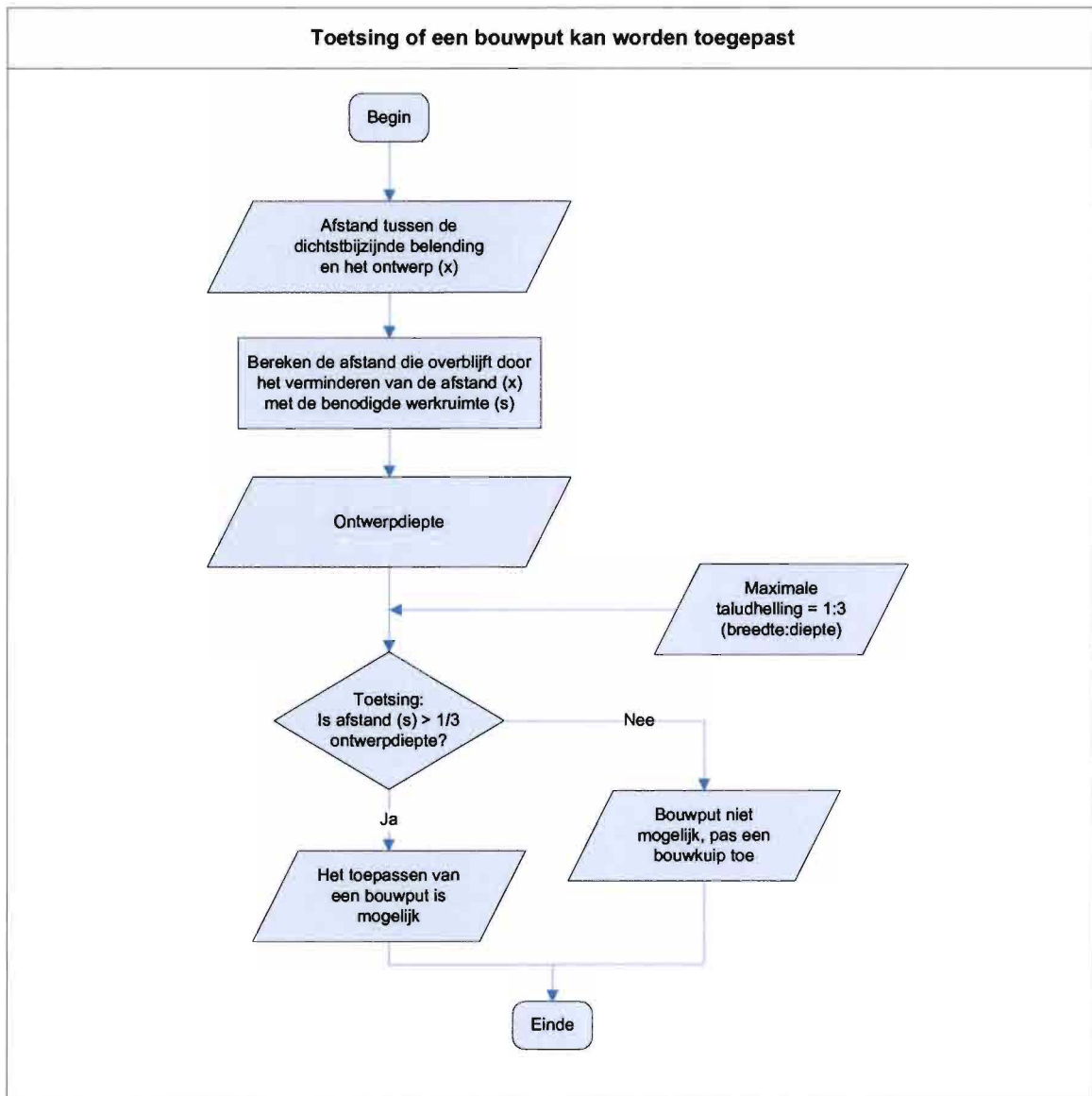
Het uitwerken van de relaties tussen de keuzefactoren en de gevolgen voor de uitvoeringsmethoden vindt plaats door het opstellen van algoritmeschema's. Een algoritme is een beschrijving van een methode om een probleem op te lossen. De schema's zijn opgemaakt aan de hand van standaard figuren die een betekenis hebben. Deze figuren zijn uitgelegd in afbeelding 4.3.1. Naast de schema's zal er ook een korte tekstuele toelichting worden gegeven.



Afbeelding 4.3.1: Legenda van de standaard figuren

Bouwput versus bouwkuip

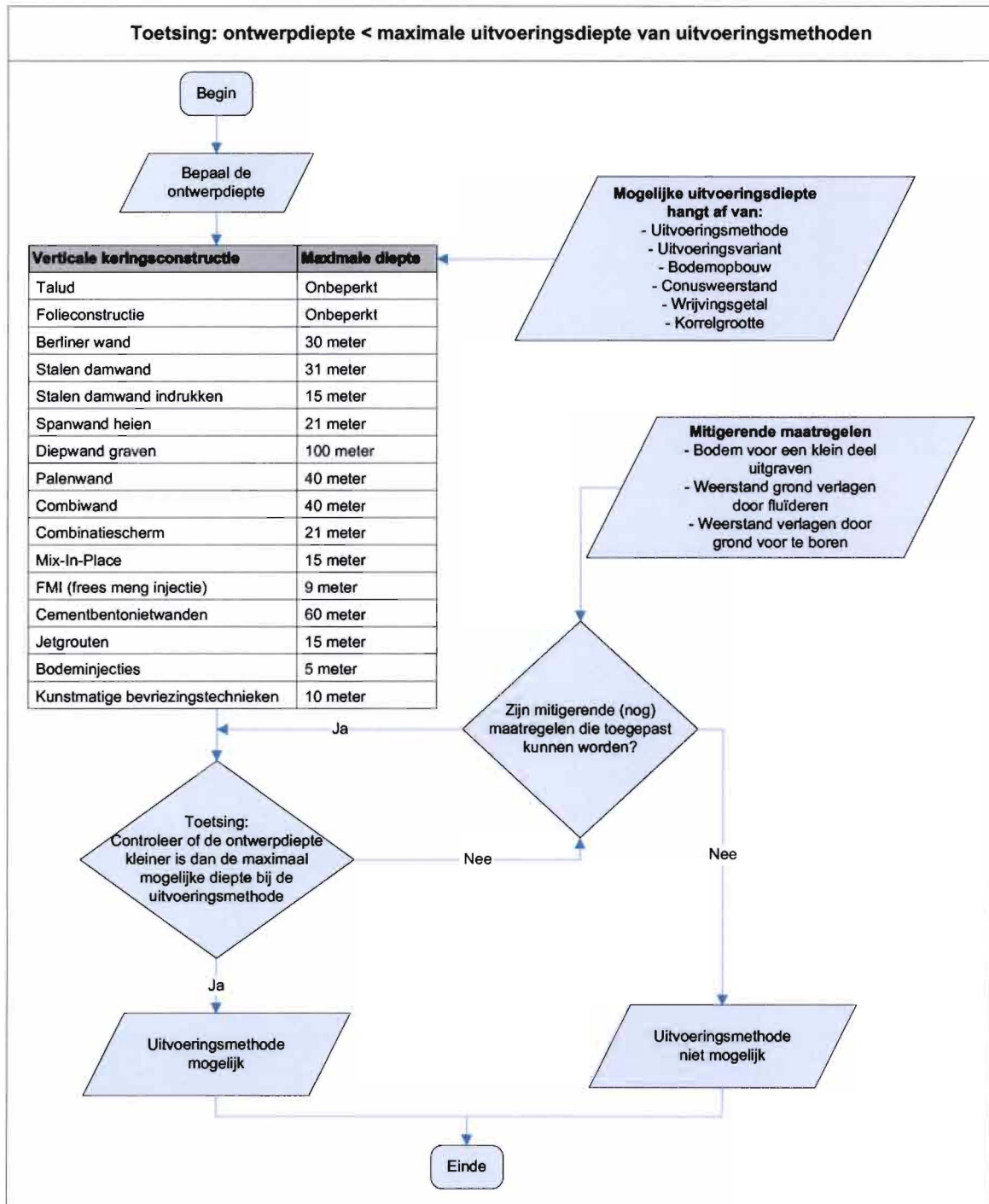
Als er voldoende ruimte beschikbaar is voor de bouwplaats kan er een bouwput gemaakt worden. De helling van een talud bedraagt maximaal 1:3 (lengte:diepte). De benodigde ruimte is het oppervlak van het ontwerp vermeerderd met de benodigde werkruimte. Indien er niet voldoende ruimte overblijft voor het uitgraven van een bouwput, moet er een bouwkuip worden gerealiseerd. Een bouwkuip heeft geen talud, maar verticaal kerende wanden.



Figuur 4.3.1: schema om te bepalen of een bouwput toegepast kan worden, of dat er een bouwkuip gemaakt moet worden.

Ontwerpdiepte

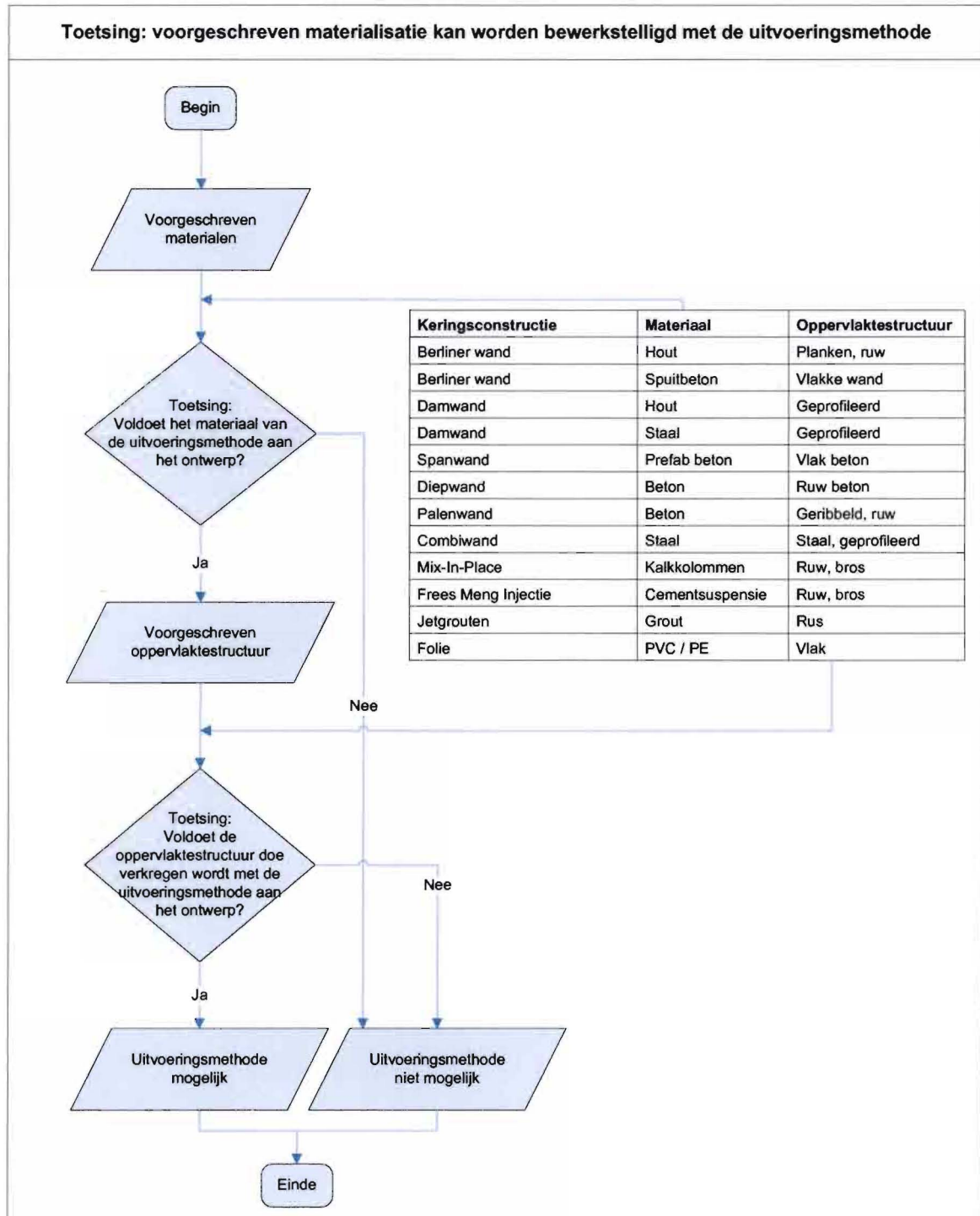
Bij het vervaardigen van een grond- en waterkeringsconstructies zijn er beperkingen met betrekkingen tot de diepte die mogelijk is om uit te voeren. De maximaal mogelijke diepte die uit te voeren is, hangt af van de uitvoeringsmethode. De voorwaarde is dat een uitvoeringsmethode niet meer toepasbaar is als de ontwerpdiepte dieper is dan de maximale diepte die bereikt kan worden. De diepte die bereikt kan worden, is afhankelijk van de uitvoeringsmethode en de bodemopbouw in verband met de weerstand en de wrijving. Indien de ontwerpdiepte dieper is dan het maximaal mogelijke diepte, kan ervoor gekozen worden om eerst de grond voor een gedeelte uit te graven. Ook kan gekozen worden voor een andere uitvoeringsvariant. Zo kan een damwand door indrukken tot maximaal 15 meter diepte, terwijl met heien een diepte van 30 meter bereikt kan worden.



Figuur 4.3.2: toetsingsmodel om te bepalen welke uitvoeringsmethoden nog mogelijk zijn in verband met de ontwerpdiepte.

Materialisatie

Aan het ontwerp kunnen eisen gesteld worden met betrekking tot de materialisatie. Indien een materiaal wordt voorgeschreven en eventueel ook een bepaalde oppervlaktestructuur, dan moet hier aan voldaan worden. Materialisatie kan in het bestek worden voorgeschreven in verband met esthetische eisen. Indien er eisen met betrekking tot het toegepaste materiaal of het oppervlakte ervan worden gesteld, wordt ervan uit gegaan dat de keringsconstructie definitief is en dus niet alleen tijdelijk voor de bouwphase wordt gebruikt.

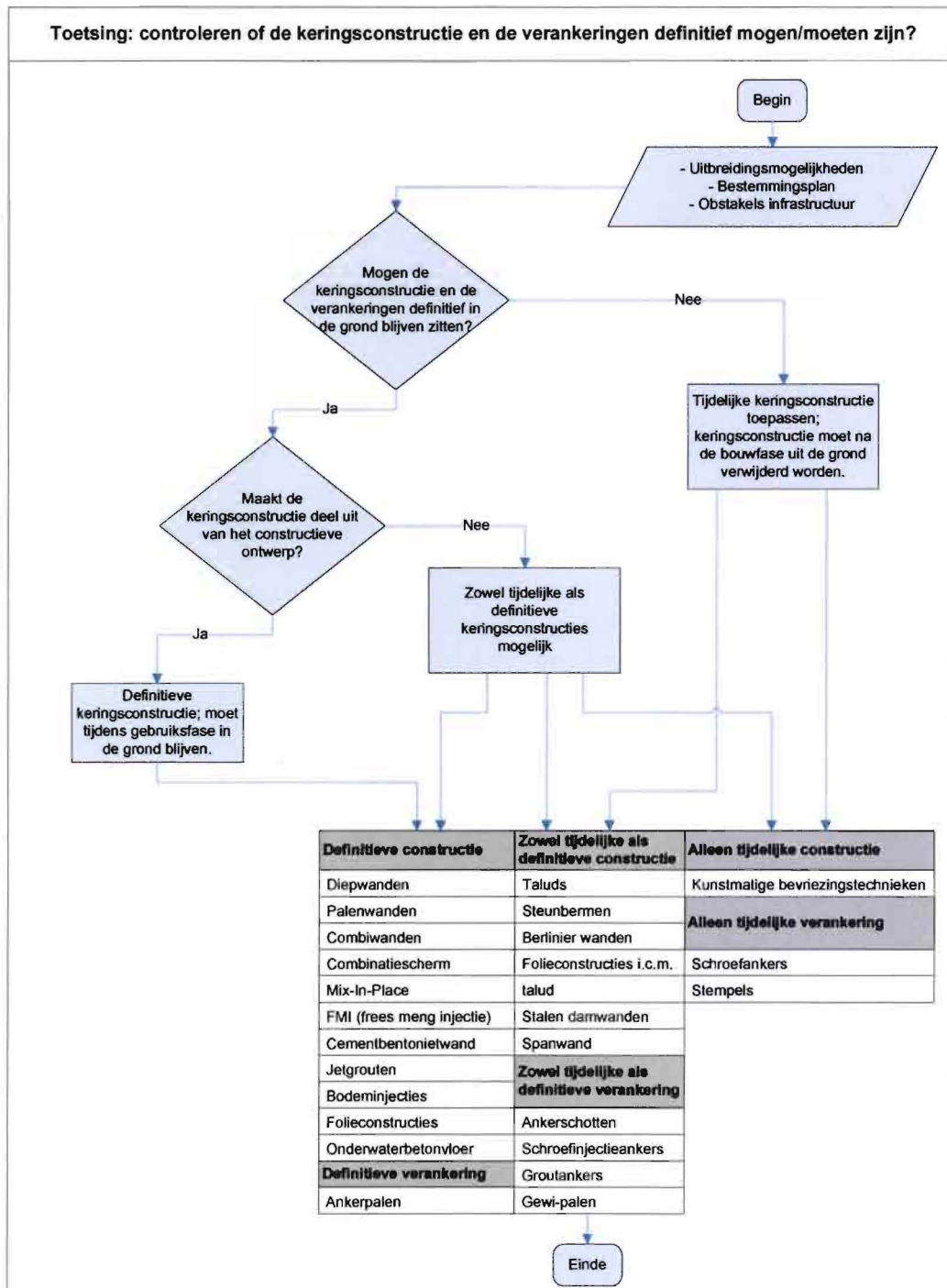


Figuur 4.3.3: toetsing bij welke uitvoeringsmethode het mogelijk is om het voorgeschreven materiaal en de voorgeschreven oppervlaktestructuur van de keringsconstructie te verkrijgen.

Tijdelijke of definitieve constructie / verankering

Grond- en waterkeringsconstructies kunnen tijdelijk of definitief zijn. In het geval dat ze definitief zijn, blijven de constructies ook aanwezig tijdens de gebruiksfase. Tijdelijke constructies worden alleen gebruikt tijdens de uitvoering en vervolgens verwijderd.

Bij het aanvragen van een vergunning kan de gemeente eisen dat de keringsconstructie na de bouwfase uit de grond wordt verwijderd. Dit is afhankelijk van toekomstplannen, de mogelijkheid tot uitbreidingen, het bestemmingsplan en de infrastructuur onder de grond zoals kabels en leidingen. Indien een keringsconstructie onderdeel uitmaakt van het constructieve ontwerp, dan dient deze te allen tijde definitief te zijn.

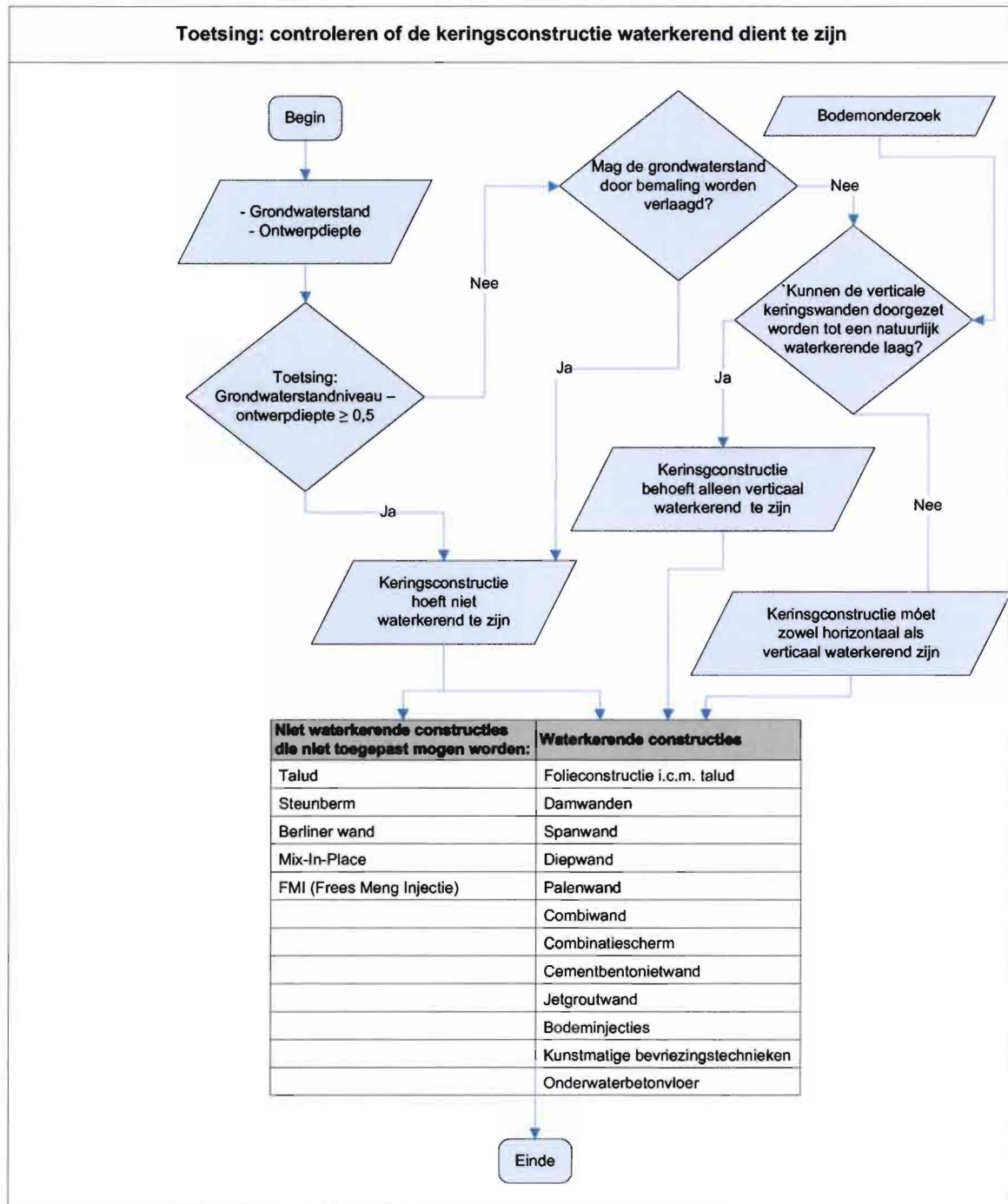


Figuur 4.3.4: Bepalen of een keringsconstructie definitief of tijdelijk is en welke gevolgen dat heeft voor de keuze uit de mogelijke uitvoeringsmethoden.

Waterkering

Afhankelijk van de grondwaterstand en de ontwerpdiepte moet de keringconstructie waterkerend zijn. Wanneer de ontwerpdiepte ten opzichte van het maaiveld onder de grondwaterstand komt, moet de constructie waterkerend zijn. Niet alle keringconstructie zijn waterkerend. In dat geval moet er naast een verticale waterkering ook een horizontale waterkering gemaakt worden.

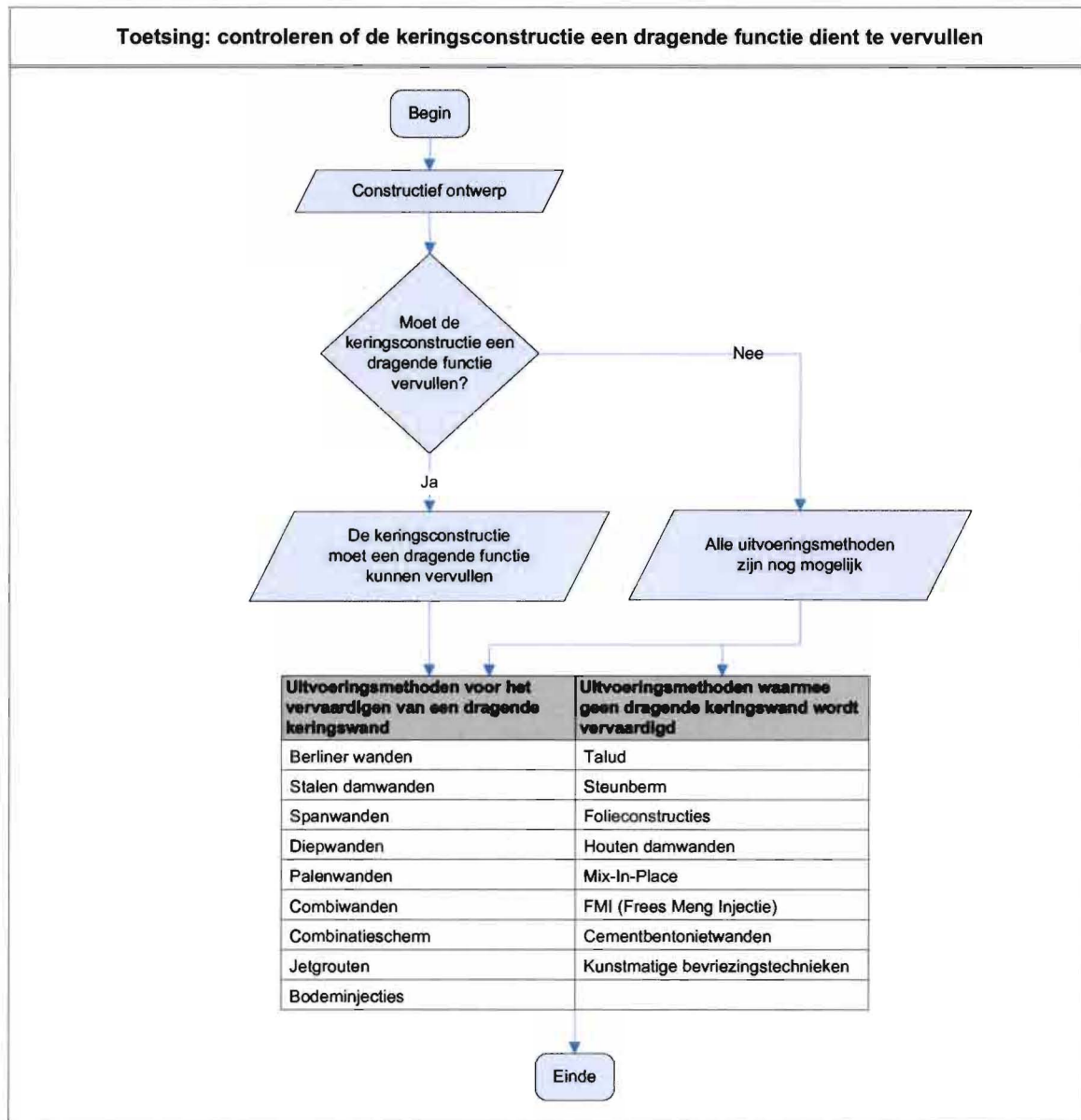
Aangezien het tijdens de uitvoering niet handig is wanneer de maximale grondwaterstand precies gelijk is aan de ontwerpdiepte, geldt de eis dat hier minimaal een halve meter verschil tussen moet zitten.



Figuur 4.3.5: Toetsing of de keringconstructie waterkerend dient te zijn en welke uitvoeringsmethoden in dat geval dat geval nog mogelijk zijn.

Dragende functie

In sommige ontwerpen maakt de keringsconstructie deel uit van de definitieve constructie. De keringsconstructie zal dan ook krachten moeten kunnen opnemen afdragen op dieper gelegen draagkrachtige lagen in de ondergrond. De keringsconstructie is dan geïntegreerd in het constructieve ontwerp. Niet alle keringsconstructies kunnen constructieve krachten opnemen. Als de constructie een dragende functie moet vervullen, blijven er nog maar enkele uitvoeringsmethoden over. Vaak hoeft een keringsconstructie geen dragende functie te vervullen, maar alleen een grondkerende en een waterkerende functie tijdens de bouwfase. Indien de keringsconstructie onderdeel is van het constructieve ontwerp, is er dan ook altijd sprake van een definitieve constructie.

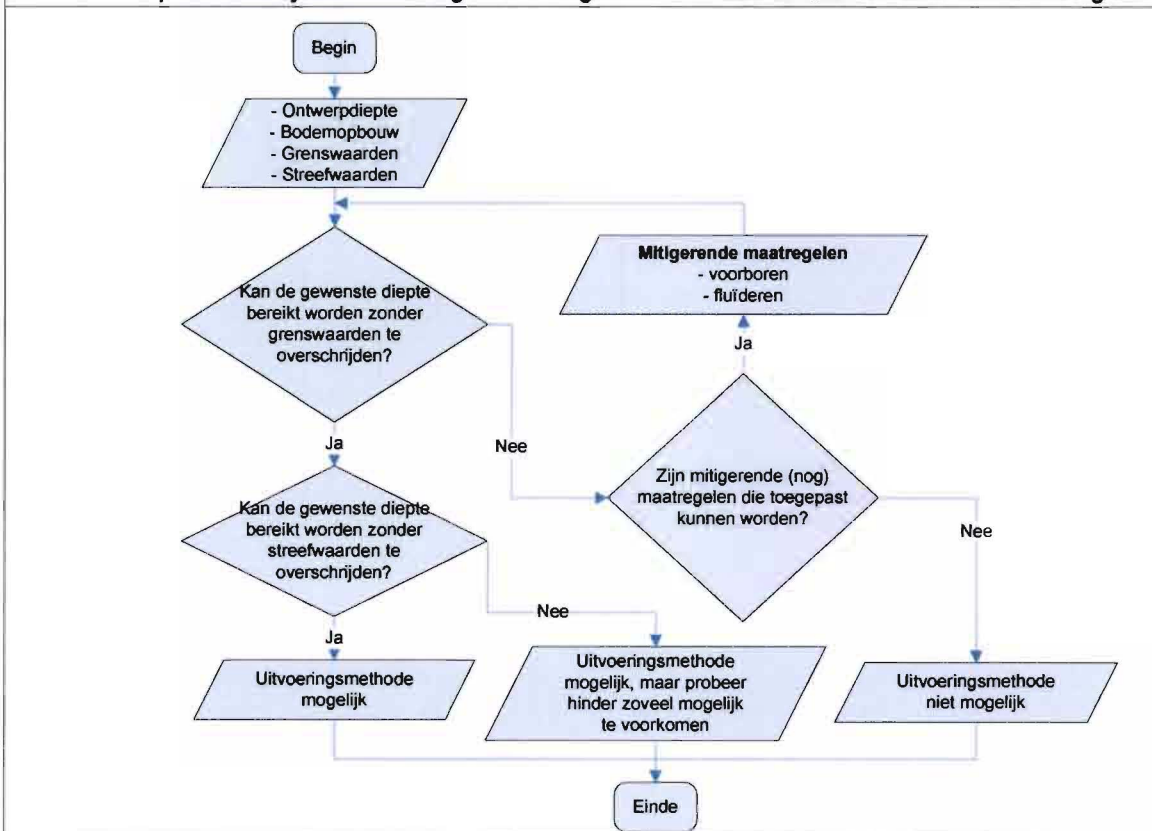


Figuur 4.3.6: schematische weergave voor het controleren of de keringsconstructie een dragende functie dient te vervullen en met welke uitvoeringsmethoden een dragende keringsconstructie vervaardigd kan worden.

Conusweerstand

Bij grondsoorten met een hoge conusweerstand kunnen er problemen ontstaan met heien of trillen. Dit kan het geval zijn bij damwanden of palenwanden. Door een te grote weerstand kunnen de maximaal toelaatbare trillingen overschreden worden of de gewenste diepte niet bereikt worden. In dat geval dient men over te schakelen op andere uitvoeringsvarianten, door bijvoorbeeld voor te boren of te fluïderen, opdat de grondweerstand afneemt. Is het dan nog niet mogelijk om de gewenste diepte te bereiken zonder grenswaarden te overschrijden, dan moeten andere uitvoeringsmethoden toegepast worden, zoals het vervaardigen van bijvoorbeeld diepwanden.

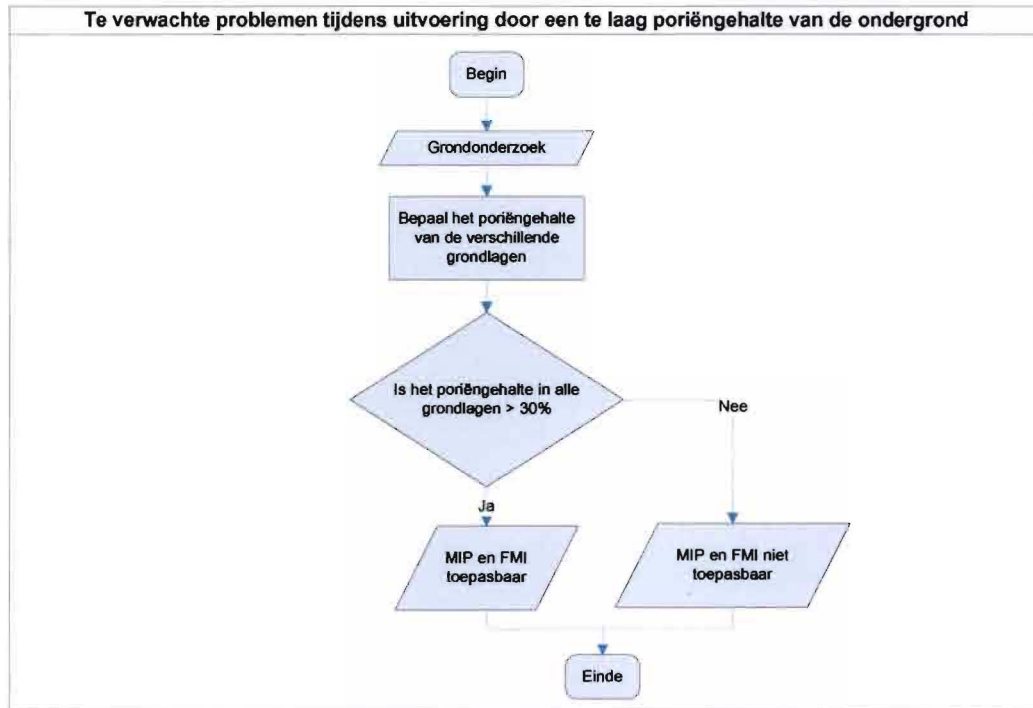
Te verwachte problemen tijdens uitvoering door te hoge waarde van de conusweerstand van de ondergrond



Figuur 4.3.7: Schema om te bepalen of met de uitvoeringsmethode de gewenste diepte mogelijk is in verband met de weerstand van de grond.

Poriëngehalte

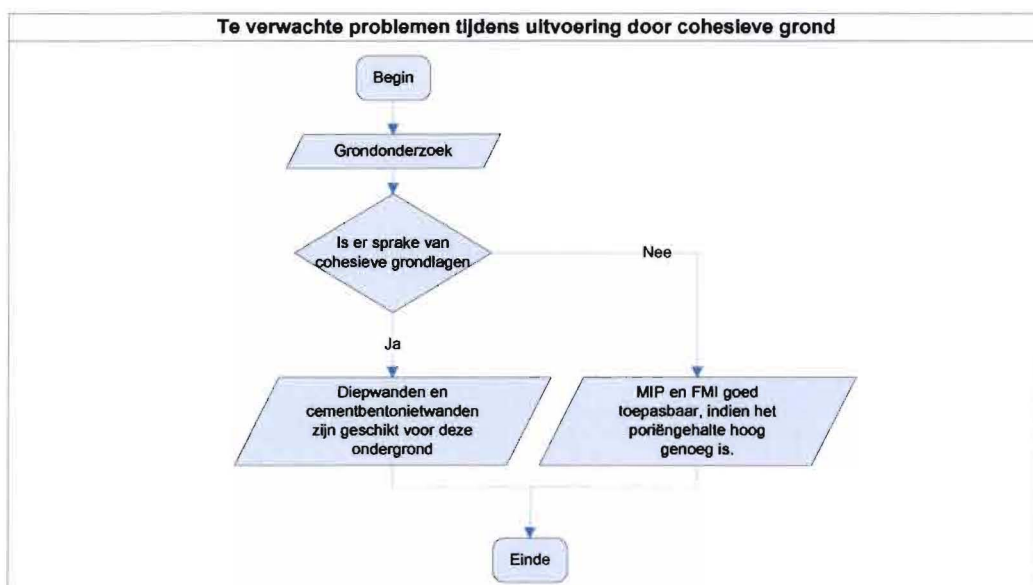
Uit het bodemonderzoek kan bij de verschillende grondsoorten die aangetroffen worden het poriëngehalte bepaald worden. Voor het uitvoeren van sommige keringsconstructies is een hoog poriëngehalte nodig. Dit is het geval bij FMI en MIP. Bij deze twee uitvoeringsmethoden worden de korrels aan elkaar gekit en de poriën gevuld. Indien er onvoldoende poriën in de grond zijn, kunnen deze twee uitvoeringsmethoden niet worden toegepast.



Figuur 4.3.8: schema om te controleren of MIP en FMI mogelijk zijn om toe te passen?

Cohesie van de grond

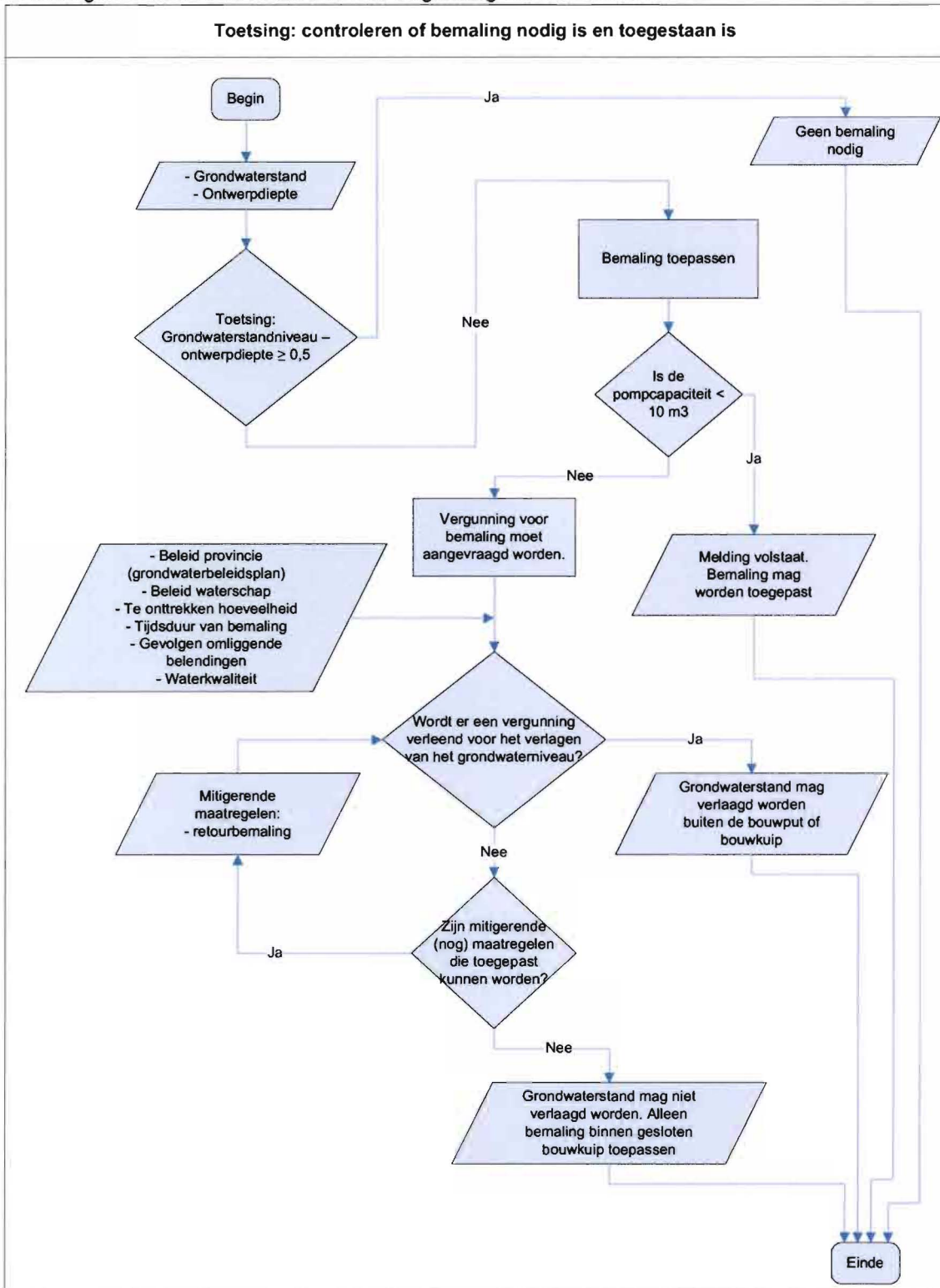
De cohesie van de grond zegt iets over de samenhang van de grond. Het uitvoeren van FMI of MIP in cohesieve grond gaat minder goed. Bij het uitvoeren van een cementbentoniet scherm of een diepwand is het juist wel gewenst dat de grond samenhangend is. Hierdoor zal de gegraven sleuf minder snel instorten.



Figuur 4.3.9: Aan te raden uitvoeringsmethoden bij cohesieve of juist niet-cohesieve grond.

Verlagen van de grondwaterstand

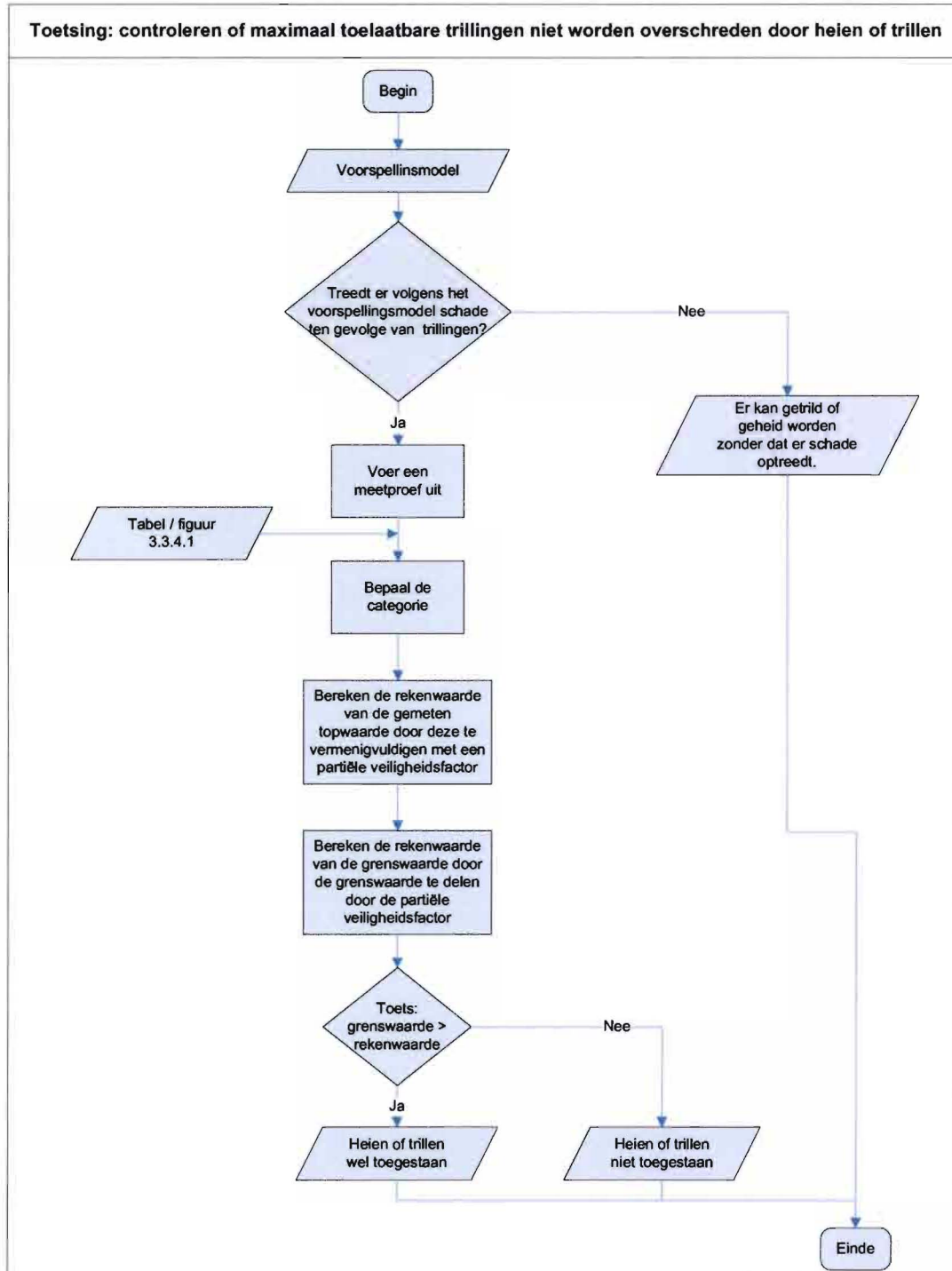
Indien het gewenst is dat de grondwaterstand verlaagd moet worden, moet allereerst gecontroleerd worden of dit wel is toegestaan. Afhankelijk van het beleid van de provincie, het betreffende waterschap, de te onttrekken hoeveelheden, de tijdsduur en de gevolgen voor omliggende belendingen zal er al dan wel of niet een vergunning worden verleend.



Figuur 4.3.10: Bepalen of de grondwaterstand buiten de bouwput of bouwkuip verlaagd moet en mag worden.

Trillingen

Tijdens het uitvoeren van een grond- en waterkeringsconstructie geldt de eis dat de maximaal toelaatbare trillingen niet overschreden mogen worden. Via het voorspellingsmodel uit het handboek Damwandconstructies (CUR 166) kan getoetst worden of er geen hinder optreedt door trillingen. Indien dit niet het gewenste resultaat oplevert, moet worden berekend of de maximaal toelaatbare trillingen niet worden overschreden. Indien dit wel het geval is, kunnen er nog mitigerende maatregelen worden toegepast. Blijkt dat dan alsnog de maximaal toelaatbare waarden worden overschreden, dan dient een andere uitvoeringsmethode te worden toegepast.

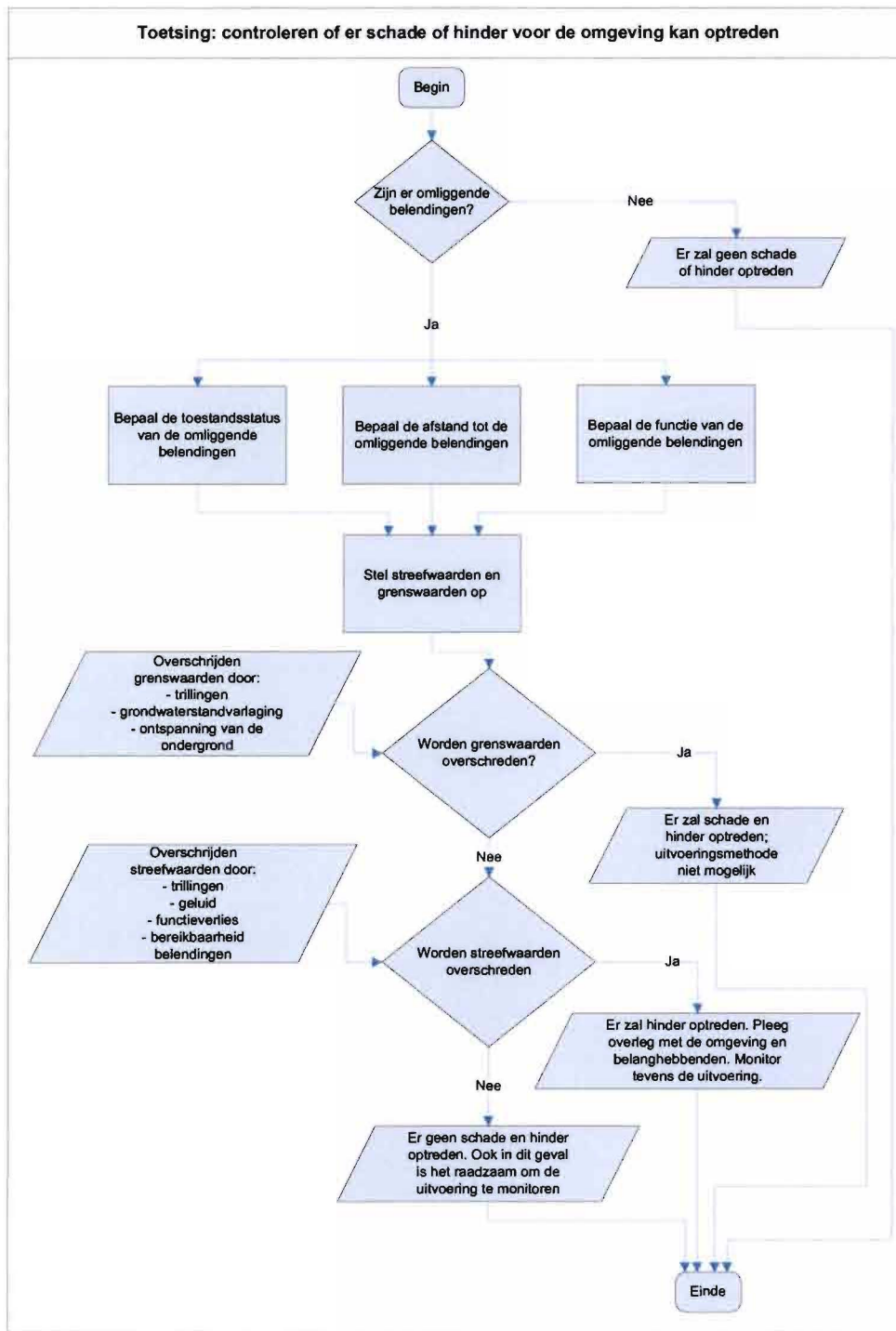


Figuur 4.3.11: schematische weergave voor het controleren of heien of trillen is toegestaan in verband met de maximaal toelaatbare trillingen.

Schade en hinder

Als er nabij de bouwkuip of bouwput belendingen liggen, dan dient gecontroleerd te worden of er geen schade of hinder optreedt tijdens de uitvoering. Om schade te voorkomen bestaan er grenswaarden. Indien. Overschrijding van de grenswaarden zal schade opleveren. Dit hoeft nog niet altijd het geval te zijn, aangezien er veiligheidsmarges in de grenswaarden zijn opgenomen. Schades die kunnen optreden zijn bijvoorbeeld zettingen en scheurvorming.

Hinder leidt tot overlast, maar nog niet tot schade. In dat geval dient er met de omgeving en met de belanghebbende partijen overleg te worden gepleegd en zullen er streefwaarden worden opgesteld. Getracht moet worden om tijdens de uitvoering deze streefwaarden niet te overschrijden.



Figuur 4.3.12: toetsen of er schade of hinder zal optreden.

4.4 Prioriteitstelling tussen de verschillende keuzefactoren

{probleemstelling 3.3}

In hoofdstuk 3 zijn de gegevens en factoren beschreven die allemaal een rol spelen in de keuze van de optimale uitvoeringsmethode. De factoren hebben onderling een relatie, maar ook een relatie met de verschillende uitvoeringsmethoden. De vraag die gesteld moet worden is welke factoren nu doorslaggevend zijn in de keuze van de uitvoeringsmethode en hoe verhouden deze factoren zich. Met andere woorden welke prioriteitstelling wordt er aan de keuzefactoren gegeven.

Tijdens het bezichtigen van referentieprojecten en interviews bleek dat er een duidelijke prioriteitstelling aangegeven kan worden. Ook bij de excursie naar het project de Nord-Süd-Bahn in Köln kwam dit aan de orde. Dhr. Müller van het bedrijf Züblin bv gaf hier als antwoord op: "Als eerste wordt er onderzocht aan welke eisen voldaan moet worden. Vervolgens wordt gekeken welke uitvoeringsmethoden aan de eisen voldoen en uit die uitvoeringsmethoden wordt de goedkoopste gekozen."

Tijdens het bezichtigen van referentieprojecten is aan de geïnterviewden een vragenlijst voorgelegd. Dezelfde lijst is ook voorgelegd aan een aantal personeelsleden van Van Wijnen Zuid. In de vragenlijst werd gevraagd om aan te geven welke factoren nu een rol spelen bij de keuze van de optimale uitvoeringsmethode. De keuzefactoren zijn in het onderzoek ter verduidelijking omschreven en gedefinieerd. De beantwoording bestond uit de keuzes 'Ja', 'Nee', en 'Soms'. Onder het antwoord 'Ja' wordt verstaan dat dit bij ieder project een rol speelt in de keuze van de grond- en waterkeringsconstructie. Onder het antwoord 'Nee' wordt verstaan dat de keuzefactor voor de betreffende persoon geen rol van betekenis speelt in de keuze. Onder het antwoord 'Soms' wordt verstaan dat de factor wel een rol speelt in de keuze, maar dat niet bij ieder project het geval of hetzelfde is. In dit geval is dat afhankelijk van het project en de projectgegevens. Het onderzoek is in de bijlagenbundel terug te vinden.

Resultaten enquête: Prioriteitstelling keuzefactoren

Functie	Aantal
Projectleider	5
Werkvoorbereider	6
Uitvoerder	3
Adviseur	4
Overig	6
Totaal	24

Pascal Bessems, René Klein, H. Janssen, Ger Poels, Eric Nagel
 Bram Leijten, Ronald Coppens, Marcel Verheijdt, Roy Schiepers, Bert Pieters, Mario Rodrguez
 Jos Truijen, Theo Knops, Chris Korsten
 Geodelft, Funda, Frankl, Timmermans, Arcadis
 Frank de Jong, Paul Straatman, Theo Sanders, Theo van Schaijk, Mark Vorstenbosch, Patricia Huijbers

Woord de keuze voor de bouwmethode gebaseerd op:	Projectleiders			Werkvoorbereiders			Uitvoerders			Adviseurs			Overig			Totaal			%		
	Ja	Nee	Soms	Ja	Nee	Soms	Ja	Nee	Soms	Ja	Nee	Soms	Ja	Nee	Soms	Ja	Nee	Soms	Ja	Nee	Soms
Ontwerpeisen	5	0	0	6	0	0	3	0	0	4	0	0	6	0	0	24	0	0	100%	0%	0%
Functionele eisen	4	0	1	4	0	2	1	0	2	4	0	0	5	0	1	18	0	6	75%	0%	25%
Esthetische eisen	0	2	3	1	4	1	1	1	1	1	1	2	1	3	2	4	11	9	17%	46%	38%
Duurzaamheid	0	1	4	0	4	2	0	2	1	1	0	3	1	4	1	2	11	11	8%	46%	46%
Constructieve eisen	5	0	0	6	0	0	3	0	0	4	0	0	6	0	0	24	0	0	100%	0%	0%
Toekomstige plannen	2	0	3	2	0	4	0	0	3	2	0	2	2	0	4	8	0	16	33%	0%	67%
Geotechnische situatie	5	0	0	5	0	1	2	0	1	4	0	0	5	0	1	21	0	3	88%	0%	13%
Geohydrologische situatie	5	0	0	4	0	2	1	0	2	4	0	0	5	0	1	19	0	5	79%	0%	21%
Belendingen en omgeving	1	0	4	2	0	4	0	0	3	2	0	2	1	0	5	6	0	18	25%	0%	75%
Normen	5	0	0	6	0	0	3	0	0	4	0	0	6	0	0	24	0	0	100%	0%	0%
Regelgevingen	5	0	0	6	0	0	3	0	0	4	0	0	6	0	0	24	0	0	100%	0%	0%
Vergunningen	5	0	0	6	0	0	3	0	0	4	0	0	6	0	0	24	0	0	100%	0%	0%
Praktijkrichtlijnen	1	0	4	2	0	4	1	2	0	4	0	0	1	1	4	9	3	12	38%	13%	50%
Onderzoeksrapporten	1	0	4	2	0	4	0	1	2	3	0	1	1	2	3	7	3	14	29%	13%	58%
Geld	5	0	0	6	0	0	3	0	0	4	0	0	6	0	0	24	0	0	100%	0%	0%
Organisatie	3	2	1	4	0	2	0	2	1	0	4	0	3	2	1	10	10	5	42%	42%	21%
Tijd	5	0	0	6	0	0	3	0	0	3	0	1	5	0	1	22	0	2	92%	0%	8%
Informatie & communicatie	4	0	1	4	2	0	0	3	0	0	4	0	1	4	1	9	13	2	38%	54%	8%
Kwaliteit	5	0	0	5	0	1	2	0	1	4	0	0	5	0	1	21	0	3	88%	0%	13%
Materieel	1	0	4	1	0	5	2	0	1	1	1	2	1	0	5	6	1	17	25%	4%	71%
Arbeid	1	0	4	1	0	5	1	0	2	0	3	1	0	4	2	3	7	14	13%	29%	58%

Ja = altijd, Nee = nooit, Soms = afhankelijk van de omstandigheden per project

Tabel 4.4.1: Resultaten uit het onderzoek naar de prioriteitstelling van de keuzefactoren die een rol spelen bij het kiezen van de optimale uitvoeringsmethode.

In tabel 4.4.1 staan de resultaten van het onderzoek op basis van welke factoren de keuze voor de optimale uitvoeringsmethode wordt bepaald. Uit de resultaten kan worden opgemerkt dat de keuze te allen tijden wordt gebaseerd op de ontwerpaspecten, constructieve eisen, normen, regelgevingen, vergunningen en op de bouwkosten.

De geïnterviewden hebben een verschillende functie binnen het bouwproces en zijn onderverdeeld in de categorieën projectleiders, werkvoorbereiders, uitvoerders, adviseurs en overigen. Onder de overigen vallen een inkoper, twee projectorganisatoren, een calculator, een projectontwikkelaar en een kopersbegeleider. Een opvallend aspect is dat er per functie verschil kan zitten in de waarde die wordt gegeven aan een keuzefactor. Zo hecht een uitvoerder meer waarde aan de in te zetten middelen (arbeid en materieel) dan adviseurs.

{3.3.A} Uit de enquête kan geconcludeerd worden dat er, onafhankelijk van het project, altijd voldaan moet worden aan de ontwerpisen, de constructieve normen en veiligheid en aan de huidige normen en regelgevingen. Afhankelijk van het project wordt de keuze gebaseerd op functionele eisen, toekomstplannen en situatiefactoren, zoals geotechnische en geohydrologische factoren.

Eisen waaraan altijd voldaan moet worden		
Nr.	Aspecten	Eis
1	Ontwerpdiepte en afmetingen	De ontwerpdiepte en de afmetingen moeten gerealiseerd worden
2	Materialisatie voorgeschreven	Keringsconstructie moet aan de materialisatie voldoen
3	Constructief ontwerp	Constructief moet er altijd worden voldaan aan de huidige normen
4	Toetsing aan normen	Er moet altijd voldaan worden aan de huidige normen
5	Toetsing aan regelgevingen	Er moet altijd voldaan worden aan de huidige regelgeving
6	Toetsing aan vergunningen	Er moet altijd voldaan worden aan de vergunningseisen
7	De ontwerpdiepte lager is dan de grondwaterstand	Bemaling moet voldoen aan vergunningseisen
Projectafhankelijke omstandigheden die leiden tot eisen waaraan voldaan moet worden		
Nr.	Omstandigheden	Eis
1	Ontwerpdiepte	De ontwerpdiepte moet uitvoerbaar zijn met de gekozen uitvoeringsmethode
2	Grote weerstand bodem	De ontwerpdiepte moet mogelijk zijn met de gekozen uitvoeringsmethode
3	Cohesieve grond	Mix-In-Place en Frees Meng Injectie niet toepassen
4	Poriëngehalte < 30%	Mix-In-Place en Frees Meng Injectie niet toepassen
5	Belendingen in de nabije omgeving	Streefwaarden niet overschrijden in verband met hinder
6	De ontwerpdiepte lager is dan de grondwaterstand	Grondwaterstand buiten de bouwkuip mag alleen verlaagd worden indien dit geen schade oplevert aan omliggende gebouwen en het grondwater niet vervuild is.
7	De ontwerpdiepte lager is dan de grondwaterstand	Keringsconstructie moet waterkerend zijn
8	Opwaartse druk van spanningswater op waterkerende laag	Er moet spanningsbemaling worden toegepast om het verticale evenwicht in stand te houden opdat de bodem niet openbarst
9	Keringsconstructie is onderdeel van de constructie	Keringsconstructie is definitief en moet een dragende functie kunnen vervullen
10	Keringsconstructie mag niet in de grond blijven zitten	Keringsconstructie is tijdelijk en moet verwijderd worden
11	Verankering mag niet in de grond blijven zitten	Verankering moet verwijderd kunnen worden
12	Afstand tot de belendingen is kleiner dan 1/3 deel van de ontwerpdiepte	Er moet een bouwkuip worden toegepast
13	Heien of trillen in de buurt van belendingen	Maximaal toelaatbare trillingen mogen niet overschreden worden
14	Belendingen in de nabije omgeving	Er mag geen schade optreden aan belendingen, grenswaarden mogen niet overschreden worden
15	Weinig ruimte voor materieel op bouwplaats	Er moet voldoende ruimte zijn voor het inzetten en goed functioneren van het benodigde materieel

Tabel 4.4.1: Projectonafhankelijke en projectafhankelijke eisen waaraan altijd voldaan moet worden

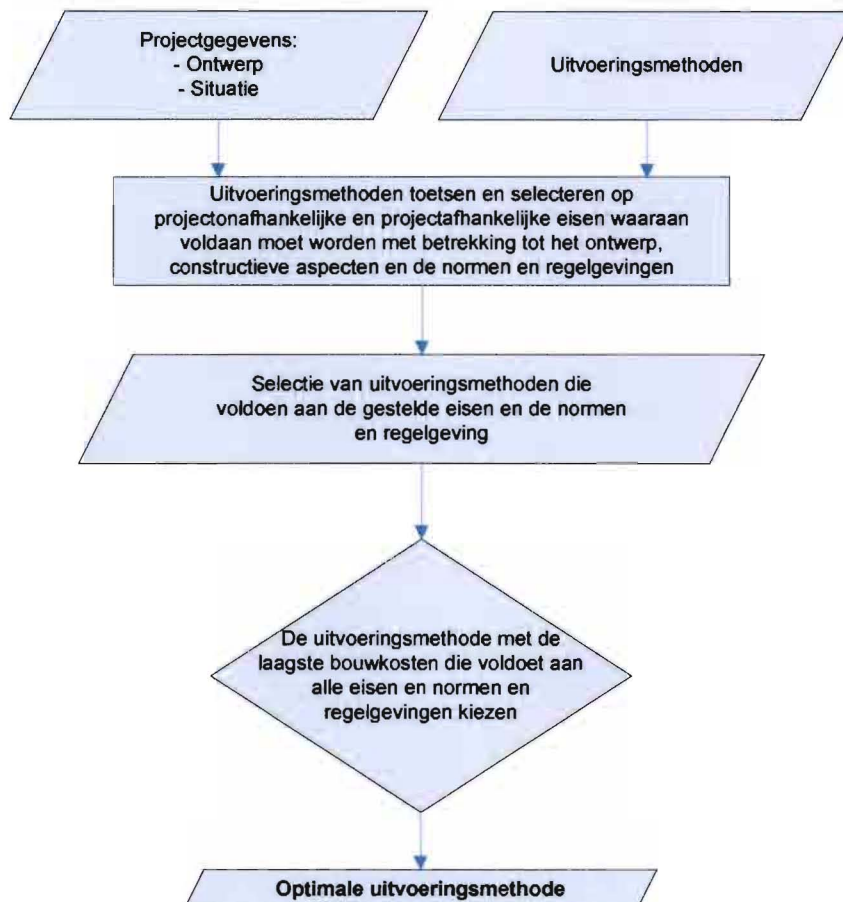
Aan deze eisen gesteld in tabel 4.4.1 moet, mede afhankelijk van het project, voldaan worden. Op basis van deze eisen kan er een selectie worden gemaakt uit de uitvoeringsmethoden waarbij het resultaat voldoet aan de gestelde eisen.

(3.3.B) Indien er dan nog meerdere uitvoeringsmethoden of uitvoeringsvarianten mogelijk zijn, zal op basis van de andere factoren een keuze gemaakt moeten worden. De overgebleven factoren hebben betrekking op de sturing van het bouwproces middels de procesbeheersmiddelen en de uitvoeringsmiddelen. Uit de enquête blijkt dat de factor geld de belangrijkste rol speelt. Dit is de enige keuzefactor die niet behoort aan eisen waaraan voldaan moet worden, maar wel altijd een rol speelt. De factor scoort dan ook 100% bij het antwoord 'Ja'. Hieruit kan geconcludeerd worden dat op basis van de bouwkosten uit overgebleven uitvoeringsmethoden de keuze wordt gemaakt. Met andere woorden kan gesteld worden dat de goedkoopste bouwmethode, die de gevraagde kwaliteit kan garanderen en voldoet aan alle gestelde eisen, gekozen wordt. De overige keuzefactoren kunnen worden uitgedrukt in de factor geld of omgerekend worden naar de factor geld.

4.5 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de relaties tussen de keuzefactoren, zoals beschreven in hoofdstuk 3, onderling bestudeerd en de relaties tussen de keuzefactoren en de mogelijke uitvoeringsmethoden die behandeld zijn in hoofdstuk 2. Bij de relaties tussen de factoren onderling blijkt dat de situatie, zoals die wordt aangetroffen, niet veranderd kan worden. Wel beïnvloedt de situatie het ontwerp, de inzet van de uitvoeringsmiddelen en bepaalt de situatie aan welke normen en regelgevingen het ontwerp getoetst dient te worden. Het ontwerp wordt gemaakt op basis van normen en regelgevingen en de situatie. Afhankelijk van het ontwerp en de situatie worden de procesbeheersmiddelen en de uitvoeringsmiddelen bepaald om de gewenste kwaliteit van de keringsconstructie voor zo laag mogelijke bouwkosten te realiseren.

Bij de relatie tussen de uitvoeringsmethoden en de keuzefactoren is onderzocht welke eisen er aan de keuzefactoren gesteld kunnen worden die ertoe leiden dat bepaalde bouwmethoden niet meer toegestaan of mogelijk zijn. Middels relatieschema's is inzichtelijk gemaakt onder welke omstandigheden een uitvoeringsmethode niet meer toegepast mag of kan worden. Naast beperkingen bestaat ook de mogelijkheid dat uitvoeringsmethoden wel nog toegepast mogen en kunnen worden, met als voorwaarde dat er extra voorwaarden gelden en dat er mitigerende maatregelen toegepast moeten worden. In dat geval zijn de mitigerende maatregelen en extra voorwaarden aangegeven. Uit onderzoek naar de prioriteitstelling tussen de keuzefactoren kan geconcludeerd worden dat er in eerste instantie voldaan moet worden aan de projectonafhankelijke en de projectafhankelijke eisen met betrekking tot ontwerpeisen, constructieve eisen en de huidige normen en regelgevingen. Vervolgens wordt er tussen de overgebleven uitvoeringsmethode een vergelijking gemaakt op basis van de bouwkosten. De goedkoopste uitvoeringsmethode die de gewenste kwaliteit levert en aan alle eisen voldoet zal gekozen worden.



Figuur 4.5.1: het keuzeprocess voor het kiezen van de optimale uitvoeringsmethode.

Literatuurlijst

Literatuur

- [2a] Baarda, De Goede en Teunissen (2005)
Basisboek kwalitatief onderzoek (2^{de}, geheel herziene druk)
Groningen/Houten: Wolters-Noordhoff BV
- [3,6,10,14,21,25,29,31,34,36,37,38] B.J. Admiraal, H.R. Havinga, J.G. Janssen (2000)
Handboek ondergronds bouwen, deel 2: *bouwen vanaf het maaiveld*
Uitgave van het Centrum Ondergronds Bouwen (COB)
Rotterdam, Balkema
- [4,35,39,44] Stichting BouwResearch (2007)
Informatiebron A4500: *Kelderconstructies en bouwputten*
Rotterdam
- [5] G. Arends, H.J.R. Deketh, Th.A. Feijen (1997)
Handboek ondergronds bouwen, deel 1: *ondergronds bouwen in breed perspectief*
Uitgave van het Centrum Ondergronds Bouwen (COB)
Rotterdam, Balkema
- [7,47,48] G.J.M. Janssen, Fugro Ingenieursbureau bv (2003)
Bemaling van bouwputten
Delft, Stichting BouwResearch
- [15] CUR 166 (2005, 4^e druk)
Damwandconstructies deel 1 en 2
Gouda, Centrum voor Uitvoering en Research
- [19] A.N. Littooy (1996)
Diepe persschacht voor leidingtunnel Moerdijk
Vakblad: Cement, nr. 7-8
- [24] Geotechniek nummer 1 (1998)
Diepwanden voor het Souterrain project te Den Haag
Geotechniek nummer 1, blz. 5 t/m 11
- [28] Centrum voor Uitvoering en Research / Centrum Ondergronds Bouwen (2000)
Rapport 520-01: Grondverbeteringstechnieken door middel van injectie
Gouda, Centrum voor Uitvoering en Research
- [43] NEN normen
NEN 6740: Geotechniek – TGB 1990 – basiseisen en belastingen
- [44,45] Stichting BouwResearch (2007)
Informatiebron A2000: *Bodemopbouw met grondeigenschappen, parameters en correlaties*
Rotterdam
- [49] Stichting BouwResearch (2003)
Trillingen: schade aan gebouwen
Delft, SBR
- [50] G.H. Rabbers (1997)
Praktijkproef trillingsemissie van damwanden
- [53] Dictaat TU/e Bouwfysische ontwerpen 1 (2002)
Fysica van de ruimte
Eindhoven
- [54] M.D. Boscardin, E.J. Cording (1998)
Journal of Geotechnical engineering
- [58] G. Maas, B. van Eekelen (2^e editie 2004)
Dictaat TU/e Bouwprocesleer: *Reisgids naar The Future Site (inleiding in de bouwprocesleer)*
Eindhoven
- [59] D. Meijer (2004)
Reader 7R603: Bouwkostenbeheersing
Eindhoven

Internet

- [1] TU/e, Faculteit bouwkunde, Capaciteitsgroep uitvoeringstechniek
www.bwk.tue.nl/ut
laatst geraadpleegd op 23-06-2008: informatie over het afstudeertraject aan de TU/e.
- [2] Suytkade Helmond
www.suytkade.nl
laatst geraadpleegd op 15-06-2008: informatie over de waterburchten te Helmond.
- [8] Emis (energie en milieu informatiesysteem)
www.emis.vito.be
laatst geraadpleegd op 16-05-2008: grondkerende verticale afdichting.
- [9,40] Timmermans grond-, weg- en waterbouw bv
www.timmermansgww.nl
laatst geraadpleegd op 03-06-2008: informatie over berliner wanden en Gewi-ankers
- [11] Genap folieconstructies
www.genap.nl/afzinken_folieconstructies.html
laatst geraadpleegd op 08-05-2008: informatie over het afzinken folieconstructies door middel van overdruk
- [12,13,20,33] Volker Staal en Funderingen
www.vsf.nl
laatst geraadpleegd op 06-06-2008: informatie over de uitvoeringsmethoden diepwanden, damwanden en jetgrouten.
- [16] Spanbeton bv
www.spanbeton.nl
laatst geraadpleegd op 13-05-2008: informatie over eigenschappen van spanwanden
- [17] Voorbij Groep bv
www.voorbij-groep.nl
Laatst geraadpleegd op 14-05-2008: informatie over combiwanden
- [18] Wikipedia encyclopedie
www.wikipedia.nl
laatst geraadpleegd op 14-05-2008: afbeelding combiwand
- [22,32,41] Productblad Bam Civiel
www.bam.nl
laatst geraadpleegd op 22-05-2008: productbladen over palenwanden, jetgrouten en diepwanden.
- [23] Saturn vof
www.saturnvof.nl
laatst geraadpleegd op 22-05-2008: informatie over en afbeelding van diepwanden.
- [26] Franki Grontechnieken bv
www.franki-grontechnieken.com
laatst geraadpleegd op 23-05-2008: informatie over cementbentonietwanden.
- [42] Van Dale woordenboek, Utrecht 2005
www.vandale.nl
laatst geraadpleegd op 06-06-2008: definitie van geotechniek.
- [46] Nederlandse overheid
www.wetten.overheid.nl
Laatst geraadpleegd op 26-05-2008: wetten en regelgevingen met betrekking tot het vervaardigen van keringsconstructies.
- [51] Stichting Arbouw
www.arbouw.nl
laatst geraadpleegd op 07-06-2008: gegevens over (maximale) geluidniveaus.
- [52,55,56] VROM (Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu)
www.vrom.nl
laatst geraadpleegd op 13-06-2008: informatie over regelgevingen en wetgevingen.
- [57] Bestemmingsplan
www.bestemmingsplan.nl
laatst geraadpleegd op 16-06-2008: informatie over bestemmingsplannen.
- [60] Bouwkosten
www.bouwkosten.nl
laatst geraadpleegd op 16-06-2008: kosten en productienormen voor damwanden.