



247

Richtlijn risicogestuurd grondonderzoek

van planfase tot realisatie

ISBN-978-90-376-0534-1

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CURNET.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken, mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt. "©CUR/Geo-Impuls-rapport 247 'Richtlijn risicogestuurd grondonderzoek - van planfase tot realisatie', Stichting CURNET, Gouda, 2013."

Aansprakelijkheid

CURNET en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en CURNET sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens CURNET en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Colofon

Omslagillustratie: Gemeentewerken Rotterdam

Foto omslag: Onderzoek laagopbouw en korrelverdeling aan de zeewering Tweede Maasvlakte

Foto's en overige illustraties in dit rapport zijn (tenzij anders aangegeven) afkomstig van Gemeentewerken Rotterdam



Richtlijn risicogestuurd grondonderzoek

van planfase tot realisatie



	Voorwoord	7
	Samenvatting	9
	Summary	9
1	Begrippen	10
2	Inleiding	11
2.1	Programma "Blijvend Vlakke Wegen"	11
2.2	Programma "Geo-Impuls"	11
2.3	Probleem- en doelstelling.....	11
2.4	Leeswijzer.....	12
3	Opzet van Risicogestuurd Grondonderzoek	13
3.1	Risicomanagement en grondonderzoek.....	13
3.1.1	Risicomanagement en GeoRM	13
3.1.2	Geotechnische risico's.....	14
3.1.3	Geotechnisch grondonderzoek	14
3.2	Proces voor de risicogestuurde definitie van grondonderzoek	15
3.2.1	Behoeftte aan geotechnische informatie in projecten	15
3.2.2	Zes vragen voor een risicogestuurd grondonderzoek.....	16
4	Relatie met Contractvorm	17
4.1	Traditionele contractvormen in relatie tot grondonderzoek.....	17
4.2	Geïntegreerde contractvormen in relatie tot grondonderzoek.....	18
4.2.1	Grondonderzoek en de UAVgc.....	19
4.3	Consequenties voor grondonderzoek als gevolg van de gekozen contractvorm .	19
4.4	Risicoverdeling GeoTechniek (RV-G).....	22
4.4.1	RV-G en risicogestuurd grondonderzoek	22
5	Onderzoek per projectfase	23
5.1	Schets- of Initiatiefase, zeer grof detailniveau.....	23
5.1.1	Omschrijving.....	23
5.1.2	Grondonderzoek	24
5.2	Voorontwerp, grof detailniveau	24
5.2.1	Omschrijving.....	24
5.2.2	Berekeningen.....	24
5.2.3	Grondonderzoek	24
5.3	Definitief Ontwerp, fijn detailniveau	25
5.3.1	Omschrijving.....	25
5.3.2	Berekeningen.....	25
5.3.3	Grondonderzoek	25
6	Algemene eisen aan uitvoering grondonderzoek	26
6.1	Onderzoekspunten	26
6.2	Sonderingen.....	26
6.2.1	Benodigde diepte.....	26
6.2.2	Voorboren.....	27
6.2.3	Sonderingen uitgevoerd met meting van de waterspanning	27
6.3	Boringen en laboratoriumonderzoek	27
6.3.1	Uitvoering boringen.....	27
6.3.2	Peilbuizen	28
6.3.3	Classificatieproeven	28
6.3.4	Samendrukkingsproeven	29
6.3.5	Triaxiaalproeven.....	30
6.3.6	Vaststelling parameters uit laboratoriumproeven	31
7	Overdracht van geotechnische gegevens	32
7.1	Inleiding.....	32
7.2	Praktijk buitenland.....	32
7.3	Huidige situatie Nederland.....	34
7.4	Conclusie en voorstel	35

8	Bouwrijp maken terreinen	36
8.1	Inleiding.....	36
8.2	Normen en richtlijnen	36
8.3	Risico-inventarisatie	37
9	Lijninfra	39
9.1	Inleiding.....	39
9.2	Normen en richtlijnen	39
9.3	Risico-inventarisatie	40
10	Kleine kunstwerken	42
10.1	Inleiding.....	42
10.2	Normen en richtlijnen	44
10.3	Risico inventarisatie	44
11	Bruggen en viaducten	47
11.1	Inleiding.....	47
11.2	Normen en richtlijnen	48
11.3	Risico inventarisatie	48
12	Overlaten	51
12.1	Inleiding.....	51
12.2	Normen en richtlijnen	51
12.3	Risico-inventarisatie	51
13	Sluizen	54
13.1	Inleiding.....	54
13.2	Normen en richtlijnen	54
13.3	Risico-inventarisatie	55
14	Tunnels en aquaducten	57
14.1	Inleiding.....	57
14.1.1	Begripen tunnel en aquaduct.....	57
14.1.2	Lange gesloten kunstwerken.....	58
14.1.3	Korte gesloten kunstwerken.....	59
14.1.4	Gedeeltelijk gesloten kunstwerken	60
14.1.5	Zijwaarts gesloten kunstwerken.....	60
14.1.6	Bouwmethoden tunnels.....	61
14.1.7	Bouwmethoden aquaducten	62
14.2	Normen en richtlijnen	62
14.2.1	Risico-inventarisatie.....	63
15	Polderconstructies	68
15.1	Inleiding.....	68
15.1.1	Folieconstructie in den natte aangebracht.....	69
15.1.2	Folieconstructie in den droge aangebracht	69
15.1.3	Waterremmende laag van natuurlijke oorsprong.....	69
15.1.4	Injectie	70
15.1.5	U-polder.....	70
15.2	Normen en richtlijnen	70
15.3	Risico inventarisatie	71
16	Bouwputten	75
16.1	Inleiding.....	75
16.2	Normen en richtlijnen	76
16.3	Risico-inventarisatie	76
17	Baggerwerken	86
17.1	Inleiding.....	86
17.2	Normen en richtlijnen	87
17.3	Risico-inventarisatie	87



18	Steigers	91
18.1	Inleiding.....	91
18.2	Normen en richtlijnen.....	91
18.3	Risico-inventarisatie.....	91
19	Kademuren	94
19.1	Inleiding.....	94
19.1.1	Liggervormige constructies.....	94
19.1.2	L-wanden en gewichtsconstructies.....	95
19.2	Normen en richtlijnen.....	96
19.3	Risico-inventarisatie.....	96
19.3.1	Liggervormige constructies.....	96
19.3.2	Gewichtsconstructies en L-muren.....	97
20	Leidingen	99
20.1	Inleiding.....	99
20.1.1	Open sleuf.....	99
20.1.2	Horizontaal gestuurde boring.....	99
20.2	Microtunneling.....	101
20.2.1	Pneumatische boortechniek.....	102
20.3	Normen en richtlijnen.....	103
20.4	Risico-inventarisatie.....	103
	Literatuur	107
	Bijlagen	111

Voorwoord

Voor de technologische uitdaging die de aanleg van infrastructuur (niet alleen op zachte bodem) met zich meebrengt is het van vitaal belang om op de juiste momenten in het ontwerpproces te kunnen beschikken over grondonderzoek van de juiste omvang en samenstelling.

In klassieke contractvormen is er sprake van één partij die het ontwerp maakt, en die rechtstreeks op basis van eigen expertise in overleg met de opdrachtgever kan vaststellen welk grondonderzoek voor een bepaald project noodzakelijk is. In veel huidige contractvormen is de afstand tussen ontwerper en opdrachtgever groter geworden. Bovendien moet veelal door meerdere partijen, nog voorafgaand aan contractvorming, een ontwerp worden gemaakt. In die gevallen is het voor alle betrokken partijen van belang dat eenduidig kan worden vastgesteld wat er aan grondonderzoek nodig is voor elke fase van het project.

Deze overwegingen hebben geleid tot de wens te komen tot voorliggende richtlijn. Voor het opstellen hiervan is een commissie samengesteld waaraan zowel opdrachtgevers als opdrachtnemers (aannemers én ingenieurbureaus) maar ook door kennisinstituten hebben deelgenomen. Gedurende de looptijd van het project hebben de volgende personen deelgenomen aan de commissie:

Naam	Bedrijf/Instelling
Melinda van den Bosch	BAM Infraconsult BV
Henk Brassinga	Gemeente Rotterdam, Ingenieurbureau
Roel Brouwer	VWS Geotechniek, later Terracon Funderingstechniek
Gilles Colard	Movares
Jan van Dalen (rapporteur)	Strukton Engineering BV
Jarit de Gijt (voorzitter)	TU Delft / Gemeente Rotterdam, Ingenieurbureau
Stephan Gruijters	TNO Bouw en Ondergrond
Otto Heeres	Ballast Nedam
Marga Hoogvliet	BAM Infraconsult BV
Johan de Jongh	Heijmans
Wim Kannink	TU Delft
Wouter Karreman	Van Oord Dredging & Marine Contractors
Paul Litjens	RWS Dienst Infrastructuur
Dominique Ngan-Tillard	TU Delft
Auke van der Pal	Prorail
Mark-Peter Rooduijn	Fugro GeoServices B.V.
Joris van Ruijven	Deltares
Ton Siemerink	CUR Bouw & Infra
Léon Tiggelman	BAM Infraconsult BV
Martijn van Vliet	RWS Dienst Verkeer en Scheepvaart
Bas Vos	Hydronamic

Het rapport is gebaseerd op individuele bijdragen, geleverd door diverse commissieleden. Daarnaast is een bijdrage geleverd door Martin van Staveren van Deltares en VSRM.



In deze richtlijn wordt ingegaan op het totale grondonderzoek (hoeveelheid, locatie, soort, vorm) dat nodig is om risico's te kunnen schatten. Hierbij is onderscheid gemaakt naar de volgende verschillende typen projecten:

- Bouwrijpmaken van terreinen
- Lijninfra
- Kleine kunstwerken
- Grote kunstwerken: bruggen en viaducten
- Overlaten
- Sluizen
- Tunnels en aquaducten
- Polderconstructies
- Bouwputten
- Baggerwerken
- Haveninfra (kademuren)
- Haveninfra (steigers)
- Leidingen

De focus van deze richtlijn ligt op de vraag welk deel van dit onderzoek door de opdrachtgever moet worden geleverd en in welke vorm.

Een deel van deze richtlijn, (de eerste 4 typen projecten uit de opsomming), hangt samen met de aanleg van wegen en bouwrijpmaken. Dit deel is in een eerder stadium tot stand gekomen in het kader van het CUR/CROW programma "Blijvend vlakke wegen". Later heeft, in het kader van het programma Geo-Impuls, uitbreiding naar de overige typen projecten plaatsgevonden; fase 2 van het project. Geo-Impuls is een door RWS geïnitieerd programma, dat tot doel heeft bij civiele projecten het falen vanuit de ondergrond sterk terug te dringen.

Samenvatting

De aanleg van infrastructuur is een uitdaging waarbij het kunnen beschikken over grondonderzoek van de juiste omvang en soort een belangrijke voorwaarde voor succes is.

De veranderde rolverdeling tussen opdrachtgever en opdrachtnemer en het beleid van de overheid dat erop gericht is de innovatiekracht van de markt optimaal te benutten, hebben geleid tot de behoefte aan de vaststelling van welk grondonderzoek in welke projectfase moet worden uitgevoerd.

In deze richtlijn is per projectfase vastgelegd op welke wijze verantwoorde en risicogestuurde keuzes met betrekking tot uit te voeren grondonderzoek kunnen worden gemaakt. De genoemde projectfasen variëren hierbij van Initiatiefase tot Definitief Ontwerp. Tevens is de rol van zowel opdrachtgever als opdrachtnemer aangegeven per projectfase, waarbij onderscheid is gemaakt naar verschillende contractvormen.

Voor een groot aantal typen civieltechnische constructies is deze aanpak uitgewerkt en uitgebreid beschreven.

De opzet van de rapportage vormt tevens een raamwerk waarbinnen desgewenst in de toekomst nog andere constructietypen kunnen worden opgenomen.

Summary

Construction of infrastructure as present in the Netherlands, is a challenge. Access to soil survey of proper size and type is an important condition for success.

Changing roles of client and contractor as well as government policy, aimed at the maximisation of innovative strength of the market, have led to the need for determination of the amount of soil survey to be carried out in each project phase.

How to make responsible and risk-driven choices with regard to soil testing per project phase, is indicated in the present report. These project phases vary from Initiative Phase to Final Design Phase. Also, the role of both client and contractor is indicated for each project phase, while taking into account the various kinds of contract.

This approach has been elaborated for a large number of types of structures, by including separate descriptions for each type.

The structure of the report is set up as a framework in which in the future other design types could be included.



Hoofdstuk 1

Begrippen

GC: Geotechnische
Categorie

Risico-indeling in de geotechniek, conform Eurocode 7, die met name wordt gebruikt voor het bepalen van de omvang van het uit te voeren grondonderzoek. De indeling is oplopend in complexiteit en risico: van GC1 (voor relatief eenvoudige constructies, zoals lichte bouwwerken en onbeduidende ophogingen) tot GC2 voor bijv. kleine kunstwerken en GC3 voor zeer grote of bijzondere constructies, zoals hoge gebouwen, tunnels en waterkeringen.

Risicogestuurd
grondonderzoek

Grondonderzoek waarvan omvang en samenstelling zijn gebaseerd op voorafgaande risico-inventarisatie, met als doel de risico's zo effectief mogelijk terug te dringen.

Locatiespecifiek
grondonderzoek

Grondonderzoek waarvan omvang en samenstelling zijn gebaseerd op locatiespecifieke omstandigheden.

Projectdossier

Dossier waarin alle relevante inhoudelijke gegevens over en ten behoeve van het ontwerpproces voor het betreffende project zijn vastgelegd. Dit is tevens het dossier dat afhankelijk van de fase van het project wordt overgedragen van opdrachtgever naar opdrachtnemer.

Hoofdstuk 2

Inleiding

2.1 Programma "Blijvend Vlakke Wegen"

De aanleg van infrastructuur op onze zachte bodem is nog steeds een uitdaging. De veranderde rolverdeling tussen opdrachtgever en opdrachtnemer en het beleid van de overheid dat erop gericht is om de innovatiekracht van de markt optimaal te benutten, vragen om een andere presentatie en beschikbaarheid van de vereiste kennis.

In het kader van Delft Cluster liep het project "Blijvend vlakke wegen". De kennis die binnen dit project samen met de sector is ontwikkeld moet worden vertaald naar concrete tools met een breed draagvlak in de sector. Voor het creëren van draagvlak van de vertaling naar praktische tools hebben CUR Bouw & Infra en CROW, in samenspraak met Delft Cluster vijf werkgroepen gestart. In deze werkgroepen participeerden meer dan 50 personen uit de sector. Zij zijn de belangrijkste garantie voor een optimale relatie tussen het leren, het ontwikkelen en het toepassen.

In het kader van dit programma is een vorige, eerste versie van voorliggend rapport verschenen (september 2011). Die versie beperkte zich tot lijninfrastructuur en bouwrijpmaken.

2.2 Programma "Geo-Impuls"

Vanuit de GWW-sector werken opdrachtgevers, ontwerpers, bouwers en kennisinstellingen sinds 2009 samen aan het meerjarige programma "Geo-Impuls" dat tot doel heeft grondgerelateerd falen met de helft te reduceren in 2015.

Om dit doel te bereiken wordt gewerkt aan 12 zeer uiteenlopende onderwerpen, gebaseerd op een globale inventarisatie van foutenbronnen bij projecten. Deze onderwerpen zijn zeer breed georiënteerd. Zo zijn er bijvoorbeeld onderwerpen die zich richten op de ontwikkeling van nieuwe techniek, maar is er ook één die gaat over de inhoud van onderwijsprogramma's en zijn er ook die zich richten op de inhoud en verantwoordelijkheden in contracten. De 12 onderwerpen zijn onderverdeeld in 3 thema's, namelijk 'Contracten', 'Techniek' en 'Mens en Omgeving'.

Deze rapportage is een product van werkgroep 3, geschreven naar aanleiding van het onderwerp 'Grondonderzoek in de Tenderfase', behorend tot het thema 'Contracten'.

2.3 Probleem- en doelstelling

De inhoud van deze richtlijn is gebaseerd op de volgende binnen de werkgroep gesignaleerde problemen:

- Uitgevoerde (aanvullende) grondonderzoeken in het kader van innovatieve contracten zijn regelmatig onvoldoende in termen van kwantiteit en kwaliteit waardoor opdrachtgevers en opdrachtnemers aanzienlijke risico's lopen in aanbestedings-, ontwerp- en uitvoeringsfase.

- Er is veelal weinig tijd tussen het in de markt zetten van een tender en het doen van een aanbidding om extra grondonderzoek uit te voeren. Daarbij wordt niet in alle gevallen tijdig toestemming verleend tot het uitvoeren van grondonderzoek. Zeker voor die gevallen waarin meetresultaten gedurende langere tijd moeten worden gevolgd om natuurlijke trends vast te stellen, bijvoorbeeld in het geval van water-spanningsmeters of peilbuizen, is daarvoor al gauw 1 jaar voorafgaande aan de uitvoering van een project nodig.
- Uitgevoerde (aanvullende) grondonderzoeken in het kader van innovatieve contracten zijn niet voldoende afgestemd op projectspecifieke geotechnische risico's.
- Er bestaat geen of weinig uniformiteit bij de totstandkoming van een grondonderzoek voor verschillende ontwerpfasen in innovatieve projecten.
- CUR-rapport 2003-7 [2] (Bepaling Geotechnische parameters) sluit niet aan op UAVgc2005

Met deze richtlijn wordt duidelijk op welke wijze geotechnisch grondonderzoek in het proces kan worden ingebed om risico's te beperken. Hiertoe wordt een systematiek en een referentiekader aangereikt, waarmee de adviseur een grondonderzoek kan opstellen met een acceptabel risiconiveau binnen randvoorwaarden als contractvorm, aanbestedingswijze, vraagspecificatie etc. Hierbij is tevens rekening gehouden met een onderscheid in benodigde gegevens per projectfase.

Hiertoe is geen nieuwe kennis ontwikkeld en is zoveel mogelijk aansluiting gezocht bij bestaande normen en richtlijnen.

2.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 3 wordt een algemeen kader geschetst voor de opzet van risicogestuurd grondonderzoek.

De benodigde hoeveelheid grondonderzoek is mede afhankelijk van de fase waarin een project verkeert. Om die reden wordt in hoofdstuk 4 eerst de link gelegd tussen de definitie van verschillende projectfasen en de contractvorm en wordt in hoofdstuk 5 globaal per projectfase beschreven waaraan het grondonderzoek moet voldoen.

Hoofdstuk 6 beschrijft de algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen en hoofdstuk 7 de wijze van vastlegging van de resultaten.

In de hoofdstukken 8 t/m 20 wordt vervolgens specifiek ingegaan op de risico-inventarisatie per type aan te leggen of te bouwen constructie. Detailinformatie over het benodigde grondonderzoek is vervolgens per type constructie en per projectfase terug te vinden in de bijlagen. Bij het gebruik van deze bijlagen dient te worden bedacht dat met deze rapportage in de hand geen pasklaar antwoord wordt gegeven op de vraag welk grondonderzoek er precies moet plaatsvinden. De richtlijn biedt deskundigen echter een uitstekende basis voor het maken van verantwoorde keuzes door afweging van de risico's.

De opzet van de richtlijn is dusdanig dat de gebruiker, na kennis te hebben genomen van de algemene hoofdstukken, zich kan beperken tot het hoofdstuk met bijbehorende bijlage dat betrekking heeft op het project waar hij mee bezig is. Consequentie van deze keuze is dat er sprake is van enige overlap in zowel de hoofdstukken 8 t/m 20 als de bijlagen.

Hoofdstuk 3

Opzet van Risicogestuurd Grondonderzoek

3.1 Risicomanagement en grondonderzoek

3.1.1 Risicomanagement en GeoRM

Geotechniek en risicomanagement vormen op het eerste gezicht misschien een niet direct voor de hand liggende combinatie. Niets is echter minder waar. Wie op de één of andere manier betrokken is bij het bouwen op, in en met grond, weet dat de onzekerheden in de ondergrond groot kunnen zijn. Vanuit het sectorbrede programma Geo-Impuls wordt gewerkt aan de brede toepassing van risicomanagement, om risico's die voortkomen uit deze onzekerheden te beheersen. Daarom is GeoRM, dat staat voor GEOtechnisch RisicoManagement, als risicogestuurde werkwijze door een groot aantal partijen binnen Geo-Impuls – opdrachtgevers, bouw-ontwerpers – omarmd. Alle ondergrondgerelateerde risico's worden hierdoor op een transparante en expliciete manier onderdeel van projecten. GeoRM is een cyclisch werkproces, waarbij continue, expliciet, gestructureerd en communicerend wordt omgegaan met risico's. Dit alles om de projectdoelen zo effectief en efficiënt mogelijk te realiseren.

Aansluitend op het breed in de sector toegepaste RISMAN-proces [1, 3] bestaat GeoRM uit zes achtereenvolgende stappen:

1. Verzamelen van informatie en bepalen doelstellingen
2. Identificeren van geotechnische risico's
3. Classificeren van geotechnische risico's
4. Selecteren en uitvoeren van preventieve en / of correctieve risicobeheersmaatregelen
5. Evalueren of de risicobeheersmaatregelen de beoogde reductie van het geotechnische risico opleveren
6. Overdracht van alle relevante geotechnische risico informatie binnen de projectorganisatie en naar de volgende projectfase.

Toepassing van GeoRM biedt een uitgelezen kans om het hoofd te bieden aan de inherente geotechnische onzekerheid in een veeleisende omgeving, met alles wat daar in de dagelijkse geotechnische praktijk bij hoort, zoals tijdgebrek, te weinig budget, te weinig grondonderzoek, niet heldere contracten, verschillende belangen binnen organisatie of tussen partijen, politieke spelletjes, en zo voort. Houding en gedrag, van zowel professionals als managers, binnen organisaties en hun projecten zijn daarbij van doorslaggevend belang. De kunst is immers om binnen deze vaak onvermijdelijke randvoorwaarden toch zoveel mogelijk expliciet met geotechnische risico's om te gaan.

Als toevoeging aan bovenstaande stappen zijn daarom een 8-tal GeoPrincipes met bijbehorende acties ontwikkeld [4]. De GeoPrincipes zijn afgeleid uit de ISO31000 richtlijn voor risicomanagement. Het idee achter deze principes is een ontwikkeling van "rule-based" naar "principle-based" risicogestuurd werken. Bij "rule-based" werken gaat het om

het letterlijk toepassen van een aantal "rules" of wetten. Het probleem is echter dat dit steeds lastiger wordt, doordat de context per project verschilt en gedurende de vaak lange tijdsduur van een project ook nog eens verandert. Bij "principle-based" werken wordt uitgegaan van algemene principes, die per situatie en afgestemd op juist die situatie kunnen worden toegepast. Daarmee wordt het eenvoudiger om binnen verschillende projecten vanuit een vergelijkbare houding specifieke risicogestuurde activiteiten te ondernemen. Het bijbehorend gedrag wordt daarmee over projecten heen uniform.

3.1.2 Geotechnische risico's

Geotechnische risico's hebben een geotechnische oorzaak. Bekende geotechnische risico's zijn te grote zettingen en stabiliteitsverlies. Geotechnische oorzaken bestaan meestal uit lokale afwijkingen in grondprofiel of grondeigenschappen.

Het optreden van geotechnische risico's heeft veelal gevolgen die boven de geotechniek uitstijgen. Voorbeelden zijn overschrijdingen van budget en planning, schade aan belendingen, hogere onderhoudskosten aan de constructies. In de praktijk blijkt verder dat bij disputen de vraag centraal staat of het optreden van de geotechnische risico's een gevolg is van een afwijkende bodemgesteldheid, een ontwerpfout, een uitvoeringsfout, of een combinatie van deze factoren.

3.1.3 Geotechnisch grondonderzoek

Geotechnisch grondonderzoek is een belangrijk instrument voor de beheersing van de geotechnische risico's. Informatie over de samenstelling en geotechnische eigenschappen van de ondergrond kan binnen elk van de zes risicomanagement stappen een belangrijke rol spelen. Het belang van grondonderzoek is hierbij echter bij de stappen identificatie (2), classificatie (3) en evaluatie (5) het grootst.

Overigens dient er rekening mee te worden gehouden dat door nieuwe inzichten op basis van aanvullend geotechnisch grondonderzoek, de kans van optreden en de bijbehorende gevolgen van geotechnische risico's niet alleen kan afnemen maar ook kan toenemen. Feitelijk betekent het laatste dat er een tot dan toe onbekend projectrisico is gesignaleerd, en dat de risico-inventarisatie onvolledig was. Een tijdige onderkenning van een dergelijke situatie, in combinatie met passende maatregelen, zal leiden tot een effectieve beheersing van het toegenomen geotechnische risico.

Tabel 3.1 De rol van geotechnisch onderzoek in de zes risicomanagement stappen.

Risicomanagement stap		Rol van geotechnisch grondonderzoek
Nr.	Omschrijving	
1	Inventarisatie van de beschikbare projectinformatie en definitie van de projectdoelen.	Controle of de gespecificeerde projectdoelen voor de beschouwde (komende) fase op basis van de te verwachten geotechnische bodemgesteldheid en de nu beschikbare gegevens acceptabel zijn.
2	Identificatie van risico's (welke risico's).	Identificeren van (nieuwe) geotechnische risico's, op basis van de beschikbare gegevens.
3	Classificatie van risico's (hoe groot zijn de kansen en gevolgen van de risico's).	Kwalitatief en zonodig en zo mogelijk kwantitatief classificeren van geotechnische risico's.
4	Selectie én uitvoering van risicobeheersmaatregelen (kans- en /of gevolgreductie).	Uitvoeren van (aanvullend) onderzoek of (aanvullende) analyses en/of monitoring.(afhankelijk van de projectfase)

Risicomanagement stap		Rol van geotechnisch grondonderzoek
Nr.	Omschrijving	
5	Evaluatie van de risicobeheersmaatregelen (wordt de beoogde risico reductie bereikt?).	Door middel van in de vorige stap uitgevoerde maatregelen analyseren of de gesignaleerde risico's voldoende beheerst zijn en of er geen aanvullende risico's zijn gevonden in de voorgaande stap. Als de risico's voldoende klein worden geacht om door iemand gedragen te worden, is overgang naar de volgende stap mogelijk.
6	Overdracht van het resulterende risicodossier naar de volgende projectfase.	Door middel van geo-data management alle informatie over de geotechnische bodemgesteldheid, zowel monitoringsdata als resultaten van (aanvullend) grondonderzoek, eenduidig én toegankelijk onderbrengen in of relateren aan het risicodossier.

Bovenstaande stappen maken onderdeel uit van een cyclisch proces dat tijdens elke fase in een project doorlopen wordt.

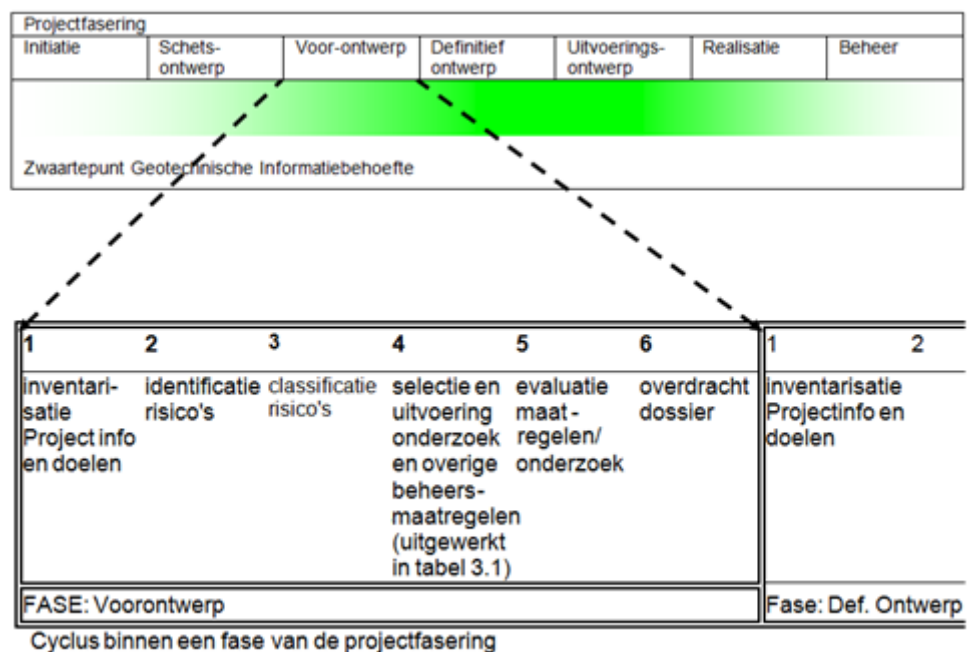
3.2 Proces voor de risicogestuurde definitie van grondonderzoek

3.2.1 Behoeftte aan geotechnische informatie in projecten

Kijkend naar de verschillende fasen waarin projecten zich bevinden, bestaat er een verschil in de mate waarin binnen een project behoefte bestaat aan informatie met betrekking tot de ondergrond. Figuur 3.1 laat zien dat vooral in de fasen vanaf het Voorontwerp (VO) tot de Realisatie de meeste behoefte bestaat aan dergelijke informatie. De aard (o.a. hoeveelheid en gewenst detailniveau) van deze informatie verschilt bovendien per projectfase. Door gebruik te maken van risicogestuurd grondonderzoek kan ingespeeld worden op deze wisselende behoefte.

Doordat er bij iedere fase-overgang een risico management cyclus wordt uitgevoerd volgt er "vanzelf" welke risico's 'in de volgende fase of fasen voorzien worden en hoe hiermee om gegaan wordt.

Fig. 3.1
De rol van geotechnisch onderzoek in de projectfasering.



3.2.2 Zes vragen voor een risicogestuurd grondonderzoek

Om op basis van de hierboven beschreven methodiek te komen tot een risicogestuurd grondonderzoek is het van belang om (per fase) een vast aantal generieke vragen door te lopen om risico's te identificeren en te beheersen.

Tabel 3.2 presenteert zes generieke vragen met bijbehorende acties voor het opzetten en (laten) uitvoeren van een risicogestuurd grondonderzoek.

Dit basisschema is gebruikt voor de uitwerking van het benodigde grondonderzoek voor verschillende types constructies, zoals in de volgende hoofdstukken gegeven.

Tabel 3.2 Zes vragen en bijbehorende acties voor een risicogestuurd grondonderzoek.

Nr.	Vraag	Acties	Voorbeeld
1	Welk type constructies?	Bepaal de grondgerelateerde constructies van het project.	Spoorlichaam naast bestaand spoor
2	Welke risico's?	Bepaal de ongewenste gebeurtenissen (GEVOLG).	Groot risico op schade aan bestaand spoor
3	Welke mechanismen?	Bepaal de significante geotechnische mechanismen (OORZAAK).	Horizontale deformaties van het bestaande spoor
4	Welke methodieken?	Bepaal de methodieken voor het kunnen bepalen van de mate van optreden van dit mechanisme. *	Eindige elementen deformatie berekening
5	Welke grondparameters?	Bepaal de meest kritische grondparameter(s) die een rol spelen.	Stijfheidsparameter
6	Welk grondonderzoek / maatregel of monitoring?	Gegeven de geologische heterogeniteit, bepaal het type, aantal en kwaliteit van het grondonderzoek om deze grondparameters te bepalen.	50 sonderingen met waterspanningsmeting, 20 ongevoerde monsters en 20 CRS proeven
* dit kunnen zowel ontwerp- als uitvoeringsmethodieken zijn.			



Geotechnisch onderzoek in polder Zestienhoven (kwel-locatie).

Hoofdstuk 4

Relatie met Contractvorm

Contracten spelen bij de realisatie van projecten een bepalende rol. Ten behoeve van het op de markt brengen van een project maken opdrachtgevers keuzes die bepalen welke contractvorm gehanteerd zal worden bij het realiseren van een project.

De keuze voor een contractvorm is van invloed op de risicoverdeling tussen partijen. Traditioneel is de opdrachtgever verantwoordelijk voor de ontwerptaken, en daarmee voor de afstemming van het ontwerp op de te verwachten bodemgesteldheid. Bij geïntegreerde contractvormen is de opdrachtnemer verantwoordelijk voor (een gedeelte van) de ontwerptaken, en daarmee ook voor de afstemming van het ontwerp op de bodemgesteldheid. Het definiëren en (laten) uitvoeren van grondonderzoek dient bij voorkeur gefaseerd en risicogestuurd te gebeuren, zoals omschreven in hoofdstuk 3.

Bij die werkwijze maken opdrachtgever en opdrachtnemer bewust per projectfase afspraken over de rollen en de verantwoordelijkheden die gedragen én genomen worden. Op die manier is het mogelijk om de resultaten van het grondonderzoek optimaal te laten aansluiten bij de beoogde risicoverdeling voor het desbetreffende project. Kijkend naar de risico's m.b.t. ondergrond, vragen verschillende manieren van verdeling van risico's per project om een andere wijze waarop met geotechnisch grondonderzoek moet worden omgegaan. Dit hoofdstuk geeft inzicht in de relatie tussen grondonderzoek en contractvormen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in traditionele contractvormen zoals uitgangspunt was bij het opstellen van de UAV1989 en geïntegreerd contractvormen conform UAVgc.

4.1 Traditionele contractvormen in relatie tot grondonderzoek

Binnen traditionele contractvormen – veelal RAW – is sprake van een strikte scheiding tussen ontwerp- en uitvoeringstaken. Ontwerptaken worden uitgevoerd onder verantwoordelijkheid van de opdrachtgever, de opdrachtnemer is verantwoordelijk voor de werkvoorbereiding en daadwerkelijke uitvoering.

Bij traditionele contractvormen is de opdrachtgever verantwoordelijk voor het verzamelen van het merendeel van de gegevens om het ontwerp op te baseren. Het benodigde grondonderzoek wordt dan ook door/namens de opdrachtgever vastgesteld en uitgevoerd. De gegevens van deze onderzoeken vormen tezamen met het definitieve ontwerp de basis waarop contractuele afspraken gemaakt worden. De opdrachtnemer heeft binnen deze verhoudingen nog wel de verantwoordelijkheid om de uitvoering af te stemmen op de lokale omstandigheden, gebaseerd op het aangeleverde grondonderzoek en de uitvoeringsafhankelijke zaken zoals hulpconstructies.

Een veel gebruikt juridisch en administratief kader voor een traditionele situatie met de genoemde traditionele risicoverdeling wordt gegeven door de UAV1989.

4.2 Geïntegreerde contractvormen in relatie tot grondonderzoek

De UAVgc is een in de praktijk veelvuldig gebruikt juridisch en administratief kader voor innovatieve, geïntegreerde contractvormen. In dergelijke contractvormen nemen opdrachtnemers gedeeltelijk of volledig de ontwerptaken over, die traditioneel door of namens de opdrachtgever worden uitgevoerd. Dit heeft consequenties voor de risicoverdeling tussen partijen. Traditioneel is de opdrachtgever verantwoordelijk voor de ontwerptaken, en daarmee voor de afstemming van het ontwerp op de te verwachten bodemgesteldheid. Bij innovatieve, geïntegreerde contractvormen is de opdrachtnemer verantwoordelijk voor (een gedeelte van) de ontwerptaken, en daarmee ook voor de afstemming van het ontwerp op de bodemgesteldheid. Dit betekent dat de traditionele risicoverdeling, waarbij de opdrachtgever verantwoordelijk is voor het ontwerp en de opdrachtnemer voor de uitvoering, niet meer (volledig) van toepassing is.

In het zogenoemde blokkenmodel van de UAVgc is de glijdende schaal van de verantwoordelijkheid van de opdrachtgever naar de opdrachtnemer aangegeven. De vroegst mogelijke betrokkenheid van de opdrachtnemer is al tijdens het opstellen van het programma van eisen in een turnkey project. Vanaf het voorlopig ontwerp tot en met het uitvoeringsontwerp kan de opdrachtnemer volledige verantwoordelijkheid dragen in een design & construct project.

Tabel 4.1 presenteert de gangbare projectfaseringen volgens het blokkenmodel van de UAVgc in relatie tot de faseringen die in het MIRT (Meerjarenprogramma Infrastructuur en Transport, [5]) wordt gehanteerd. Tevens zijn de verantwoordelijkheden voor opdrachtgevers en opdrachtnemers (grijs gemarkeerd) in de diverse projectfasen aangegeven, voor zowel traditionele contracten volgens de UAV1989 als innovatieve, geïntegreerde contracten volgens de UAVgc.

Tabel 4.1 Projectfaseringen volgens de UAVgc en het MIRT.

Projectfaseringen	Verantwoordelijkheden			
	Volgens het MIRT	Volgens de UAVgc	Traditioneel (UAV1989)	Geïntegreerd (UAVgc)
MIRT 1: VERKENNING - Startfase - Analytische fase - Beoordeling - Besluitvorming	-	-	-	-
MIRT 2: PLANUITWERKING - Functionele Eisen - Uitwerking - MER - Tracébesluit	1. Initiatief	Opdrachtgever	Opdrachtgever	Opdrachtgever
	2. Onderzoek	Opdrachtgever	Opdrachtgever	Opdrachtgever
MIRT3: UITVOERINGSFASE - Aanbesteding - Vergunning - Realisatie - Oplevering	3. Definitie	Opdrachtgever	Opdrachtgever	Opdrachtgever
	4. Programma van eisen	Opdrachtgever	Opdrachtgever	Opdrachtnemer
	5. Voorlopig ontwerp	Opdrachtgever	Opdrachtgever	Opdrachtnemer
	6. Definitief ontwerp	Opdrachtgever	Opdrachtgever	Opdrachtnemer
	7. Uitvoeringsontwerp	Opdrachtgever	Opdrachtgever	Opdrachtnemer
MIRT 4: BEHEER - Oplevering - Beheer	8. Werkvoorbereiding	Opdrachtnemer	Opdrachtnemer	Opdrachtnemer
	9. Uitvoering	Opdrachtnemer	Opdrachtnemer	Opdrachtnemer
	-	Opdrachtgever	Opdrachtgever	Opdrachtnemer

4.2.1 Grondonderzoek en de UAVgc

In de UAVgc vallen geotechnische aspecten onder bodemaspecten, die in paragraaf 13 en de leden 13-1 tot en met 13-3 zijn omschreven:

- Lid 13-1 stelt dat de opdrachtnemer verantwoordelijk is voor de afstemming van al zijn werkzaamheden op de bodemgesteldheid. Bij een geïntegreerde contractvorm zijn dit dus zowel ontwerp- als uitvoeringswerkzaamheden.
- In lid 13-2 vervalt de aansprakelijkheid van lid 13-1, als de opdrachtnemer aantoont dat ter voorkoming van vertraging, schade, of gebreken alle voorzorgsmaatregelen zijn getroffen die redelijkerwijs van een zorgvuldige opdrachtnemer mogen worden verwacht. De beschikking hebben over voldoende grondonderzoek valt onder die voorzorgsmaatregelen.
- Lid 13-3 stelt dat als desondanks vertraging, schade, of gebreken optreden, als gevolg van de afstemming van de werkzaamheden op de afwijkende bodemgesteldheid, er sprake is van een buitengewone omstandigheid. Hiervoor heeft de opdrachtnemer geen passende maatregelen behoeven te nemen en is het onredelijk dat de extra kosten voor rekening van de opdrachtnemer komen.

De zorgvuldigheidsnorm van lid 13-2 zal per project moeten worden gespecificeerd. In veel gevallen zal het aantonen of de opdrachtnemer al het redelijke heeft gedaan om vertraging, schade, of gebreken te voorkomen zich richten op de vraag of de opdrachtnemer voldoende en adequaat grondonderzoek heeft laten uitvoeren. De toelichting op de UAVgc stelt echter dat het niet mogelijk is om scherpe normen te formuleren voor de te nemen voorzorgsmaatregelen. Dit betekent dat dus ook niet eenduidig is vast te stellen bij welke soort, omvang en kwaliteit grondonderzoek er sprake is van voldoende en adequaat grondonderzoek. De in deze richtlijn omschreven werkwijze om te komen tot een risicogestuurd grondonderzoek, kan een behoorlijke bijdrage leveren aan de specificatie van de zorgvuldigheidsnorm van lid 13-2.

4.3 Consequenties voor grondonderzoek als gevolg van de gekozen contractvorm

Tabel 4.2 presenteert de uitvoering van grondonderzoek per projectfase, zoals gebruikelijk in traditionele contracten en zoals aanbevolen voor geïntegreerde contracten. Het in de tabel aangegeven benodigde grondonderzoek is indicatief en wordt nader uitgewerkt in de hierna volgende hoofdstukken.

Tabel 4.2 Grondonderzoek per projectfase voor traditionele en geïntegreerde contracten.

Projectfasering volgens de UAVgc	Grondonderzoek	
	Traditioneel contract (UAV1989)	geïntegreerd contract (UAVgc)
1. Initiatief	OG: Bestaand grondonderzoek benutten, mogelijk aangevuld met enkele oriënterende sonderingen. Zie 5.1	OG: Bestaand grondonderzoek benutten, in combinatie locatiebezoek en onderscheidt tussen greenfield, brownfield en greyfield locaties
2. Onderzoek		
3. Definitie		
4. Programma van eisen		
5. Voorlopig ontwerp	OG: Oriënterend locatie-specifiek grondonderzoek uitvoeren. Zie 5.2	OG of ON: Aanvullend risicogestuurd en locatie-specifiek grondonderzoek uitvoeren
6. Definitief ontwerp	OG: Gedetailleerd locatie-specifiek grondonderzoek uitvoeren. Zie 5.3	ON: Gedetailleerd risicogestuurd en locatie-specifiek grondonderzoek uitvoeren
7. Uitvoeringsontwerp	-	ON: Zonodig aanvullend gedetailleerd, risicogestuurd en locatie-specifiek grondonderzoek uitvoeren
8. Werkvoorbereiding	-	
9. Uitvoering	OG: Bij calamiteiten locatie-specifiek grondonderzoek uitvoeren.	ON: Bij vermeende afwijkende bodemgesteldheid en calamiteiten risicogestuurd en locatie-specifiek grondonderzoek uitvoeren
OG = Opdrachtgever ON = Opdrachtnemer		

De volgende verschillen volgen uit tabel 4.2:

- Bij traditionele contracten wordt tot en met het programma van eisen niet of nauwelijks grondonderzoek uitgevoerd. In veel gevallen wordt gebruik gemaakt van bestaand grondonderzoek. Voor geïntegreerde contracten wordt dit ook aanbevolen, maar daarnaast is het aanbevelenswaardig om de voorgenomen projectlocatie(s) te laten verkennen door een ervaren (ingenieurs)geoloog en om de locatie te classificeren als greenfield, brownfield, of greyfield. Door deze eenvoudige classificatie ontstaat namelijk zo vroeg mogelijk inzicht in de kans op geologische, geotechnische, geohydrologische, milieukundige, archeologische en obstakel risico's in de ondergrond.
- Voor geïntegreerde contracten wordt aanbevolen om al in de fase van het opstellen van het programma van eisen een oriënterend en locatie-specifiek grondonderzoek uit te voeren. Al vóór het opstellen van het programma van eisen dient namelijk een eerste globale risicoanalyse plaats te vinden en voor het inschatten van de geotechnische risico's is locatie-specifiek grondonderzoek nodig. Dit heeft tevens het voordeel dat de te stellen eisen kunnen worden afgestemd op de haalbaarheid. Denk hierbij bijvoorbeeld aan strenge restzettingseisen in geval van een ophoging in combinatie met een zeer zettingsgevoelige ondergrond.
- In geval van traditionele contracten wordt veelal pas voor het voorlopig ontwerp oriënterend en locatie-specifiek grondonderzoek uitgevoerd. In andere contracten wordt gekozen voor de veel betere optie van een traject van aanvullend risicogestuurd en locatie-specifiek grondonderzoek. Het grondonderzoek is aanvullend op het oriënterende grondonderzoek voor het programma van eisen. Een risicogestuurde aanpak wil zeggen dat het type, de omvang en de kwaliteit van het grondonderzoek in belangrijke mate worden bepaald door de geotechnische risico's van het project, die aan het begin van de ontwerpfase in kaart moeten zijn gebracht. De partij die het voorontwerp uitvoert dient het grondonderzoek uit te (laten) voeren. Bij een geïntegreerd contract kan dit zowel de opdrachtgever als opdrachtnemer zijn.

- Tenslotte, bij geïntegreerde contracten wordt tijdens de uitvoering aanbevolen om op een pro-actieve wijze bij vermeende afwijkende bodemgesteldheid risicogestuurd en locatie-specifiek grondonderzoek uit te voeren. Hierdoor kunnen niet alleen risico's tijdig worden onderkend en beheerst, maar tevens kunnen kansen worden benut, als grondcondities beter blijken te zijn dan was aangenomen. Bij traditionele contracten wordt veelal alléén locatiespecifiek grondonderzoek uitgevoerd na het optreden van een calamiteit. Uiteraard dient bij dit bij een geïntegreerd contract ook plaats te vinden in geval van een calamiteit. Als men dan al de beschikking heeft over een geactualiseerd risicodossier, kan dit op een risicogestuurde wijze plaatsvinden. Dit draagt bij een kosten-effectief grondonderzoek.

Uit het bovenstaande volgt dan een gefaseerde aanpak van grondonderzoek onontbeerlijk is, voor zowel traditionele als geïntegreerde contracten. Veel in de praktijk gehoorde argumenten tegen een gefaseerde aanpak, zoals tijdgebrek en geen budget, zijn toe te wijzen aan falend projectmanagement. Dit zou zowel voor opdrachtgevers als opdrachtnemers onacceptabel moeten zijn, vanwege de inherent grote onzekerheid van de ondergrond en bijbehorende risico's voor beide partijen gedurende de looptijd van een project, ongeacht de overeengekomen risicoverdeling.

De verplichtingen en verantwoordelijkheden voor de bodemgesteldheid, en daarmee het grondonderzoek voor het verkrijgen van inzicht in de bodemgesteldheid, verschillen in belangrijke mate tussen traditionele contracten volgens de UAV (paragraaf 5, lid 2 en paragraaf 6, lid 14) en geïntegreerde contractvorm volgens de UAVgc (paragraaf 13, lid 1 tot en met lid 3).

Het door de opdrachtgever verstrekken van grondonderzoek is bijvoorbeeld verplicht voor traditionele contractvormen volgens de UAV.

Het zal echter duidelijk zijn dat het voor alle partijen zeer wenselijk is om op een gelijk kennisniveau te werken in verband met het risicobeheer voor het totale project. Voor geïntegreerde contractvormen volgens de UAVgc heeft de opdrachtgever die verplichting alleen voor zover het grondonderzoek niet zelfstandig door de opdrachtnemer kan worden verkregen.

Bij de toepassing van de UAVgc dient vervolgens rekening te worden gehouden met optreden van het informatierisico in de aanbestedingsfase. Hierbij zijn de gegevens van het verstrekte grondonderzoek op zich juist, maar niet altijd exact afgestemd op hetgeen voor een specifieke inschrijvende partij noodzakelijk is om alle risico's in de aanbidding goed in te schatten. Dit speelt in mindere mate in een traditioneel contract, waarin het bestek voldoende inzicht geeft om een aanbidding te kunnen maken.

Het niet onderkennen van het informatierisico in de contracteringsfase van een geïntegreerd contract kan in de realisatiefase tot discussies en claims leiden. De beschikbaarheid van een RisicoVerdeling-GeoTechniek (RV-G, [6]), zoals beschreven in 4.4, beperkt het informatierisico, omdat de partijen door dit contractdocument in de contracteringsfase worden gedwongen om een expliciete risicoverdeling van de geotechnische risico's onder ogen te zien. Belangrijke verschillen in verplichtingen en verantwoordelijkheden m.b.t. grondonderzoek zijn weergegeven in tabel 4.3.

Tabel 4.3 Verschillen in verplichtingen en verantwoordelijkheden voor de bodemgesteldheid.

Verplichtingen en verantwoordelijkheden omtrent de bodemgesteldheid		
Nr.	UAV – traditionele contractvormen	UAVgc - geïntegreerde contractvormen
1	Opdrachtgever stemt ontwerp af op de bodemgesteldheid	Opdrachtnemer stemt ontwerp af op de bodemgesteldheid
2	Opdrachtnemer stemt uitvoering af op bodemgesteldheid	
3	Opdrachtgever verstrekt grondonderzoek aan de opdrachtnemer, voor de afstemming van de uitvoering op de te verwachten bodemgesteldheid	Opdrachtgever is alleen verplicht die grondonderzoek resultaten te leveren die de opdrachtnemer niet zelfstandig kan achterhalen
4	Opdrachtgever is verantwoordelijk voor de juistheid en volledigheid van de bodemgegevens	Opdrachtgever is verantwoordelijk voor de juistheid van de bodemgegevens. Opdrachtnemer is verantwoordelijk voor de volledigheid van het grondonderzoek*
5	Opdrachtgever is verantwoordelijk voor de interpretatie het grondonderzoek	Opdrachtnemer is verantwoordelijk voor de interpretatie van het grondonderzoek, ongeacht of het grondonderzoek zelf of door de opdrachtgever is uitgevoerd
6	Opdrachtgever is verantwoordelijk voor afwijkende bodemgesteldheid	
7	Opdrachtnemer heeft een waarschuwingsplicht, indien het ontwerp niet aansluit bij het verstrekte grondonderzoek	Opdrachtnemer heeft een waarschuwingsplicht, indien het voorlopig of definitief ontwerp niet aansluit bij het verstrekte grondonderzoek"#
* Met inachtnaam van lid 13-2 van de UAVgc, waarin de verantwoordelijkheid van de opdrachtnemer voor de volledigheid van het grondonderzoek eindigt in geval van onvoorziene afwijkende bodemgesteldheid.		
# Van toepassing bij een geïntegreerde contractvorm waarbij de opdrachtgever het voorlopig en / of definitief ontwerp uitvoert en de opdrachtnemer minimaal het uitvoeringsontwerp en mogelijk ook het definitief ontwerp uitvoert.		

Het zal duidelijk zijn dat er geen eenduidig recept bestaat voor het uit te voeren grondonderzoek, vanwege de diversiteit in geïntegreerde contractvormen en het feit dat elk project uniek is. Wel blijkt het mogelijk om een eenduidige aanpak te hanteren voor proces van het definiëren van een grondonderzoek.

Gegeven het feit dat bij geïntegreerde contracten de risicoverdelingen tussen opdrachtgever en opdrachtnemer niet eenduidig zijn, wordt aanbevolen om het optimale grondonderzoek op een risicogestuurde wijze te definiëren. Dit wordt toegelicht in de volgende paragraaf.

4.4 Risicoverdeling GeoTechniek (RV-G)

Een Risico Verdeling - Geotechniek (RV-G) [6] is een onderdeel van het contract, waarin project-specifiek en expliciet is vastgelegd wanneer er sprake is van een afwijkende bodemgesteldheid. De aanwezigheid van een RV-G helpt in belangrijke mate de vraag te beantwoorden of er sprake is van een afwijkende bodemgesteldheid, en daarmee sprake is van een buitengewone omstandigheid. Als annex bij de vraagspecificatie heeft een RV-G een contractuele en juridische status. De RV-G komt hierbij tegemoet aan de wens om vooraf scherpe en eenduidige afspraken te maken over de te verwachten bodemgesteldheid, waardoor de vraag of er al dan niet sprake is van een buitengewone omstandigheid bij het optreden van problemen met een geotechnische oorzaak, eenvoudiger en eenduidiger is te beantwoorden.

4.4.1 RV-G en risicogestuurd grondonderzoek

De voorgestelde methodiek waarbij per fase een risicodossier wordt gemaakt van de ondergrond maakt het mogelijk om al in een vroeg stadium inzicht te krijgen in de risico's en dus op een goede manier afspraken te maken over verdeling van de risico's tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.

Hoofdstuk 5

Onderzoek per projectfase

In dit hoofdstuk wordt in algemene zin de relatie gelegd tussen te verzamelen of uit te voeren onderzoek en de projectfase. In de bijlagen wordt dit in detail uitgewerkt voor verschillende typen constructies. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de rapportage van de onderzoeksgegevens.

Bedacht dient te worden dat de resultaten van het in onderstaande paragrafen per projectfase omschreven grondonderzoek in het algemeen beschikbaar zullen moeten zijn in dezelfde fase. Dit betekent dat het onderzoek uitgevoerd zal moeten zijn als eerste stap van de betreffende fase. Er moet terdege rekening worden gehouden met de hiervoor benodigde doorlooptijd.

Tenslotte wordt opgemerkt dat in sommige gevallen een besparing in doorlooptijd en kosten kan worden behaald door grondonderzoek uit meerdere fases zoveel mogelijk in een vroeg stadium te combineren. Omdat de vaststelling van het benodigde grondonderzoek risicogestuurd plaatsvindt, kan dit met name effectief zijn voor projecten waarbij in een vroeg stadium al een compleet beeld van de risico's bestaat, of waarbij dit beeld om andere redenen al vroegtijdig moet worden opgesteld.

5.1 Schets- of Initiatiefase, zeer grof detailniveau

5.1.1 Omschrijving

De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een aanname voor de haalbaarheid van het project in tijd en geld (raming) mogelijk te maken.

Veel gegevens zijn in deze fase nog niet bekend. Veelal zal in deze fase bijvoorbeeld de exacte locatie van de te bouwen constructie of het tracé van de weg nog niet zijn vastgelegd.

Wegens de beperkte hoeveelheid gegevens en grote keuzevrijheid kunnen en zullen in deze fase alleen verkennende berekeningen worden gemaakt op basis van vuistregels en correlaties.

Wel dient er in deze fase te worden nagedacht over typen constructie en methoden van uitvoering, omdat deze mede de haalbaarheid bepalen. Daarnaast kan informatie over de ondergrond, indien meegenomen, mede bepalend zijn voor bijvoorbeeld een locatie- of tracékeuze.



5.1.2 Grondonderzoek

In deze fase is het van belang allereerst alle bestaande gegevens uit algemeen beschikbare bronnen te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes.

De wenselijkheid om ten behoeve van deze fase tevens nieuw onderzoek uit te voeren wordt vooral bepaald door de mate waarin op basis van de bestaande gegevens conclusies kunnen worden getrokken over de grondopbouw. Na inventarisatie van deze bestaande gegevens kan dit worden overwogen. Soms is dit het geval omdat gegevens volledig op (een deel van) de projectlocatie ontbreken, soms zullen voor het beoogde type constructie specifieke gegevens van groot belang zijn.

5.2 Voorontwerp, grof detailniveau

5.2.1 Omschrijving

In deze fase is een beperkt aantal geotechnische eisen aangegeven voor de te bouwen constructie en heeft de locatie- of tracékeuze plaatsgevonden. De nu te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een grove werkplanning en eventueel eerste prijsvorming door inschrijvers mogelijk te maken.

5.2.2 Berekeningen

In deze fase dient een goed beeld van de technische en economische haalbaarheid te worden verkregen. Hiertoe worden in het algemeen met de standaard ontwerptools binnen de geotechniek berekeningen uitgevoerd. Afhankelijk van het type project kan hierbij worden gedacht aan bijvoorbeeld zetting- stabiliteits- en funderingsberekeningen.

Dit geschiedt echter in deze fase slechts voor een beperkt aantal relevante gevallen, waarbij bovendien een deel van de parameters op basis van correlaties met andere grootheden zal worden geschat.

5.2.3 Grondonderzoek

In deze fase dient in principe alle voor het project benodigde grondonderzoek te zijn uitgevoerd. Voor sommige typen projecten is de minimaal benodigde hoeveelheid grondonderzoek vastgelegd in normen. In deze fase moet qua omvang grondonderzoek worden voldaan aan deze normen.

Op basis van de resultaten uit deze fase wordt door een geotechnisch adviseur, die in het projectteam is opgenomen, een hernieuwde (geotechnische) risico-analyse uitgevoerd. Ook dienen in deze fase de risico's die samenhangen met omgevingsbeïnvloeding oriënterend te worden beschouwd. Resterende of nieuw gesignaleerde risico's kunnen dan (in meer detail) in een vervolgfase worden onderzocht.

5.3 Definitief Ontwerp, fijn detailniveau

5.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn alle basiskeuzen voor ontwerp en uitvoering gemaakt. Wat nu volgt is de detaillering. Dit betreft zowel ontwerpaspecten als uitvoeringswijze en planningsaspecten.

De nu te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om het detailontwerp mogelijk te maken.

5.3.2 Berekeningen

In deze fase worden ontwerp- én toetsingsberekeningen uitgevoerd voor alle onderdelen van het ontwerp. Evenals in de vorige fase zal daarbij weer van de standaard geotechnische ontwerptools gebruik worden gemaakt maar, afhankelijk van het type project, ook van meer geavanceerde berekeningen, zoals Eindige elementen analyses. Daarnaast zal in deze fase uitgebreid aandacht worden besteed aan omgevingsbeïnvloeding. Denk hierbij aan horizontale en verticale gronddeformaties, trillingen en geluid.

5.3.3 Grondonderzoek

In het algemeen kan worden gezegd dat in deze fase alleen nog naar specifieke probleemlocaties gekeken zou moeten worden. Uit eerdere fasen moet het globale geotechnische en geologische beeld van de ondergrond voldoende duidelijk zijn.

Wel bestaat de mogelijkheid dat de risico analyse uit de vorige fase aanleiding geeft om aanvullend onderzoek te doen. Uiteindelijk zou het grondonderzoek voor deze fase zodanig van omvang moeten zijn, dat voor alle gesignaleerde geotechnische risico's maatregelen kunnen worden vastgesteld.

Een minimale hoeveelheid grondonderzoek is dan ook voor deze fase niet aan te geven omdat dit volledig afhankelijk zal zijn van de specifieke eigenschappen van het project.



Reconstructie sluisen en brug Leuvehoofd Rotterdam.

Hoofdstuk 6

Algemene eisen aan uitvoering grondonderzoek

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de specifieke aandachtspunten en eisen die aan elk grondonderzoek zouden moeten worden gesteld. Projectsamenhangende eisen en aandachtspunten zijn vastgelegd in de bijlagen per type project.

6.1 Onderzoekspunten

Van alle onderzoekspunten dienen de RD coördinaten te worden vastgesteld en moet de hoogte ten opzichte van NAP worden ingemeten. De locatie van de gerealiseerde onderzoekspunten dient te worden vastgelegd op een situatietekening. Op deze tekening moeten tevens de onderzoekspunten van eerder uitgevoerd onderzoek worden vastgelegd.

6.2 Sonderingen

NEN 9097-1 eist dat voor constructies ingedeeld in GC2, elektrische sonderingen in sondeerklasse 3 of 4, volgens NEN 5140, of mechanische sonderingen volgens NEN 3680 moeten worden uitgevoerd. Voor constructies ingedeeld in GC3 moet dit minimaal sondeerklasse 2 volgens NEN 5140 zijn. De klasse van de sondering, conform NEN 5140, dient op de sondeerstaat te worden aangegeven.

Praktisch is om altijd sonderingen met meting van conus, helling en kleef uit te voeren conform NEN 5140 klasse 2. In bijzondere gevallen, waarbij de ondergrond puin of grind bevat waardoor er grote kans op schade aan apparatuur is, kan hiervan worden afgeweken.

6.2.1 Benodigde diepte

Met het oog op zettingsanalyses dienen sonderingen minimaal te zijn uitgevoerd tot het eerste zandpakket van meer dan 5 m dikte. Voor draagkrachtberekeningen van funderingen op staal is de sondeerdiepte gerelateerd aan de invloedsdiepte. De benodigde sondeerdiepte is ca. 2 maal de breedte van het funderingselement onder het funderingsniveau. De sonderingen dienen dan bij voorkeur binnen een invloedsbreedte van ca. 2 à 6 maal de funderingsbreedte te worden uitgevoerd. In geval van een paalfundering dient de diepte van de sonderingen minimaal 5 m onder het geschatte paalpuntniveau te zijn.

Een indruk van de minimaal benodigde sondeerlengte kan worden verkregen op basis van historisch- of archiefonderzoek.

6.2.2 **Voorboren**

De bovenste 1,5 m wordt vaak voorgeboord in verband met het risico op schade aan kabels- en leidingen. In dat geval dient de beschrijving te worden vermeld bij de sondeergrafiek.

6.2.3 **Sonderingen uitgevoerd met meting van de waterspanning**

Aanbevolen wordt enkele sonderingen uit te voeren met meting van de waterspanningen. De waterspanningsmetingen leveren aanvullende informatie ten behoeve van de classificatie van de grond en gelaagdheid van de bodem. Ook leveren de waterspanningsmetingen informatie over de stijghoogte van het grondwater tegen de diepte.

Het exacte aantal uit te voeren sonderingen met meting van de waterspanningen is sterk projectafhankelijk, maar als zettingen een belangrijke rol spelen kan als richtgetal circa 10% van het totaal worden aangehouden. Bij funderingsniveaus onder de grondwaterstand wordt aanbevolen ten minste 1 sondering dusdanig uit te voeren.

Afhankelijk van de situatie kunnen met een speciaal type sondeerconus ook aanvullende grootheden worden gemeten. bv magnetisch veld (metalen objecten), geleiding grondwater (zoet/zout grens en chloridegehalte), temperatuur, trillingen (schuifgolven en versnellingen), in-situ spanning-rek gedrag en sterkte (CPM), beeld van korrelstructuren (video), koolwaterstoffen (MIP, ROST).

6.3 **Boringen en laboratoriumonderzoek**

6.3.1 **Uitvoering boringen**

Boringen dienen te worden uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 22475-1. Om de beschreven grondlagen te kunnen correleren aan de uitgevoerde sonderingen dient elke boring in combinatie met een sondering op dezelfde locatie te worden uitgevoerd. Lengte boring te bepalen aan de hand van sondeergegevens; minimaal tot het bovenste zandpakket van ten minste 5 m dikte.

In verband met de kosten is het veelal efficiënt een veel groter aantal sonderingen dan boringen uit te voeren. Daar echter het resultaat van de boringen en het bijbehorende labonderzoek vaak wel zeer bepalend zijn voor de uiteindelijke parameterset, is het van belang de beschikbare meters boring optimaal te gebruiken. Om die reden heeft het de voorkeur elk grondonderzoek dusdanig te faseren, dat het mogelijk is op basis van de sondeerresultaten de boorlocaties vast te stellen.

Het vaststellen van de boorlocaties aan de hand van sonderingen is werk voor een geotechnisch specialist. Hetzelfde geldt voor het vaststellen van de boormonsters waarop specifieke proeven zullen worden uitgevoerd. Wanneer het project zich daartoe leent verdient het aanbeveling dat de geotechnisch specialist, betrokken bij de engineering van het werk, deze keuzes maakt.

De uitkomende grond van zowel mechanische als handboringen moet worden geclassificeerd volgens NEN 5104 en worden beschreven in een boorstaat. Boormethode en



gerealiseerde monsterklasse conform NEN-EN-ISO 22475-1 dienen te worden aangegeven op de boorstaat.

Eventueel worden er classificatieproeven en mogelijk ook aanvullende geotechnische proeven uitgevoerd.

De eisen die aan boringen worden gesteld zijn mede afhankelijk van de proeven die moeten worden uitgevoerd op monsters uit de boringen. In onderstaande paragrafen wordt deze relatie gelegd.

6.3.2 Peilbuizen

Na het boren dient minimaal de actuele grondwaterstand in het boorgat te worden bepaald en vastgelegd. Bij metingen in het boorgat kan echter sprake zijn van een schijn grondwaterstand.

Boringen zijn echter tevens geschikt om te worden afgewerkt tot peilbuizen. Deze moeten dan op basis van de sondeergegevens worden geplaatst op verschillende diepten in het boorgat, zodat het verloop van de stijghoogte in de tijd van meerdere pakketten gelijktijdig kan worden gevolgd.

Het plaatsen van peilbuizen in de boorgaten dient conform NEN-EN-ISO 22475-1 te worden uitgevoerd. Het verdient aanbeveling om de boorlocaties die worden afgewerkt tot peilbuis dusdanig te kiezen dat de kans dat deze verloren gaan minimaal is.

6.3.3 Classificatieproeven

In de Nederlandse praktijk worden in cohesieve lagen meestal ten minste natte/droge dichtheid en watergehalte gebruikt om een indruk te krijgen van de verdeling van grondsoorten en bijbehorende dichtheden. In combinatie met overige uitgevoerde proeven kan dan voor een ontwerp een gefundeerde indeling in grondsoorten en bijbehorende parameters worden gemaakt. Vaak kan met een eenvoudige frequentieverdeling van gemeten dichtheden al een duidelijk beeld worden verkregen van de dominante grondsoorten. Voorwaarde is dan wel dat er voldoende classificatieproeven zijn uitgevoerd om een zinvolle statistische inventarisatie te kunnen doen (zie ook NEN 9997-1).

Indien de sterkte van de grond van belang is voor het onderhavige project, is het aanbevelenswaardig om bij het uitvoeren van elke boring ook pocket penetrometer of torvane proeven uit te laten voeren op de gestoken monsters uit de cohesieve lagen. Deze proeven geven een snelle indicatie van de ongedraineerde schuifsterkte van het materiaal van elke laag.

Voor de uitvoering van alle genoemde classificatieproeven moet kunnen worden beschikt over ongeroerde monsters. Als alternatief voor de bepaling van nat volumegewicht wordt in sommige gevallen uitgegaan van het volumieke gewicht van de booropbrengst (Begemann doorsnede 29 mm of Ackermann).

Zandmonsters kunnen vrijwel altijd alleen geroerd worden verkregen. Boringen in zand worden meestal met een puls of avegaar uitgevoerd. De hiermee verkregen monsters zijn niet geschikt voor het uitvoeren van de genoemde classificatieproeven.

6.3.4 **Samendrukkingsproeven**

Samendrukkingsproeven worden uitgevoerd op cohesieve lagen in situaties waarbij zettingen van belang zijn. De monsters moeten ongeroerd zijn. De diameter van de boring dient bovendien voldoende groot te zijn, bij voorkeur ten minste 66 mm. Monsters voor samendrukkingsproeven hebben een diameter van 50 mm.

De resultaten van de samendrukkingsproeven spelen in alle fasen van infraprojecten een belangrijke rol. Daarom dient bijzondere aandacht te worden besteed aan de uitvoering van deze proeven. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten vereist voor een zinvolle interpretatie van de proef:

1. Keuze belastingtrappen:

De gekozen belastingtrappen dienen ten minste in overeenstemming met de hoogste in situ te verwachten belastingniveaus te worden gekozen. Te lage belastingniveaus in de proef leiden tot een onjuiste primaire samendrukkingcoëfficiënt bij hogere belastingen en daarmee tot een onjuiste voorspelling van zettingen. Het is hierbij vooral van belang in het oog te houden dat lokaal vaak veel grotere belastingverhogingen voorkomen. Bij voorbeeld als terpen onderdeel uitmaken van het werk, maar ook in een ontwerpfase zijn scenario's mogelijk waarbij de belasting tijdelijk hoger is dan de (netto) eindbelasting. Geadviseerd wordt, ook bij beperkte ophogingen, uit te gaan van een hoogste belastingstap van ten minste 150 kPa.

2. Uitvoeren ontlast- herbelasttak

Voor het uitvoeren van zettingsvoorspellingen waarin met een voorbelasting of tijdelijke overhoogte wordt gewerkt, is het ontlast-herbelast gedrag van de ondergrond van groot belang. Omdat de proefresultaten voor de grensspanning vaak onbetrouwbaar zijn door monsterverstoring, kan een goede indicatie voor het grondgedrag bij ontlasten beter worden verkregen door in de proef een ontlast- herbelasttrap in te plannen.

3. Uitwerken proefresultaten volgens meerdere methoden

De proefresultaten dienen te worden uitgewerkt volgens NEN 5118 (Angelsaksisch), a,b,c- én de Koppejan-methode, zodat de ingenieur een eigen keuze kan maken van het rekenmodel voor het ontwerp.

4. Bepalen consolidatiecoëfficiënt volgens Taylor en Casagrande

In Nederland worden de proeven vaak alleen volgens de Taylor-methode uitgewerkt. Een uitwerking volgens de Casagrande-methode is soms echter ook gewenst, omdat in bepaalde gevallen de nauwkeurigheid hiervan hoger is. Overigens zijn de resultaten uit beide methoden vaak verschillend. Daarom wordt aanbevolen een uitwerking volgens beide methoden op te nemen.

5. Gloeiverlies bepalen

Bij humeuze (organische) monsters is het van belang het gloeiverlies te bepalen, omdat dit essentieel is voor een goede bepaling van het poriëngetal. Berekeningen volgens NEN-Bjerrum zijn hier zeer gevoelig voor.

6.3.5 Triaxiaalproeven

Triaxiaalproeven worden uitgevoerd in situaties waarbij de sterkte van de grond van belang is, zie ook NEN 5117. Voor het uitvoeren van triaxiaalproeven op cohesieve lagen dienen ongeroerde monsters beschikbaar te zijn, voor het uitvoeren van proeven op zand geldt deze beperking niet. De minimale diameter voor een monster voor een triaxiaalproef bedraagt 35 mm. Daarbij is een tendens merkbaar om te gaan naar grotere monsters, met een diameter van 50 mm. De diameter van de boring dient uiteraard voldoende groot te zijn. Voor multi-stage proeven wordt minimaal 66 mm aanbevolen en voor single-stage proeven ten minste 100 mm, zie ook de tekst onder 'CU-proeven'.

In het algemeen zijn triaxiaalproeven onder te verdelen in drie typen:

- **UU** (Unconsolidated Undrained): Hierbij laat men het monster tussen de verschillende belasttrappen niet consolideren; de afschuifproef wordt ongedraineerd uitgevoerd, bij meting van de waterspanning.
- **CU** (Consolidated Undrained): Hierbij laat men het monster tussen de verschillende belasttrappen consolideren; de afschuifproef wordt ongedraineerd uitgevoerd, bij meting van de waterspanning.
- **CD** (Consolidated Drained): Hierbij laat men het monster tussen de verschillende belasttrappen consolideren; de afschuifproef wordt gedraineerd uitgevoerd.

UU proef

De UU proef is minder gebruikelijk. Deze wordt op cohesief materiaal vrijwel uitsluitend uitgevoerd om een indruk te krijgen van de ongedraineerde schuifsterkte van de grond.

CU proef

Op cohesieve grond wordt vrijwel altijd een CU triaxiaalproef uitgevoerd, teneinde de hoek van inwendige wrijving en de cohesie vast te stellen. Om uit een CU triaxiaalproef deze waarden betrouwbaar te kunnen vaststellen, moet de proef bij 3 consolidatiespanningen worden uitgevoerd. In Nederland wordt veelal met multi-stage triaxiaalproeven gewerkt, waarbij hetzelfde monster bij 3 (soms zelfs 4) verschillende consolidatiespanningen wordt beproefd. In geval van single-stage proeven wordt voor elke proef een nieuw monster gebruikt. Nadeel van multi-stage proeven is dat monsterverstoring tijdens het uitvoeren van de proef kan optreden. Bovendien kan het monster slechts tot een beperkte deformatie worden belast, zodat de sterkte-eigenschappen bij bezwijken niet zijn bepaald.

Nadeel van single-stageproeven is dat meer monsters nodig zijn en dus verschillen in eigenschappen tussen de monsters invloed hebben op het resultaat. Aan dat laatste nadeel kan tegemoet worden gekomen door boringen met een diameter van ten minste 100 mm uit te voeren. In dat geval kunnen op één niveau 3 monsters uit de boring worden gehaald, zodat de verschillen in monsters geringer zullen zijn.

Zeker als de sterkte bij bezwijken moet worden vastgesteld, heeft het toepassen van de genoemde grotere boordiameter in combinatie met single-stage triaxiaalproeven de voorkeur. BS 5930 adviseert: "Multi-stage tests are not recommended when single stage tests can be carried out".

CD proef

De sterkte- en stijfheidsparameters van zand kunnen worden bepaald aan de hand van CD-triaxiaalproeven. Door de proeven uit te voeren in het spanningsgebied van de in-situ spanningen en de bijbehorende dichtheid wordt een goede benadering van deze parameters verkregen. De in-situ spanningen worden bepaald door het (effectieve) gewicht van de bovenliggende lagen, dus uit de resultaten van classificatieproeven op de boormonsters. De dichtheid in-situ kan worden benaderd door uit de conusweerstand ter plaatse en de relatie met de verticale korrelspanning de theoretische relatieve dichtheid te bepalen, bijvoorbeeld met de relatie volgens Lunne. Door vervolgens in het laboratorium de minimale en maximale dichtheid van het zand te bepalen kan de in-situ dichtheid worden berekend. Deze wordt vervolgens in de CD proef gerealiseerd.

Als de projectomvang toestaat om voldoende proeven op hetzelfde zandpakket uit te voeren is het veelal aanbevelenswaardig proeven uit te voeren bij variërende dichtheden, zodat het verband tussen dichtheid en sterkte zichtbaar kan worden gemaakt.

6.3.6 **Vaststelling parameters uit laboratoriumproeven**

Om in het ontwerp gebruik te kunnen maken van de resultaten van door middel van laboratoriumproeven bepaalde grondparameters, moet rekening gehouden worden met NEN 9997-1 voor het bepalen van de karakteristieke waarde van de grondparameter. Van elke relevante te onderscheiden grondlaag dienen minimaal 2 parameterbepalingen te zijn uitgevoerd. In alle andere gevallen zullen de richtwaarden genoemd in NEN 9997-1 de karakteristieke waarde van de grondparameter bepalen omdat in dat geval te weinig inzicht is verkregen in de werkelijke variatie van de grootte van de beschouwde grondparameter op de projectlocatie. Dit mindere inzicht zal in veel gevallen leiden tot een conservatiever en daarmee duurder ontwerp en in sommige gevallen tot grotere risico's.



Onderzoek stabiliteit van de Bovendijk in IJsselmonde door het nemen van ongeroerde grondmonsters.

Hoofdstuk 7

Overdracht van geotechnische gegevens

7.1 Inleiding

In elke fase van het ontwerp en bijbehorend onderzoek bestaat een moment waarop deze fase wordt afgesloten en alle verzamelde gegevens en de daarop gebaseerde conclusies vast worden gelegd voor gebruik in een volgende ontwerpfase, bijvoorbeeld van een voorontwerp naar een detailfase.

Het toegankelijk en gestructureerd vastleggen van alle gegevens en conclusies in een rapport is misschien wel het belangrijkste onderdeel van een grondonderzoek. Dit is vooral van belang voor die gevallen waarbij alle gegevens, en vaak ook de daarbij horende verantwoordelijkheden, worden overgedragen aan een andere partij. Hierbij wordt vooral gedacht aan de cruciale overdracht van grondonderzoek en voorontwerp van opdrachtgever aan de aannemer, zoals die bij een aanbesteding plaatsvindt.

7.2 Praktijk buitenland

In de Angelsaksische regio wordt voor de overdracht van geotechnische data en risico's wel gebruik gemaakt van het "Geotechnical Baseline Report", dat iets anders inhoudt dan de "Risico-Verdeling Geotechniek" (zie 4.4) die in Nederland bekend is. De RVG gaat nadrukkelijk niet in op technisch-inhoudelijke aspecten, maar vooral op de verdeling van de gesignaleerde geotechnische risico's tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.

Het doel van een geotechnische rapportage is nu juist om de technisch-inhoudelijke aspecten wél zichtbaar te maken. Zo is voor een ontwerper in een vervolgfase onmiddellijk duidelijk welke risico's in eerdere fasen zijn gesignaleerd en hoe het tot dan toe uitgevoerde grondonderzoek daarop is afgestemd, ongeacht de uiteindelijke contractuele verdeling van de risico's.

In deze paragraaf worden de resultaten van een literatuurstudie samengevat, waarin is gekeken naar de internationale methode voor het vastleggen en overdragen van geotechnische data ten behoeve van het ontwerpen van een project. Zoals vaker op het gebied van geotechnische normen en engineering zijn de Engelse en Amerikaanse methoden internationaal gezien maatgevend.

NEN 9997-1:2011 geeft in paragraaf 2.8 en 3.4 aanbevelingen voor de inhoud van respectievelijk een ontwerprapport en een grondonderzoeksrapport:

- **Ontwerprapport:** dit rapport maakt onder anderen gebruik van het grondonderzoeksrapport, en bevat een projectbeschrijving, de grondcondities, gehanteerde parameters, aangehouden ontwerpnormen en uiteraard de rekenresultaten. Ook een monitoringsplan is onderdeel van het ontwerprapport.

- **Grondonderzoeksrapport:** dit bestaat uit twee belangrijke onderdelen, namelijk de feitelijke presentatie van de verzamelde geotechnische gegevens incl geologie, en de geotechnische evaluatie van deze informatie inclusief het vaststellen van ontwerpparameters. Voor deze twee onderdelen wordt in de norm een lijst aan minimaal vereiste aandachtspunten gegeven.

De Britse Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS) heeft een handreiking voor het opstellen van een Grondrapport gemaakt, die gratis via hun website te downloaden is [7]. In deze handreiking wordt het Grondrapport gezien als bestaande uit 5 onderdelen:

- **Bureaustudie:** dit betreft een inventarisatie van alle vooraf beschikbare informatie, zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven.
- **Feitelijk rapport:** Dit komt overeen met het grondrapport zoals dat men dat in Nederland meestal bedoelt, namelijk een overzicht van projectlocatie, doel van onderzoek en een rapportage van de verzamelde gegevens en labresultaten. Nadrukkelijk wordt in de handleiding gesteld dat ook het verstrekken van alle gegevens in digitaal formaat onderdeel is van een feitelijk rapport.
- **Interpretatierapport:** dit bevat een interpretatie van de geologie voor het project, een samenvatting van de geotechnische eigenschappen van de grond (gemiddelde, standaardafwijking etc) en een vertaling van deze gegevens naar de mogelijke consequenties voor het project. Naar aanleiding hiervan kunnen ook adviezen worden gegeven voor aanvullend onderzoek.
- **Ontwerprapport:** dit rapport beschrijft het project en de in eerdere fasen verzamelde gegevens, geeft de ontwerpwaarden voor de grond en de gehanteerde ontwerpnormen, presenteert de resultaten van de berekeningen en bevat een voorstel voor monitoring gedurende uitvoering van het project.
- **Validatierapport:** deze rapportage wordt opgesteld na uitvoering van het project en bevat een evaluatie van het geotechnisch ontwerp en een interpretatie van de monitoringsgegevens. Doel is het aantonen dat aan de contracteisen is voldaan, het vastleggen van de uitgevoerde werkzaamheden en het maken van voorspellingen over het verwachte gedrag van de constructie na opleveren. Ook kunnen hierin geconstateerde afwijkingen tussen ontwerpaannamen en werkelijk grondgedrag worden gerapporteerd.

In de VS worden grondrapporten meestal onderverdeeld in 4 basisvarianten:

- **Geotechnisch datarapport:** dit bevat alle feitelijk verzamelde data zonder enige aanvullende interpretatie
- **Geotechnisch interpretatierapport:** geschreven door een geotechnisch ingenieur. Dit document bevat een beschrijving van de grondcondities, aanbevelingen met betrekking tot haalbare en economische eisenspecificaties voor onderdelen van het project en een inventarisatie van risico's en/of beperkingen met betrekking tot het ontwerp en omgevingsbeïnvloeding.
- **Samenvattend geotechnisch ontwerprapport:** dit rapport is bedoeld om alle informatie te delen die over de ondergrond is verzameld en ook de interpretatie hiervan met betrekking tot de contracteisen te geven. Door een pakket van zowel feitelijke informatie als de interpretatie hiervan te geven kan worden voorkomen dat inschrijvers te optimistische biedingen maken. Bovendien kan het document behulpzaam zijn in claim-situaties, als uitgangspunt voor hetgeen in de ontwerpfase bekend



diende te zijn bij de inschrijvers. Aan dit document dragen zowel de geotechnisch ingenieur, de betrokken ontwerper als de projectleider bij.

- **Geotechnisch "Baseline" Rapport:** dit document heeft de status van een contractspecificatie, waarin bepaalde basiseigenschappen van de grond zijn vastgesteld ('baseline conditions'). De aannemer kan zijn aanbieding op deze waarden baseren zonder een eigen interpretatie van het grondonderzoek uit te voeren. Bij een eventuele claim-situatie ten gevolge van afwijkende grondcondities is via deze rapportage duidelijk vastgelegd welke uitgangspunten door de aannemer in het ontwerp zijn aangehouden. De contractuele status van dit rapport is dus veel zwaarder dan die van de eerder genoemde varianten. Men kan zich voorstellen dat in dit rapport ondergrenswaarden worden vastgelegd; de aannemer die zich hierop wil baseren, is vrij dit te doen, maar om een scherpere aanbieding te maken (meer risico te nemen) is men ook vrij een eigen interpretatie voor ontwerp uit te voeren.

Uit een vergelijking tussen de verschillende normen blijken grote overeenkomsten. In alle normen wordt, naast de feitelijke rapportage van de data, een goed onderbouwde interpretatie van de verzamelde grondgegevens gezien als een integraal onderdeel van elk grondonderzoeksrapport. In de AGS beschrijving is ook het ontwerp onderdeel van het Grondrapport; in de Europese en Amerikaanse definitie is hierin nog een scheiding mogelijk.

Met nadruk wordt gesteld dat, afgezien van de "Geotechnische Baseline Rapportage", deze documenten niet bedoeld zijn om uitspraken te doen over bij wie de verantwoordelijkheid voor de gegevens en de daaraan verbonden interpretaties ligt.

7.3 Huidige situatie Nederland

De meeste grondrapportages zoals die in Nederland bij aanbestedingen worden verstrekt vallen in de categorie 'feitelijke rapportage' of 'datarapport' zoals hierboven omschreven.

Daarbij is deze data vaak dan nog verspreid over verschillende rapporten uit verschillende fasen van het project. Het kan hierbij gaan om grondonderzoeksrapporten, maar ook waterhuishoudkundige rapportages of gegevens van waterschappen. Een gedegen bureau-onderzoek of literatuurstudie wordt maar zelden aangetroffen bij de verstrekte documenten.

Het kan voorkomen dat er ontwerprapportages uit eerdere fasen ter informatie bij de contractdocumenten worden verstrekt.

De praktijk in Nederland heeft geleerd dat er geen duidelijke lijn is in de manier waarop deze belangrijke gegevens en de daaraan verbonden conclusies worden overgedragen tussen verschillende partijen. Er gaat daarom momenteel veel tijd verloren aan het 'herinterpreteren' van gegevens; bij aanbestedingen is daarbij dan ook nog vaak relatief weinig tijd beschikbaar.

Een samenvattend en overzichtelijk document zoals in de Engelse en Amerikaanse normen voorgeschreven is in Nederland niet bekend. Afgezien van het soort onderzoek

dat plaats vindt, is er daarom ook nog veel te winnen met het op een logische en toegankelijke wijze presenteren van de verzamelde gegevens.

7.4 Conclusie en voorstel

Voorgesteld wordt om bij overdracht van gegevens (en verantwoordelijkheden) van opdrachtgever naar opdrachtnemer in een tenderfase ook in Nederland gebruik te gaan maken van een (samenvattend) geotechnisch interpretatierapport, overeenkomstig de Engels/ Amerikaanse praktijk (zie 7.2).

Een dergelijke rapportage is vooral bedoeld voor die momenten in het ontwerp- en aanbestedingsproces waar gegevens en verantwoordelijkheden aan andere partijen worden overgedragen. Dit kan tussen opdrachtgever en opdrachtnemer zijn, zoals bij een aanbesteding, maar kan ook intern zijn. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de overdracht van gegevens tussen ontwerpteams van voorontwerp naar definitief ontwerp. Het is immers niet altijd zo dat een definitief of uitvoeringsontwerp onmiddellijk op de aanbesteding volgt.

Uit de rapportage moet duidelijk blijken wat er tot dat moment bekend is van de ondergrond, welke risico's zijn gesignaleerd en in hoeverre hier in het grondonderzoek al aandacht aan is besteed.

Deze rapportage zou idealiter uit de volgende onderdelen moeten bestaan:

- Resultaten bureaustudie
- Feitelijke rapportage grondonderzoek incl. digitale gegevens
- Geohydrologische interpretatie (polderpeilen, stijghoogten)
- Geologische interpretatie
- Interpretatie geotechnische ontwerpparameters (incl. statistiek)
- Identificatie geotechnische risico's
- Conclusies eventuele ontwerpberekeningen
- Aanbevelingen m.b.t. vervolgonderzoeken

Voor projecten van kleine omvang kan bovenstaande misschien in 2 A4-tjes worden samengevat, voor grotere en complexere projecten zal de omvang van het document snel toenemen.

Hoofdstuk 8

Bouwrijp maken terreinen

8.1 Inleiding

In heel Nederland worden terreinen bouwrijp gemaakt voor de aanleg van bedrijfs-terreinen en woningontwikkeling. Zeker in de westelijke helft van Nederland speelt het zettingsarm maken van de ondergrond daarbij een belangrijke rol, en moet voor het berekenen van de kosten hiervoor een goed beeld worden verkregen van de te verwachten zettingen tijdens en na aanleg (restzetting).

Het bouwrijp te maken terrein kan maagdelijk polder gebied zijn, een landaanwinning-gebied, een voormalig overslagterrein in een binnenstedelijke omgeving, maar ook het resultaat van de demping van een niet meer gebruikte haven.

De wijze waarop terreinen bouwrijp worden gemaakt kan verschillend zijn. Voor terreinen op het bestaande maaiveld is de gebruikelijke werkwijze voor het bouwrijp maken het gedurende een langere periode voorbelasten (met zand) van het terrein, al dan niet in combinatie met verticale drains. Is de hiervoor benodigde tijdsduur ontoereikend, dan kunnen versnelde consolidatietechnieken (IFCO methode, BeauDrain) worden toegepast. Bij het ontwerp kan er voor worden gekozen het betreffende terrein in z'n geheel bouwrijp te maken (integrale aanpak), dan wel alleen ter plaatse van wegen en overige infrastructuur (partieel bouwrijp maken). Onderstaande tekst heeft vooral betrekking op terreinen die integraal bouwrijp worden gemaakt. Voor partieel bouwrijp maken wordt verwezen naar hoofdstuk 9 "Lijninfra".

Zettingen na de oplevering spelen ook een belangrijke rol in de waterhuishouding van de te ontwikkelen gebieden; door een te grote (verschil)restzetting kan drooglegging en afwatering van het terrein in gevaar komen. Tevens kan door restzettingsverschillen tussen gefundeerde constructies (bruggen, duikers, panden) en omringende grond grote schade aan bijvoorbeeld riolering en wegen ontstaan, en daarmee kunnen de onderhoudskosten snel oplopen.

Hoewel het soms grote oppervlakken betreft, is een belangrijk verschil met lijninfrawerken dat er op een relatief klein gebied wordt gewerkt, zodat de kans op verschillende grondprofielen binnen het project in principe kleiner is. Toch is het niet ongebruikelijk dat er binnen de grenzen van het bouwrijp te maken terrein belangrijke verschillen in grondopbouw optreden. De aanwezigheid van een (oude) watergang of stroomgeul kan tot forse zettingverschillen leiden.

Voorzieningen als funderingen van loodsen, duikers en gebouwen zijn in dit kader buiten beschouwing gebleven. Voor het ontwerp van deze objecten zullen vooral sonderingen benodigd zijn; hiervoor wordt ook verwezen naar hoofdstuk 10 "Kleine kunstwerken".

8.2 Normen en richtlijnen

NEN 9997-1:2011 bevat handreikingen voor het uitvoeren van een grondonderzoek. Daarnaast is veel informatie over het uitvoeren van een grondonderzoek in alle fasen terug te vinden in de British Standard 5930 en CUR-publicatie 162 [8].

8.3 Risico-inventarisatie

Om gericht en efficiënt grondonderzoek uit te kunnen voeren moet bekend zijn welke risico's of onzekerheden men door middel van het grondonderzoek probeert te reduceren. De systematiek om te komen tot deze risico's of onzekerheden is vermeld in hoofdstuk 3.

Bij het bouwrijp maken van een terrein bestaat een aantal risico's die in hoge mate generiek zijn, ongeacht de projectlocatie. Aan deze risico's zal dus in elk grondonderzoek voor een lijninfrastructuur aandacht moeten worden besteed. In onderstaande tabellen zijn deze risico's samengevat en wordt de link naar grondonderzoek gelegd.

Opgemerkt wordt dat de vermelde risico's voor een belangrijk deel overeenkomen met die voor de aanleg van een aardenbaan.

Tabel 8.1 Bouwrijpmaken van terreinen : Geotechnische risico's en gevolgen.

Geotechnisch risico	Gevolg
Eindzettingsgedrag ondergrond verkeerd ingeschat	Restzettingseis wordt niet gehaald, waardoor schade ontstaat aan kabels en leidingen en t.p.v. overgangen naar gebouwen, onvoldoende afwatering van de verharding, onvoldoende drooglegging, aanvullend onderhoud
Zettingssnelheid verkeerd ingeschat	Zettingen wijken af tijdens de consolidatieperiode waardoor overschrijding / onderschrijding van benodigde zandvolumes optreedt Kostenoverschrijding werk dan wel te hoge aanbiedings-som Vertraging in werk door te traag verlopende zettingen, latere oplevering, aanvullende maatregelen benodigd
Stabiliteitsverlies randen ophoging	Schade aan constructies, blijvend sterkteverlies ondergrond, tijdsverlies
Omgevingsbeïnvloeding; deformaties van omliggende constructies	Schade aan omliggende bebouwing of kabels/leidingen
Verstoringsen door trillingen en geluid	Omgevingschade, claims, vertraging

Tabel 8.2 Bouwrijp maken van terreinen: Relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Eindzettingsgedrag ondergrond verkeerd ingeschat	Laagindeling anders dan geschematiseerd	Sonderingen en boringen
	Samendrukkingsparameters onjuist	Boringen met samendrukkingsproeven op alle relevante lagen
Zettingssnelheid verkeerd ingeschat	Onjuiste inschatting consolidatiecoëfficiënt	Boringen met samendrukkingsproeven
	Vertikale drains functioneren onvoldoende	Boringen met samendrukkingsproeven
Stabiliteitsverlies randen ophoging	Aangebrachte ophoging is in zichzelf instabiel	Boringen met laboratoriumproeven aan te brengen ophoogmateriaal
	Ondergrond onvoldoende stabiel door te hoge wateroverspanningen	Boringen met samendrukkingsproeven
	Ondergrond onvoldoende stabiel door onjuiste sterkteparameters ondergrond	Boringen met triaxiaalproeven
Omgevingsbeïnvloeding; deformaties van omliggende constructies	Ondergrond vervormt teveel door onjuiste stijfheidsparameters van de ondergrond	Boringen met triaxiaalproeven en/of samendrukkingsproeven
Verstorings door trillingen en geluid	Trillingen (bv door heien) veroorzaken naverdichting in los gepakt zand of via zandlagen worden trillingen doorgegeven aan naburige bebouwing met schade en overlast tot gevolg	Sonderingen



Inmeten van rioolputten zonder af-dalen van mensen, i.v.m. risico van gevaarlijke gassen.

Hoofdstuk 9

Lijninfra

9.1 Inleiding

Dit hoofdstuk betreft aardebanen ten behoeve van bijvoorbeeld spoorbanen en wegen. Hierbij is uitgegaan van het ontwerp van een niet op palen gefundeerde aardebaan. Bijzondere wegconstructies zoals bijvoorbeeld een onderheid paal-matrassysteem en gewapende grondconstructies worden hier niet behandeld. Voor eventueel in de aardebaan opgenomen kleine kunstwerken wordt verwezen naar hoofdstuk 10.

Het aanleggen van spoor- of weginfra wijkt af van de andere typen constructies door het vaak grote, maar vooral langgerekte bouwterrein. Dit betekent dat de kans op variaties in grondprofiel (heterogeniteit) voor lijninfra-werken bovengemiddeld groot is. Hieraan dient in alle fasen van het onderzoek dan ook bijzondere aandacht te worden besteed.

Wegconstructies en spoorwegen zijn gevoelig voor zettingsverschillen; het minimaliseren van (rest)zettingsverschillen is dan ook vrijwel altijd een belangrijk geotechnisch ontwerp-aspect voor lijninfrawerken. Vooral aansluitingen op gefundeerde kunstwerken of bestaande wegconstructies en kruisingen met de in de ondergrond aanwezige infrastructuur (kabels en drukleidingen) leveren een groot risico op met betrekking tot zettingsverschillen, met alle daaruit voortvloeiende gevolgen voor de bovenbouw.

Zettingen na oplevering ("restzettingen") zijn vrijwel altijd een belangrijk ontwerpcriterium voor lijninfrawerken. Dit impliceert dat inzicht in het ontlast-herbelastgedrag van de aanwezige grondsoorten van belang is, en dat de uit te voeren proeven hierop moeten zijn afgestemd.

Daarnaast is de stabiliteit van de baanlichamen, evenals de beïnvloeding van de directe omgeving en de daarin aanwezige infrastructuur, een belangrijk risico dat vroegtijdig moet worden onderkend.

In dit hoofdstuk wordt voor de verschillende detailfasen in een lijninfra-ontwerp aangegeven welke soorten grond- en labonderzoek gewenst zijn. Zo mogelijk wordt ook een minimaal aanbevolen hoeveelheid grondonderzoek aangegeven, al kunnen dit nooit meer dan zeer algemene richtlijnen zijn.

9.2 Normen en richtlijnen

NEN 9997-1:2011 bevat handreikingen voor het uitvoeren van een grondonderzoek. Daarnaast is veel informatie over het uitvoeren van een grondonderzoek in alle fasen terug te vinden in de British Standard 5930. Hier wordt ook regelmatig naar verwezen.



9.3 Risico-inventarisatie

Om gericht en efficiënt grondonderzoek uit te kunnen voeren moet bekend zijn welke risico's of onzekerheden men door middel van het grondonderzoek probeert te reduceren. De systematiek om te komen tot deze risico's of onzekerheden is vermeld in hoofdstuk 3.

Bij de aanleg van een aardebaan bestaat een aantal risico's die in hoge mate generiek zijn, ongeacht de projectlocatie. Aan deze risico's zal dus in elk grondonderzoek voor een lijninfrastructuur aandacht moeten worden besteed. In onderstaande tabellen zijn deze risico's samengevat en wordt de link naar grondonderzoek gelegd.

Tabel 9.1 Aanleggen van aardenbanen: Geotechnische risico's en gevolgen.

Geotechnisch risico	Gevolg
Eindzettingsgedrag ondergrond verkeerd ingeschat	Restzettingseis wordt niet gehaald, waardoor schade ontstaat t.p.v. overgangen, onvoldoende afwatering verharding, onvoldoende drooglegging, aanvullend onderhoud, imagoschade, claims
Zettingssnelheid verkeerd ingeschat	Zettingen wijken af tijdens de consolidatieperiode waardoor overschrijding / onderschrijding benodigde zandvolumes optreedt Kostenoverschrijding werk dan wel te hoge aanbiedingsom Vertraging in werk door te traag verloopende zettingen, latere oplevering, aanvullende maatregelen benodigd
Stabiliteitsverlies randen ophoging	Schade aan constructies, blijvend sterkteverlies ondergrond, tijdsverlies
Omgevingsbeïnvloeding; deformaties van omliggende constructies	Schade aan omliggende bebouwing of kabels / leidingen, imagoschade
Onvoldoende verdichting zandbaan	Verhardingsschade, spoorvorming in definitieve wegconstructie
Verstoren door trillingen en geluid	Omgevingsschade, claims, vertraging, imagoschade

De oorzaak van deze risico's wordt hier gezocht in een onjuist beeld van de ondergrond, hetzij in de opbouw ervan, hetzij in de aangenomen eigenschappen voor het ontwerp.

Natuurlijk kunnen er ook allerlei risico's op andere gebieden (kabels en leidingen, milieu, vergunningen, grondverwerving, vervuiling, etc.) van toepassing zijn, die raken aan het geotechnisch ontwerp. Uiteindelijk zijn de gevolgen hiervan voor de geotechniek meestal te herleiden naar een van de bovenstaande geotechnische ontwerprisico's.

Deze risico's, veroorzaakt door bijvoorbeeld onzorgvuldigheden tijdens uitvoering van een project of onnauwkeurigheden in de gehanteerde rekenmodellen, zijn niet af te dekken door grondonderzoek en worden in deze handleiding daarom niet behandeld. Voor het afdekken van uitvoeringsrisico's zal een goed kwaliteitssysteem bij opdrachtgever en aannemers noodzakelijk zijn (zie b.v. Systems Engineering).

Tabel 9.2 Aanleggen van aardebanen: Relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Eindzettingsgedrag ondergrond verkeerd ingeschat	Laagindeling anders dan geschematiseerd	Sonderingen en boringen
	Samendrukkingsparameters onjuist	Boringen met samendrukkingsproeven op alle relevante lagen
Zettingssnelheid verkeerd ingeschat	Onjuiste inschatting consolidatiecoëfficiënt	Boringen met samendrukkingsproeven
	Verticale drains functioneren onvoldoende	Boringen met samendrukkingsproeven
Stabiliteitsverlies randen ophoging	Aangebrachte ophoging is in zichzelf instabiel	Boringen met laboratoriumproeven aan te brengen ophoogmateriaal
	Ondergrond onvoldoende stabiel door te hoge wateroverspanningen	Boringen met samendrukkingsproeven
	Ondergrond onvoldoende stabiel door onjuiste sterkteparameters ondergrond	Boringen met triaxiaalproeven
Omgevingsbeïnvloeding; deformaties van omliggende constructies	Ondergrond vervormt teveel door onjuiste stijfheidsparameters van de ondergrond	Boringen met triaxiaalproeven en/of samendrukkingsproeven
Onvoldoende verdichting zandbaan	Verdichting van dunne zandlagen boven een klei/veen-pakket levert minder verdichtingsresultaat (geen 'klankbodem')	Sonderingen en/of boringen
Verstorings door trillingen en geluid	Trillingen (bv door heien) veroorzaken naverdichting in los gepakt zand of via zandlagen worden trillingen doorgegeven aan naburige bebouwing met schade en overlast tot gevolg	Sonderingen

Bovenstaande risico's gelden vooral voor die delen van Nederland waar zich slappe lagen in de ondergrond bevinden. Zo kan het zijn dat in bepaalde delen van Nederland (vooral het oosten) op basis van een literatuurstudie deze risico's al in een vroege fase van het project kunnen worden uitgesloten. Toch moet er bij het plannen van grondonderzoek voor het ontwerp van een aardebaan altijd bij deze mogelijke risico's zijn stilgestaan.

Daarom wordt in bijlage 2 per fase aangegeven welke gegevens noodzakelijk zijn om de belangrijkste geotechnische risico's op het project te beheersen en zo mogelijk door middel van aanvullend onderzoek te verkleinen.

Hoofdstuk 10

Kleine kunstwerken

10.1 Inleiding

Kleine kunstwerken kunnen als afzonderlijk project worden uitgevoerd, maar meestal vormen ze een onderdeel van een groter lijninfra project. Bij het opzetten van het grondonderzoek moet hiermee rekening worden gehouden.

Kleine kunstwerken werden bij veel infraprojecten in het verleden als minder belangrijk behandeld. Mogelijk komt dit door de naam en de functie die deze kunstwerken moeten vervullen, maar waarschijnlijk veel meer doordat de gegevens van deze onderdelen pas vaak in een vrij laat stadium van een project bekend zijn. Bij grote infrastructurele projecten werd in het verleden de nadruk op de grote kunstwerken gelegd en werd pas later in het ontwerpproces aandacht besteed aan de kleine kunstwerken. Deze aanpak heeft een aantal keer tot problemen geleid, met name doordat pas in een laat stadium van het project men 'er achter kwam dat er ook nog een duikertje moest worden aangelegd'. Met name het engineeringstraject (en het uitvoeren van goed grondonderzoek) zorgde dan direct voor vertraging en een kostenoverschrijding. Vandaar dat het belang van een gedegen en zo mogelijk 'scherp' ontwerp ook voor de kleine kunstwerken inmiddels wordt onderkend.

De exacte scheiding tussen (grote) kunstwerken en kleine kunstwerken is moeilijk te geven, maar bij de term kleine kunstwerken moet gedacht worden aan de volgende typen constructies:

- kleine bruggen, in parken en woonwijken
- kleine sluizen
- kleine poldergemalen
- kleine (eco)duikers
- kleine zinkers
- overkluizingen
- kleine wildtunnels
- (doorpersingen van) kabels en leidingen
- etc.

Veelal hebben kleine kunstwerken te maken met het beheer van de waterhuishouding, ontsluiting van fietsroutes, kabel- en leidingtracés of de instandhouding van de ecologische diversiteit van het gebied. Ook bij doorkruising van een gebied moeten dieren gemakkelijk van A naar B kunnen bewegen.

Bij lijninfra maken kleine kunstwerken veelal deel uit van een groot en langgerekt weg- of spoortracé. Kleine kunstwerken zijn in deze gevallen schakels in het totale tracé en spelen daarmee een belangrijke rol bij de langsvlakheid van de weg of het spoor.

Kleine kunstwerken worden vaak aangelegd in combinatie met grotere infrastructurele werken. Voor lijninfra met langgerekte grondconstructies als de aardbanen geldt een bovengemiddelde kans op variaties in laagopbouw en grondeigenschappen. Op de locatie

van een klein kunstwerk binnen een groter infrastructureel project geldt in principe dezelfde bovengemiddelde kans op variaties.

Vaak worden kleine kunstwerken juist gebouwd bij kruisingen van de infra met natuurlijke watergangen, ter plaatse waarvan de bodemgesteldheid door de ontstaansgeschiedenis, sterk kan afwijken (geulopvullingen).

Vanuit de constructie worden randvoorwaarden opgelegd voor de maximale rotatie in langs- en dwarsrichting, welke vertaald worden naar (rest)zettingseisen en rijcomforteisen. Wanneer de kunstwerken op palen (of op staal met grondverbetering) worden gefundeerd, vormen deze vanwege de geringe zettingen een 'hard punt' in de weg of het spoor. Ter plaatse van de overgang van aardebaan naar het kunstwerk kan men dan te maken krijgen met vrij abrupte zettingsverschillen die het rijcomfort in ernstige mate verminderen.

Een veel voorkomend probleem is dat kleine kunstwerken worden aangelegd c.q. worden uitgebreid bij verbredingen van bestaande aardebanen. Te grote zettingsverschillen in dwarsrichting kunnen dan ook een probleem zijn. Deze situatie kan zich voordoen als een kunstwerk zowel in een (bestaand) deel van de weg of het spoor op zowel een goed voorbelaste en minder samendrukbare ondergrond ligt als op maagdelijke grond voor de nieuwe weg of het spoor.

Bij bovengenoemde uitbreidingen van bijvoorbeeld kruisende duikers is het van groot belang om ook informatie in te winnen over de toestand van het bestaande deel c.q. de grondslag bij de bestaande constructie. In het voorbeeld van een uitbreiding van een bestaande duiker onder een te verbreden snelweg gelden de volgende aandachtspunten:

- het jaar van aanleg bestaande aardebaan / kunstwerk;
- de aanlegmethode bestaande aardebaan (opgespoten, per as aangebracht, grond verbeterd);
- funderingswijze van het bestaande kunstwerk (palen of staal);
- de toegepaste ophoogmaterialen (zand of alternatieve materialen);
- de gemeten zettingen (waar nog beschikbaar);
- de gegevens van de oorspronkelijke en huidige toestand van de ondergrond (oud en nieuw grondonderzoek).

Zettingen en vlakheid na oplevering of ingebruikname van een weg of spoor ("rest-zettingen") zijn altijd een belangrijk ontwerpcriteria voor lijninfrawerken. Kleine kunstwerken kunnen van grote invloed zijn op restzettingen en vlakheid. Dit impliceert dat inzicht in het belasting en herbelasting gedrag van de aanwezige grondsoorten van belang is, en dat de uit te voeren proeven (samendrukking en sterkte) hierop moeten zijn afgestemd.

In dit hoofdstuk wordt voor de verschillende ontwerpfasen voor een klein kunstwerk aangegeven welk grond- en laboratoriumonderzoek gewenst is. Zo mogelijk wordt ook een minimaal aanbevolen hoeveelheid grondonderzoek aangegeven.



10.2 Normen en richtlijnen

Het ontwerp en het grondonderzoek van kunstwerken valt onder het toepassingsgebied van de eurocodes, eventueel aangevuld met specifieke eisen voor bijvoorbeeld sporen:

- NEN-EN 9997-1,
- CUR 2003-7;
- Voorschriften OVS

Deze normen bepalen de hoeveelheid berekeningen, het benodigde grondonderzoek is afhankelijk van de geotechnische categorie waartoe het kunstwerk of onderdeel behoort. Kleine kunstwerken behoren meestal tot Geotechnische Categorie 2. Categorie 3 kan voorkomen als het kunstwerk bijvoorbeeld onderdeel uitmaakt van een hoofdwaterkering.

10.3 Risico inventarisatie

Om gericht en efficiënt grondonderzoek uit te kunnen voeren moet bekend zijn welke risico's of onzekerheden men door middel van het grondonderzoek probeert te reduceren. De systematiek om te komen tot deze risico's of onzekerheden is vermeld in hoofdstuk 3.

Voor de aanleg van een brug of viaduct bestaan een aantal risico's die in hoge mate generiek zijn, ongeacht de projectlocatie. Aan deze risico's zal dus in elk grondonderzoek voor een lijninfrawerk aandacht moeten worden besteed. In onderstaande tabellen zijn deze risico's samengevat en wordt de link naar grondonderzoek gelegd.

Feitelijk zijn de oorzaken en gevolgen van een geotechnisch risico bij een groter kunstwerk, als een brug of viaduct, niet anders dan die bij een klein kunstwerk. Het verschil is dat de zelfde risico's bij kleine kunstwerken vaak niet op tijd worden onderkend.

Ook aspecten met betrekking tot (hulp)constructies als damwanden (afdammen, vleugelwanden e.d.) kunnen bij kleine kunstwerken een geotechnisch risico opleveren. De oorzaak van deze risico's wordt hier gezocht in een onjuist beeld van de ondergrond, hetzij in de laagopbouw, hetzij in de aangenomen grondeigenschappen voor het ontwerp.

Bovenstaande risico's gelden vooral voor die delen van Nederland waar zich slappe lagen in de ondergrond bevinden. In bepaalde delen van Nederland (vooral het oosten) kunnen deze risico's, op basis van een literatuurstudie, al in een vroege fase van het project worden uitgesloten. Toch moet er bij het plannen van grondonderzoek voor het ontwerp van een aardebaan altijd bij deze mogelijke risico's worden stilgestaan.

Daarom wordt in de volgende paragrafen per fase aangegeven welke gegevens noodzakelijk zijn om de belangrijkste geotechnische risico's op het project te beheersen en mogelijk door middel van aanvullend onderzoek te verkleinen. Als het gaat om een klein kunstwerk in combinatie met een lijninfrawerk, is het daar aangegeven onderzoek leidend.

Tabel 10.1 Kleine kunstwerken: geotechnische risico's en gevolgen.

Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Gevolgen
Fundering op palen	Paal draagvermogen (druk of trek) te laag	Kalenders vallen tegen, zakking / verplaatsing / rotatie constructie, bezwijken fundering
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Zakking / rotatie constructie
	Horizontale gronddeformatie te groot	Scheurvorming palen / corrosie wapening, paalbreuk door buigend moment
	Trillingen bij inbrengen palen	Hinder / schade bij belendingen, maaiveldzakking door verdichting van losgepakte zandlagen, stabiliteitsverlies bij taluds door wateroverspanning in cohesieve of minder gepakte zandlagen
Fundering op staal	Draagvermogen te laag	Zakking / verplaatsing / rotatie constructie, bezwijken fundering
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Zakking constructie
Overgang kunstwerk naar aardenbaan	Bij ontwerp overgang constructie onvoldoende rekening gehouden met samendrukbare lagen onder aansluitende aardebaan	Overschrijding maximaal zettingsverschil of langsvlakheidseis bij aansluiting met kunstwerk
	Ophoging nabij paalfundering leidt tot horizontale grondbelasting en buigende momenten in palen	Scheurvorming palen/ corrosie
Grondkerende constructie	Putcorrosie bij stalen damwanden	In de tijd afname van sterkte en stijfheid van het stalen damwandprofiel
	Te grote trillingen bij inbrengen wanden	Hinder/schade bij belendingen, maaiveldzakking door verdichting van losgepakte zandlagen, stabiliteitsverlies bij taluds door wateroverspanning in cohesieve of minder gepakte zandlagen
	Vervorming grondkerende constructie	Extra maaiveldzakking achter grondkerende constructie, extra momenten in palen of gebouwverplaatsing

Tabel 10.2 Kleine kunstwerken: relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Fundering op palen	Draagvermogen te laag	Conusweerstand lokaal ongunstiger, heterogeniteit	Sonderingen in voldoende klein raster
		Aanvangsniveau zandlaag wijkt lokaal af	
		Slappe tussenlagen niet gesignaleerd	
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Lagen die zetting veroorzaken niet onderkend	Sonderingen, tot voldoende diepte uitgevoerd
		Samendrukkings-eigenschappen diepere lagen onvoldoende bekend	Boring(en) en samendrukkingsproeven op diepere lagen
			onderzoek naar zettingsgedrag gebouwen uit de omgeving
	Horizontale gronddeformatie te groot	Grondopbouw wijkt af	Sonderingen en boringen
		Grondlagen slapper dan gedacht	Boringen, triaxiaal- of samendrukkingsproeven

Constructie-onderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Fundering op staal	Draagvermogen te laag	Grondverbetering onder fundering onvoldoende verdicht	Korte controlesonderingen, uitgevoerd na verdichting
		Cohesieve grondlaag onder fundering niet gesignaleerd	Sonderingen en boringen tot voldoende diepte
		Sterkte-eigenschappen grond wijken af	Sonderingen en/of boringen met triaxiaalproeven op de draagkrachtige grond
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Lagen die zetting veroorzaken niet onderkend	Sonderingen, tot voldoende diepte uitgevoerd
		Samendrukkings-eigenschappen diepere lagen onvoldoende bekend	Boring(en) en samendrukkingsproeven op diepere lagen
Overgang kunstwerk naar aardebaan	Zettingsverschillen te groot	Bij ontwerp overgangsconstructie onvoldoende rekening gehouden met samendrukbare lagen onder aansluitende aardebaan	Korte (hand)boringen of sonderingen om de ligging van de bestaande aardebaan vast te stellen, in combinatie met boring(en) en samendrukkingsproeven op diepere lagen
		Ophoging nabij paalfundering leidt tot horizontale grondbelasting en buigende momenten in palen	
Grondkerende constructie	Putcorrosie bij stalen damwanden	Chemisch agressief milieu	Onderzoek grondwater en veenzuren
	Te grote trillingen bij inbrengen wanden	Gevoelige grondconstructies en bebouwing in de omgeving onvoldoende in kaart gebracht	Onderzoek naar omgeving
		Pakkingsdichtheid zandlagen te gering	Sonderingen
	Vervorming grondkerende constructie	Stijfheid grondlagen overschat	Boring(en) met triaxiaalproeven en/of samendrukkingsproeven
		Opbouw van de bestaande aardebaan onvoldoende bekend.	Korte (hand)boringen, in de bermen uit te voeren



Bewaking belendingen bij grondvervormingen d.m.v. inclinometingen, aanleg RandstadRail, Statenweg Rotterdam.

Hoofdstuk 11

Bruggen en viaducten

11.1 Inleiding

Een brug of viaduct maakt vrijwel altijd deel uit van lijninfrastructuur. Dit hoofdstuk moet dan ook in samenhang met hoofdstuk 9 over lijninfrastructuur worden gelezen. Daar waar raakvlakken zijn met dit hoofdstuk zal dit expliciet worden aangegeven.

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de zes vragen uit 3.2.3 omschreven hoe grondonderzoek voor bruggen en viaducten risicogestuurd kan worden opgezet. De opzet van het grondonderzoek (welke methodieken, welke grondparameters en welk grondonderzoek) is per projectfase weergegeven.

Binnen bruggen en viaducten zijn de volgende geotechnische constructies te onderscheiden:

- fundering van pijlers of landhoofden d.m.v. een fundering op palen of een fundering op staal
- grondkerende constructies
- grondconstructies (valt buiten het bestek van dit hoofdstuk).

De fundering van pijlers en landhoofden kenmerkt zich door hoge belastingen op een relatief kleine oppervlakte. Zakkingen en zakkingsverschillen zijn slechts beperkt toelaatbaar. Deze kunstwerken worden daarom (in het westen van het land) meestal op palen gefundeerd. In delen van het land waar veel draagkrachtige zandlagen en vrijwel geen samendrukbare grondlagen voorkomen, of bij een goede voorbelasting van samendrukbare lagen, is een fundering op staal toepasbaar.

Afhankelijk van het ontwerp van de brug kunnen grondkeringen vereist zijn, veelal bij de landhoofden en onderdoorgangen. Te denken is aan damwanden, Terre armée wanden, betonnen wanden, combiwanden, vernagelde wanden, injectiemassief enzovoorts.

Zettingsverschillen tussen de steunpunten van bruggen zijn van belang voor de grootte van momenten en krachten in de bovenbouw. Zettingen van het landhoofd zijn van belang voor de aansluiting met de aardebaan en voor het ontwerp van de overgangsconstructie. Afhankelijk van de omstandigheden zal bij een fundering op staal doorgaans de grootste zetting optreden. Bij een fundering op grondverdringende palen zal de kleinste zetting optreden. Een fundering op grondverwijderende palen of damwanden zal daar tussenin zitten.

De zetting van de aansluitende aardebaan gaat veelal samen met horizontale grondverplaatsingen. Daardoor kunnen de palen onder een landhoofd horizontaal worden belast. Tevens zijn horizontale kopbelastingen mogelijk vanuit de constructie (bijv. remkrachten).



11.2 Normen en richtlijnen

Het ontwerp van pijlers en landhoofden bij bruggen en viaducten valt onder het toepassingsgebied van de NEN 9997-1:2011. Deze norm bepaalt de hoeveelheid berekeningen en benodigd grondonderzoek en is afhankelijk van de geotechnische categorie waartoe de pijler of landhoofd behoort. Pijlers en landhoofden van bruggen en viaducten behoren meestal tot Geotechnische Categorie 2. Een pijler of landhoofd past in de zwaardere Geotechnische Categorie 3 als sprake is van:

- zeer grote of ongewone constructies;
- constructies met abnormale risico's of ongebruikelijke of buitengewoon moeilijke grond- of belastingsgesteldheid;
- constructies in sterk aardbevingsgevoelige gebieden;
- constructies in gebieden met onstabiele ondergrond of met continue bodembewegingen en waarvoor afzonderlijk onderzoek of speciale maatregelen nodig zijn.

Voor GC3-constructies zal meer en vaak ook specifiekere grondonderzoek vereist zijn. Dit is situatieafhankelijk en daarom niet in algemene aanbevelingen samen te vatten.

11.3 Risico inventarisatie

Om gericht en efficiënt grondonderzoek uit te kunnen voeren moet bekend zijn welke risico's of onzekerheden men door middel van het grondonderzoek probeert te reduceren. De systematiek om te komen tot deze risico's of onzekerheden is vermeld in hoofdstuk 3.

Voor de aanleg van een brug of viaduct bestaat een aantal risico's die in hoge mate generiek zijn, ongeacht de projectlocatie. Aan deze risico's zal dus in elk grondonderzoek voor een lijninfrastructuur aandacht moeten worden besteed. In onderstaande tabellen zijn deze risico's samengevat en wordt de link naar grondonderzoek gelegd.

Tabel 11.1 Bruggen en Viaducten: geotechnische risico's en gevolgen.

Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Gevolgen
Fundering op palen	Paal draagvermogen (druk of trek) te laag	Kalenders vallen tegen, zakking / verplaatsing / rotatie constructie, bezwijken fundering
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Zakking / rotatie constructie
	Horizontale gronddeformatie te groot	Scheurvorming palen / corrosie wapening, paalbreuk door buigend moment
	Trillingen bij inbrengen palen	Hinder / schade bij belendingen, maaiveldzakking door verdichting van losgepakte zandlagen, stabiliteitsverlies bij taluds door wateroverspanning in cohesieve of minder gepakte zandlagen
	Draagvermogen te hoog	Te hoge kalenders, hoog percentage paalbreuk tijdens aanbrengen
Fundering op staal	Draagvermogen te laag	Zakking / verplaatsing / rotatie constructie, bezwijken fundering
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Zakking constructie
Overgang kunstwerk naar aardebaan	Bij ontwerp overgangsconstructie onvoldoende rekening gehouden met samen-drukbare lagen onder aansluitende aardebaan	Overschrijding maximaal zettingsverschil of langsvlakheidseis bij aansluiting met kunstwerk
	Ophoging nabij paalfundering leidt tot horizontale grondbelasting en buigende momenten in palen	Scheurvorming palen/ corrosie
Grondkerende constructie	Putcorrosie bij stalen damwanden	In de tijd afname van sterkte en stijfheid van het stalen damwandprofiel
	Te grote trillingen bij inbrengen wanden	Hinder/schade bij belendingen, maaiveldzakking door verdichting van losgepakte zandlagen, stabiliteitsverlies bij taluds door wateroverspanning in cohesieve of minder gepakte zandlagen
	Vervorming grondkerende constructie	Extra maaiveldzakking achter grondkerende constructie, extra momenten in palen of gebouwverplaatsing



Tabel 11.2 Bruggen en Viaducten: relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Constructie-onderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Fundering op palen	Draagvermogen te laag	Conusweerstand lokaal ongunstiger, heterogeniteit Aanvangsniveau zandlaag wijkt lokaal af Slappe tussenlagen niet gesignaleerd	Sonderingen in voldoende klein raster
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Lagen die zetting veroorzaken niet onderkend	Sonderingen, tot voldoende diepte uitgevoerd
		Samendrukkings-eigenschappen diepere lagen onvoldoende bekend	Boring(en) en samendrukkingsproeven op diepere lagen Onderzoek naar zettingsgedrag gebouwen uit de omgeving
	Horizontale gronddeformatie te groot	Grondopbouw wijkt af Grondlagen slapper dan gedacht	Sonderingen en boringen Boringen, triaxiaal- of samendrukkingsproeven
Fundering op staal	Draagvermogen te laag	Grondverbetering onder fundering onvoldoende verdicht	Korte controlesonderingen, uitgevoerd na verdichting
		Cohesieve grondlaag onder fundering niet gesignaleerd	Sonderingen en boringen tot voldoende diepte
Sterkte eigenschappen grond wijken af		Sonderingen en/of boringen met triaxiaalproeven op de draagkrachtige grond	
Overgang kunstwerk naar aardenbaan	Zettingsverschillen te groot	Lagen die zetting veroorzaken niet onderkend	Sonderingen, tot voldoende diepte uitgevoerd
		Bij ontwerp overgangsconstructie onvoldoende rekening gehouden met samendrukbare lagen onder aansluitende aardebaan	Boring(en) en samendrukkingsproeven op diepere lagen
Grondkerende constructie	Putcorrosie bij stalen damwanden	Ophoging nabij paalfundering leidt tot horizontale grondbelasting en buigende momenten in palen	Sonderingen en boringen
	Te grote trillingen bij inbrengen wanden	Chemisch agressief milieu	Onderzoek grondwater en veenzuren
	Vervorming grondkerende constructie	Gevoelige grondconstructies en bebouwing in de omgeving onvoldoende in kaart gebracht	Pakkingsdichtheid zandlagen te gering
Stijfheid grondlagen overschat			Boring(en) met triaxiaalproeven en/of samendrukkingsproeven

Hoofdstuk 12

Overlaten

12.1 Inleiding

Een eenvoudige stuw wordt wel overlaat genoemd, een overlaat heeft echter een vaste hoogte. Een stuw is een waterbouwkundig kunstwerk dat als doel heeft om water in een loop, beek of rivier op te stuwen. Het woord overlaat wordt gebruikt voor stuwen die ervoor zorgen dat het waterpeil niet boven een bepaalde hoogte komt. Zo kan het peil binnen bepaalde grenzen worden gehouden. Het water zal in geval van nood, bij overschrijding van de hoogte van de overlaat, via de overlaat naar het waterbergingsgebied stromen.

In de meest eenvoudige vorm is een overlaat niet meer dan een verhoging in de bodem, bijvoorbeeld een massief stenen drempel. De afmetingen kunnen sterk variëren, afhankelijk van de locatie, een overlaat kan in smalle watergangen (met een breedte van enkele meters) geplaatst worden maar ook in bredere rivieren (tientallen meters).

De bovenbouw bestaat veelal uit een betonconstructie, de onderbouw uit een schermwand eventueel in combinatie met een paalfundering daar waar zettingsgevoelige lagen voorkomen.

Een eenvoudige variant van een overlaat wordt uitgevoerd met (houten) damplanken en is op staal gefundeerd, de damplanken worden op kleef aangebracht of tot in de draagkrachtige grondlaag doorgezet. De damplanken dienen tevens als kwelscherm.

12.2 Normen en richtlijnen

Bij het uitvoeren van de berekeningen is NEN 9997-1:2011 van toepassing. Voor het bepalen van de rekenwaarde van de belastingen wordt gebruik gemaakt van NEN-EN 1990 en NEN-EN 1991. Voor de bepaling van de grondparameters en overige grondmechanische gegevens wordt gebruik gemaakt van NEN 9997-1:2011. Voor een fundering op staal is dezelfde NEN 9997-1 van toepassing bij het berekenen van de weerstand van de ondergrond en het bepalen van de zakking. NEN 3651 geeft aanwijzingen voor het controleren van piping voor kwelschemen (methode van Bligh-Lane). Meer uitgebreide methodes zijn opgenomen in TAW/ENW publicaties.

12.3 Risico-inventarisatie

In onderstaande tabel wordt aangegeven welke geotechnische bezwijkmechanismen en ongewenste gebeurtenissen, die voortvloeien uit het ontwerp op kunnen treden, en welke risico's deze met zich meebrengen.



Tabel 12.1 Overlaten: geotechnische risico's en gevolgen.

Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Gevolgen
Fundering op palen	Paal draagvermogen (druk of trek) te laag	Kalenders vallen tegen, zakking / verplaatsing / rotatie constructie, bezwijken fundering
	Horizontale gronddeformatie te groot (niet-gelijkzijdige belasting)	Rotatie constructie
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Zakking / rotatie constructie
	Trillingen bij inbrengen palen	Hinder/schade bij belendingen, maaiveldzakking door verdichting van losgepakte zandlagen, stabiliteitsverlies bij taluds door wateroverspanning in cohesieve of minder gepakte zandlagen
	Draagvermogen te hoog	Te hoge kalenders, hoog percentage paalbreuk tijdens aanbrengen
Fundering op damwanden	Draagvermogen te laag	Zakking / verplaatsing / rotatie constructie, bezwijken fundering
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Zakking / rotatie constructie
	Trillingen bij inbrengen damwandplanken	Hinder/schade bij belendingen, maaiveldzakking door verdichting van losgepakte zandlagen, stabiliteitsverlies bij taluds door wateroverspanning in cohesieve of minder gepakte zandlagen
	Draagvermogen te hoog	Te grote weerstand bij het inbrengen van de damwandplanken, uit het slot lopen met als gevolg verminderde functionaliteit kwelscherm
Fundering op staal	Zakking uit grondlagen onderschat	Zakking/rotatie constructie, verminderde functionaliteit
	Onvoldoende stabiliteit (draagvermogen, macro-instabiliteit, kanteleevenwicht, horizontaal evenwicht)	Zakking/verplaatsing / rotatie constructie, bezwijken constructie
	Opdrijven/opbarsten	Scheuren van een afdekkende laag die is opgedreven met als gevolg vervorming bezwijken
Algemeen	Onderloopsheid / piping	Ontgronding vanwege waterstandverschillen waarna zand wegspoelt en er 'pijpen' ontstaan (met uiteindelijk verlies van stabiliteit)
	Achterloopsheid	Uitspoelen van grond door vorming kanaaltjes of holle ruimten aan de zijkant van kunstwerk met als gevolg verminderde functionaliteit

Tabel 12.2 Overlaten: Relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Constructie-onderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Fundering op palen	Draagvermogen te laag	Conusweerstand lokaal ongunstiger, heterogeniteit	Voldoende aantal en diepte sonderingen
		Aanvangsniveau zandlaag wijkt lokaal af (bijv oude geul)	
		Slappe tussenlagen niet gesignaleerd	
	Horizontale gronddeformatie te groot	Ongelijkzijdige grondbelasting uit bijv. talud	Sonderingen en boringen (triaxiaalproeven)
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Lagen die zetting veroorzaken niet onderkend Samendrukkingseigenschappen diepere lagen onvoldoende bekend	Sonderingen tot voldoende diepte, boringen (samendrukkingsproeven)
Trillingen bij inbrengen palen	Draagvermogen te hoog	Gevoelige grondconstructies en bebouwing / leidingen in de omgeving onvoldoende in kaart gebracht	Onderzoek naar omgeving (fundatie belendingen, kabels leidingen)
		Pakkingsdichtheid zandlagen gering	Sonderingen en eventueel boringen
Fundering op damwanden	Draagvermogen te laag	Draagkracht ondergrond overschat, negatieve kleef onderschat	(Voldoende aantal en diepte) sonderingen
		Lokale afwijking in conusweerstand sonderingen	(Voldoende aantal en diepte) sonderingen
	Trillingen bij het inbrengen damwandplanken	Gevoelige grondconstructies en bebouwing in de omgeving onvoldoende in kaart gebracht	Onderzoek naar omgeving
		Pakkingsdichtheid zandlagen te gering	Sonderingen
	Draagvermogen te hoog	Conusweerstand onderschat	(Voldoende aantal en diepte) sonderingen
Fundering op staal	Zakking uit grondlagen onderschat	Lagen die zetting veroorzaken niet onderkend	Sonderingen (voldoende aantal en diepte)
		Samendrukkingseigenschappen diepere lagen onvoldoende bekend	Boringen (samendrukkingsproeven)
	Onvoldoende stabiliteit (draagvermogen, macro instabiliteit, kanteleevenwicht, horizontaal evenwicht)	Samendrukkings- en sterkte-eigenschappen grond wijken af	Sonderingen en boringen (samendrukkingsproeven en triaxiaalproeven)
	Opdrijven	Opwaartse waterdruk	Voldoende lange termijn gegevens grondwaterstanden
Algemeen	Onderloopsheid, achterloopsheid, piping	Grondwaterstandsverschillen met uitspoeling deeltjes	Sonderingen en boringen (korrelgrootteverdeling, pakkingsdichtheid) Peilbuizen (+waarnemen), falling head tests (doorlatendheid) lange termijn metingen waterstanden

Hoofdstuk 13

Sluizen

13.1 Inleiding

Sluisconstructies worden in Nederland toegepast in rivieren en kanalen ter beheersing van waterstanden en afvoeren.

Een sluis bestaat in principe uit een langwerpige (betonnen) bakvormige constructie met aan beide einden een stelsel van deuren. De afmetingen kunnen sterk variëren afhankelijk van de gebruikers, dus van zeevaart tot kleine pleziervaart. In de meeste gevallen is een sluis op palen gefundeerd.

De aanleg van de sluizen vindt plaats binnen een bouwkuip of in een open ontgraving.

Voor de bouwwijze in een bouwkuip komen dan een aantal mogelijkheden in beeld, te weten:

- definitieve damwandkuip, meestal met onderwaterbeton en trekpalen;
- tijdelijke damwandkuip met bemaling;
- damwand tot in waterafsluitende laag, polderconstructie.

Bij de bouw in een open ontgraving wordt onder een talud een ontgraving uitgevoerd. Daarbij zal een bemaling noodzakelijk zijn.

De keuze van de bouwwijze is afhankelijk van een groot aantal factoren, zoals grondopbouw, beschikbare ruimte, omgevingsinvloeden, etc.

In de gebruiksfase van de sluis is de waterstand in de sluis kolk variabel, zodat ook de belasting op de fundering variabel is. Bij inspectie wordt een kolk geheel leeg gezet waardoor een grote trekbelasting op de fundering optreedt. Bij volledige vulling zal de fundering mogelijk op druk worden belast.

Door de waterstandsverschillen is de weerstand van de grondlagen tegen waterstroming van belang. Als maatregel worden meestal stalen damwanden in de vorm van een kraagconstructie toegepast tot voldoende diepte onder de vloer en voldoende afstand van de wand aangebracht.

Een ander belangrijk aspect is de variatie van de gronddruk op de sluiswanden ten gevolge van waterdruk- en temperatureffecten.

13.2 Normen en richtlijnen

Het ontwerp van sluizen valt onder het toepassingsgebied van de NEN 9997-1:2011. De bepalingen in deze norm bepalen de hoeveelheid berekeningen en benodigd grondonderzoek wat afhankelijk is van de geotechnische categorie waartoe de constructie behoort. De meeste constructies vallen in Geotechnische Categorie 2 (GC2). Tot GC3 behoren constructies die één of meerdere van de volgende eigenschappen bezitten:

- zeer grote of ongewone constructies;
- constructies met abnormale risico's of ongebruikelijke of buitengewoon moeilijke grond- of belastingsgesteldheid;
- constructies in sterk aardbevingsgevoelige gebieden; constructies in gebieden met onstabiele ondergrond of met continue bodembewegingen en waarvoor afzonderlijk onderzoek of speciale maatregelen nodig zijn.

13.3 Risico-inventarisatie

De risico's die optreden zijn onder te verdelen in risico's in de bouwfase en de gebruiksfase. Voorliggend hoofdstuk beperkt zich tot de gebruiksfase, voor de bouwfase wordt verwezen naar hoofdstuk 16 "Bouwputten".

Onderstaand wordt aangegeven welke geotechnische bezwijkmechanismen en ongewenste gebeurtenissen, die voortvloeien uit het ontwerp op kunnen treden, en welke risico's dat met zich mee brengt.

Tabel 13.1 Sluizen: geotechnische risico's en gevolgen.

Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Gevolgen
Sluis	Sluiswand bezwijkt	Constructie bezwijkt
	Fundering bezwijkt	Opdrijven constructie
	Onder- of achterloopsheid	Ongewenste waterstromingen, erosie
Remmingwerk	Palen remmingwerk bezwijken	Schade aan remmingwerk

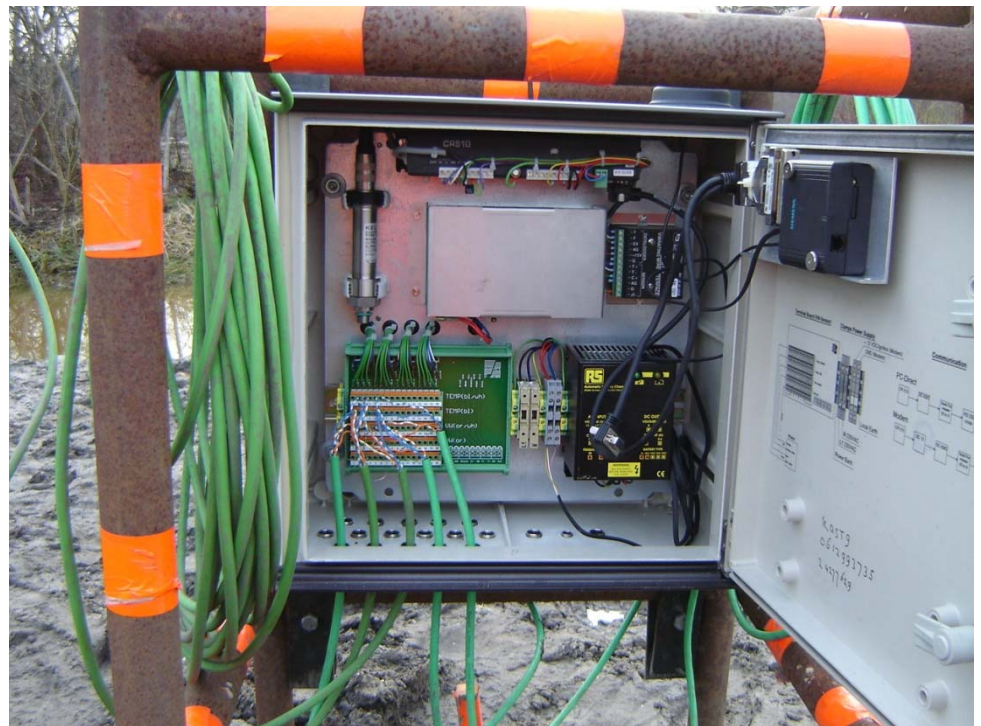
Uit de bovenstaande risico inventarisatie wordt het benodigde grondonderzoek bepaald, waarmee deze risico's worden onderzocht. In onderstaande tabellen wordt voor de bouwfase en de gebruiksfase per geotechnisch risico het benodigd onderzoek aangegeven.

Tabel 13.2a Sluizen, Bouwfase: Relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Type bouwput	Bezwijkmechanisme	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Bouwfase bouwput	Damwand bezwijkt	Damwand te slap	Sonderingen, boringen, triaxiaalproeven
	Damwand bezwijkt	Damwand te kort	Sonderingen, boringen, triaxiaalproeven
	Verankering bezwijkt	Ankerlichamen te kort	Sonderingen
	Damwand niet stabiel	Afstand ankerlichamen tot damwand te gering	Sonderingen, boringen, triaxiaalproeven
	Opbarsten bouwput	Geen verticaal evenwicht	Boringen, classificatie grondlagen
	Piping	Te hoog waterdrukverschil voor- en achterzijde damwand	Sonderingen, boringen, classificatie grondlagen, peilbuizen (+waarnemen)
	Trillingsniveau intrillen	Hoge grondweerstand bij inbrengen damwanden	Sonderingen, peilbuizen (+waarnemen)
Bouwfase open ontgraving	Stabiliteitsverlies taluds	Taluds te steil ontgraven	Sonderingen, boringen, triaxiaalproeven
	Opbarsten bouwput	Geen verticaal evenwicht	Sonderingen, boringen, classificatie grondlagen, peilbuizen (+waarnemen)
	Bemalingsdebiet te hoog	Onjuiste inschatting doorlatendheid of stijghoogte	Peilbuizen (+waarnemen), boringen, korrelverdelingen

Tabel 13.3b Sluizen, gebruiksfase: relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Bezwijkmechanisme	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Sluiswand bezwijkt	Te hoge gronddruk door belastingwisseling en/of temperatuur	Sonderingen, boringen, triaxiaalproeven
Fundering bezwijkt	Onvoldoende draagvermogen trekpalen, te hoge grondwaterdruk	Sonderingen (draagvermogen palen), peilbuizen (+registratie stijghoogte)
Onder- of achterloopsheid	Onvoldoend lange remweg waterdruk	Sonderingen
Palen remmingwerk bezwijken	Te hoge belasting verticaal of horizontaal	Sonderingen



Controle wateroverspanning bij ophoging.

Hoofdstuk 14

Tunnels en aquaducten

14.1 Inleiding

Een tunnel of aquaduct is één van de typen kunstwerken om de kruising tussen auto-spoor- en waterwegen mogelijk te maken. Een tunnel of aquaduct is vaak onderdeel van een groter infrastructureel werk.

Het grondonderzoek wordt afgestemd op de bijbehorende grondmechanische en geohydrologische faalmechanismen die onder andere een rol spelen bij het ontwerp van een tunnel of aquaduct.

De faalmechanismen in de ondergrond worden gekenmerkt door de sterkte, stijfheid, waterdoorlatendheid en laagopbouw van de ondergrond en zijn gerelateerd aan de diepteligging en de lengte van de tunnel of aquaduct, de te kruisen infrastructuur (autoweg, spoorweg, waterweg of gebied), de bouwmethoden en de gestelde eisen.

Ten aanzien van het geotechnisch ontwerp van een tunnel of aquaduct zijn kennis over de gronddrukken op de tunnel en de draagkracht en vervorming van de fundering van belang. In de bouwfase zijn ook verschillende geotechnische en geohydrologische aspecten van belang. Afhankelijk van de bouwmethode valt te denken aan stabiliteit en vervormingen van de bouwputbegrenzingsen door middel van taluds, damwanden en diepwanden [14]. Ook omgevingsbeïnvloeding vanuit de ondergrond door boormethoden en bemalingen is een belangrijk aspect.

Het grondonderzoek in dit hoofdstuk geldt met name voor tunnels en aquaducten in Nederland. Voor tunnels en aquaducten in het buitenland zijn ook andere bouwmethoden en grondonderzoek van toepassing.

Voor de opzet van risico gestuurd grondonderzoek voor de ontwerp- en bouwfase is eerst een duidelijke omschrijving van het begrip tunnel en aquaduct gegeven. Vervolgens is ook kort stilgestaan bij de verschillende bouwmethoden en relevante normen en richtlijnen.

14.1.1 Begrippen tunnel en aquaduct

Een tunnel kenmerkt zich door een relatief lang, gesloten gedeelte. Ook wel een omsloten weg- of spoorconstructie genoemd. Het gesloten gedeelte ligt meestal, maar niet per definitie, onder maaiveld.

Een tunnel kan ook worden toegepast als de ligging op maaiveld niet gewenst is. Bijvoorbeeld bij de kruisingen van recreatie- of natuurgebieden.

Dezelfde functie wordt in principe ook vervuld door een aquaduct en een onderdoorgang. Het omsloten gedeelte van een aquaduct en onderdoorgang is echter kort in vergelijking met een tunnel. Een onderdoorgang valt in de categorie viaducten in hoofdstuk 11 "Bruggen en Viaducten".

In het kort zijn de verschillende typen kunstwerken van de familie tunnels aan de hand van SATO [24 t/m 26] en ARTO [10] op een rijtje gezet.

- a. Lange gesloten kunstwerken; tunnels
- b. Korte gesloten kunstwerken; aquaducten en onderdoorgangen
- c. Gedeeltelijk gesloten kunstwerken
- d. Zijwaarts gesloten kunstwerken

14.1.2 Lange gesloten kunstwerken

Met een lang gesloten kunstwerk wordt feitelijk een tunnel bedoeld. Ook in dit hoofdstuk een tunnel genoemd. Onderscheid kan worden gemaakt in een tunnel onder een watergang (riviertunnel) of onder maaiveld (landtunnel). Een tunnel kan ook geheel of gedeeltelijk boven maaiveld liggen. Zie figuur 14.1 t/m 14.3.

Fig. 14.1
Een tunnel onder een watergang.
(Bron: SATO)

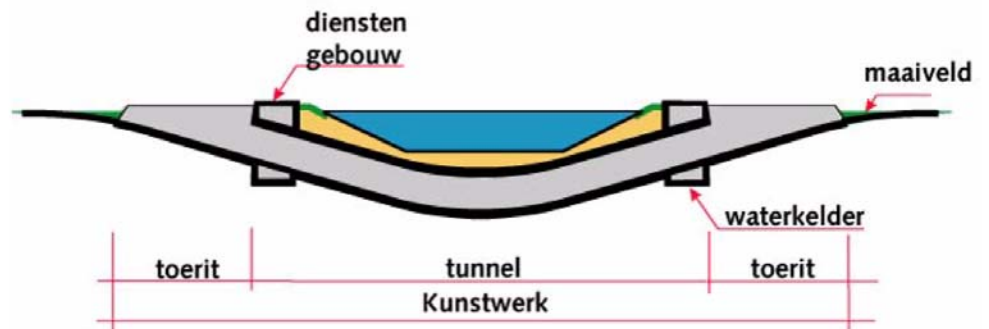


Fig. 14.2
Een tunnel onder maaiveld.
(Bron: SATO)

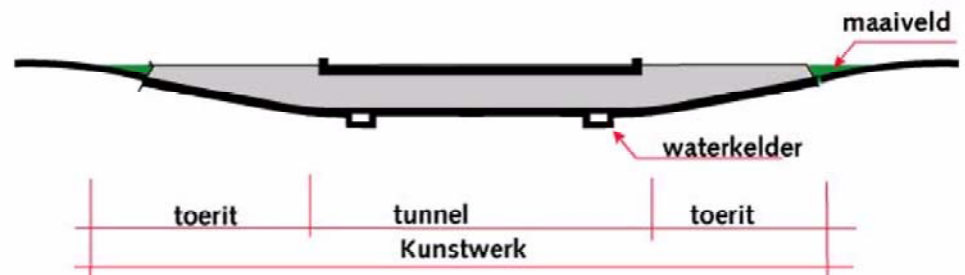
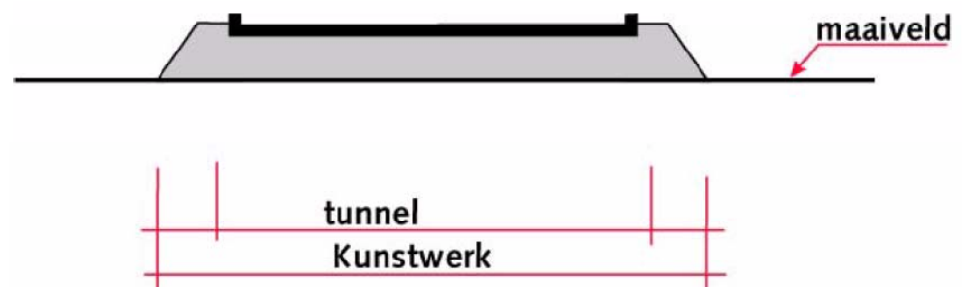


Fig. 14.3
Een tunnel boven maaiveld.
(Bron: SATO)



Voor de onder een watergang of maaiveld gelegen tunnels zijn toeritten nodig. De toeritten maken de aansluitingen naar het maaiveld mogelijk.

De toeritten liggen vaak geheel of gedeeltelijk onder de grondwaterstand, waardoor als gevolg van opdrijven een fundering met ankerpalen nodig is. Het gedeelte van de fundering van een toerit boven de grondwaterstand wordt voorzien van drukpalen.

Bij het gesloten gedeelte van een boortunnel is vaak voldoende gronddekking aanwezig om opdrijven te voorkomen. Bij zinktunnels kan de "zooldruk" zeer beperkt zijn en kunnen extra ballastplaten op de tunnel nodig zijn. Voor het gesloten deel is meestal sprake van een fundering op staal.

Voor de opslag van hemel- en lekwater worden waterkelders toegepast.

Bij grotere tunnels zijn ook voorzieningen aanwezig voor installaties en bediening.

Het omsloten gedeelte kan een ronde of rechthoekige vorm hebben. Ook gedeeltelijk ronde doorsneden komen (in het buitenland) voor. Bijvoorbeeld de N.A.T.M methode (New Austrian Tunnelling Method).

14.1.3 Korte gesloten kunstwerken

Korte gesloten kunstwerken zijn aquaducten en onderdoorgangen. Met een aquaduct wordt de kruising tussen een waterweg en een dieper gelegen auto- of spoorweg gerealiseerd. Een onderdoorgang is in principe hetzelfde, hierbij wordt echter alleen een kruising tussen autowegen en spoorwegen onderling mogelijk gemaakt. Zie figuur 14.4 en 14.5.

Fig. 14.4
Een aquaduct.
(Bron: SATO)

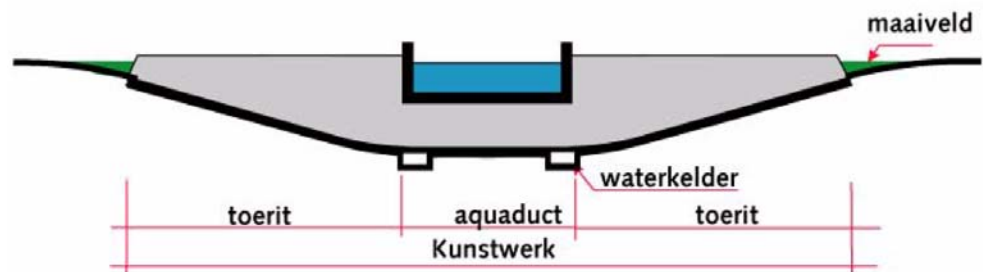
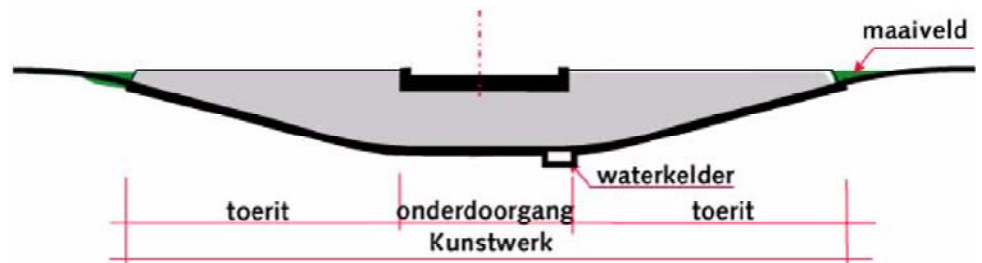


Fig. 14.5
Een onderdoorgang.
(Bron: SATO)



Voor aquaducten en onderdoorgangen zijn toeritten nodig, deze maken de aansluitingen naar het maaiveld mogelijk.

Voor de opslag van hemel- en lekwater zijn waterkelders aanwezig.

Een onderdoorgang valt in de categorie viaducten en is beschreven in hoofdstuk 11.

14.1.4 Gedeeltelijk gesloten kunstwerken

Dit betreft rechthoekige kunstwerken voor auto- en spoorwegen. De ligging kan onder of op maaiveld zijn. Bij ligging onder maaiveld kan de dakconstructie gedeeltelijk open zijn (roosters) waardoor lichtinval mogelijk is. Bij maaiveldligging is de weg of spoorweg afgeschermd van de omgeving. Zie figuur 14.6 en 14.7.

Fig. 14.6
Overkapte bakconstructie.
(Bron: SATO)

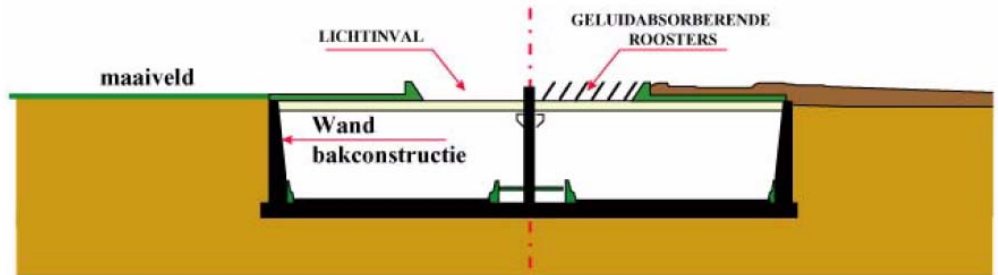
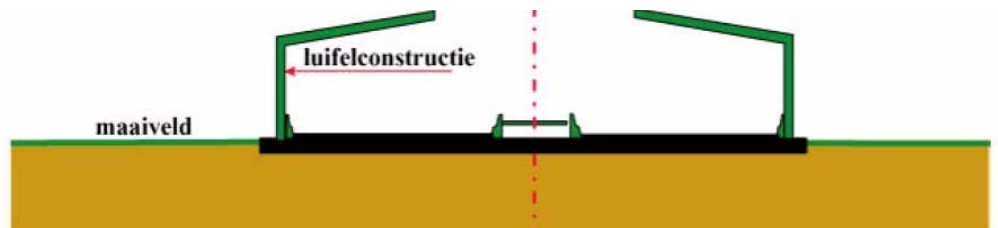


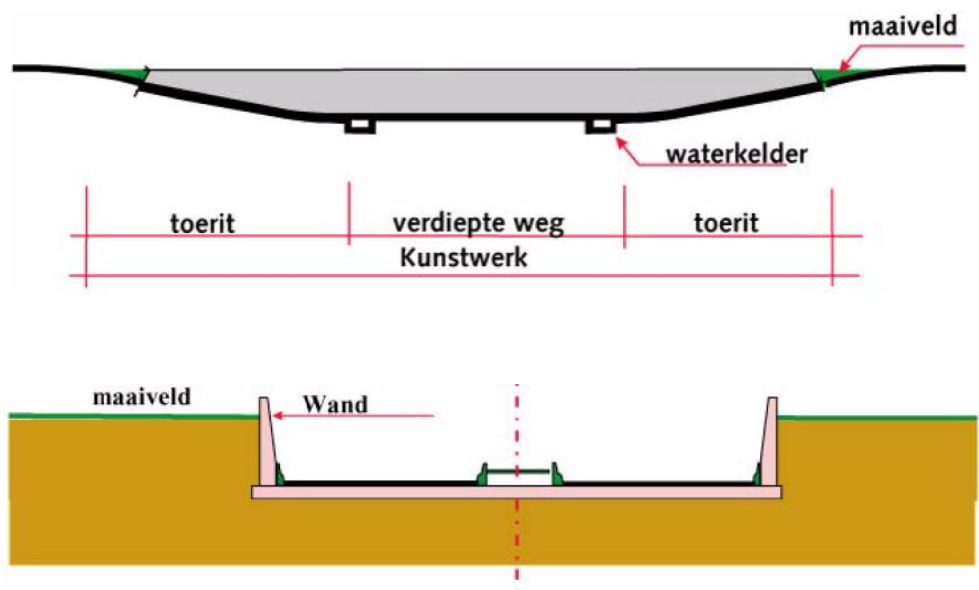
Fig. 14.7
Auto- of spoorweg met luifel
Constructie.
(Bron: SATO)



14.1.5 Zijwaarts gesloten kunstwerken

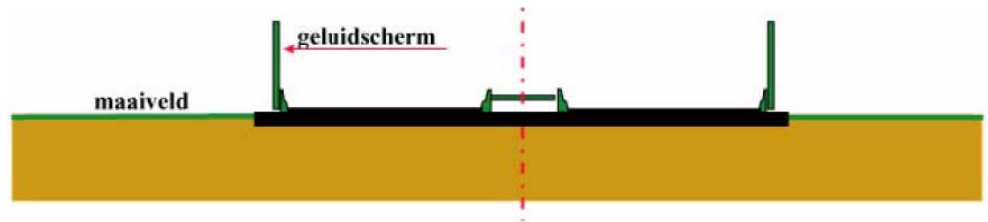
Het gaat hierbij om rechthoekige kunstwerken voor wegen of spoorwegen, gelegen beneden of op maaiveld. Zie figuur 14.8 en 14.9.

Fig. 14.8
Verdiepte weg en verdiepte bak.
(Bron: SATO)



Voor de verdiepte weg en bak zijn toeritten nodig, deze maken de aansluitingen naar het maaiveld mogelijk. Voor de opslag van hemel- en lekwater zijn bij de verdiepte weg en bak waterkelders aanwezig.

Fig. 14.9
Auto- of spoorweg met geluid-
schermen.
(Bron: SATO)



14.1.6 Bouwmethoden tunnels

Op basis van de voorgaande omschrijving gaat het bij een tunnel om een kunstwerk zoals beschreven in 14.1.2, gelegen onder een watergang (riviertunnel) of maaiveld (land-tunnel). De tunnel is te verdelen in de volgende onderdelen:

- een lang gesloten gedeelte;
- een overgangsgedeelte
- de toeritten

In het overgangsgedeelte tussen het gesloten deel en de toeritten bevinden zich meestal het dienstengebouw en de water/pompkelders. Het overgangsgedeelte ligt bij de kruising van een watergang ter plaatse van de oevers, een kade of waterkering.

De bouwmethode van het gesloten gedeelte is van invloed op de bouwmethoden van de overgangsgedeelten en de toeritten. Het overgangsgedeelte en de toeritten zijn gefundeerd op palen of staal.

In tabel 14.1 is op basis van ARTO een overzicht gegeven van de meest gangbare bouwmethoden van de verschillende onderdelen, nodig in relatie tot grondonderzoek voor de bouwfase.

Tabel 14.1 Overzicht van de meest gangbare tunnelbouwmethoden.

	Bouwmethoden					
	Afzinken	Boren	In situ methoden			
			Bouwput met taluds	Bouwput met damwanden	Polder methode ¹⁾	Caisson methode
			Wel of geen bemaling	Bemaling of o.w. beton		
Gesloten gedeelte onder water	x	x	-	x	-	-
Gesloten gedeelte onder land	-	x	x	x	-	x
Overgangsgedeelte onder water	-	-	-	x	-	x
Overgangsgedeelte onder land	-	-	x	x	x	x
Toeritten	-	-	x	x	x	x

¹⁾Zie ook hoofdstuk 15 "Polderconstructies".

Over het algemeen spreken de bouwmethoden voor zich. De polder- en caissonmethode zijn minder bekend.

Bij de poldermethode wordt een waterdichte laag in de vorm van een kuip of bak gerealiseerd, waarbinnen de grondwaterstand en het maaiveld kan worden verlaagd. De



waterdichte laag kan van natuurlijke oorsprong zijn (b.v. vaste klei) of kunstmatig in de vorm van een folieconstructie. Hoofdstuk 15 is specifiek aan dit type constructie gewijd.

De caissonmethode berust op het pneumatisch afzinken met het duikerklok principe. Het te maken bouwwerk wordt in eerste instantie boven de grond gebouwd. Rondom onder het bouwwerk wordt een snijrand opgenomen die met de vloer van het bouwwerk de werkkamer vormt. Het geheel van bouwwerk met werkkamer wordt caisson genoemd. Als de caisson gereed is, wordt in de werkkamer de grond onder de caisson verwijderd waardoor deze gaat zakken.

14.1.7 Bouwmethoden aquaducten

Op basis van de voorgaande omschrijving gaat het bij een aquaduct om een kunstwerk van het type zoals beschreven in 14.1.3, gelegen onder een watergang (rivier, boezem, e.d.). Een aquaduct is te verdelen in de volgende onderdelen:

- een kort gesloten gedeelte;
- een overgangsgedeelte;
- de toeritten.

Voor de bouw van een aquaduct komen, behalve de caissonmethode, in principe de in tabel 14.1 genoemde "in-situ methoden" in aanmerking.

De verschillende onderdelen van een aquaduct zijn gefundeerd op staal of palen. De keuze van de fundering is afhankelijk van de bodemgesteldheid en grondwaterstanden. Bij het gesloten gedeelte van een aquaduct is vaak voldoende gewicht aanwezig om opdrijven te voorkomen. Voor het gesloten deel is meestal sprake van een fundering op staal of palen.

De toeritten liggen vaak geheel of gedeeltelijk onder de grondwaterstand, waardoor als gevolg van opdrijven een fundering met ankerpalen nodig is. Het gedeelte van de fundering van een toerit boven de grondwaterstand wordt voorzien van drukpalen of wordt op staal gefundeerd. Bij een ondergrond van klei en/of veen kan voor een fundering op staal een grondverbetering nodig zijn.

De landhoofden van de te kruisen watergang worden gefundeerd op palen of (combi/diep)wanden.

Ook bij de bouw van een aquaduct kan gebruik worden gemaakt van het polderprincipe. Bij toepassing van een grond- en waterkerende constructie (bijvoorbeeld een damwand of een diepwand) hoeft de kleilaag of folielaag niet helemaal doorgezet te worden tot boven de grondwaterstand maar wordt aan de damwand of diepwand bevestigd. Dit kan dan tot ruimtewinst leiden.

14.2 Normen en richtlijnen

Het geotechnisch ontwerp van een tunnel valt onder het toepassingsgebied van de Eurocode 7, NEN-normen, ontwerpvoorschriften (OVS) voor het spoor (ProRail) en richtlijnen ROK. (Rijkswaterstaat). In geval van tegenstrijdigheden en/of leemtes in de normen prevaleren de ROBK en de OVS.

In concreto zijn de volgende normen en richtlijnen van belang:

- NEN-EN 1990:2002
- NEN-EN 1991:2007
- NEN 9997-1:2011
- NEN-EN-ISO 22477-1:2006
- CUR-rapport 2003-7 [2]
- ROK + aanvullingen en wijzigingen tunnels en aquaducten
- OVS000030
- CUR-Aanbeveling 77 [15]
- CUR-rapport 236 [16]

De geotechnische categorie (GC) conform NEN 9997-1:2011 bepaalt de intensiteit van het grondonderzoek en de berekeningen voor het ontwerp en de bouwphase. Tunnels vallen conform NEN 9997-1, ROK en OVS in GC3. Deze indeling geeft aan dat bij het ontwerp van een tunnel strenge eisen gelden en verhoogde risico's en bijzondere situaties van toepassing kunnen zijn. Voor hulpconstructies kan eventueel GC2 worden aangehouden.

14.2.1 Risico-inventarisatie

Om gericht en efficiënt grondonderzoek uit te kunnen voeren moet bekend zijn welke risico's of onzekerheden men door middel van het grondonderzoek probeert te reduceren. De systematiek om te komen tot deze risico's of onzekerheden is vermeld in hoofdstuk 3 "Opzet van risicogestuurd grondonderzoek".

Voor de opzet van risicogestuurd grondonderzoek voor een tunnel of aquaduct zijn faalmechanismen van de relevante geotechnische constructies als onderdeel van de tunnel of aquaduct van belang. Deze onderdelen zullen per project verschillen.

De faalmechanismen zijn gekenmerkt door de sterkte en stijfheid van de ondergrond en zijn gerelateerd aan de diepteligging en de lengte van de tunnel of aquaduct, de te kruisen infrastructuur (autoweg, spoorweg, waterweg of gebied), de bouwmethoden en de gestelde eisen.

Voor een uitvoerige beschrijving van een risico-inventarisatie bij bouwputten wordt verwezen naar hoofdstuk 16 "Bouwputten".

Voor de risico's die spelen bij een polderconstructie met afdichting door folie of met kleilagen wordt verwezen naar het hoofdstuk 15 "Polderconstructies".

Ten aanzien van het geotechnisch ontwerp van een tunnel of aquaduct, opgebouwd uit de verschillende geotechnische constructieonderdelen, is kennis over de volgende faalmechanismen / aspecten van belang:

Tunnel

- gronddrukken op tunnelwanden en dak/lining;
- gronddrukken bij het boorfront van een TBM en diepwanden;
- zettingen in de omgeving door grondontspanning als gevolg van boren met een TBM.



Tunnel en aquaduct

- draagkracht bij drukbelasting (op palen 4D/8D en op staal Prandtl) en vervorming (stijfheid) van de ondergrond bij funderingen op palen en staal;
- draagkracht en vervormingen bij trekbelasting op palen;
- taludstabiliteit (diep glijvlak) van een open bouwput en een zinksleuf (zettingsvloeiingen);
- verticale stabiliteit open bouwput, polderconstructie (opbarsten) en bouwkuip (piping, grondbreuk);
- horizontale stabiliteit (diep glijvlak, Kranz, draagkracht ankers) en vervormingen damwanden;
- zettingen in de omgeving door spanningsbemalingen.

De van toepassing zijnde faalmechanismen verschillen per onderdeel en bouwmethode. Voor elk project zal moeten worden geïnventariseerd welk(e)

- faalmechanismen van toepassing zijn;
- rekenmodellen moeten worden gebruikt;
- specifieke typen grondonderzoek en grondparameters nodig is om de berekeningen met voldoende nauwkeurigheid uit te voeren.

Voor de aanleg van een tunnel of aquaduct bestaat een aantal risico's die in hoge mate generiek zijn, ongeacht de projectlocatie, tunnelonderdeel en bouwmethode. Aan deze risico's zal dus in elk grondonderzoek voor een tunnel of aquaduct aandacht moeten worden besteed. In tabel 14.2 zijn deze risico's samengevat en in tabel 14.3 wordt de link naar grondonderzoek gelegd.

Tabel 14.2 Tunnels en Aquaducten: geotechnische risico's en gevolgen.

Constructie-onderdeel	Geotechnisch risico	Gevolgen
Tunnelwand – dak of -lining	Gronddrukken en stijfheid te hoog	Te zware ontwerp tunneldoorsnede
	Gronddrukken en stijfheid te laag	Te licht ontwerp tunneldoorsnede
Boorfront	Gronddrukken bij het front te hoog	Mud-drukken te hoog
	Gronddrukken bij het front te laag	Mud-drukken te laag
	Sterkte te boren grondsoorten te laag	Lagere boorsnelheid
	Bijmengsels en stenen niet verwacht	Vertraging boorproces en hoge slijtage boorkop
	Zakking van omgeving	Schade aan gebouwen, woningen en infrastructuur
Fundering op palen	Draagkrachtige zand is minder vast gepakt dan geschat	Kalenders vallen tegen, zakking / verplaatsing / rotatie constructie, draagvermogen te laag, bezwijken fundering
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Zakking / rotatie constructie
	Horizontale gronddeformatie te groot	Scheurvorming palen / corrosie wapening, paalbreuk door buigend moment
	Heittrillingen	Hinder / schade bij belendingen, maaiveldzakking door verdichting van losgepakte zandlagen, stabiliteitsverlies bij taluds door wateroverspanning in cohesieve of minder gepakte zandlagen
	Draagkrachtige zand is vaster gepakt dan geschat	Te hoge kalenders, hoog percentage paalbreuk tijdens aanbrengen, zwaar heiwerk
	Onvoldoende kwaliteit paalschacht	Bleeding, welvorming
Fundering op staal	Draagkrachtige zand is minder vast gepakt en/of cohesieve (tussen) laag is slapper	zakking / verplaatsing / rotatie constructie, te laag draagvermogen, bezwijken fundering
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Te grote (verschil) zakkingen
Grondkerende constructie	Putcorrosie bij stalen damwanden	In de tijd afname van sterkte en stijfheid van het stalen damwandprofiel
	Te grote trillingen bij inbrengen wanden	Hinder/schade bij belendingen, maaiveldzakking door verdichting van losgepakte zandlagen, stabiliteitsverlies bij taluds door wateroverspanning in cohesieve of minder gepakte zandlagen
	Vervorming grondkerende constructie te groot	Extra maaiveldzakking achter grondkerende constructie, extra momenten in palen of gebouwverplaatsing
	Dynamische grondweerstand groter dan geschat	Niet op diepte te krijgen, zwaar tril/heiwerk, schade aan damwanden Te korte wand en extra stempels Uit het slot lopen
	Zwel	Trekbelasting op palen / damwand Belasting op o.w. beton vloer Hogere ligging ontgravingsniveau
	Verweking van zand	Verlies aan horizontale stabiliteit
Zinksleuf	Te steil ontwerptalud in zand	Niet te maken in de praktijk, bezwijken door macro instabiliteit en zettingsvloeiing /verweking
Open bouwput	Te steil ontwerptalud	Bezwijken door macro instabiliteit
	Ontgraving te diep	Grondbreuk/opbarsten bouwputbodem

Tabel 14.3 Tunnels en aquaducten: relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Tunnelwand -dak of -lining	Gronddrukken te hoog	Gewicht grondsoorten te hoog ingeschat	Boringen uitvoeren en volumieke gewichten bepalen
	Gronddrukken te laag	Gewicht grondsoorten te laag ingeschat	Boringen uitvoeren en volumieke gewichten bepalen
Boorfront	Gronddrukken bij het front te hoog	Onvoldoende volumieke gewichten bekend	Classificatie met bepaling volumieke gewichten
	Gronddrukken bij het front te laag	Onvoldoende volumieke gewichten bekend	Classificatie met bepaling volumieke gewichten
	Bijmengsels en stenen niet verwacht	Onvoldoende boringen en classificaties, geologisch vooronderzoek	Boringen, classificaties en geologisch vooronderzoek, kaarten, archief e.d.
	Zakking van omgeving	Ontspanning van bovenliggende grond, spleet tussen grond en lining	Boringen, classificatie, samendrukkings- en triaxiaalproeven, CPM-proeven
Fundering op palen	Draagkrachtige zand is minder vast gepakt dan geschat en draagvermogen te laag	Conusweerstand lokaal ongunstiger, heterogeniteit	Sonderingen in voldoende klein raster
		Aanvangsniveau zandlaag wijkt lokaal af	
		Slappe tussenlagen niet gesignaleerd	
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Lagen die zetting veroorzaken niet onderkend	Sonderingen, tot voldoende diepte uitgevoerd
		Samendrukkings-eigenschappen diepere lagen onvoldoende bekend	Boring(en) en samendrukkingsproeven op diepere lagen Onderzoek naar zettingsgedrag gebouwen uit de omgeving
	Horizontale gronddeformatie te groot	Grondopbouw wijkt af Grondlagen slapper dan gedacht	Sonderingen en boringen Boringen, triaxiaal- of samendrukkingsproeven met ontlast en herbelast trap
	Heitruilingen	Verdichting zandlagen wateroverspanningen	Sonderingen uitvoeren
			Peilbuizen en/of Waterspanningsmeters plaatsen en waarnemen
Draagkrachtige zand is vaster gepakt dan geschat	Verdichtingseffect door te dicht palenveld	Sonderingen tijdens uitvoering heiwerkzaamheden	
	Grondopbouw wijkt lokaal af		
Onvoldoende kwaliteit paalschacht	Slechte samenstelling beton / uitvoering ¹⁾ Onvoldoende deskundig toezicht		
Fundering op staal	Draagkrachtige zand is minder vast gepakt en/of cohesieve (tussen) laag is slapper	Grondverbetering / onderspoellaag onder fundering onvoldoende verdicht	Korte controlesonderingen, uitvoeren na verdichting of aanbrengen onderspoellaag
		Cohesieve grondlaag onder fundering niet gesignaleerd	Sonderingen en boringen tot voldoende diepte
		Sterkte eigenschappen grond wijken af	Sonderingen en/of boringen met triaxiaalproeven op de draagkrachtige grond
	zakking uit diepere lagen onderschat	Dikte cohesieve lagen die zetting veroorzaken niet onderkend	Sonderingen en boringen, tot voldoende diepte uitvoeren
		Samendrukkings-eigenschappen diepere lagen onvoldoende bekend	Boring(en) en samendrukkingsproeven op diepere lagen

Constructie-onderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Grondkerende constructie	Putcorrosie bij stalen damwanden	Chemisch agressief milieu	Onderzoek grondwater en veenzuren
	Te grote trillingen bij inbrengen wanden	Pakkingsdichtheid zandlagen te laag ingeschat Energieniveau te hoog om op diepte te komen Gevoelige grondconstructies en bebouwing in de omgeving onvoldoende in kaart gebracht	Sonderingen O-metingen, bouwkundige opnames
	Vervorming grondkerende constructie te groot	Stijfheid grondlagen overschat	Boring(en) met triaxiaalproeven en/of samendrukkingsproeven, CPM proeven
	Dynamische grondweerstand hoger dan geschat	Weerstand zandlagen onderschat	Sonderingen
	Zwel	Ontgraven diepe bouwput	Boringen, volumiek gewicht en watergehalte, samendrukkingsproeven met ontlast en herbelast trap
	Verweking van zand	Trillingen, verwekingsgevoelig zand, voldoende dikte verwekingsgevoelig zand	Sonderingen (dichtheid in-situ), boringen, (aangepaste) triaxiaalproeven met bepaling relatieve, minimale en maximale en kritieke dichtheid, korrelverdeling en waterdoorlatendheid
Zinksleuf	Te steil ontwerptalud in zand	Niet voldoende of geen informatie over de pakking en sterkte van zand	Classificatie (volumiek gewicht), triaxiaalproeven (kritieke dichtheid) en sonderingen (schatting in-situ relatieve dichtheid)
Open bouwput	Te steil ontwerptalud	Niet voldoende of geen informatie over de grondsoort, het gewicht en de sterkte van de grondsoorten	Boringen met bepaling volumieke gewichten en watergehaltes, triaxiaalproeven
	Ontgraving te diep	Niet voldoende of geen informatie over de grondsoort en het gewicht	Boringen met bepaling volumieke gewichten en watergehaltes

¹⁾ Dit geotechnische risico is afhankelijk van de kwaliteit van de uitvoering en betontechnologische uitgangspunten of een combinatie hiervan. Feitelijk kan dit risico niet met grondonderzoek worden beheerst. Een goed middel om het risico te kunnen beperken is de inzet van deskundig bouwtoezicht. Zie ook CUR-Aanbeveling 114 "Toezicht op de realisatie van paalfunderingen" [9].

Hoofdstuk 15

Polderconstructies

15.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op polders, die bijvoorbeeld nodig zijn voor de aanleg van aquaducten en toeritten voor tunnels. Dit hoofdstuk zoomt hierbij specifiek in op het maken van de waterafdichtende laag die nodig is voor de kunstmatige polder en de (omgevings)risico's die hieruit voortvloeien. Voor de grondkeringen die nodig zijn bij bepaalde typen polders wordt verwezen naar het hoofdstuk "Bouwputten".

Voor het ontwerp van de kunstmatige polderconstructie is kennis over de grondopbouw en de geohydrologie ter plaatse van groot belang om een goede inschatting te maken van de faalmechanismen en de risico's die daaruit voort kunnen vloeien. Zowel de eindfase als de bouwphase moeten in deze beschouwing worden betrokken. Daarnaast moeten de omgevingsrisico's die voortkomen uit ontgravingen en bemalingen worden meegenomen.

Door het verschil in (grond)waterstand buiten en binnen de polder ontstaat een waterdrukverschil aan weerskanten van de afsluitende laag. Om het drukverschil te compenseren moet voldoende ballast op de waterafsluitende laag aanwezig zijn.

De benodigde waterafdichtende laag kan kunstmatig worden aangelegd door middel van een folie, of een injectielaag. Ook kan een van nature aanwezige ondoorlatende laag worden gebruikt als onderafdichting. Een voorbeeld hiervan is een kleilaag of een (kei)leemlaag, of een aantal van deze lagen. In dit hoofdstuk wordt nader ingezoomd op volgende bouwwijzen.

1. Folieconstructie in den natte aangebracht
2. Folieconstructie in den droge aangebracht
3. Waterremmende laag van natuurlijke oorsprong
4. Kleilaag van kunstmatige oorsprong
5. Injectie
6. U-polder / Damwandpolder

Het is denkbaar dat polders op andere manieren worden gerealiseerd, bijvoorbeeld uit een combinatie van bovenstaande methoden. De risico's die dan een rol zullen spelen kunnen dan ook een combinatie zijn van de risico's behorend bij bovenstaande bouwwijzen. Het spreekt voor zich dat het grondonderzoek daar dan ook op afgestemd moet worden.

Bij toepassing van een grond- en waterkerende constructie (bijvoorbeeld een damwand of een diepwand) wordt de afsluitende laag niet doorgezet tot boven de grondwaterstand, en wordt de horizontale waterafsluiting van de polder verzorgd door een wand. Dit kan dan tot ruimtewinst leiden. Deze grond- en waterkerende constructies worden echter niet in dit hoofdstuk behandeld, hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 14.

15.1.1 Folieconstructie in den natte aangebracht

De folie wordt in banen gefabriceerd. Deze banen worden aan elkaar gelast en opgevouwen ten behoeve van het afzinken. Het cunet wordt vervolgens ontgraven met behulp van graafmachines. Wanneer het cunet diep genoeg is kunnen ook cutterzuigers worden ingezet. De stabiliteit van het onderwatertalud is afhankelijk van de grondslag ter plaatse. In zandlagen stelt het talud zich in op ca. 1:3 à 1:4, in klei of veenlagen is het talud ongeveer twee maal zo flauw.

De bodem van het cunet wordt vervolgens opgeschoond, door slib weg te zuigen en een laag schoon zand aan te brengen. Vervolgens wordt de folie afgezonden en met een kielspit verankerd. De aanvulling binnen de folie moet van dusdanige kwaliteit zijn dat nazettingen en draagkracht aan de gestelde eisen voldoen.

Figuur 15.1 toont een voorbeeld van een folie die in den natte wordt aangebracht.

Fig. 15.1
Folie voor aquaduct Wâldwei
voorafgaand aan afzinken.
Foto: Genap BV.



15.1.2 Folieconstructie in den droge aangebracht

De folie wordt in banen gefabriceerd en op de projectlocatie aangeleverd. Indien nodig wordt de bemalingsvergunning aangevraagd bij het bevoegd gezag. De proceduretijd hiervan bedraagt 6 tot 9 maanden. Onderdeel van het aanvragen van deze vergunning is het in beeld brengen van de omgevingsinvloed van de bemaling. Na installatie van het bemalingssysteem wordt in den droge het cunet gegraven. Afhankelijk van de bodemgesteldheid wordt een taludhelling aangehouden van ca. 1:1,5. Het foliepakket wordt op de bodem van het cunet neergelegd en aan elkaar gelast. De folie wordt bovenaan de taluds verzekerd door middel van een kielspit. De aanvulling wordt vervolgens op de folie aangebracht. Deze moet van voldoende kwaliteit zijn zodat nazettingen en draagkracht aan de gestelde eisen voldoen.

15.1.3 Waterremmende laag van natuurlijke oorsprong

Een in de ondergrond aanwezige grondlaag kan, als deze voldoende waterremmendheid bezit, als onderafdichting van een kunstmatige polder dienen. Een voorbeeld van een dergelijke laag is een kleilaag, keileemlaag of een leemlaag. De combinatie van door-

latendheid en laagdikte tezamen moet voldoende waterremmendheid opleveren. Naast waterremmendheid moet ook de diepte van de laag zodanig zijn dat er voldoende gewicht op de laag aanwezig is om de omhoog gerichte waterdruk met de vereiste veiligheid te balanceren. De afdichting tegen horizontale toestroom van grondwater wordt met een waterkerende constructie gewaarborgd, bijvoorbeeld een damwand of een diepwand. Het aanbrengen van deze wand mag geen lekwegen veroorzaken door de kleilaag. Eerst wordt de damwand of diepwand aangebracht. Vervolgens wordt een bemaling aangezet binnen de polder, waarmee het water wordt verlaagd tot onder het ontgravingsniveau. Daarna kan de polder worden ontgraven.

15.1.4 Injectie

Wanneer geen ondoorlatende grondlagen aanwezig zijn kan het aantrekkelijk zijn om een ondoorlatende grondlaag te creëren door middel van injectie. Binnen een vooraf aangebrachte grond en waterkerende wand worden injectieslangen in een fijn raster op diepte gebracht middels lansen of een damwandplank. Nadat de injectieslangen op diepte zijn gebracht wordt door deze slangen injectievloeistof in de bodem gebracht. Hierbij wordt het grondwater uit de poriën verdrongen door het injectiemiddel. Tijdens het injecteren wordt de druk en het ingebrachte volume gemeten. De injectielichamen dienen elkaar voldoende te overlappen waardoor een ondoorlatende laag in de bodem ontstaat. De vereiste diepte van de injectielaag is afhankelijk van de opwaartse waterdruk onder, en het gewicht van de grondlagen boven de injectielaag.

15.1.5 U-polder

Bij een U-polder wordt een folie in u-vorm aangebracht waardoor het zowel de horizontale als de verticale waterafsluiting van de polder vormt. In het kort wordt dit als volgt gerealiseerd: Na het aanbrengen van tijdelijke grondkerende wanden wordt op enige afstand daarvan een verticale steunwand aangebracht. De folie wordt vervolgens tegen de steunwanden en de bouwputbodem afgezonden, bijvoorbeeld met behulp van drijvers of vanaf een ponton. Nadat de folie is afgezonden en aanligt tegen de bodem en de verticale steunwanden, wordt de bouwput binnen de folie aangevuld en de put drooggezet. Binnen de polder worden vervolgens keerwanden aangebracht en wordt de grond tussen de keerwanden en de verticale steunwand aangevuld. Tenslotte worden de tijdelijke wanden getrokken en is de polder gereed.

15.2 Normen en richtlijnen

Het geotechnisch ontwerp van een kunstmatige polderconstructies valt onder het toepassingsgebied van de volgende normen en richtlijnen:

- NEN 9997-1:2011 Geotechniek
- NEN-EN 1997-2:2007 (Eurocode 7)
- CUR-rapport 2003-7 Bepaling geotechnische parameters [2]
- CUR-rapport 221 Handboek folieconstructies [10]

Kunstmatige polders worden conform Eurocode 7 ingedeeld in Geotechnische Categorie GC3. Dit bepaalt dan ook mede de intensiteit en omvang van het geotechnische grondonderzoek.

15.3 Risico inventarisatie

Om een risicogestuurd grondonderzoek uit te voeren moeten de risico's van de gekozen oplossing in beeld zijn gebracht. In het algemeen kan worden gesteld dat het bouwen van een polderconstructie kan leiden tot een risico op de volgende ongewenste gebeurtenissen:

- Opbarsten (verticaal evenwicht van de polderconstructie)
- Zettingen in de omgeving als gevolg van een bemaling of spanningsbemaling
- Overschrijding van het in de onttrekkingsvergunning toegestane debiet of waterbezwaar
- Zettingsvloeiing van grondlagen naast een ontgraving
- Wateroverlast binnen de kunstmatige polder
- Instabiliteit van de taluds, tijdens de uitvoering en in de definitieve situatie
- Verstoring van de bodemlagen in de polder als gevolg van de gekozen werkwijze

De volgende aspecten hebben invloed op de bovengenoemde risico's, en kunnen met een gericht grondonderzoek in beeld worden gebracht:

- Freatische grondwaterstand op de projectlocatie.
- Spanningswater in watervoerende pakketten.
- Bodemopbouw en variatie in de bodemopbouw, zowel in de diepte (op een locatie) als in de ruimte.
- De waterdichtheid van de grondlaag of het samenstel van grondlagen die als onderafdichting worden toegepast.
- Opbouw van de bodemlagen vanuit geohydrologisch oogpunt (watervoerende pakketten, waterremmende lagen, deklaag).
- Stijfheids en sterkteparameters van de bodemlagen ter plaatse van, en naast de polderconstructie.
- Gradatie van de aanvulling binnen de polder.
- Draagkracht van de aanvulling binnen de polder.
- Stijfheid van de aanvulling binnen de polder.

Het risicoprofiel van een project is voor een groot deel afhankelijk van de gekozen bouwmethode. Een gericht grondonderzoek draagt bij aan het verkleinen van deze risico's en de beheersbaarheid daarvan.

Per bouwmethode worden de belangrijkste risico's benoemd, in tabel 15.1. Vervolgens wordt in tabel 15.2 de link met het benodigde grondonderzoek gelegd.

De bovengenoemde risico's kunnen worden verkleind door het uitvoeren van een gericht grondonderzoek. Er zijn echter ook risico's te noemen die hierdoor niet direct worden verkleind:

- Risico's als gevolg van interpretatie van de resultaten van grondonderzoek. Een voorbeeld hiervan is de interpretatie van de resultaten van doorlatendheidsproeven op een zeer inhomogene waterremmende laag, zoals een kleilaag waarin zanderige laagjes voorkomen. Wanneer de doorlatendheidsproeven op de meest ondoorlatende delen van de laag worden uitgevoerd, zou dit kunnen leiden tot een overschatting van de waterremmendheid van de grondlaag als geheel. Omgekeerd, proeven op de meest waterdoorlatende delen van een dergelijke laag kunnen leiden tot een onderschatting van de waterremmendheid van de laag. Niet alleen een goede kennis van de bodemopbouw is essentieel maar ook kennis van de genomen bodemmonsters.

- Risico's die tijdens de uitvoering ontstaan. Een voorbeeld hiervan een onderwatertalud, waarvoor uit berekeningen is gebleken dat dit stabiel is bij een bepaalde taludhelling, bijvoorbeeld 1:3. Tijdens de uitvoering kunnen lokaal echter steilere taluds ontstaan door bijvoorbeeld een cutterzuiger die "happen" uit het onderwatertalud zuigt. De onderwaterbressen die hierdoor ontstaan kunnen instabiliteit veroorzaken met alle gevolgen van dien voor de planning en de kosten van het project. Naast het uitvoeren van afdoende grondonderzoek is het inbrengen van uitvoeringskennis in de ontwerpfase en het houden van goed toezicht tijdens de uitvoeringsfase door mensen die het ontwerp kennen noodzakelijk om deze risico's te beheersen. Zie ook hoofdstuk 17 "Baggerwerken".

Opgemerkt wordt dat naast het uitvoeren van een gericht grondonderzoek, toetsen in de praktijk nodig is. Een aantal risico's kunnen ook worden veroorzaakt door de uitvoeringsmethode. Onderstaande tabellen gaan echter alleen in op het benodigde grondonderzoek om risico's te beheersen in het ontwerp.

Tabel 15.1 Polders: Geotechnische risico's en gevolgen.

Poldertype	Geotechnisch risico	Gevolgen
Foliepolder	Folie te ondiep aangelegd	Opdrijven
	Te hoge waterspanning onder de folie	Opdrijven
	Polderpeil in de folie te laag	Opdrijven
	Deformatie of instabiliteit taluds	Instabiliteit
	Er treedt zettingsvloeiing op tijdens de uitvoering	Instabiliteit
	Het kielspit zit onder de grondwaterstand	Wateroverlast
	Verkeerde aanvulgrond gebruikt	Deformaties en onvoldoende draagkracht (horizontaal en verticaal)
	Indien een bemaling nodig is: zettingen in de omgeving	Schade aan bebouwing
U-polder	Folie te ondiep aangelegd	Opdrijven
	Te hoge waterspanning onder de folie	Opdrijven
	Polderpeil in de folie te laag	Opdrijven
	Verkeerde aanvulgrond gebruikt	Deformaties en onvoldoende horizontale en verticale draagkracht
Ondoorlatende grondlaag als onderafdichting	Ondoorlatende laag te ondiep	Opbarsten
	Volumegewicht grondlagen boven de ondoorlatende laag te gering	Opbarsten
	Te veel waterspanning onder de kleilaag	Opbarsten
	Polderpeil te laag	Opbarsten
	Waterdichtheid van de waterremmende laag is onvoldoende	Wateroverlast
Injectie als onderafdichting	Bouwputwand niet waterdicht	Wateroverlast
	Injectielaag te ondiep aangebracht	Opbarsten
	Te hoge waterspanning onder de injectielaag	Opbarsten
	Polderpeil boven de injectielaag te laag	Opbarsten
	Te veel verstoring van de grond boven de injectielaag als gevolg van het aanbrengen daarvan	Afname draagkracht damwanden Afname verticale draagkracht grondlagen binnen polder.
	Injectielaag onvoldoende waterdicht	Lekkage en wateroverlast
	Bouwputwand niet waterdicht	Wateroverlast

Tabel 15.2 Polders: Relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Poldertype	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Foliepolder	Folie te ondiep aangelegd	Onvoldoende gewicht op folie doordat volumegewichten niet goed zijn ingeschat.	Sonderingen, boringen op de winlocatie van het aanvulmateriaal, bepaling volumegewicht van aanvulmateriaal
	Te hoge waterspanning onder het folie	Waterspanningen niet goed geanalyseerd	Piëzosonderingen uitvoeren, peilbuizen en waterspanningsmeters installeren en waarnemen
	Polderpeil in de folie te laag	Verkeerde inschatting waterhuishouding	Regenmetingen, Bepaling aanvoer water
	Deformatie of instabiliteit taluds	Grondslag is te slap en niet sterk genoeg, of te gevoelig voor de gekozen uitvoeringsmethode.	Sonderingen, boringen. handvinproeven, samendrukkingsproeven, triaxiaalproeven (gedraineerd en/of ongedraineerd), Torvane proeven, Atterbergse grenzen.
	Er treedt zettingsvloeiing op tijdens de uitvoering	Impact van lage conusweerstand onderschat	Sonderingen, korrelverdeling, en bepaling van de korrelvorm
	Het kielspit zit onder de grondwaterstand	Foutieve inschatting grondwaterstand	Peilbuizen (+waarnemen)
	Verkeerde aanvulgrond gebruikt	Verkeerde inschatting eigenschappen aanvulgrond	Bepaling volumegewicht, korrelverdeling, stijfheids en sterkte eigenschappen door middel van samendrukkings- en triaxiaalproeven.
	Indien een bemaling nodig is: zettingen in de omgeving	Omgevingsinvloed van de bemaling onvoldoende ingeschat, kwetsbare bebouwing niet geïnventariseerd	Bepaling doorlatendheid door middel van boringen, bepaling korrelverdeling .
	Indien een bemaling nodig is: overschrijding van het debiet en/of waterbezwaar	Te grote waterstand/stijghoogteverlaging, benodigd, watervoerende pakketten doorlatender dan verwacht	Bepaling doorlatendheid, door middel van boringen, bepaling korrelverdeling, en pompproeven. Bepaling van de kwaliteit van het grondwater, en detecteren van eventuele verontreinigingen en de aard daarvan.
U-polder	Folie te ondiep aangelegd	Onvoldoende gewicht op folie	Sonderingen en boringen op de winlocatie van het aanvulmateriaal, bepaling volumegewicht van aanvulmateriaal
	Te hoge waterspanning onder de folie	Waterspanningen onder de polder onvoldoende bekend.	Piëzosonderingen uitvoeren, peilbuizen en waterspanningsmeters installeren en waarnemen
	Polderpeil in de folie te laag	Verkeerde inschatting van de waterhuishouding	Regenmeting, juiste bepaling wateraanvoer
	Verkeerde aanvulgrond gebruikt	Verkeerde inschatting eigenschappen aanvulgrond	Bepaling volumegewicht, korrelverdeling, stijfheids- en sterkte eigenschappen door middel van samendrukkings- en triaxiaalproeven.



Poldertype	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Ondoorlatende grondlaag als onderafdichting	kleilaag te ondiep	Onvoldoende gewicht op kleilaag	Sonderingen, boringen, bepaling volumegewicht
	Volumegewicht grondlagen boven de kleilaag te laag	Onvoldoende gewicht op kleilaag	Sonderingen, boringen, bepaling volumegewicht
	Te hoge waterspanning onder de kleilaag	Waterspanningen niet goed geanalyseerd	Piëzsonderingen uitvoeren, peilbuizen installeren en waarnemen
	Polderpeil te laag	Verkeerde inschatting waterhuishouding	Regenmetingen, Bepaling aanvoer water
	Waterdichtheid van de kleilaag is onvoldoende	Doorlatendheidseigenschappen kleilaag onvoldoende bekend	Intensief raster sonderingen of boringen Doorlatendheidsproeven: falling head, rising head, dissipatieproeven, In-situ pompproeven
	Bouwputwand niet waterdicht	Toepasbaarheid grondkering niet goed ingeschat	Sonderingen en boringen uitvoeren.
Injectie als onderafdichting	Injectielaag te ondiep aangebracht	Volumegewichten van grondlagen boven injectielaag niet goed ingeschat.	Juiste bepaling van volumegewichten, via uitvoeren van boringen en nemen van monsters.
	Te hoge waterspanning onder de injectielaag	Stijghoogten niet goed bepaald	Piëzsonderingen uitvoeren, peilbuizen en waterspanningsmeters installeren en waarnemen
	Polderpeil boven de injectielaag te laag	Waterhuishouding in polder niet goed bepaald	Regenmetingen, Bepaling aanvoer water
	Te veel verstoring van de grond boven de injectielaag als gevolg van het aanbrengen daarvan	Onvoldoende rekening gehouden met de invloed van het inbrengen van de injectielansen op de grondlagen boven de injectielaag	Bepaling korrelverdeling, bepaling korrelvorm, bepaling verdichtbaarheid
	Injectielaag onvoldoende waterdicht	Injectiemateriaal heeft het grondwater in de poriën onvoldoende verdrongen.	Uitvoeren boringen en sonderingen, classificatie van de grondlagen en bepaling korrelverdeling inclusief de fijne fractie, uitvoeren van een pompproef.
	Bouwputwand niet waterdicht	Wateroverlast	Bepaling toepasbaarheid van de gekozen wandtype in de grondslag ter plaatse.

Hoofdstuk 16

Bouwputten

16.1 Inleiding

Een bouwput heeft tijdelijk een grond- en waterkerende functie in de bouwfase met als doel om ondergrondse bouwdelen te kunnen realiseren, zodanig dat hinder in de omgeving zo veel mogelijk kan worden beperkt. Dit hoofdstuk beperkt zich tot de bouwput zelf; mogelijk gelden voor de binnen deze put te bouwen constructie andere risico's en is ander grondonderzoek nodig.

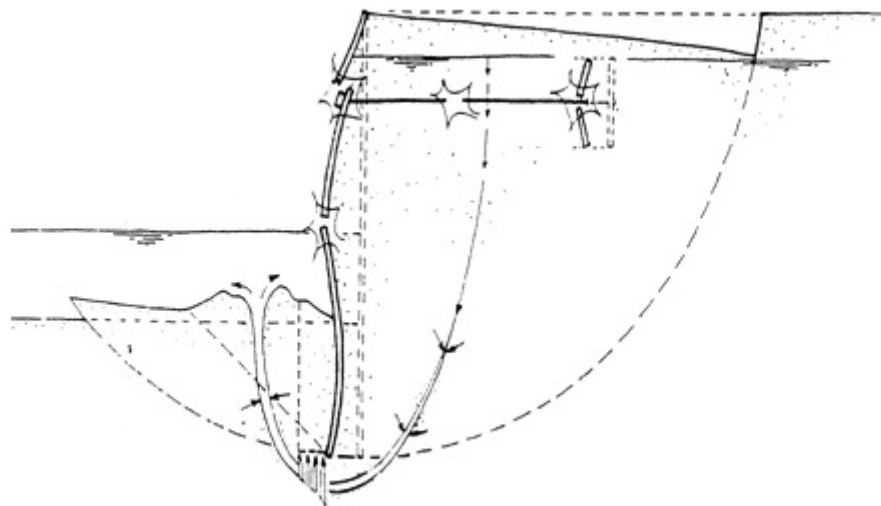
Vanwege de beperkte bovengrondse ruimte in de binnensteden wordt er steeds meer gebruik gemaakt van de ondergrondse ruimte. Er worden onder andere tunnels, parkeergarages en stations onder het maaiveld geconstrueerd, waarbij gebruik wordt gemaakt van bouwputten. Hierbij worden vaak de grenzen van het technisch haalbare opgezocht, terwijl de regelgeving ten aanzien van omgevingsbeïnvloeding steeds strenger wordt. Bij het maken van bouwputten zijn er altijd risico's voor de omgeving aanwezig. Denk hierbij aan ernstige lekkages, funderingspalen die niet op diepte komen, hinder of zelfs schade aan de bouwput zelf en/of belendingen in de omgeving. De meeste geotechnische risico's hierdoor zijn vooraf goed in te schatten.

De nadruk ligt in dit hoofdstuk op verticale grondkeringen en horizontale afdichtingen van tijdelijke aard. Open bouwputten met talud zijn beperkt beschouwd, omdat dit type bouwput door ruimte gebrek in de binnensteden meestal niet van toepassing is.

Voor de risico's die spelen bij een polderconstructie met afdichting door folie of met kleilagen van permanente aard wordt verwezen naar het hoofdstuk 15 "Polderconstructies".

Een risico gestuurd grondonderzoek wordt afgestemd op de te toetsen grenstoestanden voor de grondmechanische en geohydrologische mechanismen die een rol spelen bij het ontwerp voor een bouwput. De faalmechanismen zijn horizontale, verticale en overall stabiliteit en deformaties van de damwand en de omgeving. Zie figuur 16.1.

Fig. 16.1
Buigen of barsten [11]



De faalmechanismen zijn onder andere gekenmerkt aan de sterkte, stijfheid en waterdoorlatendheid van de ondergrond en daarmee gerelateerd aan de locatie (bodemgesteldheid en hydrologische omstandigheden), diepte, omgeving (hinder door trillingen en vervormingen), bouwmethoden en de gestelde eisen.

De gestelde eisen zijn afhankelijk van het type constructie en opdrachtgever waarvoor de bouwput moet worden gerealiseerd (tunnel of aquaduct voor aanleg van een autoweg of spoorbaan ofwel kelders en parkeergarages voor de utiliteits- en woningbouw). Meestal gaat het om een tijdelijke constructie in de bouwfase van een project. Soms wordt de bouwput een permanent onderdeel van de constructie (b.v. parkeergarage met polderprincipe).

Voor de opzet van risico gestuurd grondonderzoek voor een bouwput zijn faalmechanismen van de relevante geotechnische constructies als onderdeel van de bouwput van belang. Deze onderdelen zullen per project verschillen. Over het algemeen gaat het om de volgende geotechnische onderdelen van de bouwput:

- het type grond en/of waterkering (stalen, betonnen of houten damwand, diepwand, boorpalen wand, kistdam en Berlinerwand);
- de wijze van inbrengen (trillen, drukken) of in het werk maken (boorpalen- en diepwanden);
- het type van gordingen, stempels en verankeringen;
- trek- / anker palen in combinatie met een onderwater betonvloer;
- externe belastingen door (kranen en opslag van materieel en materiaal).

16.2 Normen en richtlijnen

Het geotechnisch ontwerp van een bouwput valt onder het toepassingsgebied van de Eurocode 7, NEN-normen, ontwerpvoorschriften (OVS) voor het spoor (ProRail) en richtlijnen ROBK. (Rijkswaterstaat).

Binnen afzienbare tijd worden (veel van) deze normen ingetrokken en zijn alleen de Eurocodes van toepassing. De richtlijnen van Rijkswaterstaat en ProRail blijven na de invoering van de Eurocodes van kracht. In geval van tegenstrijdigheden en/of lemmes in de normen prevaleren de ROBK. en de OVS. De NEN normen en delen van de oude richtlijnen voor damwanden en trekpalen zijn onderdeel geworden van de Eurocodes.

De geotechnische categorie (GC) conform NEN 9997-1:2011 bepaalt de intensiteit van het grondonderzoek en het type berekeningen voor het ontwerp. Tijdelijke bouwputten vallen veelal in GC2 (NEN) en veiligheidsklasse II / 2 / RC1 (CUR/NEN/ECO). De grootte, de diepte en de veiligheid en gevoeligheid van de omgeving, kunnen aanleiding zijn om een tijdelijke en permanente bouwput in te delen in GC3 en een hogere veiligheidsklasse III / 3 / RC3.

Conform OVS00030-6 geldt dat, indien de bouwput of een deel hiervan valt onder een permanent door spoorwegverkeer belaste funderings-en/of geotechnische constructie, GC3 en veiligheidsklasse 3 (beide NEN) van toepassing is.

16.3 Risico-inventarisatie

Om gericht en efficiënt grondonderzoek uit te kunnen voeren moet bekend zijn welke risico's of onzekerheden men door middel van het grondonderzoek probeert te reduceren.

De systematiek om te komen tot deze risico's of onzekerheden is vermeld in hoofdstuk 3 "Opzet van risico gestuurd grondonderzoek".

Voor de opzet van een risicogestuurd grondonderzoek en geotechnisch ontwerp van een bouwput zijn kennis over de faalmechanismen van de verschillende geotechnische constructie onderdelen van belang:

- horizontale stabiliteit (te korte wand, diep glijvlak, Kranz, draagkracht ankers);
- verticale stabiliteit (opbarsten, piping, grondbreuk);
- draagkracht (sterkte) en vervorming (stijfheid) van de ondergrond bij funderingen belast op trek;
- uitbuiging van de kering en vervorming van de ankers / stempels;
- zettingen en horizontale gronddeformaties in de omgeving door uitbuiging damwanden, bemalingen en trillingen.

Voor open bouwputten met een talud zijn alleen de faalmechanisme opbarsten van de bouwputbodem en taludstabiliteit van toepassing. Mogelijk zijn ook zettingen en horizontale gronddeformaties in de omgeving van belang.

De van toepassing zijnde faalmechanismen verschillen per bouwput. Voor elke bouwput zullen de van toepassing zijnde faalmechanismen moeten worden geïnventariseerd, alsmede de te gebruiken rekenmodellen en het specifieke grondonderzoek en grondparameters die nodig zijn om de berekeningen uit te voeren.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op risico's bij de aanleg van bouwputten. Veelal zullen deze risico's betrekking hebben op bouwputten in stedelijke gebieden, maar sommige kunnen ook in het vrije veld voorkomen. Voor een volledige beschrijving van de risico's wordt verwezen naar CUR-rapport 223 'Richtlijn meten en monitoren van bouwputten' [12]. In tabel 16.1 en 16.2 zijn de risico's die door middel van grondonderzoek te beperken zijn samengevat en wordt de link naar het bijbehorende grondonderzoek gelegd.

Opgemerkt wordt dat er in geval van bouwputten tevens diverse risico's zijn die vooral met uitvoering te maken hebben. Een goed middel om deze risico's te kunnen beperken is monitoring en bijvoorbeeld de inzet van deskundig bouwtoezicht. Zie ook CUR-rapport 223 [12] en CUR-Aanbeveling 114 [9].

Tabel 16.1 Bouwputten: Geotechnische risico's en gevolgen.

Constructie onderdeel	Geotechnisch risico	Gevolgen
Vloeren / afdichtende lagen / bouwputbodem	Opbarsten van de bouwput	Waterschade in de bouwput Bezwijken van de gehele bouwput Schade in omgeving
	Opdrijven van de vloer	Forse uplift van de vloer Bezwijken van de gehele bouwput
	Diameter / hoogte van elementen in een waterremmende onderafdichting is te klein	Welvorming Waterschade in de bouwput Ontgroning Opbarsten bouwputbodem Bezwijken van de gehele bouwput
	Wegspoelen van injectiemateriaal	Welvorming en waterschade in de bouwput Ontgroning Opbarsten bouwputbodem Bezwijken van de gehele bouwput
	Slechte aansluiting van vloer op palen	Lekkage en waterschade in de bouwput Ontgroning Bezwijken van de gehele bouwput Schade in omgeving
	De o.w. betonvloer is te dun	Bezwijken vloer / gehele bouwput Schade aan omgeving
	Slib-/veeninsluiting in o.w. betonvloer	Lekkage en ontgroning Bezwijken van de vloer
	Onvoldoende kwaliteit en/of sterkte van de bouwputvloer (groutstempel / chemische injectielaag)	Opbarsten bouwputbodem Waterschade in de bouwput Bezwijken van de gehele bouwput Schade in omgeving
	Scheuren van een waterafdichtende folie	Lekkage in de bouwput Opbarsten bouwputbodem Ontgroning Bezwijken van de gehele bouwput
	Zwel	Trekbelasting op palen / damwand Belasting op o.w. beton vloer Hogere ligging ontgravingsniveau in de bouwput
Verweking van zand	Verlies aan horizontale stabiliteit wand / talud in verzadigd zand	

Constructie onderdeel	Geotechnisch risico	Gevolgen
Wanden	Vervorming grondkerende constructie te groot	Te grote maaiveldzakking achter grondkerende constructie Extra momenten in belendende palen Scheurvorming, constructieve schade en bezwijken van belendingen
	Instabiliteit of bezwijken van de wand	Bezwijken van de gehele bouwput
	Kwaliteit van de aansluiting tussen wandelementen (diepwand / palenwand)	Lekkage en ontgronding Zakking van maaiveld Gronddeformaties naast de wand Schade in de omgeving
	Slechte aansluiting tussen wand en vloer	Lekkage en waterschade in de bouwput Ontgronding Bezwijken van de gehele bouwput Schade in omgeving
	Niet op diepte komen van damwandplanken	Te korte wand en extra stempels Schade aan de planken zelf Uit het slot lopen damwandplanken Zwaar trilwerk Hoge trillingsniveau's in omgeving Verhoogde kans op verweking losgepakte zandlagen
	Het uit het slot lopen van damwandplanken of gaten in de wand	Lekkage in de bouwput en ontgronding achter de wand
	Onvoldoende sterkte en/of waterdichtheid van een diepwand	Bezwijken van de wand Lekkage en ontgronding
	Niet uitharden van een cement-bentonietwand	Zwakke plekken in de wand Onvoldoende kwaliteit
	Niet op diepte komen van de boorpalenwand	Voldoet niet aan de eisen Te korte wand en extra stempels / ankers nodig Verhoogde kans op groundbreuk
	Instabiliteit van de sleuf van een diepwand of cement-bentonietwand	Diepwand niet uitvoerbaar op zelfde locatie Locatie van de diepwand verplaatsen
	Onvoldoende kwaliteit van de palenwand door de uitvoering	Niet voldoen aan de eisen Lekkage en ontgronding
Inbrengen van grondverdringende funderingspalen in de bouwput	Verplaatsing en schade aan de wand door verhoogde gronddrukken (opspanning van de grond)	



Constructie onderdeel	Geotechnisch risico	Gevolgen
	Voorboren en/of fluïderen van een damwand of palen	Verlies aan draagvermogen
	Verticaal draagvermogen wand te laag	Zakking te groot Voldoet niet aan de toetsingseisen
	Grondbreuk	Bezwijken van de gehele bouwput
	Verdichting van losgepakte zandlagen	Zetting van maaiveld en belendingen in de omgeving
	Putcorrosie bij stalen damwanden	In de tijd afname van sterkte en stijfheid van het stalen damwandprofiel
Fundering op palen	Niet op diepte komen van de paalfundering	Zwaar heiwerk / hoge kalenders Paalbreuk Trillingen in de omgeving Onvoldoende lengte palen
	Grondopspanning en horizontale gronddeformatie	Scheurvorming palen / corrosie wapening Paalbreuk
	Onvoldoende kwaliteit paalschacht	Bleeding, welvorming
	Draagkrachtige zand is minder vast gepakt dan geschat	Draagvermogen te laag, kalenders vallen tegen Bezwijken fundering Zakking / verplaatsing / rotatie van de constructie
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Te grote (verschil) zakkingen / rotaties
	Heitruïlingen	Hinder / schade bij belendingen Maaiveldzakking door verdichting van losgepakte zandlagen Stabiliteitsverlies bij taluds door wateroverspanning in cohesieve of minder gepakte zandlagen
Fundering op staal	Draagkrachtige zand / grondverbetering is minder vast gepakt en/of cohesieve (tussen) laag is slapper	Zakking / verplaatsing / rotatie constructie Te laag draagvermogen Bezwijken fundering
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Te grote (verschil) zakkingen
	Afwijkende afmeting en sterkte van een grondverbeteringselement	Bezwijken van het element
	Niet op diepte komen van een grondverbeteringselement	Grondverbetering te ondiep
Verankeringen / Stempels / Gordingen	Bezwijken van een stempel / anker / gording	Ontoelaatbare vervorming of bezwijken van de wand Bezwijken van de bouwput
	Niet op diepte komen van de ankerpalen	Te korte ankerpalen en niet voldoende draagkracht voor de trekbelasting
	Maken van geboorde ankers	Deformatie van belendingen

Constructie onderdeel	Geotechnisch risico	Gevolgen
Bemaling	Falen van de bemaling bij toepassing van open bestrating (permanente polder)	Schade aan de bestrating Bezwijken van de bouwputbodem
	Falen spanningsbemaling	Opbarsten bouwput
	Verlaging van de grondwaterstand / stijghoogte	Toename negatieve kleef op palen in omgeving Zetting van funderingen
	Onderschatting van de bemalingsduur en debiet	Overtreding vergunning, werk wordt stilgelegd, planning niet haalbaar

Tabel 16.2 Bouwputten: relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Constructie-onderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Vloeren / afdichtende lagen / bouwputbodem	Opbarsten van de bouwput	Overschatting van het gewicht grond boven het referentieniveau Onderschatting van de waterdruk Gebrek aan monitoring stijghoogte onder ontgravingsniveau	Sonderingen, Boringen met monsternamen Volumiek gewicht en watergehalte Triaxiaalproeven Samendrukkingsproeven CPM-proeven, Ongedraineerde schuifsterkte Korrelverdelingen Waterdoorlatendheid Monitoring van de stijghoogte Kernboringen en UCS proeven
	Opdrijven van de vloer	Overschatting van het gewicht beton boven het referentieniveau Waterdruk onder de vloer te hoog Draagvermogen ankerpalen te laag / te korte of te slanke palen	
	Diameter / hoogte van elementen in een waterremmende onderafdichting is te klein	Slechte kwaliteit grout Fout in uitvoering / ontwerp Onvoldoende veiligheid Gebrek aan toezicht	
	Wegspoelen van injectiemateriaal	Slechte kwaliteit grout Slechte uitvoering / toezicht	
	Slechte aansluiting van vloer op palen	Vloer niet (goed) verankerd Gebrekkige uitvoering / toezicht	
	Onderwaterbetonvloer is te dun	Geen maatvoering bodemniveau na ontgraven / installatie van de palen	
	Slib-/veeninsluiting in onderwater betonvloer	Slechte uitvoering / kwaliteitscontrole	
	Onvoldoende kwaliteit en/of sterkte van de bouwputvloer (grout-stempel / chemische injectielaag)	Slechte uitvoering / toezicht / kwaliteitscontrole	
	Scheuren van een waterafdichtende folie	Onvoldoende sterk type folie Doorboren of doorheien Waterdruk te hoog Slechte lassen	



Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
	Zwel	Ontgraven diepe bouwput	Sonderingen Boringen met monstername Volumiekgewicht en watergehalte Samendrukkingsproeven met ontlast- en herbelast trap
	Verweking van zand	Trillingen, aanwezigheid verwekingsgevoelig zand met voldoende dikte	Sonderingen (dichtheid in-situ), Boringen met monstername (aangepaste) triaxiaalproeven met bepaling relatieve, minimale en maximale en kritieke dichtheid, Korrelverdeling en waterdoorlatendheid
Wanden	Vervorming grondkerende constructie te groot	Sterkte en stijfheid grondlagen en/of belasting onderschat	Sonderingen (seismisch) Boring(en) met monstername Volumiek gewicht en watergehalte Triaxiaalproeven en/of Samendrukkingsproeven C.P.M proeven
	Instabiliteit of bezwijken van de wand	Lekkage en ontgronding	Sonderingen
		Te hoge bovenbelasting Bezwijken stempels / ankers Onvoldoende sterkte wand/ grond Te korte wanden	Boringen met monstername Volumiekgewicht en watergehalte Triaxiaalproeven
	Kwaliteit van de aansluiting tussen wandelementen (diepwand / palenwand)	Slechte kwaliteit steunvloeistof Uitvoeringsprocedures niet goed opgevolgd / slecht toezicht	Ongedraineerde schuifsterkte Korrelverdelingen
	Slechte aansluiting tussen wand en vloer	Geen deussels toegepast Slecht uitgevoerd / toezicht	Waterdoorlatendheid Monitoring van de stijghoogte
Niet op diepte komen van damwandplanken	Grondweerstand onderschat Te laag energieniveau tril- / heiblok Obstakels in de ondergrond	Sonderingen (magnetometer) Boringen met monstername Samendrukkingsproeven (O.C.R)	

Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek	
	Uit het slot lopen van damwandplanken of gaten in de wand	Geen slotverklikkers en geleiding toegepast Ondeskundige uitvoering / toezicht		
	Onvoldoende sterkte en/of waterdichtheid van een diepwand	Insluitingen steunvloeistof in beton		
	Niet uitharden van een cement-bentonietwand	Niet voldoende verhardingstijd genomen / krappe planning		
	Het niet op diepte komen van de palenwand	Grondweerstand onderschat Te laag energieniveau boormotor Obstakels in de ondergrond		
	Instabiliteit van de sleuf van een diepwand of cement-bentonietwand	Te hoge bovenbelasting Steunvloeistof niet zwaar genoeg / niet opgezet		
	Onvoldoende kwaliteit van de palenwand door de uitvoering	Uitvoeringsprocedures niet opgevolgd Ondeskundige uitvoering / toezicht		
	Het inbrengen van grondverdringende funderingspalen in de bouwput	Ongunstige installatie volgorde Effecten grondverdringing onderschat		
	Voorboren en/of fluïderen van een damwand of palen	Verminderde gronddrukken (ontspanning van de grond)		
	Verticaal draagvermogen wand te laag	Een onder een hoek geplaatste ankers, waardoor verticale belasting Trillen in overconsolideerde grond (OCR>		
	Grondbreuk	Te korte wanden in combinatie met te diepe ontgraving		Boringen met monstername Volumieke gewichten en watergehalten
	Verdichting van losgepakte zandlagen	Trillingen boven de drempelwaarde trillingsversnelling		Sonderingen
Putcorrosie bij stalen damwanden	Chemisch agressief milieu	Onderzoek grondwater en veenzuren		
Fundering op palen	Het niet op diepte komen van de paalfundering	Verdichtingsgraad te hoog door te dicht palenveld Grondweerstand onderschat Te laag energieniveau tril- / hebblok Obstakel in de ondergrond	Sonderingen (magnetometer)	
	Grondopspanning en horizontale gronddeformatie	Dooruitbuiging damwanden te groot Extra paalmomenten	Sonderingen Boringen met monstername Samendrukkingsproeven met ontlast- herbelasttrap C.P.M proeven	



Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
	Onvoldoende kwaliteit paalschacht	Slechte samenstelling beton / uitvoering Onvoldoende kennis stijghoogten grondwater Ondeskundig toezicht	Sonderingen
	Draagkrachtige zand is minder vast gepakt dan geschat en draagvermogen te laag	Conusweerstand lokaal ongunstiger door heterogeniteit zandlagen Aanvangsniveau zandlaag wijkt lokaal af Slappe tussenlagen niet gesignaleerd Heien in overconsolideerde grond (OCR>	Sonderingen (in voldoende klein raster)
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Lagen die zetting veroorzaken niet onderkend	Sonderingen (tot voldoende diepte uitgevoerd)
		Samendrukkings-eigenschappen diepere lagen onvoldoende bekend	Boringen met monstername Samendrukkingsproeven
	Heitrillingen	Verdichting van losgepakte zandlagen Wateroverspanningen	Sonderingen
Fundering op staal	Draagkrachtige zand is minder vast gepakt en/of cohesieve (tussen) laag is slapper	Grondverbetering niet goed uitgevoerd	Sonderingen
		Cohesieve grondlaag onder fundering niet gesignaleerd	Boringen met monstername
		Samendrukkings-eigenschappen grond wijken af	Samendrukkingsproeven
		Sterkte eigenschappen grond wijken af	Triaxiaalproeven Dichtheidsmetingen
	Zakking uit diepere lagen onderschat	Dikte van de cohesieve lagen die zetting veroorzaken niet onderkend	Sonderingen
		Samendrukkings-eigenschappen diepere lagen onvoldoende bekend	Boringen met monstername Samendrukkingsproeven
Afwijkende afmeting en sterkte van een grondverbeteringselement	Geen deskundige uitvoering / toezicht op kwaliteit Ondeskundig uitvoering / toezicht	Kernen boren UCS-proeven	
Het niet op diepte komen van een grondverbeteringselement	Weerstand ondergrond onderschat	Sonderingen (magnetometer)	
Verankeringen / Stempels / Gordingen	Bezijken van een stempel / anker / gording	Een afwijkende afmeting / sterkte / stijfheid van de verankering Gebrek aan kwaliteitscontrole	Sonderingen Controle / geschiktheidproeven

Constructie-onderdeel	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
	Het niet op diepte komen van de ankerpalen	Verdichtingseffect door te dicht palenveld Grondweerstand onderschat Te laag energieniveau tril- / heiblok / boormotor	Sonderingen (magnetometer)
	Maken van geboorde ankers	Op- en ontspanning van draagkrachtige zandlagen voor funderingen	Sonderingen
Bemaling	Falen van de bemaling bij toepassing van open bestrating (permanente polder)	Uitvallen, verstopping en/of slijtage pompen en/of drains	Sonderingen Boringen met monstername,
	Falen spanningsbemaling	Verstopping, slijtage, vernieling bemalingsysteem	Waterdoorlatendheid Korrelverdelingen
	Verlaging van de grondwaterstand / stijghoogte	Ontgraven van de bouwput	Sonderingen Boringen met monstername Waterdoorlatendheid Korrelverdelingen Samendrukkingsproeven
	Onderschatting van de bemalingsduur en debiet	Modelparameters niet goed ingeschat (grondsoorten, laagdikten, waterdoorlatendheid)	Boringen met monstername Waterdoorlatendheidproeven

Hoofdstuk 17

Baggerwerken



Voor de aanleg van Maasvlakte 2 is veel geotechnisch onderzoek uitgevoerd (Foto: Aeroview).

17.1 Inleiding

Het begrip baggerwerken omvat kleine tot zeer grote projecten, van onderhoudsbaggerwerk in rivieren of havens tot grote landaanwinningprojecten. In dit rapport worden baggerwerken gelimiteerd tot hydraulisch geplateerde landaanwinningen en ophogingen.

Landaanwinningen en ophogingen hebben vrijwel altijd verschillende functies waardoor bij het grondonderzoek rekening moet worden gehouden met variërende functionele eisen. Hierdoor bestaat er met betrekking tot het grondonderzoek op de plaatsingslocatie overlap met de hoofdstukken "Lijninfra" en "Bouwrijp maken".

Bij baggerwerken zijn restzettingen na oplevering en zettingsverschillen bijna altijd een belangrijk ontwerpcriterium. Inzicht in het ontlast-herbelastgedrag van zowel de aanwezige als de geplateerde grond is derhalve van belang. De uit te voeren proeven dienen hierop afgestemd te zijn. Stabiliteit van de bestaande bodem onder de belasting van het aangebrachte materiaal en de invloed op de directe omgeving van de projectlocatie zijn eveneens een belangrijk risico.

Naast grondonderzoek in het plaatsingsgebied is het bij de uitvoering van baggerwerken ook van belang om inzicht te krijgen in de grondgesteldheid ter plaatse van het gekozen wingebed. Bereikbaarheid en kwaliteit van het beschikbare materiaal is van directe invloed op de producties en het gedrag van de aanvulling zoals de stabiliteit en de draagkracht. De stabiliteit van de te baggeren taluds is van belang voor mogelijke schade aan materieel of omgeving door afschuivingen.

17.2 Normen en richtlijnen

Veel informatie over het uitvoeren van een grondonderzoek in de verschillende fasen van een project is terug te vinden in de CUR-rapport 2003-7 en de Britse Standaard BS 5930, waar ook regelmatig naar zal worden verwezen. Ook Eurocode 7 bevat in Sectie 3 handreikingen voor het uitvoeren van grondonderzoek. In de eind 2012 te publiceren "Hydraulic Fill Manual" (CUR-publicatie 244 [13]) worden eveneens adviezen gegeven voor het uitvoeren van grondonderzoek.

Het ontwerp van hydraulisch aangebrachte (opgespoten) landaanwinningen en ophogingen valt onder het toepassingsgebied van de NEN 9997:2012. De bepalingen in deze norm bepalen de hoeveelheid berekeningen en benodigd grondonderzoek wat afhankelijk is van de geotechnische categorie waartoe de landaanwinning of ophoging behoort. Hydraulisch aangebrachte landaanwinningen en ophogingen behoren meestal tot GC2. Deze baggerwerken passen in GC3 als sprake is van:

- zeer grote of ongewone constructies;
- constructies met abnormale risico's of ongebruikelijke of buitengewoon moeilijke grond- of belastingsgesteldheid;
- constructies in sterk aardbevingsgevoelige gebieden;
- constructies in gebieden met onstabiele ondergrond of met continue bodembewegingen en waarvoor afzonderlijk onderzoek of speciale maatregelen nodig zijn.

17.3 Risico-inventarisatie

Om gericht en efficiënt grondonderzoek uit te kunnen voeren moet bekend zijn welke risico's of onzekerheden men door middel van het grondonderzoek probeert te reduceren. De systematiek om te komen tot deze risico's of onzekerheden is vermeld in hoofdstuk 3.

Voor de aanleg van een hydraulische aanvulling of ophoging bestaat een aantal risico's die in hoge mate generiek zijn, ongeacht de projectlocatie. Aan deze risico's zal dus in elk grondonderzoek voor een baggerwerk aandacht moeten worden besteed. In onderstaande tabellen zijn deze risico's samengevat en wordt de link naar grondonderzoek gelegd.

Opgemerkt wordt dat de vermelde risico's in het plaatsingsgebied voor een belangrijk deel overeenkomen met die voor lijninfra en het bouwrijp maken van terreinen.

Tabel 17.1 Hydraulisch geplaatste aanvullingen: geotechnische risico's en gevolgen.

Wingebied	
Risico	Gevolg
Kwaliteit van materiaal in wingebied minder dan verwacht	Lagere baggerproductie, lagere kwaliteit van geplaatst materiaal, aanvullende grondverbeteringmaatregelen, claims
Beschikbare materiaalvolumes in wingebied anders dan verwacht	Tekort aan materiaal, vertragingen
Stabiliteitsverlies gebaggerde profielen	Schade aan materieel, lagere baggerproductie, vertragingen, schade aan infrastructuur naast te baggeren profiel
Liquefactie tijdens baggerwerkzaamheden	Schade aan materieel, lagere baggerproductie, vertragingen Schade aan te baggeren talud, bresvorming en afschuivingen, schade aan infrastructuur naast te baggeren talud
Plaatsingsgebied	
Risico	Gevolg
Eindzettingsgedrag ondergrond verkeerd ingeschat	Restzettingseis wordt niet gehaald, waardoor schade ontstaat tpv overgangen, onvoldoende afwatering verharding, onvoldoende drooglegging, aanvullend onderhoud, imagoschade, claims
Zettingssnelheid verkeerd ingeschat	Zettingen wijken af tijdens de consolidatieperiode waardoor overschrijding / onderschrijding benodigde zandvolumes optreedt Kostenoverschrijding werk dan wel te hoge aanbiedingsom Vertraging in werk door te traag verlopende zettingen, latere oplevering, aanvullende maatregelen benodigd
Stabiliteitsverlies randen ophogingen	Schade aan constructies, blijvend sterkteverlies ondergrond, tijdsverlies
Liquefactie door onvoldoende verdichting	Schade aan constructies, tijdsverlies, verdichtingsmaatregelen
Draagkracht ophoging niet voldoende	Schade aan constructies, tijdsverlies, verdichtingsmaatregelen
Omgevingsbeïnvloeding; deformatie van omliggende constructies	Schade aan omliggende bebouwing of kabels / leidingen

Tabel 17.2 Hydraulisch geplaatste aanvullingen: relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Wingebied		
Risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Kwaliteit van materiaal in wingebied minder dan verwacht	Onvoldoende of niet representatieve monsters	Vibrocores
Beschikbare materiaalvolumes in wingebied anders dan verwacht	Laagindeling anders dan geschematiseerd	Vibrocores / Boringen
Stabiliteitsverlies gebaggerde profielen	Ondergrond onvoldoende stabiel door onjuiste sterkteparameters ondergrond	Boringen met triaxiaalproeven
Liquefactie tijdens baggerwerkzaamheden	Sterkteverlies ondergrond door wateroverspanningen	(Tril)Boringen met cyclische triaxiaalproeven
Plaatsingsgebied		
Risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Einzettingsgedrag ondergrond verkeerd ingeschat	Laagindeling anders dan geschematiseerd	Sonderingen en boringen
	Samendrukkingparameters onjuist	Boringen met samendrukkingproeven op alle relevante lagen
Zettingssnelheid verkeerd ingeschat	Onjuiste inschatting consolidatiecoëfficiënt	Boringen met samendrukkingproeven
	Verticale drains functioneren onvoldoende	Boringen met samendrukkingproeven
Stabiliteitsverlies randen ophogingen	Aangebrachte ophoging is in zichzelf instabiel	Boringen met laboratoriumproeven aan te brengen materiaal
	Ondergrond onvoldoende stabiel door te hoge wateroverspanningen	Boringen met samendrukkingproeven
	Ondergrond onvoldoende stabiel door te hoge wateroverspanningen	Boringen met triaxiaalproeven
Liquefactie door onvoldoende verdichting	Onjuiste inschatting effect verdichting	(Tril)boringen met classificatie in wingebied ter bepaling verdichtbaarheid
Draagkracht ophoging onvoldoende	Onjuiste inschatting effect verdichting	(Tril)boringen met classificatie in wingebied ter bepaling verdichtbaarheid
Omgevingsbeïnvloeding; deformatie van omliggende constructies	Ondergrond vervormt teveel door onjuiste stijfheidparameters van de ondergrond	Boringen met triaxiaalproeven en/of samendrukkingproeven



Vibrocorer voor de bemonstering van zandbodems.

De oorzaak van de bovengenoemde risico's is te vinden in een onjuist beeld van de grond of de grondopbouw, als gevolg van kwalitatief of kwantitatief onvoldoende grondonderzoek; zeer projectspecifieke risico's en risico's op gebieden die niet af te dekken zijn door grondonderzoek zijn niet meegenomen.

Enkele van de risico's gelden vooral voor die delen van Nederland waar zich slappe lagen in de ondergrond van het plaatsingsgebied bevinden. Deze risico's kunnen bij het niet voorkomen van slappe lagen al in een vroeg stadium uitgesloten worden.

Hoofdstuk 18

Steigers

18.1 Inleiding

Een steiger in een haven wordt gebruikt om schepen aan af te meren. Deze schepen moeten met hun voor- of achterschip afmeren of langs zij tegen de steiger liggen en daarbij eventueel de overslag van goederen mogelijk te maken. Deze middelgrote tot grote constructies, niet-drijvende constructies, komen voor in havens, langs kanalen en rivieren. De palen bestaan veelal uit prefab betonpalen of open stalen buispalen.

Vrijwel alle steigerconstructies worden aan de bovenzijde voorzien van een betonplaat, eventueel in combinatie met een stalen draagconstructie. Deze draagconstructie dient in beperkte mate voor herverdeling van belastingen, kan de fundering vormen van een kraanbaan en dient als verankeringspunt voor bolders. Afmeerbelastingen worden over het algemeen met aparte meerpalen of remmingwerken opgenomen.

18.2 Normen en richtlijnen

Het ontwerp van steigers valt onder het toepassingsgebied van de NEN 9997-1:2011. De bepalingen in deze norm bepalen de hoeveelheid berekeningen en benodigd grondonderzoek wat afhankelijk is van de geotechnische categorie waartoe de steiger constructie behoort. De meeste constructies vallen in Geotechnische Categorie 2 (GC2). Tot GC2 behoren constructies die één of meerdere van de volgende eigenschappen bezitten:

- zeer grote of ongewone constructies;
- constructies met abnormale risico's of ongebruikelijke of buitengewoon moeilijke grond- of belastingsgesteldheid;
- constructies in sterk aardbevingsgevoelige gebieden;
- constructies in gebieden met onstabiele ondergrond of met continue bodembewegingen en waarvoor afzonderlijk onderzoek of speciale maatregelen nodig zijn.

18.3 Risico-inventarisatie

In onderstaande tabellen zijn de risico's samengevat en wordt de link naar grondonderzoek gelegd.

Tabel 18.1 Steigers: geotechnische risico's en gevolgen.

Geotechnisch risico	Gevolgen
Paal draagvermogen (druk of trek) te laag	Kalenders vallen tegen, zakking / verplaatsing / rotatie constructie, bezwijken fundering
Zakking uit diepere lagen onderschat	Zakking / rotatie constructie
Horizontale grondbelasting te groot c.q. onderschat	Scheurvorming palen / corrosie wapening, paalbreuk door buigend moment
Laterale weerstand van de grond overschat waardoor inklemming paal niet voldoende is	Scheurvorming palen / corrosie wapening, paalbreuk door buigend moment
Ontgroning of niet rekening gehouden met toekomstig laagste bodemniveau in berekeningen	Verminderd draagvermogen en weerstand tegen horizontale vervormingen
Trillingen bij inbrengen palen	Hinder / schade bij belendingen, zakking door verdichting van losgepakte zandlagen, stabiliteitsverlies bij taluds door wateroverspanning in cohesieve of minder goed dichtgepakte zandlagen
Draagvermogen te hoog	Te hoge kalenders, hoog percentage paalbreuk tijdens inbrengen palen en/of niet op diepte komen palen (heiblok niet afgestemd op het werk), niet voldoende inklemming paal
Aardbevingsgevoeligheid met liquefaction als gevolg [13]	Zakking / rotatie constructie

Tabel 18.2 Steigers: Relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Paal draagvermogen (druk of trek) te laag	Conusweerstand lokaal ongunstiger	Sonderingen in voldoende klein raster
	Aanvangsniveau drachtkrachtige zandlaag wijkt lokaal af	Sonderingen in voldoende klein raster
	Slappe tussenlagen niet gesignaleerd, negatieve kleef hoger dan gedacht	Sonderingen in voldoende klein raster en informatie betreffende eventuele belasting aan te brengen op bodem naast palen
Zakking uit diepere lagen onderschat	Lagen die zetting veroorzaken niet onderkend	Sonderingen tot voldoende diepte uitvoeren
	Samendrukkingseigenschappen diepere lagen onvoldoende bekend	Boringen en samendrukkingproeven op diepere lagen
Horizontale grondbelasting te groot	Horizontale grondbelasting uit nabij gelegen talud fout ingeschat	Sonderingen en boringen, eventueel met triaxiaalproeven
	(Toekomstig) talud niet bekend bij ontwerpende partij	Informatie niet volledig
Laterale weerstand van de grond overschat, inklemming paal niet voldoende	Horizontale belasting niet goed ingeschat of onvoldoende weerstand van de grond door:	
	Slappe lagen dikker dan gedacht	Sonderingen en boringen
	Ontgroning	Sonderingen en boringen
	Toekomstig bodemniveau verlaging	Informatie niet volledig

Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Ontgronding of niet rekening gehouden met toekomstig laagste bodemniveau in berekeningen	Ontgronding ten gevolge van stromingen Niet rekening gehouden met toekomstig laagste bodemniveau	Onderzoek met stromingsmodellen Informatie niet volledig
Trillingen bij inbrengen palen	Gevoelige grondconstructies en bebouwing /kabels en (gas) leidingen in de omgeving onvoldoende in kaart gebracht Pakkingsdichtheid zandlagen gering	Onderzoek naar omgeving (leidingen en kabels nabij constructie, ook in den natte) Sonderingen en boringen (korrelgrootteverdelingen)
Draagvermogen te hoog	Opspanning (grondverdichting) tijdens aanbrengen paalgroep Grondopbouw wijkt lokaal af (hogere conusweerstand)	Hevolgorde optimaal kiezen, eventueel controle door middel van sonderingen tijdens uitvoering Sonderingen in een voldoende klein raster
Aardbevingsgevoeligheid met liquefaction als gevolg	Los gepakte zandlagen die verweken door een aardbeving	Sonderingen in een voldoende klein raster



Haalbaarheidsonderzoek reconstructie Rotterdam centrum, aanleg Weenatunnel, parkeergarage en ondergrondse fietsenstalling

Hoofdstuk 19

Kademuren

19.1 Inleiding

Als kadeconstructies worden in deze tekst beschouwd grondkerende constructies die grenzen aan water en tot doel hebben een voorziening te vormen voor het keren van de grond, het aanmeren van schepen en daarbij eventueel de overslag van goederen mogelijk te maken. Deze constructies komen dus voor in zeehavens en langs kanalen en rivieren. Voor de overslag van goederen van water naar land vice versa wordt vaak een vaste kraan aangebracht, die zich beweegt over de kademuur evenwijdig aan het water. Dit onderdeel wordt in dit hoofdstuk meebeschoofd.

Als hoofdvormen van kadeconstructies kan onderscheid gemaakt worden tussen:

1. Liggervormige constructies, waarbij de grondkering wordt gevormd door op buiging belaste wanden, al dan niet verankerd en gefundeerd.
2. L-wanden, waarbij de grondkering wordt verzorgd door een gewapend betonnen L-vormige wand.
3. Gewichtsconstructie, waarbij het evenwicht wordt verkregen door een hoog eigen gewicht van de kademuur.

19.1.1 Liggervormige constructies

Bij een liggerconstructie wordt de belasting via damwanden, diepwanden of dergelijke overgedragen op de ondergrond en een verankering. Afhankelijk van de grondgesteldheid, de kerende hoogte en het gebruik van het achterterrein zijn meerdere typen constructie mogelijk.

De hoofdtypen zijn:

- Damwand met verankering horizontaal of onder een hoek
- Damwand met ontlastvloer voorzien van funderingspalen en verankering

Afhankelijk van de omstandigheden, de eisen van de opdrachtgever en de inzichten van de ontwerper zijn uiteraard vele varianten op deze hoofdvormen denkbaar.

Onderstaand worden de mogelijkheden van de drie hoofdonderdelen van de kadeconstructie, de grondkering, de verankering en de bovenbouw in kort bestek toegelicht.

Damwand

Voor de damwand kan onderscheid worden gemaakt in de volgende typen:

- Warmgewalste damwandprofielen. Deze worden toegepast bij beperkte kerende hoogte en een beperkte verticale belasting op de wand en op het terrein erachter. De kerende hoogte bedraagt over het algemeen niet meer dan circa 6 m.
- Combiwanden. Een combinatie van open stalen buispalen en warmgewalste stalen damplanken. Dit type wand wordt toegepast tot een kerende hoogte van circa 20 m. De verticale draagkracht van de buispalen is meestal hoog zodat een kraanbaan op de kop van de damwand kan worden geplaatst. Gebruikelijke terreinbelastingen

bedragen circa 40 kN/m², hogere waarden ten gevolge van bijvoorbeeld erts of kolen zijn ook mogelijk.

- Diepwanden. In de grond gevormde betonnen wanden, voor toepassingen in kadeconstructies met een grote kerende hoogte, hoge kraanbelastingen op de kop van de kadeconstructie en hoge terreinbelastingen.

Bovenbouw

Vrijwel alle kadeconstructies worden aan de bovenzijde voorzien van een kesp. Deze dient in beperkte mate voor herverdeling van belastingen, kan de fundering vormen van een kraanbaan en dient als verankeringspunt voor bolders.

Ontlastconstructies worden toegepast met als doel de gronddruk op de grondkering te beperken.

Door de ontlastvloer op een laag niveau aan te leggen, wordt de overspanning van de grondkerende wand beperkt, zodat een minder zware wand kan worden toegepast. Nadeel is dat een diepere bouwkuip met eventueel een bemaling moet worden aangebracht. De constructievorm met ontlastvloer wordt dan ook toegepast bij een combinatie van grote kerende hoogte en een hoge bovenbelasting op het kadeterrein. Een ontlastconstructie dient meestal te worden ondersteund door funderingspalen achter de grondkerende constructie.

Verankering

De verankering moet in staat zijn de horizontale component van de belasting uit grond, water en terreinbelasting te leveren.

Onderscheid kan worden gemaakt tussen horizontale ankers, waarbij de ankerkracht wordt ontleend aan een verticaal schot op enige afstand van de grondkering en ankers onder een hoek, waarbij de draagkracht wordt ontleend aan grondwrijving langs het ankerlichaam.

De lengte van de ankers wordt niet alleen bepaald door de geotechnische draagkracht maar eveneens door de benodigde stabiliteit van de hele kadeconstructie (Bishop en Kranz stabiliteit)

Kraanbanen

De belastingen uit dergelijke constructies kunnen zeer aanzienlijk zijn. De eisen die worden gesteld aan de zettingsverschillen tussen kraanpoten en aan de zettingsverschillen in langsrichting van de rails zijn meestal zeer hoog. In veel gevallen zal de kraan aan de waterzijde worden gefundeerd op de kesp of bovenbouw van de kadeconstructie. De achterkraanbaan wordt meestal als zelfstandige fundering uitgevoerd. In principe kan hiervoor zowel een fundering op staal als een fundering op palen worden ontworpen.

19.1.2 L-wanden en gewichtsconstructies

Kademuren opgebouwd als gewichtsconstructies zijn muren van steen, stampbeton of gewapend beton, die een funderingsgrondvlak hebben met of zonder teen, uitstekende rand of steunbeer.

Het gewicht van de muur zelf, soms met inbegrip van de ondersteunde volumes grond, gesteente of aanvulling, speelt een significante rol in de ondersteuning van het materiaal. Voorbeelden van dergelijke muren zijn betonnen gewichtsmuren met constante of

variabele dikte, gewapend betonnen muren met een fundering op staal en muren met steunberen. Op grond van deze definitie, gegeven in Eurocode 7 (art. 9.2.1.2) vallen L-wanden onder de gewichtsconstructies.

Dergelijke typen constructies zullen bij voorkeur worden aangelegd op een goed draagkrachtige ondergrond en worden in Nederland dan ook weinig meer toegepast als (zware) kademuur. In het verleden werden in Nederland gewichtsconstructies gefundeerd op houten palen veelvuldig toegepast in havengebieden met een beperkte waterdiepte. Ook L-muren en gewichtsconstructies worden gecombineerd met kraanbanen, voor de beschrijving daarvan wordt verwezen naar de paragraaf over liggervormige constructies.

19.2 Normen en richtlijnen

Het ontwerp van kademuren valt onder het toepassingsgebied van de NEN 9997-1:2011. De bepalingen in deze norm bepalen de hoeveelheid berekeningen en benodigd grondonderzoek dat afhankelijk is van de geotechnische categorie waartoe de kadeconstructie behoort. De meeste constructies vallen in Geotechnische Categorie 2 (GC2). Tot GC3 behoren constructies die één of meerdere van de volgende eigenschappen bezitten:

- zeer grote of ongewone constructies;
- constructies met abnormale risico's of ongebruikelijke of buitengewoon moeilijke grond- of belastingsgesteldheid;
- constructies in sterk aardbevingsgevoelige gebieden;
- constructies in gebieden met onstabiele ondergrond of met continue bodembewegingen en waarvoor afzonderlijk onderzoek of speciale maatregelen nodig zijn.

19.3 Risico-inventarisatie

19.3.1 Liggervormige constructies

In onderstaande tabel wordt aangegeven welke geotechnische bezwijkmechanismen en ongewenste gebeurtenissen, die voortvloeien uit het ontwerp op kunnen treden, en welke risico's dat met zich mee brengt.

Tabel 19.1 Kademuren, liggervormige constructies: geotechnische risico's en gevolgen.

Geotechnisch risico	Gevolgen
Damwand bezwijkt op buiging	Grote deformaties damwand en terrein
Passieve groundbreuk	Grote deformaties terrein
Glijvlak Bishop ontstaat	Kade bezwijkt
Ankerlichaam of ankerstang bezwijkt	Grote deformaties kade, ongelijkmatige deformaties, ritssluitingeffect
Draagkracht damwand onvoldoende	Ongelijkmatige zettingen kademuur
Draagkracht paalfundering ontlastvloer onvoldoende	Zetting van kadeconstructie
Piping	Ontgrondingen
Trillingsniveau in omgeving te hoog	In de bouwfase: schade aan belendingen, leidingen, etc
Bemalingsdebiet bouwkuip te hoog	In de bouwfase: schade aan belendingen, leidingen etc Overschrijding bemalingsvergunning
Kraanbaan deformeert te veel	Kraan onbruikbaar

In tabel 19.2 is aangegeven per bezwijkmechanisme welke onderzoeksmethode kan worden toegepast om geotechnische risico's te beheersen.

Tabel 19.2 Kademuren, liggervormige constructies: relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Damwand bezwijkt op buiging	Onjuiste inschatting van parameters	Sonderingen, boringen met triaxiaalproeven in de lijn van de kade
Passieve groundbreuk	Damwand te kort	Sonderingen, boringen met triaxiaalproeven in de lijn van de kade
Glijvlak Bishop ontstaat	Onjuiste inschatting van sterkte grond	Boringen in de lijn van de kade en daarachter met triaxiaalproeven
Ankerlichaam of ankerstang bezwijkt	Uitvoeringsfout of ontwerpfout	Sonderingen in het hart van de ankerrij
Draagkracht damwand onvoldoende	Onvoldoende diepte damwand	Sonderingen in de lijn van de kade
Draagkracht paalfundering ontlastvloer onvoldoende	Onvoldoende informatie over de ondergrond	Sonderingen in de lijn van de kade of extra lijn achter de kade, afhankelijk van de afstand paalpunt-damwand
Piping	Te groot waterdrukverschil tussen voor- en achterzijde kade	Sonderingen in de lijn van de kade
Trillingsniveau in omgeving te hoog	Te licht trilblok ingezet Grond dichtheid onderschat	Sonderingen
Bemalingsdebiet bouwkuip te hoog	Doorlatendheid grond onjuist ingeschat	Peilbuizen (+waarnemen), boringen Falling head test in veld
Kraanbaan deformeert te veel	Onvoldoende informatie over de ondergrond	Sondering, boring met samendrukkingproeven

19.3.2 Gewichtconstructies en L-muren

In tabel 19.3 wordt aangegeven welke geotechnische bezwijkmechanismen en gebeurtenissen, die voortvloeien uit het ontwerp op kunnen treden, en welke risico's dat met zich mee brengt. Gezien de veelheid aan mogelijke ontwerpen van gewichtconstructies wordt in het onderstaande slechts een beperkte selectie gegeven, gebaseerd op de mogelijke bezwijkmechanismen van een op staal gefundeerde gewichtsmuur.

Bij het ontwerp van gewichtsmuren moet vaak hetzelfde soort problemen worden opgelost als bij het ontwerp van funderingen op staal, ophogingen en taluds. Bij de beschouwing van de grenstoestanden behoren daarom ook de beginselen van het betreffende hoofdstuk van Eurocode 7 te worden gebruikt, voor zover van toepassing.

Tabel 19.3 Kademuren, gewichts- en L-muren: geotechnische risico's en gevolgen.

Geotechnisch risico	Gevolgen
Overschrijding draagkracht ondergrond	Grote deformaties kade en terrein
Afglijden over de onderzijde kantelen	Grote deformaties terrein
Bishop glijvlak ontstaat	Grote deformaties
Piping of lekkage	Ontgrondingen
Bemalingsdebiet bouwkuip te hoog	In de bouwfase: schade aan belendingen, leidingen etc Overschrijding bemalingsvergunning



In tabel 19.4 is aangegeven per bezwijkmechanisme welke onderzoeksmethode kan worden toegepast om de noodzakelijke parameters te bepalen en tevens op welke locatie dat moet gebeuren

Tabel 19.4 Kademuren, gewichts- en L-muren: relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Locatie	Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	grondonderzoek
Lijn van de kade	Overschrijding draagkracht ondergrond	Te weinig informatie over ondergrond	Sonderingen, boringen met triaxiaalproeven in de lijn van de kade
Lijn van de kade	Afglijden over de onderzijde	Te weinig informatie over ondergrond	Sonderingen, boringen met triaxiaalproeven
Lijn van de kade	Kantelen	Te weinig informatie over ondergrond	Sonderingen, boringen met triaxiaalproeven
Lijn van de kade	Glijvlak Bishop ontstaat	Te weinig informatie over ondergrond	Boringen met triaxiaalproeven
Lijn van de kade	Piping	Te groot waterdrukverschil tussen voor- en achterzijde kade	Sonderingen
Achterterrein buitenwater	Bemalingsdebiet bouwkuip te hoog	Doorlatendheid grond onjuist ingeschat	Peilbuizen (incl. waarnemingen), boringen, Falling head test in veld

Hoofdstuk 20

Leidingen

20.1 Inleiding

Voor transport van energie, water en communicatie zijn kabels en leidingen nodig. Ook het transport van aardolie, gas en andere stoffen loopt vaak via buisleidingen.

Transport geschiedt in Nederland steeds vaker via ondergrondse leidingsystemen in plaats van bovengronds, omdat de ruimte boven maaiveld steeds schaarser wordt.

Voor de aanleg van leidinginfrastructuur zijn meerdere aanlegmethoden mogelijk, onder andere afhankelijk van de projectlocatie, type leiding, eisen van vergunningverleners en het beschikbare budget. De aanlegmethoden die hier in beschouwing worden genomen zijn:

- Aanleg in open sleuf;
- Aanleg door middel van een horizontaal gestuurde boring;
- Aanleg met behulp van micro tunneling;
- Aanleg door pneumatische boortechniek.

Er wordt steeds vaker gekozen voor de 3 laatstgenoemde methoden, die vallen onder de noemer sleufloze technieken. Hierbij hoeft namelijk geen open ontgraving te worden gemaakt om de leiding aan te leggen. De technieken worden hieronder kort uitgelegd.

20.1.1 Open sleuf

Voor de aanleg van de leiding in een open sleuf is voldoende ruimte boven maaiveld nodig.

Het graven van de sleuf kan plaatsvinden met behulp van natuurlijke taluds, waarbij goed onderzocht moet worden of de stabiliteit van het talud voldoende gewaarborgd is. Te allen tijde moet voorkomen worden dat het talud afschuift en de veilige werksituatie in gevaar brengt. Indien (meestal door beperkte ruimte) de taluds te steil worden, kunnen grondkerende constructies in de sleuf worden toegepast ter vergroting van de sleufstabiliteit. Dit kan op meerdere manieren, bijvoorbeeld door middel van een sleufbekisting. Hierbij worden houten of stalen platen tegen de sleufwand geplaatst en voorzien van een stempeling. Ook kunnen damwanden (indien nodig met stempeling) toegepast worden. Vaak moet in Nederland een bemalingssysteem worden toegepast om de sleuf droog te kunnen zetten of om de stijghoogte onder de sleuf te verlagen, zodat respectievelijk in den droge gewerkt kan worden en er geen opbarsten van de sleufbodem plaatsvindt. Bemaling kan negatieve gevolgen hebben voor de omgeving in de vorm van verdroging of het optreden van zettingen.

20.1.2 Horizontaal gestuurde boring

Een horizontaal gestuurde boring wordt in het Engels een Horizontal Directional Drilling (HDD) genoemd en is de meest toegepaste sleufloze techniek. Voor een horizontaal gestuurde boring zijn een boorstelling en een scheidingsinstallatie voor de boorvloeistof



benodigd. Een HDD is, zoals de naam al aangeeft, goed bestuurbaar en de positie van de boorkop kan vrijwel continu worden bepaald.

Met behulp van een boorstelling wordt vanaf maaiveld bij het intredepunt, onder een vooraf bepaalde hoek, een zogenoemde pilotboring gemaakt. Met behulp van boorbuizen wordt de boorkop de grond ingeduwd. De boorbuizen worden door middel van schroefkoppelingen onderling verbonden tot een boorstreng. De boorkop bevat een stuurslof waarmee de boorkop in de gewenste richting gestuurd kan worden door de stuurslof in een bepaalde stand te zetten.

In de boorkop bevinden zich "nozzles" met een diameter van enkele millimeters, waar onder een bepaalde druk de boorvloeistof (vaak een mengsel van water en bentoniet) uitstroomt. De precieze samenstelling van de boorvloeistof kan per boring verschillend zijn. Dit is afhankelijk van de grondsoort en de grondwaterkwaliteit. De boorvloeistof wordt via de pilotbuis naar de boorkop getransporteerd. De boorvloeistof heeft de volgende functies:

- afvoeren van de losgeboorde grond;
- zorgen dat het boorgat stabiel blijft;
- vormen van een "filtercake" aan de rand van het boorgat om te zorgen dat er geen vloeistof de grond rondom het boorgat instroomt;
- smeermiddel bij het intrekken van de productleiding.

De losgesneden grond wordt gemengd met de boorvloeistof en afgevoerd via het boorgat. Hiervoor moet de boorvloeistofdruk ter plaatse van de boorkop groot genoeg zijn om de vloeistof naar maaiveld te laten stromen, waar het naar de scheidingsinstallatie getransporteerd wordt. Hier wordt de losgeboorde grond gescheiden van de bentoniet, zodat de boorvloeistof weer hergebruikt kan worden. De minimaal benodigde boorvloeistofdruk om de losgeboorde grond af te kunnen voeren mag niet hoger worden dan de maximaal toelaatbare boorvloeistofdruk. De maximaal toelaatbare boorvloeistofdruk is afhankelijk van de gronddekking en de sterkte van het grondmateriaal boven het boorgat.

Als de pilotboring de eerste verticale bocht heeft voltooid volgt er op de maximale diepte meestal een gedeelte waar de boring horizontaal loopt. Vervolgens loopt de pilotboring weer via een bocht naar maaiveld naar het uittredepunt. Het is overigens ook mogelijk om horizontale bochten toe te passen, combinaties van verticale en horizontale bochten komen ook voor. Als de boorkop het uittredepunt bereikt heeft is de pilotboring voltooid en begint de ruimoperatie, waarbij het kleine boorgat uit de pilotboring wordt vergroot. Er kunnen een of meerdere ruimgangen worden toegepast voordat het boorgat groot genoeg is en de uiteindelijke productbuis wordt ingetrokken. Bij het uittredepunt wordt aan het uiteinde van de pilotbuis een ruimer geïnstalleerd en de ruimer wordt teruggetrokken het boorgat in. Ruimers zijn beschikbaar in verschillende typen, afhankelijk van de grondslag. Op de ruimers bevinden zich de nozzles waar de boorvloeistof uit stroomt. De ruimer is tevens voorzien van messen, kammen en tanden. Langs de buitenzijde van de boorstreng wordt de grond afgevoerd door de boorvloeistof.

Als het boorgat de vereiste diameter heeft wordt vanaf het uittredepunt de productleiding met een hierop aangebrachte trekkop achter een barretruimer gekoppeld met behulp van

een zogenoemde "swivel". Deze zorgt ervoor dat de leiding niet meedraait met de draaiende pilotbuis. De diameter van het boorgat moet groter zijn dan de diameter van de productleiding. Het boorgat blijft geheel gevuld met boorvloeistof die als smeermiddel dient, zodat de wrijving tussen grond en leiding lager is en de trekkracht vermindert. In het ontwerpproces moeten de maximale trekkrachten op de productbuis bepaald worden.

20.2 Microtunneling

Een andere sleufloze techniek is microtunneling. Deze techniek wordt gebruikt om leidingen met grotere diameters aan te leggen. Ook kunnen zogenaamde leidingentunnels worden aangelegd met diameters van ca. 3 m.

Bij microtunneling wordt een leiding aangelegd tussen een start- en een ontvangstuip. De start- en ontvangstuip worden vaak door middel van ontgraving tussen damwanden gerealiseerd. Op enkele meters beneden maaiveld wordt in de kuip een werkvloer aangelegd. Afhankelijk van de grondwatercondities kan deze werkvloer door middel van onderwaterbeton worden aangelegd.

Vanuit de startkuip die ook wel ontvangstuip wordt genoemd, wordt de microtunneling machine door de damwand gevoerd. Om lekkage bij doorvoering te vermijden wordt vaak een voorkuip met een dichtblok gebruikt. Ook wordt als extra beveiliging tegen lekkage een rubber manchet toegepast. De micro tunnelingmachine wordt door vijzels op een frame in de perskuip de grond ingedrukt. Als de boormachine ver genoeg de grond in is gedrukt worden de vijzels teruggetrokken en wordt een buis c.q. leidingelement geplaatst deze wordt weer de grond ingedrukt. Dit proces herhaalt zich totdat de boormachine de ontvangstuip bereikt heeft. Tijdens het boorproces wordt smeervloeistof (mengsel van bentoniet en water) tussen de buitenkant van de buizen en de boorgatwand geïnjecteerd om de wrijvingsweerstand te verminderen. Als de wrijvingsweerstand toch te groot wordt en daardoor de maximale perskracht wordt overschreden, kan een tussenstation worden geplaatst.

De boormachine is aan de voorzijde voorzien van een snijrad. Als de boormachine de grond in wordt gedrukt, snijdt de boorkop de grond af waarna de grond in de boorkamer gemengd wordt en naar de perskuip wordt afgevoerd.

De boormachine kan voorzien zijn van verschillende soorten schilden:

- Vloeistofschild:

Dit type schild is voornamelijk geschikt voor niet-cohesieve gronden. Tussen het waterdichte boorschild en het boorfront wordt boorvloeistof onder druk aangebracht om het boorfront stabiel te houden. De boorvloeistofdruk die tijdens het boren wordt toegepast is afhankelijk van de heersende gronddruk en waterdruk. Om een blow out te voorkomen mag de boorvloeistofdruk niet te hoog zijn. De boorvloeistofdruk mag echter ook niet te laag zijn. Dan wordt het boorfront instabiel en stroomt de grond de boorkamer in, zodat aan het maaiveld nazakken optreedt. Het snijrad boort de grond los en de grond mengt zich met de vloeistof. Het grond-vloeistofmengsel komt in de boorkamer terecht en wordt vervolgens via een leidingsysteem naar de scheidingsinstallatie gepompt. Grond en boorvloeistof worden gescheiden en de vloeistof wordt weer hergebruikt.

- Gronddrukbalansschild:
Dit type schild is over het algemeen geschikt voor cohesieve gronden. De grond wordt losgesneden door het snijrad van het waterdichte boorschild. De grond tussen het boorschild en het boorfront wordt gekneet tot een plastische massa met behulp van het snijrad. Deze plastisch vervormde grond wordt als steunmiddel gebruikt om het boorfront stabiel te houden. De steundruk wordt gereguleerd door een beheerste afvoer van de grond en de voortgangssnelheid van het boorschild. De grond wordt vanuit de boorkamer naar de mengkamer gebracht waar het, afhankelijk van de manier van afvoeren, gereed gemaakt voor het transport naar de perskuip. Indien de grond droog wordt afgevoerd wordt het met behulp van een avegaarboor uit de mengkamer verwijderd en vervolgens via een mechanisch transportmedium (bijvoorbeeld een transportband) naar de perskuip getransporteerd. Bij een afvoer van natte grond wordt de grond in de mengkamer verdund met een vloeistof en vervolgens via een pompsysteem naar de perskuip getransporteerd.

De besturing van de boormachine geschiedt door middel van hydraulische vijzels tussen boorschild en achterzijde van de boormachine, die afzonderlijk van elkaar kunnen bewegen. De plaatsbepaling van de boorkop geschiedt met behulp van lasertechniek en er kan in alle richtingen worden gestuurd. Bij bochten in het boortrace moet echter wel een minimale bochtstraal in acht worden genomen, omdat anders de perskrachten niet meer gelijkmatig over de buiselementen verdeeld kunnen worden. Hierdoor krijgen de buiselementen een te hoge puntlast op de buisrand te verdragen waardoor deze kan bezwijken.

20.2.1 Pneumatische boortechniek

Bij de pneumatische boortechniek wordt de leiding door middel van een horizontaal heiblok de grond ingebracht. Deze techniek is niet bestuurbaar.

Voor het horizontaal inheien van de leiding wordt gebruik gemaakt van een bodempers-raket. Deze raket bestaat uit een stalen cilinder in de vorm van een torpedo waarin een pneumatische zuiger zit. De zuiger slaat met kracht tegen een aambeeld voorin de cilinder. Bij elke slag bewegen cilinder en raket in voorwaartse richting. Na elke slag wordt de zuiger weer teruggetrokken en wordt het proces herhaald. Tijdens de achterwaartse beweging van de zuiger blijft de raket op zijn plaats door de wrijving tussen grond en cilinder. Er zijn 2 soorten pneumatische boortechnieken:

- Impact ramming:
Bij impact ramming wordt de raket achter de in te brengen productleiding geplaatst, zodat de raket de leiding voor zich uit de grond inheint. Over het algemeen is de leiding aan de voorzijde open. Deze techniek kan daarom alleen boven het grondwater worden toegepast. Het grondwater kan tijdelijk worden verlaagd door een bemaling toe te passen. Na het inbrengen van de leiding in de grond wordt dan de grond uit de leiding verwijderd. In sommige gevallen bij kleinere buisdiameters is de leiding gesloten en wordt dan grondverdringend aangebracht. Er is dan wel gevaar voor oppersing van grond.
De productleiding kan in zijn geheel of in gekoppelde elementen worden ingebracht. Als de leiding met gekoppelde elementen wordt ingebracht moet de raket steeds worden afgekoppeld en achter het nieuw te plaatsen buiselement geplaatst worden. Als er obstakels in de ondergrond ter hoogte van het boortrace aanwezig zijn kan deze methode niet worden toegepast.

- Impact moling:

Bij deze techniek wordt de raket, in tegenstelling tot impact ramming, aan de voorzijde van de productleiding geplaatst. Hierdoor is de methode altijd grondverdringend en wordt daarom alleen bij kleine diameters toegepast. Als obstakels in de ondergrond worden verwacht kan de techniek ook worden gebruikt om voor te boren. Een persluchthamer is daarvoor het meest geschikt.

Als de productleiding uit een trekvast materiaal bestaat kan de raket gewoon aan de voorzijde bevestigd worden. Als de productleiding niet trekvast is wordt de raket aan de achterzijde bevestigd. De leiding wordt dan als het ware achter de raket aangeduwd. De impact moling techniek is zeer beperkt bestuurbaar en is in vergelijking met impact ramming gevoeliger voor afwijkingen maar dringt eenvoudiger door obstakels heen.

De pneumatische boortechniek is geschikt voor kleinere kruisingen, maar minder geschikt voor een grotere kruising van leidinginfrastructuur met bijvoorbeeld snelwegen of waterwegen of andere grote infrastructurele werken.

20.3 Normen en richtlijnen

Eisen met betrekking tot de dimensionering van een open sleuf zijn terug te vinden in NEN 9997-1:2011. Voor het leidingtracé van een met een HDD of microtunneling aan te leggen leiding gelden verschillende eisen. Voor kruisingen met infrastructuur, waterwegen en obstakels zijn dekkingseisen opgenomen in NEN 3650/3651:2012.

20.4 Risico-inventarisatie

Om gericht en efficiënt grondonderzoek uit te kunnen voeren moet bekend zijn welke risico's of onzekerheden men door middel van het grondonderzoek probeert te reduceren. De systematiek om te komen tot deze risico's of onzekerheden is vermeld in hoofdstuk 3.

Voor de aanleg van een leidinginfrastructuur bestaat een aantal risico's die in hoge mate generiek zijn, ongeacht de projectlocatie. Aan deze risico's zal dus in elk grondonderzoek aandacht moeten worden besteed. In onderstaande tabel zijn deze risico's samengevat en wordt de link naar grondonderzoek gelegd.

Voor alle leidinginfrastructuur projecten geldt dat de risico's zijn op te splitsen in risico's tijdens de *uitvoering* en risico's voor de *kwaliteit van het product* (de leiding). Dit is van belang voor het bewust risicogestuurd ontwerpen van zowel de uitvoering en het product zelf. Zo is het de vraag of iedere opdrachtgever/vergunningverlener invloed moet uitoefenen op risico's voor de uitvoering als dit de korte en lange termijn kwaliteit van het geleverde werk niet beïnvloedt.

Tabel 20.1 Leidingen: geotechnische risico's en gevolgen.

Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Gevolg
Open sleuf	Talud sleufwand te steil	Taludinstabiliteit, inkalven/ bezwijken talud
	Onzorgvuldig aanbrengen zand-fundering voor leiding	"Golvend" leidingtracé, verhang van leiding niet volgens ontwerpisen
	Te hoge belasting langs de sleuf	Taludinstabiliteit, inkalven/ bezwijken talud
	Grote stijghoogte watervoerende laag/ onvoldoende gewicht onder de sleufbodem	Opbarsten bouwputbodem
	Onvoldoende verdichting aanvulgrond	Zakking aan maaiveld en grotere belasting op leiding
	Grond rondom sleuf slecht doorlatend	Badkuipeffect (water kan niet wegstromen, verwerking bij verdichting van zandlagen)
	Aanvulgrond zwaarder dan uitkomende grond	Samendrukken (slappe) grondlagen onder sleuf
	Onvoldoende verdichtingscontrole	Maaiveldzakking
	Onvoldoende bemaling	Inkalven van talud door uitstromend water
HDD	Boorgatinstabiliteit	Vastlopen pilotboring, ruimoperatie of van de product-leiding bij intrekken
	Boorvloeistofdruk te hoog	Blow out tot maaiveld
	Minimaal benodigde boorvloeistofdruk te hoog	Boring niet mogelijk zonder blowout
	Obstakels in de ondergrond	Vastlopen pilot of ruimer, slijtage aan boorgereedschap, uitknikken pilot, coating beschadiging
	Zout/brak/zuur grondwater	Degeneratie boorspoeling
	Stijghoogte watervoerende laag ligt (ruim) boven maaiveld	Kwel langs de leiding, uitstromen van boorvloeistof
	Overgang van slappe naar dichtgepakte laag	Afwijking pilotboring van het geplande leidingtracé
	Voorkomen slappe lagen	Onvoldoende drukopbouw voor retourstroom, boorgatinstabiliteit
	Aanwezigheid magnetische en/of elektrische objecten	Plaatsbepalingsproblemen
	Aanwezigheid grindlagen	Slijtage boorgereedschap, vastlopen pilot/ruimer, uitstromen boorvloeistof en boorgatinstabiliteit
	Aanwezigheid losgepakte zanden	Boorgatinstabiliteit
	Aanwezigheid poreuze formaties	Uitstromen boorvloeistof uit boorgat
Microtunneling	Obstakels in de ondergrond	Vastlopen boormachine coating beschadiging
	Abrubte overgang grondgesteldheid (bijv cunet)	Bezwijken boorfront, vastlopen en instorting / zetting aan maaiveld.
	Te krappe bochtstraal of onregelmatig boorgat	Schade aan buizen ter plaatse van te grote puntlast
	Grote stijghoogte watervoerende laag/ onvoldoende gewicht bouwputbodem	Opbarsten bouwputbodem
	Te lichte damwandconstructie	Onvoldoende kunnen opbouwen van perskracht
	Zout/brak/zuur grondwater	Degeneratie boorvloeistof en smeervloeistof
	Losgepakte zandlagen	Vastlopen van de boormachine
	Lekkage bij kuipen	Naar binnen vloeien van grond en water resulterend in ontgronding
	Te hoge perskracht	Vastlopen van buizen
Pneumatische techniek	Obstakels in de ondergrond	Vastlopen leiding of beschadiging coating
	Te hoge grondwaterstand	Ontgronding door naar binnen vloeien grond
	Overgang van slappe naar dichtgepakte laag	Afwijking van het geplande leidingtracé

Tabel 20.2 Leidingen: Relatie geotechnische risico's en grondonderzoek.

Constructieonderdeel	Geotechnisch risico	Oorzaak	Grondonderzoek
Open sleuf	Taludinstabiliteit, inkalven / bezwijken talud	Talud sleufwand te steil	Archiefonderzoek Sonderingen met water-spanningsmeting Boringen Classificatie Samendrukkingsproeven Peilbuizen (+waarnemen) Standaard lozingenpakket
	"Golvend" leidingtracé, verhang van leiding niet volgens ontwerpisen	Onzorgvuldig aanbrengen zandfundering voor leiding	
	Taludinstabiliteit, inkalven/ bezwijken talud	Te hoge belasting langs de sleuf	
	Opbarsten bouwputbodem	Grote stijghoogte watervoerende laag/ onvoldoende gewicht onder de sleufbodem	
	Zakking aan maaiveld en grotere belasting op leiding	Onvoldoende verdichting aanvulgrond	
	Badkuipeffect (water kan niet wegstromen, verweking bij verdichting van zandlagen)	Grond rondom sleuf slecht doorlatend	
	Samendrukken (slappe) grondlagen onder sleuf	Aanvulgrond zwaarder dan uitkomende grond	
	Maaiveldzakking	Onvoldoende verdichtingscontrole	
	Inkalven van talud door uitstromend water	Onvoldoende bemaling	
HDD	Vastlopen pilotboring, ruimoperatie of van de productleiding bij intrekken	Boorgatinstabiliteit	Archiefonderzoek Sonderingen Boringen Triaxiaalproeven Classificatie, korrelverdeling en Atterbergse grenzen Peilbuizen (+waarnemen) Standaard lozingenpakket
	Blow out tot maaiveld	Boorvloeistofdruk te hoog	
	Boring niet mogelijk zonder blowout	Minimaal benodigde boorvloeistof druk te hoog	
	Vastlopen pilot of ruimer, slijtage aan boorgereedschap, uitknikken pilot, coating beschadiging	Obstakels in de ondergrond	
	Degeneratie boorspoeling	Zout/brak/zuur grondwater	
	Kwel langs de leiding, Uitstromen van boorvloeistof	Stijghoogte watervoerende laag ligt (ruim) boven maaiveld	
	Afwijking pilotboring van het geplande leidingtracé	Overgang van slappe naar dichtgepakte laag	
	Onvoldoende drukopbouw voor retourstroom, boorgatinstabiliteit	Voorkomen slappe lagen	
	Plaatsbepalingsproblemen	Aanwezigheid magnetische en/of elektrische objecten	
	Slijtage boorgereedschap, vastlopen pilot/ruimer, uitstromen boorvloeistof en boorgatinstabiliteit	Aanwezigheid grindlagen	
	Boorgatinstabiliteit	Aanwezigheid losgepakte zanden	
	Uitstromen boorvloeistof uit boorgat	Aanwezigheid poreuze formaties	



Constructie-onderdeel	Geotechnisch risico	Oorzaak	Grondonderzoek
Microtunneling	Vastlopen boormachine coating beschadiging	Obstakels in de ondergrond	Archiefonderzoek Sonderingen Boringen Peilbuizen (+waarnemen) Classificatie en korrelverdeling Triaxiaalproeven Samendrukkingsproeven Standaard lozingenpakket
	Bezwijken boorfront, vastlopen en instorting/zetting aan maaiveld.	Abrupte overgang grondgesteldheid (bijv cunet)	
	Schade aan buizen ter plaatse van te grote puntlast	Te krappe bochtstraal of onregelmatig boorgat	
	Opbarsten bouwputbodem	Grote stijghoogte watervoerende laag/ onvoldoende gewicht bouwputbodem	
	Onvoldoende kunnen opbouwen van perskracht	Te lichte damwandconstructie	
	Degeneratie boorvloeistof en smeervloeistof	Zout/brak/zuur grondwater	
	Vastlopen van de boormachine	Losgepakte zandlagen	
	Naar binnen vloeien van grond en water resulterend in ontgroning	Lekkage bij kuipen	
	Vastlopen van buizentrein	Te hoge perskracht	
	Pneumatische technieken	Vastlopen leiding of beschadiging coating	
Ontgroning door naar binnen vloeien grond		Te hoge grondwaterstand	
Afwijking van het geplande leidingtracé		Overgang van slappe naar dichtgepakte laag	

Literatuur

Toelichting gebruik Eurocodes en normen

In deze rapportage wordt verwezen naar voor Nederland momenteel van toepassing zijnde normen. Met het vanaf 1 april 2012 van kracht worden van het bouwbesluit 2012, dienen in Nederland de Eurocodes te worden toegepast en zijn vele oudere NEN normen vervallen. Verwijzingen in dit rapport zijn hierop ten opzichte van de eerdere versie aangepast. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de nieuwe Eurocodes en de daardoor vervangen normen en richtlijnen.

Verband vroegere en vigerende geotechnische normen:

Europese normen NEN-EN	Vroegere normen en richtlijnen
NEN-EN 1990	NEN 6700
NEN-EN 1990 en NEN-EN 1991	NEN 6702
NEN 9997-1:2011 +C1:2012	NEN 6740, 6743-1, 6744
NEN 9997-1:2011+C1:2012	stappenplan CUR 166
NEN 9997-1:2011+C1:2012	stappenplan CUR 2001-4
NEN-EN-ISO 22477-1 + NEN 9997-1	NEN 6745-1
NEN-EN-ISO 22475-1:2006	NEN 5119 en NEN 5120

Opgemerkt wordt dat NEN 9997-1:2011 een samenvoeging is van NEN-EN 1997-1 (Eurocode 7), de Nationale Bijlage (/NB) en NEN 9097-1, de norm met aanvullende bepalingen voor het geotechnisch ontwerp. In NEN 9097-1 zijn al die zaken opgenomen die eerder waren opgenomen in de geotechnische normen (NEN 6740-serie) en die in de Eurocode slechts summier zijn beschreven. Veelal gaat het om de gedetailleerde formules om geotechnische berekeningen uit te voeren. Ook opgenomen in NEN 9997-1 zijn:

- het stappenplan voor de berekening van damwandconstructies volgens CUR-publicatie 166
- het stappenplan voor de berekening van de trekweerstand van palen volgens CUR-publicatie 2001-4.

Tenslotte wordt vermeld dat in deze rapportage ook verwijzingen voorkomen naar buitenlandse, niet in Nederland van toepassing zijnde normen. Dit betreft niet noodzakelijkerwijs vigerende normen. Deze verwijzingen betreffen derhalve ook geen voor Nederland bindende voorschriften, maar zijn bedoeld als informatiebronnen, vergelijkbaar met andere literatuur.

Normen en richtlijnen

NEN 5104:1989 nl (incl. Correctie /C1:1990) Classificatie van onverharde grondmonsters
 NEN 5106:1991 nl (incl. Aanvulling /A1:1997) Geotechniek - Bepaling van ongedraineerde schuifsterkte - Terrein-vinproef
 NEN 5107:1990 nl (incl. Correctie /C1:1991); Geotechniek - Standaard penetratieproef (SPT)
 NEN 5117:1991 nl (incl. Aanvulling /A1:1997) Geotechniek - Bepaling van de schuifweerstand- en vervormingsparameters van grond – Triaxiaalproef
 NEN 5118:1991 nl; (incl. Aanvulling /A1:1997) Geotechniek - Bepaling van de een-dimensionale samendrukkingseigenschappen van de grond



NEN 5140:1996 nl; Geotechniek - Bepaling van de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand van grond - Elektrische sondeermethode

NEN 9997-1+C1:2012 nl; Geotechnisch ontwerp van constructies; Samenstelling van NEN-EN 1997-1, NEN-EN 1997-1/NB Nationale bijlage en NEN 9097-1 Aanvullingsnorm bij NEN-EN 1997-1

NEN-EN 1997-1:2005 nl; Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels

NEN-EN 1997-2:2007en (incl. correctie /C1:2010); Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp - Deel 2: Grondonderzoek en beproeving

NEN-EN 1997-1:2005/NB:2008 nl: Nationale bijlage bij NEN-EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels

NPR-CEN-ISO/TS 17892-10:2004 en; Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 10: Directe afschuifproef

NEN-EN-ISO 14688-1:2003 en Identificatie en classificatie van bodem - Deel 1: Identificatie en beschrijving

NEN-EN-ISO 14688-2:2004 en: Geotechnisch onderzoek en beproeving - Identificatie en classificatie van grond - Deel 2: Grondslagen voor een classificatie

NEN-EN-ISO 22475-1:2006 nl (incl. Correctie /C11:2010): Geotechnisch onderzoek en beproeving - Methoden voor monsterneming en grondwatermeting - Deel 1: Technische grondslagen voor de uitvoering

BS 5930:1999 "Code of practice for site investigations." Available from: BSI British Standards Institute ISBN 0 580 33059 1

BS 1377-1:1990; Methods of test for soils for civil engineering purposes. General requirements and sample preparation

OVS00030-6, Aanvullingen en wijzigingen op NEN normen, nov. 2009

OVS00056-7.1 Ontwerpvoorschrift "Baanlichaam en geotechniek", d.d. 24-07-2006, v-002

ROK Richtlijn Ontwerp Kunstwerken, RWS def.16-12-2011

SATO (Specifieke Aspecten Tunnel Ontwerp), deel 1 – Algemeen, 2005

SATO (Specifieke Aspecten Tunnel Ontwerp), deel 3 – Bouwmethoden, 2005

SATO (Specifieke Aspecten Tunnel Ontwerp), deel 4 – Berekeningsmethoden, 2005

ARTO (Algemene Richtlijn Tunnel Ontwerp), december 1998

Uniforme administratieve voorwaarden voor de uitvoering van werken 1989 (UAV 1989) zie: <http://www.bouwendnederland.nl/web/modellen/bouwenaanbesteding/uav/pages/default.aspx>

Uniforme Administratieve Voorwaarden voor geïntegreerde contractvormen 2005 (UAVgc 2005) zie: <http://www.uavgc.nl/>

Standaard RAW Bepalingen 2010, een dynamisch stelsel van juridische, administratieve en technische voorwaarden voor het samenstellen van bouwcontracten in de gww; ISBN: 9789066285675

Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Häfen und Wasserstraßen EAU 2012. Ernst & Sohn, Berlin, 2012.

Overige literatuurverwijzingen

1. Risicomanagement voor projecten/ Project Risk Management (Nederlands/Engels), D. van Well-Stam, F.Lindenaar, S. van Kinderen, B. van den Bunt, 2008/2004
2. CUR-rapport 2003-7, Bepaling geotechnische parameters, okt. 2003
3. <http://www.risman.nl/risicoanalyse/risicoanalyse.htm>

4. Martin van Staveren, Paul Litjens: 'GeoRM: Risicogestuurd werken als eindresultaat van Geo-Impuls' GeoTechniek Juli 2012
5. MIRT (Meerjarenprogramma Infrastructuur en Transport) zie:
<http://mirt2010.mirtprojectenboek.nl/>
6. CUR-Aanbeveling 105 "RisicoVerdeling-GeoTechniek (RV-G)" 2006
7. "Guidelines for Good Practice in Site Investigation", The Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS), UK, zie
<http://www.ags.org.uk/site/clientguides/clientguides.cfm>
8. CUR-rapport 162 "Construeren met grond", 1993
9. CUR-Aanbeveling 114 "Toezicht op de realisatie van paalfunderingen" 2009
10. CUR-rapport 221 Handboek Folieconstructies, 2009
11. CUR-rapport 166 Handboek Damwandconstructies, zesde, gewijzigde druk, 2012
12. CUR-rapport 223 Richtlijn meten en monitoren van bouwputten, 2010
13. Hydraulic Fill Manual, CUR/CIRIA – Taylor and Francis, 2012
14. CUR-rapport 231 Handboek Diepwanden, 2011
15. CUR-Aanbeveling 77, Rekenregels ongewapende onderwater betonvloeren
16. CUR-rapport 236 "Ankerpalen" nov. 2011



Kernboren bij bodemverbetering voor boortunnel metro Randstadrail, St. Franciscus Driehoek Rotterdam.





247

Richtlijn risicogestuurd grondonderzoek

van planfase tot realisatie

Bijlagen

**Inhoud bijlagen**

1	Bouwrijpmaken	116
1.1	Detailniveau: zeer grof (Schets- of Initiatieffase).....	116
1.1.1	Omschrijving.....	116
1.1.2	Berekeningen.....	116
1.1.3	Typen grondonderzoek.....	116
1.1.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	117
1.2	Detailniveau: grof (Voorontwerp).....	118
1.2.1	Omschrijving.....	118
1.2.2	Berekeningen.....	118
1.2.3	Typen grondonderzoek.....	119
1.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	120
1.3	Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp).....	121
1.3.1	Omschrijving.....	121
1.3.2	Berekeningen.....	122
1.3.3	Typen grondonderzoek.....	122
1.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	122
1.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek.....	122
2	Lijninfra	124
2.1	Detailniveau: zeer grof (Schets- of Initiatieffase).....	124
2.1.1	Omschrijving.....	124
2.1.2	Berekeningen.....	124
2.1.3	Typen grondonderzoek.....	124
2.1.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	125
2.2	Detailniveau: grof (Voorontwerp).....	125
2.2.1	Omschrijving.....	125
2.2.2	Berekeningen.....	126
2.2.3	Typen grondonderzoek.....	126
2.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	126
2.3	Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp).....	127
2.3.1	Omschrijving.....	127
2.3.2	Berekeningen.....	128
2.3.3	Typen grondonderzoek.....	128
2.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	128
2.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek.....	128
3	Kleine kunstwerken	130
3.1	Detailniveau: zeer grof (Schets- of Initiatieffase).....	130
3.1.1	Omschrijving.....	130
3.1.2	Berekeningen.....	130
3.1.3	Typen grondonderzoek.....	130
3.1.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	131
3.2	Detailniveau: grof (Voorontwerp).....	131
3.2.1	Omschrijving.....	131
3.2.2	Berekeningen.....	131
3.2.3	Typen grondonderzoek.....	131
3.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	131
3.3	Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp).....	132
3.3.1	Omschrijving.....	132
3.3.2	Berekeningen.....	133
3.3.3	Typen grondonderzoek.....	133
3.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	133
3.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek.....	133
4	Bruggen en viaducten	135
4.1	Detailniveau: zeer grof (schets- of initiatieffase).....	135
4.1.1	Omschrijving.....	135
4.1.2	Berekeningen.....	135

4.2	Detailniveau: grof (voorontwerp).....	137
4.2.1	Omschrijving.....	137
4.2.2	Berekeningen.....	137
4.2.3	Typen grondonderzoek.....	137
4.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	138
4.3	Detailniveau: fijn (definitief ontwerp).....	141
4.3.1	Omschrijving.....	141
4.3.2	Berekeningen.....	142
4.3.3	Typen grondonderzoek.....	142
4.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	142
4.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek.....	143
4.5	Bijzondere situaties.....	144
4.5.1	Onderdoorgang.....	144
4.5.2	Overgangsconstructie.....	144
4.6	Bijzondere situaties.....	144
5	Overlaten	145
5.1	Detailniveau: zeer grof (schets-of initiatieffase).....	145
5.1.1	Omschrijving.....	145
5.1.2	Berekeningen.....	145
5.1.3	Typen grondonderzoek.....	145
5.1.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	146
5.2	Detailniveau: grof (Voorontwerp).....	146
5.2.1	Omschrijving.....	146
5.2.2	Berekeningen.....	146
5.2.3	Typen grondonderzoek.....	146
5.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	147
5.3	Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp).....	148
5.3.1	Omschrijving.....	148
5.3.2	Berekeningen.....	148
5.3.3	Typen grondonderzoek.....	148
5.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	148
5.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek.....	149
6	Sluizen	150
6.1	Detailniveau: zeer grof (schets-of initiatieffase).....	150
6.1.1	Omschrijving.....	150
6.1.2	Berekeningen.....	150
6.1.3	Typen grondonderzoek.....	150
6.1.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	151
6.2	Detailniveau: grof (Voorontwerp).....	151
6.2.1	Omschrijving.....	151
6.2.2	Berekeningen.....	151
6.2.3	Typen grondonderzoek.....	152
6.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	152
6.3	Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp).....	154
6.3.1	Omschrijving.....	154
6.3.2	Berekeningen.....	154
6.3.3	Typen grondonderzoek.....	154
6.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	154
6.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek.....	155
7	Tunnels en Aquaducten	156
7.1	Detailniveau: zeer grof (schets- of initiatieffase).....	156
7.1.1	Omschrijving.....	156
7.2	Berekeningen.....	156
7.2.1	Typen grondonderzoek.....	156
7.2.2	Hoeveelheid grondonderzoek.....	157
7.3	Detailniveau: grof (voorontwerp).....	157
7.3.1	Omschrijving.....	157
7.3.2	Berekeningen.....	157
7.3.3	Typen grondonderzoek.....	158
7.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek.....	158



7.4	Detailniveau: fijn (definitief ontwerp)	160
7.4.1	Omschrijving.....	160
7.4.2	Berekeningen.....	160
7.4.3	Typen grondonderzoek	160
7.4.4	Hoeveelheid grondonderzoek	160
7.5	Eisen aan uitvoering grondonderzoek	161
7.6	Bijzondere situaties	161
8	Polderconstructies	162
8.1	Detailniveau: zeer grof (Schets- of initiatiefase).....	162
8.1.1	Omschrijving.....	162
8.1.2	Typen berekeningen	162
8.1.3	Typen grondonderzoek	162
8.1.4	Hoeveelheid grondonderzoek	163
8.2	Detailniveau: grof (voorontwerp).....	163
8.2.1	Omschrijving.....	163
8.2.2	Typen berekeningen	163
8.2.3	Typen grondonderzoek	163
8.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek	164
8.3	Detailniveau: fijn (Definitief ontwerp)	165
8.3.1	Omschrijving.....	165
8.3.2	Typen berekeningen	165
8.3.3	Typen grondonderzoek	165
8.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek	166
8.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek	166
9	Bouwputten	168
9.1	Detailniveau: zeer grof (schets- of initiatiefase).....	168
9.1.1	Omschrijving.....	168
9.1.2	Berekeningen.....	168
9.1.3	Typen grondonderzoek	168
9.1.4	Hoeveelheid grondonderzoek	169
9.2	Detailniveau: grof (voorontwerp).....	169
9.2.1	Omschrijving.....	169
9.2.2	Berekeningen.....	169
9.2.3	Typen grondonderzoek	170
9.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek	170
9.3	Detailniveau: fijn (definitief ontwerp)	172
9.3.1	Omschrijving.....	172
9.3.2	Berekeningen.....	172
9.3.3	Typen grondonderzoek	172
9.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek	173
9.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek	173
9.5	Bijzondere situaties	173
10	Baggerwerken	174
10.1	Detailniveau: zeer grof (schets- of initiatiefase)	174
10.1.1	Omschrijving.....	174
10.1.2	Berekeningen.....	174
10.1.3	Typen grondonderzoek	174
10.1.4	Hoeveelheid grondonderzoek	176
10.2	Detailniveau: grof (Voorontwerp)	177
10.2.1	Omschrijving.....	177
10.2.2	Berekeningen.....	177
10.2.3	Typen grondonderzoek	179
10.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek	180
10.3	Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp).....	182
10.3.1	Omschrijving.....	182
10.3.2	Berekeningen.....	182
10.3.3	Typen grondonderzoek	183
10.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek	184
10.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek	184

11	Steigers	186
11.1	Detailniveau: zeer grof (schets-of initiatieffase)	186
11.1.1	Omschrijving.....	186
11.1.2	Berekeningen.....	186
11.1.3	Typen grondonderzoek	186
11.1.4	Hoeveelheid grondonderzoek	187
11.2	Detailniveau: grof (Voorontwerp)	187
11.2.1	Omschrijving.....	187
11.2.2	Berekeningen.....	187
11.2.3	Typen grondonderzoek	187
11.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek	188
11.3	Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp).....	189
11.3.1	Omschrijving.....	189
11.3.2	Berekeningen.....	189
11.3.3	Typen grondonderzoek	189
11.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek	189
11.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek	190
12	Kademuren	191
12.1	Detailniveau: zeer grof (schets-of initiatieffase)	191
12.1.1	Omschrijving.....	191
12.1.2	Berekeningen.....	191
12.1.3	Typen grondonderzoek	191
12.1.4	Hoeveelheid grondonderzoek	192
12.2	Detailniveau: grof (Voorontwerp)	192
12.2.1	Omschrijving.....	192
12.2.2	Berekeningen.....	192
12.2.3	Typen grondonderzoek	193
12.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek	193
12.3	Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp).....	194
12.3.1	Omschrijving.....	194
12.3.2	Berekeningen.....	194
12.3.3	Typen grondonderzoek	195
12.3.4	Hoeveelheid grondonderzoek	195
12.4	Eisen aan uitvoering grondonderzoek	195
13	Leidingen	196
13.1	Detailniveau grof (schets- of initiatieffase, voorontwerp).....	196
13.1.1	Omschrijving.....	196
13.1.2	Berekeningen.....	197
13.1.3	Typen grondonderzoek	197
13.2	Detailniveau fijn (definitief ontwerp)	198
13.2.1	Omschrijving.....	198
13.2.2	Berekeningen.....	198
13.2.3	Typen grondonderzoek	200
13.2.4	Hoeveelheid grondonderzoek	201
13.3	Eisen aan uitvoering grondonderzoek	204

Bijlage 1

Bouwrijpmaken

1.1 Detailniveau: zeer grof (Schets- of Initiatiefase)

1.1.1 Omschrijving

In deze fase is bijvoorbeeld de locatie van het bouwterrein nog niet definitief vastgelegd.

De opdrachtgever stelt de eisen ten aanzien van het ontwerpniveau, de terrein- en verkeersbelasting, restzetting en vlakheid en wijze van verharding van het aan te leggen terrein. Verder wijst hij de mogelijke locatie en afmetingen van het terrein aan.

De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een aanname voor de haalbaarheid van het project in tijd en geld (raming) mogelijk te maken. Hierbij is het van belang om inzicht te krijgen in de mogelijke risico's (tijd, geld) die van invloed kunnen zijn op het bouwrijp maken van het terrein.

1.1.2 Berekeningen

Wegens de beperkte hoeveelheid gegevens en grote keuzevrijheid kunnen hier alleen verkennende berekeningen worden gemaakt op basis van vuistregels en correlaties.

Hierbij kan men denken aan verkennende zettingsberekeningen op basis van sondeergrafieken in combinatie met ervaringsgetallen uit het gebied of Tabel 1 van NEN 9997-1.

1.1.3 Typen grondonderzoek

In deze fase is het van belang allereerst alle bestaande gegevens te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes.

Historisch onderzoek:

- Lucht- en satellietfoto's (Google Earth)
- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- Geologische kaartbladen TNO, raadplegen Landelijke kartering van de toplaag (geologie)
- Raadplegen DINOLoket (centrale toegangspoort tot Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) voor in het verleden uitgevoerd grondonderzoek.
- Historische informatie (vroegere bebouwing, oude landkaarten, funderingstekeningen nabij gelegen belendingen e.d.), gemeentearchief, het Nationaal Archief, e.d.
- Voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten naburige werken
- Voor zover beschikbaar: monitoringsdata (zetting, zanddikte) naburige werken

Aanvullend onderzoek dient minimaal te bestaan uit:

- Locatiebezoek (visuele inspectie locatie en directe omgeving)
- Sonderingen
- Boringen
- Peilbuizen

Historische informatie:

Aan de hand van historische topografische kaarten en luchtfoto's kunnen bijvoorbeeld oudere slootpatronen, die van invloed kunnen zijn op de te verwachten verschildzettingen, worden herkend. Indien het terrein vroeger bebouwd is geweest (met name in stedelijke omgeving) is belangrijk de vroegere fundering hiervan te kennen, i.v.m. nog aanwezige funderingresten of mogelijke kortsluiting tussen het diepere en ondiepe grondwater ten gevolge van het trekken van funderingspalen. Het goed in kaart brengen van obstakels in de ondergrond kan nuttig zijn bij het bepalen van de zettingen en het ontwerp van funderingen, maar ook ter bepaling van de haalbaarheid van het inbrengen van verticale drains. Ook kan het van belang zijn de funderingstekeningen van nabij gelegen (kwetsbare) belendingen te achterhalen om de invloed van de zandophoging hierop (toename horizontale belasting op funderingspalen) te bepalen.

In toenemende mate wordt historische informatie beschikbaar gesteld via internet. De foto-archieven van veel gemeenten zijn in te zien op internet. Veel historische informatie zoals oude landkaarten en luchtfoto's zijn te vinden op www.watwaswaar.nl. Daarnaast is er uiteraard de mogelijkheid om via papieren archieven (gemeentelijke archieven, Nationaal Archief e.d.) historische documenten (bouw - en funderingstekeningen) te achterhalen om tot een beter inzicht te komen omtrent de geschiedenis van het bouwrijp te maken gebied. Veelal is het nog niet mogelijk de tekeningen in te zien op internet maar is het al wel mogelijk een inventarisatie te maken van beschikbare relevante tekeningen alvorens naar een archief te gaan.

Lokatiebezoek ("walkover survey"):

Ook het uitvoeren van een visuele inspectie in de omgeving van het te maken werk kan veel informatie opleveren, wanneer deze door een geotechnisch ingenieur of ingenieursgeoloog wordt uitgevoerd. Reeds in de nabije omgeving bouwrijp gemaakte terreinen kunnen inzicht geven in de mogelijk te verwachten problematiek (o.a. verschil (rest)zettingen). Voorts kan bijvoorbeeld worden gelet op (de staat van) aangrenzende belendingen, kunstwerken of geologische kenmerken in het maaiveld (bv vegetatieverschillen, slootpatroon etc.).

1.1.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Uit de via archieven verkregen kennis van de ondergrond kan mogelijk worden opgemaakt welke variatie in de grondopbouw kan worden verwacht.

Geadviseerd wordt het grondonderzoek te starten met uitvoering van sonderingen. Voor een 'quick scan' op basis van ter plaatse uitgevoerd grondonderzoek kan het beste gebruik worden gemaakt van een grof grid, 1 sondering per $100 \times 100 = 10.000 \text{ m}^2$.

Om inzicht te krijgen in de stijghoogte in de verschillende grondlagen en een beter inzicht in de samenstelling van de slappe lagen dient een aantal sonderingen (>10 % van het totaal) met meting van de waterspanning worden uitgevoerd.

Als actuele archiefgegevens van de grondwaterstand ontbreken moeten peilbuizen worden geplaatst. De hart op hart afstand van deze waarnemingspunten is afhankelijk van het te verwachten verloop in de grondwaterstand, maar maximaal 500 m. De diepte waarop het filter wordt aangebracht kan worden bepaald uit de sonderingen met waterspanning. Ook kan ter oriëntatie de grondwaterstand zeer globaal worden bepaald tijdens het uitvoeren van een boring, maar bedacht dient te worden dat deze waterstand



sterk kan worden beïnvloed door de aanwezige grondsoort en bovendien slechts een momentopname is.

Meting van de grondwaterstand moet met een zodanige regelmaat worden uitgevoerd dat hieruit een representatieve stijghoogte kan worden bepaald. Hoe langer de meetreeks, des te betrouwbaarder de informatie wordt. Ook kunnen eventuele seizoensinvloeden worden bepaald. Gezien het belang van de grondwaterstand bij ontwerp van de waterhuishouding in het terrein wordt geadviseerd het bepalen van de grondwaterstand al in een vroeg stadium te laten beginnen.

Als er een aanzienlijke zandophoging voorzien is en in de nabije omgeving kwetsbare belendingen aanwezig zijn moet ook inzicht verkregen worden in de bodemopbouw ter plaatse van deze belendingen.

Op basis van de resultaten van de sonderingen die zijn uitgevoerd in deze kan worden besloten in deze projectfase al één of meer boringen uit te voeren, ook weer afhankelijk van de aangetroffen variatie in de grondopbouw en grote c.q. te verwachten complexiteit van het project. Of boringen (met de bijbehorende laboratoriumbepalingen) al in deze fase of in de volgende fase van het voorontwerp worden uitgevoerd is onder meer afhankelijk van het op dat moment door de opdrachtgever beschikbaar gestelde budget en de beschikbare tijd voor het onderzoek en. De boringen worden uitgevoerd direct naast de maatgevend geachte sonderingen. De wijze waarop uit de boringen de benodigde parameters worden bepaald d.m.v. laboratoriumonderzoek is beschreven in hoofdstuk 7. De boorgaten kunnen mogelijk worden gebruikt voor plaatsing van peilbuizen.

1.2 Detailniveau: grof (Voorontwerp)

1.2.1 Omschrijving

In deze fase is een beperkt aantal geotechnische eisen vastgelegd (o.a. restzettingseis en bouwrijpmaak periode). De locatie voor het bouwrijp te maken gebied is inmiddels vastgelegd.

De nu te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een grove werkplanning en eventueel eerste prijsvorming door inschrijvers mogelijk te maken. Op basis van het veld- en laboratoriumonderzoek worden berekeningen uitgevoerd waarbij alle ontwerpaspecten worden beschouwd, zowel van het terrein als van de wegen inclusief de taludstabiliteit van de aan te brengen zandophoging. Afhankelijk van de situatie moet er voldoende informatie beschikbaar zijn om de invloed van de aan te brengen belasting op nabij gelegen belendingen te bepalen. In het voorontwerp wordt vastgesteld welke bouwrijpmaakmethode (integraal of partieel) wordt toegepast.

1.2.2 Berekeningen

Bij terreinen op een slappe ondergrond wordt bepaald of en tot welke hoogte een voorbelasting, eventueel met verticale drains, moet worden aangebracht om aan de gestelde restzettingseis te kunnen voldoen. Als dit binnen de gestelde tijdsperiode niet haalbaar is zal gekeken worden naar alternatieven (versnelde consolidatietechnieken of

licht ophoogmateriaal). Voorwaarde hierbij is dat de bodemopbouw in horizontale en verticale zin met een grote mate van betrouwbaarheid bekend is.

De berekeningen in deze fase bestaan uit zettings- en stabiliteitsberekeningen (eigen spreadsheet, analytische programma's (bijv. MStab en MSettle) of in complexe situaties de Eindige Elementen Methode (EEM) met bijv. Plaxis 2D) op een beperkt aantal (maatgevende) dwarsprofielen. De grondparameters ten behoeve van de zettingberekeningen moeten worden bepaald op basis van de boorbeschrijvingen (volumegewichten) en samendrukkingproeven op de cohesieve lagen. Daarnaast zal ook gekeken moeten worden naar de stabiliteit van het talud aan de randen van een zandophoging alsmede beïnvloeding van de zandophoging op de omgeving (horizontale grondbelasting op nabij gelegen kwetsbare belendingen/ objecten). De hoeveelheid grondonderzoek dient afgestemd te zijn op het type berekening; hoe geavanceerder de berekening hoe meer grondonderzoek nodig is om tot betrouwbare invoerparameters te komen.

In tabel 1.1 is per rekenmodel (analytisch en EEM) aangegeven wat de minimaal benodigde parameters zijn.

Tabel 2.1 Benodigde parameters en type berekening.

Berekening	Parameter						
	Vol. Gew. (γ)	Cohesie (c')	Hoek van inw. Wrijving ϕ	Cons.coëf- ficient' C_v	Samen- druk.param. (C_p, C_s, C_α, C_r)	Doorlatend- heid (k)	Elasticiteits- modulus ($E_{50}, E_{oed}, E_{url}, E$)
Zetting (analytisch)	x			x	x		
Stabiliteit (analytisch)	x	X	x				
Zetting (EEM)	x	X	x		X*	x	x
Stabiliteit (EEM)	x	X	x			x	x

*) afhankelijk van het gekozen grondmodel

Aan de hand van de verkregen resultaten wordt bepaald of en welk aanvullend grondonderzoek noodzakelijk is voor het Definitief Ontwerp.

1.2.3 Typen grondonderzoek

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn in deze fase de volgende gegevens gewenst:

- Alle data uit vorige fase(n)
- Sonderingen
- Boringen
- Freatische en pleistocene peilbuisgegevens
- Laboratoriumonderzoek:
 - Boorbeschrijving (volume gewicht nat/droog, watergehalte, ongedraineerde schuifsterkte, Atterbergse grenzen)
 - Samendrukkingproeven
 - Triaxiaalproeven

Uit de hierboven aangegeven laboratoriumonderzoeken kunnen de in tabel 1.2 gegeven parameters worden bepaald. De resultaten van de bepaling van de ongedraineerde schuifsterkte en de Atterbergse grenzen worden meestal gebruikt om de hieronder genoemde materiaaleigenschappen op een empirische wijze te bepalen. Deze bepalingen zijn minder geschikt voor complexe situaties, waar de EEM methode wordt toegepast in berekeningen.

Tabel 2.2 Parameters uit laboratoriumproeven.

Proef	Parameter
samendrukkingproef	Γ ; C_v ; k ; C_p ; C_s ; C_α ; C_r ; E_{oed}
triaxiaalproef	Γ ; ϕ' ; c' ; E ; E_{50} ; ψ ; ν

Op basis van de berekeningsresultaten uit deze fase wordt door een geotechnisch adviseur, die in het projectteam is opgenomen, een hernieuwde (geotechnische) risico-analyse uitgevoerd. Resterende of nieuw gesignaleerde risico's kunnen dan (in meer detail) in een vervolfase worden onderzocht.

1.2.4 Hoeveelheid grondonderzoek

De benodigde hoeveelheid sonderingen en boringen is moeilijk aan te geven en zal afhangen van de verwachte variatie in de grondopbouw, strengheid van de restzettingseis, de beschikbare voorbelastingtijd en toe te passen methode van bouwrijp maken. In geval van een heterogene bodemopbouw, zeker in combinatie met een strenge restzettingeis, zullen er meer sonderingen nodig zijn dan in een gebied waar een uniforme grondopbouw wordt verwacht.

Aanbevolen wordt een onderzoeksgrid van de sonderingen van minimaal 50* 50 = 2.500 m². Bij het opzetten van het onderzoek dient rekening gehouden te worden met de eventuele aanwezigheid van nabij gelegen kwetsbare objecten, oude watergangen e.d.

Bij terreinen aan te leggen op een samendrukbare cohesieve laag dienen voldoende gegevens uit boringen te worden bepaald. Voor boringen geldt dat er ten minste 2 monsters per onderscheiden samendrukbare laag dienen te worden beproefd voor het vaststellen van de representatieve waarden van zetting- en consolidatie parameters. Het onderzoek moet over ten minste de volledige hoogte van het samendrukbare pakket worden uitgevoerd. Voor cohesieve lagen die een groot aandeel vormen in de te verwachten zetting (bijvoorbeeld ondiepe dikke veenlagen) is het aan te bevelen om meerdere monsters te beproeven. Ter bepaling van de hellingsstabiliteit van de zandophoging dient tevens ten minste op 2 monsters per cohesieve laag een triaxiaalproef te worden uitgevoerd om de sterkte-eigenschappen te bepalen.

Voor terreinen aan te leggen op een zanderige ondergrond kan door middel van sonderingen worden bepaald of bijvoorbeeld grondverbetering van losgepakte zandlagen noodzakelijk is. Een dergelijk onderzoek zal zich dan kunnen beperken tot de bovenste lagen van het terrein.

Voor een op palen te funderen constructies die deel uitmaken van de aan te leggen infrastructuur (zie hoofdstuk 9, kleine kunstwerken) dient te worden uitgegaan van een hart op hart afstand van 25 m van de sonderingen. De diepte van de sonderingen moet in overeenstemming met NEN 9997-1 tot ten minste 5 m onder het te verwachten paal-puntniveau worden uitgevoerd.

In tabel 1.3 zijn algemene aspecten aangegeven die van invloed zijn op de hoeveelheid uit te voeren grondonderzoek. De hoeveelheid uit te voeren grondonderzoek is afhankelijk van de mogelijke grootte (kans van optreden) van het risico. Bij een grotere kans behoort meer grondonderzoek te worden verricht. Daarom zijn hiervoor twee kolommen aangegeven in de tabel.

Tabel 2.3 Afwegingen t.b.v. bepaling hoeveelheid grondonderzoek.

Aspect	Relatief minder grondonderzoek	Relatief meer grondonderzoek
Bodemopbouw	Homogeen	Heterogeen (oude watergangen, variërende dikte grondlagen)
Consolidatie methode	Traditioneel voorbelasting met (overhoogte) zand, eventueel met verticale drains	Versnelde consolidatietechnieken (IFCO, Beau Drains e.d.)
Terreingrootte	Terreingrootte klein, minimaal 1 beproefd monster (samendrukkingproef en triaxiaal) per grondlaag	Terreingrootte groot, uitgebreid met meerdere beproefde monsters per grondlaag
Restzettingseis	Geen strenge eis	Strenge eis (klein toelaatbare restzetting)
Bouwrijpmaakperiode	Ruimschoots voldoende om aan restzettingseis te voldoen	Kritisch t.a.v. berekende zettingen
Omgeving	Buitengebied	Binnenstedelijk met nabij gelegen kwetsbare belendingen / objecten
Ervaring projecten in directe omgeving	(Rest)zettingen gelijk of kleiner dan de destijds berekend	Meer (rest)zetting dan destijds berekend
Monitoring tijdens bouwrijpmaken	Intensief monitoren (i.c.m. voldoende lang periode bouwrijpmaken) middels o.a. zakkbakken met mogelijkheid tot bijsturen (aanvullend zandophoging)	Bepaalde monitoring (i.c.m. kritische bouwrijpmaakperiode) met weinig of geen mogelijkheid tot bijsturen in zandophoging

Het is aan de geotechnische adviseur om de hoeveelheid grondonderzoek te bepalen aan de hand van de specifieke projecteigenschappen. Belangrijk is dat er voldoende zekerheid moet zijn dat de beoogde oplossingsrichting (ontwerp) haalbaar is en er in hoofdlijnen geen aanpassingen zullen plaatsvinden in het definitief ontwerp. Bedenk hierbij dat de kosten voor extra sonderingen, boringen, peilbuizen en/of laboratoriumproeven over het algemeen gering zijn ten opzichte van de totaalkosten. De resultaten van aanvullend grondonderzoek geven inzicht in de haalbaarheid van de gekozen oplossing en voorkomen dat in de definitieve ontwerpfase onnodig veel kosten gemaakt moeten worden omdat in een te laat stadium de gekozen oplossing niet haalbaar blijkt te zijn.

1.3 Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp)

1.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn alle basiskeuzen (wijze van bouwrijpmaken, voorbelastingsperiode etc) gemaakt. Wat nu volgt is het detailleren van zaken als ophoogfaseringen, zandhoeveelheden en het opstellen van een monitoringplan. De hoeveelheid grondonderzoek moet zodanig zijn dat in de ontwerpnota's aangetoond kan worden dat aan alle ontwerpseisen is voldaan.



1.3.2 Berekeningen

De berekeningen in deze fase bestaan net als in de vorige fase vooral uit zetting- en stabiliteitberekeningen (b.v. Msettle, MStab en in complexe situaties Plaxis 2D). Ook zal wanneer relevant gekeken worden naar zaken als omgevingsbeïnvloeding met een eindige elementenprogramma (Plaxis 2D).

1.3.3 Typen grondonderzoek

- Alle data uit vorige fase(n)
- Sonderingen
- Boringen
- Laboratorium onderzoek:
 - Boorbeschrijving (volume gewicht nat/droog, watergehalte, ongedraineerde schuifsterkte, Atterbergse grenzen)
 - Samendrukkingproeven (minimaal 2 per relevante laagsoort)
 - Triaxiaalproeven (minimaal 2 per laagsoort)

1.3.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Zoals eerder gesteld moet het grondonderzoek zodanig zijn gespecificeerd en uitgevoerd dat in de ontwerpnota's aangetoond kan worden dat op het gehele terrein aan alle eisen is voldaan.

In het algemeen kan worden gezegd dat in deze fase alleen nog naar specifieke probleemlocaties gekeken zou moeten worden. Uit eerdere fasen moet het globale geotechnische en geologische beeld van de ondergrond voldoende duidelijk zijn. Het kan echter zijn dat bijvoorbeeld de precieze afmetingen en eigenschappen van een geconstateerde stroomgeul in het tracé nog onvoldoende bekend zijn, of dat er een lokaal raakvlak met de omgeving (gebouwen, leidingen) nader moet worden gedetailleerd.

Voor beschouwingen over optimalisatie van het grondonderzoek in deze fase: zie CUR-rapport 2008-4 'Van onzekerheid naar betrouwbaarheid'.

1.4 Eisen aan uitvoering grondonderzoek

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

Sonderingen

Doel van de sonderingen is in de meeste gevallen een beeld te krijgen van het verloop van grondlagen over het onderzoeksterrein. Overwogen kan worden de diepte van de sonderingen te vergroten tot onder een realistisch geschat paalpuntniveau van de toekomstige bebouwing. Deze sonderingen kunnen dan ook door de ontwerpers daarvan worden gebruikt als uitgangspunt voor het grondonderzoek voor de bebouwing.

Boringen en peilbuizen

Boringen worden uitgevoerd om te komen tot classificatie van de grondlagen en om samendrukkingsparameters te kunnen vaststellen. De lengte van de boringen dient dus-

danig te worden gekozen dat deze ten minste de van invloed zijnde samendrukbare lagen bestrijkt. De boring moet ten minste tot de bovenste zandlaag, met een dikte van minimaal 5 m, worden doorgezet.

Een aantal boringen zal worden afgewerkt tot peilbuizen, waarmee de stijghoogte van freatisch grondwater en diepere zandlagen kan worden gemeten. Met behulp van de gegevens uit de eerdere fase (bv. DINO) kunnen hiertoe voorkeurslocaties worden bepaald.

Bij de keuze van te beproeven monsters voor samendrukkingsproeven dient erop te worden gelet dat niet de nadruk wordt gelegd op de (kleinere) 'afwijkende' lagen uit de boringen, zoals stoorlaagjes van veen in een kleipakket. Voor zettingsberekeningen is immers vooral het zettingsgedrag van de bulk van het samendrukbare materiaal van belang.

Korrelverdelingen

Ook het bepalen van de korrelverdelingen van de in de boringen aangetroffen zandlagen is vereist, omdat deze informatie benodigd kan zijn voor het beoordelen van mogelijk hergebruik van materiaal in het werk (bv verdichtbaarheid, toetsing aan RAW-eisen).

De proeven dienen zoveel mogelijk te worden gekoppeld aan de al uitgevoerde sonderingen.

Proeven uit te voeren volgens BS 1377 of relevante ASTM normen.

Triaxiaalproeven

Voor het ontwerp van een ophoging (met drains) zullen CU-proeven het meest relevant zijn. Zie ook CUR-rapport 2003-7.

Direct Simple Shear proef

Deze proef is op nog maar weinig Nederlandse projecten toegepast, maar wordt in het buitenland vaker toegepast. Uit de proef kan een wrijvingshoek worden bepaald bij een vooraf opgelegde normaalspanning. Doordat het bezwijkvlak in de proef is opgelegd kan een beter inzicht worden verkregen in de verhouding tussen normaalspanning en sterktegedrag dan bij een triaxiaalproef. Bij zeer slappe gronden zoals veen en humeuze klei kunnen soms consistentere resultaten worden behaald dan bij een triaxiaalproef.

Nadeel is dat het materiaal bezwijkt over een opgelegd bezwijkoppervlak, en dat de triaxiaalproef meer mogelijkheden biedt tot het volgen van specifieke spanningspaden.

Voor een beschrijving van deze proef, zie onder andere CEN ISO/TS 17892-10; Direct Shear Test en BS1377: Part 7, Hfdst 4 en 5.

Bijlage 2

Lijninfra

2.1 Detailniveau: zeer grof (Schets- of Initiatieffase)

2.1.1 Omschrijving

In deze fase is bijvoorbeeld het tracé van de weg nog niet vastgelegd. Ook keuzen voor hoge of lage ligging zijn nog niet gemaakt. De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een aanneme voor de haalbaarheid van het project in tijd en geld (raming) mogelijk te maken.

2.1.2 Berekeningen

Wegens de beperkte hoeveelheid gegevens en grote keuzevrijheid kunnen hier alleen verkennende berekeningen worden gemaakt op basis van vuistregels en correlaties. Hierbij kan men denken aan verkennende zettings- en stabiliteitsberekeningen op basis van sondeergrafieken in combinatie met ervaringsgetallen uit het gebied.

2.1.3 Typen grondonderzoek

Bestaande gegevens:

Historisch onderzoek:

- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- Luchtfoto's / Google Earth
- Geologische kaartbladen TNO
- Raadplegen DINO-database
- Gegevens grondwaterstanden TNO
- Oude landkaarten (vooral in kustgebieden, locaties oude getij/stroomgeulen e.d.)
- Voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten naburige werken
- Voor zover beschikbaar: monitoringsdata (zetting, zanddikte) naburige werken

Aanvullend onderzoek:

- Visuele inspectie in omgeving
- Sonderingen
- Peilbuizen
- Geofysisch onderzoek

Actueel Hoogtebestand Nederland:

Met behulp van de kaarten van het AHN (op te vragen via de website) zijn heterogeniteiten in het tracé soms al duidelijk te herkennen. De kaarten geven de NAP-maten van het maaiveld in kleuren weer. Met behulp van verschillen in maaiveldhoogten kunnen soms oude geologische kenmerken in het landschap eenvoudig worden herkend. Zie bijvoorbeeld onderstaande afbeelding voor de A2 bij Breukelen, waar duidelijk een oude

arm van de Vecht te zien is; op deze locaties is in de sonderingen ook een zeer zandige ondergrond gevonden, die sterk afwijkt van de rest van het tracé.

Veldbezoek ("walkover survey"):

Ook het uitvoeren van een visuele inspectie in de omgeving van het te maken werk kan veel informatie opleveren, wanneer deze door een geotechnisch ingenieur, ingenieursgeoloog of geoloog wordt uitgevoerd. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gelet op zettingschade aan naburige gebouwen en kunstwerken of geologische kenmerken in het maaiveld (bv vegetatieverschillen, grondprofielen in sloottaluds etc). Bij verbredingen langs bestaande wegen kunnen oneffenheden in bestaande weg en in de geleiderail duidelijke indicaties geven van probleemgebieden.

Fig. 2.1
In de hoogten van het maaiveld zijn vaak al duidelijk geologische kenmerken te onderscheiden, zoals een oude meander van de Vecht in dit geval. (bron: www.ahn.nl)



2.1.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Voor een 'quick scan' op basis van ter plaatse uitgevoerd onderzoek kan het beste gebruik worden gemaakt van sonderingen op een grof grid (bv 1x per km). Ook kan aan de hand van geofysisch onderzoek voor een langgerekt tracé een indicatie van de dikte en variatie van de deklagen en obstakels in de ondergrond (Niet Gesprongen Explosieven) worden verkregen.

2.2 Detailniveau: grof (Voorontwerp)

2.2.1 Omschrijving

In deze fase is een beperkt aantal geotechnische eisen vastgelegd (bv restzettingseisen), wel is er al een tracekeuze gemaakt. De nu te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een grove werkplanning en eventueel eerste prijsvorming door inschrijvers mogelijk te maken.



2.2.2 Berekningen

De berekeningen in deze fase bestaan uit zettingsberekeningen (1-D, b.v. MSettle of eigen sheets), stabiliteitsberekeningen (Bishop, bv MStab) op een beperkt aantal dwarsprofielen. Sterkte- en samendrukkingsparameters van de ondergrond kunnen worden afgeleid uit correlaties, zoals met de conusweerstand, schuifsterkte uit torvanetesten, volumegewichten of met de (geschatte) effectieve terreinspanning.

Veelal zal in deze fase op basis van het uitgevoerde grondonderzoek een geotechnisch lengteprofiel worden gemaakt teneinde bepalende doorsneden te kunnen vaststellen.

Ook zal in deze fase veelal een oriënterende inventarisatie van kwetsbare objecten in de directe omgeving plaatsvinden.

2.2.3 Typen grondonderzoek

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn in deze fase de volgende gegevens gewenst:

- Alle data uit vorige fase(n)
- Sonderingen
- Boringen
- Peilbuizen (voor zover niet uit vorige fase aanwezig)
- Labonderzoek:
 - Torvanemetingen (bij boring)
 - Classificatieproeven (dichtheid nat/droog, watergehalte)
 - Atterbergse grenzen
 - Samendrukkingsproeven

Op basis van de resultaten uit deze fase wordt door een geotechnisch adviseur, die in het projectteam is opgenomen, een hernieuwde (geotechnische) risico-analyse uitgevoerd. Resterende of nieuw gesignaleerde risico's kunnen dan (in meer detail) in een vervolgfase worden onderzocht.

2.2.4 Hoeveelheid grondonderzoek

De benodigde hoeveelheid sonderingen en boringen is moeilijk aan te geven en zal mede afhangen van de verwachte grondopbouw. In een geulengebied zullen per km meer sonderingen nodig zijn dan in een gebied waar een uniforme grondopbouw wordt verwacht.

NEN 9997-1 en CUR-rapport 2003-7 geven richtlijnen voor de minimaal benodigde hoeveelheid grondonderzoek. Hoewel dit niet duidelijk blijkt uit de normen, lijkt het logisch te veronderstellen dat met de aanbevolen minimum hoeveelheden wordt bedoeld op de voorontwerpfase zoals hier gedefinieerd. Immers, voor een planfase zal men meer naar bestaande gegevens kijken, en voor een detailfase kan vooraf nooit een minimum-hoeveelheid worden genoemd, omdat de hoeveelheden geheel af zullen hangen van de specifieke projectkenmerken.

In tabel 2.1 zijn aanbevelingen en eisen uit een aantal verschillende bronnen samengevat:

Tabel 2.1 Hoeveelheden grondonderzoek voor lijninfraverken, gebaseerd op literatuur.

Norm	Paragraaf	Type onderzoek	Aanbeveling
CUR 2003-7	2.4	Boringen	400 m hart op hart
CUR 2003-7	2.4	Sonderingen	100 m hart op hart
CUR 2003-7	2.4	GC3: In-situ proef	250 m hart op hart
NEN 9997-1	8.4.1.2	"Onderzoekspunten"	Max 100 m wanneer verwachte zetverschil <10 cm / 10 m Max 50 m wanneer verwachte zetverschil >10 cm / 10 m en tgv hiervan risico's voor omgeving / gebruikers ontstaan
EC7 1997 deel 1	3.2.3	"Exploration points"	GC2: 100 à 200 m hart op hart
BS 5930: 1999	Section 2, Par. 12.6	Boringen / sonderingen	Geen hoeveelheden genoemd, wel: aantal proeflocaties op afstand van wegas plaatsen om laterale variatie in beeld te brengen

Alleen in de CUR 2003-7 worden richtlijnen gegeven voor de minimale hoeveelheid samendrukkings-, sterkte- of dichtheidsproeven. BS 5930 geeft wel nog een richtlijn voor de minimale hoeveelheid te nemen monsters.

Tabel 2.2 Hoeveelheden voor bemonstering, gebaseerd op literatuur.

Norm	Grondsoort	Proeftype	Aanbeveling
BS 5930: 1999	Zand/ grind	-	Bovenaan elke nieuwe laag, verder op 1.5 m interval verstoord monsternamen
BS 5930: 1999	Klei	-	Bovenaan elke nieuwe laag, verder op 1.5 m interval 100 mm monster, elke meter verstoord monster
CUR 2003 - 7	-	Classificatie	1x per m (GC3: 1,5 -2 x per m)
CUR 2003 - 7	-	Atterbergse grenzen	1x per 2 m (GC3: 1,5 -2 x per 2 m)
CUR 2003 - 7	-	Samendrukking	1x per 3 m (GC3: 1 - 1,5 x per 3 m)
CUR 2003 - 7	-	Triaxiaal	1x per 3 m (GC3: 1 - 1,5 x per 3 m)
CUR 2003 - 7	-	Alleen GC3: In-situ tests	1 - 1,5 x per 5 m

CUR -rapport 2003-7 geeft de meest volledige indicatie van benodigd onderzoek; daarbij wordt de nadruk gelegd op de term 'indicatie'. Uiteindelijk zal door een geotechnisch ingenieur op basis van de specifieke projecteigenschappen een afweging moeten worden gemaakt.

Bij het opstellen van het grondonderzoek moet op basis van de risico-inventarisatie worden beoordeeld op welke locaties welk type grondonderzoek gewenst is.

Veelal is het nuttig in deze fase tevens een geotechnisch lengteprofiel samen te stellen, op basis waarvan mede kan worden vastgesteld of het net van onderzoekspunten voor de volgende fase nog verdicht dient te worden.

2.3 Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp)

2.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn alle basiskeuzen (hoge/lage ligging, tracé, globale planning etc) gemaakt. Wat nu volgt is het detailleren van zaken als ophoogfaseringen, voorbelastingstijden,



drainafstanden en zandhoeveelheden. De nu te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om het detailontwerp en contractbeheersing tijdens de aanbesteding mogelijk te maken.

2.3.2 **Berekeningen**

De berekeningen in deze fase bestaan opnieuw vooral uit stabiliteits- en zettingsberekeningen (b.v. MSerie), er kan nu echter ook worden gekeken naar zaken als omgevingsbeïnvloeding (Plaxis).

2.3.3 **Typen grondonderzoek**

- Alle data uit vorige fase(n)
- Sonderingen
- Boringen
- Labonderzoek:
 - Torvanemetingen / Labvanetesten / Pocket penetrometer (bij boring)
 - Classificatieproeven (dichtheid nat/droog, watergehalte)
 - Samendrukkingsproeven
 - Triaxiaalproeven (CU/CD)
 - Voor veen: Direct Simple Shear proeven, rekening houdend met verschillende oriëntaties

2.3.4 **Hoeveelheid grondonderzoek**

Een minimale hoeveelheid grondonderzoek is voor deze fase niet aan te geven. Dit zal immers volledig afhankelijk zijn van de specifieke eigenschappen van het project en de heterogeniteit van de ondergrond.

Uiteindelijk zou het grondonderzoek voor deze fase zodanig van omvang moeten zijn, dat voor alle gesignaleerde geotechnische risico's maatregelen kunnen worden vastgesteld.

In het algemeen kan worden gezegd dat in deze fase alleen nog naar specifieke probleemlocaties gekeken zou moeten worden. Uit eerdere fasen moet het globale geotechnische en geologische beeld van de ondergrond voldoende duidelijk zijn.

Het kan echter zijn dat bijvoorbeeld de precieze afmetingen en eigenschappen van een geconstateerde stroomgeul in het tracé nog onvoldoende bekend zijn, of dat er een lokaal raakvlak met de omgeving (gebouwen, leidingen) nader moet worden gedetailleerd.

2.4 **Eisen aan uitvoering grondonderzoek**

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

Sonderingen

Doel van de sonderingen is in de meeste gevallen een beeld te krijgen van het verloop van grondlagen over het onderzoeksterrein. Overwogen kan worden de diepte van de sonderingen te vergroten tot onder een realistisch geschat paalpuntniveau van toekomstige

stige bebouwing. Deze sonderingen kunnen dan ook door de ontwerpers daarvan worden gebruikt als uitgangspunt voor het grondonderzoek voor de bebouwing.

Boringen en peilbuizen

Boringen worden uitgevoerd om te komen tot classificatie van de grondlagen en teneinde samendrukkingsparameters te kunnen vaststellen. De lengte van de boringen dient dusdanig te worden gekozen dat deze ten minste de van invloed zijnde samendrukbare lagen bestrijkt. Ten minste moet de boring zijn doorgezet tot de bovenste zandlaag met een dikte van minimaal 5 m.

Een aantal boringen zal worden afgewerkt tot peilbuizen, waarmee de stijghoogte van freatisch grondwater en diepere zandlagen kan worden gemeten. Met behulp van de gegevens uit de eerdere fase (bv. DINO) kunnen hiertoe voorkeurslocaties worden bepaald.

Bij de keuze van te beproeven monsters voor samendrukkingsproeven dient erop te worden gelet dat niet de nadruk wordt gelegd op de (kleinere) 'afwijkende' lagen uit de boringen, zoals stoorlaagjes van veen in een kleipakket. Voor zettingsberekeningen is immers vooral het zettingsgedrag van de bulk van het samendrukbare materiaal van belang.

Korrelverdelingen

Ook het bepalen van de korrelverdelingen van de in de boringen aangetroffen zandlagen is vereist, omdat deze informatie benodigd kan zijn voor het beoordelen van mogelijk hergebruik van materiaal in het werk (bv. verdichtbaarheid, toetsing aan RAW-eisen).

De proeven dienen zoveel mogelijk te worden gekoppeld aan de al uitgevoerde sonderingen.

Proeven uit te voeren volgens BS 1377 of relevante ASTM normen.

Triaxiaalproeven

Voor het ontwerp van een ophoging (met drains) zullen CU-proeven het meest relevant zijn. Zie ook CUR 2003-7.

Direct Simple Shear proef

Deze proef is op nog maar weinig Nederlandse projecten toegepast, maar wordt in het buitenland vaker toegepast. Uit de proef kan een wrijvingshoek worden bepaald bij een vooraf opgelegde normaalspanning. Doordat het bezwijkvlak in de proef is opgelegd kan een beter inzicht worden verkregen in de verhouding tussen normaalspanning en sterktegedrag dan bij een triaxiaalproef. Bij zeer slappe gronden zoals veen en humeuze klei kunnen soms consistentere resultaten worden behaald dan bij een triaxiaalproef.

Nadeel is dat het materiaal bezwijkt over een opgelegd bezwijkoppervlak, en dat de triaxiaalproef meer mogelijkheden biedt tot het volgen van specifieke spanningspaden.

Voor een beschrijving van deze proef, zie onder andere CEN ISO/TS 17892-10; Direct Shear Test en BS 1377: Part 7, Hfdst 4 en 5.

Bijlage 3

Kleine kunstwerken

3.1 Detailniveau: zeer grof (Schets- of Initiatieffase)

3.1.1 Omschrijving

In deze fase is de exacte ligging van het kleine kunstwerk nog niet exact vastgelegd. De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een grove inschatting van de kosten en tijdsaspecten voor de kleine kunstwerken te kunnen maken.

3.1.2 Berekeningen

Wegens de beperkte hoeveelheid gegevens en grote keuzevrijheid kunnen hier alleen verkennende berekeningen worden gemaakt. Hierbij kan men denken aan verkennende zetting- of draagkrachtberekeningen (fundering op palen of staal) op basis van sondeergrafieken.

3.1.3 Typen grondonderzoek

In deze fase is het van belang allereerst alle bestaande gegevens te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes. Te denken valt hierbij aan:

Historisch onderzoek:

- Lucht- en satellietfoto's (Google Earth)
- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- geologische kaartbladen TNO
- DINO-database
- gegevens grondwaterstanden TNO
- oude landkaarten (vooral in kustgebieden, locaties oude getij/stroomgeulen e.d.)
- voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten naburige werken
- voor zover beschikbaar: monitoringsdata (zetting, zanddikte, ligtijden) naburige werken

Aanvullend onderzoek:

- visuele inspectie in omgeving;
- uitvoeren (eventueel) handboringen en geroerde monsternamen;
- uitvoeren (eventueel) enkele (piëzo)sonderingen;
- plaatsen van peilbuizen en opname grondwaterstand.

In het kader van het tracé-onderzoek lijninfra is historisch onderzoek en wellicht aanvullend onderzoek nodig. Bij de opzet van historisch en aanvullend onderzoek voor de lijninfra dient zoveel mogelijk rekening te worden gehouden met kleine kunstwerken.

Geofysisch onderzoek voor lijninfra kan ook uitkomst bieden bij het bepalen van de locaties van kleine kunstwerken. De aanwezigheid van minder dikke slappe deklagen op

een bepaalde locatie kan bijvoorbeeld de keuze voor een fundering op staal met grondverbetering bepalen.

Peilbuizen bij voorkeur reeds in deze fase plaatsen en regelmatig aflezen.

3.1.4 **Hoeveelheid grondonderzoek**

Voor een eerste indruk van de funderingsmogelijkheden van een klein kunstwerk kan gebruik gemaakt worden van grondonderzoek dat voor omliggende (infrastructuur) projecten is uitgevoerd. Waar dit onvoldoende aanwezig is kan overwogen worden om enkele handboringen en/of (piëzo)sonderingen uit te voeren, zodat ook aanvullende informatie vrijkomt ten behoeve van nadere classificatie van grondsoorten.

3.2 **Detailniveau: grof (Voorontwerp)**

3.2.1 **Omschrijving**

In deze fase is de locatie en een beperkt aantal geotechnische eisen bepaald (bv zettingseisen). De nu te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een grove werkplanning en eventueel eerste prijsvorming mogelijk te maken.

3.2.2 **Berekeningen**

De berekeningen in deze fase bestaan uit zettingsberekeningen (1-D) en/of draagkrachtberekeningen voor een fundering op palen of staal, waarbij de belastingen vanuit de constructie globaal bekend zijn. Berekeningen zijn voornamelijk op basis van sonderingen en eventueel een beperkt aantal boringen met monsternamen en classificatie.

Een indicatie van de geotechnische categorie dient in deze fase te worden geformuleerd.

3.2.3 **Typen grondonderzoek**

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn in deze fase de volgende gegevens en grondonderzoek gewenst:

- Alle data uit vorige fase(n);
- (piëzo) sonderingen (voor zover nog niet beschikbaar);
- Mechanische of handboringen met ongeroerde monsternamen en grondwaterstandbepaling;
- Peilbuizen (voor zover niet uit vorige fase aanwezig) en opname grondwaterstand;
- Laboratoriumonderzoek:
 - Torvanemetingen (bij boring);
 - Classificatieproeven (dichtheid nat/droog, watergehalte);
 - Atterbergse grenzen;
 - Samendrukkingsproeven met ontlast- en herbelastingtrap .

3.2.4 **Hoeveelheid grondonderzoek**

De benodigde hoeveelheid sonderingen en boringen is moeilijk aan te geven en zal mede afhangen van de kennis over de grondopbouw uit de eerste fasen en de geotechnische



categorie waarin het kunstwerk valt. Veelal valt het kleine kunstwerk binnen de categorie die geldt voor het totale werk.

In een geulengebied zullen per km meer sonderingen nodig zijn dan in een gebied waar een uniforme grondopbouw wordt verwacht.

In NEN 9997-1 en ook in hoofdstuk 2 uit CUR 2003-7 wordt een indicatie gegeven voor de minimaal benodigde hoeveelheid grondonderzoek.

Hoewel de hoeveelheden niet duidelijk blijken uit de normen en richtlijnen, lijkt het logisch te veronderstellen dat met de aanbevolen minimum hoeveelheden wordt gedoeld op de voorontwerpfase zoals hier gedefinieerd of bij een redelijke homogene bodemopbouw. Immers, voor een planfase zal men meer naar bestaande gegevens kijken, en voor een detailfase kan vooraf nooit een minimumhoeveelheid worden genoemd, omdat de hoeveelheden geheel af zullen hangen van de specifieke projectkenmerken.

Minimaal 2 sonderingen, waarvan 1 met waterspanningmeting en minimaal een boring met ongeroerde monsters, peilbuis en classificatie.

Bij verbredingen van bestaande aardebanen aan weerszijden 1 sondering en aan 1 of beide zijden een boring met monsternamen voor labtesten. Aanbevolen wordt om bij verbredingen ook een aantal (hand)boringen te maken in de bermen van de bestaande aardebaan.

Bij nieuwbouw ter plaatse van de rijbanen of sporen ook een boring met monsternamen voor samendrukkingproeven meenemen.

Alleen in CUR-rapport 2003-7 worden richtlijnen gegeven voor de minimale hoeveelheid samendrukkings-, sterkte- of dichtheidsproeven. BS 5930 geeft wel nog een richtlijn voor de minimale hoeveelheid te nemen monsters. Zie de aanbevolen hoeveelheid monsters voor lijninfra.

CUR 2003-7 geeft de meest volledige indicatie van benodigd onderzoek; daarbij wordt de nadruk gelegd op de term 'indicatie'. Uiteindelijk zal door een geotechnisch ingenieur op basis van de specifieke projecteigenschappen een afweging moeten worden gemaakt.

Daarbij wordt ook terugverwezen naar het hoofdrapport; bij het opstellen van het grondonderzoek moet op basis van de risico-inventarisatie worden beoordeeld op welke locaties welk type grondonderzoek gewenst is.

3.3 Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp)

3.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn alle basiskeuzen gemaakt en is het volgende in principe bekend:

- geotechnische categorie
- de bouwlocatie
- de diepteligging
- gestelde (rest)zettings- en vlakheidseisen
- toe te passen materialen
- te verwachten belastingen

De nu te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om het detailontwerp te kunnen uitvoeren. Indien in dit stadium niet alle benodigde geotechnische uitgangspunten bekend zijn moet alsnog aanvullend onderzoek worden uitgevoerd.

3.3.2 Berekeningen

De berekeningen in deze fase bestaan opnieuw of aanvullend uit optimaliserende zettingsberekeningen en draagkrachtberekeningen. In deze fase is het funderingstype duidelijk. Waar de constructie of omgeving gecompliceerd is kan eventueel met eindige elementenmethodes gekeken worden naar het gedrag van de constructie.

3.3.3 Typen grondonderzoek

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen is in deze fase het volgende grondonderzoek noodzakelijk:

- alle data uit vorige fase(n);
- (piëzo) sonderingen;
- mechanische of handboringen met ongeroerde monsternamen en grondwaterstandbepaling;
- peilbuizen en opname grondwaterstand;
- laboratoriumonderzoek:
 - Torvanemetingen / Labvanetesten / Pocket penetrometer (bij boring)
 - Classificatieproeven (dichtheid nat/droog, watergehalte);
 - Atterbergse grenzen;
 - Samendrukkingsproeven met ontlast en herbelasting trap;
 - Triaxiaalproeven (CU/CD).

3.3.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Een minimale hoeveelheid grondonderzoek is voor deze fase niet aan te geven. Dit zal immers volledig afhankelijk zijn van de specifieke eigenschappen van het project, de heterogeniteit van de ondergrond en intensiteit van het onderzoek in de eerdere fasen.

In principe gelden de eisen zoals gesteld in NEN 9997-1 (minimaal 2 sonderingen per klein kunstwerk). Voor een bijzondere constructie en afwijkende bodemopbouw kan uiteraard altijd besloten worden om aanvullend onderzoek uit te voeren.

Uiteindelijk zou het grondonderzoek voor deze fase zodanig van omvang moeten zijn, dat voor alle gesignaleerde geotechnische risico's ontwerpaanpassingen kunnen worden gedaan en maatregelen kunnen worden vastgesteld.

3.4 Eisen aan uitvoering grondonderzoek

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

Indien de locatie van een klein kunstwerk vroegtijdig bekend is kan het grondonderzoek hiervoor direct worden meegenomen bij de opzet van het grondonderzoek voor de lijninfra in zijn geheel.

Bij de nieuwbouw van lijninfra en kruisende infra geven de overgangen van de aardebaan naar het kunstwerk vaak problemen met (verschil)restzettingen. De opzet van het grondonderzoek dient hierop te worden afgestemd. Dit betekent minimaal een boring met ongeroerde monsternamen en samendrukkingproeven en een sondering ter plaatse van de rijbanen en sporen.

Bij verbreding van aardebanen voor weg of spoor is vaak sprake van een verlenging van het bestaande kleine kunstwerk. Speciale aandacht voor de pakking en de diepte ligging de bestaande aardebaan is dan gewenst. Aanbevolen wordt om de onderzoekspunten over een raai in dwarsrichting uit te zetten.

Boringen

Doel van de boringen is over het algemeen het vaststellen van de volumieke gewichten van de ondergrond voor de bepaling van de negatieve kleef. Indien een fundering op staal wordt toegepast zijn ongeroerde monsters nodig voor laboratoriumproeven ter vaststelling van de stijfheid en de sterkte van het grondmonster.



Partijkeuring Noord-Oost Abtspolder Rotterdam.

Bijlage 4

Bruggen en viaducten

4.1 Detailniveau: zeer grof (schets- of initiatiefase)

4.1.1 Omschrijving

Deze fase is bedoeld om de haalbaarheid van het project te bepalen. De exacte locatie, het type belasting en de grootte van de belastingen zijn echter nog niet bekend.

In dit stadium van het ontwerp is de fundering van het kunstwerk meestal niet leidend. Alhoewel in specifieke gevallen de fundering een belangrijk onderdeel van de haalbaarheid kan zijn. Uitzonderlijk grote belastingen kunnen tot gevolg hebben dat gebruikelijke funderingslagen onvoldoende draagkracht hebben of teveel zettingen geven waardoor de fundering tot diepere draagkrachtige lagen nodig is. Dat kan tevens tot gevolg hebben dat de "standaard" prefab betonnen palen niet meer toepasbaar zijn en gekozen moet worden voor 'duurdere' stalen buispalen of (grondverdringende) ingeschroefde/geboorde paaltypen. Deze fase moet resulteren in de keuze van één of enkele realistische funderingen (op palen/op staal + paalttype).

Voor kleine en middelgrote bruggen en viaducten geldt dat deze met de huidige technieken in Nederland geotechnisch gezien vrijwel altijd haalbaar zijn. Grof gesteld zijn in het oosten nabij het maaiveld draagkrachtige zandlagen aanwezig, in het westen zijn deze draagkrachtige zandlagen te bereiken vanaf een diepte van 10 tot 20 m. Met de beschikbare funderingstechnieken is er altijd een fundering tot in die laag mogelijk. Voor kleine of middelgrote bruggen of viaducten moet in dit stadium worden gekozen voor een fundering op palen of op staal. Bij twijfel is de keuze voor een fundering op palen veilig.

4.1.2 Berekeningen

In dit stadium worden hooguit verkennende berekeningen gemaakt. Op basis van kennis van de ontwerper en beschikbare grondgegevens wordt een paalafmeting en paallengte geschat.

Voor grote kunstwerken kan het voor de haalbaarheid noodzakelijk zijn om een meer gedetailleerde paalberekening te maken.

Typen grondonderzoek

In dit stadium kan worden volstaan met beschikbare gegevens. Te denken is aan geologische gegevens, reeds uitgevoerd (recent of minder recent) grondonderzoek uit het archief of gegevens van het Dino loket (www.dinoloket.nl) en historische gegevens van het terrein zelf.

Bij grote kunstwerken is het raadzaam om oriënterend grondonderzoek uit te voeren. Bij grote overspanningen 1 sondering per pijler. De diepte van de sondering moet, rekening houdend met de overwegingen uit de risico analyse met een zeer ruime marge worden gekozen. Het is zeer ongewenst als het oriënterende grondonderzoek later onvoldoende

diep blijkt te zijn uitgevoerd. Met de huidige funderingstechnieken worden palen regelmatig tot 10 m in het zand en dieper geplaatst. De te bereiken diepte van het oriënterend grondonderzoek zal, naast de variatie in diepteligging van de draagkrachtige zandlaag en de aanwezigheid van samendrukbare lagen (bijv. Kedichem), dus rekening moeten houden met deze marge in benodigde paallengte. Voor kunstwerken in geotechnische categorie 3 kunnen aanvullende gegevens nodig zijn (bijvoorbeeld bij extreme samendrukbaarheid van de ondergrond).

Bijzondere geohydrologische omstandigheden kunnen (enige) beperking op de paalkeuze geven. De z.g. grondwaterkaarten geven voldoende informatie of waakzaamheid nodig is. Daarnaast kunnen effecten op de omgeving (belendingen, andere constructies, leidingen) van invloed zijn op de keuze van een paaltype of wandtypes. Daarbij kan gedacht worden aan de effecten van trillingen (schade of hinder en verdichting van grondlagen) en gronddeformaties. In tabel 4.1 zijn de bovenstaande paragrafen samengevat naar analogie van de zes vragen in 3.2.3.

Tabel 4.1 Type grondonderzoek bij detailniveau zeer grof.

Constructie-onderdeel	Oorzaak	Methodieken	Grondparameters	Grondonderzoek	
				Veldwerk	Lab-werk
Fundering op palen	Kalenders vallen tegen	Hei analyse	Conusweerstand	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	Nvt
	Overschrijding drukdraagkracht palen	Draagkracht analyse (bijvoorbeeld Eurocode 7-1)	Conusweerstand	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	Nvt
	Overschrijding trekdraagkracht palen	Draagkracht analyse (bijvoorbeeld Eurocode 7-1)	Conusweerstand	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	Nvt
	Overschrijding maximaal buigend moment palen	Horizontaal belaste paal analyse (bijvoorbeeld CUR 228)	Stijfheid / gewicht	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	Nvt
	Trillingen bij inbrengen palen	Analyse van trillingen	Grondopbouw	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	Nvt
Op staal	Grondverbetering onder fundering onvoldoende verdicht	Aanname vooraf	Conusweerstand	Achteraf met sondering	Nvt
	Cohesieve grondlaag onder fundering niet gesignaleerd	Interpretatie grondopbouw	Grondopbouw	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	Nvt
Overgang kunstwerk naar aardebaan	Aardebaan onvoldoende voorbelast	Zetting analyse	Zettingsparameters / volumegewicht	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	Nvt
	Horizontale beïnvloeding tgv ophogen naast palen	Horizontaal belaste paal analyse	Stijfheid / volumegewicht	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	
Grondkerende constructie	Putcorrosie bij stalen damwanden	Aanname vooraf	Type grondlaag / grondwater	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	Nvt
	Trillingen bij inbrengen wanden	Analyse van trillingen	Grondopbouw	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	Nvt
	Vervorming grondkerende constructie	Horizontale deformatie analyse	Stijfheid / gewicht	Beschikbaar onderzoek eventueel aangevuld met oriënterend grondonderzoek	

4.2 Detailniveau: grof (voorontwerp)

4.2.1 Omschrijving

In deze fase is de (voorlopige) locatie van het kunstwerk bekend en is de belasting op het kunstwerk ongeveer bekend. Afhankelijk van de gekozen contractvorm moeten er voldoende gegevens beschikbaar zijn voor de aannemer om in te schrijven. De geotechnische informatie moet toereikend zijn om alternatieve funderingstypen af te kunnen wegen.

4.2.2 Berekeningen

De constructeur maakt (eventueel in overleg met de geotechnisch adviseur) een funderingsplan. Het paaltype en inbrengniveau wordt bepaald met paalberekeningen.

Om de ontwerpkosten te beperken kan een vereenvoudigd palenplan en een vereenvoudigde belasting gebruikt worden. Wanneer de specifieke situatie dit toelaat kan worden gedacht aan alleen te lood palen en alleen verticale belasting waarbij de horizontale belasting als een marge op de paal draagkracht wordt verwerkt. In deze fase worden eveneens de globale dimensies van de grondkerende constructies (materiaal, type, diepte, verankering) bepaald.

4.2.3 Typen grondonderzoek

Voor de berekeningen zijn in deze fase, naast de verwachtingswaarden en verwachte variatie in de grondwaterstand, de volgende typen grondonderzoek gewenst.

Voor alle constructie typen zijn sonderingen noodzakelijk ter bepaling van de grondopbouw en gecorreleerde ondergrondeigenschappen. Voor een fundering op palen (met negatieve kleef), een fundering op staal en een grondkerende constructie zijn over de gehele diepte van het samendrukbare pakket boringen noodzakelijk. De boringen dienen te worden gefotografeerd en de volumieke gewichten te worden bepaald. Voor grondkerende constructies dienen sterkte en stijfheidseigenschappen te worden bepaald. Voor een fundering op palen met negatieve kleef is bepaling van de schuifweerstand eigenschappen noodzakelijk.

Voor kunstwerken of onderdelen daarvan, niet behorend tot geotechnische categorie 3, zijn boringen en laboratoriumonderzoek niet altijd noodzakelijk. Meer grondonderzoek en laboratoriumonderzoek zal in deze fase echter leiden tot een reductie van restrisico's door een robuuster ontwerp. De investeringen hiervoor dienen afgewogen te worden tegen het te bereiken resultaat voor het ontwerp en de reductie van de risico's.

Voor het ontwerp van de overgangsconstructie is eveneens grondonderzoek nodig ter plaatse van de aardebaan. Normaal gesproken vormt het grondonderzoek voor de funderingen van kunstwerken een relatief klein onderdeel van het onderzoek voor de aardebaan. Zie ook hoofdstuk 2.

4.2.4 Hoeveelheid grondonderzoek

De afstand tussen de punten en de diepte van onderzoek moeten zijn bepaald op grond van de geologie van het gebied, indien aanwezig de kennis van de lokale grondgesteldheid, de afmetingen van het bouwterrein, de aard van de fundering en van de geotechnische constructie. De onderzoekspunten moeten zo over de plattegrond van het te bouwen project zijn verdeeld dat daaruit de grondgesteldheid ter plaatse van de geotechnische constructies betrouwbaar kan worden afgeleid. Daarbij moet onderscheid worden gemaakt in een fundering op palen, funderingen op staal en grondkerende constructies.

Fundering op palen

Het geotechnisch onderzoek moet bestaan uit ten minste twee sonderingen per pijler of steunpunt die een diepte van minimaal 5 m onder het paalpuntniveau hebben bereikt. Bovendien moet één van de sonderingen een diepte hebben bereikt van ten minste 10 maal de kleinste dwarsafmeting van de paalvoet onder het paalpuntniveau. Worden terreinzettingen verwacht van meer dan 0,1 m, die het gevolg zijn van recent of vroeger aangebrachte terreinbelastingen in de buurt van het op palen te funderen bouwwerk of door verlaging van de grondwaterstand, dan moet, ten behoeve van de bepaling van de grootte van de representatieve waarde van de maximale negatieve kleeft ($F_{nk;rep}$), één boring met ongeroerde monsters uit de cohesieve samendrukbare grondlagen beschikbaar zijn. De schuifweerstandeigenschappen moeten door laboratoriumproeven op ongeroerde monsters zijn bepaald. Deze boring mag achterwege blijven als uit eerder onderzoek in de directe omgeving van het bouwproject betrouwbare gegevens met betrekking tot de schuifweerstand van de cohesieve samendrukbare grondlagen zijn verkregen, of als de samenstelling van de bodem en de grondeigenschappen aan tabel 1 van NEN 9097-1:2009 zijn ontleend waarbij de sonderingen dan voldoende zijn.

De onderlinge sondeerafstand is maximaal 25 m. Per sondering wordt een oppervlak bestreken van ten hoogste 25 x 25 m². Het verschil tussen de hoogste en de laagste waarde van de maximumdraagkracht van de paal, berekend bij een sondering in het beschouwde gebied, moet, voor eenzelfde paalpuntniveau, kleiner zijn dan 0,3 x de gemiddelde waarde van de maximumdraagkracht van de paal (over alle sonderingen in het beschouwde gebied).

Als de variatie in draagkracht (veroorzaakt door de variatie in geconstateerde conusweerstand) groter is moet de onderlinge sondeerafstand verkleind worden. De norm geeft aan maximaal 20 m bij een variatie tussen de hoogste en de laagste waarde van de maximumdraagkracht tot 0,4 x de gemiddelde waarde (met maximaal oppervlak per sondering van 20 x 20 m²) en maximaal 15 m bij een variatie tot 0,5 x de gemiddelde waarde (met maximaal oppervlak per sondering van 15 x 15 m²).

Vooraf zal een inschatting gemaakt moeten worden van de verwachte variatie. Mocht uit de resultaten van de sonderingen blijken dat deze inschatting onjuist is gebleken dan zal conform de NEN aanvullend grondonderzoek, in deze of de volgende fase, noodzakelijk zijn.

Voor pijlers met een beperkte grootte kan 1 sondering voldoende zijn mits voldaan wordt aan de hiervoor genoemde sondeerafstanden. Voor de overige delen van de constructie geldt nog:

- De oppervlakte van de bouwplaats waarbinnen de funderingselementen zijn geprojecteerd, moet volledig zijn afgedekt door de hiervoor genoemde gebieden met de plaatsen van de sonderingen als middelpunt.
- Er moeten sonderingen zijn uitgevoerd op de omtrek van de bouwplaats waarbinnen funderingselementen zijn geprojecteerd.

Opgemerkt wordt dat het verstandig is de sondeerdiepte veel dieper te kiezen dan de minimale diepte. Dit omdat het vaak voorkomt dat gedurende het ontwerpproces de benodigde paaldiepte kan wijzigen, de meerkosten voor het wat dieper laten uitvoeren van sonderingen zijn bovendien beperkt.

Voor de boringen kan worden volstaan met 1 boring per kunstwerk. Alleen bij lange kunstwerken (> 300 m) of grote overspanningen (> 50 m) is een boring per pijler of om de 100 m wenselijk. Van elke meter booropbrengst in de slappe lagen of van de te onderscheiden karakteristieke slappe grondlagen zijn volumieke gewichten benodigd.

Bij pijlers die in het water staan is het mogelijk het grondonderzoek vanaf het land uit te voeren. De maximale afstand is dan 15 à 25 m tot de sondering, afhankelijk van de aanwezige variatie in draagkracht. Omdat het grondonderzoek dan is uitgevoerd vanaf het land dient conform NEN 9997-1 een reductie van de conusweerstand toegepast te worden vanwege de lagere grondspanning in de watergeul. Dit is een conservatieve benadering waarbij er rekening wordt gehouden met een extra onzekerheid omdat niet ter plekke gesondeerd is. Het is aan de ontwerper om de extra kosten van 'water' sonderingen af te wegen tegen het conservatievere ontwerp op basis van 'land' sonderingen. Bij grotere bruggen is in deze fase ook grondonderzoek op het water noodzakelijk om een goed voorontwerp te kunnen maken.

De genoemde hoeveelheden grondonderzoek zijn in het algemeen voldoende om direct gerelateerde effecten, zoals trillingen, te kunnen beschouwen.

NEN9097-1:2009 (Eurocode 7) geeft de mogelijkheid om in plaats van routinematige procedures voor veld- en laboratoriumonderzoek en voor ontwerp en uitvoering zoals dat meestal geldt voor Geotechnische categorie 2, gebruik te maken van paalbelastingproeven t.b.v. het ontwerp. Verwacht wordt dat hier voor bruggen en viaducten slechts bij hoge uitzondering gebruik zal worden gemaakt i.v.m. de hoge investeringskosten.

Fundering op staal

Als zich onder het aanlegniveau van de pijler of het landhoofd samendrukbare cohesieve grondlagen bevinden, mag de afstand tussen de sonderingen ten hoogste 25 m zijn. De terreinproeven en boringen met monsterneming moeten ten minste tot een diepte onder het aanlegniveau van de funderingssloof, -poer of -plaat hebben gereikt van drie maal de breedte van de onderkant van de sloof, poer of plaat onder het aanlegniveau, waarbij 25 m als maximum mag zijn aangehouden.



Voor de boringen kan worden volstaan met 1 boring per kunstwerk. Alleen bij lange kunstwerken (> 300 m) of grote overspanningen (> 50 m) is een boring per pijler of om de 100 m wenselijk. Van elke meter booropbrengst in de slappe lagen of van de te onderscheiden karakteristieke slappe lagen zijn volumieke gewichten benodigd. In dit stadium is het verstandig samendrukkingsparameters te bepalen indien de zettingsproblematiek van belang is.

Grondkerende constructie

Als op basis van de geologische kennis van het gebied wordt verwacht dat afwijkingen in dikte van aanwezige klei-, veen- en leemlagen op het bouwterrein kleiner zijn dan 0,5 m, waardoor geen zakkingsverschillen groter dan 0,10 m over een afstand van 10 m zullen optreden, mag de afstand tussen de sondering ten hoogste 100 m zijn. Dit zal voor het overgrote deel van de situaties het geval zijn. In de andere gevallen zullen extra sonderingen nodig zijn. De afstand tussen de sonderingen moet dan afgestemd zijn op de verwachte lokale situatie. Moet de grondkerende wand dienen als fundering voor uitwendige belastingen (uit de bovenbouw) dan gelden de afstanden zoals genoemd bij een fundering op palen. Als bij het grondwerk kerende wanden worden toegepast, moet het onderzoek in het terrein zijn uitgevoerd tot ten minste de onderkant van de te plaatsen kerende wanden. In het geval van benodigde verankeringen of vernagelingen dient ook in het gebied waar trekkrachten op de grond worden overgedragen, sonderingen te zijn uitgevoerd.

Voor de boringen kan worden volstaan met 1 boring per kunstwerk. Alleen bij lange kunstwerken (> 300 m) of grote overspanningen (> 50 m) is een boring per pijler of om de 100 m wenselijk. Van elke meter slappe lagen zijn volumieke gewichten benodigd. Voor specifieke berekeningen (gecombineerde horizontale en verticale krachten en EEM berekeningen) dienen aanvullende labproeven uitgevoerd te worden ten behoeve van de bepaling van stijfheid- en sterkte eigenschappen. Gedacht kan worden aan triaxiaal proeven of shearproeven.

De genoemde hoeveelheden grondonderzoek zijn in het algemeen voldoende om direct gerelateerde effecten, zoals trillingen, te kunnen beschouwen.

In tabel 4.2 zijn de bovenstaande paragrafen samengevat naar analogie van de zes vragen in 3.2.3 van het hoofdrapport.

Tabel 4.2 Type grondonderzoek bij detailniveau grof.

constructieonderdeel	Oorzaak	Methodieken	Grondparameters	Grondonderzoek	
				Veldwerk	Labwerk
Fundering op palen	Kalenders vallen tegen	Hei analyse	Conusweerstand	Sonderingen met max afstand 25 m; 1 boring	Nvt
	Overschrijding drukdraagkracht palen	Draagkracht analyse	Conusweerstand	Sonderingen met max afstand 25 m; 1 boring	Nvt
	Overschrijding trekdraagkracht palen	Draagkracht analyse	Conusweerstand	Sonderingen met max afstand 25 m; 1 boring	Nvt
	Overschrijding maximaal buigend moment palen	Horizontaal belaste paal analyse	Stijfheid / gewicht	Sonderingen met max afstand 25 m; 1 boring	Volumege- wicht van karakteristieke slappe lagen; stijfheid van karakteristieke slappe lagen
	Trillingen bij inbrengen palen	Analyse van trillingen	Grondopbouw	Sonderingen op maatgevende locaties	Nvt
Op staal	Grondverbetering onder fundering onvoldoende verdicht	Aanname vooraf	Conusweerstand	Verdichtingscontrole	Nvt
	Cohesieve grondlaag onder fundering niet gesignaleerd	interpretatie grondopbouw	Grondopbouw	Sonderingen met max afstand 25 m; 1 boring	Nvt
Overgang kunstwerk naar aardebaan	Aardebaan onvoldoende voorbelast	Zetting analyse	Zettingsparameters / volumegewicht	Zie hoofdstuk 6	Zie hoofdstuk 6
	Horizontale beïnvloeding tgv ophogen naast palen	Horizontaal belaste paal analyse	Stijfheid / volumegewicht	Zie hoofdstuk 6	Zie hoofdstuk 6
Grondkerende constructie	Putcorrosie bij stalen damwanden	Aanname vooraf	Type grondlaag / grondwater	Sonderingen; peilbuis	Grondwater-analyse
	Trillingen bij inbrengen wanden	Analyse van trillingen	Grondopbouw	Sonderingen op maatgevende locaties	Nvt
	Vervorming grondkerende constructie	Horizontale deformatie analyse	Stijfheid / gewicht	Sonderingen met max afstand 100 m; 1 boring	Volumege- wicht van karakteristieke slappe lagen; stijfheid van karakteristieke slappe lagen

4.3 Detailniveau: fijn (definitief ontwerp)

4.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn alle gegevens over belastingen bekend en zijn de ontwerpkeuzen (aanniveau, pijlerbelastingen, paaltypen, randvoorwaarden vanuit de omgeving) gemaakt. Nu volgt een nadere uitwerking en optimalisatie. Het definitieve palenplan wordt gemaakt.



4.3.2 Berekeningen

De constructeur maakt (eventueel in overleg met geotechnisch adviseur) een palenplan dat voldoet aan de eisen m.b.t. de op te nemen belastingen, de zakking van de fundering en de uitvoerbaarheid (heikbaarheid, invloed op de omgeving). Het paaltype en inbrengniveau wordt bepaald per pijler met paalberekeningen. Indien er sprake is van horizontaal belaste palen worden de buigende momenten in de palen berekend. Voor een fundering op staal wordt het funderingsniveau en de afmetingen van de plaat bepaald en de bijbehorende zakkingen. Bij grondkerende constructies worden het wandtype en de verankering bepaald.

4.3.3 Typen grondonderzoek

Voor de berekeningen zijn in deze fase de beschikbare gegevens uit de vorige fase veelal toereikend. Voor verdere detaillering of in specifieke gevallen kan aanvullend grondonderzoek noodzakelijk zijn. Denk hierbij aan een uitgebreider onderzoek met boringen en laboratorium onderzoek van (door grond of uitwendig) horizontaal belaste palen en keerconstructies of aan classificatieproeven t.b.v. terre armée en vernagelingswanden.

4.3.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Aanvullend onderzoek is nodig als blijkt dat door gewijzigde omstandigheden of ten behoeve van de uit te voeren detaillering van het ontwerp er onvoldoende informatie over de ondergrond aanwezig is.

Hierbij kan gedacht worden aan:

- gebieden waar (voldoende) grondonderzoek ontbreekt doordat later in het proces deze gebieden beschikbaar kwamen (als gevolg van toestemming van de landeigenaren om het terrein te betreden, weersomstandigheden, bereikbaarheid enz.);
- op basis van het reeds uitgevoerde grondonderzoek geconstateerde lokale afwijkingen in de grondopbouw (bijv. plaatselijk lage conusweerstand);
- onbetrouwbaar grondonderzoek (sondeerbeeld onrealistisch);
- onvoldoende onderzoeksdiepte als blijkt dat het ontwerp iets gewijzigd moet worden (bijv. langere funderingspalen, toepassing van grondkerende constructies).

De hoeveelheid aanvullend grondonderzoek is afhankelijk van de mate waarin het grondonderzoek onvoldoende is, iets wat voor ieder project en situatie anders is. Het streven is om in de voorgaande fase zoveel mogelijk te anticiperen op wijzigingen die te voorzien zijn zodat aanvullend onderzoek zoveel mogelijk kan worden voorkomen of de hoeveelheid zo laag mogelijk kan worden gehouden. Dit dient zowel een economisch als juridisch belang (bijvoorbeeld wanneer het grondonderzoek als tenderinformatie wordt toegevoegd).

In de tabel 4.3 zijn de bovenstaande paragrafen samengevat naar analogie van de zes vragen in 3.2.3.

Tabel 4.3 Type grondonderzoek bij detailniveau fijn.

constructieonderdeel	Oorzaak	Methodieken	Grondparameters	Grondonderzoek	
				Veldwerk	Labwerk
Fundering op palen	Kalenders vallen tegen	Hei analyse	Conusweerstand	Sonderingen met max afstand 25 m; 1 boring	Nvt
	Overschrijding drukdraagkracht palen	Draagkracht analyse	Conusweerstand	Sonderingen met max afstand 25 m (verkleining afstand waar nodig); 1 boring	Nvt
	Overschrijding trekdraagkracht palen	Draagkracht analyse	Conusweerstand	Sonderingen met max afstand 25 m (verkleining afstand waar nodig); 1 boring	Nvt
	Overschrijding maximaal buigend moment palen	Horizontaal belaste paal analyse	Stijfheid / gewicht	Sonderingen met max afstand 25 m (verkleining afstand waar nodig); 1 boring	Volumegewicht van karakteristieke slappe lagen; stijfheid van karakteristieke slappe lagen
	Trillingen bij inbrengen palen	Analyse van trillingen	Grondopbouw	Sonderingen op maatgevende locaties	Nvt
Op staal	Grondverbetering onder fundering onvoldoende verdicht	Aanname vooraf	Conusweerstand	Verdichtingscontrole	Nvt
	Cohesieve grondlaag onder fundering niet gesignaleerd	Interpretatie grondopbouw	Grondopbouw	Sonderingen met max afstand 25 m (verkleining afstand waar nodig); 1 boring	Nvt
Overgang kunstwerk naar aardebaan	Aardebaan onvoldoende voorbelast	Zetting analyse	zettingsparameters / volumegewicht	Zie hoofdstuk 6	Zie hoofdstuk 6
	Horizontale beïnvloeding tgv ophogen naast palen	Horizontaal belaste paal analyse	Stijfheid / volumegewicht	Zie hoofdstuk 6	Zie hoofdstuk 6
Grondkerende constructie	Putcorrosie bij stalen damwanden	Aanname vooraf	Type grondlaag / grondwater	Sonderingen op maatgevende locaties; peilbuis in karakteristiek grondwatergebied	Grondwateranalyse
	Trillingen bij inbrengen wanden	Analyse van trillingen	Grondopbouw	Sonderingen op maatgevende locaties	Nvt
	Vervorming grondkerende constructie	Horizontale deformatie analyse	Stijfheid / gewicht	Sonderingen met max afstand 100 m (verkleining afstand waar nodig); 1 boring	Volumegewicht van karakteristieke slappe lagen; stijfheid van karakteristieke slappe lagen

4.4 Eisen aan uitvoering grondonderzoek

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.



Boringen

Doel van de boringen is over het algemeen het vaststellen van de volumieke gewichten van de ondergrond voor de bepaling van de negatieve kleef. Indien een fundering op staal wordt toegepast zijn ongeroerde monsters nodig voor laboratoriumproeven ter vaststelling van de stijfheid en de sterkte van het grondmonster.

4.5 Bijzondere situaties

4.5.1 Onderdoorgang

Bij een onderdoorgang moet de belasting van de grond tegen de zijwanden bepaald worden. De grond langs de zijwanden wordt later aangevuld. Gegevens van de aanvulgrond moeten bepaald, opgelegd of geschat worden.

4.5.2 Overgangsconstructie

Het ontwerp van overgangsconstructies verdient bijzondere aandacht om het onderhoud of schadeherstel zoveel mogelijk binnen het onderhoudsprogramma van de weg te houden en daarmee extra hinder of gevaar voor de weggebruiker te voorkomen. Naast de zettingen zijn cyclische stootbelastingen en trillingen als gevolg van het verkeer belangrijke aspecten hierin.

Denk ook aan waterpeilers bij bruggen → aanvaarbelastingen (dynamisch), remmingswerken.

4.6 Bijzondere situaties

Voor het ontwerp van een tunnel kan het noodzakelijk zijn om grondonderzoek vanaf het water uit te voeren. Bij een dergelijk grondonderzoek moet worden gerekend op een grotere inspanning, hogere kosten en langere uitvoeringstijd dan bij grondonderzoek vanaf op land.

Bijlage 5

Overlaten

5.1 Detailniveau: zeer grof (schets-of initiatieffase)

5.1.1 Omschrijving

In deze fase is ten minste de locatie en de overlaat bekend. Daarmee ook vaak al de vereiste hoogte ligging en vermoedelijke grondopbouw, zodat een inschatting gemaakt kan worden van een mogelijk constructietype.

De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een eerste inschatting te kunnen maken van de constructie (type bovenbouw en funderingswijze) en op basis hiervan een evaluatie uit te voeren naar de haalbaarheid van het project in tijd en geld. Het is van belang inzicht te krijgen in de voornaamste risico's die het project bedreigen. Van belang is inzicht te krijgen in de stijghoogte verloop van de watervoerende lagen als functie van de tijd en bij hoog water.

5.1.2 Berekeningen

Wegens de beperkte hoeveelheid gegevens en grote keuzevrijheid kunnen hier alleen oriënterende berekeningen worden gemaakt op basis van beperkt grondonderzoek. In deze fase wordt de ontwerpvarianten onderzocht, en uiteindelijk een keuze gemaakt voor de in het Voorlopig Ontwerp uit te werken variant.

Hierbij kan men denken aan oriënterende funderingsberekeningen (op staal of palen) en schermwand (eventueel in combinatie met een damwand als fundering) op basis van sondeergrafieken in combinatie met lokale ervaringen (o.a. funderingswijze, opdrijfgevaar).

5.1.3 Typen grondonderzoek

In deze fase is het van belang allereerst alle bestaande gegevens te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes. Te denken valt hierbij aan:

Historisch onderzoek:

- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- Luchtfoto's / Google Earth
- Geologische kaartbladen TNO
- Raadplegen DINO-database
- Eigen archief grondonderzoek
- Tabel 1 uit NEN 9997-1
- Gegevens grondwaterstanden TNO
- Langjarige gegevens waterstanden in rivier via meetnet Rijkswaterstaat
- Bathymetrische kaarten (contouren waterbodem) van lokale waterschap aangevuld met informatie over de huidige situatie (beschoeiing e.d.)
- Oude landkaarten (oude geulen, locaties oude dijkdoorbraken e.d.) met aandacht voor eventuele obstakels in de ondergrond



- Voor zover beschikbaar (via Waterschap): ontwerprapporten naburige werken, monitoringsdata naburige, bekende variatie in de ondergrond, ontgroning, droogstand houten funderingspalen (verzakking palen), uitvoeringservaring naburige werken (toegankelijkheid locatie)

5.1.4 **Hoeveelheid grondonderzoek**

Voor een 'quick scan' op basis van ter plaatse uitgevoerd onderzoek kan het beste gebruik worden gemaakt van sonderingen op relatief grote afstanden, bijvoorbeeld 1 x per 100 m tot 5 meter onder het ingeschat paalpuntniveau of schermwand.

5.2 **Detailniveau: grof (Voorontwerp)**

5.2.1 **Omschrijving**

In deze fase is een beperkt aantal eisen aangegeven, zoals de locatie, de hoogteligging van de overlaat en een indicatie van de te verwachten belastingen.

De te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om uit het voorontwerp een grove werkplanning en eventueel eerste prijsvorming door inschrijvers mogelijk te maken.

5.2.2 **Berekeningen**

De berekeningen in deze fase bestaan uit funderingsberekeningen (op staal of houten/betonnen palen), rekening houdend met horizontale belasting op de palen. Hiermee worden de bezwijkmechanismen zoals aangegeven in het hoofdrapport onderzocht. Op basis van de resultaten uit deze fase wordt de (geotechnische) risicoanalyse aangepast. Resterende risico's kunnen dan (in meer detail) in een vervolgfase worden onderzocht.

5.2.3 **Typen grondonderzoek**

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn in deze fase de volgende gegevens gewenst:

- Alle data uit vorige fase(n)
- Sonderingen
- Boringen, indien nodig geacht door geotechnisch adviseur, met laboratoriumonderzoek:
 - Classificatieproeven (dichtheid nat/droog, watergehalte, ongedraineerde schuifsterkte)
 - Triaxiaalproeven (minimaal 1 per cohesief laagsoort)
 - Samendrukkingproeven (minimaal 1 cohesief per laagsoort)
 - Korrelgrootteverdeling
 - Falling head tests
- Peilbuizen met registraties van de diverse watervoerende grondlagen inclusief eventueel de bepaling van de invloed van getij en hoog water op de grondwaterstanden / stijghoogte. Aanbevolen wordt deze metingen over een langere periode uit te voeren met divers om rekening te kunnen houden met seizoensinvloeden. Peilbuizen kunnen eventueel geplaatst worden in een boorgat uitgevoerd ten behoeve

van een geotechnische boring. Veelal zal een geohydrologisch adviseur betrokken zijn bij het project voor de hydrologische aspecten, deze zal het benodigd onderzoek hiervoor aangeven.

Om kosten te besparen kan eventueel overwogen worden de boringen wel uit te voeren, maar een aantal monsters in opslag te laten bewaren en in een later stadium, indien dit toch wenselijk is, te beproeven (bijvoorbeeld samendrukkingsproeven en triaxiaalproeven).

Op deze wijze worden in principe alle benodigde parameters direct of indirect bepaald voor de beschouwing van de faalmechanismen.

5.2.4 Hoeveelheid grondonderzoek

De benodigde hoeveelheid grondonderzoek wordt bepaald op basis van de norm waarbij aangegeven wordt dat indien er geen bijzondere variaties in de bodemopbouw zijn vastgesteld, de onderlinge sondeerafstand maximaal 25 m is. Per sondering wordt een oppervlak bestreken van ten hoogste 25 x 25 m². Indien uit de vorige projectfase blijkt dat de ondergrond niet homogeen is (bijvoorbeeld oude geulen, aanwezigheid van grindlagen) wordt aanbevolen dat de geotechnische adviseur kleinere h.o.h. afstanden aanhoudt.

Het verschil tussen de hoogste en de laagste waarde van de maximumdraagkracht van de paal, berekend bij een sondering in het beschouwde gebied, moet, voor eenzelfde paalpuntniveau, kleiner zijn dan 0,3 x de gemiddelde waarde van de maximumdraagkracht van de paal (over alle sonderingen in het beschouwde gebied). Als de variatie in draagkracht (veroorzaakt door de variatie in geconstateerde conusweerstand) groter is moet de onderlinge sondeerafstand verkleind worden. De norm geeft aan maximaal 20 m bij een variatie tussen de hoogste en de laagste waarde van de maximumdraagkracht tot 0,4 x de gemiddelde waarde (met maximaal oppervlak per sondering van 20 x 20 m²) en maximaal 15 m bij een variatie tot 0,5 x de gemiddelde waarde (met maximaal oppervlak per sondering van 15 x 15 m²).

Vooraf zal een inschatting gemaakt moeten worden van de verwachte variatie. Mocht uit de resultaten van de sonderingen blijken dat deze inschatting onjuist is gebleken dan zal conform de NEN aanvullend grondonderzoek, in deze of de volgende fase, noodzakelijk zijn.

De sondeerdiepte dient tot minimaal 5 m onder het ingeschatte paalpuntniveau of onderkant van de schermwand worden uitgevoerd. Om eventueel diepere zettingsgevoelige lagen in kaart te brengen wordt aanbevolen om minimaal één sondering, onder het ingeschatte paalpuntniveau, tot onder een diepte van 10 maal hieronder uit te voeren.

In geval van een nabij gelegen talud (horizontale grondbelasting op de steigerconstructie) is het aan te raden om naast sonderingen tevens minimaal 1 boring uit te voeren met bepaling van sterkte parameters om zo een goede inschatting te kunnen maken van de laterale belasting op de palen.



Opgemerkt wordt dat de kosten om sonderingen en boringen vanaf het water uit te voeren kostenverhogend (o.a. mobilisatiekosten boorbak) is ten opzichte van sonderingen op het land. Mogelijk zal zelfs de waterdiepgang te gering zijn voor een boorbak en zal met het grondonderzoeksbedrijf gesproken worden omtrent wat er mogelijk is en de kosten hiervan. Het is aan te bevelen om het grondonderzoek dusdanig op te zetten dat er voldoende gegevens zijn voor het voorontwerp en definitief ontwerp om aanvullende sonderingen en boringen vanaf het water te voorkomen.

In het Voorlopig ontwerp wordt, met behulp van de uitgevoerde sonderingen, vervolgens de dimensionering van de fundering en schermwand uitgevoerd.

5.3 Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp)

5.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn alle basiskeuzen (locatie, hoogte overlaat, afmetingen overlaat, belastingen) gemaakt. In het definitief ontwerp wordt de uitwerking van het hoofdontwerp uitgevoerd. Indien uit het grondonderzoek uitgevoerd tijdens voorontwerp mocht zijn gebleken dat er hiaten zijn in het grondonderzoek, dan kunnen die in deze fase worden aangevuld.

5.3.2 Berekeningen

De berekeningen naar alle onderscheiden faalmechanismen worden in principe voor elk van de onderscheiden trajecten uitgevoerd.

In deze fase wordt zo nodig aanvullend grondonderzoek (sonderingen of boringen) uitgevoerd daar waar nog onduidelijkheden zijn in het ontwerp. Tevens dient er controle plaats te vinden van de stijghoogtemetingen (langdurige diver metingen) ten aanzien van de aangenomen maatgevende stijghoogte in de reeds uitgevoerde berekeningen.

5.3.3 Typen grondonderzoek

Het grondonderzoek wordt gericht op het verkrijgen van aanvullende informatie. Dit kan noodzakelijk zijn om lacunes in de kennis van de grondopbouw, die van belang zijn voor het ontwerp, aan te vullen. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan in de ondergrond aanwezige oude geulen, of lagen die in het Voorlopig ontwerp naar de mening van de geotechnische adviseur onvoldoende zijn onderzocht. Het aanvullend grondonderzoek bestaat meestal uit sonderingen of boringen met laboratoriumonderzoek indien de sondeergrafieken niet voldoende informatie opleveren.

5.3.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Een minimale hoeveelheid grondonderzoek is voor deze fase niet aan te geven. Dit zal immers afhankelijk zijn van de resultaten van het grondonderzoek ten behoeve van het Voorlopig Ontwerp.

Uiteindelijk zou het grondonderzoek na deze fase zodanig van omvang moeten zijn, dat voor alle gesignaleerde geotechnische risico's maatregelen kunnen worden vastgesteld.

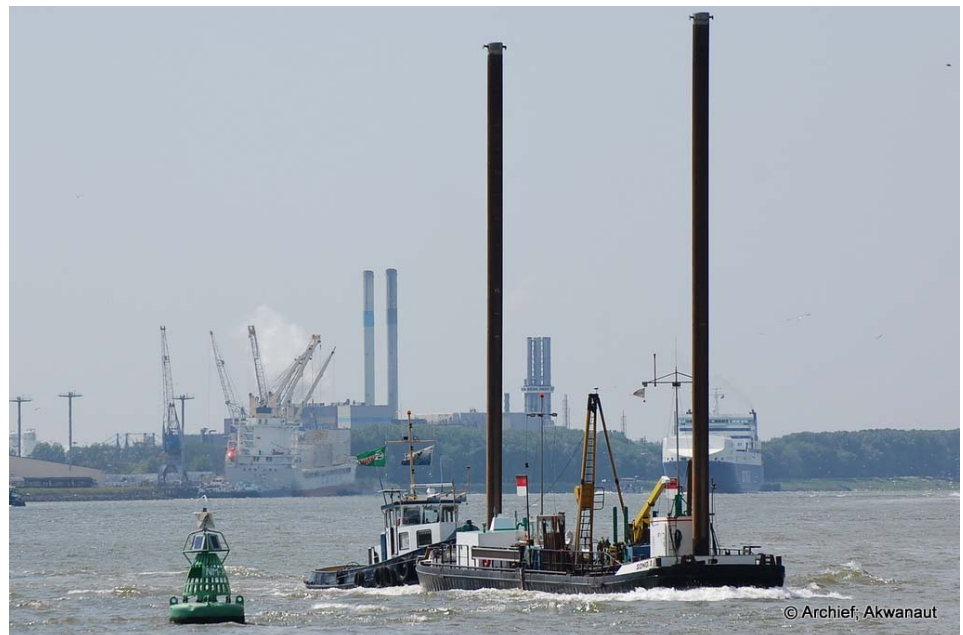
In het algemeen kan worden gezegd dat in deze fase alleen nog naar specifieke probleemlocaties gekeken zou moeten worden. Uit eerdere fasen moet het globale geotechnische en geologische beeld van de ondergrond voldoende duidelijk zijn.

5.4 Eisen aan uitvoering grondonderzoek

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

Boringen

Doel van de boringen is over het algemeen het vaststellen van de volumieke gewichten van de ondergrond voor de bepaling van de negatieve kleeft op paalfunderingen en ter bepaling van de sterkte grondparameters voor stabiliteitsberekeningen en eventuele funderingen op staal.



Onderzoek waterbodem Nieuwe Waterweg

Bijlage 6

Sluizen

6.1 Detailniveau: zeer grof (schets-of initiatieffase)

6.1.1 Omschrijving

In deze fase zijn ten minste de locatie en het te overbruggen waterstandsverschil van de constructie bekend. Afhankelijk van het scheepstype en de verwachte intensiteit van het scheepvaartverkeer zijn ook vaak al de hoofdafmetingen bepaald.

De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een eerste inschatting te kunnen maken van het ontwerp van de sluis en op basis hiervan een evaluatie uit te voeren naar de haalbaarheid van het project in tijd en geld. Het is van belang inzicht te krijgen in de voornaamste risico's die het project bedreigen.

6.1.2 Berekeningen

Wegens de beperkte hoeveelheid gegevens en grote keuzevrijheid kunnen hier alleen verkennende berekeningen worden gemaakt op basis van vuistregels en correlaties. In deze fase worden de ontwerpvarianten onderzocht, en uiteindelijk een keuze gemaakt voor de in het Voorlopig Ontwerp uit te werken variant.

Hierbij kan men denken aan verkennende bouwkuip- en funderingberekeningen op basis van sondeergrafieken in combinatie met ervaringsgetallen uit het gebied.

6.1.3 Typen grondonderzoek

In deze fase is het van belang allereerst alle bestaande gegevens te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes. Te denken valt hierbij aan:

Historisch onderzoek:

- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- Luchtfoto's / Google Earth
- Geologische kaartbladen TNO
- DINO-database
- Eigen archief grondonderzoek
- Gegevens grondwaterstanden TNO
- Langjarige gegevens waterstanden in rivier of havenmond via meetnet Rijkswaterstaat
- Oude landkaarten (vooral in kustgebieden, locaties oude getij/stroomgeulen e.d.)
- Voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten naburige werken
- Voor zover beschikbaar: relevante monitoringsdata van naburige werken (bijv bemalingen)

Aanvullend onderzoek:

- Visuele inspectie in omgeving
- Sonderingen
- Peilbuizen in de omgeving

Actueel Hoogtebestand Nederland:

Met behulp van de kaarten van het AHN (op te vragen via de website) zijn heterogeniteiten in het terrein soms al duidelijk te herkennen. De kaarten geven de NAP-maten van het maaiveld in kleuren weer. Met behulp van verschillen in maaiveldhoogten kunnen soms oude geologische kenmerken in het landschap eenvoudig worden herkend.

Visuele inspectie

Het uitvoeren van een visuele inspectie in de omgeving van het te maken werk kan veel informatie opleveren, wanneer deze door een geotechnisch ingenieur, ingenieursgeoloog of geoloog wordt uitgevoerd. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gelet op aanwijzingen over in het verleden opgetreden oevervallen of andere instabiliteiten en eventuele obstakels die grondonderzoek bemoeilijken.

6.1.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Voor een 'quick scan' op basis van ter plaatse uitgevoerd onderzoek kan het beste gebruik worden gemaakt van sonderingen op relatief grote afstanden, bijvoorbeeld 1x per 100 m aan beide zijden van de sluis. Enkele van deze sonderingen uit te voeren als piëzosonderingen, zodat een indruk kan worden verkregen van de stijghoogten in de diverse mogelijk aanwezige waterregimes.

6.2 Detailniveau: grof (Voorontwerp)**6.2.1 Omschrijving**

In deze fase is een beperkt aantal eisen aangegeven, zoals de locatie, de hoofd-afmetingen van de sluis en het waterstandsverschil. De te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om uit het voorontwerp een grove werkplanning en eventueel eerste prijsvorming door inschrijvers mogelijk te maken.

6.2.2 Berekeningen

Indien in de bouwfase een bouwkuip zal worden toegepast zullen in deze fase damwandberekeningen op basis van een verend ondersteunde ligger model worden uitgevoerd, een bepaling van de wijze van verankering, het verticaal evenwicht (opbarsten bouwput, lengte funderingspalen) in een maatgevend geacht dwarsprofiel.

In geval van een open ontgraving zullen de aspecten taludstabiliteit en stabiliteit bouwputbodem worden onderzocht. Voor beide situaties dient tevens een eerste berekening van de gevolgen van een bouwputbemaling te worden uitgevoerd.

Ten behoeve van de gebruiksfase worden de fundering, de sluiswanden en de waterremming in eerste berekeningen bepaald. Daarbij wordt tevens een eerste berekening van de inheidiepte van remmingwerkpalen uitgevoerd.

Hiermee worden de bezwijkmechanismen zoals aangegeven in het bijbehorende hoofdstuk 13 onderzocht. Op basis van de resultaten uit deze fase wordt de (geotechnische) risico-analyse aangepast. Resterende risico's kunnen dan (in meer detail) in een vervolgfase worden onderzocht.

6.2.3 Typen grondonderzoek

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn in deze fase de volgende gegevens gewenst:

- Alle data uit vorige fase(n)
- Sonderingen
- Boringen
- Peilbuizen met registraties van de diverse watervoerende grondlagen inclusief eventueel de bepaling van de invloed van eventueel aanwezig getij op de grondwaterstanden.
- Laboratoriumonderzoek:
 - Classificatieproeven (dichtheid nat/droog, watergehalte)
 - Samendrukkingproeven (minimaal 1 per laagsoort)
 - Triaxiaalproeven op cohesieve en niet-cohesieve lagen (minimaal 1 per laagsoort)

6.2.4 Hoeveelheid grondonderzoek

De benodigde hoeveelheid grondonderzoek wordt bepaald op basis van Eurocode 7, art 3.2.3 (Onderzoek voor het ontwerp).

Voor een sluisconstructie moet het grondonderzoek bestaan uit:

- In geval van een gesloten bouwkuip: op de lijn van de omtrek van de bouwkuip:
 - Een rij sonderingen ter plaatse van de damwand h.o.h. afstand 25 m, diepte tot minimaal 5 m onder het te verwachten voetniveau damwand.
 - Boringen h.o.h. afstand circa 75 m, diepte tot in de maatgevende water-afsluitende laag.
 - Peilbuizen h.o.h. afstand circa 150 m, met filters ter hoogte van het freatisch vlak en op dieptes overeenkomend met de aanwezigheid van lagen met een verschillende stijghoogte.
 - Op de hartlijn van de verankering (bouwkuip) een rij sonderingen h.o.h. afstand 25 m, diepte tot minimaal 2 m onder geplande verankeringslaag
- In geval van een open ontgraving:
 - Sonderingen ter plaatse van de insteek van de ontgraving, h.o.h. afstand 25 m. Als de geprojecteerde lengte van het talud in de ontgravingsrichting meer bedraagt dan 50 m dan dienen ook sonderingen halverwege tussen de insteek en de teen van het talud te worden uitgevoerd. Diepte van de sonderingen tot minimaal drie maal de ontgravingsdiepte.
 - Boringen langs de insteek van het talud, minimaal 2 boringen per talud in de langsricting van de sluis, h.o.h. afstand maximaal 50 m. Diepte van de boringen tot minimaal drie maal de ontgravingsdiepte.
- Ter plaatse van de fundering:
 - Sonderingen in een stramien van maximaal 25 * 25 m tot een diepte van ten minste $5D_{eq}$ onder het verwachte paalpuntniveau en minimaal enkele m in de

maatgevende waterafsluitende laag. De sonderingen dienen de gehele fundering te omhullen.

- Boringen tot de maatgevende waterafsluitende laag, ten minste 1 per 2000 m²
- Ter plaatse van waterkerende schermen:
 - ten minste 1 boring per scherm tot in de maatgevende waterafsluitende laag.

Bij de hierboven gegeven dieptes van boringen en sonderingen wordt nog opgemerkt dat de te onderzoeken diepte mede afhankelijk is van de grondopbouw beneden het te verwachten voetniveau van op druk belaste elementen zoals funderingspalen. Indien zich daaronder samendrukbare lagen bevinden dan moeten deze tot aan de onderzijde ervan worden onderzocht. Ook moeten op monsters uit deze lagen de samendrukkings-eigenschappen worden bepaald met behulp van samendrukkingproeven.

Het verdient aanbeveling om op basis van de sonderingen en boringen op de een geotechnisch profiel samen te stellen. Uit dit profiel wordt vervolgens het project ingedeeld in trajecten, met elk hun eigen grondopbouw. Een dergelijk geotechnisch profiel kan zowel worden opgezet ten behoeve van het damwandontwerp en funderingsontwerp als wel met het oog op toepassing bij geohydrologische berekeningen.

In het Voorlopig ontwerp wordt voor een maatgevend traject vervolgens de dimensionering van bouwkuip (damwand, verankering of stempeling) of ontgraving (stabiliteit), een eerste afchatting van bemaling en de fundering van de sluis uitgevoerd.

In de CUR2003-7 worden richtlijnen gegeven voor de minimale hoeveelheid samendrukkings-, sterkte- of dichtheidsproeven, die uit boormonsters worden verkregen, zie ook tabel 6.1.

Tabel 6.1 Aanbevolen hoeveelheden voor bemonstering.

Proeftype	Aanbeveling
Classificatie	1x per meter*) (GC3: 1,5 -2 x per m)
Samendrukkingproef	1x per 3 meter (GC3: 1 - 1,5 x per 3 m)
Triaxiaalproef CU In cohesieve laag	1x per 3 meter (GC3: 1 - 1,5 x per 3 m)
Triaxiaalproef CD op zand**)	1 * per zandlaag

*) voorts wordt aanbevolen per onderscheiden laag korter dan 1m tevens de classificatie van die laag uit te voeren.

***) Zandmonsters worden in een boring altijd geroerd. Voor de bepaling van de sterkte en stijfheidseigenschappen wordt geadviseerd de in situ dichtheid te bepalen uit conusweerstand en minimale en maximale dichtheid. Deze laatste bepalingen dienen dan ook in het laboratorium te worden uitgevoerd. De CD triaxiaalproef wordt vervolgens bij de berekende in situ dichtheid uitgevoerd.

De CUR 2003-7 geeft de meest volledige indicatie van benodigd onderzoek; daarbij wordt de nadruk gelegd op de term 'indicatie'. Uiteindelijk zal door een geotechnisch ingenieur op basis van de specifieke projecteigenschappen een afweging moeten worden gemaakt.

Uit het laboratoriumonderzoek en eventueel empirische relaties worden per onderscheiden grondlaag de representatieve waarden van de parameters, die zullen worden gebruikt bij de verschillende berekeningen, vastgesteld.



6.3 Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp)

6.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn alle basiskeuzen (locatie, hoofdafmetingen, bouwmethode) gemaakt. In het definitief ontwerp wordt de uitwerking van het hoofdontwerp uitgevoerd. In de, in het VO vastgestelde trajecten met gelijke grondopbouw, worden alle faalmechanismen getoetst. Indien uit het grondonderzoek mocht zijn gebleken dat er hiaten zijn in het grondonderzoek, dan kunnen die in deze fase worden aangevuld.

6.3.2 Berekeningen

De berekeningen naar alle onderscheiden faalmechanismen worden in principe voor elk van de onderscheiden trajecten uitgevoerd.

In deze fase wordt per sondering zo nodig de draagkracht van damwand en verankering bepaald.

6.3.3 Typen grondonderzoek

Het grondonderzoek wordt gericht op het verkrijgen van aanvullende informatie. Dit kan noodzakelijk zijn om lacunes in de kennis van de grondopbouw, die van belang zijn voor het ontwerp, op te vullen. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan in de ondergrond aanwezige oude geulen, of lagen die in het Voorlopig ontwerp naar de mening van de geotechnische adviseur onvoldoende zijn onderzocht.

Het in deze fasen te gebruiken onderzoek kan dus bestaan uit

- Alle data uit vorige fase(n)
- Aanvullende sonderingen
- Aanvullende boringen
- Aanvullend laboratoriumonderzoek:
 - Classificatieproeven (dichtheid nat/droog, watergehalte)
 - Samendrukkingproeven
 - Triaxiaalproeven (CU/CD)
- Aanvullende peilbuizen

6.3.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Een minimale hoeveelheid grondonderzoek is voor deze fase niet aan te geven. Dit zal immers afhankelijk zijn van de resultaten van het grondonderzoek ten behoeve van het Voorlopig Ontwerp.

Uiteindelijk zou het grondonderzoek na deze fase zodanig van omvang moeten zijn, dat voor alle gesignaleerde geotechnische risico's maatregelen kunnen worden vastgesteld.

In het algemeen kan worden gezegd dat in deze fase alleen nog naar specifieke probleemlocaties gekeken zou moeten worden. Uit eerdere fasen moet het globale geotechnische en geologische beeld van de ondergrond voldoende duidelijk zijn.

Het kan echter zijn dat bijvoorbeeld een lokaal raakvlak met de omgeving (gebouwen, leidingen) nader moet worden gedetailleerd.

6.4 Eisen aan uitvoering grondonderzoek

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

Boringen

Doel van de boringen is over het algemeen het vaststellen van de volumieke gewichten van de ondergrond voor de bepaling van de negatieve kleeft op paalfunderingen en ter bepaling van de sterkte grondparameters voor stabiliteitsberekeningen en eventuele funderingen op staal.



Onderzoek milieukwaliteit waterbodem in Stijn (Limburg).

Bijlage 7

Tunnels en Aquaducten

7.1 Detailniveau: zeer grof (schets- of initiatiefase)

7.1.1 Omschrijving

De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om de eisen en randvoorwaarden vast te stellen, projectplannen te maken en globaal risico's in te schatten. Op basis hiervan kan een evaluatie naar de haalbaarheid van het project in tijd en geld worden gedaan.

7.2 Berekeningen

In deze fase worden slechts zeer oriënterende berekeningen uitgevoerd of schattingen gedaan op basis van ervaringen van de geotechnisch ontwerper / adviseur.

7.2.1 Typen grondonderzoek

In deze fase is het van belang allereerst alle gegevens uit archieven en oudere dossiers bij bedrijven en instanties te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes. Te denken valt hierbij aan:

Historisch onderzoek:

- Lucht- en satellietfoto's (Google Earth)
- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- geologische kaartbladen TNO
- raadplegen DINO-database
- gegevens grondwaterstanden TNO
- oude landkaarten (vooral in kustgebieden, locaties oude getij/stroomgeulen e.d.)
- voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten naburige werken
- voor zover beschikbaar: monitoringsdata (zetting, zanddikte, ligtijden) naburige werken

Aanvullend onderzoek:

- visuele inspectie in omgeving;
- uitvoeren (eventueel) handboringen en geroerde monsternamen;
- uitvoeren (eventueel) enkele (piëzo)sonderingen;
- plaatsen van peilbuizen en opname grondwaterstand.

In verband met de ligging onder maaiveld ligt vooral de nadruk op het geologische vooronderzoek (vooral bij onderzoek naar boomogelijkheden) en het verkrijgen van geohydrologische gegevens en studies.

Peilbuizen bij voorkeur reeds in deze fase plaatsen en ook regelmatig aflezen.

7.2.2 Hoeveelheid grondonderzoek

Voor een eerste indruk kan gebruik gemaakt worden van grondonderzoek wat voor omliggende (infrastructuur) projecten is uitgevoerd. Voor een globale indruk zijn sondeerafstanden van 300 a 400 m voldoende.

Waar dit niet of onvoldoende aanwezig is kan overwogen worden om (piëzo)sonderingen en enkele boringen met gestoken monsters uit te voeren, zodat ook aanvullende informatie kan worden vergaard voor classificatie van grondsoorten. Monsters kunnen desgewenst worden opgeslagen om in een later stadium te worden gebruikt voor laboratoriumonderzoek.

7.3 Detailniveau: grof (voorontwerp)

7.3.1 Omschrijving

In deze projectfase staat in het kader van de haalbaarheid en uitvoerbaarheid van varianten en bouwmethoden met de bijbehorende risico's. De dwarsprofielen en diepteligging van het gesloten- en overgangsgedeelte, alsmede de toeritten worden in deze fase bepaald.

Ten aanzien van het gesloten gedeelte van een tunnel wordt afgewogen of kan worden afgezonken, geboord of dat wellicht kan worden volstaan met een bouwput met damwanden al dan niet met een spanningsbemaling of toepassing van onder waterbeton. De laatste afwegingen zijn zeker van toepassing voor de toeritten van een tunnel of aquaduct.

Ook de invloed van de bouwmethode van het ene gedeelte op het andere wordt in deze fase bestudeerd.

Het grondonderzoek voor tunnels en aquaducten wordt gebaseerd op geotechnische categorie 3. Mogelijk kan voor onderdelen en hulpconstructies CG2 worden gehanteerd.

7.3.2 Berekeningen

In deze fase worden eerst berekeningen uitgevoerd om de haalbaarheid en de risico's van varianten beter in kaart te brengen. Het type berekeningen is afhankelijk van het onderdeel van de constructie en de bouwmethode.

Indien bij een tunnel een boorvariant van het gesloten gedeelte reëel blijkt, worden de grondrukken berekend en de hardheid / stijfheid van de ondergrond in relatie tot het boorproces nader uitgezocht. Bij een zinkvariant worden de taluds van de zinksleuf berekend.

De draagkracht en zakkings van de funderingen worden bepaald. Voor de open of gesloten bouwputten worden stabiliteits- en vervormingberekeningen uitgevoerd.

Aan de hand van hydrologische berekeningen worden te bemalen debieten en de invloed van zettingen op de omgeving berekend.



7.3.3 Typen grondonderzoek

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn in deze fase de volgende gegevens en grondonderzoek gewenst:

- Data uit vorige fase(n);
- (piëzo) Sonderingen (voor zover nog niet beschikbaar) gelijkmatig verdeeld over het ontwerp;
- Mechanische boringen met ongeroerde monsternamen en grondwaterstandbepaling;
- Peilbuizen (voor zover niet uit vorige fase aanwezig) en opname grondwaterstand;
- Laboratoriumonderzoek:
 - Classificatieproeven (volumiek gewicht nat/droog, dichtheid, watergehalte, korrelverdelingen en korrelvorm);
 - (Tor)vane testen (ongedraineerde schuifsterkte);
 - Atterbergse grenzen (consistentie, PI);
 - Triaxiaalproeven CD in zand en CU in cohesief materiaal met minimaal 1 ontlast-herbelastingtrap (sterkte, stijfheid en relatieve dichtheid uit CD-proeven)
 - Samendrukkingsproeven (7 trappen, met ontlast en herbelasting trap);
 - Falling Head / Constant Head testen (waterdoorlatendheid).

Mogelijk kan in dit stadium al besloten worden om in situ Cone Pressio Meter (C.P.M) proeven uit te voeren. Met name als de beschikbare tijd voor aanvullend grondonderzoek beperkt is.

7.3.4 Hoeveelheid grondonderzoek

In NEN 9997-1 en hoofdstuk 2 uit CUR 2003-7 worden eisen en een indicatie voor de minimaal benodigde hoeveelheid grondonderzoek voor het ontwerp en de uitvoeringscontrole gegeven. In NEN 9997-1 zijn naast algemene eisen ook specifieke eisen voor funderingen op staal, funderingen op palen en grondkerende constructies gesteld.

Bij het bepalen van de onderzoeksintensiteit of hoeveelheid grondonderzoek is het van belang om reeds een indruk te hebben van de heterogeniteit van de ondergrond. Dit aspect bepaald voor de belangrijk deel de geotechnische risico's. De informatie hiervoor kan worden gehaald uit historisch- en/of vooronderzoek dat tijdens de schets- of initiatiefase beschikbaar is gekomen. De hoeveelheid grondonderzoek dient bij een (sterk) heterogene bodemgesteldheid beduidend groter te zijn dan bij een homogene ondergrond. Ook in de beschikbare normen en richtlijnen wordt op dit aspect gestuurd.

CUR 2003-7 geeft de meest volledige indicatie van benodigd onderzoek. Daarbij wordt de nadruk gelegd op de term 'indicatie'. Hoewel de hoeveelheden niet altijd duidelijk blijken uit de normen en richtlijnen, lijkt het logisch te veronderstellen dat met de aanbevolen minimum hoeveelheden de voorontwerpfase wordt bedoeld of wellicht een detailfase bij een redelijke homogene bodemopbouw. Immers, voor een planfase zal men meer naar bestaande gegevens kijken, en voor een detailfase kan vooraf nooit een minimum-hoeveelheid worden genoemd, omdat de hoeveelheden geheel af zullen hangen van de specifieke projectkenmerken.

In de R.O.B.K. versie 6 "aanvullingen en wijzigingen voor tunnels en aquaducten" staat dat voor een zinktunnel kan worden volstaan met grondonderzoek conform "lijninfrastructuur"

als vermeld in CUR 2003-7. Hierbij geldt als wijziging dat als de breedte van de tunnel kleiner is dan de $0,5 \times h.o.h.$ afstand kan worden volstaan met sonderingen midden onder de tunnel.

De hoeveelheid metingen is direct van invloed op de nauwkeurigheid van de te bepalen parameter. In principe geldt dat meer metingen of steekproeven leiden tot een betere schatting van het laaggemiddelde en de bandbreedte. Dit betekent dat met de intensiteit van het grondonderzoek het geotechnisch risico kan worden gestuurd.

Conform CUR 2003-7 geldt het volgende. Bij lijninfrastructuur en GC3 worden de sonderingen om de 50 m en de boringen om de 200 m uitgevoerd. Bij GC2 gelden hiervoor respectievelijk 100 m en 400 m.

Bij grondkerende constructies geldt over het algemeen dat de sonderingen om de 25 m en de boringen om de 75 m worden uitgevoerd. Bij GC3 gelden hiervoor respectievelijk 15 m en 50 m. De noodzaak zal per project moeten worden afgewogen.

Als op basis van het geologisch onderzoek ook een sterk wisselende bodemopbouw wordt verwacht is conform NEN 9997-1 verdichting van de onderzoekslocaties tot maximaal 50 m vereist.

Bij funderingen op staal zijn de onderzoeksafstanden maximaal 25 m. De onderzoeksdiepte is minimaal 3 maal de funderingsbreedte van een poer, plaat of strook onder met een maximum van 25 m diepte onder het aanlegniveau.

Voor paalfunderingen geldt dat minimaal 2 sonderingen worden uitgevoerd tot minimaal 5 m onder de paalpuntniveaus, waarvan minimaal 1 sondering tot minimaal 10 maal de kleinste paalafmeting. De onderlinge afstand is gerelateerd aan de variatie in paal-draagkrachten. Bij cohesieve lagen onder het paalpuntniveau ook een boring uitvoeren.

Bij grondkerende constructies voor verdiept aangelegde wegen en spoorwegen gelden onderzoeksafstanden van maximaal 50 m als gebruik wordt gemaakt van een waterremmende kleilaag en de dikte afwijking van de waterremmende laag meer dan 50% verschilt van de gemiddelde dikte.

Onderzoeksdiepte voor grondkerende constructies zijn minimaal tot aan de inbeddingsdiepte. Bij verticale belastingen op damwanden gelden de zelfde eisen als voor paalfunderingen.

Bij een gefaseerde uitvoering van een project kan ook worden volstaan met een gefaseerd grondonderzoek. Bijvoorbeeld voor het voorontwerp 25% van het grondonderzoek.

Op basis van de risico-inventarisatie worden beoordeeld op welke locaties welk type grondonderzoek gewenst is. Uiteindelijk zal door een geotechnisch ingenieur op basis van de specifieke projecteigenschappen een afweging moeten worden gemaakt.



7.4 Detailniveau: fijn (definitief ontwerp)

7.4.1 Omschrijving

In deze fase zijn de verschillende varianten afgewogen en is gekozen voor een hoofdvariant. Het programma van eisen en de lengteprofielen en (diepte)ligging zijn vastgesteld. De uitvoeringsmethoden van de verschillende onderdelen liggen in hoofdlijnen vast.

Eventuele hiaten in het grondgrondonderzoek worden in dit stadium ingevuld. Ook wordt in deze fasen uitgebreider aandacht geschonken aan omgevingsbeïnvloeding.

7.4.2 Berekeningen

De berekeningen in dit stadium zijn detailberekeningen op basis van aanvullend onderzoek of een nadere uitwerking met de beschikbare gegevens. Voor GC3 zijn de detailberekeningen volgens de laatste stand der techniek vereist.

7.4.3 Typen grondonderzoek

In dit stadium worden aanvullende sonderingen en/of boringen en laboratorium uitgevoerd als blijkt dat bepaalde nadere informatie van de ondergrond kan leiden tot een nauwkeuriger inschatting van een geotechnisch risico. Ook in-situ proeven kunnen in deze fase van belang zijn. Voor GC3 worden conform NEN9997-1 extra proeven verlangd. Bijvoorbeeld:

- Cone Pressio Meter (C.P.M) proeven;
- proefbelastingen op palen (statisch- dynamisch of StatNamic proef) en ankers;
- meting van gronddeformaties en water(over)spanningen (hellingsmeetbuizen, extensometers);
- pompproeven voor bemalingontwerp.

Steeds zal per project moet worden afgewogen of en welk aanvullend grondonderzoek van toepassing is.

Voor vervormingsberekeningen bij boortunnels of andere geavanceerde onderdelen kan het als basis voor EEM berekeningen nodig zijn om Cone Pressio Meter (CPM) proeven uit te voeren.

Ten behoeven van trillingsrisicoanalyses voor het inschatten van zakkings door verdichting van losgepakte zandlagen (b.v. de onderspoellaag onder een zinktunnel) dienen specifiek sonderingen te worden uitgevoerd. De mate van verdichting door trillingen wordt mede bepaald door de conusweerstand in het zand.

7.4.4 Hoeveelheid grondonderzoek

De hoeveelheid aanvullend grondonderzoek voor de detailfase nodig is valt moeilijk op voorhand vast te stellen. De redenen om aanvullend grondonderzoek uit te voeren zijn:

- Uit het beschikbare grondonderzoek blijkt dat de bodemopbouw (locaal) meer heterogeen is dan vooraf geschat;
- Wijzigingen in de constructie onderdelen zijn ontstaan die hun sterkte en stijfheid ontlenuen aan de ondergrond;

- Te weinig laboratoriumtesten beschikbaar voor een statische analyse van grondparameters. Dus het betreffende mechanisme kan niet voldoende nauwkeurig worden berekend, waardoor het betreffende geotechnische risico wordt overschat.

7.5 Eisen aan uitvoering grondonderzoek

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

In verband met het risico op welvorming / inzijing van grondwater worden sondeer- en boorgaten in waterkeringen afgedicht met zwelklei of een gelijkwaardig materiaal.

Boringen

Doel van de boringen is over het algemeen het vaststellen van de volumieke gewichten van de ondergrond voor de bepaling van de negatieve kleef op paalfunderingen, alsmede de bepaling van de sterkteparameters van de grond voor damwand- en stabiliteitsberekeningen.

7.6 Bijzondere situaties

Voor het ontwerp van een tunnel kan het noodzakelijk zijn om grondonderzoek vanaf het water uit te voeren. Bij een dergelijk grondonderzoek moet worden gerekend op een grotere inspanning, hogere kosten en langere uitvoeringstijd dan bij grondonderzoek vanaf op land.



Onderzoek t.b.v. boortunnel Randstadrail.

Bijlage 8

Polderconstructies

8.1 Detailniveau: zeer grof (Schets- of initiatieffase)

8.1.1 Omschrijving

Deze fase moet een globaal inzicht geven in de risico's en de haalbaarheid in tijd en geld van de kunstmatige polder.

8.1.2 Typen berekeningen

De berekeningen in deze fase zijn oriënterend en gebaseerd op ervaring. De berekeningen behelzen het verticaal evenwicht van de polder, stabiliteit, zettingen, en een inschatting van het eventuele waterbezwaar om een eerste afweging te kunnen maken of een bemalingsvergunning moet worden aangevraagd.

8.1.3 Typen grondonderzoek

Historisch onderzoek:

- Lucht- en satellietfoto's (Google Earth)
- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- geologische kaartbladen TNO
- raadplegen DINO-database
- gegevens grondwaterstanden TNO
- oude landkaarten (vooral in kustgebieden, locaties oude getij/stroomgeulen e.d.)
- voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten en / of tekeningen van naburige werken
- voor zover beschikbaar: monitoringsdata (zetting, zanddikte, ligtijden) naburige werken

Aanvullend onderzoek:

- visuele inspectie in omgeving;
- uitvoeren (eventueel) handboringen en geroerde monsternamen;
- uitvoeren (eventueel) enkele (piëzo)sonderingen;
- plaatsen van peilbuizen en opname grondwaterstand en stijghoogte.

In verband met de ligging onder maaiveld ligt vooral de nadruk op het geologische vooronderzoek en het verkrijgen van geohydrologische gegevens en studies.

Vanwege de diepteligging en het de risico's die samenhangen met het grondwater worden in deze fase reeds peilbuizen geplaatst en regelmatig afgelezen.

8.1.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Voor een eerste indruk kan gebruik gemaakt worden van grondonderzoek wat voor omliggende (infrastructuur) projecten is uitgevoerd. Voor een globale indruk zijn sondeerafstanden van 300 à 400 m voldoende.

Waar dit niet of onvoldoende aanwezig is kan overwogen worden om (piëzo)sonderingen en enkele boringen met gestoken monsters uit te voeren, zodat ook aanvullende informatie kan worden vergaard voor classificatie van grondsoorten. Monsters kunnen desgewenst worden opgeslagen om in een later stadium te worden gebruikt voor laboratoriumonderzoek.

Ondanks de grote boorafstanden die CUR 2003-7 aanbeveelt is het aan te raden om in deze fase enkele peilbuizen per toerit te plaatsen. De filterdiepten worden zo gekozen dat informatie over het freatisch en spanningswater beschikbaar komt.

8.2 Detailniveau: grof (voorontwerp)

8.2.1 Omschrijving

Een aantal varianten is in deze fase verkend en in deze fase wordt gekozen voor de uitvoeringsmethode van de polderconstructie. Aan de hand hiervan wordt ook duidelijk of een bemalingsvergunning moet worden aangevraagd, en wat de impact daarvan op de planning is.

Het grondonderzoek voor een kunstmatige polder wordt volgens CUR 2003-7 en NEN 9997 gebaseerd op GC3.

8.2.2 Typen berekeningen

De belangrijkste berekeningen zijn beschouwingen van het vertikaal evenwicht, en de stabiliteit en zettingen tijdens de uitvoering en in de definitieve situatie. Een belangrijk onderdeel van deze fase is berekening van bemalingsdebieten en het te verwachten waterbezwaar bij de varianten waarbij het folie of de kleilaag in den droge wordt aangebracht. Aan de hand hiervan wordt duidelijk of een bemalingsvergunning moet worden aangevraagd, en hoe een eventuele aanvraag moet worden ingestoken. Ook wordt de impact bekeken die het aanvragen van een bemalingsvergunning heeft op de planning van het project (6 tot 9 maanden proceduretijd). Het zou mogelijk kunnen zijn dat een variant waarbij een bemaling nodig is, in deze fase afvalt.

Als een bemaling nodig is zal de invloed naar de omgeving worden verkend. Hierbij hoort ook dat kwetsbare bebouwing en andere objecten binnen het invloedsgebied van het project worden geïnventariseerd.

8.2.3 Typen grondonderzoek

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn in deze fase de volgende gegevens en grondonderzoek gewenst:

- Data uit vorige fase(n);
- (piëzo) Sonderingen (voor zover nog niet beschikbaar) gelijkmatig verdeeld over het ontwerp;
- Mechanische boringen met ongeroerde monsternamen en grondwaterstandbepaling;

- Peilbuizen (voor zover niet uit vorige fase aanwezig) en opname freatische grondwaterstand en stijghoogten in watervoerende pakketten.
- Laboratoriumonderzoek:
 - Classificatieproeven (volumiek gewicht nat/droog, dichtheid, watergehalte, korrelverdelingen en korrelvorm);
 - (Tor)vane testen (ongedraineerde schuifsterkte);
 - Atterbergse grenzen (consistentie, PI);
 - Triaxiaalproeven CD in zand en CU in cohesief materiaal met minimaal 1 ontlasther belastingtrap(sterkte, stijfheid en relatieve dichtheid uit CD-proeven)
 - Samendrukkingsproeven (met ontlast en herbelasting trap);
 - Als een natuurlijke of kunstmatige kleilaag wordt gebruikt als afdichting is het aan te bevelen om ook doorlatendheidsproeven op deze laag uit te voeren zoals falling head of constant head testen.

8.2.4 Hoeveelheid grondonderzoek

In hoofdstuk 2 uit CUR 2003-7 en NEN 9997-1:2011 par. 2.3 worden eisen en een indicatie voor de minimaal benodigde hoeveelheid grondonderzoek voor het ontwerp en de uitvoeringscontrole gegeven. In NEN 9997-1 zijn naast algemene eisen ook specifieke eisen voor funderingen op staal, funderingen op palen en grondkerende constructies gesteld.

Bij het bepalen van de onderzoeksintensiteit of hoeveelheid grondonderzoek is het van belang om reeds een indruk te hebben van de heterogeniteit van de ondergrond. Dit aspect bepaald voor de belangrijk deel de geotechnische risico's. De informatie hiervoor kan worden gehaald uit het historisch- en/of vooronderzoek welke tijdens de schets- of initiatiefase beschikbaar is gekomen. De hoeveelheid grondonderzoek dient bij een (sterk) heterogene bodemgesteldheid beduidend groter te zijn dan bij een homogene ondergrond. Ook in de beschikbare normen en richtlijnen wordt op dit aspect gestuurd.

CUR 2003-7 geeft de meest volledige indicatie van benodigd onderzoek. Daarbij wordt de nadruk gelegd op de term 'indicatie'. Hoewel de hoeveelheden niet altijd duidelijk blijken uit de normen en richtlijnen, lijkt het logisch te veronderstellen dat met de aanbevolen minimum hoeveelheden de voorontwerpfase wordt bedoeld of wellicht een detailfase bij een redelijke homogene bodemopbouw. Immers, voor een planfase zal men meer naar bestaande gegevens kijken, en voor een detailfase kan vooraf nooit een minimumhoeveelheid worden genoemd, omdat de hoeveelheden geheel af zullen hangen van de specifieke projectkenmerken.

De hoeveelheid metingen is direct van invloed op de nauwkeurigheid van de te bepalen parameter. In principe geldt dat meer metingen of steekproeven leiden tot een betere schatting van het laaggemiddelde en de bandbreedte. Dit betekent dat met de intensiteit van het grondonderzoek het geotechnisch risico kan worden gestuurd.

Conform CUR2003-7 geldt het volgende. Bij lijninfrastructuur en GC3 worden de sonderingen om de 50 m en de boringen om de 200 m uitgevoerd. Als op basis van het geologisch onderzoek ook een sterk wissellende bodemopbouw wordt verwacht is conform NEN 9997-1:2011 verdichting van de onderzoekslocaties tot maximaal 50 m vereist.

Met betrekking tot het aanbrengen van peilbuizen stelt NEN 2003-7 dat er ten minste 2 peilbuizen per 500 m moeten worden geïnstalleerd. Dit is een zeer gering aantal. Omdat bij polderconstructies het grootste risico in de geohydrologie zit en peilbuizen kwetsbare objecten zijn, is het verstandig uit te gaan van wat NEN 9997-1 stelt voor het aantal boringen bij grondkerende constructies, namelijk een afstand van 75 m. Indien nodig kan dit verfijnd worden. De peilbuizen moeten op locaties worden geïnstalleerd dat een goed beeld van de grondwaterstanden over de projectlocatie ontstaan, waarbij er rekening mee wordt gehouden dat de peilbuizen ook kunnen blijven staan tijdens de uitvoering. CUR 2003-7 stelt dat de peilbuizen bij voorkeur gedurende het hele project worden gemeten om peilfluctuaties tijdens het project te onderkennen, en mee te nemen in het ontwerp.

Bij een gefaseerde uitvoering van een project kan ook worden volstaan met een gefaseerd grondonderzoek. Bijvoorbeeld voor het voorontwerp 25% van het grondonderzoek. De peilbuizen worden bij voorkeur allemaal aan de start geïnstalleerd om zo langdurig mogelijk te kunnen meten.

Op basis van de risico-inventarisatie worden beoordeeld op welke locaties welk type grondonderzoek gewenst is. Uiteindelijk zal door een geotechnisch ingenieur op basis van de specifieke projecteigenschappen een afweging moeten worden gemaakt.

8.3 Detailniveau: fijn (Definitief ontwerp)

8.3.1 Omschrijving

In deze fase is gekozen voor een variant, die nu wordt uitgewerkt. Locatie, diepteligging, en toe te passen materialen en bouwmethode zijn gekozen. In deze fase worden specifieke risico's verder bekeken, zoals omgevingsrisico's.

8.3.2 Typen berekeningen

In deze fase worden zettingsberekeningen, stabiliteitsberekeningen, draagkracht berekeningen en opbarstberekeningen gemaakt. Interactie met kwetsbare bebouwing en leidingen in de omgeving wordt beschouwd. Ook andere risico's en beheersmaatregelen worden uitgewerkt. Omdat een polderconstructie in GC3 valt moeten berekeningen volgens de laatste stand der techniek zijn gemaakt. Dit houdt in dat onder andere eindige elementenberekeningen nodig kunnen zijn om interacties te analyseren.

8.3.3 Typen grondonderzoek

Het grondonderzoek in deze fase kan uit de zelfde elementen bestaan als in de voorgaande fase en wordt uitgevoerd om specifieke details en risico's nader te onderzoeken.

Omdat het om een GC3 constructie gaat zijn ook in-situ proeven nodig. Een voorbeeld hiervan kan zijn het uitvoeren van een pompproef in een proefpolder, om de waterdichtheid te testen, of het uitvoeren van een pompproef om het waterbezwaar en de invloed naar de omgeving te toetsen. Per project moet de noodzaak van deze proeven en het aantal daarvan worden afgewogen aan de hand van de complexiteit en de omvang van het project.



In deze fase wordt tevens een programma opgesteld om de eisen te verifiëren die zijn gesteld aan de aanvulling binnen de folie. Dit programma kan bestaan uit aanvullende korte sonderingen binnen de foliepolder. Het precieze aantal daarvan is afhankelijk van uitvoering. Als uitgangspunt kan worden uitgegaan van het sonderingen grid zoals genoemd bij het voorontwerp.

8.3.4 Hoeveelheid grondonderzoek

De hoeveelheid van het grondonderzoek in deze fase is afhankelijk van de uit te werken details, de risico's en de gekozen beheersmaatregelen.

8.4 Eisen aan uitvoering grondonderzoek

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

Indien voor de polderconstructie gebruik wordt gemaakt van een natuurlijke afsluitende laag is het noodzakelijk de sondeer- en boorgaten binnen de geprojecteerde polder tijdens de uitvoering van het grondonderzoek af te stoppen met zwelklei. Hiermee dient mogelijke kortsluiting tussen watervoerende lagen na aanleg van de polderconstructie te worden voorkomen.

Sonderingen

Voor polders wordt aanbevolen het grootste deel van de sonderingen uit te voeren inclusief meting van de waterspanningen. Deze metingen leveren aanvullende informatie ten behoeve van de classificatie van de grond en de gelaagdheid van de bodem. Ook leveren de waterspanningsmetingen informatie over de stijghoogte van het grondwater tegen de diepte. Juist in het geval van polderconstructies zijn deze zaken van groot belang.

Boringen

Doel van de boringen is over het algemeen het vaststellen van de volumieke gewichten van de ondergrond, alsmede de bepaling van de sterkte- en stijfheidsparameters van de grond voor damwand- en stabiliteitsberekeningen.

Classificatie

Bepaling van de korrel vorm kan in dit geval een nuttige toevoeging aan de gebruikelijke classificatieproeven zijn om de verweekbaarheid van zandlagen vast te stellen.

Doorlatendheid

De bepaling van de doorlatendheid of waterremmendheid van de grondlagen is essentieel. Deze parameters bepalen immers of een ondoorlatende grondlaag bruikbaar is in het ontwerp. Verder blijkt het in de praktijk vaak dat de bouwmethode, planning en kosten van een polderconstructie primair afhangen van de doorlatendheid of waterremmendheid van deze lagen.

Om deze reden is het noodzakelijk alle monsters te fotograferen, omdat dit de ontwerper inzicht geeft in de mogelijke gelaagdheid van waterremmende lagen. Het moet verder voor

de ontwerper duidelijk zijn op welk deel uit een monster de doorlatendheid is bepaald. De ontwerper kan dan een zo realistisch mogelijke inschatting van doorlatendheid of waterremmendheid geven.

Voor de bepaling van doorlatendheden zijn korrelverdelingen inclusief bepaling fijne fractie aan te bevelen. Ook is het sterk aan te bevelen om falling head proeven uit te voeren op monsters.



Sondering voor onderzoek stabiliteit van veendijken in Westland.

Bijlage 9

Bouwputten

9.1 Detailniveau: zeer grof (schets- of initiatiefase)

9.1.1 Omschrijving

De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om de eisen en randvoorwaarden vast te stellen, projectplannen te maken en globaal risico's in te schatten. Op basis hiervan kan een evaluatie naar de haalbaarheid van het project in tijd en geld worden gedaan.

9.1.2 Berekeningen

In deze fase worden slechts zeer oriënterende berekeningen uitgevoerd of schattingen gedaan op basis van ervaringen van de geotechnisch ontwerper / adviseur.

9.1.3 Typen grondonderzoek

In deze fase is het van belang allereerst alle gegevens uit archieven en oudere dossiers bij bedrijven en instanties te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes. Te denken valt hierbij aan:

Historisch onderzoek:

- Lucht- en satellietfoto's (Google Earth)
- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- geologische kaartbladen TNO
- raadplegen DINO-database
- gegevens grondwaterstanden TNO
- oude landkaarten (vooral in kustgebieden, locaties oude getij/stroomgeulen e.d.)
- voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten naburige werken
- voor zover beschikbaar: monitoringsdata (uitbuiging wanden, deformaties en trillingen in de omgeving) naburige werken

Aanvullend onderzoek:

- visuele inspectie in omgeving;
- uitvoeren (eventueel) (hand)boringen en geroerde monsternamen;
- uitvoeren (eventueel) enkele (piëzo)sonderingen;
- plaatsen van peilbuizen en opname grondwaterstand (ook in omgeving).

In verband met de ligging onder maaiveld ligt vooral de nadruk op het geologische vooronderzoek (vooral bij onderzoek naar boormogelijkheden) en het verkrijgen van geohydrologische gegevens en studies.

Peilbuizen bij voorkeur reeds in deze fase plaatsen en ook regelmatig aflezen.

9.1.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Voor een eerste indruk kan gebruik gemaakt worden van grondonderzoek dat voor omliggende (infrastructuur) projecten is uitgevoerd.

Waar dit niet of onvoldoende aanwezig is kan overwogen worden om (piëzo)sonderingen en enkele boringen met gestoken monsters uit te voeren, zodat ook aanvullende informatie kan worden vergaard voor classificatie van grondsoorten en een indruk van de sterkte en stijfheid van de ondergrond. Monsters kunnen desgewenst worden opgeslagen om in een later stadium te worden gebruikt voor laboratoriumonderzoek.

Indien op voorhand duidelijk is dat de bouwput een onderdeel wordt van een complex project met hoge mate van interactie met de ondergrond en sterk heterogene bodemgesteldheid, kan met het oog op de te verwachten geotechnische categorie 3, de intensiteit van het onderzoek alvast groter zijn.

Bij het uitvoeren van sonderingen en boringen in deze fase moet rekeningen worden gehouden met de nog aanwezige bebouwing op de bouwlocatie. De onderzoeklocaties zullen moeten worden afgestemd op de gemakkelijk bereikbare locaties.

9.2 Detailniveau: grof (voorontwerp)

9.2.1 Omschrijving

Deze projectfase staat in het kader van de haalbaarheid en uitvoerbaarheid van varianten en bouwmethoden met de bijbehorende risico's.

Bij aanvang van het voorontwerp wordt het veiligheidniveau en de geotechnische categorie (GC) bepaald. Mogelijk is deze informatie reeds in de initiatiefase nodig.

Het grondonderzoek voor bouwputten wordt gebaseerd op geotechnische categorie 2 of 3. Indien de geotechnische categorie niet direct duidelijk is wordt GC2 gekozen, waarna later een upgrade naar GC3 kan plaats vinden.

Tijdens het voorontwerp worden verschillende bouwmethoden naast elkaar gezet, waarbij de voor en nadelen van een mogelijk ontwerp ten aanzien van kosten, uitvoerbaarheid invloed op de omgeving worden vergeleken. Bijvoorbeeld welke type wand (trillen of boren), bemalen al dan niet in combinatie afdichtende groutinjectielaag of onderwater betonvloer met trekelementen.

9.2.2 Berekeningen

In deze fase worden berekeningen uitgevoerd om de haalbaarheid en de risico's van verschillende varianten beter in kaart te brengen.

Voor bouwputten worden stabiliteits- en vervormingberekeningen uitgevoerd. Uit deze berekeningen moet in combinatie met de risico inventarisatie duidelijk worden of met gesloten of een open bouwput kan worden volstaan.

Aan de hand van hydrologische berekeningen worden te bemalen debieten en de invloed van zettingen op de omgeving berekend.

De globale afmetingen van de bouwput en grond/waterkeringen worden aan de hand van de berekeningen bepaald en het vergunningentraject wordt ingeschat.

9.2.3 Typen grondonderzoek

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn de volgende gegevens en grondonderzoek gewenst:

- Data uit vorige fase(n);
- (piëzo) Sonderingen (voor zover nog niet beschikbaar) gelijkmatig verdeeld over het ontwerp klasse 2;
- Mechanische boringen met ongeroerde monsternamen en grondwaterstandbepaling;
- Peilbuizen (voor zover niet uit vorige fase aanwezig) en regelmatige opname grondwaterstand;
- Laboratoriumonderzoek:
 - Classificatieproeven (volumiek gewicht nat/droog, dichtheid, watergehalte, korrelverdelingen en korrelvorm);
 - (Tor)vane testen (ongedraineerde schuifsterkte);
 - Atterbergse grenzen (consistentie, PI);
 - Triaxiaalproeven CU in cohesief materiaal met minimaal 1 ontlast- herbelastingstrap (sterkte, stijfheid en relatieve dichtheid uit CD-proeven). Bij kans op verweking CD in zand en bepaling dichtheden;
 - Samendrukkingsproeven (7 traps, met ontlast- en herbelastingstrap);
 - Falling Head / Constant Head testen (waterdoorlatendheid).

Mogelijk kan in dit stadium al besloten worden om in situ Cone Pressio Meter (C.P.M) proeven uit te voeren. Met name als de beschikbare tijd voor aanvullend grondonderzoek in de detailfase beperkt is.

Indien een verhoogde kans op schade en hinder in de omgeving wordt verwacht wordt een O-meting / expertise onderzoek gedaan naar de huidige staat van belendingen, zodat eventuele gevolgen van het bouwproces (b.v door heien, trillen, boren, grondwaterstand verlagings) objectief kunnen worden beoordeeld.

9.2.4 Hoeveelheid grondonderzoek

De hoeveelheid metingen is direct van invloed op de nauwkeurigheid van de te bepalen parameter. In principe geldt dat meer metingen of steekproeven leiden tot een betere schatting van het laaggemiddelde en de bandbreedte. Dit betekent dat met de intensiteit van het grondonderzoek het geotechnisch risico kan worden gestuurd.

Bij een gefaseerde uitvoering van een project kan worden volstaan met een gefaseerd grondonderzoek. Bijvoorbeeld voor het voorontwerp 25% van het grondonderzoek.

Het grondonderzoek voor de grondkeringen wordt bij voorkeur zoveel mogelijk gecombineerd met het onderzoek nodig voor de fundering van het bouwwerk.

In NEN 9997-1, CUR 2003-7 en CUR 166 worden eisen en een indicatie voor de minimaal benodigde hoeveelheid grondonderzoek voor het ontwerp en de uitvoeringscontrole gegeven.

Specifiek voor grondkerende constructies zijn in CUR 166 richtlijnen gegeven voor de opzet en omvang van het grondonderzoek.

In NEN 9997-1 zijn naast algemene eisen ook specifieke eisen, funderingen op staal, funderingen op palen en gesteld.

Bij het bepalen van de onderzoeksintensiteit of hoeveelheid grondonderzoek is het van belang om reeds een indruk te hebben van de heterogeniteit van de ondergrond. Dit aspect bepaald voor de belangrijk deel de geotechnische risico's. De informatie hiervoor kan worden gehaald uit het historisch- en/of vooronderzoek welke tijdens de schets- of initiatiefasie beschikbaar is gekomen. De hoeveelheid grondonderzoek dient bij een (sterk) heterogene bodemgesteldheid beduidend groter te zijn dan bij een homogene ondergrond. Ook in de beschikbare normen en richtlijnen wordt op dit aspect gestuurd.

CUR 2003-7 geeft de meest volledige indicatie van benodigd onderzoek. Daarbij wordt de nadruk gelegd op de term 'indicatie'. Hoewel de hoeveelheden niet altijd duidelijk blijken uit de normen en richtlijnen, lijkt het logisch te veronderstellen dat met de aanbevolen minimum hoeveelheden de voorontwerpfase wordt bedoeld of wellicht een detailfase bij een redelijk homogene bodemopbouw. Immers, voor een planfase zal men meer naar bestaande gegevens kijken, en voor een detailfase kan vooraf nooit een minimumhoeveelheid worden genoemd, omdat de hoeveelheden geheel af zullen hangen van de specifieke projectkenmerken.

Bij grondkerende constructies geldt conform CUR 2003-7 over het algemeen dat de sonderingen in een raster van 25x25 m en de boringen in een raster van 75x75 m worden uitgevoerd. Bij GC3 gelden hiervoor respectievelijk 15x15 m en 50x50 m.

Volgens CUR166 kunnen bij CG2 voor sonderingen en boringen / in-situ proeven (CPM, vanetest) tussen de onderzoekslocaties respectievelijk intervallen van 25 en 75 m worden aangehouden.

Bij grondkerende constructies voor verdiept aangelegde wegen en spoorwegen gelden onderzoeksafstanden van maximaal 50 m als gebruik wordt gemaakt van een waterremmende kleilaag en de dikte afwijking van de waterremmende laag meer dan 50% verschilt van de gemiddelde dikte.

Onderzoeksdiepte voor grondkerende constructies zijn minimaal tot aan de inbeddingsdiepte. Bij verticale belastingen op damwanden gelden de zelfde eisen als voor paalfunderingen.

Voor paalfunderingen geldt dat minimaal 2 sonderingen worden uitgevoerd tot minimaal 5 m onder de paalpuntniveaus, waarvan minimaal 1 sondering tot minimaal 10 maal de kleinste paalafmeting. Bij bouwwerken hoger dan 70 m moeten de terreinproeven reiken tot een diepte van minimaal 3 maal de gebouwafmeting onder de paalpunten, maar maximaal 25 m.

De onderlinge afstand is gerelateerd aan de variatie in paal draagkrachten. Bij cohesieve lagen onder het paalpuntniveau ook een boring uitvoeren.

Bij funderingen op staal zijn de onderzoeksafstanden maximaal 25 m. De onderzoeksdiepte is minimaal 3 maal de funderingsbreedte van een poer, plaat of strook onder met een maximum van 25 m diepte onder het aanlegniveau. Bij bouwwerken hoger dan 70 m moeten de terreinproeven reiken tot een diepte van minimaal 3 maal de gebouwafmeting onder het aanlegniveau van de poer, plaat of strook.

Aan de hand van geschiktheidproeven en controleproeven wordt het ankerontwerp getoetst aan de eisen.



De volgende test zijn bij een bouwput meestal van belang:

- Controle proeven of acceptance test op alle te gebruiken ankers volgens CUR 166
- Geschiktheid / lange duur proeven of suitability tests op ankers. Volgens CUR 166 bij permanente en tijdelijke ankers in veiligheidsklasse III en op permanente ankers in veiligheidsklasse II, ca. 5% van het aantal te gebruiken ankers (NEN 9997-1 minimaal 3 stuks).

Op basis van de risico-inventarisatie worden beoordeeld op welke locaties welk type grondonderzoek gewenst is. Uiteindelijk zal door een geotechnisch ontwerper / adviseur op basis van de specifieke projecteigenschappen een afweging moeten worden gemaakt.

9.3 Detailniveau: fijn (definitief ontwerp)

9.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn de verschillende varianten afgewogen en is gekozen voor een hoofd-variant. Het programma van eisen t.a.v. maximale uitbuigingen van de grondkering in relatie tot de belendingen en randvoorwaarden in de vergunningen zijn vastgelegd. Eventuele hiaten in het grondonderzoek worden in dit stadium ingevuld.

9.3.2 Berekeningen

De berekeningen in dit stadium zijn detailberekeningen op basis van aanvullend onderzoek of een nadere uitwerking met de beschikbare gegevens. Voor GC3 zijn de detailberekeningen volgens de laatste stand der techniek vereist.

9.3.3 Typen grondonderzoek

In dit stadium worden aanvullende sonderingen en/of boringen en laboratorium uitgevoerd als blijkt dat bepaalde nadere informatie van de ondergrond kan leiden tot een nauwkeuriger inschatting van een geotechnisch risico. Ook in-situ proeven kunnen in deze fase van belang zijn. Voor GC3 worden conform NEN9997-1 extra proeven verlangd. Bijvoorbeeld:

- Cone Pressio Meter (C.P.M) proeven;
- Bezwijkproeven of investigation test op ankers volgens CUR 166, alleen als sprake is van een nieuw ankersysteem;
- pompproeven voor bemalingontwerp.

Steeds zal per project moet worden afgewogen of en welk detail grondonderzoek van toepassing is.

Voor vervormingsberekeningen bij verhoogde kans op schade aan belendingen of andere geavanceerde onderdelen kan het als basis voor EEM berekeningen nodig zijn om Cone Pressio Meter (CPM) proeven uit te voeren.

Ten behoeven van trillingsrisicoanalyses voor het inschatten van zakkingen door verdichting van losgepakte zandlagen (b.v. als de bouwput binnen het invloedsgebied van een spoorbaan of aardebaan van een autoweg ligt) dienen specifiek sonderingen te worden uitgevoerd. De mate van verdichting door trillingen wordt mede bepaald door de

drempelwaarde van de trillingsversnellingen, die afhankelijk is van de conusweerstand en de effectieve spanningen in het zand. Voor goede uitvoering van trillingsrisicoanalyses moeten dus minimaal sonderingen worden uitgevoerd.

9.3.4 **Hoeveelheid grondonderzoek**

De hoeveelheid aanvullend grondonderzoek nodig voor de detailfase valt moeilijk op voorhand vast te stellen. De redenen om aanvullend grondonderzoek uit te voeren zijn:

- Uit het beschikbare grondonderzoek blijkt dat de bodemopbouw (locaal) meer heterogeen is dan vooraf geschat;
- Wijzigingen in de constructie onderdelen zijn ontstaan die hun sterkte en stijfheid ontlenuen aan de ondergrond;
- Te weinig laboratoriumtesten beschikbaar voor een statische analyse van grondparameters (mits dat een beter inzicht in een risico kan geven). Dus het betreffende mechanisme kan niet voldoende nauwkeurig worden berekend, waardoor het betreffende geotechnische risico wordt overschat.

9.4 **Eisen aan uitvoering grondonderzoek**

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofd rapport.

Boringen

Doel van de boringen is over het algemeen het vaststellen van de volumieke gewichten van de ondergrond voor de bepaling van de negatieve kleef op paalfunderingen en ter bepaling van de sterkte grondparameters voor damwand- en stabiliteitsberekeningen.

9.5 **Bijzondere situaties**

Indien voor de bouwput gebruik wordt gemaakt van een natuurlijke afsluitende laag kan het noodzakelijk zijn de sondeer- en boorgaten binnen de geprojecteerde bouwput tijdens de uitvoering van het grondonderzoek af te stoppen met zwelklei of miculiet. Hiermee dient mogelijke kortsluiting tussen watervoerende lagen te worden voorkomen.

Bijlage 10

Baggerwerken

10.1 Detailniveau: zeer grof (schets- of initiatieffase)

10.1.1 Omschrijving

In deze fase zijn de locaties van de landaanwinning en het wingebied nog niet definitief vastgelegd. De opdrachtgever stelt de eisen ten aanzien van het ontwerpniveau, de terrein- en verkeersbelasting, restzetting, vlakheid en de zandkwaliteit. Verder geeft hij de mogelijke locatie en afmetingen van het terrein en het wingebied aan.

De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een evaluatie met betrekking tot de haalbaarheid van het project in tijd en geld (raming) mogelijk te maken. Hierbij is het van belang om inzicht te krijgen in de mogelijke risico's die van invloed kunnen zijn op het uitvoeren van de baggerwerken.

10.1.2 Berekeningen

Wegens de beperkte hoeveelheid gegevens en grote keuzevrijheid kunnen alleen verkennende berekeningen worden gemaakt op basis van vuistregels en correlaties.

Wingebied

Oriënterende berekeningen van beschikbare geschikte volumes materiaal in het wingebied aan de hand van beschikbare geologische informatie en ervaringen.

Plaatsingsgebied

Grove volumebepalingen aan de hand van bathymetrische data. Oriënterende berekeningen op basis van sondeergrafieken in combinatie met ervaringsgetallen uit het gebied of conform NEN 9997-1.

10.1.3 Typen grondonderzoek

In deze fase is het van belang allereerst alle bestaande gegevens te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes:

Wingebied

Historisch onderzoek:

- Geologische kaartbladen
- Bathymetrische informatie (zeekaarten)
- Voor zover beschikbaar: eerdere ervaringen met baggerwerkzaamheden in het gebied.

Aanvullend onderzoek:

- Bathymetrische survey
- Vibrocores
- Geofysisch/seismisch onderzoek

Plaatsingsgebied*Historisch onderzoek:*

- Lucht- en satellietfoto's (Google Earth)
- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- Geologische kaartbladen TNO, raadplegen Landelijke kartering van de toplaag (geologie)
- Raadplegen DINOLoket (centrale toegangspoort tot Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) voor in het verleden uitgevoerd grondonderzoek.
- Historische informatie (vroegere bebouwing, oude landkaarten, funderingstekeningen nabij gelegen belendingen e.d.), gemeentearchief, het Nationaal Archief, e.d.
- Voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten naburige werken
- Voor zover beschikbaar: monitoringsdata (zetting, zanddikte) naburige werken

Aanvullend onderzoek:

- Locatiebezoek (visuele inspectie locatie en directe omgeving, indien bereikbaar)
- Sonderingen
- Boringen
- Peilbuizen (indien projectgebied bereikbaar)

Historische informatie

Aan de hand van historische topografische kaarten en luchtfoto's kunnen oudere slootpatronen, die van invloed kunnen zijn op de te verwachten verschilzettingen worden herkend. Het goed in kaart brengen van obstakels in de ondergrond kan nuttig zijn bij het bepalen van zettingen en het ontwerp van funderingen, maar ook ter bepaling van de noodzaak en haalbaarheid van het inbrengen van verticale drains. Ook kan het van belang zijn de funderingstekeningen van nabij gelegen (kwetsbare) belendingen te achterhalen om de invloed van de zandophoging hierop (toename horizontale belasting op funderingspalen) te bepalen.

In toenemende mate wordt historische informatie beschikbaar gesteld via internet. De foto archieven van veel gemeenten zijn in toegankelijk via internet. Veel historische informatie zoals oude landkaarten en luchtfoto's zijn te vinden op www.watwaswaar.nl. Daarnaast is er uiteraard de mogelijkheid om via papieren archieven (gemeentelijke archieven, Nationaal Archief e.d.) historische documenten (bouw – en funderingstekeningen) te achterhalen om tot een beter inzicht te komen omtrent de geschiedenis van het bouwrijp te maken gebied. Veelal is het nog niet mogelijk de tekeningen in te zien op internet maar is het al wel mogelijk een inventarisatie te maken van beschikbare relevante tekeningen alvorens naar een archief te gaan.

Locatiebezoek ("walkover survey")

Als het project niet offshore is kan het uitvoeren van een visuele inspectie in de omgeving van het te maken werk veel informatie opleveren wanneer deze door een geotechnisch ingenieur of ingenieursgeoloog wordt uitgevoerd. Reeds in de nabije omgeving uitgevoerde



baggerwerken kunnen inzicht geven in de mogelijk te verwachten problematiek (o.a. verschil (rest)zettingen). Voorts kan bijvoorbeeld worden gelet op (de staat van) aangrenzende belendingen, kunstwerken of geologische kenmerken in het maaiveld (b.v. vegetatieverschillen, slootpatroon etc.).

Bureaustudie ("desk study")

Veelal wordt het bestaande onderzoek in combinatie met een verslag van het locatiebezoek samengevoegd in een bureaustudie ("desk study"). Deze bevat de samenvoeging en verificatie van de reeds beschikbare informatie en identificeert gebieden waar informatie conflicteert of ontbreekt. De studie wordt uitgevoerd in een vroege fase van het project en functioneert als een handleiding voor het opvolgende grondonderzoek.

Correct en volledig uitgevoerde bureau studies geven vele voordelen, ze:

- verschaffen vroegtijdige herkenning van de projectkenmerken en potentiële geotechnische risico's;
- faciliteren inschatting van omvang van grondonderzoek in latere fases;
- vermijden geldverspilling door niet noodzakelijk grondonderzoek;
- maken het mogelijk om een voorlopig geologisch grondmodel op te stellen;
- helpen bij het formuleren van efficiënte ontwerpen van verdere werken op de projectlocatie (e.g. funderingen, keermuren, taludstabiliteitswerken, etc.);
- zijn vaak noodzakelijk voor goedkeuring van de plannen door de bevoegde autoriteiten.

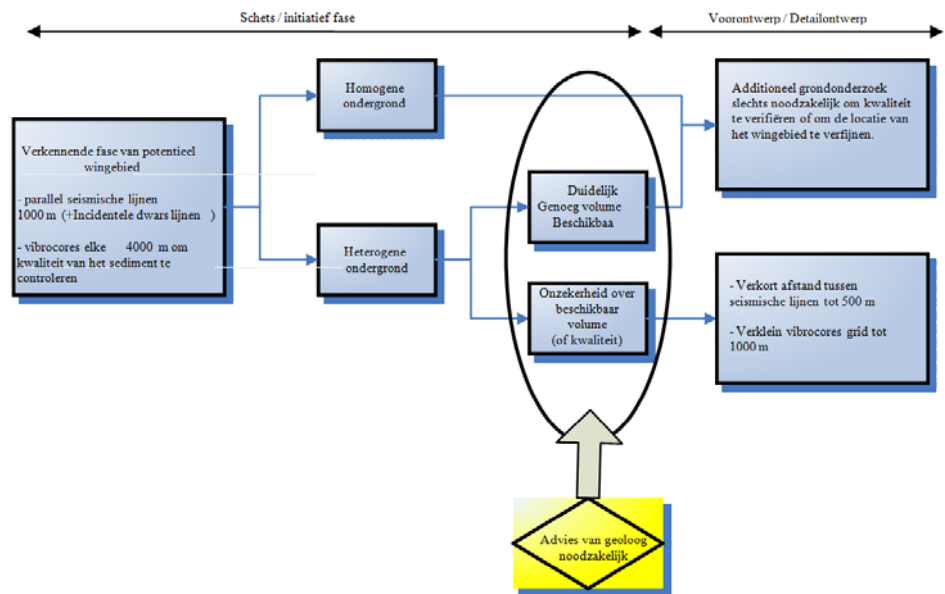
10.1.4 **Hoeveelheid grondonderzoek**

Wingebied

Uit de bureaustudie kan worden opgemaakt welke variatie in de grondopbouw wordt verwacht. Op basis hiervan kan een "quick scan" uitgevoerd worden om snel een globale indruk van de terreinopbouw te verkrijgen. In het wingebied, en eventueel in het plaatsingsgebied, als dit offshore ligt, kan een geofysisch onderzoek worden uitgevoerd. Vibrocores offshore geven snel en relatief goedkoop een goede indruk van de bovenste meters in het wingebied en de projectlocatie.

De Hydraulic Fill Manual geeft aan dat de intensiteit van het grondonderzoek sterk afhangt van de heterogeniteit van de ondergrond in het wingebied. Voor het bepalen van het grondonderzoek in wingebieden wordt de flowchart van figuur 10.1 aanbevolen.

Fig. 10.1
Handreikingen voor intensiteit
van grondonderzoek in
wingebied.



Uit figuur 10.1 volgt dat advies van een geoloog of geotechnisch adviseur een belangrijke rol speelt in het bepalen van de intensiteit van het grondonderzoek. Daarnaast kan worden geconcludeerd dat het nagenoeg onmogelijk is om de exacte omvang van het benodigde grondonderzoek te plannen.

Plaatsingsgebied

In het plaatsingsgebied kan het beste gebruik worden gemaakt van sonderingen in een zeer grof grid (enkele per beoogde locatie).

10.2 Detailniveau: grof (Voorontwerp)

10.2.1 Omschrijving

In deze fase is een beperkt aantal geotechnische eisen gespecificeerd (o.a. restzettingseis en zandkwaliteit). De locaties van het wingebied en het plaatsingsgebied zijn inmiddels vastgelegd. De nu te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een grove werkplanning en eventueel eerste prijsvorming door inschrijvers mogelijk te maken. Op basis van het veld- en laboratoriumonderzoek worden berekeningen uitgevoerd waarbij alle geotechnische ontwerpaspecten worden beschouwd.

10.2.2 Berekeningen

Wingebied

Nu de locatie van het wingebied definitief bekend is en er gegevens zijn met betrekking tot de zandkwaliteit (uit b.v. vibrocores) kan een keuze gemaakt worden van het meest geschikte baggermateriaal en gerekend worden aan baggerproducties en beschikbare volumes. Met de gekozen plaatsingsmethode (b.v. dumpen of vrije uitloop) en de korrelverdeling van het te winnen materiaal kan tevens een inschatting worden gemaakt van de te verwachten in situ dichtheden en korrelverdelingen van het geplaatste materiaal. In deze fase wordt tevens gerekend aan de stabiliteit en draagkracht van het

gewonnen materiaal na plaatsing. De typen grondonderzoek in de volgende paragraaf kunnen worden gebaseerd op deze tabel.

Afhankelijk van de locatie van het wingebed kunnen ook de baggeractiviteiten in het wingebed invloed uitoefenen op de omgeving. Bijvoorbeeld als een talud wordt gebaggerd in een bestaande haven, waarbij invloed op de infrastructuur achter het te vormen talud mogelijk is. In dit geval zal ook de stabiliteit van het gebaggerde talud van groot belang zijn. De benodigde eigenschappen zijn hiervoor opgenomen in tabel 10.1 Tabel 10.1 beperkt zich tot de eigenschappen van niet-cohesieve grond aangezien dit verreweg het meeste gebaggerde materiaal is voor hydraulische landaanwinningen en ophogingen. Echter indien stabiliteit van het gebaggerde talud van invloed is op de omgeving is zullen de sterkte eigenschappen en in-situ dichtheden van cohesieve lagen onder de te winnen lagen ook bepaald moeten worden.

Tabel 10.1 Benodigde data – wingebed.

		Benodigde data				
Eigenschap van in situ materiaal		Ontgravings- methodiek en productie	Omgevings- invloed wingebed	Transport methode en productie	Slijtage aan leiding- en bagger- materieel	Gedrag als geplaatst materiaal
Niet-cohesieve grond	Korrelverdeling	✓	✓	✓	✓	✓
	Sterkte / spanning- rek eigenschappen	✓	✓		✓	✓
	Relatieve dichtheid	✓	✓			
	Sterkte	✓	✓	✓		✓
	In Situ Dichtheid	✓	✓	✓		
	Mineralogie			✓	✓	✓
	Specifiek korrelgewicht			✓	✓	
	Hoekigheid / rondheid	✓	✓		✓	✓
Cohesieve grond	Doorlatendheid	✓	✓			✓
	Korrelverdeling	✓	✓	✓		✓
	Sterkte / spanning- rek eigenschappen	✓	✓		✓	✓
	Plasticiteit / watergehalte	✓	✓		✓	✓
	In Situ Dichtheid	✓	✓		✓	✓
	Mineralogie		✓	✓		✓
	Specifiek korrelgewicht		✓			✓
	Gas gehalte	✓	✓			
Rheologische eigenschappen	✓ (slappe grond)	✓ (slappe grond)			✓	

Plaatsingsgebied

De berekeningen in deze fase bestaan uit zetting- en stabiliteitberekeningen met behulp van analytische programma's (bijv. D-Geostability en D-Settlement) of in complexe situaties de Eindige Elementen Methode (EEM) met bijv. Plaxis 2D op een beperkt aantal (maatgevende) dwarsprofielen. De grondparameters ten behoeve van de zettingberekeningen moeten worden bepaald op basis van de boorbeschrijvingen en samendrukkingsproeven op de cohesieve lagen. Daarnaast zal ook gekeken moeten worden naar de stabiliteit van het talud aan de randen van de ophoging waarbij tevens het risico van liquefactie dient te worden beschouwd. De beïnvloeding van de zandophoging op de omgeving (horizontale grondbelasting op nabij gelegen kwetsbare belendingen/ objecten) dient ook bekeken te worden. De hoeveelheid grondonderzoek dient afgestemd te zijn op het type berekening, hoe geavanceerder de berekening hoe meer grondonderzoek nodig is om tot betrouwbare invoer parameters te komen. In onderstaande tabel 10.2 zijn per rekenmodel (analytisch en EEM) aangegeven welke de

minimaal benodigde parameters zijn. De typen grondonderzoek in de volgende paragraaf kunnen worden gebaseerd op deze tabel.

Tabel 10.2 Benodigde parameters en type berekening - plaatsingsgebied.

Berekening	Parameter							
	Volumiek gewicht	Cohesie	Hoek van inwendige wrijving	Consolidatie Coëfficiënt	Samendrukkingparameters	Doorlatendheid	E-modulus	Relatieve dichtheid
Zetting (analytisch)	✓			✓	✓			
Stabiliteit (analytisch)	✓	✓	✓			✓		
Zetting (EEM)	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Stabiliteit (EEM)	✓	✓	✓			✓	✓	
Liquefactie	✓	✓	✓			✓		✓
Draagkracht	✓	✓	✓				✓	

Aan de hand van de verkregen resultaten uit de berekeningen wordt bepaald of en welk aanvullend grondonderzoek noodzakelijk is voor het Definitief Ontwerp.

10.2.3 Typen grondonderzoek

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn in deze fase de volgende gegevens gewenst:

Wingebied

- Alle data uit de vorige fase
- Vibrocores
- Sonderingen
- Boringen (indien de locatie van het wingebied tot mogelijke omgevingsinvloed leidt)
- Laboratoriumonderzoek:
 - Boorbeschrijving (volume gewicht nat/droog, watergehalte, korrelverdeling, organisch gehalte, mineralogie, specifieke gewichten)
 - Triaxiaalproeven

Plaatsingsgebied

- Alle data uit de vorige fase
- Sonderingen
- Boringen
- Peilbuisgegevens van diverse watervoerende grondlagen
- Laboratoriumonderzoek
 - Boorbeschrijving (volume gewicht nat/droog, watergehalte, korrelverdeling, ongedraineerde schuifsterke, specifieke gewichten, Atterbergse grenzen)
 - Samendrukkingsproeven
 - Triaxiaalproeven

Uit de hierboven aangegeven laboratoriumonderzoeken kunnen de in tabel 10.1 en 2 gegeven parameters worden bepaald. De resultaten van de bepaling van de ongedraineerde schuifsterkte en de Atterbergse grenzen worden meestal gebruikt om de hieronder genoemde materiaaleigenschappen op een empirische wijze te bepalen. Deze

bepalingen zijn minder geschikt voor gebruik in complexe situaties, bijvoorbeeld daar waar de EEM methode wordt toegepast in berekeningen.

Tabel 10.3 Parameters uit laboratoriumproeven.

Proef	Parameters	Symbool
Samendrukkingproef	<ul style="list-style-type: none"> - Volumiek gewicht - Consolidatiecoëfficiënt - Doorlatendheid - Samendrukkingparameters - Elasticiteitsmodulus 	γ c_v k C_p, C_s, C_α, C_r E_{oed}
Triaxiaalproef	<ul style="list-style-type: none"> - Volumiek gewicht - Hoek van inwendige wrijving - Cohesie - Elasticiteitsmodulus - Dilatantieparameters 	γ φ' c' E, E_{50} ψ, ν

Op basis van de berekeningsresultaten uit deze fase wordt door een geotechnisch adviseur, die in het projectteam is opgenomen, een hernieuwde (geotechnische) risico-analyse uitgevoerd. Resterende of nieuw gesignaleerde risico's kunnen dan (in meer detail) in een vervolgfase worden onderzocht.

10.2.4 **Hoeveelheid grondonderzoek**

Wingebied

Het benodigde aantal vibrocores in het wingebied is sterk afhankelijk van de te verwachten homogeniteit en de grootte van het wingebied, zie figuur 10.1. Het benodigde aantal diepe boringen voor bepaling van invloed van de te baggeren taluds hangt af van de homogeniteit van de te verwachten ondergrond. Hierbij zijn vooral losgepakte niet cohesieve lagen (liquefactie) en slappe cohesieve lagen (stabiliteit) van belang. Het aantal boringen hangt ook af van de lengte van de taluds.

Informatie over de in situ relatieve dichtheid in het wingebied is noodzakelijk voor een accurate inschatting van de baggerproductie. Deze kan worden afgeleid uit SPT testen in boringen of, gedetailleerder, uit sonderingen.

Plaatsingsgebied

De benodigde hoeveelheid sonderingen en boringen in het plaatsingsgebied is moeilijk aan te geven en zal afhangen van de te verwachten variatie in de grondopbouw, de restzettingseis, de beschikbare voorbelastingstijd en toe te passen methode van opbrengen. In geval van een heterogene bodemopbouw, zeker in combinatie met een strenge restzettingseis, zullen er meer sonderingen en/of boringen nodig zijn dan in een gebied waar een uniforme grondopbouw wordt verwacht.

Aanbevolen wordt een onderzoeksgrid van de sonderingen van minimaal 100 x 100 = 10.000 m². Bij het opzetten van het grondonderzoek voor ophogingen dient rekening gehouden te worden met de eventuele aanwezigheid van nabij gelegen kwetsbare objecten, oude watergangen e.d. Bij terreinen aan te leggen op een samendrukbare cohesieve laag dienen voldoende gegevens uit boringen te worden bepaald. Voor boringen geldt dat er per boring ten minste 2 monsters per onderscheiden samendrukbare laag dienen te worden beproefd voor het vaststellen van de representatieve waarden van zetting- en

consolidatie parameters. Het onderzoek moet over ten minste de volledige hoogte van het samendrukbare pakket worden uitgevoerd. Voor cohesieve lagen die een groot aandeel vormen in de te verwachten zetting (bijvoorbeeld ondiepe dikke veenlagen) is het aan te bevelen om meerdere monsters te beproeven.

Ter bepaling van de stabiliteit van de ophoging dient tevens per boring ten minste op 2 monsters per cohesieve laag een triaxiaalproef te worden uitgevoerd om de sterkte eigenschappen te bepalen. Hierbij dienen zowel ongedraineerde als gedraineerde parameters te worden bepaald.

Voor op palen te funderen constructies die deel uitmaken van de aan te leggen infrastructuur (zie hoofdstuk 10, kleine kunstwerken) dient te worden uitgegaan van een hart op hart afstand van 25 m van de sonderingen. De sonderingen dienen in overeenstemming met het gestelde in NEN 9997-1 tot ten minste 5 m onder het te verwachten paalpuntniveau te worden uitgevoerd.

Naast bovenstaande geven de NEN 9997-1, Eurocode 7 en CUR 2003-7 richtlijnen voor de minimaal benodigde hoeveelheid grondonderzoek. Hoewel dit niet duidelijk blijkt uit de normen, lijkt het logisch te veronderstellen dat met de aanbevolen minimum hoeveelheden wordt bedoeld op de voorontwerpfase zoals hier gedefinieerd. Immers, voor een planfase zal men meer naar bestaande gegevens kijken, en voor een detailfase kan vooraf nooit een minimum hoeveelheid worden genoemd omdat de hoeveelheden geheel af zullen hangen van de specifieke project kenmerken.

Tabel 10.4 Aanbevolen hoeveelheden grondonderzoek.

Norm	Paragraaf	Type onderzoek	Aanbeveling
CUR-2003-7	2.4	Boringen	400 m hart op hart
CUR-2003-7	2.4	Sonderingen	100 m hart op hart
CUR-2003-7	2.4	GC3: In-situ proef	250 m hart op hart
NEN9997-1	8.4.1.2	"Onderzoekspunten"	Max 100 m wanneer zettingsverschil <10cm / 10m Max 50 m wanneer zettingsverschil >10cm / 10m en hierdoor risico's voor de omgeving / gebruikers ontstaat
EC7 1997 deel 1	3.2.3	"Exploration Points"	GC2: 100 à 200 m hart op hart

Alleen in de CUR2003-7 worden richtlijnen gegeven voor de minimale hoeveelheid samendrukkings-, sterkte- of dichtheidsproeven. BS 5930 geeft wel nog een richtlijn met betrekking tot de minimale hoeveelheid te nemen monsters.



Tabel 10.5 Aanbevolen hoeveelheden grondonderzoek.

Norm	Grondsoort	Proeftype	Aanbeveling
BS 5930: 1999	Zand/grind	-	Bovenaan elke nieuwe laag, verder op 1.5 m interval verstoorde monsternamen
BS 5930: 1999	Klei	-	Bovenaan elke nieuwe laag, verder op 1.5 m interval 100 mm ongestoorde monsternamen, elke meter verstoord monster
CUR-2003-7	-	Classificatie	1 x per meter (GC3: 1,5-2 x per 1 m)
CUR-2003-7	-	Atterbergse grenzen	1 x per 2 meter (GC3: 1,5-2 x per 2 m)
CUR-2003-7	-	Samendrukkings-proef	1 x per 3 meter (GC3: 1-1,5 x per 3 m)
CUR-2003-7	-	Triaxiaal proef	1 x per 3 meter (GC3: 1-1,5 x per 3 m)
CUR-2003-7	-	Alleen GC3: In-situ test	1-1,5 x per 5 meter

Het is aan de geotechnische adviseur om de hoeveelheid grondonderzoek te bepalen aan de hand van de specifieke projecteigenschappen. Belangrijk is dat er voldoende zekerheid moet zijn dat de beoogde oplossingsrichting (ontwerp) haalbaar is en er in hoofdlijnen geen aanpassingen zullen plaatsvinden in het definitief ontwerp. Bedenk hierbij dat de kosten voor extra sonderingen, boringen, peilbuizen en/of laboratoriumproeven in algemeen gering zijn ten opzichte van de totaalkosten. De resultaten van aanvullend grondonderzoek geven inzicht in de haalbaarheid van de gekozen oplossing en voorkomen dat in de definitieve ontwerpfase onnodig veel kosten gemaakt moeten worden omdat in een te laat stadium de gekozen oplossing niet haalbaar blijkt te zijn.

10.3 Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp)

10.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn alle basiskeuzes (wijze van baggeren en opbrengen, ophoogniveau, globale planning, voorbelastingsperiode, etc) gemaakt. Wat nu volgt is het detailleren van zaken als ophoofphaseringen, zandhoeveelheden en het opstellen van een kwaliteits- en monitoringsplan. De hoeveelheid grondonderzoek moet zodanig zijn dat in de ontwerpnota's aangetoond kan worden dat aan alle ontwerp-eisen is voldaan.

10.3.2 Berekeningen

Wingebied

De berekeningen in deze fase bestaan net als in de vorige fase vooral uit productieberekeningen en, afhankelijk van de mogelijke invloed van de baggeractiviteiten op de omgeving, stabiliteitsberekeningen. Er kan nu een gedetailleerde planning van de baggerwerkzaamheden worden gemaakt.

Plaatsingsgebied

De berekeningen in deze fase bestaan net als in de vorige fase vooral uit zetting- en stabiliteitsberekeningen (b.v. Msettle, MStab en in complexe situaties Plaxis 2D). Waar voorkomend dient ook eventuele liquefactie beschouwd te worden in de stabiliteits-

berekeningen. Ook zal, wanneer relevant, gekeken worden naar zaken als omgevingsbeïnvloeding met een eindig elementenprogramma (Plaxis 2D).

10.3.3 Typen grondonderzoek

Wingebied

- Alle data uit de vorige fases
- Vibrocores
- Boringen (indien de locatie van het wingebied tot mogelijke omgevingsinvloed leidt)
- Laboratoriumonderzoek:
 - Boorbeschrijving (volume gewicht nat/droog, watergehalte, korrelverdeling, organisch gehalte, mineralogie, specifieke gewichten)
 - Triaxiaalproeven
 - Specifiek onderzoek gericht op projectspecifieke problemen (b.v. cyclische triaxiaalproeven voor liquefactie risico)



Monstername met de 'triflip': door TNO ontwikkelde hydraulische vibrocorer.



Plaatsingsgebied

- Alle data uit de vorige fases
- Sonderingen
- Boringen
- Laboratoriumonderzoek
 - Boorbeschrijving (volume gewicht nat/droog, watergehalte, korrelverdeling, ongedraineerde schuifsterke, specifieke gewichten, Atterbergse grenzen)
 - Samendrukkingsproeven
 - Triaxiaalproeven
 - Specifiek onderzoek gericht op projectspecifieke problemen

10.3.4 **Hoeveelheid grondonderzoek**

Een minimale hoeveelheid grondonderzoek is voor deze fase niet aan te geven. Dit zal immers volledig afhankelijk zijn van de specifieke eigenschappen van het project. Het grondonderzoek moet zodanig zijn gespecificeerd en uitgevoerd dat in de ontwerpnota's aangetoond kan worden dat op het gehele terrein aan alle eisen is voldaan.

In het algemeen kan worden gezegd dat in deze fase alleen nog naar specifieke probleemlocaties gekeken zou moeten worden. Uit eerdere fasen moet het globale geotechnische en geologische beeld van de ondergrond voldoende duidelijk zijn. Het kan echter voorkomen dat bijvoorbeeld de exacte afmetingen en eigenschappen van een geconstateerde stroomgeul in het plaatsingsgebied nog onvoldoende bekend zijn, of dat er een lokaal raakvlak met de omgeving (gebouwen, leidingen) nader moet worden gedetailleerd. Voor beschouwingen over optimalisatie van het grondonderzoek in deze fase kan worden verwezen naar rapport 2008-4 (Van onzekerheid naar betrouwbaarheid).

10.4 **Eisen aan uitvoering grondonderzoek**

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

Boringen en peilbuizen

Boringen worden uitgevoerd om te komen tot classificatie van de grondlagen en teneinde samendrukkingsparameters te kunnen vaststellen. De lengte van de boringen dient dusdanig te worden gekozen dat deze ten minste de van invloed zijnde samendrukbare lagen bestrijkt. Ten minste moet de boring zijn doorgezet tot de bovenste zandlaag met een dikte van minimaal 5 m.

Een aantal boringen zal worden afgewerkt tot peilbuizen, waarmee de stijghoogte van freatisch grondwater en diepere zandlagen kan worden gemeten. Met behulp van de gegevens uit de eerdere fase (bv. DINO) kunnen hiertoe voorkeurslocaties worden bepaald.

Bij de keuze van te beproeven monsters voor samendrukkingsproeven dient erop te worden gelet dat niet de nadruk wordt gelegd op de (kleinere) 'afwijkende' lagen uit de boringen, zoals stoorlaagjes van veen in een kleipakket. Voor zettingsberekeningen is

immers vooral het zettingsgedrag van de bulk van het samendrukbare materiaal van belang.

Korrelverdelingen

Ook het bepalen van de korrelverdelingen van de in de boringen aangetroffen zandlagen is vereist, omdat deze informatie benodigd kan zijn voor het beoordelen van mogelijk hergebruik van materiaal in het werk (bv verdichtbaarheid, toetsing aan RAW-eisen).

De proeven dienen zoveel mogelijk te worden gekoppeld aan de al uitgevoerde sonderingen.

Proeven uit te voeren volgens BS 1377 of relevante ASTM normen.

Triaxiaalproeven

Voor het ontwerp van een ophoging (met drains) zullen CU-proeven het meest relevant zijn. Zie ook CUR 2003-7.

Direct Simple Shear proef

Deze proef is op nog maar weinig Nederlandse projecten toegepast, maar wordt in het buitenland vaker toegepast. Uit de proef kan een wrijvingshoek worden bepaald bij een vooraf opgelegde normaalspanning. Doordat het bezwijkvlak in de proef is opgelegd kan een beter inzicht worden verkregen in de verhouding tussen normaalspanning en sterktegedrag dan bij een triaxiaalproef. Bij zeer slappe gronden zoals veen en humeuze klei kunnen soms consistentere resultaten worden behaald dan bij een triaxiaalproef.

Nadeel is dat het materiaal bezwijkt over een opgelegd bezwijkoppervlak, en dat de triaxiaalproef meer mogelijkheden biedt tot het volgen van specifieke spanningspaden.

Voor een beschrijving van deze proef, zie onder andere CEN ISO/TS 17892-10; Direct Shear Test en BS1377: Part 7, Hfdst 4 en 5.

Bijlage 11

Steigers

11.1 Detailniveau: zeer grof (schets-of initiatieffase)

11.1.1 Omschrijving

In deze fase is ten minste de locatie en de steigerconstructie bekend. Daarmee ook vaak al eventuele baggerwerkzaamheden, toekomstig waterbodenniveau en (grond)belastingen, zodat een inschatting gemaakt kan worden van de paaltype en paalpuntniveau.

De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een eerste inschatting te kunnen maken van het paaltype en op basis hiervan een evaluatie uit te voeren naar de haalbaarheid van het project in tijd en geld. Het is van belang inzicht te krijgen in de voornaamste risico's die het project bedreigen.

11.1.2 Berekeningen

Wegens de beperkte hoeveelheid gegevens en grote keuzevrijheid kunnen hier alleen oriënterende paalberekeningen worden gemaakt op basis van beperkt grondonderzoek. In deze fase wordt de ontwerpvarianten onderzocht, en uiteindelijk een keuze gemaakt voor de in het Voorlopig Ontwerp uit te werken variant.

Hierbij kan men denken aan oriënterende paalberekeningen op basis van sondeergrafieken in combinatie met lokale ervaringen (o.a. paaltype en inbrengwijze).

11.1.3 Typen grondonderzoek

In deze fase is het van belang allereerst alle bestaande gegevens te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes. Te denken valt hierbij aan:

Historisch onderzoek:

- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- Luchtfoto's / Google Earth
- Geologische kaartbladen TNO
- Raadplegen DINO-database
- Eigen archief grondonderzoek
- Gegevens grondwaterstanden TNO
- Langjarige gegevens waterstanden in rivier of havenmond via meetnet Rijkswaterstaat
- Bathymetrische kaarten (contouren waterbodem) van lokale havenautoriteit/water-schap aangevuld met informatie over de huidige situatie (steenbestorting e.d.)
- Oude landkaarten (vooral in kustgebieden, locaties oude getij/stroomgeulen e.d.) met aandacht voor eventuele obstakels in de ondergrond (bijvoorbeeld via www.watwaswaar.nl)
- Voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten naburige werken

- Voor zover beschikbaar: monitoringsdata naburige werken en informatie omtrent corrosie / aantasting staalconstructie
- Voor zover beschikbaar: uitvoeringservaring naburige werken (problemen bij het inbrengen van de palen, ongewenste trillingen etc)

11.1.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Voor een 'quick scan' op basis van ter plaatse uitgevoerd onderzoek kan het beste gebruik worden gemaakt van sonderingen op relatief grote afstanden, bijvoorbeeld 1x per 200 m tot 5 meter onder het ingeschat paalpuntniveau. Veelal zal grondonderzoek uitgevoerd in het verleden, op deze of een nabij gelegen locatie, gebruikt worden in dit stadium. Dit vanwege de hoge kosten voor sonderingen en boringen gemaakt vanaf het water.

11.2 Detailniveau: grof (Voorontwerp)

11.2.1 Omschrijving

In deze fase is een beperkt aantal eisen aangegeven, zoals de locatie, de contractdiepte, de ligging van de steigerconstructie, eventuele horizontale grondbelasting uit een nabij gelegen talud en een indicatie van de te verwachten belastingen.

De te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om uit het voorontwerp een grove werkplanning en eventueel eerste prijsvorming door inschrijvers mogelijk te maken.

11.2.2 Berekeningen

De berekeningen in deze fase bestaan uit paalberekeningen (druk en trek), rekening houdend met horizontale belastingen op de palen. Tevens wordt gekeken naar de andere aspecten zoals ontgroning, zettingen, trillingen e.d. zoals omschreven in tabel 11.1. Op basis van de resultaten uit deze fase wordt de (geotechnische) risicoanalyse aangepast. Resterende risico's kunnen dan (in meer detail) in een vervolgfase worden onderzocht.

11.2.3 Typen grondonderzoek

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn in deze fase de volgende gegevens gewenst:

- Alle data uit vorige fase(n)
- Sonderingen (waarvan een aantal uitgevoerd met piezo)
- Peilbuizen met registraties van de diverse watervoerende grondlagen van het talud inclusief eventueel de bepaling van de invloed van aanwezig getij op de grondwaterstanden.
- Eventueel, ter beoordeling van de geotechnische adviseur, boringen met laboratoriumonderzoek:
 - Classificatieproeven (dichtheid nat/droog, watergehalte, ongedraineerde schuifsterkte)
 - Samendrukkingsproeven (minimaal 1 per laagsoort)
 - Triaxiaalproeven op cohesieve lagen (minimaal 1 per laagsoort)



Om kosten te besparen kan eventueel overwogen worden de boring(en) wel uit te voeren, maar een aantal monsters in opslag te laten bewaren en in een later stadium, indien dit toch nodig is, te beproeven (bijvoorbeeld samendrukkingsproeven en triaxiaalproeven).

Middels het uit te voeren grondonderzoek dienen in principe alle benodigde parameters, zoals aangegeven in tabel 11.3, direct of indirect bepaald te worden. De noodzaak om boringen uit te voeren is sterk afhankelijk van de te verwachten problematiek c.q. risico's, ter beoordeling aan de geotechnische adviseur. Het is goed mogelijk dat sonderingen voldoende zijn, in geval van geotechnische risico's valt het echter aan te bevelen boringen met laboratoriumonderzoek uit te voeren.

Het voor eventueel baggerwerk, voorafgaand aan de bouw van de steiger, noodzakelijke onderzoek is aangegeven in hoofdstuk 18 van deze richtlijn.

11.2.4 Hoeveelheid grondonderzoek

De benodigde hoeveelheid grondonderzoek wordt bepaald op basis van de norm waarbij aangegeven wordt dat indien er geen bijzondere variaties in de bodemopbouw zijn vastgesteld, de onderlinge sondeerafstand maximaal 25 m is. Per sondering wordt een oppervlak bestreken van ten hoogste 25 x 25 m². Indien uit de vorige projectfase blijkt dat de ondergrond niet homogeen is (bijvoorbeeld oude geulen, aanwezigheid van grindlagen) wordt aanbevolen dat de geotechnische adviseur kleinere h.o.h. afstanden aanhoudt.

Het verschil tussen de hoogste en de laagste waarde van de maximumdraagkracht van de paal, berekend bij een sondering in het beschouwde gebied, moet, voor eenzelfde paalpuntniveau, kleiner zijn dan 0,3 x de gemiddelde waarde van de maximumdraagkracht van de paal (over alle sonderingen in het beschouwde gebied). Als de variatie in draagkracht (veroorzaakt door de variatie in geconstateerde conusweerstand) groter is moet de onderlinge sondeerafstand verkleind worden. De norm geeft aan maximaal 20 m bij een variatie tussen de hoogste en de laagste waarde van de maximumdraagkracht tot 0,4 x de gemiddelde waarde (met maximaal oppervlak per sondering van 20 x 20 m²) en maximaal 15 m bij een variatie tot 0,5 x de gemiddelde waarde (met maximaal oppervlak per sondering van 15 x 15 m²).

Vooraf zal een inschatting gemaakt moeten worden van de verwachte variatie. Mocht uit de resultaten van de sonderingen blijken dat deze inschatting onjuist is gebleken dan zal conform de NEN aanvullend grondonderzoek, in deze of de volgende fase, noodzakelijk zijn.

De sondeerdiepte dient tot minimaal 5 m onder het ingeschatte paalpuntniveau worden uitgevoerd. Om eventueel diepere zettingsgevoelige lagen in kaart te brengen wordt aanbevolen om minimaal één sondering, onder het ingeschatte paalpuntniveau, tot onder een diepte van 10 maal de diameter van de paal uit te voeren.

In geval van een nabij gelegen talud (horizontale grondbelasting op de steigerconstructie) is het aan te raden om naast sonderingen tevens minimaal 1 boring uit te voeren met bepaling van sterkte parameters om zo een goede inschatting te kunnen maken van de laterale belasting op de palen.

Opgemerkt wordt dat de kosten om sonderingen en boringen vanaf het water uit te voeren kostenverhogend (o.a. mobilisatiekosten boorbak) is ten opzichte van grondonderzoek op het land. Het is aan te bevelen om het grondonderzoek dusdanig op te zetten dat er voldoende gegevens zijn voor het voorontwerp en definitief ontwerp om aanvullende sonderingen en boringen vanaf het water te voorkomen. Vanwege mobilisatiekosten van een boorbak worden de kosten van enkele sonderingen (of boringen) naar verhouding erg hoog. In dit kader dient ook in deze fase een goede inschatting van de dimensies van de steiger, zowel in het horizontaal vlak als voor het paalpuntniveau (afhankelijk van bodemopbouw en belastingen) om te voorkomen dat in een later stadium alsnog diepere sonderingen en boringen uitgevoerd moeten worden. Een wat ruimer, doordacht, opgezet grondonderzoek in het voorontwerp kan onverwachte veranderingen in het ontwerp (paal locaties, paalpuntniveaus) opvangen zodat geen aanvullend grondonderzoek noodzakelijk is in het definitief ontwerp. Dit ervan uitgaande dat er geen grote verrassingen uit het grondonderzoek uitgevoerd in het voorontwerp zijn gekomen.

11.3 Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp)

11.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn alle basiskeuzen (locatie, contractdiepte, belasting) gemaakt. In het definitief ontwerp wordt de uitwerking van het hoofdontwerp uitgevoerd. In de, in het VO vastgestelde trajecten met gelijke grondopbouw, worden alle faalmechanismen getoetst. Indien uit het grondonderzoek mocht zijn gebleken dat er hiaten zijn in het grondonderzoek, dan kunnen die in deze fase worden aangevuld.

11.3.2 Berekeningen

De berekeningen naar alle onderscheiden faalmechanismen worden in principe voor elk van de onderscheiden trajecten uitgevoerd.

In deze fase wordt zo nodig aanvullende grondonderzoek (veelal sonderingen of boringen) uitgevoerd daar waar nog onduidelijkheden zijn in het ontwerp.

11.3.3 Typen grondonderzoek

Het grondonderzoek wordt gericht op het verkrijgen van aanvullende informatie. Dit kan noodzakelijk zijn om lacunes in de kennis van de grondopbouw, die van belang zijn voor het ontwerp, op te vullen. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan in de ondergrond aanwezige oude geulen, of lagen die in het Voorlopig ontwerp naar de mening van de geotechnische adviseur onvoldoende zijn onderzocht. Het aanvullend grondonderzoek bestaat meestal uit sonderingen en/of boringen met laboratoriumonderzoek.

11.3.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Een minimale hoeveelheid grondonderzoek is voor deze fase niet aan te geven. Dit zal immers afhankelijk zijn van de resultaten van het grondonderzoek ten behoeve van het Voorlopig Ontwerp.

Uiteindelijk zou het grondonderzoek na deze fase zodanig van omvang moeten zijn, dat voor alle gesignaleerde geotechnische risico's maatregelen kunnen worden vastgesteld.

In het algemeen kan worden gezegd dat in deze fase alleen nog naar specifieke probleemlocaties gekeken zou moeten worden. Uit eerdere fasen moet het globale geotechnische en geologische beeld van de ondergrond voldoende duidelijk zijn.

Het kan echter zijn dat bijvoorbeeld de precieze afmetingen en eigenschappen van een geconstateerde stroomgeul in het tracé nog onvoldoende bekend zijn, of dat er een lokaal raakvlak met de omgeving (kademuur, leidingen) nader moet worden gedetailleerd. Er kunnen natuurlijk ook wijzingen in het ontwerp zijn doorgevoerd waardoor het grondonderzoek niet meer voldoet aan de gestelde eisen qua hoeveelheid sonderingen en/of sondeerdiepte.

11.4 Eisen aan uitvoering grondonderzoek

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

Boringen

Doel van de boringen is over het algemeen het vaststellen van de volumieke gewichten van de ondergrond voor de bepaling van de negatieve kleeft op paalfunderingen en ter bepaling van de sterkte grondparameters voor stabiliteitsberekeningen..



Aanleg elektrische infrastructuur aan de Maasvlakte met gestuurde boring tot 40 m -NAP.

Bijlage 12

Kademuren

12.1 Detailniveau: zeer grof (schets-of initiatieffase)

12.1.1 Omschrijving

In deze fase zijn ten minste de locatie en het toekomstig gebruik van de kadeconstructie bekend. Daarmee ook vaak al de contractdiepte, zodat de kerende hoogte kan worden bepaald.

De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een eerste inschatting te kunnen maken van het type kademuur en op basis hiervan een evaluatie uit te voeren naar de haalbaarheid van het project in tijd en geld. Het is van belang inzicht te krijgen in de voornaamste risico's die het project bedreigen.

12.1.2 Berekeningen

Wegens de beperkte hoeveelheid gegevens en grote keuzevrijheid kunnen hier alleen verkennende berekeningen worden gemaakt op basis van vuistregels en correlaties. In deze fase wordt de ontwerpvarianten onderzocht, en uiteindelijk een keuze gemaakt voor de in het Voorlopig Ontwerp uit te werken variant.

Hierbij kan men denken aan verkennende en vergelijkende damwand- en verankeringsberekeningen op basis van sondeergrafieken in combinatie met ervaringsgetallen uit het gebied.

12.1.3 Typen grondonderzoek

In deze fase is het van belang allereerst alle bestaande gegevens te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes. Te denken valt hierbij aan:

Historisch onderzoek:

- Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl)
- Luchtfoto's / Google Earth
- Geologische kaartbladen TNO
- Raadplegen DINO-database
- Eigen archief grondonderzoek
- Gegevens grondwaterstanden TNO
- Langjarige gegevens waterstanden in rivier of havenmond via meetnet Rijkswaterstaat
- Oude landkaarten (vooral in kustgebieden, locaties oude getij/stroomgeulen e.d.)
- Voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten naburige werken
- Voor zover beschikbaar: monitoringsdata (zetting, zanddikte) naburige werken

*Aanvullend onderzoek:*

- Visuele inspectie in omgeving
- Sonderingen

Actueel Hoogtebestand Nederland:

Met behulp van de kaarten van het AHN (op te vragen via de website) zijn heterogeniteiten in het terrein soms al duidelijk te herkennen. De kaarten geven de NAP-maten van het maaiveld in kleuren weer. Met behulp van verschillen in maaiveldhoogten kunnen soms oude geologische kenmerken in het landschap eenvoudig worden herkend.

Visuele inspectie

Het uitvoeren van een visuele inspectie in de omgeving van het te maken werk kan veel informatie opleveren, wanneer deze door een geotechnisch ingenieur, ingenieursgeoloog of geoloog wordt uitgevoerd. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gelet op aanwijzingen over in het verleden opgetreden oevervallen of andere instabiliteiten en eventuele obstakels die grondonderzoek bemoeilijken.

12.1.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Voor een 'quick scan' op basis van ter plaatse uitgevoerd onderzoek kan het beste gebruik worden gemaakt van sonderingen op relatief grote afstanden, bijvoorbeeld 1x per 200 m.

12.2 Detailniveau: grof (Voorontwerp)**12.2.1 Omschrijving**

In deze fase is een beperkt aantal eisen aangegeven, zoals de locatie, de contractdiepte, de hoogteligging van het haventerrein, de te verwachten terreinbelasting achter de kade en een schatting van de kraanbaanbelasting, indien deze op de kadeconstructie rust.

De te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om uit het voorontwerp een grove werkplanning en eventueel eerste prijsvorming door inschrijvers mogelijk te maken.

12.2.2 Berekeningen

De berekeningen in deze fase bestaan voor een liggerconstructie uit damwandberekeningen op basis van een verend ondersteunde ligger model, een bepaling van de wijze van verankering, het verticaal evenwicht (draagkracht damwand en/of funderingspalen) en de Bishopstabiliteit in een beperkt aantal dwarsprofielen.

Voor een gewichtsconstructie bestaan de berekeningen uit het beschouwen van het horizontaal en verticaal evenwicht van de constructie, zoals genoemd in het betreffende hoofdstuk, het uitvoeren van zettingsberekeningen en de stabiliteit van de constructie.

Voor beide constructietypen worden ook de eerste verkennende geohydrologische berekeningen uitgevoerd om de te bemalen debieten en de invloed op zettingen te kunnen inschatten.

Hiermee worden de bezwijkmechanismen, zoals aangegeven in het betreffende hoofdstuk, onderzocht. Op basis van de resultaten uit deze fase wordt de (geotechnische) risicoanalyse aangepast. Resterende risico's kunnen dan (in meer detail) in een vervolgfase worden onderzocht.

12.2.3 Typen grondonderzoek

Ten behoeve van bovengenoemde berekeningen zijn in deze fase de volgende gegevens gewenst:

- Alle data uit vorige fase(n)
- Sonderingen
- Boringen
- Peilbuizen met registraties van de diverse watervoerende grondlagen inclusief eventueel de bepaling van de invloed van aanwezig getij op de grondwaterstanden.
- Laboratoriumonderzoek:
 - Classificatieproeven (dichtheid nat/droog, watergehalte)
 - Samendrukkingproeven (minimaal 1 per laagsoort)
 - Triaxiaalproeven op cohesieve en niet-cohesieve lagen (minimaal 1 per laagsoort)

Op deze wijze worden in principe alle benodigde parameters, zoals aangegeven in het betreffende hoofdstuk bepaald voor de faalmechanismen 1 t/m 6. Het voor eventueel baggerwerk noodzakelijke onderzoek is elders in deze richtlijn vermeld.

12.2.4 Hoeveelheid grondonderzoek

De benodigde hoeveelheid grondonderzoek wordt bepaald op basis van Eurocode 7, art 3.2.3 (Onderzoek voor het ontwerp).

Kademuren vallen over het algemeen in RC 2

Het grondonderzoek voor een kademuurconstructie is het algemeen dus zal bestaan uit:

- Op de lijn van de voorkant kade:
 - Bij een liggerconstructie dient een rij sonderingen ter plaatse van de damwand, h.o.h. afstand 25 m, diepte tot minimaal 5 m onder het te verwachten voetniveau van de damwand te worden uitgevoerd. Voor een gewichtsconstructie dienen de sonderingen tot ten minste een diepte van driemaal de breedte van de funderingsplaat te worden uitgevoerd onder het aanlegniveau met een h.o.h. afstand van maximaal 25 m
 - boringen h.o.h. afstand circa 150 m, diepte tot op de draagkrachtige zandlaag
 - peilbuizen h.o.h. afstand circa 300 m
- Op de hartlijn van de verankering
 - een rij sonderingen h.o.h. afstand 25 m, diepte tot minimaal 2 m onder geplande verankeringslaag

Bij de in hierboven gegeven dieptes van boringen en sonderingen wordt nog opgemerkt dat de te onderzoeken diepte mede afhankelijk is van de grondopbouw beneden het te verwachten voetniveau van op druk belaste elementen zoals damwanden en funderingspalen. Indien zich daaronder samendrukbare lagen bevinden dan moeten deze tot aan de onderzijde ervan worden onderzocht. Ook moeten op monsters uit deze lagen de samendrukkingeigenschappen worden bepaald met behulp van samendrukkingproeven. Boringen in cohesieve lagen dienen te worden gestoken, in zandlagen kan worden volstaan met geroerde monsters.

Het verdient aanbeveling om op basis van de sonderingen en boringen op de kadelijne een geotechnisch profiel samen te stellen. Uit dit profiel wordt vervolgens het project ingedeeld in trajecten, met elk hun eigen grondopbouw.



In het Voorlopig ontwerp wordt voor een maatgevend traject vervolgens de dimensionering van damwand, verankering en eventueel fundering uitgevoerd.

In de CUR 2003-7 worden richtlijnen gegeven voor de minimale hoeveelheid samendrukkings-, sterkte- of dichtheidsproeven, die uit boormonsters worden verkregen, zie ook tabel 12.1.

Tabel 12.1 Aanbevolen hoeveelheden voor bemonstering.

Proeftype	Aanbeveling
Classificatie	1x per meter*) (GC3: 1,5 -2 x per m), elke boring
Samendrukkingproef	1x per 3 meter (GC3: 1 - 1,5 x per 3 m) per onderscheiden laag per boring
Triaxiaalproef CU In cohesieve laag	1x per 3 meter (GC3: 1 - 1,5 x per 3 m) per onderscheiden laag per boring
Triaxiaalproef CD op zand**)	1 * per zandlaag per onderscheiden laag per boring

*) Voorts wordt aanbevolen per onderscheiden laag korter dan 1 m tevens de classificatie van die laag uit te voeren.

***) Zandmonsters worden in een boring altijd geroerd. Voor de bepaling van de sterkte en stijfheideigenschappen wordt geadviseerd de in situ dichtheid te bepalen uit conusweerstand en minimale en maximale dichtheid. Deze laatste bepalingen dienen dan ook in het laboratorium te worden uitgevoerd. De CD triaxiaalproef wordt vervolgens bij de berekende in situ dichtheid uitgevoerd.

CUR 2003-7 geeft de meest volledige indicatie van benodigd onderzoek; daarbij wordt de nadruk gelegd op de term 'indicatie'. Uiteindelijk zal door een geotechnisch ingenieur op basis van de specifieke projecteigenschappen een afweging moeten worden gemaakt.

Uit het laboratoriumonderzoek en eventueel empirische relaties worden per onderscheiden grondlaag de representatieve waarden van de parameters, die zullen worden gebruikt bij de verschillende berekeningen, vastgesteld.

12.3 Detailniveau: fijn (Definitief Ontwerp)

12.3.1 Omschrijving

In deze fase zijn alle basiskeuzen (locatie, contractdiepte, constructietype, terreinbelasting, kraantype) gemaakt. In het definitief ontwerp wordt de uitwerking van het hoofdontwerp uitgevoerd. In de, in het VO vastgestelde trajecten met gelijke grondopbouw, worden alle faalmechanismen getoetst. Indien uit het grondonderzoek mocht zijn gebleken dat er hiaten zijn in het grondonderzoek, dan kunnen die in deze fase worden aangevuld.

12.3.2 Berekeningen

De berekeningen naar alle onderscheiden faalmechanismen worden in principe voor elk van de onderscheiden trajecten uitgevoerd.

In deze fase wordt per sondering zo nodig de draagkracht van damwand en verankering bepaald.

12.3.3 Typen grondonderzoek

Het grondonderzoek wordt gericht op het verkrijgen van aanvullende informatie. Dit kan noodzakelijk zijn om lacunes in de kennis van de grondopbouw, die van belang zijn voor het ontwerp, op te vullen. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan in de ondergrond aanwezige oude geulen, of lagen die in het Voorlopig ontwerp naar de mening van de geotechnische adviseur onvoldoende zijn onderzocht.

Het in deze fasen te gebruiken onderzoek kan dus bestaan uit

- Alle data uit vorige fase(n)
- Aanvullende sonderingen
- Aanvullende boringen
- Aanvullend laboratoriumonderzoek:
 - Classificatieproeven (dichtheid nat/droog, watergehalte)
 - Samendrukkingproeven
 - Triaxiaalproeven (CU/CD)
 - Aanvullende peilbuizen

12.3.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Een minimale hoeveelheid grondonderzoek is voor deze fase niet aan te geven. Dit zal immers afhankelijk zijn van de resultaten van het grondonderzoek ten behoeve van het Voorlopig Ontwerp.

Uiteindelijk zou het grondonderzoek na deze fase zodanig van omvang moeten zijn, dat voor alle gesignaleerde geotechnische risico's maatregelen kunnen worden vastgesteld.

In het algemeen kan worden gezegd dat in deze fase alleen nog naar specifieke probleemlocaties gekeken zou moeten worden. Uit eerdere fasen moet het globale geotechnische en geologische beeld van de ondergrond voldoende duidelijk zijn.

Het kan echter zijn dat bijvoorbeeld de precieze afmetingen en eigenschappen van een geconstateerde stroomgeul in het tracé nog onvoldoende bekend zijn, of dat er een lokaal raakvlak met de omgeving (gebouwen, leidingen) nader moet worden gedetailleerd.

12.4 Eisen aan uitvoering grondonderzoek

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

Bij de aanleg van kademuuren wordt tevens vaak baggerwerk uitgevoerd om de kademuur vrij te maken voor de scheepvaart. Het grondonderzoek hiervoor kan al in de ontwerpfase van de kademuur worden meegenomen, dit levert mogelijk een aanzienlijke tijd- en efficiency winst op. Voor nadere informatie over de aan het grondonderzoek voor dat onderdeel te stellen eisen wordt verwezen naar het betreffende hoofdstuk.

Boringen

Doel van de boringen is over het algemeen het vaststellen van de volumieke gewichten van de ondergrond voor de bepaling van de negatieve kleef op paalfunderingen en ter bepaling van de sterkteparameters van de grond voor stabiliteitsberekeningen en berekeningen van de kerende functie van de wand.

Bijlage 13

Leidingen

13.1 Detailniveau grof (schets- of initiatieffase, voorontwerp)

13.1.1 Omschrijving

In het voorontwerp traject van leidingaanleg wordt op basis van de beschikbare informatie een voorontwerp gemaakt. Vaak is het zo dat het begin- en eindpunt van het tracé vastliggende punten zijn, omdat meestal aangesloten wordt op bestaande leidingnetwerken. Vervolgens wordt de beschikbare (werk)ruimte in de ondergrond maar vooral ook boven maaiveld bepaald. Indien de beschikbare werkruimte boven maaiveld (bijvoorbeeld in stedelijk gebied) beperkt is wordt vaak voor een sleufloze techniek gekozen, een open sleuf is dan vaak niet realiseerbaar.

Bij het voorontwerp wordt vaak veel aandacht besteed aan de benodigde werkruimte. Deze is bij microtunneling relatief gering en bij een HDD (horizontaal gestuurde boring) bij de grotere diameters erg groot vanwege de uitleglengte van de in te trekken productleiding. Ook bij een open sleuf is afhankelijk van de diameter van de aan te leggen leiding vaak nog aanzienlijk wat werkruimte benodigd.

Bij toepassing van sleufloze technieken is dan de boorbaarheid van de grondlagen een belangrijk aspect van het voorontwerp. Indien er veel obstakels in de ondergrond aanwezig zijn, zoals bijvoorbeeld grind, stenen of keien of funderingselementen kan voor een diepere aanleg van de leiding worden gekozen.

De aanlegtechniek bepaalt voor een groot deel ook de diepteligging van de leiding. Bij een open sleuf kan de leiding niet op grote diepte worden aangelegd. Leiding aanleg met behulp van microtunneling kan al dieper geschieden. Bij een HDD ligt de leiding relatief diep en moet de leiding diep genoeg liggen, zodat voldoende gronddekking gegarandeerd is en blow-out, het uitstromen van boorvloeistof aan maaiveld, voorkomen wordt. Ook moet er aandacht besteed worden aan de boorbaarheid van het ontwerp, dat wil zeggen, is de minimaal benodigde druk van de boorvloeistof om de muddruk te laten stromen niet groter dan de maximaal toelaatbare druk die de ondergrond aankan? Dit speelt vooral bij langere boringen met een beperkte dekking.

In het voorontwerp wordt vaak al volop aandacht besteed aan de mogelijk optredende risico's. Bij een open sleuf aanleg is bemaling natuurlijk een belangrijk aspect. Er dient immers in veel gevallen een lozingsvergunning te worden aangevraagd. Bij de sleufloze technieken is met name bij de HDD de boorgatstabiliteit tijdens de verschillende boorfases een belangrijk aspect.

13.1.2 Berekeningen

In de fase van voorontwerp worden nog geen berekeningen uitgevoerd. Wel wordt de boorbaarheid van de grondlagen beschouwd. Tevens wordt de diepteligging bepaald met een indicatieve bepaling van het risico op blow-outs.

13.1.3 Typen grondonderzoek

In het voorontwerp moet al gekeken worden naar beschikbare informatie over de grondopbouw en de grondwateromstandigheden in de omgeving van de projectlocatie. Geologische kaarten en of gegevens over de grondopbouw in de nabijheid van het leidingtracé kunnen al veel informatie geven over de te verwachten grondlagen. Geologische kaarten van Nederland kunnen al aangeven wat voor formaties in het gebied voorkomen met de bijbehorende kenmerken. De ontwerpende partij heeft vaak al het nodige aan grondonderzoek laten uitvoeren voor eerdere geotechnische projecten

Mogelijk zijn er al projecten gedaan in het omringende gebied van de nieuwe projectlocatie. Indien de archivering van dit grondonderzoek gedegen uitgevoerd wordt kan binnen de eigen database gezocht worden. Als dit niets oplevert kan ook de DINO (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) database geraadpleegd worden. Er kan hier op RD-coördinaten of op een overzichtskaart naar boringen en sonderingen in het gebied worden gezocht.

Inzicht in grondwaterstanden en stijghoogten in diepe zandlagen zijn van belang bij het aanleggen van leidingen. Bij aanleg in open sleuf is het noodzakelijk iets te weten over de grondwaterstanden en stijghoogten om te weten of in den droge kan worden ontgraven en of de sleufbodem al dan niet opbarst. Bij opbarstgevaar moet een bemaling worden toegepast. Dit geldt ook voor microtunneling waar een pers- en ontvangstuip wordt geïnstalleerd. Bij HDD's is vooral de stijghoogte in watervoerende lagen waar doorheen geboord wordt van belang. Bij een hoge stijghoogte is er kans op optreden van kwel langs de leiding tijdens het boren of bij het maken van de aansluitingen. TNO heeft grondwaterkaarten van heel Nederland van de freatische grondwaterstanden en stijghoogten in watervoerende zandlagen. Ook zijn er gegevens van de chemische samenstelling van het grondwater beschikbaar (grondwaterkwaliteit). Verder kan de DINO database geraadpleegd worden voor waterstanden en stijghoogten. Deze informatie kan via DINO besteld worden.

De kwaliteit van het grondwater is van belang bij die sleufloze technieken waarbij boorvloeistof gebruikt wordt. De samenstelling van boorvloeistof is afhankelijk van het feit of het grondwater zoet, zout of zuur is of dat er een vervuiling van het grondwater aanwezig is. De kwaliteit van het grondwater kan ook via de DINO database opgezocht worden.

Vanzelfsprekend is de samenstelling van het grondwater van belang bij het verkrijgen van vergunningen voor lozing bij bemalingen



13.2 Detailniveau fijn (definitief ontwerp)

13.2.1 Omschrijving

Voor de aanleg van leidinginfrastructuur is het noodzakelijk inzicht te krijgen in de grondopbouw en grondwatercondities ter plaatse van het leidingtracé. Anders dan bij veel andere technieken is het grondonderzoek bij het sleufloos realiseren van leidingen gericht op de uitvoering om de leiding geïnstalleerd te krijgen en de kwaliteit van de uiteindelijke leiding. Hiervoor moet grondonderzoek op de projectlocatie gedaan worden, bijvoorbeeld door middel van sonderingen en boringen. De bepaling van grondwaterstanden en stijghoogten in de grondlagen is eveneens van belang voor de keuze van de toe te passen techniek en het minimaliseren van de risico's tijdens de aanleg. Vervolgens kan laboratoriumonderzoek worden uitgevoerd om de geotechnische parameters van de verschillende grondlagen te bepalen. Daarnaast is het van belang de aanwezigheid van objecten in de bodem vast te stellen.

13.2.2 Berekeningen

Open sleuf

Voor veldstrekkingen waar de leiding wordt aangelegd door middel van open ontgraving moeten in het definitieve ontwerp een aantal aspecten worden beschouwd, zodat de potentiële risico's kunnen worden onderkend:

- beschrijving van de grondopbouw;
- informatie over grondwaterstanden en stijghoogten van het grondwater in de watervoerende zand- en/of grindlagen;
- een sterkteberekening van de leiding;
- indien van toepassing: damwandberekeningen volgens CUR 166;
- beschouwing van de stabiliteit van de ontgravingtaluds;
- beschouwing van het risico op opbarsten van de sleufbodem;
- beschouwing risico op opdrijven van de leiding;
- beschouwing van de lange en korte termijn (horizontale) grondspanningen in relatie tot de beddingsconstante;
- maatregelen voor het verkrijgen van voldoende sleufstabiliteit moeten worden aangegeven;
- een bemalingsplan inclusief uitgangspunten en berekeningen;
- de isohypsenverlagingslijnen van het freatisch grondwater;
- bij een spanningsbemaling in een dieper gelegen watervoerende laag moeten tevens isohypsen en grafieken van het spanningswater in de watervoerende laag worden vervaardigd.

Bij kruising van een waterstaatswerk moeten ook nog aanvullende aspecten worden beschreven:

- stabiliteitscontrole van het waterstaatswerk tijdens de leidingaanleg (inclusief controle op het optreden van piping);
- het maken van een voorspelling van de zetting die op zal treden bij het trekken van damwanden;
- beschouwing van het risico op verweking/zettingsvloeiing door onderzoek van de dichtheid in-situ en de kritieke dichtheid van zandlagen om de gevoeligheid van

verweking/zettingsvloeiing bij o.a. het plaatsen/trekken van damwanden te kunnen beoordelen;

- onderzoek naar aanvulspecie voor zinkersleuven op gevoeligheid voor verweking (opdrijven van de leiding in verweekte aanvulspecie);
- eisen te stellen aan kleikisten bij kwelschermen;
- zettingsberekeningen in geval van ophogingen en of bemalingen.

HDD

Voor kruisingen waar de leiding wordt aangelegd door middel van een horizontaal gestuurde boring moeten in het definitief ontwerp een aantal aspecten worden beschouwd, zodat de potentiële risico's kunnen worden onderkend:

- beschrijving van de grondopbouw; Voor Nederland en voor leidingen Categorie 1 en/of rondom Waterstaatswerken zijn minimale eisen voor hoeveelheid onderzoek zijn weergegeven in vigerende normen als NEN 3650/3651 serie;
- informatie over grondwaterstanden en stijghoogten van het grondwater in de watervoerende zand- en/of grindlagen;
- beoordeling van de boorbaarheid van de te doorboren grondlagen;
- een sterkteberekening van de leiding;
- berekening maximaal toelaatbare boorvloeiستofdrukken;
- berekening minimaal benodigde boorvloeiستofdrukken;
- berekening van de optredende trekkracht tijdens het intrekken van de leiding;
- beoordeling van de boorgatstabiliteit;
- beoordeling van het optreden van kwel tijdens uitvoering van de boring, tijdens het maken van de aansluitingen met de veldstrekking en na ingebruikname van de leiding (zie vigerende NEN 3651 Bijlage D) Bij het maken van de aansluitingen is tevens een berekening nodig om het optreden van opbarsten van de sleufbodem te controleren;
- onderzoek naar de gewenste samenstelling van de boorspoeling (bentoniet-concentratie, stabiliteit suspensie, uitvlokken en dergelijke);
- op basis van de milieuhygiënische bodemkwaliteit een voorspelling doen met betrekking tot de kwaliteit van de uitkomende "mud" en "cuttings";
- beschouwing van de invloed van het boren op de omgeving.

Microtunneling

Voor kruisingen waar de leiding wordt aangelegd door middel van microtunneling moeten in het definitieve ontwerp een aantal aspecten worden beschouwd, zodat de potentiële risico's kunnen worden onderkend:

- beschrijving van de grondopbouw;
- informatie over grondwaterstanden en stijghoogten van het grondwater in de watervoerende zand- en/of grindlagen;
- beoordeling van de boorbaarheid van de te doorboren grondlagen;
- een sterkteberekening van de leiding;
- damwandberekeningen voor de pers en ontvangstuip volgens CUR 166;
- beschouwing van het verticaal evenwicht van de pers- en ontvangstuip;
- stabiliteitscontrole van het waterstaatswerk tijdens de leidingaanleg;
- berekening van de maximaal en minimaal toelaatbare boorfrontdruk;
- berekening van de benodigde persdruk;



- berekening van de maaiveld zakkings als gevolg van het boren;
- controle op opdrijven van de leiding;
- het maken van een voorspelling van de zetting die op zal treden bij het trekken van damwanden;
- een bemalingsplan inclusief uitgangspunten en berekeningen, indien het grondwater naast de kuip of de stijghoogte onder de kuipen moet worden verlaagd;
- de isohypsenverlagingslijnen van het freatisch grondwater in geval van bemaling;
- Als sprake is van een spanningsbemaling in een dieper gelegen watervoerende laag moeten in tevens isohypsen en grafieken van het spanningswater in de watervoerende laag worden vervaardigd.
- beschouwing van de invloed van het boren op de omgeving.

Pneumatische boortechniek

Voor kruisingen waar de leiding wordt aangelegd door middel van een pneumatische techniek moeten in het definitieve ontwerp een aantal aspecten worden beschouwd, zodat de potentiële risico's kunnen worden onderkend:

- beschrijving van de grondopbouw;
- informatie over grondwaterstanden en stijghoogten van het grondwater in de watervoerende zand- en/of grindlagen;
- beoordeling van de boorbaarheid van de te doorboren grondlagen;
- een sterkteberekening van de leiding;
- een bemalingsplan inclusief uitgangspunten en berekeningen, indien het grondwater moet worden verlaagd;
- de isohypsenverlagingslijnen van het freatisch grondwater in geval van bemaling
- beschouwing van de invloed van het boren op de omgeving.

Pneumatische boortechnieken zijn niet geschikt voor werkzaamheden onder de grondwaterstand, omdat er anders water het boorgat instroomt. Bij aanleg van leidingen onder de grondwaterstand zal dus altijd een bemaling moeten worden toegepast. Voor de bemaling moet het waterbezwaar worden uitgerekend ter verkrijging van een lozingsvergunning bij het waterschap.

13.2.3 Typen grondonderzoek

Door middel van het grondonderzoek wordt inzicht verkregen in de grondopbouw ter plaatse van en over de lengte van het leidingtracé. Tevens wordt laboratoriumonderzoek uitgevoerd om de eigenschappen van de aangetroffen grondlagen te bepalen. Bij een HDD is deze informatie onder andere benodigd voor berekeningen van de toe te passen boorvloeiendruk. Bij microtunneling worden de bepaalde geotechnische parameters ook gebruikt voor de berekening van de steundruk van het boorfront, maar ook voor het bepalen van de maaiveldzakkings. Bij pneumatische boortechnieken is de bepaling van met name de sterkte van de grond van belang voor de raketkeuze.

Het grondonderzoek dient te worden uitgevoerd op een afstand van ca 10 meter uit het geplande tracé. De minimale afstand van 10 meter is nodig om ongewenste verstoring van de ondergrond te voorkomen. Tevens is bij een HDD en microtunneling deze minimale afstand van 10 meter noodzakelijk om te voorkomen dat gedurende het boorproces

kortsluiting met de sondeer- en boorgaten kan ontstaan waardoor de boorvloeistof via deze gaten naar de oppervlakte kan worden geperst.

13.2.4 Hoeveelheid grondonderzoek

Open sleuf

Voor een kruising van een waterstaatswerk met een open sleuf zijn de volgende eisen aan het grondonderzoek gesteld (NEN 3651):

- Sonderingen met kleefmeting tot een minimale diepte van 5 m onder het niveau van de onderkant van de leiding. Indien op grotere diepte slappe lagen aanwezig zijn moet tot minimaal de onderkant van de slappe laag worden gesondeerd.
- Bij een op de drie sonderingen moet een waterspanningsmeting gedaan worden.
- Bij een op de twee sonderingen moet een boring worden uitgevoerd ten behoeve van het bepalen de samenstelling van de grondlagen.
- Bij ophogingen moeten continuboringen of pulsboringen met ongeroerde monstername worden uitgevoerd. Ackermann-boringen, waarbij de gestoken monsters worden overgeschoven in kokers, zijn ook toegestaan.
- Bij leidingen op een paalfundering moeten de sonderingen tot voldoende diepte in de funderingslaag worden uitgevoerd.
- De onderlinge afstand van de onderzoekspunten bedraagt ca. 15 meter, tenzij de grond inhomogeen is over het leidingtracé. In dat geval moet een kleinere hart-op-hart afstand worden gehanteerd.
- Bij boezemwateren die gekanaliseerde natuurlijke waterlopen zijn, is altijd onderzoek (sondering/boring) te water nodig in verband met mogelijk afwijkende grondlagen door stroomrugvorming.
- Aan weerszijden van de geprojecteerde as van de leiding moet over 30 m tot 50 m in de as van een waterkering grondonderzoek worden verricht, om te waarborgen dat de kruising niet in een voormalige dijkbes is geprojecteerd.
- Naast een beschrijving van de aangetroffen grondlagen moet van elke geboorde meter de volumieke massa worden bepaald.
- Bij ophogingen moeten aan de boringen grondmonsters worden ontleend voor het uitvoeren van samendrukkingsproeven. Gemiddeld moeten over het pakket slappe lagen per (gestyleerde) laag minimaal drie monsters worden beproefd.
- Het aantal belastingstrappen bij de samendrukkingsproef bedraagt minimaal vijf, waarbij de totale belasting van de eerste twee trappen beneden de terreinspanning blijft. De duur van de proef per belastingstrap moet zo zijn dat ook voor het seculair effect de samendrukkingseigenschappen kunnen worden bepaald.
- Voor het bepalen van de hydrodynamische periode kunnen, als onderdeel van de samendrukkingsproef, consolidatieproeven worden gedaan. Eventueel kunnen hiervoor apart doorlatendheidsproeven worden uitgevoerd.

Voor leidingaanleg door middel van een open sleuf, de zogenoemde veldstrekking, waarbij geen objecten worden gekruist, is geen NEN-norm beschikbaar om de hoeveelheid grond- en laboratoriumonderzoek vast te stellen. Natuurlijk dient ook hier de grondopbouw in kaart te worden gebracht. De hoeveelheid onderzoek is afhankelijk van het type aan te leggen leiding en de ruimtelijke variatie van de grondlagen langs het leidingtracé. Vanwege cultuurtechnische redenen dienen ook de bovenste grondlagen en de daarin



gevormde bodemhorizonten te worden onderzocht. Hieronder volgt de omvang van het grondonderzoek voor de aanleg van stalen gasleidingen:

- Per perceel en/of per 60 m tracélengte moet minimaal een handboring tot een diepte van ca 1,20 m minus maaiveld worden uitgevoerd.
- Per kilometer moeten minimaal vier boringen tot een diepte van minimaal 1 m-onderkant leiding geplaatst worden.
- Per boring moeten de te onderscheiden bodemlagen worden bepaald en beschreven, inclusief de eventueel storende lagen/laagjes die van invloed zijn op de bemaling.
- Bij grote afwijkingen van de bodemopbouw tussen de diepere boringen onderling moeten boringen worden bijgeplaatst, zodat de plaats van de profielovergangen nauwkeurig vastgesteld kan worden (profielovergang binnen 50 m).
- Per boring moet een schatting worden gemaakt van de grondwaterstanden AG, GHG en GLG aan de hand van de hydromorfe kenmerken.
- Er moet voor het vaststellen van het aantal peilbuizen worden uitgegaan van twee peilbuizen per kilometer veldstrekking, waarbij de peilbuizen moeten worden geplaatst in de diepere boorgaten.
- Het grondwater in de peilbuizen moet een week na plaatsen worden bemonsterd en geanalyseerd op stoffen die in het standaard lozingenpakket worden beschreven.
- Indien uit het grondonderzoek blijkt dat er sterk samendrukbare lagen aanwezig zijn (veen, humeuze klei en slappe klei) moeten samendrukkingsproeven worden uitgevoerd.

Voor leidingen met een minder groot risicoprofiel naar de omgeving en thermoplastisch kunststof kan volstaan worden met een aangepast grondonderzoek.

HDD

Voor een HDD van een leiding categorie 1 (leiding met gevaarlijke stoffen en/of hoge drukken) zijn de volgende eisen voor het grondonderzoek expliciet omschreven in de NEN 3650/3651 serie:

- De onderlinge afstand van de onderzoekslocaties in lengterichting van het tracé bedraagt maximaal 50 m. Direct ter weerszijden van het te kruisen waterstaatswerk en ter plaatse van in- en uittredpunt moet in ieder geval onderzoek worden gedaan.
- De diepte van de sonderingen en boringen moet zo zijn dat over de lengte van het tracé het verloop en de samenstelling van de grondlagen tot een diepte van 5 m beneden de boorgang bekend is. In West-Nederland echter ten minste tot bovenzijde van het pleistoceen.
- Per meter boring moet het volumieke gewicht van de grond worden bepaald. Op grondmonsters van grondlagen met een grofkorrelige samenstelling moeten zeefproeven worden uitgevoerd voor de bepaling van korrelverdelingsdiagrammen.
- Voor de bepaling van de sterkte- en stijfheidseigenschappen van de relevante grondlagen kunnen triaxiaalproeven worden uitgevoerd. Van klei kan het natuurlijk watergehalte worden bepaald. Van cohesieve grondlagen kunnen de Atterbergse grenzen worden bepaald.
- Indien er aanwijzingen zijn van inhomogeniteit in de grondslag over het te boren tracé waardoor grotere uitvoeringsrisico's ontstaan, kan een geologische beschouwing van de bodemopbouw in de omgeving van de kruising worden vereist.
- Om actuele grondwaterstanden en stijghoogten te bepalen kunnen peilbuizen worden geplaatst.

- Ter bepaling van de kwaliteit van het grondwater voor de samenstelling van boorvloeistof kan een monstername van het freatisch grondwater en grondwater in watervoerende lagen (via een peilbuis met filter) genomen worden.
- Het is van belang dat de resultaten uit het grondonderzoek door een kundig ingenieur/engineer worden omgezet in parameters die voor het engineeren van de leiding van belang zijn.

Voor leidingen met een minder belang of risico voor de omgeving kunnen minder zware eisen gesteld worden aan het grondonderzoek. Het is voor de uitvoering van een HDD boring vooral van belang een goed overzicht te hebben van het materiaal waar doorheen geboord wordt.

Voor de sterkteberekening van de leiding geldt dat het grondonderzoek ook afhankelijk is van de berekeningsmethode van de sterkte van de leiding. Daar waar er geen sprake is van zettingsgevoelige ondergrond of spanningen/deformatie van de leiding zelf door bijvoorbeeld temperatuurwerking is het vaak mogelijk een zogenaamde "eenvoudige sterkteberekening" uit te voeren in plaats van een geavanceerde berekening. Daarvoor zijn dan ook minder specifieke parameters nodig. Wel moet het gebruik van deze methoden goed op waarde geschat worden, moeten de risico's en vereenvoudigingen bekend zijn en kan er niet "op het randje" worden ontworpen.

Microtunneling

Aan het grondonderzoek bij microtunneling zijn voor de uitvoering in een gebied waar de boring schade kan veroorzaken de volgende eisen gesteld (NEN 3650/3651) Ook hier geldt weer dat de risico's voor zowel de uitvoering en het uiteindelijke product in de gaten gehouden moeten worden:

- Iets buiten de locatie van pers- en ontvangstuip moet een sondering en een boring worden uitgevoerd.
- Over het leidingtracé zijn sonderingen en boringen nodig. De onderlinge afstand van deze onderzoekslocaties bedraagt ca. 15 meter. Afhankelijk van de te verwachten variaties van het verloop van de grondlagen moet de onderlinge afstand groter worden genomen.
- Voor het ontwerp van de bemaling zijn gegevens over de stijghoogte van het grondwater in watervoerende lagen nodig. Indien niet over deze gegevens wordt beschikt, moeten peilbuizen met filters in de van belang zijnde watervoerende lagen worden geplaatst.
- Indien in het tracé van de leiding een ophoging moet worden gerealiseerd, moet de omvang van het terreinonderzoek daaraan worden aangepast.
- Aan weerszijden van de geprojecteerde as van de leiding moet over 30 m tot 50 m in de as van een waterkering grondonderzoek worden verricht, om te waarborgen dat de kruising niet in een voormalige dijkbrek is geprojecteerd.
- Per laag moet een representatieve korrelverdeling worden vastgesteld. Een dichtheidsonderzoek naar eventuele zettingsvloeiingsgevoeligheid van fijne zandlagen met een steile zeefkromme en onnatuurlijk lage conuswaarde is noodzakelijk.
- Per meter boring moet het volumieke gewicht van de grond worden bepaald. Per laag wordt de uitvoering van de triaxiaalproeven aanbevolen.
- Indien in het tracé ophogingen worden aangebracht, moeten ook grondmonsters aan de boringen worden ontleend voor het uitvoeren van samendrukkingsproeven. Gemid-



deld moeten over het pakket slappe lagen per (gestyleerde) laag minimaal drie monsters worden beproefd.

- Het aantal belastingstrappen bij de samendrukkingsproef bedraagt minimaal vijf, waarbij de totale belasting van de eerste 2 trappen beneden de terreinspanning blijft. De duur van de proef per belastingstrap moet zo zijn dat ook voor het seculair effect de samendrukkingseigenschappen kunnen worden bepaald.
- Voor het bepalen van de hydrodynamische periode kunnen, als onderdeel van de samendrukkingsproef, consolidatieproeven worden gedaan. Eventueel kunnen hiervoor apart doorlatendheidsproeven worden uitgevoerd.
- Om actuele grondwaterstanden en stijghoogten te bepalen kunnen peilbuizen worden geplaatst.
- Ter bepaling van de kwaliteit van het grondwater voor de samenstelling van boorvloeistof kan een monstername van het freatisch grondwater en grondwater in watervoerende lagen (via een peilbuis met filter) genomen worden.

Daar waar met sleufloze technieken bestaande infrastructuur (rail/weg) gekruist wordt is het van belang dat er een goed inzicht is in de opbouw van de ondergrond onder de infrastructuur. Deze wijkt vaak sterk af van de omliggende ondergrond met cunetten die in meerdere fases zijn aangelegd en vaak bestaan uit los gepakt zand. Gelet moet ook worden op het al dan niet aanwezig zijn van (verticale) drainage. De overgang van originele ondergrond naar cunet en overgangen tussen cunetten uit verschillende verbredingsfases zijn speciaal voor microtunneling gevaarlijke gebieden. Hier moet dus extra aandacht aan besteed worden.

Pneumatische boortechniek

Het grondonderzoek dient minimaal te bestaan uit een handboring aan de ene zijde van de kruising en een sondering aan de andere zijde, tot een diepte van minimaal 1,0 meter beneden het aanlegniveau van de geplande leiding. De sondering met plaatselijke kleef dient te worden uitgevoerd tot minimaal 2 meter beneden het laagste punt van de boring. Bij boorlengten groter dan 60 m dient een boring of sondering te worden uitgevoerd.

13.3 Eisen aan uitvoering grondonderzoek

Algemene aan het grondonderzoek te stellen eisen zijn geformuleerd in hoofdstuk 6 van het hoofdrapport.

Aanvullende eisen aan het grondonderzoek ten behoeve van een kruising met een waterstaatswerk met een open sleuf zijn opgenomen in NEN 3651. Evenals de eisen aan het grondonderzoek bij microtunneling in een gebied waar de boring schade kan veroorzaken (NEN 3650/3651) en HDD's van leidingcategorie 1 (leiding met gevaarlijke stoffen en/of hoge drukken).

Boringen

Doel van de boringen is over het algemeen het vaststellen van de volumieke gewichten van de ondergrond en de sterkte- en stijfheidsparameters van de grond voor de uit te voeren leidingberekening.