

KRAANOPSTELPLAATSEN BIJ DE BOUW VAN WINDTURBINES



RAPPORT

2019
02

ISBN 978.90.5773.856.2



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS M.P. Rooduijn A.R. Jacobs
D.E. den Arend W. Ormel
J. Boukes

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Bij het verschijnen van deze publicatie was de samenstelling van de begeleidingscommissie als volgt:

Fred Jonker, voorzitter (Jonker Geoadvies)	Ronnie Lampert (H4A Windenergie)
Mark Peter Rooduijn, secretaris eindrapporteur (Fugro NL Land B.V.)	Rick van Mensvoort (Innogy Windpower Netherlands B.V.)
Erik den Arend, rapporteur (BT Geoconsult B.V.)	Jan-Willem Nieuwenhuis (Waterschap Noorderzijlvest)
Jelmer Boukes, rapporteur (Nuon)	Wouter Ormel, rapporteur (Vereniging Verticaal Transport)
Jurgen Cools (Royal HaskoningDHV)	Mark Snijders (WEC Construction Management)
Piet van Duijnen (GeoTec Solutions/Huesker)	Maarten van der Steen (Geopex)
Jaap Estié (NVAF)	Lion Verhagen (Vereniging Verticaal Transport)
Rijk Gerritsen (Low & Bonar / Enka-solutions)	Lars Vollmert (Naue GmbH)
Reinier te Groen (Dura Vermeer)	Peter van Voorst (Pure Energie)
Maarten Groeneboom (Mammoet Europe)	Jan Bart Vosselman (Vestas)
Gerard Harmsen (Rijkswaterstaat WVL Waterkeringen)	Jelle-Jan Pieters, corr. lid (Waterschap Scheldestromen)
Marco Hazekamp (Ten Cate Geosynthetics)	Merijn Vermeij, corr. lid (Peinemann)
Axel Jacobs, rapporteur (ABT)	
Marco Jut (Eneco)	
Leo Kuljanski (Tensar/Geologics)	

Voor de realisatie van deze publicatie zijn financiële en in kind bijdragen ontvangen van:

ABT	Naue GmbH
BT Geoconsult B.V.	Nuon
Dura Vermeer	Pure Energie
Eneco	Rijkswaterstaat WVL Waterkeringen
Fugro NL Land B.V.	Ten Cate Geosynthetics
Geopex	Tensar/Geologics
H4A Windenergie	Vereniging Verticaal Transport
Huesker	Waterschap Noorderzijlvest
Low & Bonar / Enka-solutions	

FOTO COVER Vereniging Verticaal Transport
DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2019-02
ISBN 978.90.5773.856.2

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

De grootte en de hoogte van windturbines op land is in de afgelopen decennia fors gegroeid. De kranen die nodig zijn voor de opbouw (en het onderhoud) van deze turbines hebben daarmee ook een forse ontwikkeling doorgemaakt in grootte en zwaarte, wat resulteert in toenemende kraanbelastingen.

De opstelplaats voor deze zwaarder wordende kranen vraagt om een zorgvuldig, veilig en economisch verantwoord ontwerp. Daarbij speelt een groot aantal locatie specifieke factoren een rol, zoals het kraantype, de belastingen, de omgeving en de (veelal slappe) ondergrond (in het westen van Nederland). Ook het op juiste wijze verwerken van de potentiële risico's gerelateerd aan de hijswerkzaamheden vraagt specifieke aandacht.

Tegen deze achtergrond is vanuit de sector inspanning geleverd om een ontwerprichtlijn voor kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines te ontwikkelen. Nog ten tijde van SBRCURnet is een plan van aanpak ontwikkeld en de financiering geregeld. Vervolgens is een start gemaakt met de ontwikkeling van deze richtlijn. Toen eind 2017 SBRCURnet werd beëindigd heeft Stowa het verdere proces ondersteund.

Het was aanvankelijk de bedoeling om een ontwerprichtlijn te ontwikkelen. Gaandeweg bleek echter, dat het ontwikkelen daarvan een complexe opgave is. De reden hiervoor zijn de locatie specifieke factoren, waardoor een ontwerp op maat nodig is. Daar komt bij, dat het vaak op een laat moment pas bekend is welke kraan/kraantype zal worden ingezet of welke belastingen daadwerkelijk zullen optreden. Het opstellen van een concreet toegesneden ontwerp vóórdat de werkelijk toe te passen kraan bekend is – inclusief daar bijhorende drukfiguur en windbelasting – zal vaak leiden tot een herontwerp in een later stadium. De thans voorliggende publicatie heeft dan ook het karakter van een 'handreiking ten behoeve van het ontwerp' om hiermee in de komende jaren ervaring op te doen. Dat kan vervolgens leiden tot een echte ontwerprichtlijn.

De publicatie is bedoeld voor betrokken deskundigen bij opdrachtgevers, ontwerpers, geotechnici, verzekeraars, toezichthouders, leveranciers van materieel en andere (onder)aannemers. Ook voor vergunningverlenende instanties als waterschappen en gemeenten biedt de publicatie soelaas bij de beoordeling van de aanvraag. Met deze handreiking kan een zekere balans worden gevonden tussen verantwoordelijkheid van de belanghebbenden enerzijds en de markteisen anderzijds.

De specifieke aspecten van de kraanopstelplaats staan centraal, aangezien dit de locatie betreft met de grootste belastingen en hiermee ook de strengste eisen voor het ontwerp en de realisatie. De ontsluitings- en bouwwegen naar de kraanopstelplaats zijn buiten beschouwing gelaten.

ir. Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

De wereldwijde behoefte aan windturbines welke meer en goedkopere stroom produceren heeft geleid tot de ontwikkeling van hoge turbines met zware elementen. Om deze turbines te realiseren zijn hoge en zware kranen ontwikkeld die op hun beurt leiden tot zeer hoge belastingen op de kraanopstelplaatsen.

Voortkomend uit de schaalvergroting in de windturbine Markt bleek een sterke behoefte te bestaan aan eenduidigheid en handreikingen voor het ontwerp van zwaarbelaste kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines.

De kraanopstelplaats vraagt om een zorgvuldig, veilig en economisch verantwoord ontwerp. Daarbij speelt een groot aantal locatie specifieke factoren een rol, zoals het kraantype, de belastingen, de omgeving en de (veelal slappe) ondergrond (in het westen van Nederland). Ook het op juiste wijze verwerken van de potentiële risico's gerelateerd aan de hijswerkzaamheden vraagt specifieke aandacht.

Vanwege de locatie specifieke factoren en de onzekerheid over de uiteindelijk in te zetten kranen is besloten een handreiking op te stellen waarin het ontwerp centraal staat en waarmee in de komende jaren ervaring kan worden opgedaan. Het doel is om op basis van deze ervaringen in de toekomst een richtlijn te kunnen ontwikkelen.

Het toepassingsgebied voor de handreiking is in principe de Nederlandse markt met de bijbehorende wet- en regelgeving.

De handreiking is bedoeld voor het ontwerp, de realisatie en het beheer en onderhoud van kraanopstelplaatsen voor relatief zware bouwkransen en funderingsmachines met vergelijkbare belastingen. De belastingen op de kraanopstelplaats zijn (quasi)statische en mogelijk dynamische belastingen door eigengewicht van het materieel, wind- en hijslasten. Er wordt uitgegaan van kraanbelastingen tot en met de klasse 750 ton met bijbehorende turbine hoogtes en -gewichten. Boven de klasse 750 ton zijn grotere afmetingen, gewichten en gronddrukken van toepassing. Voor deze gevallen is specifiek maatwerk nodig. Behoudens korte passages over het kraantransport tussen turbinelocaties zijn ontsluitings- en bouwwegen buiten beschouwing gelaten.

De publicatie is bedoeld voor betrokken deskundigen bij opdrachtgevers, ontwerpers, geotechnici, verzekeraars, toezichthouders, leveranciers van materieel en andere (onder)aannemers. Ook voor vergunningverlenende instanties als waterschappen en gemeenten biedt de publicatie soelaas bij de beoordeling van de aanvraag.

In eerste instantie wordt beschreven welke aspecten en uitgangspunten ten aanzien van het type windturbine van belang zijn. Vervolgens worden aanbevelingen gedaan voor de juiste kraankeuze. De kraan bepaalt de optredende gronddrukken op een kraanopstelplaats.

In de handreiking wordt niet de stabiliteit van de kraan en de onderdelen zelf behandeld, maar wel de funderingsstabiliteit van de kraanopstelplaats. Bij het bepalen van de kraanbelastingen en het toetsen van het draagvermogen wordt rekening gehouden met de verschillende veiligheidsfilosofieën voor beide mechanismen.

Bij het toetsen van de funderingsstabiliteit speelt het toelaatbare draagvermogen van de ondergrond en de belastingen vanuit de kraan een belangrijke rol. De sterkte- en vervormingscapaciteit van de ondergrond bepaalt het draagvermogen en de vervormingen van de kraanfundering. Er worden handreikingen gegeven voor het uitvoeren van risicogestuurd grondonderzoek volgens de principes van het Geotechnisch Risico Management (GeoRM).

Het ontwerp voor een kraanopstelplaats wordt gemaakt op basis van de specificatie van de turbineleverancier, de informatie over de ondergrond en de eisen vanuit de omgeving. Naast de verschillende ontwerpaspecten, zoals de keuze uit verschillende oplossingsrichtingen, de wijze van modelleren en te leveren producten, zijn aanbevelingen gegeven die moeten leiden tot een efficiënt ontwerpproces en een duurzaam ontwerp.

Tenslotte worden de aspecten en aandachtspunten ten aanzien van de realisatie, het beheer en het onderhoud van een kraanopstelplaats behandeld. Hieronder valt ook de monitoring ten behoeve van het volgen van risicovolle processen (vervormingen, trillingen en geluid) tijdens de aanleg van de opstelplaats of de hijsoperatie. Ook de kwaliteitsborging en beproeving van de gerealiseerde constructies, zijn behandeld. Hierbij is ook aandacht voor tijdelijke opstelplaatsen en interacties met onder andere de aanleg van kabels, de windturbine fundatie, de bouwwegen en het transport van de windturbine.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

HANDREIKING

KRAANOPSTELPLAATSEN BIJ DE BOUW VAN WINDTURBINES

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Doelgroep	2
1.4	Toepassingsgebied	2
1.5	Leeswijzer	4
2	TURBINETYPES	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Locatie en omgeving	8
2.2.1	Optimale locatie en turbinehoogte	8
2.2.2	Randvoorwaarden vanuit omgeving	9
2.2.3	Aandachtpunten voor het civiele werk	11
2.3	Ondergrond	12
2.4	Belastingen	13
2.5	Marktbenadering	13
2.6	Toekomst	13
2.6.1	Windturbines	13
2.6.2	Technische mogelijkheden voor de toekomst	14
2.6.3	Mogelijkheden	15
3	KRAANKEUZE, BELASTINGEN EN SPECIFICATIES	16
3.1	Inleiding	16
3.2	Kraan categorieën en configuraties	16
3.2.1	Kraantypen	16
3.2.2	Kraancapaciteiten	19
3.2.3	Hulpsystemen	20
3.2.4	Kraankeuze en flexibiliteit	24

3.3	Transport	25
3.3.1	Aan- en afvoer	25
3.3.2	Transport tussen turbine locaties	27
3.4	Opbouw en montage	28
3.4.1	De kraanopstelplaats	28
3.4.2	De giek opbouwruimte	29
3.4.3	Hulpkranen	32
3.5	Belasting en specificaties vanuit de kraan	32
3.5.1	Algemeen	32
3.5.2	Optredende drukbelastingen tijdens kraanopbouw	33
3.5.3	Optredende drukbelastingen kraan in bedrijf	35
3.5.4	Optredende drukbelastingen bij kraanverplaatsingen	37
3.5.5	Lastspreiding	38
3.6	Onderhoud en demontage	38
3.7	Samenvatting	38
3.8	Toekomstige ontwikkelingen	39
4	GEOTECHNISCH- EN GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK	42
4.1	Inleiding	42
4.2	Normen en richtlijnen	43
4.3	Risico-inventarisatie	43
4.4	Detailniveau: zeer grof (schets- en initiatiefase)	44
4.4.1	Omschrijving	44
4.4.2	Type berekeningen	44
4.4.3	Type grondonderzoek	45
4.4.4	Hoeveelheid grondonderzoek	47
4.5	Detailniveau: grof (Voorontwerp)	48
4.5.1	Omschrijving	48
4.5.2	Typen berekeningen	48
4.5.3	Typen grondonderzoek	49
4.5.4	Hoeveelheid grondonderzoek	50
4.6	Detailniveau: fijn (Definitief ontwerp)	51
4.6.1	Omschrijving	51
4.6.2	Typen berekeningen	51
4.6.3	Type en hoeveelheid grondonderzoek	51
5	ONTWERP	53
5.1	Inleiding	53
5.2	Ontwerpproces	54
5.3	Veiligheidsniveau en betrouwbaarheidsklassen Belastingen	55
5.4	en belastingcombinaties	56
5.4.1	Stap 1: Input kraanbelastingen	58
5.4.2	Stap 2: Bepaling effectief contactoppervlak	59
5.4.3	Stap 3: Horizontale belastingen	63
5.4.4	Stap 4: Belastingcombinaties	64
5.4.5	Stap 5: Statische vs. niet-statische belastingen	64
5.4.6	Stap 6: Rekenwaarden van de belastingen	65
5.5	Uitgangspunten	65
5.5.1	Functies kraanopstelplaats en raakvlakken	65
5.5.2	Ruimtebeslag	66
5.5.3	Drooglegging en afwatering	66
5.5.4	Grondopbouw en grondparameters	68

5.6	Oplossingsrichting fundering	69
5.6.1	Fundering op staal	70
5.6.2	Fundering op staal in combinatie met grondverbetering	70
5.6.3	Fundering op staal versterkt met geokunststoffen	71
5.6.4	Fundering op staal in combinatie met Soilmix / Mixed-In-Place (MIP / Massa stabilisatie)	72
5.6.5	Fundering op paalmatras	73
5.6.6	Fundering op poer met palen	73
5.6.7	Vergelijking oplossingen (Trade-Off Matrix)	74
5.7	Modellering	75
5.7.1	Fundering op staal	75
5.7.2	Fundering op paalmatras	79
5.7.3	Fundering op poer met palen	80
5.7.4	Modellering in EEM	81
5.8	Op te leveren producten	82
6	REALISATIE, BEHEER EN ONDERHOUD	83
6.1	Inleiding	83
6.2	Aanleg opstelplaats	83
6.2.1	Uitgangspunten	83
6.2.2	Aandachtspunten	83
6.2.3	Kwaliteitsregistraties	85
6.2.4	Overdracht / oplevering	86
6.2.5	Monitoring bij aanleg opstelplaats	86
6.3	De hijsoperatie	87
6.3.1	Uitvoering van de hijsoperatie	87
6.3.2	Monitoring bij de hijsoperatie	88
6.4	Beheer en onderhoud van de permanente opstelplaats	88
6.4.1	Inleiding	88
6.4.2	Asfaltverharding	88
6.4.3	Betonverharding	89
6.4.4	Gesloten verharding en afwatering	89
6.4.5	Open verharding en afdekking met teelaarde	89
6.4.6	Randen van opstelplaatsen	90
6.4.7	Kabels en leidingen	90
6.5	Verwijderen van de tijdelijke opstelplaats	90
6.6	Monitoring en toetsing	90
6.6.1	Inleiding	90
6.6.2	Monitoring bij voorbelasting	91
6.6.3	Deformatiemetingen	93
6.6.4	Trillingsmetingen en toetsingskaders	94
6.6.5	Geluid	95
7	LITERATUUR, NORMEN EN RICHTLIJNEN	99
8	VERKLARENDE WOORDENLIJST	104
BIJLAGEN		
BIJLAGE A	TABEL MET KRAANBELASTINGEN	108
BIJLAGE B	OPZET RISICOGESTUURD GRONDONDERZOEK	110
BIJLAGE C	ALGEMENE EISEN TE STELLEN AAN GRONDONDERZOEK	115
BIJLAGE D	TRADE OFF MATRIX ONTWERPOPLOSSINGEN	121

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

De wereldwijde behoefte aan windturbines welke meer en goedkopere stroom produceren heeft geleid tot de ontwikkeling van hoge turbines met zware elementen.

Om deze turbines te realiseren zijn hoge en zware kranen ontwikkeld die op hun beurt leiden tot zeer hoge belastingen op de kraanopstelplaatsen.

Rond 1980 waren de windturbines ongeveer 15 m hoog, midden jaren 1990 hadden ze al een hoogte van 50 m. Tegenwoordig kunnen windturbines gemiddeld 100 m hoog zijn. De verwachting is dat de windturbines in de toekomst een gemiddelde ashoogte hebben van 150 tot 200 m.

Door deze schaalvergroting is het transport van de giek van de productielocatie naar de bouwplaats een grote logistieke uitdaging geworden. Omdat een giek qua gewicht en omvang niet in zijn geheel te transporteren valt, wordt de giek in zo groot mogelijke onderdelen getransporteerd en op locatie in elkaar gezet.

Voortkomend uit de voornoemde schaalvergroting bleek vanuit de windturbine markt in Nederland een sterke behoefte te bestaan aan eenduidigheid en handreikingen voor het ontwerp van zwaarbelaste kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines.

Het transporteren en (op)bouwen van de windturbines stelt hoge eisen aan het ontwerp en de realisatie van de kraanopstelplaats. Voor de veiligheid en betrouwbaarheid van een kraanopstelplaats is kennis over de ondergrond van essentieel belang.

Vanuit de doelgroep is aangegeven dat het aantal incidenten stijgt. Vaak wordt hierop geanticipeerd door de uitgangspunten voor het ontwerp enigszins conservatief aan te nemen. Bijkomend leiden ook onduidelijke specificaties en eisen tot conservatieve aannames.

Tevens is meer behoefte aan balans tussen verantwoordelijkheid van de belanghebbenden enerzijds en de markteisen anderzijds. Aannemers, ingenieursbureaus, investeerders en kraanverhuurders zijn op zoek naar een balans in energieopbrengst, specificaties, eisen, raakvlakken, verantwoordelijkheid, kosten, veiligheid, betrouwbaarheid en haalbaarheid.

Vanwege de locatie specifieke factoren en de onzekerheid over de uiteindelijk in te zetten kranen is besloten een handreiking voor het ontwerp van een kraanopstelplaats op te stellen waarmee in de komende jaren ervaring kan worden opgedaan. Het doel is om op basis van deze ervaringen in de toekomst een richtlijn te kunnen ontwikkelen.

1.2 DOELSTELLING

Het doel van de publicatie is het bundelen van kennis en ervaring over turbines, kranen, ondergrond, ontwerp, realisatie en beheer en onderhoud, waarmee uiteindelijk kan worden gekomen tot:

- Verhoogde veiligheid en betrouwbaarheid.
- Eenduidige specificaties en eisen.
- Handreikingen voor het ontwerp en de realisatie.
- Meer inzicht in en beheersing van (geotechnische) risico's door het uitvoeren van risico-gestuurd grondonderzoek.
- Inzicht in raakvlakken tussen de belanghebbende en beter draagvlak.
- Verhoogde efficiëntie en doorloopsnelheid.
- Kostenreductie.

1.3 DOELGROEP

De doelgroep bestaat uit partijen die direct of indirect betrokken zijn bij het ontwerp en/of de realisatie van kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines.

Veelal direct betrokken zijn opdrachtgevers, ontwerpers, geotechnici, verzekeraars, toezicht-houders, leveranciers van geokunststoffen en materieel en andere (onder)aannemers.

Maar ook voor indirect betrokken partijen die veiligheidsaspecten moeten beoordelen (overheden) of andere belanghebbenden in de omgeving van windturbines (eigenaren van percelen, panden en objecten), is de handreiking van belang.

Het belang en de interesse van elke betrokkene is niet in dezelfde mate en voor elk onderwerp gelijk. Vooral voor opdrachtgevers, ontwerpers, geotechnici en kraanverhuurders is de handreiking een belangrijk document.

1.4 TOEPASSINGSGEBIED

Het toepassingsgebied voor de handreiking is in principe de Nederlandse markt met de bijbehorende wet- en regelgeving.

De handreiking is bedoeld voor het ontwerp, realisatie en beheer en onderhoud van kraanopstelplaatsen voor relatief zware bouwkranen en funderingsmachines met vergelijkbare belastingen. De opbouw en het kader van de handreiking zijn weergegeven met de processchema's in Figuur 1.1 en Figuur 1.2.

Behoudens korte passages over het kraantransport tussen turbinelocaties zijn ontsluitings- en bouwwegen buiten beschouwing gelaten.

De belastingen op de kraanopstelplaats zijn (quasi)statische en mogelijk dynamische belastingen door eigengewicht van het materieel, wind- en hijslasten.

De handreiking gaat uit van telescoopkranen met kraanbelastingen tot en met de klasse 1.200 ton en opbouwkransen in de klasse 750 ton met bijbehorende turbinehoogtes en -gewichten conform de tabel in bijlage A.

Boven deze klassen zijn grotere afmetingen, gewichten en gronddrukken van toepassing. Voor deze gevallen is specifiek maatwerk nodig.



1.5 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt beschreven welke aspecten en uitgangspunten ten aanzien van het type winturbine van belang zijn. Het type windturbine stelt specifieke eisen aan de bouwlocatie en omgeving. Hiermee worden direct diverse aspecten en uitgangspunten voor het ontwerp, de realisatie en het beheer en onderhoud van de kraanopstelplaats, bepaald.

Hoofdstuk 3 geeft aanbevelingen voor de juiste kraankeuze. De kraan bepaalt de optredende gronddrukken op een kraanopstelplaats. De keuze voor een geschikte kraan wordt in grote mate bepaald door de afmetingen en gewichten van de windturbine-componenten, maar ook transport, opbouw en montage, onderhoud en demontage van de kraan zijn van belang.

In hoofdstuk 4 staan handreikingen voor het uitvoeren van risicogestuurd grondonderzoek volgens de principes van het Geotechnisch Risico Management (GeoRM).

Het risicogestuurd uitvoeren van grondonderzoek betekent concreet dat de hoeveelheid en het detailniveau van het grondonderzoek wordt afgestemd op de specifieke geotechnische risico's die spelen bij kraanopstelplaatsen.

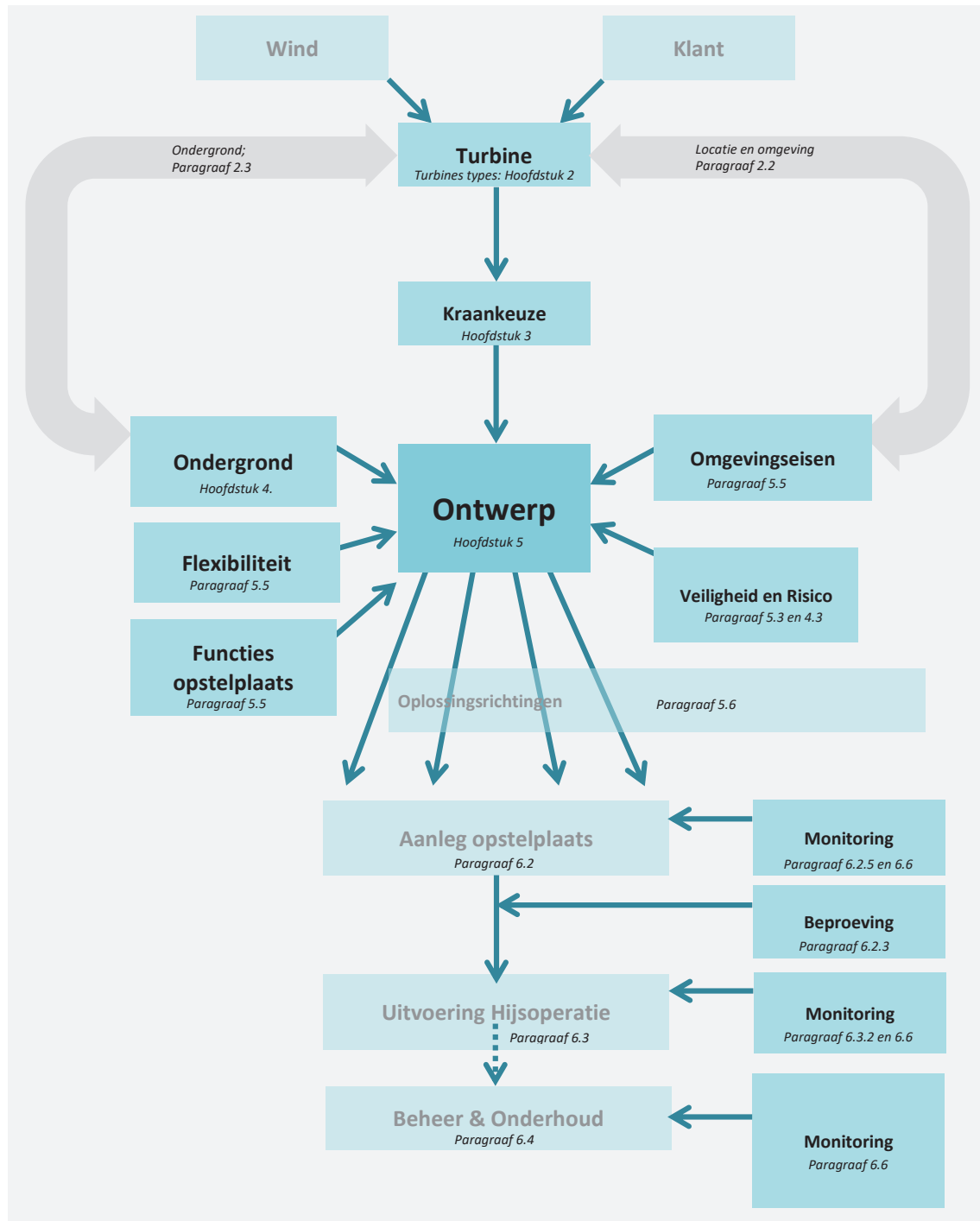
Hoofdstuk 5 betreft het ontwerp van een kraanopstelplaats. Het ontwerp is in Figuur 1.2 weergegeven als een van de acties in het bouwproces. Het ontwerp voor een kraanopstelplaats wordt gemaakt op basis van de specificaties van de turbineleverancier, de informatie over de ondergrond en de eisen vanuit de omgeving.

Naast de verschillende ontwerpaspecten, zoals de keuze uit verschillende oplossingsrichtingen, de wijze van modelleren en te leveren producten, zijn aanbevelingen gegeven die moeten leiden tot een efficiënt ontwerpproces en een duurzaam ontwerp.

Hoofdstuk 6 betreft de aspecten en aandachtspunten ten aanzien van de realisatie, het beheer en het onderhoud van een kraanopstelplaats. Ook monitoring ten behoeve van het volgen van risicovolle processen (vervormingen, trillingen en geluid) tijdens de aanleg van de opstelplaats of de hijsoperatie zijn behandeld. De kwaliteitsborging en beproeving van de gerealiseerde constructies is ook behandeld. Hierbij wordt ook aandacht geschonken aan tijdelijke opstelplaatsen en interacties met onder andere de aanleg van kabels, de windturbinefundatie, de bouwwegen en het transport van de windturbine.

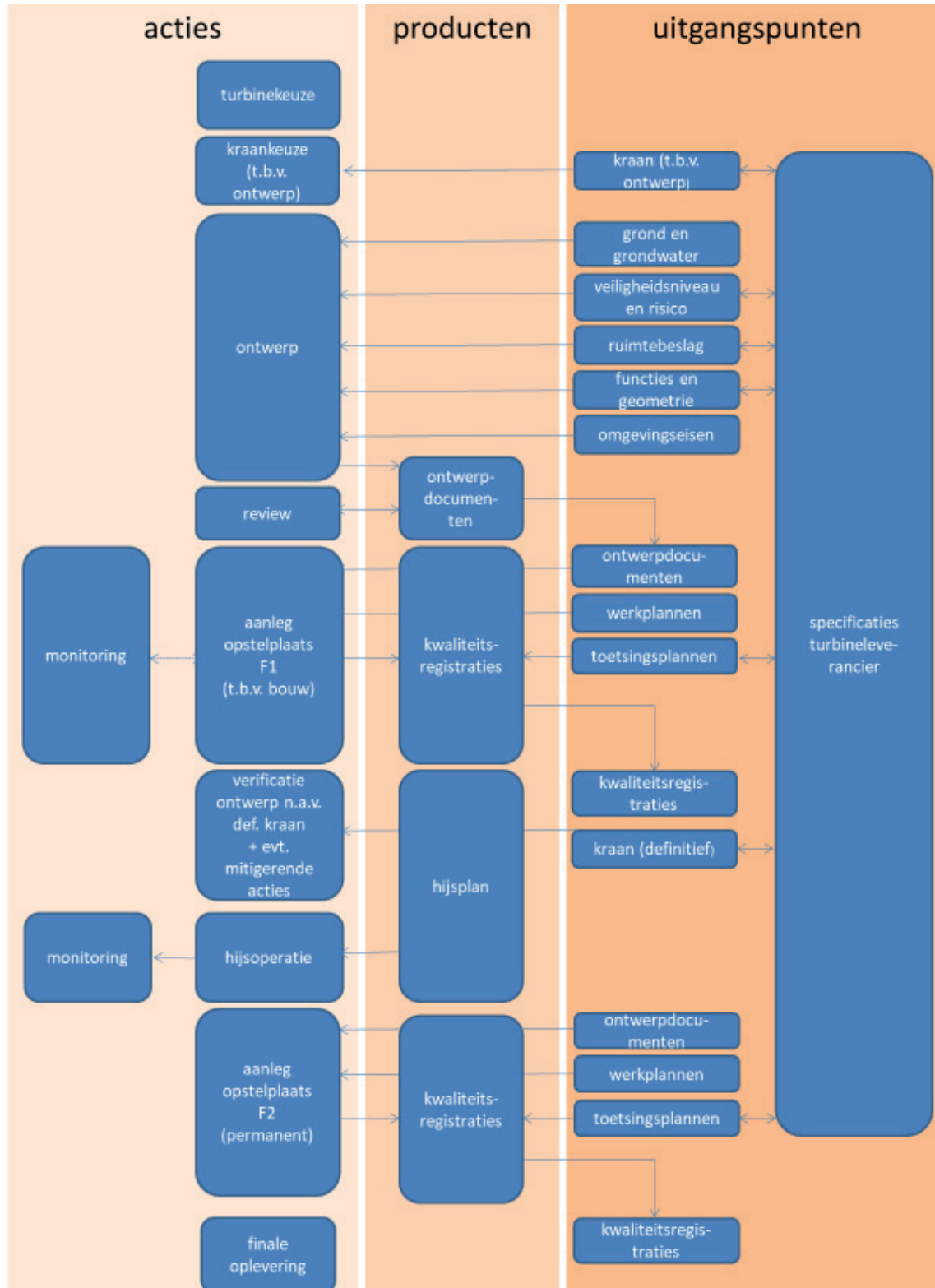
FIGUUR 1.1

STROOMSCHEMA HANDREIKING KRAANOPSTELPLAATSEN BIJ DE BOUW VAN WINDTURBINES



FIGUUR 1.2

ACTIES, PRODUCTEN EN UITGANGSPUNTEN VOOR KRAANOPSTELPLAATSEN BIJ DE BOUW VAN WINDTURBINES



2

TURBINETYPES

2.1 INLEIDING

Windturbines bevatten de zware onderdelen als toren, nacelle en rotor (als optie inclusief rotorbladen) die op hoogte gehesen moeten worden om de windturbine te kunnen opbouwen.

Voor de diverse turbintypes op de markt kunnen de gewichten van deze onderdelen verschillen maar voor elke windturbine is het hijsen van deze onderdelen maatgevend voor het ontwerp van de kraanopstelplaats. Deze onderdelen hebben invloed op de locatie van de kraanopstelplaats in relatie tot de turbine fundering en de draagkracht. Ook de gekozen of beschikbare bouwmethode van de windturbine heeft invloed op het ontwerp en de realisatie van de kraanopstelplaats.

Windturbines worden door meerdere partijen in opdracht van de opdrachtgever gebouwd. Opdrachtgevers kiezen voor verschillende contractvormen en aanbestedingsprocessen en de diverse taken worden veelal in diverse loten verdeeld waarbij flexibiliteit van groot belang is. De contractpartijen voor deze loten verdelen het werk vaak ook weer in diverse onderdelen, uitgevoerd door onderaannemers. Dit onderverdelen in werkpakketten levert de nodige raakvlakken en de noodzaak voor de bijbehorende afstemmingen hierop.



De ontwikkeling van de windparken vindt plaats in verschillende omgevingen met eigen uitdagingen ten aanzien van de ondergrond of nabijgelegen objecten. Hierdoor zal bij de toekomstige ontwikkeling van windturbinelocaties rekening moeten worden gehouden met toenemende complexiteit van passende businesscases voor efficiëntere en grotere windturbines (groter zowel in energieopbrengst als in hoogte) en een bijbehorende geminimaliseerde civiele infrastructuur.

De volgende paragrafen zullen verdere toelichting geven op de bovengenoemde aspecten.

2.2 LOCATIE EN OMGEVING

2.2.1 OPTIMALE LOCATIE EN TURBINEHOOGTE

Gezien vanuit het perspectief van opbrengst heeft de locatie van een windturbine invloed op de meest ideale ashoogte. Over het algemeen levert een grotere turbine (met grotere rotordiameter) meer elektriciteit op, maar zijn de krachten op de turbine ook groter. Deze grotere krachten maken dure en ingrijpende maatregelen noodzakelijk om de gewenste levensduur te kunnen garanderen [40]. Daarom zijn doorgaans de grotere turbines geschikt voor locaties met weinig wind, en kleinere turbines geschikt voor locaties met veel wind.

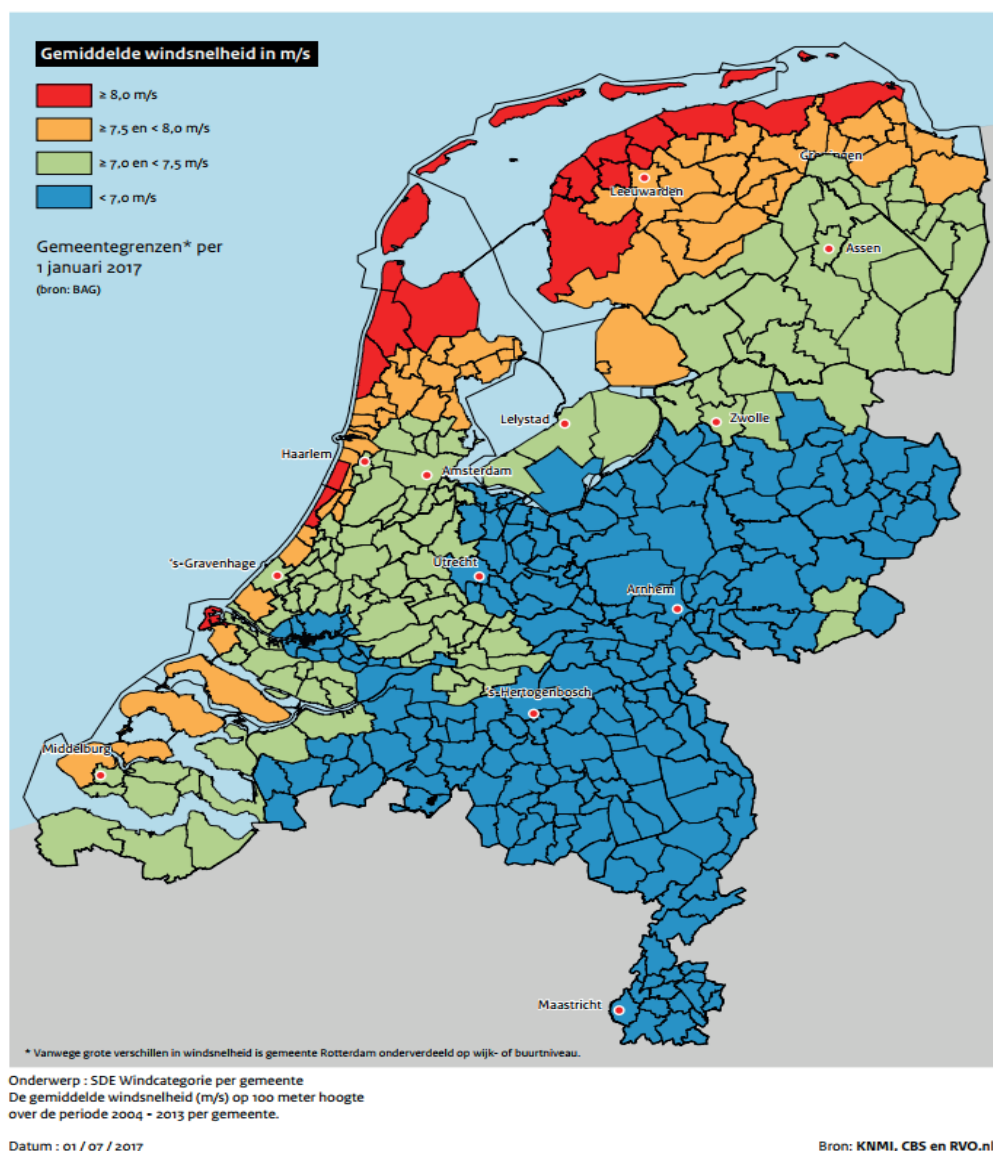


Om deze site suitability te standaardiseren zijn in IEC 61400-1 [36] vier klassen windturbines opgenomen: I, II, III en IV, welke geschikt zijn voor verschillende gemiddelde windsnelheden van respectievelijk 10, 8.5, 7.5 en 6 m/s. Met de windkaart zoals opgenomen in Figuur 2.1, gemaakt door KNMI, CBS en RVO, is het mogelijk een inschatting te maken welke turbine geschikt is voor een gegeven locatie in Nederland. Zo kunnen vrijwel direct turbines van klasse III en IV worden uitgesloten voor locaties langs de kust omdat ze de belastingen niet aankunnen. Het omgekeerde is wel mogelijk: turbines van klasse I kunnen in het binnenland worden geplaatst, maar omdat dit duurdere windturbines zijn en vaak ook niet op hoge ashoogtes geleverd worden, is het economisch beter om een andere turbine te kiezen.

FIGUUR 2.1

WINDKAART VAN NEDERLAND

Windsnelheid per gemeente SDE+ juli 2017



2.2.2 RANDVOORWAARDEN VANUIT OMGEVING

De techniek en economie zijn niet altijd leidend zoals ook is te zien in Tabel 2.1 waarin een overzicht wordt gegeven van de turbines die sinds januari 2015 zijn geïnstalleerd in Nederland. Zo blijkt onder andere dat de afgelopen jaren in Limburg en Gelderland relatief

kleine turbines zijn geplaatst, terwijl grotere turbines logischer zijn voor het windklimaat in deze provincies.

TABEL 2.1 OVERZICHT VAN GEBOUWDE WINDTURBINES IN NEDERLAND SINDS 2015*

	Gemiddelde ashoogte [m]	Gemiddelde rotordiameter [m]	Gemiddelde vermogen [kW]	Aantal
Groningen	88	94	2918	30
Friesland	63	71	1796	23
Drenthe	92	117	3300	1
Noord-Holland	61	62	1349	36
Flevoland	115	116	4827	77
Overijssel	94	85	2783	6
Zuid-Holland	87	92	2881	27
Utrecht	Niet bekend	Niet bekend	Niet bekend	0
Gelderland	99	91	2517	12
Zeeland	89	110	930	15
Noord-Brabant	95	104	2769	29
Limburg	98	92	2300	1
Offshore	88	126	3777	193
Totaal	90	109	3339	450

* De tabel is geen uitputtende opsomming en is bedoeld voor beeldvorming

De omgeving waarin windparken worden ontwikkeld is complexer aan het worden en de eisen en wensen van de stakeholders uit de omgeving worden strikter. De keuze voor de windturbine locatie is vanwege deze randvoorwaarden vaak niet helemaal optimaal vanuit economisch en/of technisch perspectief.

Deze paragraaf beschrijft kort de verschillende bovengrondse raakvlakken die randvoorwaarden opleveren voor het bepalen van de hoogte (diameter) en positie van een windturbine. Voor meer informatie hierover wordt onder andere verwezen naar het Handboek Risicozonering Windturbines (HRW) [35].

GELUID EN SLAGSCHADUW

Het geluid afkomstig van een draaiende windturbine, evenals de slagschaduw, geven mogelijk overlast voor de bewoners en bedrijven in de omgeving. Om deze mogelijke overlast te minimaliseren worden de windturbines op een zo optimaal mogelijke locatie gezet zonder dat de energieopbrengst noemenswaardig vermindert.

LUCHTVAART

Luchtvaart en haar vliegroutes hebben invloed op de locatie en de hoogte omdat de luchtvaart niet dient te worden beperkt door het plaatsen van windturbines. Ook als de turbines niet direct de vliegroute beïnvloeden zullen er flikkerende waarschuwinglampjes moeten worden aangebracht op de turbines met een tiphoogte hoger 150 m. De lampjes kunnen door de omgeving als storend worden ervaren.

RADAR

In Nederland zijn verschillende radarsystemen geïnstalleerd die - om te communiceren - een vrij stralingspad nodig hebben tussen elkaar of tussen de radar en de ontvanger. Dit stralingspad bevindt zich op veel plekken op dezelfde hoogte als het verticale bereik van de rotorbladen van een windturbine.

FLORA EN FAUNA

Voor turbinepositie en -hoogte kunnen vanuit flora en fauna definitieve beperkingen worden opgelegd door vooral vliegende dieren die hun vlieggebied hebben in het verticale bereik van de rotorbladen.

LIJN-INFRASTRUCTUUR

De aanwezige infrastructuur, zoals auto(snel)wegen, spoorlijnen, waterwegen, dijken, hoogspanningsmasten, waterstaatswerken en ook kabels en leidingen, die zowel ondergronds als bovengronds lopen, stellen diverse randvoorwaarden aan de turbineposities en de bijbehorende civiele werken. Deze lijn-infrastructuur gaat veelal gepaard met risicozones waarbinnen de turbine niet mag worden gebouwd, of waar onderdelen van een defecte turbine niet in terecht mogen komen. Bijvoorbeeld bij het omvallen van de windturbine. Deze zones zijn gesteld om de veiligheid van de gebruiker of de omgeving te garanderen.

2.2.3 AANDACHTPUNTEN VOOR HET CIVIELE WERK

In voorgaande paragrafen zijn de factoren beschreven die bepalen waar een windturbine kan worden geplaatst. Deze locatie wordt veelal bepaald aan de hand van randvoorwaarden uit de omgeving en is niet per definitie de beste positie voor de windturbine.

De civiele infrastructuur, waaronder de kraanopstelplaats feitelijk kan worden geschaard, is niet leidend bij het bepalen van de turbinepositie. De uitdagingen uit de omgeving kunnen niet worden vermeden en dienen binnen het civiele pakket te worden opgelost. Voorbeelden van deze uitdagingen zijn onder anderen de slechte eigenschappen van de ondergrond, de waterhuishouding, ondergrondse kabels en leidingen en de bouw van bruggen over watergangen.

Omdat de civiele werken vanwege deze uitdagingen duur kunnen uit vallen, is het aan te bevelen om de eisen en uitgangspunten voor deze werken nader te bekijken en in overleg met de betrokken partijen te bespreken en af te stemmen hoe met deze werken moet worden omgegaan.

De belangrijkste eisen en uitgangspunten die bij de discussie spelen zijn hieronder in algemene zin genoemd. In de betreffende hoofdstukken van de handreiking wordt op elk onderwerp uitvoerig ingegaan.

OPPERVLAKTE EN RUIMTEBESLAG

De eisen aan de afmetingen van de kraanopstelplaats hangen af van de afmetingen van de kraan (stempelafstand) die de windturbine installeert en de functies die de opstelplaats heeft in de realisatie- en de gebruiksfase van de turbine. Voor hogere windturbines worden zwaardere kranen gebruikt met een grotere voetafdruk. De verschillende kraantypes worden elk met ander materieel opgebouwd en stellen verschillende eisen aan de benodigde oppervlakte. Ook de aanlevermethode als *Just in time delivery* of *Storage on site* en de gebruiker van het perceel, stellen eisen en uitgangspunten aan de benodigde oppervlakte en het ruimtebeslag voor de kraanopstelplaats.

AFSCHOT

Afschot kan een noodzakelijke of de goedkoopste oplossing zijn voor de afwatering van de kraanopstelplaats. Waterschappen en akkerbouwers kunnen eisen stellen aan het afschot ten aanzien van watercompensatie en het voorkomen van gewasschade.

De eisen aan het afschot van de opstelplaats zijn afhankelijk van het kraantype. Een rupskraan zal bijvoorbeeld niet zonder extra maatregelen als schotten op een kraanopstelplaats onder afschot kunnen werken.

STABILITEIT EN VEILIGHEID

De stabiliteit en de veiligheid van de kraanopstelplaats dient in de realisatie- en gebruiksfase van de windturbine te zijn gewaarborgd. Het benodigde betrouwbaarheidsniveau wordt aan de hand van de toetsingen aan de eisen in de vigerende normen en richtlijnen geborgd in de ontwerpdocumenten, werkplannen en toetsingsdocumenten.

Voor een goede en complete toets op de stabiliteit en de veiligheid is naast voldoende kennis over de belastinggevallen ook voldoende kennis over de laagopbouw en de eigenschappen van de grondlagen essentieel.

Een belangrijke en onzekere factor ten aanzien van de belasting op de kraan en hiermee belasting op de ondergrond is de het aandeel van de windbelasting.

De windbelasting speelt ook een belangrijke rol bij de stabiliteit van de kraan. Het verschilt per kraantype bij welke windsnelheid er nog veilig kan worden gehesen. Rekening houdend met het seizoen en de windsnelheden op locatie kan er een andere kraan worden toegepast om het risico op extreme vertragingen voor de bouw te minimaliseren.

ZETTING EN SCHEEFSTAND

Tijdens de hijsoperatie zijn eisen gesteld aan de (maximale verschil-)zettingen om een veilige operatie van de kraan te kunnen waarborgen. Een klein zettingsverschil op de kraanopstelplaats heeft grotere gevolgen voor de kraan in de top.

POSITIE EN HOOGTE

De positie van de kraanopstelplaats is gerelateerd aan de positie van de turbinefundering en de vlucht van de toe te passen kraan. Er is een minimale en maximale afstand van het hart van de kraan te definiëren waar de positie van de kraanopstelplaats op volgt.

De kraan die wordt gebruikt voor installatie van de windturbine is onder andere afhankelijk van het te overbruggen hoogteverschil. De aanleghoogte van de kraanopstelplaats en de turbinefundering hebben invloed op de toe te passen kraan.

ONTWERP

In hoofdstuk 5 worden de problemen en oplossingen nader toegelicht. Voor het ontwerp en realisatie van de kraanopstelplaats zullen de kosten van deze oplossingen moeten worden vergeleken met de diverse mogelijkheden voor het optimaliseren van de kraanopstelplaats. Hierbij wordt rekening gehouden met de voornoemde aspecten.

Aan de hand van een zogenaamde TOM (Trade Off Matrix) kan de meest economische, maar vooral veilige optie voor alle partijen in alle projectfases worden gekozen.

2.3 ONDERGROND

De kwaliteit van de ondergrond is op veel locaties in Nederland niet zondermeer voldoende. Vooral in het westen van Nederland zijn vaak slappe, samendrukbare en minder draagkrachtige grondlagen aanwezig zijn. Doordat deze lagen op verschillende dieptes liggen, is er ook geen standaardoplossing voor het economisch meest voordelige ontwerp van een kraanopstelplaats te geven. Aan de hand van geotechnisch- en geohydrologisch onderzoek dienen de nodige gegevens over de ondergrond te worden ingewonnen.

2.4 BELASTINGEN

Tabel 2.2 geeft een globaal overzicht van de gewichten en de installatiehoogte bij de bouw van een windturbine. De gewichten in tabel 2.2 zijn voor de nacelle en rotor-hub. De onderste torenonderdelen kunnen zwaarder zijn, maar vanwege het feit dat deze op een lager niveau worden geïnstalleerd dan bovengenoemde, zijn deze niet maatgevend voor de belastinggevallen op kraanopstelplaats.

In Tabel 3.1 van paragraaf 3.5 is de hijslast voor de meest gangbare kranen meer in detail aangegeven.

TABEL 2.2 GEWICHTEN EN HOOGTES TIJDENS DE BOUW VAN EEN WINDTURBINE *

	Hijslasten voor nacelle en rotor-hub	
	Min ashoogte	Max ashoogte
Ashoogte (m)	60	165
Min gewicht (ton)	45	105
Max gewicht (ton)	70	110

* De tabel is geen uitputtende opsomming en is bedoeld voor beeldvorming

2.5 MARKTBENADERING

Zodra de posities van de windturbines bekend zijn kan de opdrachtgever de markt benaderen om zich in te schrijven voor het bouwen van het werk. Er zijn meerdere contractvormen beschikbaar, waarmee de opdrachtgever de markt kan benaderen, maar het werk wordt altijd aangenomen door een aannemer die het werk niet volledig zelf kan realiseren. Er zijn dus altijd meerdere aannemers betrokken die onderling de raakvlakken moeten afstemmen.

Tijdens de tenderfase zijn de raakvlakken nog niet bekend bij de diverse partijen, zodat zoveel mogelijk flexibiliteit wordt gezocht in de uitvraag en de tenderoplossing. Deze flexibiliteit wordt zo lang mogelijk aangehouden door de contractpartijen, maar voor een optimaal en economisch ontwerp- en realisatieproces zal deze flexibiliteit moeten worden ingeperkt.

In de huidige projectplanningen is echter vaak onvoldoende tijd om de inperking van flexibiliteit volledig en op de juiste argumenten gebaseerd, te kunnen doen. Samen met de contractuele risico's (door contractverandering), die deze beperkingen van de flexibiliteit kunnen inleiden, is dit vaak een reden om de inperking gedeeltelijk of helemaal niet te doen.

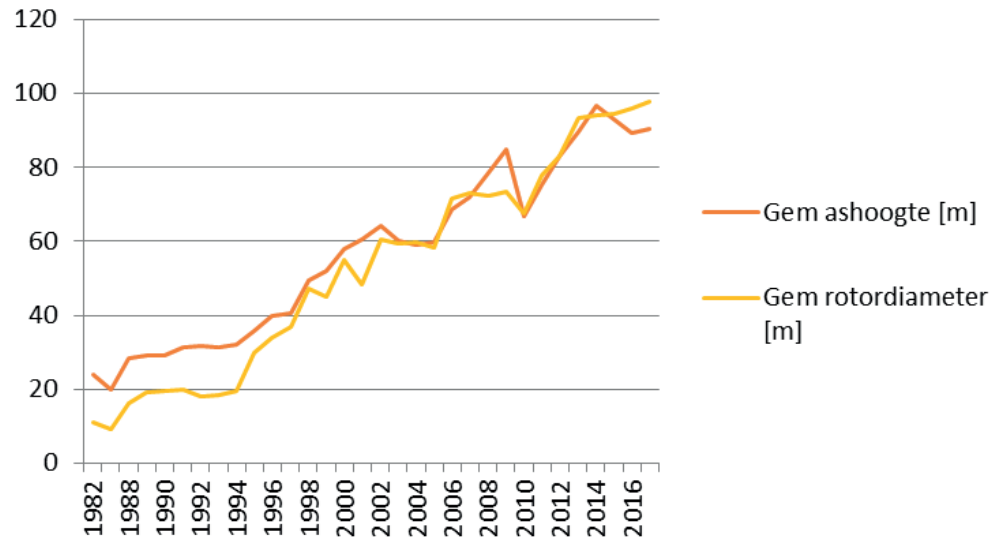
2.6 TOEKOMST

2.6.1 WINDTURBINES

In de afgelopen 30 jaar zijn windturbines snel groter geworden, zowel in afmetingen als het vermogen van de generator. Onderstaande grafieken, Figuur 2.2 en Figuur 2.3, geven de ontwikkeling van de afgelopen 25 jaar weer. In deze grafieken is de gemiddelde ashoogte, rotordiameter en vermogen weergegeven dat in een gegeven jaar is geïnstalleerd in Nederland. Technisch gezien kan deze trend zich doorzetten.

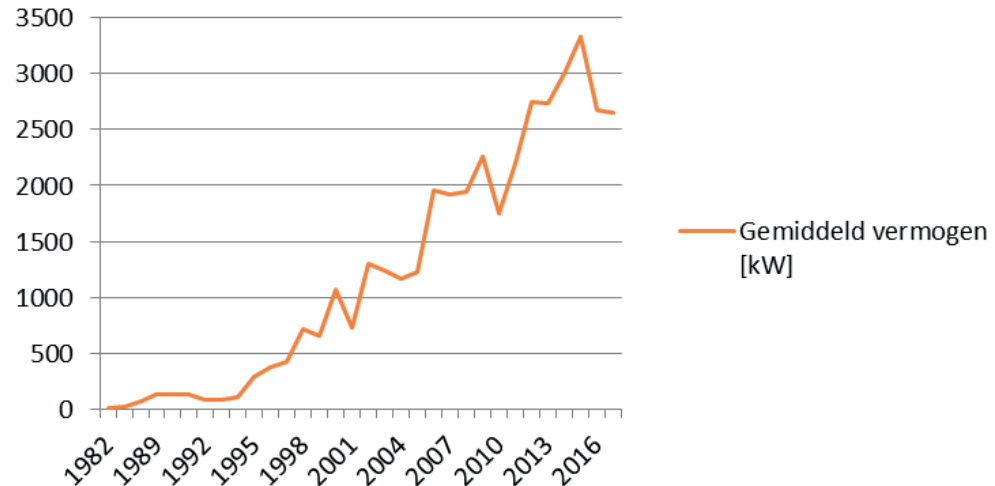
FIGUUR 2.2

ONTWIKKELING AFMETINGEN WINDTURBINES DE AFGELOPEN TIJD



FIGUUR 2.3

ONTWIKKELING WINDTURBINE VERMOGEN DE AFGELOPEN TIJD



2.6.2 TECHNISCHE MOGELIJKHEDEN VOOR DE TOEKOMST

Anno 2017 zijn onder andere de in Tabel 2.3 turbines leverbaar, en geven een beeld van de trend in de markt richting steeds grotere turbines. In de praktijk wordt er altijd gestreefd naar een zo groot mogelijke turbine binnen de politieke en technische mogelijkheden.

TABEL 2.3

OVERZICHT WINDTURBINES*

Merk	Type	Vermogen [MW]	Ashoogtes [m] en IEC klasse	Rotor diameter [m]
Siemens	SWT-3.4-101	3.4	74.5-94 (IEC I)	101
Vestas	V117	4.0/4.2	84 m (IEC II), 91.5 m (IEC I)	117
Nordex	N131	3.9	84-134 (IEC III)	131

* De tabel is geen uitputtende opsomming en is bedoeld voor beeldvorming. Zo zijn onshore turbines leverbaar met een rotordiameter van 140 m en ashoogte 160 m (bijvoorbeeld de Senvion 3.6M140).

2.6.3 MOGELIJKHEDEN

Met de toename van het aantal windparken en de hoogte van de windturbines neemt ook de weerstand toe vanuit de verschillende stakeholders. Hierdoor zullen windturbines op een beperkter aantal locaties kunnen worden gebouwd en zal mogelijk minder kunnen worden gebouwd op de meest wenselijke locaties. De druk op de kostenreductie zal daarom toenemen en daarom ook de druk om optimalisaties uit te voeren in het ontwerp en de realisatie van de kraanopstelplaats. Focus op 'must-haves' en 'nice-to-haves' en (on)mogelijkheden om sneller te kunnen bouwen is hiervoor noodzakelijk.



3

KRAANKEUZE, BELASTINGEN EN SPECIFICATIES

3.1 INLEIDING

De optredende gronddrukken op een kraanopstelplaats zijn zeer afhankelijk van het gekozen kraantype. De keuze voor een geschikte kraan wordt in grote mate bepaald door de afmetingen en gewichten van de windturbine componenten, maar er spelen meer factoren.

In eerste instantie wordt inzicht gegeven in de verschillende kraantypen en de daarbij gebruikte hulpsystemen. Gebaseerd op deze informatie worden in de volgende paragrafen de aandachtspunten beschreven ten aanzien van de keuze, de aanvoer en de opbouw van de kranen.

Aan de hand van diverse load cases wordt daarna dieper ingegaan op de gronddrukken die ontstaan onder de kraan. De indicatieve getallen die hieruit volgen hebben tot doel om besef te creëren over ordegrootte. De grote spreiding in de opgegeven waarden maakt duidelijk dat het niet mogelijk is om middels de gegeven load cases eenduidige en bindende adviezen te geven. Elke projectsituatie behoeft daarom altijd een aparte beschouwing in nauwe samenwerking met de kraanverhuurder.

3.2 KRAAN CATEGORIEËN EN CONFIGURATIES

3.2.1 KRAANTYPEN

In Europa wordt bij de bouw van windturbines in het algemeen gebruikt gemaakt van mobiele kranen. In enkele gevallen worden torenkranen of zogenaamde klimkranen ingezet. De torenkranen zijn in tegenstelling tot de mobiele kranen uitgerust met de draaikrans geheel bovenin de kraan, ze worden om die reden ook wel bovendraaiers genoemd.

De inzet van torenkranen vraagt een op maat gemaakte betonnen fundatie voor de verankering van de machine en in veel gevallen de mogelijkheid om de toren van de kraan op één of meerdere punten te verbinden met de toren van de windturbine.

Klimkranen zijn machines die zijn gemonteerd aan de toren van de windturbine en samen met de montage van elke nieuwe torensectie mee naar boven klimmen. De klimkranen kunnen tot op heden nog maar beperkt worden ingezet, omdat het zeer specifieke aanpassingen aan de windturbine toren vraagt.

Omdat voor de bouw van windturbines in Nederland bijna zonder uitzondering gebruikt wordt gemaakt van mobiele kranen, worden de torenkranen niet verder behandeld in deze handreiking.

FOTO 3.1

DE LIEBHERR 1000 EC-B 125 LITRONIC TORENKRAAN



De volgende mobiele kranen zijn te onderscheiden:

- Mobiele kranen met een telescoopgiek, ook wel telescoopkranen.
- Mobiele kranen met een vakwerkgiek, ook wel opbouwkranen.

Er bestaan drie typen onderwagens voor de telescoopkranen en de opbouwkranen:

- De onderwagen op banden. De kraan is in dit geval altijd voorzien van afstempeling ten behoeve van het stabiel en waterpas opstellen van de machine voor de operationele situatie.
- De onderwagen voorzien van rupsen. Kranen voorzien van rupsen zijn in het algemeen niet voorzien van stempeling, de rupsen bepalen derhalve de kantellijnen van de kraan. De meeste rupskranen zijn voorzien van vakwerkgieken. De rupskranen met telescoopgieken worden in Nederland bijna niet ingezet als hoofdkraan voor de bouw van windturbines. Wel fungeren deze kranen regelmatig als hulpkraan bij het samenbouwen van de hoofdkraan.
- De onderwagen welke alleen is voorzien van vier stempels (de pedestal kraan).

FOTO 3.2

DE DEMAG PC 3800-1 PEDESTAL KRAAN



Kranen voorzien van rupsen hebben als voordeel dat ze zich, nadat ze zijn opgebouwd, nog zelfstandig kunnen verplaatsen. In de meeste gevallen mag de rupskraan zich zelfs met een last in de haak voortbewegen. Echter, in verband met de sterk toenemende risico's op instabiliteit en mogelijke beschadigingen aan de kraanopstelplaats, wordt het verrijden van de kraan (met en zonder last) zo veel mogelijk vermeden.

De kranen uitgerust met stempels zijn niet verplaatsbaar in de operationele situatie. Ze kunnen zichzelf echter waterpas opstellen, waardoor er voor deze kranen minder eisen gesteld worden aan het horizontaal opleveren van de kraanopstelplaats.

FOTO 3.3

DE LIEBHERR LG1750, EEN OPBOUWKRAAN MET EEN ONDERWAGEN OP BANDEN



Er zijn naast de bovengenoemde mobiele kranen nog enkele andere typen op de markt die ingezet kunnen worden bij de bouw van windturbines:

- De 'narrow track' rupskranen (meestal uitgerust met een vakwerkgiek). Deze rupskranen hebben een zeer smalle rupsbasis om de kraan in opgebouwde toestand over de transportwegen te kunnen verplaatsen tussen de verschillende turbinelocaties. Omwille van de smalle rupsbasis zijn deze kranen uitgerust met afstempeling voor de operationele situatie.
- De 'GTK1100'. Een specifiek bij één fabrikant ontwikkeld kraantype dat is voorzien van een verticale telescopische giek met daarop gemonteerd een bovenwagen voorzien van een standaard telescoopgiek.

Beide kranen worden bijna niet ingezet op de Nederlandse bouwplaatsen en maken om deze reden geen deel uit van deze handreiking.

Telescoopkranen kunnen dus een onderwagen hebben voorzien van rupsen, echter veelal betreffen het onderwagens voorzien van banden en afstempeling. Omwille van de leesbaarheid van de handreiking wordt vanaf hier gesteld dat met de term 'telescoopkraan' deze laatste variant wordt bedoeld.

3.2.2 KRAANCAPACITEITEN

De capaciteit van een kraan wordt aangeduid middels het maximale hijsgewicht uitgedrukt in 'ton'. Opbouwkransen zijn beschikbaar in capaciteitsklassen die vergelijkbaar zijn aan die van telescoopkranen, maar ook in klassen ver daarboven. Telescoopkranen zijn in de huidige markt beschikbaar in de klassen van 30 tot 1.200 ton. Het spectrum (op de markt verkrijgbare) opbouwkransen loopt van circa 30 tot 3.000 ton.

Het vergelijk tussen de mogelijkheden van een telescoopkraan en een opbouwkraan op basis van het maximum tonnage gaat niet op. Bij een identieke capaciteitsaanduiding kunnen beiden typen op de minimale vlucht een gelijk maximum tonnage hijsen. Echter, op grotere afstanden van de kraan zijn de maximaal te hijsen lasten zeer verschillend.

De mogelijkheden van een '500-tons' telescoopkraan zijn dus absoluut niet vergelijkbaar met die van een '500-tons' opbouwkraan. Er kan worden gesteld dat een gelijknamige opbouwkraan gemiddeld een hogere capaciteit heeft dan een telescoopkraan.

3.2.3 HULPSYSTEMEN

De volgende hulpsystemen worden behandeld:

- Hulpgiek
- Superlift-installatie
- Oprichtpoten
- Spanbok

HULPGIEK

De telescoopgieken kunnen bij de meeste kranen worden verlengd met een aanbouwdeel, de hulpgiek, ook wel 'jib' genoemd. Op een enkele uitzondering na zijn hulpgieken te herkennen aan de vakwerkconstructie. De hulpgiek kan star (soms onder een hoek) op de kop van de hoofddiek worden gemonteerd en wordt in dat geval formeel aangeduid als een 'vakwerk-hulpgiek vast' (in de praktijk vaak 'giekverlenging' genoemd).

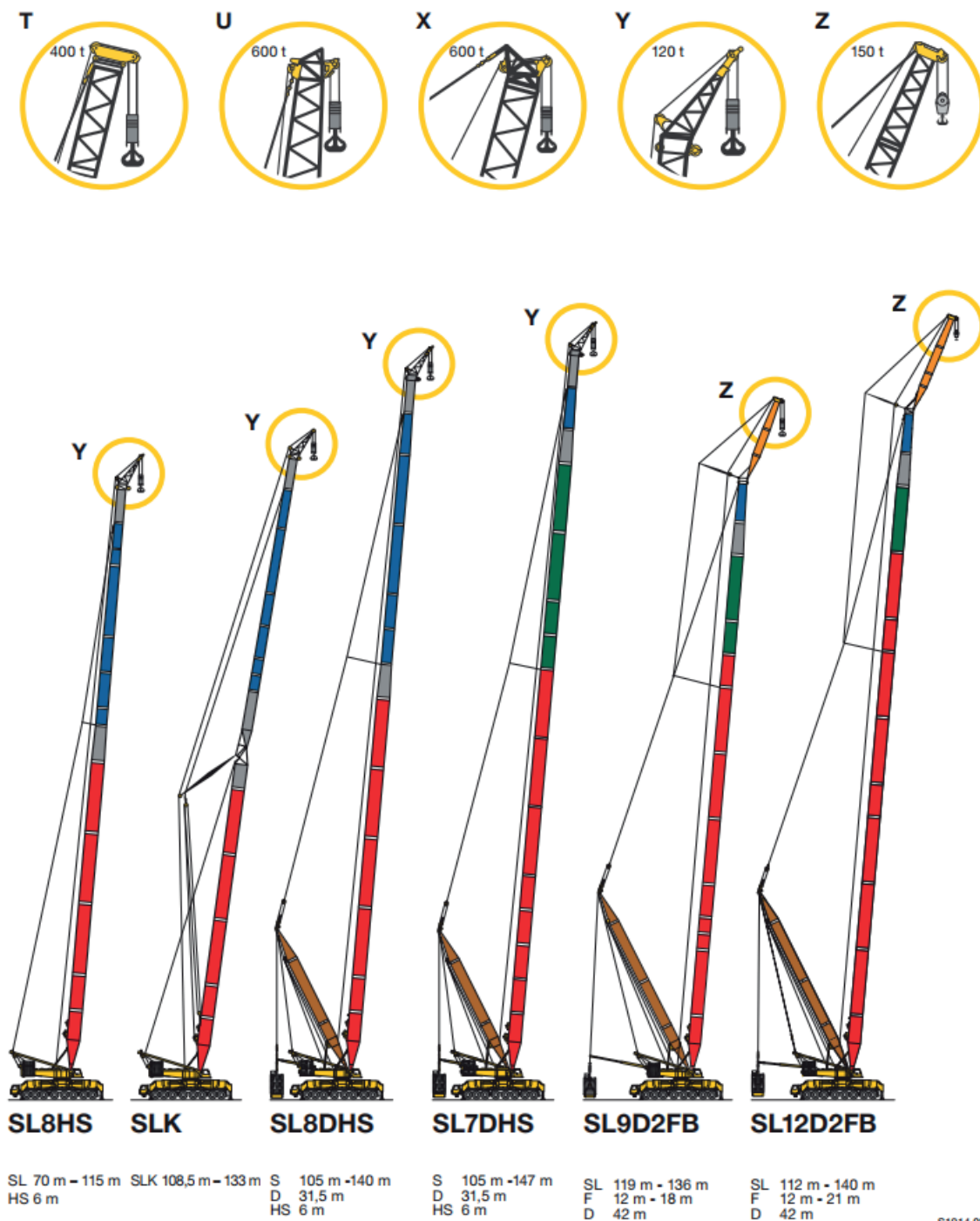
Bij de grotere telescoopkranen (vanaf een tonnage van circa 350 ton) kan de hulpgiek ook scharnierend op de hoofddiek worden gemonteerd. Vaak zijn hierbij extra opbouw componenten nodig zoals A-frames en lierwerken. De scharnierbare hulpgiek heet formeel de 'verstelbare hulpgiek', maar wordt veelal de 'beweegbare jib' genoemd.

FOTO 3.4 TWEE LIEBHERR'S LTM1500-8.1 UITGERUST MET BEWEEGBARE HULPGIEK



Ook de opbouwkransen kunnen voorzien zijn van een 'beweegbare jib' of een 'giekverlenging'. Bij veel opbouwkransen is het daarnaast mogelijk om de kraan met een 'wind-kit' uit te voeren. Deze bestaat uit een circa 6 tot 14 m lange extra hulpgiek welke onder een vaste hoek bovenop de 'giekverlenging' kan worden gemonteerd. De giek wordt bovenin dus voorzien van een kleine knik, die het mogelijk maakt om de nacelles met voldoende vrijloop te kunnen plaatsen.

FIGUUR 3.1 DE WIND-KITS (HULPGIEKDELEN Y EN Z) VAN DE LIEBHERR LG1750



SUPERLIFT-INSTALLATIE

De opbouwkransen in de klasse 300 ton en hoger kunnen worden voorzien van een zogenaamde superlift-installatie (formele term: extra contra gewicht). Op de kraan wordt in dit geval een extra giek gemonteerd, ook wel de 'derrick giek' genoemd, die schuin naar achteren gericht staat (het oranje mastdeel in Figuur 3.1). Door deze giek te verbinden met de bijbehorende extra ballast (de superlift-ballast) wordt een sterke capaciteitsverhoging gerealiseerd.

In de meeste gevallen is de superlift-ballast op een draagframe, genaamd 'de tray', gestapeld. De tray kan alleen bij voldoende balans in de kraan (lees: voldoende last in de haak) vrij van de bodem worden geheven, om daarmee het zwenken van de kraan mogelijk te maken. Bij het neerzetten van een gehesen last, dient gelijktijdig de superlift-tray weer aan de grond te worden gebracht. Minder gebruikelijk (en tevens minder beschikbaar op de markt) is de inzet van de zogenaamde ballastwagen. De superlift-tray is in dat geval voorzien van stuurbare bandenstellen, die het mogelijk maken met de kraan te zwenken, zonder dat er sprake is van de genoemde evenwichtssituatie.

FOTO 3.5

DE SUPERLIFT TRAY VAN EEN LIEBHERR LR 1600/2



De superlift-tray bevindt zich bij opbouwkransen in de klasse tot 750 ton tot 22 m achter het hart van de kraan (de draaikrans). Het totaalgewicht van de superlift-ballast op de tray kan daarbij oplopen tot 400 ton. Het spreekt derhalve voor zich dat de kraanopstelplaats ruimer en zwaarder moet worden uitgevoerd, als de in te zetten kraan is voorzien van een superlift-installatie.

OPRICHTPOTEN

Een ander relevant hulpsysteem dat bij de rupskranen kan worden gemonteerd zijn de 'oprichtpoten'. Ten behoeve van het oprichten van de giek van een opbouwkraan geldt het volgende:

- Bij korte giekconfiguraties kan de giek zonder extra voorzieningen worden opgericht. De normale hoeveelheid ballast op de kraan creëert voldoende stabiliteit.

- Bij middellange giekconfiguraties is de standaard ballast onvoldoende om de stabiliteit te waarborgen: er zijn extra voorzieningen nodig. Bij de meeste rupskranen kunnen in dat geval oprichtpoten aan de rupsen worden gemonteerd. De langere momentarm die hierdoor wordt gerealiseerd maakt het oprichten van de giek mogelijk.
- Bij zeer lange giekconfiguraties dient in alle gevallen de superlift-installatie te worden opgebouwd. De superlift-ballast zorgt in dat geval voor voldoende stabiliteit. Het is zeer wel mogelijk dat de superlift-installatie daarna niet wordt gebruikt bij het hijswerk. De tray wordt dan afgekoppeld en blijft op deze positie staan, om bij verslechterende weersomstandigheden, direct weer te kunnen worden aangekoppeld voor het strijken van de giek.

FOTO 3.6

DE OPRICHTPOTEN VAN EEN LIEBHERR LR 1600/2



In veel gevallen kan voor het oprichten van middellange gieken ook gebruikt worden gemaakt van de superlift-installatie. Echter, dit vraagt voor de aanvoer van alle componenten en de superlift-ballast diverse extra vrachten, daarnaast neemt de opbouwtijd van de kraan fors toe.

SPANBOK

Dit hulpsysteem is alleen beschikbaar op telescoopkranen vanaf een capaciteit vanaf circa 300 ton. Het betreft de 'afspanning', ook wel de 'spanbok' of (helaas verwarrend) 'de superlift'.

De afspanning versterkt de hoofdgiek, met een verhoogde kraancapaciteit tot gevolg. De afspanning wordt op de hoofdgiek gemonteerd en bestaat uit twee naar achteren gerichte armen. De armen kunnen parallel aan elkaar gemonteerd zijn, maar onderling ook onder een hoek staan (de 'V-stand'). In de V-stand wordt de hoofdgiek niet alleen in de voorwaarts buigende richting versterkt, maar ook in zijwaartse richting gestabiliseerd.

Bij de bouw van windturbines wordt vaak met een lange hoofdgiek gewerkt om de lasten op grote hoogte te kunnen plaatsen. Bij een langere hoofdgiek spelen zijwaarts gerichte krachten (wind) een grotere rol en dus staat de afspanning bij de bouw van windturbines altijd in de V-stand.

FOTO 3.7

TWEE KEER EEN DEMAG AC500 VOORZIEN VAN BEWEEGBARE HULPGIEK EN AFSPANNING IN V-STAND



3.2.4 KRAANKEUZE EN FLEXIBILITEIT

In de allerhoogste capaciteitsklassen zijn alleen opbouwkranen beschikbaar. Als de hijswerkzaamheden echter binnen de mogelijkheden van de telescoopkranen vallen, dan spelen de volgende overwegingen mee ten aanzien van de kraankeuze.

De aanvoer en opbouw van een telescoopkraan vraagt in het algemeen minder tijd en minder hulpmaterieel (hulpkranen, vrachtwagens) dan van een opbouwkraan. De kosten van mobi-

lisatie en demobilisatie zijn hierdoor lager en de flexibiliteit (verplaatsen van de kraan) is groter. Echter voor een opbouwkraan geldt dat het huurtarief per dag lager ligt dan die van een telescoopkraan met een vergelijkbare capaciteit. De doorlooptijd van een project speelt naast de hijscapaciteit dus een belangrijke rol.

De keuze voor een geschikt kraantype en de configuratie ervan wordt tevens bepaald door:

- De beschikbare opbouwruimte.
- De grootte van het windpark, dan wel het aantal te plaatsen windturbines.
- De beschikbaarheid van kranen ('vraag en aanbod'). De ervaring leert dat in de tweede helft van elk kalenderjaar de vraag naar kranen in de windbranche sterk toeneemt.

Voor de opbouw van windturbines wordt regelmatig gebruik gemaakt van een combinatie van telescoopkranen en opbouwkranen. De telescoopkraan wordt in zo'n geval ingezet voor het plaatsen van de eerste torensecties, waarna deze wordt vervangen door een opbouwkraan. Op grote windparken is vaak een groot aantal en een grote verscheidenheid aan kranen te vinden, waarbij de telescoopkranen vóór de opbouwkranen uit werken.

De periode van het plaatsen van een bestelling van een kraan tot aan het moment van mobiliseren is de laatste jaren sterk gereduceerd van meerdere maanden tot soms enkele weken. Hoe korter deze 'notice time' hoe kleiner het aanbod van geschikte kranen. Als in zo'n geval de kraanopstelplaats geschikt is gemaakt voor één specifiek kraantype, kunnen er problemen ten aanzien van de planning ontstaan.

De oplossing kan gevonden worden door kraanbestellingen eerder te plaatsen of door de kraanopstelplaatsen flexibel te maken, opdat er meerdere kraantypes ingezet kunnen worden.

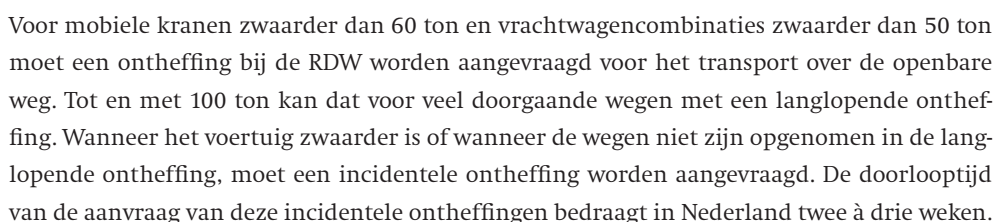
Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de op dit moment meest ingezette kraantypes en bijbehorende hulpinstallaties voor de bouw van windturbines. Aan de orde komen de aan- en afvoer van de kranen, de op- en afbouw en vanzelfsprekend de operationele situatie. Op basis hiervan worden de eisen beschreven ten aanzien van de toevoerwegen naar de bouwlocatie, van de opbouwruimte en van de kraanopstelplaats zelf.

Als gevolg van het verkregen inzicht kan per situatie worden bepaald of het haalbaar is de kraanopstelplaats flexibel uit te voeren. Mocht dit niet realiseerbaar blijken, dan dienen de betrokken partijen er rekening mee te houden dat de kraanbestelling in een vroeg stadium wordt geplaatst om de beschikbaarheid van het juiste kraantype te garanderen.

3.3 TRANSPORT

3.3.1 AAN- EN AFVOER

De grootste zelfrijdende kranen van dit moment hebben negen assen (achttien banden). Het totaalgewicht van de kraan in transporttoestand is 100 ton, de maximale aslast bedraagt 12 ton en de kraan is circa 22 m lang. Alle bij de kraan behorende componenten worden vervoerd middels vrachtwagencombinaties die per stuk tevens een maximum totaalgewicht hebben van 100 ton en aslasten tot 12 ton.



Het laatste deel van de transportroute naar een windturbine locatie voert regelmatig over private wegen, die bijvoorbeeld in eigendom zijn van een waterschap of havenbedrijf. Met deze wegen wordt bij de behandeling van een ontheffingsaanvraag door RDW geen rekening gehouden. De opdrachtgever van de kraanverhuurder dient voor het berijden van deze wegen toestemming te verlenen en dus vast te stellen of de weg geschikt is voor het transport.

De kraantypen die niet voorzien zijn van banden worden volledig door vrachtwagens naar de bouwlocatie vervoerd. De zwaarste combinaties wegen ook in dit geval 100 ton, hebben ook aslasten tot 12 ton en lengtes van tot circa 22 m.

De zelfrijdende kranen zijn 3 m breed, de transportweg is daarom bij voorkeur minimaal 4 m breed. Bochten dienen breder te worden uitgevoerd in verband met de ruime draaicirkels van de kranen. Met name bij de windparken in Nederland geldt de waarschuwing, dat er ten allen tijde voldoende afstand dient te worden gehouden van taluds (denk aan sloten). De minimale afstand wordt bepaald aan de hand van een stabiliteitsberekening en advies door een geotechnisch adviseur.



Opgemerkt dient te worden dat de aan- en afvoer van grote kranen een ware logistieke uitdaging is. Het aantal benodigde vrachten is groot. Ter indicatie: een rupskraan in de '600-tons' klasse, uitgerust met een lange hoofdgiek plus een wind kit, wordt aangevoerd middels circa dertig vrachten. Als hierbij ook nog de superlift-installatie nodig is, loopt dit aantal op tot veertig à vijftig vrachten. Daarbij komt dat de componenten die de voorgaande bouwplaats als eerste hebben verlaten, op de nieuwe bouwplaats als laatste moeten arriveren.

De grote hoeveelheid vrachtwagens rijdt in een tijdbestek van enkele dagen de bouwlocatie op en weer af. De manoeuvreerruimte op de locatie kan soms zeer beperkt zijn, het komt voor dat binnenkomende of uitgaande vrachtwagens verplicht achterwaarts moeten rijden. Om onveilige situaties te vermijden, wordt aanbevolen de volgende maatregelen te nemen:

- Het creëren van keerruimtes voor vrachtwagens.
- Het creëren van passeervlakken. Dit is van toepassing op locaties waar de bouwlocatie zich zeer ver (> 500m) van de openbare weg bevindt.
- Het aanstellen van een logistiek coördinator (ook wel 'truck pusher') die vanuit een tactische positie op het bouwterrein, bijvoorbeeld de inrijlocatie vanaf de openbare weg, de vrachtwagenstroom regelt.

Bij de bovengenoemde eisen ten aanzien van de tijdelijke wegen is geen rekening gehouden met de afmetingen en gewichten van de aan te voeren windturbine componenten. Vaak worden hiervoor langere combinaties ingezet (transport van windturbine bladen) en zijn de maximale voertuiggewichten nog hoger dan 100 ton (transport van de nacelles). Dit geldt eveneens voor de aanvoer van funderingsmachines naar de bouwplaats, voertuiggewichten tot 150 ton zijn hierbij geen uitzondering.

3.3.2 TRANSPORT TUSSEN TURBINE LOCATIES

Onder strikte voorwaarden mogen kranen op banden in (deels) opgebouwde toestand worden verreden. De totaalgewichten van deze machines kunnen hierbij oplopen tot 300 à 400 ton. Aslasten tot ruim 30 ton komen daarbij regelmatig voor en in enkele gevallen ontstaan pieken tot bijna 50 ton. In de gebruiksaanwijzing van de kraan staan alle mogelijke transport configuraties vermeld en de daarbij geldende voorwaarden.

FOTO 3.8

HET TRANSPORT TUSSEN TWEE TURBINE LOCATIES VAN EEN LIEBHERR LTM1750-9.1 IN DEELS OPGEBOUWDE TOESTAND



De opbouwkransen op rupsen of de ‘pedestal’ kransen worden in het algemeen geheel gede-monteerd en daarna vervoerd op vrachtwagens. Voor de eerste aanvoer van deze kransen naar de windparklocatie zijn in het algemeen transportontheffingen aangevraagd. Omdat het transport tussen de turbine locaties vaak over een korte afstand en buiten de openbare weg voert, zijn hiervoor geen ontheffingen nodig. De vrachtwagens worden om deze reden in het algemeen zwaarder beladen, dan bij de eerste aanvoer van de kraandelen.

Er zijn alternatieve mogelijkheden om (deels) opgebouwde kransen te verplaatsen, bijvoorbeeld door het zelfstandig verrijden van een rupskraan of de verplaatsing middels modulaire hydraulische trailers. Dit zijn oplossingen die slechts in uitzonderlijke gevallen worden toegepast; ze worden derhalve niet behandeld in deze handreiking.

3.4 OPBOUW EN MONTAGE

Bij het indelen van de kraanopstelplaats wordt onderscheid gemaakt tussen het plateau waarop de kraan zelf wordt opgesteld (de ‘kraanopstelplaats’) en de ruimte die nodig is voor de samenbouw van de giek-hulpgiek combinatie van de kraan (de giek opbouwruimte).

3.4.1 DE KRAANOPSTELPLAATS

ALGEMEEN

De ruimte die nodig is voor de kraan in de bedrijfssituatie wordt de kraanopstelplaats genoemd. De kraanopstelplaats moet ten allen tijde vlak, voldoende draagkrachtig en goed bereikbaar zijn.

Mobiele kransen voorzien van stempels dienen altijd volledig horizontaal (waterpas) te worden opgesteld. De stempels kunnen eventuele oneffenheden in de kraanopstelplaats opvangen. Grote niveauverschillen (> 10 cm) dienen echter te worden vermeden, gezien de vaak beperkte slag van de stempelcilinders.

Voor de meeste rupskranen is de eis aan het afschot van de kraanopstelplaats zeer strikt, deze bedraagt volgens de gebruiksaanwijzing van de machines maximaal $\frac{1}{2} 0,3^\circ$ (dit komt overeen met ca. 0,52%).

Bij de beoordeling van de vlakheid / scheefstand van de kraan dienen tevens vervormingen van de kraanopstelplaats te worden beschouwd.

De inzet van kransen met een superlift-installatie stelt extra eisen aan de kraanopstelplaats. Er is meer ruimte nodig rondom de kraan en de ondergrond dient (mogelijk op meerdere posities) te worden getoetst op de drukbelasting als gevolg van de superlift-ballast. De kraan-verhuurder dient aan te geven wat het exacte gewicht is van de superlift-ballast en op welke posities deze tijdens het oprichten van de giek en mogelijk tijdens de operationele situatie aan de grond wordt gezet.

VERHOOGD PLATEAU

Met name voor de grotere rupskranen worden de kraanopstelplaatsen regelmatig uit meerdere lagen opgebouwd (bijvoorbeeld: zandpakket met daarop azobé schotten). Een sterk verhoogde opstelplaats kan extra uitdagingen geven ten aanzien van de opbouw van de kraan. De onderwagen van een rupskraan wordt meestal aangevoerd op een semi-dieplader

en bij voorkeur direct op de definitieve opstelplaats gelost. De onderwagen 'lost zichzelf' van de trailer door het uitdrukken van vier aan het frame gemonteerde hulpstempels.

Een verhoogd plateau kan het oprijden met de transport combinatie onmogelijk maken. Het aanleggen van een (goed verdichte) oprijhelling is in zo'n geval noodzakelijk. Als vuistregel voor de maximale hoek van een oprijhelling mag 4° (ca. 7%) aangehouden worden.

Het is sterk af te raden de kraan eerst volledig op te bouwen en dan pas op het plateau te plaatsen. Er ontstaan hierbij grote veiligheidsrisico's, niet alleen als gevolg van de scheefstand van de kraan, maar ook door de zeer grote piekdrukken die vanwege de hoogteverschillen onder de rupsen ontstaan.

3.4.2 DE GIEK OPBOUWRUIMTE

ALGEMEEN

Bij het ontwerp van de kraanopstelplaatsen is de giek opbouwruimte vaak onderbelicht. De ruimte voor de opbouw van de giek en/of de hulpgiek dient geheel vrij te zijn van obstakels. Obstakels kunnen permanent zijn, zoals huizen of bomen, echter regelmatig komt het voor dat tijdelijke obstakels, zoals opgeschoven zand op de bouwplaats, een belemmering vormen.

DE AFMETINGEN VAN DE GIEK OPBOUWRUIMTE

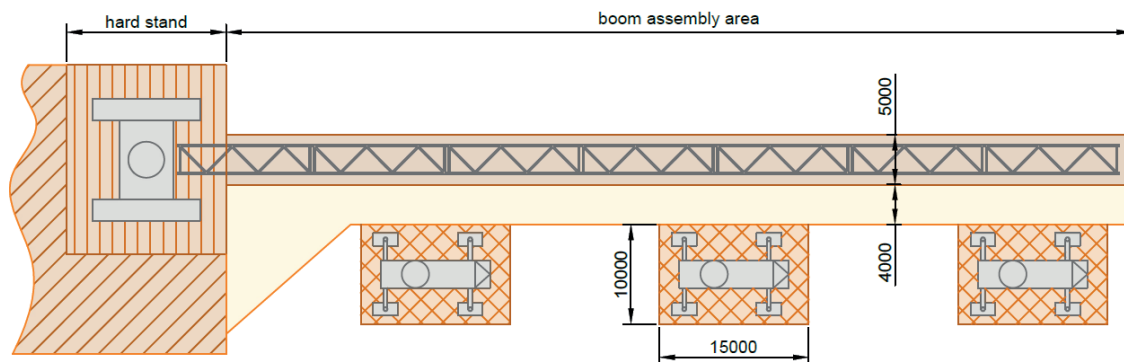
De lengte van het opbouwveld wordt bepaald door het gekozen kraantype en de gekozen kraanconfiguratie. Voor een opbouwkraan kan het volgende worden gesteld om een indicatie van de lengte van het bouwveld te verkrijgen: de totaal benodigde giek- plus eventuele hulpgieklengte bedraagt de naafhoogte van de windturbine vermeerderd met 10 tot 15 m. Het giek-aangrijppunt bevindt zich daarnaast ca. 1,5 tot 2,0 m vóór het hart van de draaikrans van de kraan.

Bij telescoopkranen is dit moeilijker te voorspellen op basis van de naafhoogte van de turbine. Pas als is bepaald tot welke lengte de hoofddiek dient te worden uitgeschoven, is ook het type hulpgiek én de lengte ervan bekend. De lengte van het opbouwveld bedraagt dan de totale lengte van de hulpgiek vermeerderd met circa 15 m (de lengte van de ingeschoven telescoopgiek), gerekend vanaf het hart van de draaikrans.

De gieken van de rupskranen in de klasse van 400 tot 750 ton zijn 3,0 tot 3,5 m breed. Om aan weerszijden van de giek te kunnen werken is een totale breedte nodig van 5,0 m. Hiernaast dient een 4,0 m brede toevoerweg voor de kraancomponenten te worden aangelegd. Deze weg wordt tevens gebruikt voor het manoeuvreren met hulpmaterieel zoals verreikers. De hulpkranen dienen parallel aan de giek opbouwruimte te kunnen worden geplaatst en hebben een opstelvlak nodig van grofweg 10,0 x 15,0 m.

De kraanverhuurder dient haar opdrachtgever van een opbouwtekening te voorzien waarin de lengte van de giek opbouwruimte en de hulpkraanposities zijn aangegeven.

FIGUUR 3.4 DE SPECIFICATIES VAN DE GIEK OPBOUWRUIMTE.



De 5,0 m brede strook moet een vlak, droog en goed beloopbaar terrein zijn voor het personeel dat aan de kraan werkt. Vaak betreft het werkterrein een akkerland; in dat geval zijn aanpassingen noodzakelijk. Het uitvlakken van het maaiveld en daarna uitleggen van een rijplatenbaan kan dan een oplossing zijn. Voorwaarde is wel dat de rijplaten op droge ondergrond worden geplaatst; dit voorkomt het wegglijden van platen onder de aangedreven wielen van bijv. een 'verreiker'.

Op natte (klei) grond dient daarom altijd eerst een laag zand te worden aangebracht of er dient rekening te worden gehouden met een systeem dat de afwatering verzorgt; zie ook paragraaf 5.5.3.

Specifieke aandacht dient te worden besteed aan de posities voor de giekondersteuning die tijdens de opbouw van de kraan onder de giek moeten worden geplaatst. De druk op een ondersteuning kan bij de kranen in de 600- / 750-tons klasse oplopen tot ca. 65 -100 ton. Het is daarom van belang dat er lastspreiding wordt aangebracht. De meeste kraanverhuurders kunnen deze, vaak in de vorm van azobé schotten, mee leveren. De afstemming hierover moet tijdig, bijvoorbeeld in de werkvoorbereidingsfase, plaatsvinden.

De strook van 4,0 m moet goed en veilig kunnen worden bereden door de hulpkranen en de vrachtwagens die de kraancomponenten leveren. Voor verdichting van deze hulpweg dienen dezelfde specificaties te worden gehanteerd als voor de overige transportwegen.

Regelmatig wordt voor de opbouw van de giek de ruimte naast de aanvoerweg naar de wind turbine locatie gebruikt. Dit is een logische keuze. Echter er dient hierbij wel te worden vastgesteld of de bouwlocatie tijdens de opbouw werkzaamheden bereikbaar blijft voor hulpdiensten bij eventuele calamiteiten.

DE RICHTING VAN DE GIEK OPBOUWRUIMTE

Naast het feit dat niet te verwijderen obstakels de richting van de giek opbouwruimte bepalen, dient rekening te worden gehouden met de beperkingen van de kraan.

Bij rupskranen moet de giek haaks op of parallel aan de richting van de rupsen worden opgebouwd. Als voor het oprichten van de giek gebruik gemaakt dient te worden van de oprichtpoten, is de richting altijd haaks op de rupsen. Een rupskraan mag na het oprichten van de giek worden verplaatst. Enerzijds geeft dit flexibiliteit ten aanzien van de richting van de giek opbouwruimte. Anderzijds dient er in dat geval rekening mee te worden gehouden dat de er twee kraanposities moeten worden gecontroleerd op de optredende gronddrukken. Tevens is het risico aanwezig dat bij het verplaatsen en daarbij het mogelijk schranken van de rupskraan de kraanopstelplaats beschadigd raakt.

FOTO 3.9

DE GIEK OPBOUWRUIMTE



Bij het opbouwen van de giek of hulpgiek van kranen voorzien van een onderwagen met stempels, geldt dat de richting haaks op de onderwagen of over de achterzijde van de onderwagen de voorkeur heeft. De opbouwrichting over de rijcabine dient te worden vermeden. Bij sommige kraantypen kan worden afgeweken van de genoemde voorkeursrichtingen. Als hiertoe noodzaak blijkt dient de kraanverhuurder te worden geraadpleegd.

OVERIGE EISEN AAN DE GIEK OPBOUWRUIMTE

Omdat bij de meeste opbouwkransen de giek in horizontale stand moet worden opgebouwd, is de giek opbouwruimte bij voorkeur een vlak terrein. Mocht dit niet realiseerbaar blijken, dan kan een aflopend terrein worden gecompenseerd door verhoogde giekondersteuning te plaatsen. De op- en afbouw van de kraan wordt hiermee wel gecompliceerder en zal dus langer duren. Daarnaast zijn er meestal extra hulpmiddelen nodig zoals hoogwerkers.

FOTO 3.10

EEN VERHOOGDE GIEKONDERSTEUNING BIJ EEN STERK AFLOPEND TERREIN



Het is belangrijk dat de giek opbouwruimte gedurende de op- en afbouwfase van de kraan én tijdens hijswerkzaamheden vrij blijft, opdat bij plotseling opkomend onstuimig weer de giek snel kan worden gestreken. De gebruikte giekondersteuning dienen om deze reden ook gedurende de hijswerkzaamheden in positie te blijven liggen.

3.4.3 HULPKRANEN

De hulpkranen betreffen vaak telescoopkranen (soms voorzien van een rupsonderwagen). In het geval van het samenbouwen van een opbouwkraan dienen voor de hulpkranen opstelplaatsen direct naast en/of achter de hoofdkraan te worden voorbereid en tevens op meerdere posities parallel aan de giek opbouwruimte. Bij de opbouw van een telescoopkraan zijn hulpkranen niet altijd nodig. In een hoofdgiekconfiguratie zonder extra hulpsystemen kan een telescoopkraan zich volledig zelf opbouwen.

De kraanverhuurder dient haar opdrachtgever te voorzien van een opbouwtekening, waarin de opstelplaatsen voor de hulpkranen zijn weergegeven, inclusief maatvoering en de optredende gronddrukken.

Regelmatig komt het voor dat er vóór de start van de bouw al windturbine componenten worden aangevoerd die op de bouwplaats in opslag worden gezet. Het lossen van de componenten wordt veelal uitgevoerd met telescoopkranen. In het geval van het lossen van windturbine bladen zijn dit er meestal twee ('tandemhijs'). De posities van deze kranen dienen vooraf door de kraanverhuurder, in overleg met de opdrachtgever, te worden bepaald.

Tot slot dient te worden opgemerkt dat er op de werklocatie, naast voldoende ruimte voor de hulpkranen en de opslag van componenten, ruimte voor toolcontainers, hulpequipment en schaftgelegenheden aanwezig moet zijn. Bij het positioneren hiervan is het wederom van belang dat er aandacht is voor de mogelijkheid tot het strijken van de giek en de positie van de eventueel benodigde superlift-tray.

3.5 BELASTING EN SPECIFICATIES VANUIT DE KRAAN

3.5.1 ALGEMEEN

In deze paragraaf zijn indicatieve waarden opgesomd voor de gronddrukken onder kranen die ontstaan bij:

- Het oprichten van de giek.
- De operationele situatie.
- Het verplaatsen van de kraan tussen windturbine locaties.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de gegevens van de volgende, ten tijde van het tot stand komen van de handreiking, veel gebruikte kraantypen:

- De LTM1500-8.1, een 500-tons telescoopkraan.
- De LTM1750-9.1, een 750-tons telescoopkraan.
- De LR1600/2, een 600-tons opbouwkraan op een rupsonderwagen.
- De LR1750/2, een 750-tons opbouwkraan op een rupsonderwagen.
- De LG1750, een 750-tons opbouwkraan op een onderwagen voorzien van banden.

Dit betreffen alle vijf machines van het merk Liebherr. De rekensoftware van Liebherr voor het bepalen van de stempel- en rupsdrukken genaamd 'Liccon' kent uitgebreide simulatiemogelijkheden en is gebruikt bij het bepalen van de hierna opgesomde gronddrukken.

De volgende load cases zijn beschouwd:

TABEL 3.1

LOAD CASES

Nr.	Kraan type	Kraan configuratie	Nacelle gewicht (ton)	Naaf hoogte (m)
1	LTM 1500-8.1	TY3SN	70	60
2	LTM 1750-9.1	TYV2EN	80	80
3	LTM 11200-9.1	T3YV2VEN	80	105
4	LR 1600/2	SL3F	80	105
5	LG 1750	SL8HS	80	105
6	LR 1600/2	HSL4DF	80	120
7	LG 1750	SL8HDS	80	120
8	LR 1600/2	SL13DFB	80	140
9	LG 1750	SL7DHS	80	140
10	LR 1750/2	HSL7DHS	80	140
11	LR1750/2	SX3D4F2B	105	165
12	LG 1750	SX3D4F2B	110	165
13	LG 1750	SL12D2FB	140	130

Opmerkingen bij Tabel 3.1:

- Zie ook bijlage A.
- Er dient te worden benadrukt dat de tabel niet de exact benodigde kranen voorschrijft voor de genoemde load cases. Er zijn meerdere kraanfabrikanten die kranen kunnen leveren met vergelijkbare mogelijkheden aan de hierboven genoemde kraantypen.

3.5.2 OPTREDENDE DRUKBELASTINGEN TIJDENS KRAANOPBOUW

Bij het oprichten van de giek kunnen zeer hoge drukken ontstaan onder de stempels of rupsen; in diverse gevallen zelfs hoger dan in de operationele situatie. Bij het optrekken van de giek van een rupskraan in haakse richting op de rupsen, zal bijna het volledige gewicht van de machine over één rups worden verdeeld (situatie zonder superlift ballast). Bij het optrekken van de giek in lengterichting van de rupsen ontstaan zeer grote piekdrukken onder de voorste rollen van de beide rupsen.

De tabel in bijlage A geeft de optredende gronddrukken van de kranen bij het oprichten van de giek. De drukken bij de gestempelde kranen zijn uitgedrukt in massa en kracht [ton en kN] en bij de rupskranen in massa en kracht per vierkante meter [ton/m² en kN/m²].

Opmerking bij de tabel in bijlage A:

- Voor de rupskranen is aangenomen dat de giek in de lengterichting van de rupsen wordt opgericht. In sommige gevallen kunnen de gronddrukken worden verlaagd door de hoeveelheid superlift-ballast te verhogen. Het optrekken van de giek haaks op de richting van de rupsen resulteert tevens in lagere gronddrukken.
- Geadviseerd wordt om ervan uit te gaan dat de windbelasting niet is verdisconteerd in de stempelkrachten en rupsdrukken. Zie ook de algemene opmerking in paragraaf 3.5.3.

FOTO 3.11

HET OPRICHTEN VAN DE GIEK VAN EEN DEMAG CC 3800-1



Voor opbouwkransen tot de klasse 750 ton zijn veel ingezette hulpkraantypes telescoopkransen in de klasse 90 tot en met 200 ton. De zwaardere varianten worden ingezet voor het hijsen van de bovenwagens van de kranen en/of de rupsen. Voor het hijsen van de giek- en hulpgiekdelen voldoet in het algemeen echter een lichtere hulpkraan. Soms echter wordt besloten de grote hulpkraan ook voor het overige opbouwwerk in te zetten.

TABEL 3.2

GRONDDRUKKEN VAN HULPKRANEN (BRON SOFTWAREPAKKET "LICCON")

Kraantype	Kraanconfiguratie	Totaalgewicht van de kraan excl. last [ton]	Belastinggeval	Max. stempelkracht [kN] en Stempeldruk [kN/m ²]
LTM1090-4.1	36,2 m hoofdgiek 21 ton ballast stempelbasis 8,5 x 7,0 m	66,0	Hijsen van een giekdeel G = 13 ton op vlucht 14 m	490 kN schot: LxB = circa 2,5 x 1,3m = 151 kN/m ²
LTM1200-5.1	26,7 m hoofdgiek 72,0 ton ballast stempelbasis 8,9 x 8,3 m	140,0	Hijsen van een bovenwagen G = 66 ton op vlucht 9 m	1010 kN schot: LxB = circa 3,3 x 2,0m = 153 kN/m ²

Opmerkingen bij Tabel 32:

- De genoemde kraantypen zijn voorbeelden, diverse andere kraantypen kunnen ingezet worden.
- De opgegeven waarden dienen zuiver als indicatie. De mogelijke hulpkraanposities en daaruit voortvloeiende vluchten bepalen in grote mate de optredende stempelkrachten en drukkens.

3.5.3 OPTREDENDE DRUKBELASTINGEN KRAAN IN BEDRIJF

De tabel in bijlage A geeft de gronddrukken van de kranen die ontstaan in de operationele situaties.

Opmerking bij de tabel in bijlage A:

- De opgegeven drukken gelden in het zwaarste belastinggeval: de bovenwagen van de kraan staat in diagonale positie gezwenkt. Dat wil zeggen dat het moment in de kraan grotendeels door één stempelpoot wordt opgenomen of door het uiteinde van een rups.
- Bij een maximaal opgetopte (opgerichte) hoofdgiek en géén last in de haak genereert de contra-ballast van een kraan een groot achterover werkend moment. In sommige gevallen ontstaan in deze situatie grotere gronddrukken, dan in de operationele situatie waarbij de maximale last wordt gehesen. De kraanverhuurder dient derhalve in haar voorbereiding de hijsituatie te beschouwen en tevens de ‘lege haak’ situatie.

Opmerking algemeen

- Liebherr geeft aan dat de door softwarepakket ‘Liccon’ gegenereerde waarden inclusief een lastfactor van 5% zijn. Dit dekt kleine dynamische effecten als gevolg van de kraanbewegingen af. Er wordt echter benadrukt dat deze factor *exclusief* de effecten is, die ontstaan als gevolg van wind. Niet alle kraanfabrikanten geven openheid over het wel of niet includeren van lastfactoren in hun hulpsoftware. Het advies is daarom om altijd aan te nemen dat het karakteristieke waarden betreft (exclusief lastfactoren). Voor veiligheidszaken in het kader van windbelasting bij windturbine installatie en transport wordt verwezen naar [29] en paragraaf 6.3.2.
- De optredende stempel- of rupsdrukken worden door de kraanverhuurder weergegeven op de hijskening, vaak in tabelvorm. In veel gevallen is bij een hijsengineer niet het exacte zwenkbereik en de zwenkrichting van de kraan bekend. Om deze reden wordt er door de hijsengineers vaak voor gekozen om de piekdrukken weer te geven die ontstaan bij het 360° rondzwenken van de kraan met een last. Hieruit volgen vier waarden, die niet één belastingsituatie vertegenwoordigen en dus ook niet één op één kunnen worden overgenomen in een eventuele grondberekening. Overleg hierover tussen de kraanverhuurder en de opdrachtgever is derhalve van groot belang.

Staartoperatie

Regelmatig is een hulpkraan noodzakelijk om in een operationele situatie een last veilig van horizontale in verticale positie te draaien (‘staarten’). Bij een staartoperatie wordt onderscheid gemaakt tussen de hoofdkraan en de staartkraan. De hulpkranen voor het opbouwen van een kraan worden ook regelmatig ingezet als staartkranen. Indicaties voor gronddrukken voor deze machines zijn in paragraaf 3.5.2 gegeven.

FOTO 3.12

EEN STAARTOPERATIE VAN EEN TORENSECTIE



Effecten als gevolg van wind

De lengtes van de hoofdgieken zijn de afgelopen jaren min of meer gelijk met de groei van naafhoogtes van de windturbines toegenomen. De tijdens de hijswerkzaamheden optredende horizontale krachten, voornamelijk als gevolg van wind, zijn een steeds belangrijker issue geworden bij het ontwerp van de gieken.

Bij mobiele kranen die zijn ontworpen in overeenstemming met de NEN-EN 13000 [52], is rekening gehouden met een oppervlak van $1,0 \text{ m}^2$ per $1,0 \text{ ton}$ hijslast en een wind weerstandscoefficiënt van de last van $1,2$. Het totale toelaatbare oppervlak bedraagt derhalve $1,2 \text{ m}^2/\text{ton}$. Op basis van deze waarde zijn de standaard toelaatbare windsnelheden bepaald. De toelaatbare windsnelheid is weergegeven in de gebruiksaanwijzing van de kraan en verschilt per kraan en per configuratie.

Als het oppervlak van de te hijsen last echter meer bedraagt dan $1,2 \text{ m}^2/\text{ton}$ (laag gewicht/groot oppervlak), dan dient de kraanverhuurder de toelaatbare windsnelheid te reduceren. Op basis van het windoppervlak, het gewicht en de wind weerstandscoefficiënt van de last dient volgens de in de gebruiksaanwijzing opgenomen rekenmethode een nieuwe toelaatbare windsnelheid te worden bepaald. Hieruit volgt in het algemeen dat het hijsen van een windgevoelige last, zoals een volledig gemonteerde rotorster, alleen nog maar bij een zeer lage windsnelheid mag worden uitgevoerd.

Ondanks deze aandacht voor de effecten van wind zullen de gieken van de moderne kranen, als gevolg van het toepassen van staal met een hoge rekgrens, in zijwaartse richting een bepaalde mate van doorbuiging ondervinden. Door deze initiële uitbuiging ontstaat een momentarm die de uitbuiging van de giek nog verder kan doen versterken, het zogenaamde tweede orde effect. Met name bij kranen met gieken langer dan 100 m doet zich dit fenomeen voor.

Het totale buigende moment op de giek zal leiden tot een verhoging van de drukken onder de stempels of rupsen van de kraan. Dit effect wordt tot op heden in de ondersteunende kraansoftware niet meegenomen; hieruit volgen dus alleen statische waarden. De verwachting is dat fabrikanten in de toekomst hun software zullen uitbreiden opdat de effecten van wind mee kunnen worden gesimuleerd. De werkelijke effecten op de ondergrond worden daarmee inzichtelijk, waardoor de uitgangspunten voor het ontwerp van de kraanopstelplaatsen nog beter kunnen worden gedefinieerd.

Het is van belang te noemen dat dit effect zich voordoet in de operationele situatie van de kraan mét een maximale last in de haak. Omdat in diverse gevallen de giek-oprichtsituatie maatgevend is voor de maximaal optredende drukken, staat niet zonder meer vast dat de genoemde effecten bepalend zullen zijn voor het ontwerp van de kraanopstelplaats.

Totdat de fabrikanten de kraansoftware hebben aangepast wordt het de kraanverhuurder aanbevolen om bij de combinatie van een kraan met een giek langer dan 100 m én een zeer zware en windgevoelige last (bijvoorbeeld een volledig gemonteerde rotorster) de kraanfabrikant te raadplegen ten aanzien van de effecten van wind op de verticale belasting.

Voor meer informatie over windbelasting op mobiele kranen wordt verwezen naar de guideline [29] en het opleidingsdocument [70].

3.5.4 OPTREDENDE DRUKBELASTINGEN BIJ KRAANVERPLAATSINGEN

Zoals eerder beschreven worden rupskranen en pedestalkranen bijna altijd volledig gedemonteerd ten behoeve van een verplaatsing tussen twee turbine locaties. Kranen met een onderwagen op banden kunnen zelfstandig worden verreden. In veel gevallen is het hierbij toegestaan dat een deel van de hulpsystemen en/of kraanballast aan of op de kraan blijft gemonteerd.

Hieronder volgen enkele voorbeelden van machineconfiguraties die, in overeenstemming met de gebruiksaanwijzing, zelfrijdend mogen worden verplaatst en de daarbij optredende aslasten.

TABEL 3.3

ASLASTEN BIJ KRAANVERPLAATSINGEN

Kraantype	Kraanconfiguratie	Totaalgewicht van de kraan	Maximale aslast
LTM1750-9.1	Hoofdgiek met afspanning 66.5 m beweegbare hulpwiek 84 ton ballast	circa 260 ton	Assen 1 t/m 6: 32 ton Assen 7 t/m 9: 23 ton
LTM11200-9.1	Hoofdgiek 7-delig met afspanning en 6,0 + 6,5m giekverlenging 52 ton ballast	circa 280 ton	Assen 1 t/m 4: 31 ton Assen 5 t/m 9: 31 ton
LG1750	21 m hoofdgiek 145 ton ballast	circa 370 ton	Assen 1 t/m 4: 49 ton Assen 5 t/m 8: 43 ton

Bij deze drie gevallen geldt dat de:

- gemiddelde helling mag maximaal 1% (0,6°) bedragen. Pieken tot 5,2% (3,0°) zijn toelaatbaar;
- rijsnelheid minimaal is (circa 1 tot 2 km/uur);
- maximale 3-seconden windsnelheid 9 m/s bedraagt;
- stempels afhankelijk van de configuratie half of geheel uitgeschoven dienen te zijn. De stempelcilinders zijn uitgeschoven tot circa 5 à 10 cm boven de ondergrond.

Er dient voorafgaande aan de start van een project duidelijkheid te bestaan over de capaciteit van de wegen tussen de turbine locaties. Als deze niet geschikt zijn voor de verhoogde aslasten dienen de kranen ten behoeve van het verplaatsen dus volledig gedemonteerd en weer gemonteerd te worden. Dit heeft vanzelfsprekend veel invloed op de benodigde op- en afbouw tijd van de kraan per locatie.

3.5.5 LASTSPREIDING

De verantwoordelijkheid van de kraanverhuurder eindigt in principe bij de levering van de schotten onder de kraan. Bij gestempelde kranen betreffen dit altijd standaard bij de kraan behorende stalen schotten. De telescoopkranen in Nederland zijn in het algemeen voorzien van schotten die de optredende gronddrukken reduceren tot circa 100 tot 200 kN/m². Een schot onder belasting zal altijd licht doorbuigen. De ondergrond dient daarom enige mate van elasticiteit te hebben om de stempeldruk effectief over het gehele oppervlak van het schot te spreiden.

Rupskranen zijn in het algemeen niet voorzien van standaardschotten. In de praktijk worden deze machines (tot de 750-tons klasse) meestal op een plateau van houten schotten geplaatst. Vaak betreffen dit Azobé schotten met een dikte van 20 cm, een breedte van 1 m en een lengte van 5 of 6 m. De schotten liggen dwars op de rijrichting van de rupskraan, in twee rijen, onder het hart van de beide rupsen. Bij twijfel over de geschiktheid van ondergrond wordt soms besloten het schottenpakket dubbel laags uit te voeren.

De effectieve breedte waarover een houten schot de optredende rupsdrukken spreidt hangt eveneens nauw samen met de eigenschappen van de ondergrond. Bij voorkeur voorziet de kraanverhuurder de civiele expert daarom van de optredende rupsdrukken én de specificaties van de te gebruiken schotten.

Men moet zich realiseren dat het toevoegen van zware schotten voor extra spreiding ook resulteert in extra belasting van de opstelplaats door het gewicht van deze schotten

3.6 ONDERHOUD EN DEMONTAGE

Voor onderhoudswerkzaamheden gelden dezelfde eisen aan de kraanopstelplaatsen als hier vóór beschreven. In het geval van onderhoud zijn de te hijsen gewichten meestal lager en de kraaninzetten korter dan bij de nieuwbouw. De kans dat er gebruik wordt gemaakt van telescoopkranen is om deze redenen groter.

Vaak wordt na de nieuwbouwfase de giek opbouwruimte niet langer vrijgehouden en wordt in sommige gevallen tevens de kraanopstelplaats verkleind. Daar waar er hijswerkzaamheden dienen te worden uitgevoerd, zijn er dus mogelijk tijdelijke maatregelen nodig om de kraan te kunnen opbouwen en de werkzaamheden veilig uit te voeren. Deze handreiking kan tevens worden toegepast op het ontwerp van deze tijdelijke kraanopstelplaatsen.

Na de exploitatieperiode wordt elke windturbine gedemonteerd. Het flexibel uitvoeren van de kraanopstelplaats tijdens de nieuwbouwfase vergroot de kans dat deze ook geschikt is voor de op dat moment verkrijgbare kranen. Zie ook hoofdstuk 3.2.4.

3.7 SAMENVATTING

De aspecten die ten aanzien van de kraankeuze, belastingen en specificaties bij het ontwerp van een kraanopstelplaats voor de bouw van windturbines zijn hieronder samengevat:

- De keuze voor een kraan wordt bepaald door:
 - De doorlooptijd van een project.
 - De beschikbare opbouwruimte.
 - Het aantal te plaatsen windturbines.
 - De beschikbaarheid van kranen.

- Als een kraanopstelplaats geschikt gemaakt is voor meerdere kraantypen, is de kans op vertragingen als gevolg van een mogelijk beperkte beschikbaarheid van kranen kleiner.
- Aan- en afvoerwegen moeten minimaal geschikt zijn voor voertuigen tot 100 ton (mobiele kranen en transportcombinaties) en aslasten tot 12 ton. Als de wegen tussen de turbinelocaties geschikt zijn gemaakt voor hogere gewichten en aslasten kunnen kranen in deels opgebouwde toestand worden verplaatst. Dit reduceert de op- en afbouwtijd van de kranen. Afhankelijk van de gekozen configuratie kunnen de machine gewichten hierbij oplopen tot 300 à 400 ton en de aslasten tot bijna 50 ton.
- Het is te adviseren om in het logistieke plan rekening te houden met keerruimtes, passeervlakken en het aanstellen van een 'truck pusher'.
- De kraanopstelplaats moet vlak en draagkrachtig zijn. Er dient rekening te worden gehouden met de posities en het gewicht van een eventuele superlift-tray. Hulpkranen moeten direct naast en achter de kraan kunnen worden geplaatst.
- De giek opbouwruimte moet vlak zijn en vrij van obstakels. Er dient rekening te worden gehouden met de aanvoer van de kraancomponenten, de posities van de hulpkranen en de bereikbaarheid van de bouwlocatie voor hulpdiensten.
- Bij rupskranen moet de giek haaks op of parallel aan de richting van de rupsen kunnen worden opgebouwd. Bij het opbouwen van de giek of hulpgiek van kranen voorzien van een onderwagen met stempels geldt dat de richting haaks op de onderwagen of over de achterzijde van de onderwagen sterk de voorkeur heeft. Bij sommige kraantypen zijn afwijkingen mogelijk, raadpleeg hiervoor de kraanverhuurder.
- Op de werklocatie rondom de kraanopstelplaats moet voldoende ruimte zijn voor het (zo nodig) in opslag plaatsen van componenten, de hiervoor benodigde kranen, toolcontainers, hulpmateriaal en schaftgelegenheden.
- De giek van de kraan moet ten allen tijde kunnen worden gestreken. Tijdens de hijswerkzaamheden moet de giek opbouwruimte vrij blijven van obstakels, de giekondersteuning moeten in positie blijven en zo ook de eventueel benodigde superlift-ballast.
- De door kraanverhuurders opgegeven stempel- en rupsdrukken zijn exclusief partiele belastingfactoren en houden geen rekening met dynamische effecten.
- Bij het bepalen van de maximale gronddrukken dient de kraanverhuurder de operationele situatie te beschouwen (mèt en zonder last in de haak) en daarnaast de giek-opricht situatie.
- De effectieve breedte waarover lasten onder kraanschotten worden gespreid hangt samen met de elasticiteit van de ondergrond.

De tabel in bijlage A geeft waarden voor optredende gronddrukken in verschillende situaties. Namelijk bij het oprichten van de giek en in de operationele situatie (bij het hijsen van de nacelle). Er wordt benadrukt dat deze waarden indicatief zijn en per project sterk kunnen verschillen. Leidend is en blijft daarom de door de kraanverhuurder op te stellen opbouw- en hijstekening. Hierin worden niet alleen de posities van de hoofdkraan en de hulpkranen aangegeven; ook worden de optredende stempel- en/of rupsdrukken bevestigd.

3.8 TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

De windturbines zullen de komende jaren nog blijven groeien wat betreft naafhoogte en rotor-diameter. Ook de kranen zullen verder worden doorontwikkeld. Echter, het omslagpunt waarbij de grootte van de kraan, en de daarmee samenhangende kosten, niet meer opweegt tegen het rendement van de windturbine is in zicht. Nieuwe ontwikkelingen dienen zich daarom aan.

VERBREDE HOOFDGIEK

Een ontwikkeling die zich al wel heeft doorgezet, is het lokaal verbreden van de hoofdgiek, waarmee deze beter bestand wordt gemaakt tegen side loads. De fabrikanten Demag en Liebherr bieden deze upgrade met namen als ‘boom booster’ en ‘power boom’ voor verschillende kraantypen aan.

FOTO 3.13

DE EERSTE KRAAN UITGERUST MET EEN LOKAAL VERBREDE GIEK, DE DEMAG CC8800-1 MET DE BOOM BOOSTER



RUPSKRAAN MET AFSTEMPELING

Tot op heden hebben de kraanfabrikanten de giekverlengingen binnen de eisen van de kraanontwerp norm NEN-EN 13000 [52] kunnen realiseren, zonder de basis waaraan de kranen hun stabiliteit ontleenen, te vergroten. Ook hierbij komt het einde in zicht en wordt de verwachting uitgesproken dat de nieuwe generaties rupskranen voor de werkzaamheden met zeer lange gieken zullen worden uitgerust met vier zware stempelpoten. Deze variant op de standaard rupskraan is niet geheel nieuw; in het verleden zijn er al dergelijke machines gebouwd. Als gevolg van de toename van de giek lengte zullen we deze modificatie echter weer terugzien.

FOTO 3.14

EEN NIEUWE RUPSKRAAN UITGERUST MET STEMPOTPOTEN OP HET TESTTERREIN VAN LIEBHERR



OUT OF SERVICE STABILITEIT

Een andere toekomstige ontwikkeling betreft een uitbreiding op de NEN-EN 13000 [52] ten aanzien van de stabiliteitsregels van de kranen. Het betreft de stabiliteit van de kraan in de 'out of service' situatie; de operationele situatie waarbij de kraan met opgerichte giek is opgesteld, maar er geen hijswerkzaamheden worden uitgevoerd. De combinatie van een lege haak (geen neerwaarts gerichte kracht) en een zeer lange windgevoelige giek, kan bij zware wind een kritische situatie opleveren ten aanzien van de stabiliteit van de kraan. Om deze reden zullen de stabiliteitsregels worden uitgebreid met een deel dat de 'out of service' situatie belicht.

4

GEOTECHNISCH- EN GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK

4.1 INLEIDING

Kraanopstelplaatsen dienen per definitie voldoende veilig en stabiel te zijn. Veiligheid en stabiliteit van een kraan wordt primair verkregen door een draagkrachtige werkvloer of kraanopstelplaats en een voldoende sterke en stijve ondergrond. Grondvervormingen als zettingen, die onder de operationele kraanbelastingen optreden, dienen binnen vastgestelde eisen te blijven.

In het ontwerp dient de stabiliteit (sterkte) en de mate van vervorming van de ondergrond te worden berekend en getoetst aan de eisen, vigerende normen en richtlijnen.

Indien de ondergrond van nature niet voldoende sterk en stijf is zal deze door middel van een grondverbetering moeten worden verbeterd of zullen de belastingen naar de dieper gelegen draagkrachtige zandlagen moeten worden afgedragen.

Ook de eigenschappen en de geometrie van de kraanopstelplaats kunnen worden verbeterd, bijvoorbeeld door toepassing van menggranulaat al dan niet in combinatie met een geotextiel als wapening.

De sterkte en vervormingen van de ondergrond worden berekend en getoetst met de karakteristieke gemiddelde waarden van grondeigenschappen van de betreffende grondlagen. De karakteristieke eigenschappen worden bepaald aan de hand van grondonderzoek (geotechnisch onderzoek). Ook de grondwaterstand en de stijghoogte in de ondergrond worden gemeten (geohydrologisch onderzoek).

Mede doordat geotechnische en geohydrologische eigenschappen van de ondergrond zeer lokaal worden gemeten (puntmetingen), worden deze gekenmerkt door een relatief hoge mate van onzekerheid. De mate van onzekerheid wordt bepaald door de hoeveelheid informatie over de grondopbouw, de grondeigenschappen en het grondgedrag.

De mate van variatie en de nauwkeurigheid van de grondeigenschappen, grondwaterstand en stijghoogte bepalen de betrouwbaarheid van het grondgedrag en daarmee de geotechnische risico's.

Geotechnische risico's kunnen goed worden beheerst door toepassing van z.g. Geotechnisch Risico Management. GeoRM biedt de mogelijkheid om op gestructureerde wijze om te gaan met de onzekere factoren die de verschillende geotechnische risico's bepalen.

Volgens het proces van GeoRM dient grondonderzoek risicogestuurd te worden uitgevoerd. Risicogestuurd grondonderzoek is gekoppeld aan de procedure voor GeoRM en past binnen de algemeen bekende en gebruikte methodiek van het RISMAN proces. In bijlage B is de basis voor een risicogestuurde aanpak van grondonderzoek beschreven.

Concreet betekent risicogestuurd grondonderzoek dat de hoeveelheid en het detailniveau van het grondonderzoek wordt afgestemd op de specifieke geotechnische risico's die spelen

bij kraanopstelplaatsen. Het grondonderzoek wordt daarbij naar behoefte per projectfase en/of gewenst detailniveau vastgesteld. In paragraaf 4.4 tot en met 4.6 is het type en de hoeveelheid grondonderzoek bepaald.

Het benodigde type, de hoeveelheid en het detailniveau van het grondonderzoek voor een kraanopstelplaats is echter niet in generieke zin op te geven. Elke projectlocatie en specifieke omstandigheden vergen maatwerk.

De resultaten van het grondonderzoek dienen over het algemeen beschikbaar te zijn in dezelfde fase. Dit betekent dat het onderzoek al moet zijn uitgevoerd voordat de eerste stap van de betreffende fase is doorlopen. Hierbij moet terdege rekening worden gehouden met de benodigde doorlooptijd voor uitvoering van het grondonderzoek; niet alleen voor het uitvoeren van het terreinonderzoek, maar zeker ook van het laboratoriumonderzoek!

Opgemerkt wordt 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 risico-gestuurd plaatsvindt, kan dit met name effectief zijn voor projecten waarbij in een vroeg stadium al een compleet beeld van de risico's nodig is.

De opzet van hoofdstuk 4 is gebaseerd op de richtlijn CUR/Geo-Impuls-rapport 247 Risico-gestuurd grondonderzoek, van planfase tot realisatie [17].

4.2 NORMEN EN RICHTLIJNEN

NEN-EN 1997-2 [47] en [48] bevat de normen voor het uitvoeren van grondonderzoek. Daarnaast is veel informatie en de nodige handreikingen over het uitvoeren van een grondonderzoek terug te vinden in CUR162 [12], CUR-rapport 2003-7 [14] en CUR/CROW-publicatie Richtlijn Geotechnisch laboratoriumonderzoek [21]. Ook de British Standard BS 5930 [7] en de ICE-publicatie [28] bevat richtlijnen voor de opzet van grondonderzoek.

Voor een leidraad naar de relevante normen en richtlijnen wordt verwezen naar bijlage C.

4.3 RISICO-INVENTARISATIE

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

Voor een kraanopstelplaats 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 kraanopstelplaats aandacht moeten worden besteed. In onderstaande tabellen zijn deze risico's samengevat en wordt de relatie met het type grondonderzoek gelegd.

GEOTECHNISCHE RISICO'S EN GEVOLGEN DAARVAN BIJ EEN KRAANOPSTELPLAATS

Geotechnisch risico	Gevolg
Onvoldoende draagkracht ondergrond	Bezwijken ondergrond, onvoldoende randstabiliteit, omvallen kraan, blijvend sterkteverlies ondergrond, overschrijding planning en budget
Te veel (verschil)zetting van de ondergrond	Ontoelaatbare scheefstand kraan, niet meer kunnen corrigeren van de scheefstand
Hoge grondwaterstand	Instabiliteit en ontoelaatbare grondvervormingen
Onvoldoende verdichting grondverbetering	Onvoldoende dichtheid, sterkte en stijfheid van het granulaire pakket. Hetgeen weer kan leiden tot (verschil)zetting en draagkracht
Omgevingsbeïnvloeding; deformaties van omliggende constructies	Schade aan omliggende bebouwing, kabels / leidingen, waterkeringen, imagoschade
Verstoringsen door trillingen en geluid	Omgevingsschade, claims, vertraging, imagoschade

RELATIE GEOTECHNISCHE RISICO'S EN GRONDONDERZOEK BIJ EEN KRAANOPSTELPLAATS

Geotechnisch risico	Achterliggende oorzaak	Grondonderzoek
Onvoldoende draagkracht ondergrond	Bodemopbouw is anders dan verwacht	Sonderingen met waterspanningsmeting, boringen met geroerde en ongeroerde monsternamen
	Laagdikte is groter dan verwacht	Sonderingen, boringen met geroerde en ongeroerde monsternamen, nadere classificatie
	Verkeerde inschatting grondsoort	Sonderingen met waterspanningsmeting, boringen met geroerde en ongeroerde monsternamen
	Dichtheid en sterkte zijn lager dan verwacht	Sonderingen, boringen met geroerde en ongeroerde monsternamen, nadere classificatie, triaxiaal, DSS (veen)
	Verkeerde keuze grondverbetering	Sonderingen, boringen met geroerde en ongeroerde monsternamen, nadere classificatie, triaxiaal, DSS (veen), samendrukkingsproef
Te veel zetting ondergrond	Bodemopbouw is anders verwacht	Sonderingen met waterspanningsmeting, boringen met geroerde en ongeroerde monsternamen
	Laagdikte is groter dan verwacht	Sonderingen, boringen met geroerde en ongeroerde monsternamen, nadere classificatie
	Dichtheid en stijfheid zijn lager dan verwacht	Sonderingen, boringen met geroerde en ongeroerde monsternamen, nadere classificatie, samendrukkingsproef
	Grondwaterstand en/of stijghoogten zijn anders dan verwacht	Sonderingen met waterspanningsmeting, peilbuizen plaatsen
	Verkeerde inschatting grondsoort	Sonderingen met waterspanningsmeting, boringen met geroerde en ongeroerde monsternamen
Hoge grondwaterstand	Relatief lage draagkracht ondergrond en relatief lage initiële korrelspanningen	Sonderingen met piëzo conus, peilbuizen, waterspanningsmeters
Onvoldoende verdichting grondverbetering	Niet de juiste verdichtingsmethode gekozen, te licht of te zwaar, te weinig klankbord. Zand is niet verdicht	(Hand)sonderingen, nucleaire dichtheidsmetingen, steekringmethode en proctorproef
Omgevingsbeïnvloeding; deformaties van omliggende constructies	Ondergrond vervormt teveel door onjuiste stijfheidsparameters van de ondergrond	Sonderingen, boringen met triaxiaalproeven en/of samendrukkingsproeven
Verstoringen door trillingen en geluid i.g.v. paalmatras of toepassing van damwanden	Trillingen (bv door heien) veroorzaken naverdichting in los gepakt zand of via zandlagen worden trillingen door-gegeven aan naburige bebouwing met schade en overlast tot gevolg	Sonderingen en boringen

4.4 DETAILNIVEAU: ZEER GROF (SCHETS- EN INITIATIEFASE)

4.4.1 OMSCHRIJVING

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

Over het algemeen zijn in deze fase nog niet veel gegevens bekend. Veelal zal in deze fase bijvoorbeeld de exacte locatie van de te bouwen windturbine of de exacte locatie van de kraanopstelplaats en de bouwwegen nog niet vastliggen.

In de schets- en initiatiefase wordt vooral nagedacht over typen constructies en de methoden van uitvoering, omdat deze mede de haalbaarheid bepalen. Informatie over de ondergrond is mede bepalend voor bijvoorbeeld een juiste locatie- of tracékeuze.

4.4.2 TYPE BEREKENINGEN

Omdat in de schets- en initiatiefase nog weinig gegevens bekend zijn en nog grote keuzevrijheid bestaat, kunnen en zullen in deze fase alleen verkennende berekeningen worden gemaakt op basis van vuistregels en correlaties.

Hierbij kan men denken aan verkennende zettings- en stabiliteitsberekeningen op basis van grondparameters, herleid uit sondeergrafieken, al dan niet in combinatie met ervaringsgetallen uit het gebied of Tabel 2.b van NEN 9997-1 [46].

4.4.3 TYPE GRONDONDERZOEK

In de schets- en initiatiefase worden eerst bestaande gegevens uit algemeen beschikbare bronnen geraadpleegd. De behoefte om grondonderzoek uit te voeren wordt vooral bepaald in hoeverre op basis van de bestaande gegevens conclusies kunnen worden getrokken over de grondopbouw. Deze worden getrokken door een geotechnisch adviseur.

Na inventarisatie van de bestaande gegevens kan grondonderzoek worden overwogen. Soms is in deze fase aanvullend grondonderzoek nodig omdat cruciale gegevens volledig of op een belangrijk deel van de projectlocatie ontbreken.

In deze fase is het allereerst van belang alle bestaande gegevens uit historische informatie te achterhalen die van belang kunnen zijn voor de te maken keuzes. Historisch onderzoek kan bestaan uit:

- Lucht- en satellietfoto's.
- Actueel Hoogtebestand Nederland.
- Geologische kaartbladen TNO, raadplegen Landelijke kartering van de toplaag (geologie).
- 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.
- Polderpeilen op basis van peilbesluiten.
- Voor zover beschikbaar: bestaande ontwerprapporten naburige werken.
- Voor zover beschikbaar: monitoringsdata (zetting, zanddikte) naburige werken.

Eventueel aanvullend grondonderzoek vooruitlopend op de VO fase 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 verschilzettingen, worden herkend. Indien het terrein vroeger bebouwd is geweest, is het belangrijk om informatie over de vroegere fundering te kennen. Mogelijk zijn nog funderingsresten aanwezig of is door het trekken van funderingspalen kortsluiting tussen het diepere en ondiepe grondwater gemaakt.

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 bijvoorbeeld de haalbaarheid van het inbrengen van verticale drains.

Veel historische informatie zoals oude landkaarten en luchtfoto's zijn te vinden op internet. Daarnaast is er uiteraard de mogelijkheid om via papieren archieven (gemeentelijke archieven, Nationaal Archief e.d.) historische documenten (bouw – en funderingstekeningen) en informatie te achterhalen om tot een beter inzicht te komen omtrent de geschiedenis van het bouwterrein.

LOCATIEBEZOEK

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. Het reliëf en de kenmerken van in de nabijheid gelegen terreinen kunnen inzicht geven in de heterogeniteit van de ondergrond en 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.).

Het waterpeil in watergangen geeft bijvoorbeeld een indicatie van de grondwaterstand.

Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)

Met behulp van de kaarten van het AHN is de heterogeniteit van de ondergrond op de bouwlocatie soms al duidelijk te herkennen, zie foto 4.1. 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.

FOTO 4.1 ACTUEEL HOOGTEBESTAND NEDERLAND (AHN)



DINO-LOKET

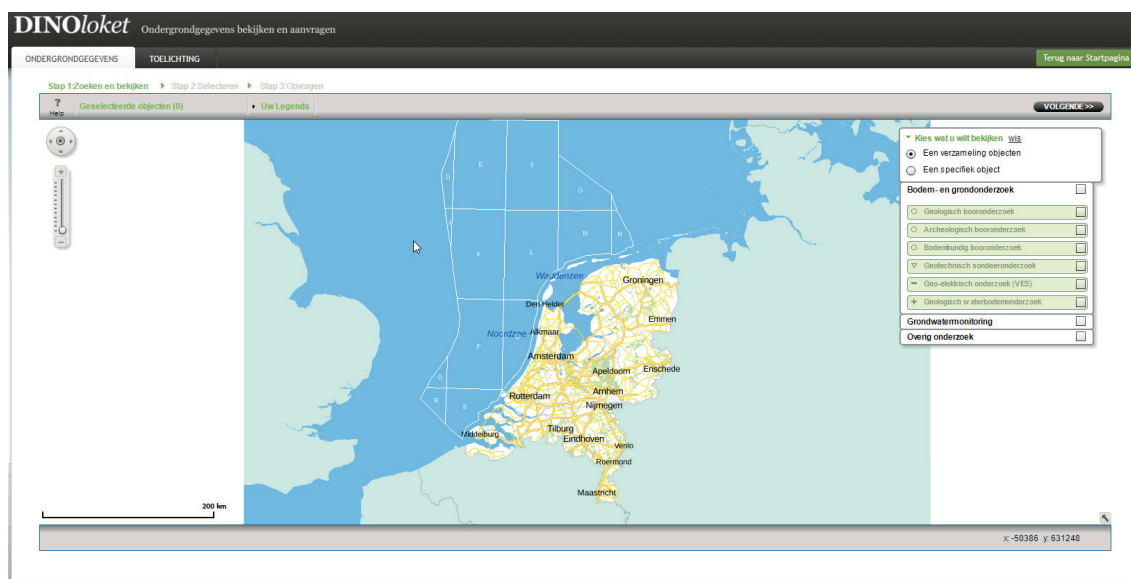
Het DINOloket ontsluit gegevens van de Nederlandse Ondergrond die door GDN (onderdeel TNO) worden beheerd in verschillende databases (DINO database en BRO database), zie foto 4.2.

Deze databases bevatten gegevens en de daarop gebaseerde en afgeleide informatie. Kenmerkend is dat veel gegevens zijn aangeleverd door bedrijven, overheidsinstellingen en

burgers. De oudste gegevens gaan terug tot de 19^e eeuw. Er komen regelmatig nieuwe gegevens bij. De gegevens worden onder andere benut op het gebied van veiligheid, duurzaamheid, mijnbouw, drinkwater en bouwprojecten.

FOTO 4.2

DINO-LOKET VOOR BEKIJKEN EN AANVRAGEN EN ONDERGRONDGEGEVENS



4.4.4 HOEVEELHEID GRONDONDERZOEK

Als uit het historisch onderzoek blijkt dat in deze projectfase aanvullend grondonderzoek nodig is kan worden gestart met het uitvoeren van enkele sonderingen op het bouwterrein op een onderlinge afstand van ca. 25 m. Indien een voorkeurslocatie voor de kraanopstelplaats bekend is worden de sonderingen op deze locatie uitgevoerd.

Om een indruk te krijgen van de stijghoogte in de verschillende grondlagen kan de sondering worden uitgevoerd met een piëzoconus waarmee, naast de gebruikelijke conusweerstand en de plaatselijke wrijving, ook de waterspanning wordt gemeten. Met deze meting is ook een meer nauwkeurige classificatie mogelijk.

Een indruk van de freatische grondwaterstand kan worden verkregen door een korte peilbuis te plaatsen aan de rand van het bouwterrein.

De diepte van het uit te voeren grondonderzoek volgt uit het historisch onderzoek of uit de resultaten van het sonderonderzoek. De maximale te onderzoeken diepte is afhankelijk van het type fundering en de invloedsdiepte hiervan.

Op basis van de resultaten van de uitgevoerde sonderingen kan in deze projectfase al worden besloten om een boring uit te voeren, eventueel met de bijbehorende laboratoriumbepalingen.

Dit besluit hangt af van de aangetroffen variatie in de grondopbouw op basis van de sonderingen en de grootte c.q. de verwachte complexiteit van het project.

Of boringen al in deze fase of in de volgende fase van het voorontwerp worden uitgevoerd, is onder meer afhankelijk van de behoefte aan aanvullende informatie om de haalbaarheid van project te kunnen beoordelen. Ook de beschikbare tijd speelt een rol of aanvullend grondonderzoek kan worden uitgevoerd.

Boringen worden uitgevoerd direct naast de maatgevend geachte sonderingen. De boorgaten kunnen direct worden gebruikt voor plaatsing van peilbuizen.

4.5 DETAILNIVEAU: GROF (VOORONTWERP)

4.5.1 OMSCHRIJVING

In de VO-fase is de projectlocatie gekozen en zijn de belangrijkste geotechnische eisen bekend. De te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een grove werkplanning en een grove prijsvorming mogelijk te maken. In deze fase zal de keuze moeten worden gemaakt voor het type kraan en de bijbehorende kraanbelastingen en zal een haalbare technische oplossing voor de kraanopstelplaats moeten worden verkregen.

4.5.2 TYPEN BEREKENINGEN

Voor het ontwerp van een haalbare technische oplossing worden in het algemeen berekeningen uitgevoerd met de standaard ontwerptools binnen de geotechniek. Afhankelijk van het type project gaat het hierbij om analytische berekeningen voor sterkte, stabiliteit en vervorming van verschillende funderingsoplossingen.

Voor specifieke gevallen kan het nodig zijn om berekeningen met het EEM Plaxis uit te voeren. De grondparameters zijn afhankelijk van het benodigde grondmodel. De keuze van het grondmodel wordt aan de hand van het te onderzoeken mechanisme door een geotechnisch adviseur bepaald.

Het type en de hoeveelheid grondonderzoek dient te zijn afgestemd op het type berekening. Hoe geavanceerder de berekening hoe specifieker het grondonderzoek moet zijn om tot betrouwbare grondparameters te komen. In Tabel 4.1 zijn de meest gangbare grondparameters weergegeven voor analytische en EEM zettings- en stabiliteitsberekeningen.

TABEL 4.1 BENODIGDE PARAMETERS VOOR ANALYTISCHE- EN EEM BEREKENINGEN

Grondparameter	Type berekening			
	Vervorming / Zetting		Stabiliteit	
	Analytisch	EEM	Analytisch	EEM
Vol. Gew. (γ en γ_{sat})	x	x	x	x
Cohesie (c')	-	x	x	x
Ongedraineerde schuifsterkte (c_u of s_u)	-	-	x	-
Hoek van inwendige wrijving (ϕ' , ψ)	-	x	x	x
Consolidatie coëfficiënt (c_v)	x	-	-	-
Waterdoorlatendheid (k)	-	x	-	x
Samendrukkingsconstante	x	-	-	-
(C_p , C_s - C_c , C_{α} , C_{sw} - a , b , c) ¹⁾ en (λ , κ , μ) ²⁾				
Belasting geschiedenis (σ_g , OCR, POP, K_0)	x	x	-	-
Elasticiteitsmodulus (E , ν , E_{oed} , E_{50} , E_{ur} , G_0 , $\gamma_{0,7}$) ³⁾	-	x	-	x

1) Respectievelijk voor het Koppejan, Bjerrum en a,b,c model

2) SS en SSC model EEM Plaxis, al dan niet met superscript *

3) MC, HS en HSSS model

De karakteristieke waarden voor de parameters worden bepaald of geschat aan de hand van laboratoriumonderzoek en correlaties aan de hand van sonderingen. De methode om de karakteristieke waarde van grondparameters te bepalen of te schatten is in NEN 9997-1 art 2.4.5.2 beschreven. Op de beproevingsmethode wordt in paragraaf 4.5.3 nader ingegaan.

De berekeningen worden uitgevoerd op een aantal maatgevende dwarsprofielen voor de nodige varianten.

Afhankelijk van de mogelijke varianten en de invloed hiervan op de omgeving wordt in de VO-fase ook een oriënterende inventarisatie van de kwetsbare objecten in de nabijheid van de kraanopstelplaats gedaan.

Aan de hand van de berekeningsresultaten wordt bepaald welk aanvullend grondonderzoek voor het definitief ontwerp nodig is.

4.5.3 TYPEN GRONDONDERZOEK

In de VO-fase dient in principe al het benodigde grondonderzoek te zijn uitgevoerd. In deze fase moet qua omvang van het grondonderzoek worden voldaan aan de normen en de gestelde eisen; zie hiervoor bijlage C als leidraad.

Voor de VO-fase zal over het algemeen het volgende type grondonderzoek beschikbaar moeten zijn:

Veldonderzoek

- Alle data uit de vorige fase(n)
- Sonderingen
- Boringen
- Peilbuizen en eventueel waterspanningsmeters

Laboratoriumonderzoek

- Classificatie grondsoorten (volume gewicht nat/droog, watergehalte, ongedraineerde schuifsterkte, Atterbergse grenzen) en boorbeschrijving
- Samendrukkingproeven
- Triaxiaalproeven

Het laboratoriumonderzoek wordt uitgevoerd op geroerde en ongeroerde monsters die tijdens het boren zijn opgehaald. Voor de samendrukking- en triaxiaalproeven zijn altijd ongeroerde monster nodig. Een deel van de classificatieproeven kan op ongeroerde monster worden uitgevoerd.

Belangrijke aandachtspunten en richtlijnen voor het opdragen van laboratoriumonderzoek worden gegeven in CUR/CROW-publicatie, Richtlijn Geotechnisch laboratoriumonderzoek [21].

De uit laboratorium onderzoek te bepalen samendrukking- en sterkteparameters voor de in Tabel 4.1 genoemde zettings- en stabiliteitsberekeningen zijn weergegeven in Tabel 4.2.

TABEL 4.2 PARAMETERS UIT LABORATORIUMPROEVEN

Proef	Parameter**
Samendrukkingproef (samendrukking)*	$P_g, c_v; k; v; C_p; C_s; C_c; C_{\alpha}; C_{sw}; C_r; a; b; c; \lambda; \kappa; \mu; E_{oed}; E_{ur}$
Triaxiaalproef (sterkte)	$\phi'; c'; E_{50}; \psi; c_u$

*de overconsolidatiegraad (OCR), de pre overburden pressue (POP) worden ook bepaald. Samen met de grensspanning P_g beschrijven deze waarden de spanningsgeschiedenis;

**Voor EEM Plaxis modellen zijn alleen de parameters voor het HS-model vermeld. Voor de overige modellen als SSC en HSSS wordt verwezen naar de PLAXIS manual over material models.

Op basis van de resultaten uit deze fase wordt door een geotechnisch adviseur 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 (meer in detail) in een vervolgfase worden onderzocht.

4.5.4 HOEVEELHEID GRONDONDERZOEK

Een algemene richtlijn voor de benodigde hoeveelheid sonderingen en boringen is moeilijk te geven en zal afhangen van de verwachten variatie in de grondopbouw en de aanwezigheid van slappe bodemlagen.

De informatie over de variatie in de grondbouw die reeds is ingewonnen tijdens de schets- en initiatiefase is het uitgangspunt voor de hoeveelheid uit te voeren grondonderzoek in de VO fase.

De uiteindelijke hoeveelheid grondonderzoek dient projectspecifiek door een geotechnisch adviseur te worden vastgesteld, waarbij een risicogestuurde benadering wordt gehanteerd.

Bij het opzetten van het onderzoek dient rekening gehouden te worden met de eventuele aanwezigheid van nabij gelegen kwetsbare objecten, kabels en leidingen, obstakels in de ondergrond (bijvoorbeeld niet gesprongen explosieven), oude watergangen e.d.

De onderzoeksdiepte volgt uit de resultaten van het historisch onderzoek. Het onderzoek moet over ten minste de invloedsdiepte van de fundering worden uitgevoerd. Hierbij moet de invloedsdiepte van zowel de vervormings- als de sterkte aspecten zijn meegenomen.

Afhankelijk van de grootte en de vorm van de kraanopstelplaats wordt geadviseerd om een aantal sonderingen aan de randen en een aantal sonderingen in het midden van de kraanopstelplaats uit te voeren. Onafhankelijk van de grootte van de opstelplaats dienen minimaal 2 sonderingen te worden uitgevoerd op een onderlinge afstand van maximaal 20 m.

Om een indruk te krijgen van de stijghoogte in de verschillende grondlagen wordt geadviseerd om minimaal 1 sondering uit te voeren met een piëzoconus waarmee, naast de gebruikelijke conusweerstand en de plaatselijke wrijving, ook de waterspanning wordt gemeten. Met deze meting is ook een meer nauwkeurige classificatie mogelijk.

De freatische grondwaterstand kan worden gemeten in 1 of 2 peilbuizen van 2 tot 3 m diepte te plaatsen aan de randen van het bouwterrein.

Indien het terrein voor de kraanopstelplaats bouwrijp moet worden gemaakt door een voorbelasting aan te brengen wordt, afhankelijk van de hoogte van de voorbelasting, geadviseerd om een paar waterspanningsmeters te plaatsen. Voor ophogingen tot 2 m of bij relatief sterke ondergrond zijn geen waterspanningsmeters nodig.

Bij kraanopstelplaatsen op slappe ondergrond dienen voldoende gegevens uit boringen te worden bepaald. Op basis van de resultaten van de sonderingen die zijn uitgevoerd wordt ter plaatse van de randen van de kraanopstelplaats minimaal 1 boring uitgevoerd met geroerde en ongeroerde monsternamen en de bijbehorende laboratoriumbepalingen.

De boorgaten kunnen direct worden gebruikt voor plaatsing van peilbuizen.

Er dient ten minste 1 en bij voorkeur 3 of meer ongeroerde monsters per te onderscheiden samendrukbare laag te worden beproefd voor het bepalen van de karakteristieke waarden van zowel de samendrukking- en consolidatieparameters als de sterkteparameters.

Voor slappe lagen die een groot aandeel vormen in de te verwachten stabiliteit en zetting (bijvoorbeeld ondiepe dikke veenlagen) is het aan te bevelen om minimaal 3 monsters te beproeven op sterkte en samendrukking.

Bij voorkeur worden meer dan 3 monsters beproefd, omdat hiermee een betere schatting van de karakteristieke waarden mogelijk is in vergelijking met de veilige waarden in Tabel 2.b van NEN99971 [46]. In CUR-rapport 2008-2 [15] is dit feit ook onderkend.

Een boring wordt bij voorkeur altijd direct naast een maatgevend geachte sondering uitgevoerd.

De diepte van uit te voeren boringen volgt uit de resultaten van het sondeeronderzoek en zal over het algemeen tot 1 m in het vaste zand reiken.

Voor terreinen aan te leggen op een zandige ondergrond kan door middel van korte (hand) sonderingen worden bepaald of bijvoorbeeld grondverbetering van losgepakte zandlagen noodzakelijk is. Een dergelijk onderzoek zal zich beperken tot de bovenste grondlagen op het terrein.

Voor een op palen te funderen kraanopstelplaats 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 het gestelde in NEN 9997-1 [46], tot ten minste 5 m onder het te verwachten paalpuntniveau worden uitgevoerd.

4.6 DETAILNIVEAU: FIJN (DEFINITIEF ONTWERP)

4.6.1 OMSCHRIJVING

In de DO-fase zijn alle basiskeuzen voor ontwerp en deels voor de uitvoering gemaakt. Wat nu volgt is het verder uitdetailleren. Dit betreft zowel ontwerpaspecten als uitvoeringswijze en planningsaspecten.

De nu te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om het detail- en realisatieontwerp mogelijk te maken.

4.6.2 TYPEN BEREKENINGEN

In de DO-fase worden ontwerp- en toetsingsberekeningen uitgevoerd voor alle onderdelen van het ontwerp. Evenals in de vorige fase zal daarbij weer van de standaard geotechnische ontwerptools gebruik worden gemaakt. Afhankelijk van het type project kunnen ook meer geavanceerde berekeningen worden uitgevoerd, zoals bijvoorbeeld eindige elementen analyses om de gronddeformaties en de stabiliteit nader te kunnen beoordelen. Daarnaast zal in deze fase uitgebreid aandacht worden besteed aan omgevingsbeïnvloeding. Denk hierbij aan horizontale en verticale gronddeformaties, trillingen en geluid.

4.6.3 TYPE EN HOEEVEELHEID GRONDONDERZOEK

Het grondonderzoek voor de DO-fase is een verdere verfijning van het grondonderzoek. Over het algemeen is er dan ook voldoende grondonderzoek beschikbaar om het realisatieontwerp te maken.

Over 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.

5

ONTWERP

5.1 INLEIDING

Het ontwerpproces van de kraanopstelplaats staat centraal in de handreiking en wordt toegelicht in paragraaf 5.2.

Het ontwerp van een kraanopstelplaats dient voldoende veilig te zijn en moet voldoen aan de vigerende normen. Er kan onderscheid worden gemaakt in de veiligheid van de kraan zelf en de veiligheid van de kraanfundering. Voor de toetsing van beide aspecten zijn aparte normen beschikbaar. Bij het bepalen van de kraanbelastingen en het toetsen van het draagvermogen dient rekening te worden gehouden met de verschillende veiligheidsfilosofieën van beide normen.

Uit de specificaties van de turbineleverancier volgen de uitgangspunten voor het ontwerp van de kraanopstelplaats. De volgende uitgangspunten dienen bekend te zijn ofwel vastgesteld te worden:

- Type te bouwen windturbine.
- Type kraan benodigd voor de bouw van de windturbine.¹
- Belastingen op de kraanopstelplaats.
- Contactspanningen en bijbehorend contactoppervlak.
- Grondopbouw, grondparameters, grondwaterstand en stijghoogten.
- Benodigde veiligheidsniveau en de risico's.
- Ruimtebeslag.
- Functies en geometrie van de kraanopstelplaats.
- Eisen vanuit de omgeving.

Aan de hand van de uitgangspunten wordt het ontwerp van een kraanopstelplaats gemaakt. Daarbij dient in ieder geval rekening te worden gehouden met de volgende aspecten:

- Ruimtelijke inpassing in de omgeving.
- Drooglegging.
- Draagkracht of draagvermogen (dit bepaalt in het algemeen het type fundering).
- Zettingen.
- Taludstabiliteit.

Het ontwerp van de kraanopstelplaats is onder andere afhankelijk van het type windturbine en de benodigde kraan. Dit zorgt in het ontwerpproces vaak voor knelpunten, omdat in een vroeg stadium deze keuzes vaak nog niet exact vastliggen. Hiervoor is afstemming benodigd tussen de verschillende partijen (turbineleveranciers, kraanverhuurders en ontwerpers). Belangrijk hierbij is het bespreken en vastleggen van de uitgangspunten door de verschillende betrokken partijen. Met name de belastingen vanuit de kraan en de rups- of stempeldrukken

¹ Aanbevolen wordt om een kraanopstelplaats niet geschikt te maken voor slechts één type kraan, maar voor meerdere typen kranen. Een kraantype kan namelijk wijzigen tijdens het ontwerpproces, en voor onderhoud en/of demontage zijn wellicht andere kraantypen benodigd of beschikbaar.

op de ondergrond zijn belangrijke uitgangspunten en moeten voor alle partijen gelijk zijn. Door een goede afstemming hierover kan worden voorkomen dat de betrokken partijen verschillende uitgangspunten hanteren, met als gevolg een verkeerd ontwerp, het achteraf moeten aanpassen van het ontwerp en/of het onderschatten van geotechnische risico's.

Vanwege de afstemming van de uitgangspunten is het van belang om in een vroeg stadium te beginnen met het ontwerp van de kraanopstelplaats. Voor de ruimtelijke inpassing is dit van belang, omdat het raakt aan eventuele benodigde vergunningen. Maar dit geldt ook voor het geotechnische ontwerp. Door in een vroeg stadium te beginnen met het geotechnisch ontwerp kunnen geotechnische risico's worden bepaald. Deze risico's kunnen ook gevolgen hebben voor de oplossingsrichtingen in relatie tot de omgeving en voor eventuele benodigde vergunningen: denk aan het wel of niet toepassen van een fundering op palen, of het graven van sloten ten behoeve van de afwatering van de kraanopstelplaats.

In de onderstaande paragrafen zijn aanbevelingen opgenomen voor het ontwerp van een kraanopstelplaats. Indien mogelijk is hierbij onderscheid gemaakt tussen de verschillende ontwerpstadia (Voorontwerp versus Definitief Ontwerp).

5.2 ONTWERPPROCES

Het kader van het ontwerpproces is weergegeven in de processchema's in Figuur 1.1 en Figuur 1.2.

Het is belangrijk om vast te stellen dat in de meeste gevallen de toe te passen kraanconfiguratie bij de start van het ontwerpproces nog niet bekend is. Pas in een laat stadium, net voor de bouw, wordt een definitieve kraankeuze gemaakt. De aannames voor de kraan aan het begin van het ontwerpproces worden daarom meestal gedaan op basis van:

1. Specificaties van de turbinefabrikant (vaak blijft dit beperkt tot een oppervlaktedruk die de opstelplaats moeten kunnen weerstaan).
2. Ervaringsgetallen van de ontwerper.

Het ontwerp en de aanleg van de opstelplaats worden hierop gebaseerd.

Het is daarom van het grootste belang dat er op tijd voor de hijsoperatie een verificatie plaatsvindt van de aangelegde opstelplaats op basis van de uiteindelijk gekozen kraanconfiguratie. Op die wijze kan de geschiktheid van de opstelplaats voor de gekozen kraan worden vastgesteld. Nog te vaak wordt dit niet / niet op tijd gedaan met als gevolg schade en / of stagnatie van het hijsproces.

Het is in het belang van alle betrokken partijen (turbineleverancier, kraanbedrijf, civiele aannemer, opdrachtgever) dat er een dergelijke verificatie plaatsvindt. De ontwerper van de opstelplaats voert deze verificatie bij voorkeur uit, maar er kan ook voor een onafhankelijke controlepartij worden gekozen.

Een ander aandachtspunt in dit proces is de aanname die voor het ontwerp wordt gedaan. Het komt voor dat er, omwille van besparing, bewust een lagere ontwerpbelasting wordt aangenomen. Er wordt daarbij voorgesorteerd op het aanbrengen van extra kraanschotten welke de oppervlaktedruk op het kraanvlak verder moeten verdelen. Hiermee wordt feitelijk een deel van de ontwerpverantwoordelijkheid naar een andere partij (vaak de kraanverhuurder) geschoven. Men moet zich echter realiseren dat de kraanverhuurder geen expertise heeft om te beoordelen of er voldoende spreiding door de schotten optreedt. De spreiding die schotten

kunnen realiseren is afhankelijk van stijfheden en stijfheidsverhoudingen van schotten in relatie tot de ondergrond. Het is daarom het uitdrukkelijke advies om de schottenconfiguratie direct mee te nemen in het ontwerp van de kraanopstelplaats.

5.3 VEILIGHEIDSNIVEAU EN BETROUWBAARHEIDSKLASSEN

Het ontwerp van een kraanopstelplaats dient voldoende veilig te zijn en moet voldoen aan de vigerende normen. Er kan onderscheid worden gemaakt in de veiligheid van de kraan zelf en de veiligheid van de kraanfundering. Beide aspecten worden beschreven in een aparte normen.

In lijn hiermee kan ten aanzien van de normen onderscheid worden gemaakt in kraanstabiliteit en funderingsstabiliteit. De veiligheid van de kraan is geborgd in NENEN 13001-2 [53]. De veiligheid en stabiliteit van de kraanfundering is geborgd in de civiele ontwerpnormen NEN 99971 [46], NEN-EN 1990 [50] en NEN-EN 1991-1 [51].

Deze handreiking gaat feitelijk niet over de stabiliteit van de kraan en de onderdelen zelf, maar over de funderingsstabiliteit van de kraanopstelplaats. Bij het toetsen van de funderingsstabiliteit speelt het toelaatbare draagvermogen van de ondergrond en de belastingen vanuit de kraan uiteraard een belangrijke rol.

Een aandachtspunt bij het bepalen van de kraanbelastingen en het toetsen van het draagvermogen is dat rekening dient te worden gehouden met de verschillende veiligheidsfilosofieën in de hijskranennorm en die in de civiele ontwerpnormen. De partiele belastingfactoren uit de kraannorm zijn in principe niet geldig voor de belastingen in de geest van de civiele toepassingen.

Uitgangspunt voor de handreiking is om de kraanbelastingen op de kraanopstelplaats, die worden opgegeven door de kraanverhuurder, te zien als representatieve belastingen. De rekenwaarden van de belastingen voor de toetsing van de funderingsstabiliteit van de kraanopstelplaats, worden dan vervolgens bepaald met de partiele factoren uit de civiele normen.

Bij het maken van het ontwerp van de kraanopstelplaats dient een keuze te worden gemaakt voor een veiligheidsniveau. Het veiligheidsniveau wordt gedefinieerd volgens NEN-EN 1990 [50] door middel van een betrouwbaarheidsklasse RC1, RC2 of RC3. De keuze bepaalt met welke veiligheidsfactoren wordt gerekend in het ontwerp.

De betrouwbaarheidsklassen (RC) zijn direct gekoppeld aan gevolgklassen (CC). Bij het indelen van de kraanopstelplaats in een betrouwbaarheidsklasse, dient te worden gekeken naar de gevolgen bij eventueel bezwijken van de kraanopstelplaats. Hierbij dienen de volgende aspecten worden meegenomen:

- Het risico op verlies van mensenlevens bij bezwijken.
- Het risico op economische en sociale gevolgen voor de omgeving bij bezwijken.
- Het bezwijken van de kraanopstelplaats kan leiden tot het omvallen van de kraan.
- Bij kraanopstelplaatsen met hoge kranen (tot wel 150 m haakhoogte) zijn de afmetingen van het mogelijke gebied dat wordt beïnvloed bij bezwijken van de kraanopstelplaats aanzienlijk.
- Voor elk ontwerp dient de specifieke omgeving te worden beschouwd: het bezwijken van een kraanopstelplaats in agrarisch gebied heeft andere economische en sociale gevolgen dan in een havengebied.
- In overleg met de klant kan worden overwogen om de economische schade voor het windpark in geval van bezwijken van de kraanopstelplaats (vertraging in oplevering) mee te wegen in de bepaling van de betrouwbaarheidsklasse.

In de praktijk worden kraanopstelplaatsen voor windturbines, op basis van bovenstaande overwegingen vaak in de klassen RC1 of RC2 ingedeeld, afhankelijk van de omgeving waarin de windturbine wordt gebouwd (RC1 voor kraanopstelplaatsen in landelijk gebied, RC2 voor kraanopstelplaatsen in stedelijk of industrieel gebied). Met het meenemen van de economische schade voor het windpark, in geval van bezwijken van de kraanopstelplaats, zal de kraanopstelplaats over het algemeen in de klasse RC2 worden ingedeeld. Kraanopstelplaatsen die worden aangelegd in de kernzone of beschermingszone van een primaire waterkering worden ingedeeld in de klasse RC3.

Conform NEN-EN 9997-1 [46] moet de toetsing van alle geotechnische berekeningen worden uitgevoerd volgens ontwerpbenadering 3, met gebruikmaking van partiële belastingfactoren op de representatieve belastingen of belastingeffecten en partiële materiaalfactoren op de karakteristieke materiaaleigenschappen (grondparameters). De partiële belasting- en materiaalfactoren voor het ontwerp zijn te vinden in Bijlage A van NEN-EN 9997-1 [46].

Opgemerkt dient te worden dat niet altijd voor alle geotechnische mechanismen materiaalfactoren per betrouwbaarheidsklasse RC1, RC2 of RC3 zijn afgeleid. Alleen voor het geotechnische mechanisme ‘algehele stabiliteit’ kunnen materiaalfactoren bij drie betrouwbaarheidsklassen worden gekozen. Voor een fundering op staal zijn de materiaalfactoren onafhankelijk van de veiligheidsklasse.

5.4 BELASTINGEN EN BELASTINGCOMBINATIES

Vaak worden door de turbineleveranciers eisen gesteld aan de kraanopstelplaats in de vorm van een maximaal opneembare contactspanning; bijvoorbeeld 250 kN/m^2 . Het wordt echter sterk afgeraden om een ontwerp van een kraanopstelplaats te maken op basis van een dergelijke eis.

De reden is dat de optredende contactkrachten (onder de stempels of rupsen) in combinatie met een bijbehorend contactoppervlak van wezenlijk belang is. Het ontwerp dient te worden gemaakt op basis van een specifieke kraan en hijssituatie. Hoofdstuk 3 gaat in op de gangbare kraantypes waarbij tevens indicatieve waarden voor de belastingen alsmede stempel- en rupsafmetingen zijn opgenomen.

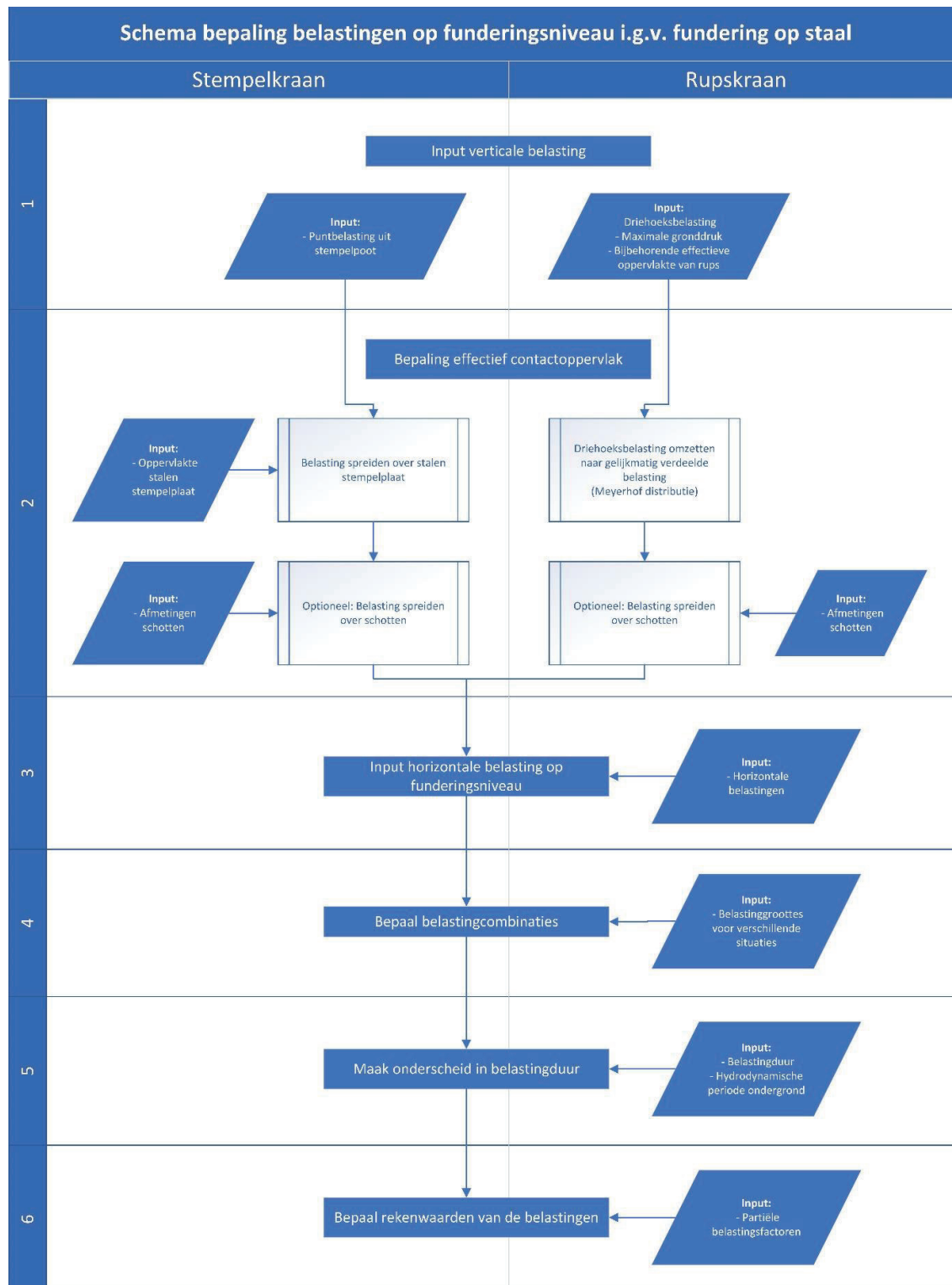
NB: Het bepalen van de contactspanningen en bijbehorend contactoppervlak op de kraanopstelplaats is alleen mogelijk als de volgende gegevens bekend zijn:

- Type kraan, inclusief ballast en eventuele superlift ballast;
- Gewicht van de te hijsen elementen;
- Hijsplan van het ophijsen van de giek en het inhijsen van de elementen.

Deze gegevens zijn vaak nog niet bekend in een vroeg stadium van het ontwerp van de kraanopstelplaats (en soms ook nog niet eens bij het maken van het DO van de kraanopstelplaats). In die gevallen zullen de stempelkrachten of contactspanningen en bijbehorend contactoppervlak moeten worden bepaald op basis van een representatieve kraan met hijssituatie, zodat een ontwerp van de kraanopstelplaats kan worden gemaakt. Indien dit wordt gedaan, is het absoluut noodzakelijk dat, voorafgaand aan het uitvoeren van de hijsoperatie, de te verwachten stempelkrachten of contactspanningen en bijbehorend contactoppervlak worden berekend op basis van het hijsplan met de specifieke kraan die wordt ingezet. Op basis van deze te verwachten stempelkrachten of contactspanningen en bijbehorend contactoppervlak dient het ontwerp van de kraanopstelplaats te worden getoetst. Indien nodig dient het ontwerp van de kraanopstelplaats te worden aangepast of dienen aanvullende maatregelen te worden ontworpen.

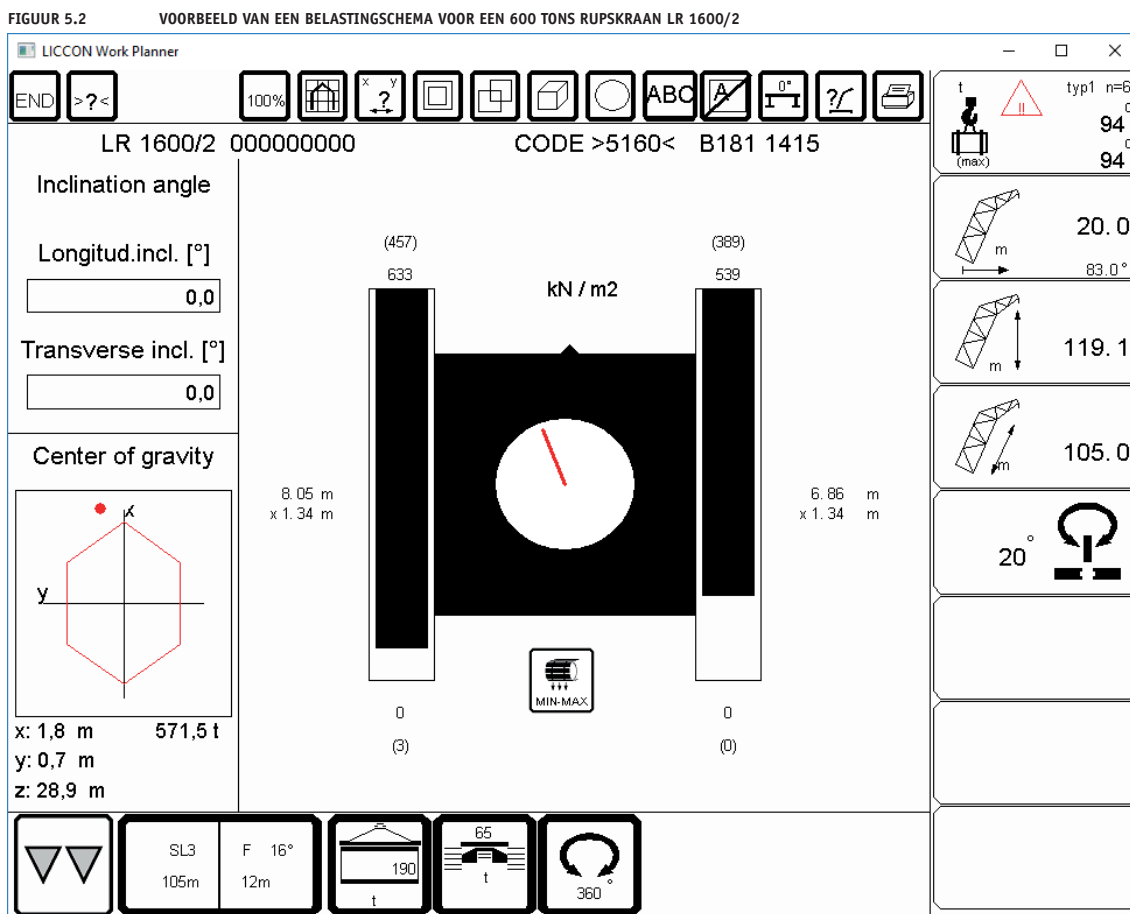
Uitgangspunt bij het bepalen van de belastingen op de kraanopstelplaats is een belasting-schema, bepaald voor een specifieke kraan en specifieke hijssituatie. Vaak wordt deze gemaakt en aangeleverd door de kraanverhuurder. Op basis van deze input kunnen de rekenwaarden van de belastingen worden bepaald die nodig zijn voor de toetsing van het draagvermogen van de kraanopstelplaats. De benodigde stappen hiervoor zijn samengevat in figuur 5.1 en worden stapsgewijs toegelicht in de volgende paragrafen. Hierbij is, waar nodig, onderscheid gemaakt tussen stempelkranen en rupskranen.

FIGUUR 5.1 SCHEMA BEPALING BELASTINGEN OP FUNDERINGSNIVEAU KRAANOPSTELPLAATS



5.4.1 STAP 1: INPUT KRAANBELASTINGEN

Een voorbeeld van de input van een belastingschema in software voor het bepalen van de belastingen vanuit de kraan op de ondergrond is gegeven in Figuur 5.2.



De volgende punten zijn van belang bij het bepalen van de kraanbelastingen op de fundering:

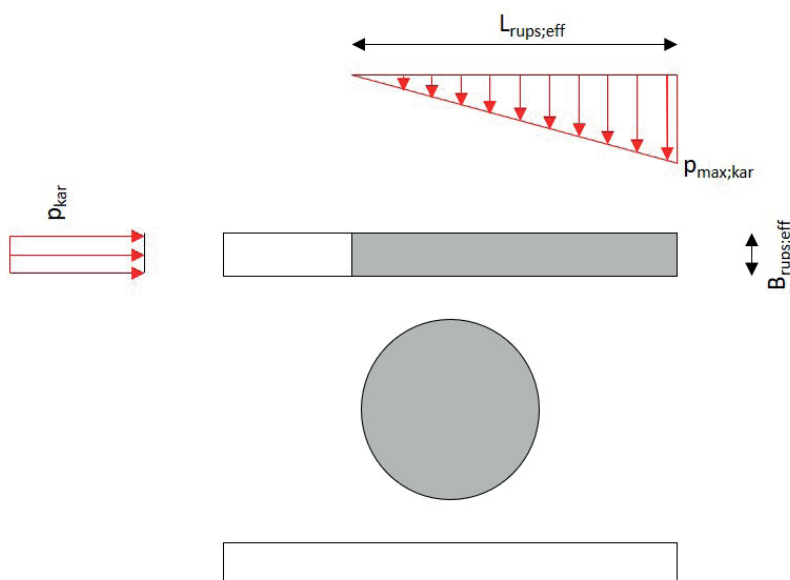
- Let erop dat de maatgevende situatie is beschouwd in de berekening van de stempelkrachten of contactspanningen en bijbehorende contactoppervlaktes. De volgende situaties kunnen maatgevend zijn:
 - Ophijsen van de hoofdgiek.
 - Inhijsen van het maatgevende element (dit kan het zwaarste element zijn of het element waarbij de grootste vlucht afgelegd moet worden).
 - Stormsituatie: zonder hijsen van een element maar met de giek opgericht.
- Let erop dat de juiste combinaties van belastingen met hijsoriëntaties meegenomen zijn: als een last eerst moet worden opgepakt achter de kraan en aan de voorzijde dient te worden geplaatst, dan dienen alle relevante oriëntaties beschouwd te worden.
- Let er bij rupskranen op dat de effectieve lengte en breedte van de rupsen vaak niet gelijk is aan de totale lengte en breedte van de rupsen, aangezien niet de volledige lengte en breedte in contact hoeft te zijn met de ondergrond.
- In de bepaling van de stempelkrachten of contactspanningen en bijbehorende contactoppervlaktes is, in de software die momenteel wordt gebruikt door kraanverhuurders, geen rekening gehouden met effecten van windbelasting. Omdat bij het bouwen van windturbines in het algemeen gebruik wordt gemaakt van kranen met zeer lange gieken, kunnen de windbelastingen op de kraan en het te hijsen element aanzienlijk zijn. De windbelas-

ting kan zorgen voor een toename van de stempelkrachten of contactspanningen, tot wel orde grootte tientallen procenten (zie voor meer toelichting paragraaf 3.5.3). Tevens leidt de windbelasting tot een horizontale belasting, welke via de kraan wordt afgedragen naar de ondergrond, zie paragraaf 5.4.3. Totdat de fabrikanten de kraansoftware hebben aangepast wordt het de engineers of kraanverhuurders aanbevolen om bij de combinatie van een kraan met een giek langer dan 100 m én een zeer zware en windgevoelige last (bijvoorbeeld een volledig gemonteerde rotorster) de kraanfabrikant te raadplegen ten aanzien van de effecten van wind op de verticale belasting.

In het geval van stempelkranen wordt een maatgevende verticale belasting op een stempelpoot aangeleverd.

In het geval van rupskranen wordt een verdeling van de belasting gegeven (een trapezium- of driehoeksverdeling) inclusief een maximale contactspanning tussen rups en ondergrond met bijbehorend contactoppervlak, zie voor een schematische weergave in Figuur 5.3.

FIGUUR 5.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE BELASTING VANUIT RUPSKRAAN (VOOR 1 RUPS)



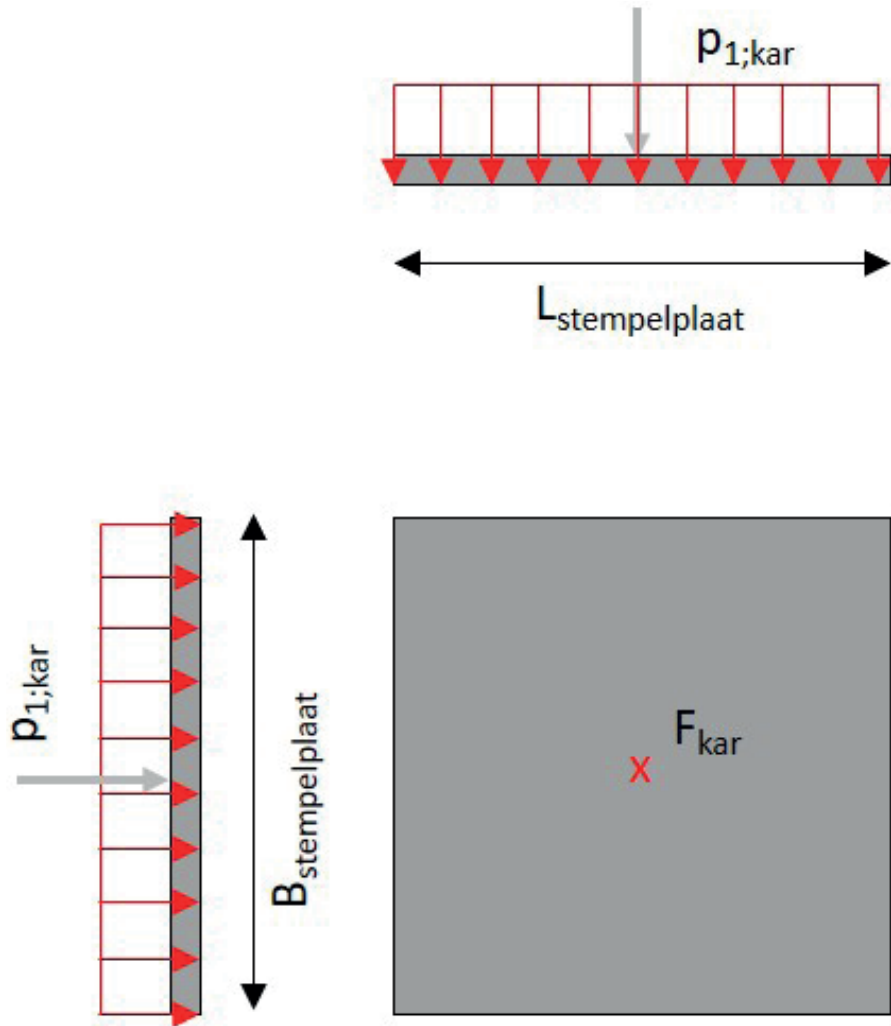
5.4.2 STAP 2: BEPALING EFFECTIEF CONTACTOPPERVERLAK

Bij het bepalen van het effectief contactoppervlak tussen de machine en de ondergrond wordt onderscheid gemaakt tussen stempelkranen en rupskranen.

Bij stempelkranen dienen de afmetingen van de toe te passen stalen stempelplaten bekend te zijn. Ervan uitgaande dat de stempelpoten centrisc op deze stempelplaten worden geplaatst, is het effectief oppervlak gelijk aan de oppervlakte van de stempelplaat. Een schematische weergave van de belastingspreiding over een stempelplaat is weergegeven in Figuur 5.4.

FIGUUR 5.4

SCHEMATISCHE WEERGAVE SPREIDING BELASTING OVER STEMPELPLAAT BIJ STEMPELKRAAN



Voor belastingen vanuit rupskranen dient het effectief oppervlak in rekening gebracht te worden. Dit hangt samen met het feit dat de belastingverdeling onder de rupsen niet constant verloopt, afhankelijk van hijsbewegingen. Een voorbeeld van de contactspanning onder de rupsen is weergegeven Figuur 5.5.

FIGUUR 5.5

VOORBEELD VAN CONTACTSPANNING ONDER DE RUPSEN VOOR EEN RUPSKRAAN

Positie	Linker rups		Rechter rups	
1	A 455,2 kN/m ²	C 135,9 kN/m ²	B 455,2 kN/m ²	D 135,9 kN/m ²
2	A 465,1 kN/m ²	C 239,0 kN/m ²	B 352,1 kN/m ²	D 126,0 kN/m ²
3	A 375,4 kN/m ²	C 375,4 kN/m ²	B 215,7 kN/m ²	D 215,7 kN/m ²

Het effectieve belastingoppervlak wordt bepaald conform sectie 6.5.2.2 (b) uit NEN 9997-1 [46].

$$b' = B - 2 \cdot e_B \quad (5.3)$$

$$l' = L - 2 \cdot e_L \quad (5.4)$$

Waarbij:

B de afmeting van de korte zijde van het contactoppervlak [m]

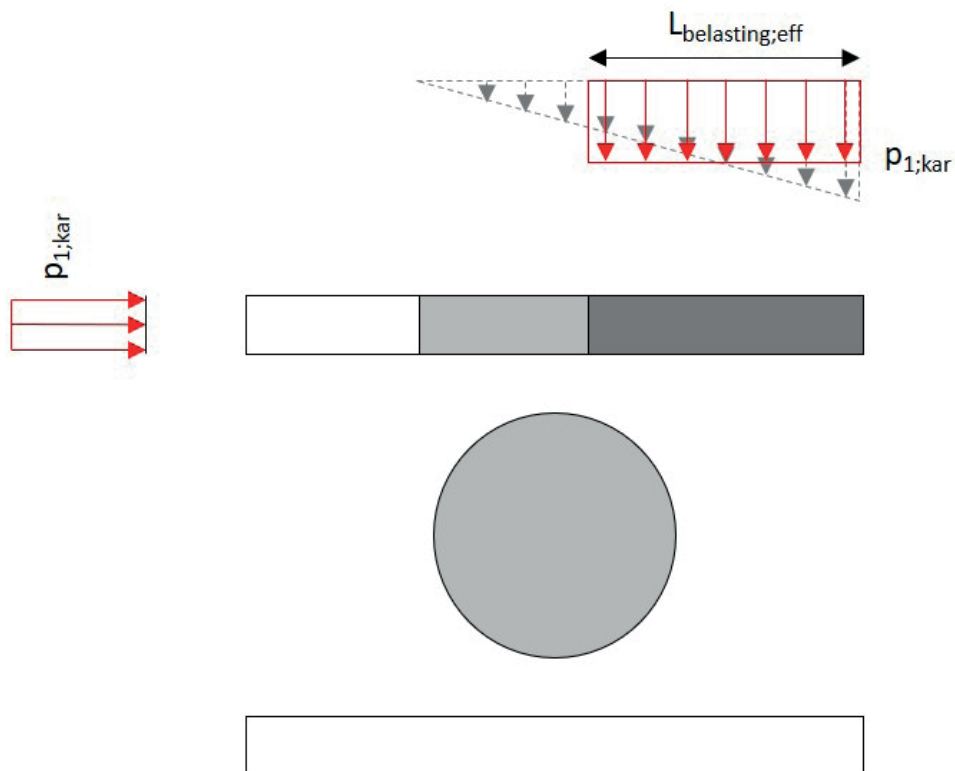
e_B de waarde van de excentriciteit in de breedterichting ten opzichte van het middelpunt van het contactoppervlak [m]

L de afmeting van de lange zijde van het contactoppervlak [m]

e_L de waarde van de excentriciteit in de lengterichting ten opzichte van het middelpunt van het contactoppervlak [m]

Een schematische weergave van de omrekening van de driehoeksbelasting naar een gelijkmatig verdeelde belasting is weergegeven in Figuur 5.6.

FIGUUR 5.6 SCHEMATISCHE WEERGAVE OMZETTEN DRIEHOEK BELASTING NAAR GELIJKMATIG VERDEELDE BELASTING (VOOR 1 RUPS)



In gevallen waar de contactspanning onder de stempelplaat of rups hoger is dan toelaatbaar voor de draagkracht van de ondergrond, kan deze contactspanning worden gereduceerd door het gebruik van aanvullende lastspreidingsschotten en of -platen. De afmeting en configuratie van deze schotten is vervolgens maatgevend voor de te maken draagkrachtanalyse.

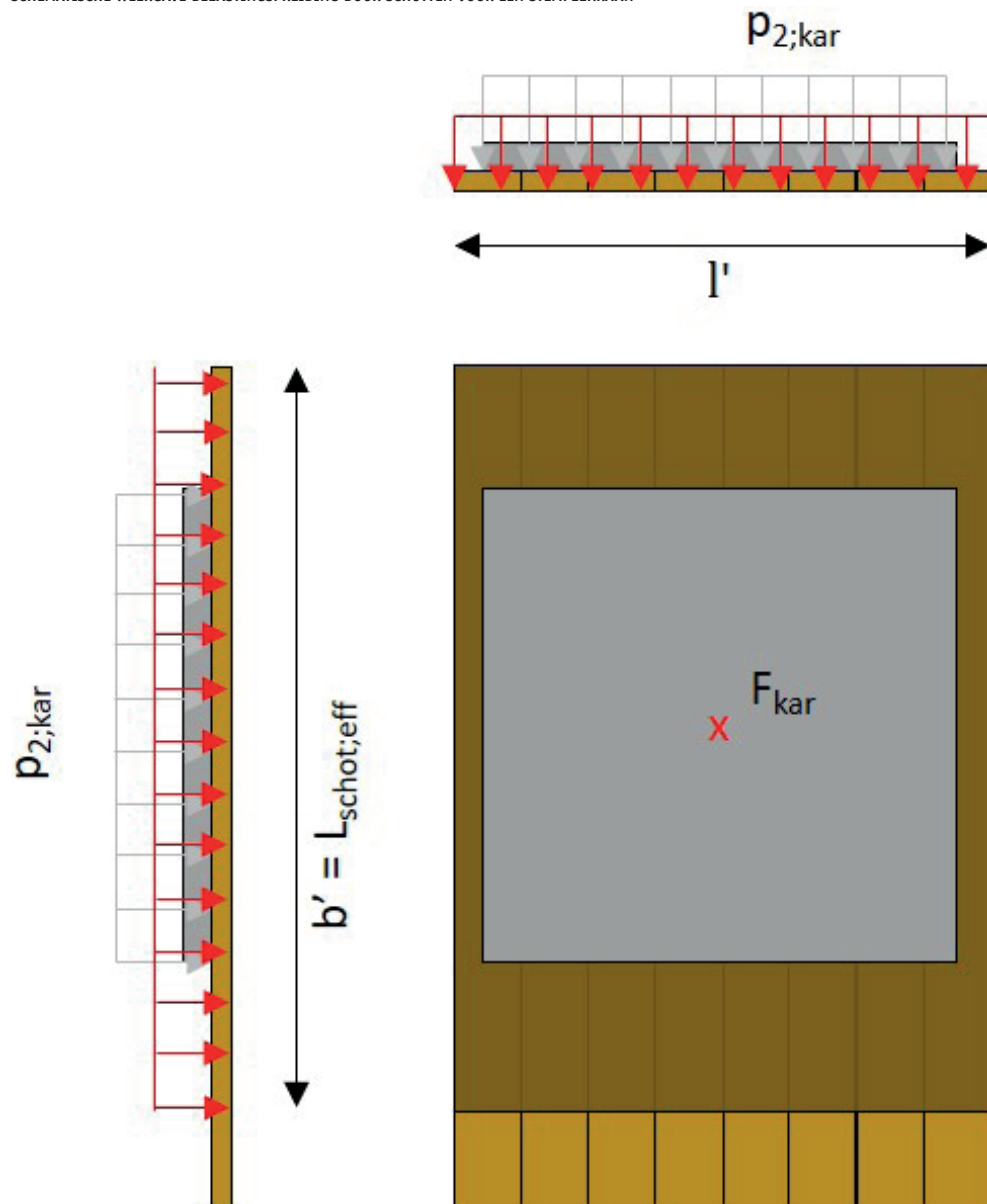
Bij het in rekening brengen van lastspreiding door schotten of platen dient met de volgende 3 aspecten rekening te worden gehouden:

1. De extra belasting als gevolg van het eigen gewicht van de schotten dient te worden opgeteld bij de belastingen vanuit de kraan.
2. Excentrische plaatsing van de rupsen of stempelplaten op de schotten: deze excentriciteit leidt ertoe dat de belastingen niet worden gespreid over de volledige oppervlakte van de schotten en dient in rekening te worden gebracht.
3. Op basis van het stijfheidsverschil tussen de schotten en de ondergrond dient te worden bepaald over welke oppervlakte de schotten de belasting kunnen spreiden. In veel gevallen is het te gunstig om te rekenen met belastingspreiding over de volledige oppervlakte van de schotten, zeker bij relatief lange schotten en een stijve ondergrond.

In Figuur 5.7 en Figuur 5.8 is voor respectievelijk een stempelkraan en een rupskraan schematisch weergegeven hoe de belasting door middel van schotten verder wordt gespreid.

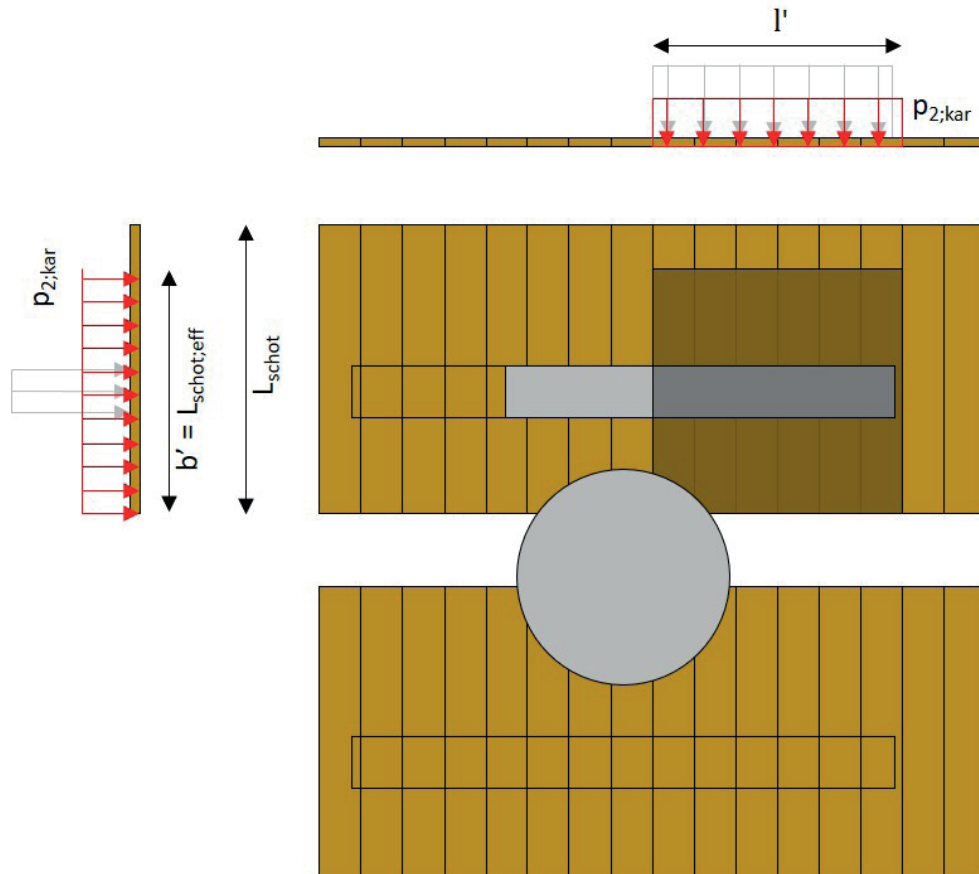
FIGUUR 5.7

SCHEMATISCHE WEERGAVE BELASTINGSPREIDING DOOR SCHOTTEN VOOR EEN STEMPELKRAAN



FIGUUR 5.8

SCHEMATISCHE WEERGAVE BELASTINGSPREIDING DOOR SCHOTTEN VOOR EEN RUPSKRAAN (1 RUPS)



In de paragrafen 4.4 en 4.5 van de CUR/CROW-publicatie “Begaanbaarheid van bouwterreinen, geotechnische draagkracht voor funderingsmachines” [27] is ook informatie te vinden over het bepalen van het effectief contactoppervlak voor funderingsmachines. Hierbij is onderscheid gemaakt in een situatie direct op de opstelplaats (op de werkvloer par 4.4) en op schotten (par 4.5). Tevens is in Bijlage C van dezelfde richtlijn een voorbeeldberekening van de funderingsbelastingen opgenomen.

5.4.3 STAP 3: HORIZONTALE BELASTINGEN

Op de fundering van de kraan kunnen horizontale belastingen aangrijpen. Deze ontstaan vanuit een windbelasting op de kraan en/of het te hijsen element of vanuit draaibewegingen van het bovenstel van de kraan. In geval van stempelkranen ontstaan horizontale belastingen op de stempelpoten als gevolg van doorbuiging van de stempelpoten door de verticale last. Ook vanuit rijbewegingen (in geval van rupskranen) kunnen horizontale belastingen ontstaan. Deze zullen echter het karakter hebben van een kortdurende stootbelasting. De horizontale belasting op de kraan resulteert in een ongelijkmatige verticale belasting op de ondergrond vanuit de stempels of rupsbanden, en daarnaast een horizontale belasting op funderingsniveau. Deze horizontale belasting op funderingsniveau zal door wrijving tussen de stempelplaten/rupsbanden/draglineschotten worden overgedragen op de ondergrond. Deze horizontale belastingen kunnen, zeker bij een fundering op staal, maar ook bij funderingen op palen, een aanzienlijke invloed op het ontwerp hebben, derhalve dient altijd te worden beschouwd of horizontale belastingen kunnen optreden. Als vuistregel voor de grootte van de horizontale belastingen op funderingsniveau kan, afhankelijk van het type kraan, het volgende worden aangehouden:

- In geval van stempelkranen: de horizontale belasting bedraagt het minimum van 30% van de optredende verticale belasting of 10% van de maximaal toelaatbare stempelkracht conform de handleiding van de machine.
- In geval van rupskranen: de horizontale belasting bedraagt 5 à 10% van de optredende verticale belasting. Geadviseerd wordt om een waarde van 10% aan te houden. Opgemerkt wordt dat deze waarde geldt voor stilstaande kranen: de horizontale belastingen als gevolg van rijdende kranen kunnen aanzienlijk groter zijn.

Bovenstaande vuistregels zijn afgeleid op basis van de resultaten van metingen aan diverse typen kranen, uitgevoerd door Liebherr. Opgemerkt wordt dat deze vuistregels zijn afgeleid op basis van huidig, lopend onderzoek bij Liebherr en een weerspiegeling zijn van de beschikbare kennis op dit moment. Indien na het verschijnen van deze handreiking uit vervolgonderzoeken nieuwe vuistregels of waarden voor de horizontale belastingen beschikbaar komen, prevaleren deze regels boven de hiervoor genoemde vuistregels.

Op basis van bovengenoemde percentages kunnen de horizontale belastingen op de werkvloer worden bepaald indien verticale belastingen bekend zijn.

Een alternatief is om de horizontale belastingen op de kraan te bepalen. Voor het bepalen van de windbelasting op een kraan kan ook informatie worden gevonden in paragraaf 4.3.3 van de CUR/CROW 'Begaanbaarheid van bouwterreinen, geotechnische draagkracht voor funderingsmachines' [27] of ISO 4302 [39]. Hierbij dient te worden gerealiseerd dat met de berekende windbelasting niet zondermeer een realistische waarde voor de verticale drukken onder de stempels of rupsen van de kraan kan worden bepaald. De reden hiervoor is dat bij kranen met giek langer dan 100m de toename van de verticale drukken onder de stempels of rupsen als gevolg van wind voor een groot deel ontstaat door de elastische vervorming van de giek (en de daarbij behorende tweede orde effecten). Alleen de kraanfabrikant heeft de mogelijkheid deze toename op de juiste wijze te bepalen. In paragraaf 3.5.3 is hierover meer informatie te vinden.

5.4.4 STAP 4: BELASTINGCOMBINATIES

Bij het combineren van verticale en horizontale belastingen kunnen door de ontwerper maatgevende belastingcombinaties worden gekozen, waarbij niet noodzakelijkerwijs de maatgevende van beide belastingen worden samen genomen. Een voorbeeld is de vraag in hoeverre horizontale belastingen op de kraan meegenomen dienen te worden in de situatie van het ophijzen van de giek, aangezien de windbelastingen op de kraan in dat geval aanzienlijk lager zullen zijn dan in de situatie met volledig opgeheven giek en last in de haak. Per situatie dienen hiervoor door de ontwerper afwegingen te worden gemaakt, op basis van de te verwachten optredende belastingen op de fundering. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de oorzaak voor de horizontale belasting: in het geval van stempelkranen ligt de oorzaak voor de horizontale belastingen (voor zover bekend) in het doorbuigen van de stempelpoten als gevolg van de verticale belasting. De windbelasting heeft hierop dus een beperkte invloed. In het geval van rupskranen is de invloed van de windbelasting op de horizontale belasting veel groter.

Bij het bepalen van de belastingcombinaties wordt gebruik gemaakt van de formules 6.10a en 6.10b en richtlijnen in paragraaf 6.4.3.1 van NEN-EN 1990 [50]. Hierbij is de verhouding permanente en veranderlijke belastingen van belang.

5.4.5 STAP 5: STATISCHE VS. NIET-STATISCHE BELASTINGEN

Belastingen vanuit de kraanverhuurder zijn in het algemeen (quasi-)statistische belastingen. Windbelastingen worden over het algemeen als een quasi-statistische belasting beschouwd.

Naast de (quasi-)statische belastingen kunnen dynamische belastingen optreden, een voorbeeld van een dynamische belasting is een plotselinge zwenking van de kraan.

Conform NEN 9997-1 par. 2.4.2 [46] dient de belastingduur in acht te worden genomen bij de geotechnische toetsingen, rekening houdend met de tijdseffecten in de materiaaleigenschappen van de grond. Dit betekent concreet dat in de gedraineerde analyse van het draagvermogen van een slecht doorlatende ondergrond geen rekening hoeft te worden gehouden met kortdurende belastingen. In de ongedraineerde analyse van het draagvermogen van een slecht doorlatende ondergrond dienen deze kortdurende belastingen wel meegenomen te worden. Een belasting is hierbij kortdurend indien de duur van de belasting relatief zeer klein is ten opzichte van de hydrodynamische periode van de ondergrond. In het geval van een hijsoperatie voor een windturbine zal een groot deel van de belastingen (eigen gewicht last, effecten van wind en draaien van de kraan) kunnen worden beschouwd als kortdurende belastingen. Conform NEN 9997-1 [46] dient de ongedraineerde en de gedraineerde situatie apart te worden getoetst, waarbij de maatgevende situatie dient te worden aangehouden.

5.4.6 STAP 6: REKENWAARDEN VAN DE BELASTINGEN

De belastingen zoals opgegeven door de kraanverhuurder dienen te worden beschouwd als karakteristieke waarden, tenzij expliciet anders aangegeven. Ten behoeve van het ontwerp van de kraanopstelplaats dienen hierop nog belastingfactoren te worden toegepast. De grootte van de belastingfactor dient door de ontwerper te worden onderbouwd, rekening houdend met het feit dat in de belasting op de kraanopstelplaats een permanente component zit en een veranderlijke component. Analooq aan de CUR/CROW-publicatie 'Begaanbaarheid van bouwterreinen, geotechnische draagkracht voor funderingsmachines' wordt aanbevolen om permanente belastingen te beschouwen als belastingen die niet van grootte of richting kunnen veranderen. Dit zal in de meeste gevallen beperkt zijn tot het eigen gewicht van eventueel toegepaste draglineschotten en van de onderwagen van de machine. De veranderlijke belastingen zijn de belastingen die wel van grootte of richting kunnen veranderen. Dit betreffen de belastingen uit het eigen gewicht van de bovenwagen, alle daarmee verbonden elementen (o.a. hijslast) en de daarop werkende belastingen. De partiële factoren dienen aangehouden te worden conform NEN 9997-1 Tabel A.3 [46].

5.5 UITGANGSPUNTEN

5.5.1 FUNCTIES KRAANOPSTELPLAATS EN RAAKVLAKKEN

Voor het ontwerp van de kraanopstelplaats dient inzichtelijk te worden gemaakt voor welke functies de kraanopstelplaats geschikt moet zijn. Uiteraard is de belangrijkste functie het bieden van een draagkrachtige opstelplaats tijdens het hijsen van de turbineonderdelen. Andere functies kunnen ook van belang zijn voor het ontwerp, bijvoorbeeld:

- *Voor tijdelijk opslag van onderdelen van de turbine.* Ook deze belastingen dient in het ontwerp te worden meegenomen.
- *Voor gebruik tijdens de bouw van de fundering van de turbine.* Hier zit een raakvlak met de bouw van het turbinefundament, voor wat betreft planning en belasting:
 - Wat betreft planning is het in het algemeen wenselijk om de kraanopstelplaats gereed te hebben voordat de fundering van de turbine gebouwd wordt.
 - Wat betreft belasting is een aandachtspunt dat funderingsmachines zwaarder kunnen zijn (wat betreft totaalgewicht) dan het transport van de kraan en de turbineonderdelen.

Daarnaast kan de belasting op een kraanopstelplaats ook een raakvlak hebben met de fundering van de windturbine. Denk aan grondvervormingen onder de kraanopstelplaats die kunnen leiden tot een horizontale belasting op de palen onder de windturbine.

- *Na de bouw in de onderhoudsfase van de turbine.* In deze fase komt het voor dat de kraanopstelplaats wordt gebruikt door derden voor opslag (bijvoorbeeld landbouwers). Dit kan worden meegewogen in de ontwerpkeuzes. Discussies over schade aan kraanopstelplaatsen kunnen worden voorkomen door in een vroeg stadium duidelijke afspraken over het gebruik te maken.

5.5.2 RUIMTEBESLAG

Bij het ontwerp van een kraanopstelplaats dient het benodigde ruimtebeslag te worden bepaald. Dit ruimtebeslag kan voor de realisatiefase anders zijn dan voor de gebruiksfase.

REALISATIEFASE

Het ruimtebeslag tijdens de realisatiefase wordt bepaald door een aantal factoren:

- Type toe te passen kraan, inclusief draaicirkel en benodigde ruimte voor opbouwen.
- Eventueel toe te passen superlift-ballast: dit neemt aanzienlijk meer ruimte in aan de achterzijde van de kraan.
- Aantal benodigde kranen: hulpkranen voor het opbouwen van de kraan of de staartoperaties.
- Wijze van aanlevering. Just in time delivery of storage on site. Met Just-In-Time- (JIT) Delivery worden de onderdelen vanaf het transportmiddel gelijk in de kraan gehangen en geïnstalleerd. Bij storage on site worden de onderdelen binnen de beweegruimte van de kraan geplaatst op de kraanopstelplaats (en/of extra montagelocaties naast de kraanopstelplaats binnen hijsbereik van de kranen) en daar verder voorbereid op installatie. Voor deze laatste optie is de kraanopstelplaats groter in oppervlak.
- Eventuele compensatie voor de toename van het verhard oppervlak door de aanleg van een kraanopstelplaats.
- De gebruiker van de grond. Bijvoorbeeld een akkerbouwer houdt niet van kleine loze hoeken, waarbij dan de ontwikkelaar en akkerbouwer gezamenlijk overeenkomen de loze hoeken als kraanopstelplaats te verharden.

ONDERHOUDSFASE

Het ruimtebeslag voor de kraanopstelplaats tijdens de onderhoudsfase wordt bepaald door het typekraan dat wordt gebruikt voor onderhoud. Het ruimtebeslag kan leiden tot de keuze om een deel van de kraanopstelplaats te verwijderen na realisatie van de windturbine.

Bij de afweging van het ruimtebeslag dient ook rekening te worden gehouden met de benodigde ruimte voor de inrichting in het geval van een calamiteit. Bij deze afweging speelt naast kosten en risico's ook de locatie van de kraanopstelplaats een rol: bijvoorbeeld bij een kraanopstelplaats op of bij een primaire waterkering is het van groot belang om een volwaardige permanente kraanopstelplaats te hebben, zodat na een calamiteit zo snel mogelijk kan worden gehandeld.

5.5.3 DROOGLEGGING EN AFWATERING

Voor een goede draagkracht van de kraanopstelplaats is het noodzakelijk dat het bovenste gedeelte van de kraanopstelplaats droog is en droog blijft.

In de praktijk betekent dit enerzijds een goede afwatering van hemelwater en anderzijds dat

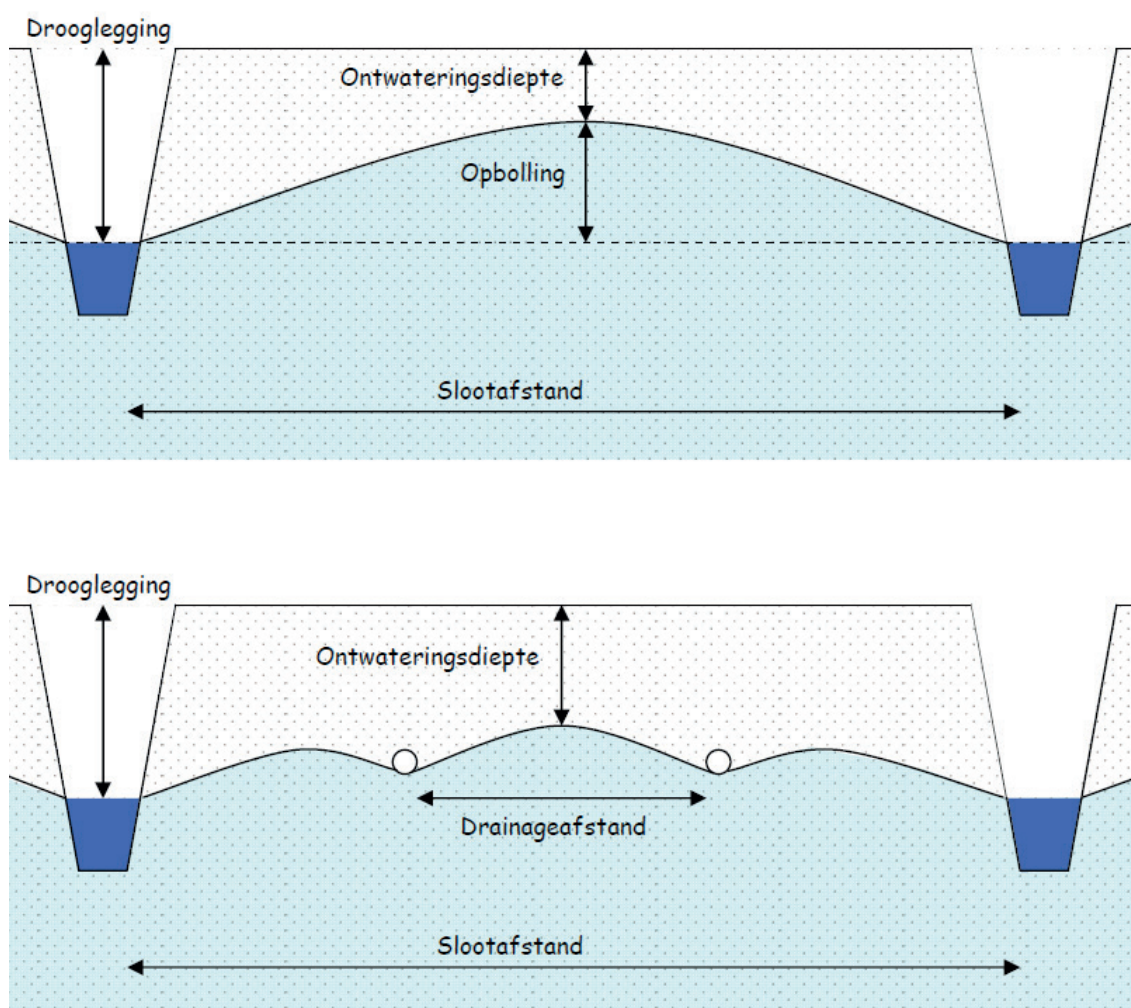
het grondwater ter plaatse van de kraanopstelplaats niet te hoog komt te staan door fluctuaties of opbolling van de freatische grondwaterstand.

Deze eis kan worden geborgd door voldoende drooglegging en ontwateringsdiepte in acht te nemen. In Figuur 5.9 zijn de termen drooglegging en ontwateringsdiepte schematisch weergegeven.

De ontwateringsdiepte voor kraanopstelplaatsen moet zodanig zijn dat er voldoende draagkracht is gewaarborgd en dat vorst- en opdooschade wordt voorkomen. Voor kraanopstelplaatsen wordt uitgegaan van een minimale ontwateringsdiepte van 0,70 m (veelal toegepast voor bouwterreinen). Dit betekent dat de bovenzijde van het capillair opstijgende grondwater in de funderingsopbouw minstens 0,70 m onder de bovenzijde van de verharding van de opstelplaats dient te blijven.

De capillaire opstijging is afhankelijk van het funderingsmateriaal. Bij zand met een gemiddelde korreldiameter (d_{50}) van 100-200 μm bedraagt de opstijging circa 0,3 m. Bij gebruik van zand als funderingsmateriaal is dus tussen de bovenzijde van de verharding van de opstelplaats en het polderpeil in de watergangen (sloten) een drooglegging noodzakelijk van 1,0 m. De drooglegging kan worden verlaagd door toepassing van een goed drainerend ongebonden granulaat. De capillaire opstijging is dan dermate gering ($< 0,10$ m), zodat een drooglegging van 0,80 m kan worden aangehouden.

FIGUUR 5.9 DEFINITIE ONTWERINGSDIEPTE EN DROOGLEGGING [1]



Voor de afwatering dienen eisen te worden gesteld aan de vlakheid van de kraanopstelplaats. Tevens is hierbij van belang hoe de kraanopstelplaats wordt afgewerkt: bijvoorbeeld met een doorlatende puinlaag of met een slechter doorlatende asfaltlaag.

De eisen aan het afschot zijn afhankelijk van het kraantype. Voor een rupskraan gelden zeer strikte eisen aan het afschot van de kraanopstelplaats. Voor stempelkranen zijn deze eisen minder strikt. In paragraaf 3.4.1 zijn de eisen aan de vlakheid behandeld. Afschot kan een noodzakelijke of meest goedkope oplossing zijn voor de afwatering van de kraanopstelplaats. De wijze van afwatering dient met de betrokken partijen te worden afgestemd. Dit om te voorkomen dat gewassen naast de kraanopstelplaats onder water komen te staan en daardoor gewasschade oplopen. Waterschappen kunnen ook toepassing van watercompensatie eisen. Ten slotte dient te worden nagedacht over het afvoeren van het water dat op de kraanopstelplaats valt. Hiervoor worden vaak greppels of sloten om de kraanopstelplaats gegraven. Deze greppels en sloten hebben echter weer een nadelige invloed op de draagkracht van de kraanopstelplaats. Daarom dient het ontwerp voor de waterhuishouding wat betreft de afwatering en afvoer van water bekend te zijn als uitgangspunt voor de toetsing van het geotechnisch draagvermogen.

Een voorbeeld van een beheersmaatregel om ongewenste hoge waterstanden in de kraanopstelplaats te voorkomen is toepassing van horizontale drainage strengen in de fundering van de kraanopstelplaats, waarop eventueel later een vacuümpomp kan worden aangesloten.

Indien voor de aanleg van de kraanopstelplaats sprake is van voorbelasting met tijdelijke extra overhoogte dient het risico te worden beschouwd op het dichtdrukken van de drains door de hoge belasting op de drains. Eventueel kunnen alternatieve vormen van drainage worden overwogen, zoals drainagekoffers met grind of bermdrainage buiten het directe belastinggebied.

5.5.4 GRONDOPBOUW EN GRONDPARAMETERS

Voor een betrouwbare modellering dienen de sterkteparameters van de ondergrond en het funderingsmateriaal bekend te zijn. Een degelijk grondonderzoek, interpretatie en documentatie maken hier onderdeel uit. Aan de hand van de handreikingen in hoofdstuk 4 kan het benodigde grondonderzoek risicogestuurd worden bepaald.

Voor de toetsing van de veiligheid dient van zowel de geometrische als van de grondparameters een karakteristieke- en een rekenwaarde te worden gebruikt.

GELAAGDHEID

De ondergrond is zelden homogeen. De gelaagdheid en bijhorende hoogtes ten opzichte van NAP dienen inzichtelijk te zijn. Een dunne cohesieve laag kan in een ongedraineerde situatie al snel maatgevend zijn voor het draagvermogen.

Voor het bepalen van de laagscheidingen dienen voorzichtige schattingen te worden gebruikt.

STERKTE- EN SAMENDRUKKINGSPARAMETERS

De karakteristieke waarden voor de sterkte- en samendrukkingsparameters worden bepaald of geschat aan de hand van NEN 9997-1 [46] Tabel 2.b en/of steekproeven op basis van statische analyses. De methodes zijn beschreven in NEN 9997-1 art 2.4.5.2. Vaak worden de grondparameters van de ondergrondlagen overgenomen uit Tabel 2.b. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat de grondparameters zijn gerelateerd aan korrelspanningen van 100 kPa. Bij afwijkende spanningsniveaus moet de tabelwaarde worden gecorrigeerd volgens artikel 2.4.5.2.

Omdat de waarden uit Tabel 2.b. conservatieve veilige waarden zijn is het gebruik van Tabel 2.b. een goede optie voor de schets- en initiatiefase. Geadviseerd wordt om bij aanvang van de VO fase te starten met veld- en laboratoriumonderzoek. Met deskundig gekozen veld- en laboratoriumonderzoek kan over- en onderschatting van de sterkte- en samendrukkingsparameters worden voorkomen.

De relevante sterkteparameters zijn:

Hoek van inwendige wrijving	ϕ' [°]
Effectieve cohesie	c' [kPa]
Volumiek gewicht (verzadigd en onverzadigd)	$\gamma_{\text{sat}}/\gamma_{\text{nat}}$ [kN/m ³]
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u [kPa]

De relevante samendrukkingsparameters voor bijvoorbeeld het model Koppejan zijn:

Primaire samendrukkingsconstante	C_p [-]
Secundaire samendrukkingsconstante	C_s [-]

Sterkte – en zettingsberekeningen kunnen worden uitgevoerd met verschillende berekeningsmodellen. Het type berekening is bepalend voor het type grondparameter. Als een ontwerp wordt gemaakt met een Eindige Elementen Methode, zijn meer parameters benodigd, afhankelijk van het gehanteerde grondmodel. Belangrijke parameters zijn in elk geval de neutrale gronddrukcoëfficiënt K_0 en de elasticiteitsmodulus E_{50} .

In paragraaf 4.5.2 en 4.5.3 is een overzicht opgenomen met de benodigde grondparameters voor de verschillende type berekeningen en welk type grondonderzoek nodig is om ze te bepalen.

Conform NEN-EN 9997-1 [46] dienen voor de toetsing van het geotechnisch ontwerp rekenwaarden van de sterkteparameters van de ondergrond te worden gebruikt. Deze dienen conform NEN 9997-1 art. 2.4.6. te worden bepaald door het toepassen van partiële factoren op de karakteristieke waarden van de grondparameters en de representatieve waarden van de belastingen.

De partiele factoren verschillen onder andere per faalmechanisme (draagkracht of stabiliteit) en beoogd veiligheidsniveau (betrouwbaarheidsklasse). Opgemerkt dient te worden dat niet altijd voor alle geotechnische mechanismen materiaalfactoren per betrouwbaarheidsklasse zijn afgeleid; zie ook paragraaf 5.3.

5.6 OPLOSSINGSRICHTING FUNDERING

In de onderstaande paragrafen worden de huidige gangbare oplossingsrichtingen voor het ontwerp van de fundering van een kraanopstelplaats bij windturbines kort besproken.

De meest geschikte oplossing wordt bij voorkeur gekozen op basis van een zogenaamde keuze-matrix of Trade Off Matrix (TOM).

Bij de keuze van de oplossingsrichting kan ook nuttige informatie worden gevonden in CUR-rapport 2006-2 [11] waarin een aantal oplossingsmethoden wordt gegeven voor wegfunderingen op slappe grond.

5.6.1 FUNDERING OP STAAL

Bij een fundering op staal wordt een funderingslaag aangelegd op de ondergrond. Deze kan direct op het bestaande maaiveld worden aangebracht of verdiept worden aangebracht door middel van een cunet. Het cunet is een beperkte ontgraving onder maaiveld waarbij de toplaag wordt vervangen door funderingsmateriaal (in dit laatste geval is technisch al sprake van een fundering op staal met grondverbetering conform paragraaf 5.6.2). Voor betere belasting spreiding kan op de fundering eventueel een schottenlaag worden aangebracht.

FOTO 5.1 FUNDERING OP STAAL MET DRAGLINESCHOTTEN ONDER EEN RUPSKRAAN



Voordelen van een fundering op staal:

- Relatief goedkope methode.
- Eenvoudig te realiseren over een grote oppervlakte.
- Er hoeven geen permanente funderingselementen aangebracht te worden in de ondergrond.

Nadelen van een fundering op staal:

- Risico's op zettingen van de ondergrond door belastingtoename.
- Beperkt toepasbaar in geval van een slecht draagkrachtige ondergrond en/of relatief hoge grondwaterstand.

5.6.2 FUNDERING OP STAAL IN COMBINATIE MET GRONDVERBETERING

Als de ondergrond niet draagkrachtig genoeg is voor een fundering op staal, kan de draagkracht worden vergroot door middel van het vervangen van (een deel van de) slecht draagkrachtige grond door draagkrachtig materiaal (zand/granulaat etc.).

5.6.3 FUNDERING OP STAAL VERSTERKT MET GEOKUNSTSTOFFEN

De funderingslaag bij een fundering op staal dient onder andere voor spreiding van de belasting in de ondergrond. Om de te realiseren spreiding door de funderingslaag te vergroten, kan deze versterkt worden met 1 of meerdere horizontale lagen geokunststoffen/geogrids. Een ander voorbeeld hiervan is het toepassen van Geocells. Hierbij wordt de funderingslaag opgebouwd uit geokunststoffen in een 3-dimensionale honingraatstructuur, waarbij de ruimtes worden opgevuld met funderingsmateriaal, hetgeen resulteert in een zeer stijve funderingslaag.

Door het toepassen van geokunststoffen in de funderingslagen ontstaat er een ‘interlocking’ effect en dusdanige belastingspreiding dat de draagkracht van het werkplateau als één geheel aanzienlijk kan worden vergroot. De sterkte, stijfheid en duurzaamheid (levensduur) van de geokunststoffen en inbouw posities (diepte, aantal lagen) is van belang voor het gedrag van gehele constructie.

Toepassing van geokunststoffen kan een goede oplossing zijn in het geval dat een normale fundering op staal / grondverbetering niet afdoende constructieve veiligheid biedt.

Voor meer informatie met betrekking tot het ontwerp/uitvoering van funderingswapening met geokunststoffen wordt verwezen naar CUR/CROW-publicatie “Geokunststoffen als funderingswapening in ongebonden funderingslagen”, december 2017 [20].

FOTO 5.2

OPBOUW WERKPLATEAU FUNDERING MENGGRANULAAT VERSTERKT MET GEOKUNSTSTOFFEN (MEERLAAGS HORIZONTAAL GELEGEN GEOGRIDS)



FOTO 5.3

OPBOUW WERKPLATEAU FUNDERING MENGGRANULAAT VERSTERKT MET GEOKUNSTSTOFFEN (HORIZONTAAL GELEGEN GEOGRIDS)



5.6.4 FUNDERING OP STAAL IN COMBINATIE MET SOILMIX / MIXED-IN-PLACE (MIP / MASSA STABILISATIE)

Als de ondergrond niet draagkrachtig genoeg is voor een fundering op staal, kan de draagkracht worden vergroot door middel van het verbeteren van de eigenschappen van de ondergrond door het toevoegen en mixen van additieven in de slecht draagkrachtige lagen (Soilmix, Mixed In Place, Massa stabilisatie, etc.).

Voor technieken met soilmix kan worden gedacht aan een techniek met massa-stabilisatie of soilmix-elementen, waarbij slecht draagkrachtige bodemlagen (klei/veen) volledig worden doorgemengd met bindmiddelen (cement, kalk). Deze techniek kan interessant zijn in gevallen van relatief ondiepe slappe lagen (bijvoorbeeld 3-4 m) maar tevens is menging tot grote diepte mogelijk (max ca. 20 m).

In het geval van grote wisselingen in de bodemlagen is het zeer belangrijk om te kijken naar het type stabilisatietechniek (cutter soil mix, tubelar soil mix, freestechniek) voor het verkrijgen van een zo homogeen mogelijke menging van bodemlagen en bindmiddelen.

Vooraf dient een geschiktheidsonderzoek te worden gedaan, waarbij in een geotechnisch laboratorium de mengverhouding tussen grond en bindmiddelen wordt vastgesteld. Het soilmix-materiaal dient na verwerking zijn sterkte te ontwikkelen (28 dagen).

Na verwerking dienen de behaalde parameters te worden gecontroleerd, zodat deze kunnen worden geverifieerd met het ontwerp.

Voor aandachtspunten met betrekking tot het ontwerp/realisatie van soilmix/mixed-in-place oplossingen wordt verwezen naar CUR/CROW-publicatie "Handboek soilmix-wanden - ontwerp en uitvoering", 2016 [23]. Dit handboek is geschreven voor toepassing van soilmix-wanden, maar bevat ook zeer veel informatie over mogelijke uitvoeringstechnieken, ontwerp, afleiding parameters en kwaliteitsborging.

5.6.5 FUNDERING OP PAALMATRAS

Een paalmatras bestaat uit een grondlichaam versterkt met geokunststoffen (een matras) op een paalfundering. Door middel van boogwerking in het matras worden de belastingen die op het matras aangrijpen afgedragen naar de relatief stijve elementen: de palen. Een paalmatras is geschikt als fundering voor een kraanopstelplaats in geval van een slecht draagkrachtig pakket grondlagen onder het maaiveld. Op Foto 51 is een paalmatras in uitvoering te zien.

Voor meer informatie met betrekking tot het ontwerp/realisatie van funderingen op een paalmatras wordt verwezen naar CUR/CROW-publicatie, Ontwerprichtlijn Paalmatrassystemen [22].

FOTO 5.4

FUNDERING OP PAALMATRAS



5.6.6 FUNDERING OP POER MET PALEN

Bij een poer met palen worden aparte op palen gefundeerde betonnen funderingspoeren gebouwd voor de kraan. Deze oplossing is tevens geschikt in geval van een slecht draagkrachtig pakket grondlagen onder het maaiveld. Foto 5.5 toont een poer in uitvoering.

FOTO 5.5

FUNDERING BETONPOER PALEN – VLECHTWERK WAPENING IN UITVOERING



5.6.7 VERGELIJKING OPLOSSINGEN (TRADE-OFF MATRIX)

De keuze van een bepaalde oplossingsrichting kan worden gemaakt aan de hand van de keuze matrix of Trade Off Matrix (TOM) In bijlage D is in een TOM beknopt weergegeven hoe de verschillende typen funderingen scoren op diverse aspecten. Deze matrix is opgezet met als doel om de verschillende typen funderingen onderling te kunnen vergelijken op diverse aspecten. De scores zijn hierbij bepaald op basis van een onderlinge vergelijking tussen de funderingstypen. De matrix kan helpen bij het maken van een afweging van het type fundering in de VO-fase. Parallel hieraan dient uiteraard wel de technische haalbaarheid van de eventuele voorkeursoplossingen te worden onderzocht.

Opgemerkt wordt dat de scores in de TOM moeten worden beschouwd als indicatief. In specifieke situaties kan hier onderbouwd van worden afgeweken. Bovendien zal per project verschillen in welke mate de verschillende aspecten meewegen in de totale beoordeling.

Onderstaand volgt een toelichting bij de verschillende aspecten in de TOM:

- *Beperken raakvlakken met fundering turbine*
Denk hierbij zowel aan fysieke interactie tussen de paalfundering van de windturbine (in geval van schoorpalen) en de palen onder het paalmatras, als aan interactie door de belasting vanuit het paalmatras op de paalfundering van de windturbine.
- *Beperken beïnvloeding geohydrologische situatie*
Zowel tijdens de bouwfase (bemalingen ten behoeve van tijdelijke ontgravingen) als tijdens de definitieve situatie of na verwijdering (ontstaan van kwelwegen door trekken palen).
- *Robuustheid voor onzekerheid in sterkte ondergrond*
Hoe robuust is het ontwerp indien de ondergrond slapper is dan gedacht? Heeft dit veel consequenties voor het ontwerp of leidt dit slechts tot geringe aanpassingen?
- *Robuustheid voor verschilzettingen*
Denk hierbij aan verschilzettingen tijdens hijsoperaties of lange termijn verschilzettingen over de kraanopstelplaats.

- *Geschiktheid ontwerp voor nabij gelegen taluds*
Hoe geschikt is het ontwerp indien taluds nabij de kraanopstelplaats aanwezig zijn of gerealiseerd worden? Heeft dit veel consequenties voor het ontwerp of leidt dit slechts tot geringe aanpassingen?
- *Beperken bouwtijd*
Dit is inclusief eventueel benodigde voorbelasttijd om de lange termijn zettingen te beperken.
- *Beperken overlast omgeving*
Denk hierbij aan overlast door transportbewegingen, geluid, en trillingen.
- *Robuustheid ontwerp voor kwaliteit van de realisatie*
Leiden problemen of onzorgvuldigheden tijdens de realisatie tot grote risico's met betrekking tot het presteren van de fundering, of is het ontwerp hier relatief ongevoelig voor?
- *Flexibele locatie van belasting mogelijk*
Kan de kraanbelasting alleen op specifieke locaties op de kraanopstelplaats aangrijpen, of kan deze op willekeurige locaties op de kraanopstelplaats worden geplaatst?
- *Robuustheid bij overschrijding maximale belasting*
Hoe robuust is de fundering indien de ontwerpbelasting overschreden wordt? Leidt dit direct tot grootschalige vervormingen, of zijn de vervormingen lokaal en beperkt?
- *Beperken onderhoud ten gevolge van gebruiksschade*
Zowel onderhoud van de kraanopstelplaats tijdens de bouwfase als de gebruiksfase van de turbine. Hierbij wordt gedacht aan het risico van optreden van eventuele spoorvorming/deformaties in de constructies van de kraanopstelplaats en de mogelijkheid om dit relatief eenvoudig te herstellen (bijvoorbeeld door het egaliseren van de bovenste laag menggranulaat).
- *Beperken kosten*
Dit betreft de kosten voor het ontwerp, de bouw en het onderhoud van de kraanopstelplaats.
- *Verwijderbaarheid*
Hoe eenvoudig is de kraanopstelplaats te verwijderen? Of blijven er permanente funderingselementen achter in de ondergrond?
- *Beperken impact op milieu*
Denk hierbij aan de grondstoffen die nodig zijn voor de kraanopstelplaats, en in hoeverre er permanente onderdelen achterblijven in de ondergrond.

5.7 MODELLERING

5.7.1 FUNDERING OP STAAL

FAALMECHANISMEN

Bij het ontwerp van een kraanopstelplaats met een fundering op staal dienen de volgende faalmechanismen te worden getoetst:

- Overschrijding van de draagkracht van de ondergrond (inclusief toets op pons en squeeze).
- Horizontaal evenwicht.
- Algehele stabiliteit.
- Zettingen.

VOORONTWERP

In een voorontwerp is vaak slechts een beperkt aantal gegevens bekend. De toetsing van de relevante faalmechanismen wordt daarom vaak uitgevoerd met behulp van analytische methoden voor ongedraineerd en gedraineerd grondgedrag. In 6.5.2.2 van NEN 9997-1 [46] zijn de analytische methoden opgenomen. Voor de gedraineerde situatie is de methode gebaseerd op onder andere het werk van Prandtl (1920) [60], Meyerhof (1953) [45] en Brinch Hansen (1970) [6].

Indien gewenst kunnen geavanceerdere modellen in een VO worden gebruikt (zoals berekeningen met EEM). In alle gevallen dient bij de berekeningen in de VO fase te worden opgelet dat in de keuze van het model en de uitgangspunten voldoende rekening wordt gehouden met de onzekerheden die er in dit stadium vaak nog zijn, bijvoorbeeld door middel van conservatieve aannamen of door een gevoeligheidsanalyse.

De CUR/CROW-publicatie 'Begaanbaarheid van bouwterreinen, geotechnische draagkracht voor funderingsmachines' [27] beschrijft tevens de BR 470 methode die is opgenomen in BR 470 'Working Platforms For Tracked Plant' [5]. Het nadeel van de BR 470 methode is het beperkte toepassingsgebruik voor alleen ongedraineerd gedrag voor ondergronden met een ongedraineerde schuifsterkte tussen 20 en 80 kPa. Voor kraanopstelplaatsen bij windturbines wordt geadviseerd om de BR 470 niet toe te passen, gezien de beperkingen van deze methode voor Nederlandse ondergronden.

Opgemerkt wordt dat het ontwerp van een fundering op staal van een kraanopstelplaats voor windturbines niet kan worden gemaakt op basis van de resultaten van plaatdrukproeven. Uit plaatdrukproeven volgt een maat voor de stijfheid van de ondergrond op basis van een opgelegde druk en een gemeten vervorming. De druk op de plaatdrukproef kan echter niet vergeleken worden met de vereiste funderingsdruk op de kraanopstelplaats: gezien de zeer geringe afmetingen van de plaat van de plaatdrukproef, in verhouding tot het rups- of stempeleppervlak onder een kraan, is het invloedsgebied van de belasting in de ondergrond uit de proef niet vergelijkbaar met de werkelijke situatie. Dit kan leiden tot een verkeerd ontwerp. Derhalve dient een ontwerp niet te worden gemaakt op basis van resultaten van plaatdrukproeven. Een plaatdrukproef kan wel worden gebruikt voor het toetsen van de verdichting van de funderingslaag van de kraanopstelplaats.

DEFINITIEF ONTWERP

Bij het maken van een definitief ontwerp dient het type toe te passen kraan bekend te zijn, of dient op zijn minst zekerheid te zijn over een maatgevend kraantype.

De toetsing van de relevante faalmechanismen kan in het DO plaatsvinden met behulp van een analytisch model, zie het VO ontwerp. Een andere mogelijkheid is het toetsen van alle faalmechanismen in een Eindig Elementen Model (EEM). Voor aandachtspunten met betrekking tot de modellering van een kraanopstelplaats in EEM, zie paragraaf 5.7.4.

Voor het ontwerpen van gewapende funderingslagen wordt tevens verwezen naar de CUR/CROWpublicatie 'Geokunststoffen als funderingswapening in ongebonden funderingslagen' [20].

AANDACHTSPUNTEN BIJ HET ONTWERP VAN EEN FUNDERING OP STAAL

De volgende aandachtspunten worden genoemd bij het maken van een ontwerp van een fundering op staal voor een kraanopstelplaats bij een windturbine:

- *Onzekerheid in kraantype:* in een VO is vaak het type in te zetten kraan nog niet bekend. In dat geval dient de ontwerper zelf onderbouwde aannames te doen voor belastingen,

contactdrukken en bijbehorende contactoppervlaktes. Dit kan bijvoorbeeld op basis van vergelijkbare projecten. Bij het maken van een definitief ontwerp dient het type toe te passen kraan bekend te zijn, of dient op zijn minst zekerheid te zijn over het maatgevend kraantype.

- *Effectief funderingsoppervlak*: bij de toetsing van de draagkracht van de ondergrond dient het effectieve funderingsoppervlak te worden berekend, zie paragraaf 5.3.2. Hierbij dient wel te worden getoetst of de schotten de belasting over de volledige oppervlakte van de schotten kunnen spreiden. Het geotechnisch bezwijken van een enkel schot onder een stempel of rups hoeft niet apart te worden getoetst, indien de rupsen haaks op de schotten staan. Een eventuele toetsing of de kraanschotten de gewenste spreiding kunnen leveren, en een toetsing van de sterkte van de kraanschotten dient door de ontwerpende partij te worden uitgevoerd, niet door de kraanverhuurder.
- *Toets op pons*: omdat bij een fundering op staal een stijve funderingslaag wordt toegepast, zal in de meeste gevallen de toets op pons moeten worden uitgevoerd naast de gewone controle van de draagkracht conform paragraaf 6.5.2.2 van NEN 9997-1 [46].
- *Toets op squeeze*: bij de aanwezigheid van relatief ondiepe slappe lagen in de ondergrond dient te worden getoetst of deze slappe lagen niet zijdelings kunnen worden weggeperst door de belasting, door middel van een toets op squeeze, conform paragraaf 6.5.2.2 van NEN 9997-1 [46].
- *Invloed van taluds*: als er binnen de invloedsbreedte van de fundering op staal een talud aanwezig is, heeft dit talud een negatieve invloed op de draagkracht van de ondergrond: de lengte van het glijvlak wordt kleiner waardoor minder wrijving in de ondergrond kan worden gemobiliseerd en minder tegenwerkend grondgewicht aanwezig is. Bij een verhoogd aangelegde kraanopstelplaats of indien naast de kraanopstelplaats sloten aanwezig zijn of gegraven worden (bijvoorbeeld ten behoeve van de afwatering van de kraanopstelplaats zelf), zal dit het geval zijn. De invloed van een talud kan in een analytische berekening worden meegenomen conform paragraaf 6.5.2.2 van NEN 9997-1 [46]. Het is belangrijk om deze invloed al in een VO mee te nemen, omdat dit tot consequenties in het ontwerp kan leiden, zoals het wijzigen van de locatie van de kraanopstelplaats, het aanleggen van (tijdelijke) duikers of het versterken van de fundering.
Bij een niet horizontaal maaiveld of een nabij gelegen talud dient de hoek β te worden bepaald conform NEN 9997-1 paragraaf 6.5.2.2 (p) en (q) [46]. Als $\beta > 0,5\phi_{\text{gem;d}}$, dan dient aanvullend aan de toets van het draagvermogen tevens de algehele stabiliteit (afschuiven langs een diepglijvlak) van het talud te worden getoetst met een stabiliteitsberekening, waarbij de kraanbelasting als belasting is ingevoerd.
Hierbij wordt opgemerkt dat het meenemen van relatief smalle en ondiepe sloten naast de kraanopstelplaats als een talud in de draagkrachtberekening leidt tot zeer conservatieve resultaten. In geval van sloten met beperkte afmetingen en diepte kan, op basis van de berekende invloedsbreedte van het schuifvlak, worden beoordeeld of er risico is dat het schuifvlak uitkomt in het talud van de sloot. Indien dit risico er niet is kan worden overwogen om de sloot niet als talud te modelleren maar alleen een reductie op het gewicht van de gronddekking naast de fundering in rekening te brengen.
- *Horizontale belastingen*: In de toetsing van het verticaal draagvermogen dient de invloed van de horizontale belastingen die vanuit de kraan kunnen aangrijpen op de fundering te worden meegenomen.
- *Belastingspreiding in de funderingslaag*. Bij het toepassen van een ongebonden funderingslaag (bijvoorbeeld van granulaat), zal deze laag zorgen voor spreiding van de belasting vanuit de kraan. De mate van belastingspreiding hangt af van de verhouding tussen de stijfheid van de funderingslaag en de stijfheid van de ondergrond. De methode van

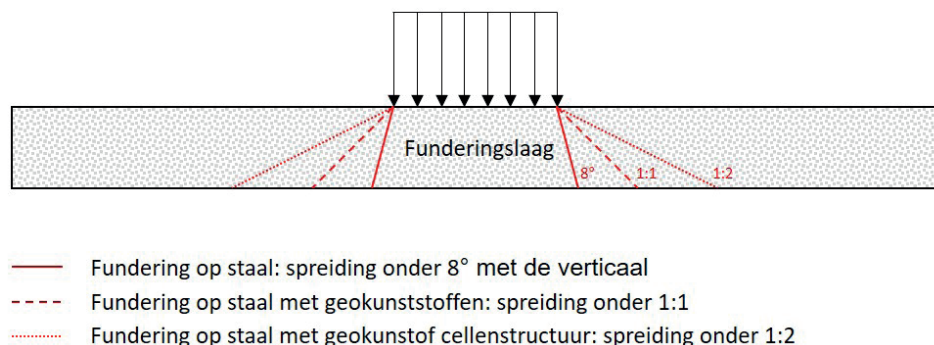
Brinch Hansen [6] in de NEN 9997-1 [46] geeft geen ruimte voor het modelleren van de fundering op het niveau onderkant funderingslaag, waarbij een spreiding in de funderingslaag wordt meegenomen: een dergelijke modellering kan leiden tot een te gunstig ontwerp. Op basis van de NEN 9997-1 [46] dient, in geval van ongebonden, niet met geokunststof versterkte funderingslagen, de funderingslaag als een grondlaag in het model te worden ingevoerd, en dient als funderingsniveau het niveau bovenkant funderingslaag te worden aangehouden. Bij de toets op ponsen wordt in deze modellering rekening gehouden met een belastingspreiding van 8° ten opzichte van de verticaal. Opgemerkt wordt dat dit een conservatieve modellering is, zeker in geval van gebonden of met geokunststof versterkte funderingslagen: rekenen met meer geavanceerde modellen zal in de meeste gevallen leiden tot een grotere spreiding in de funderingslaag, zie ook het volgende punt.

- *Modellering van geokunststoffen*: bij het modelleren van een fundering op staal met geokunststoffen kan de positieve bijdrage van het geokunststof aan de spreiding van de belastingen en/of de sterkte van de fundering in rekening worden gebracht. De wijze waarop dit in rekening wordt gebracht kan verschillen van het rekenen met extra belastingspreiding tot het rekenen met een verhoogde sterkte van de fundering.

Voor een VO kunnen de volgende vuistregels aangehouden worden voor de spreiding in versterkte funderingslagen: een spreiding van 1:1 in een funderingslaag met geokunststof of een funderingslaag met gestabiliseerde grond en een spreiding van 1:2 in een funderingslaag met een geokunststof cellenstructuur.

FIGUUR 5.10

SPREIDING IN FUNDERINGSLAAG, AAN TE HOUDEN IN EEN VO ANALYSE



Bij het toetsen van een fundering op staal wordt in dit geval als funderingsniveau het niveau onderkant funderingslaag aangehouden, waarbij door middel van de spreiding de belasting wordt verkleind en over een groter oppervlak aangrijpt. Wel dient de extra belasting door het eigen gewicht van de funderingslaag bij de verticale belasting te worden opgeteld. In latere fasen van het ontwerp dient de wijze waarop de werking van het geokunststof in rekening wordt gebracht, te worden onderbouwd door middel van literatuur of proefresultaten. Hierbij dient rekening te worden gehouden met effecten die de positieve bijdrage van het geokunststof beperken. Voorbeelden hiervan zijn een afnemende treksterkte van het geokunststof bij toenemende rek, en eventuele effecten van kruip (deze laatste kunnen in situaties van kraanopstelplaatsen bij windturbines meestal worden genegeerd, gezien de korte duur van de belastingen).

- *Zettingen*: hierbij wordt onderscheid gemaakt in:
 - *Zettingen door consolidatie en kruip ten gevolge van de aanleg van de kraanopstelplaats.*
 Grote (rest)zettingen ten gevolge van de aanleg van een kraanopstelplaats zijn onwenselijk: Als gevolg van zettingen van de kraanopstelplaats kan de ontwateringsdiepte van de kraanopstelplaats te klein worden, of kunnen er onacceptabele zettingsver-

schillen ontstaan ter plaatse van aansluitingen met bouwwegen of de omgeving. Dit kan leiden tot het moeten ophogen van de kraanopstelplaats bij toekomstig gebruik bij onderhoud of demontage. De te verwachten zettingen kunnen tijdens de ontwerp-fase worden berekend en - indien nodig - kunnen maatregelen worden getroffen. Voorbeelden van maatregelen zijn het aanleggen van de kraanopstelplaats met overhoogte, of het voorbelasten van de ondergrond om de nog te verwachten restzettingen te minimaliseren. Opgemerkt wordt dat het voorbelasten van de ondergrond ter plaatse van de kraanopstelplaats wel significante invloed kan hebben op de planning van de aanleg van het windpark; bijvoorbeeld wachtperiodes van 3-9 maanden om de cohesieve grondlagen te laten consolideren (dissipatie van de wateroverspanningen). De consolidatieperiode kan eventueel worden verkort door middel van het aanbrengen van bijvoorbeeld verticale drainage, waardoor een versnelde consolidatie kan plaatsvinden).

- *Zettingen ten gevolge van vervormingen van de fundering en ondergrond door de belastingen ten gevolge van hijsoperaties.*

De ondergrond zal bij deze belastingen veelal ongedraineerd (cohesieve grondlagen) gedrag vertonen. In zand is sprake van gedraineerd gedrag. In veel gevallen zullen eisen zijn gesteld aan de maximaal toelaatbare (verschil)zettingen van een kraanopstelplaats of de maximale rotatie van de kraan tijdens hijsoperaties. Deze (verschil) zettingen kunnen worden bepaald met analytische programma's of Eindige Elementen Modellen.

5.7.2 FUNDERING OP PAALMATRAS

De wijze waarop een paalmatras kan worden ontworpen is beschreven in CUR/CROW-publicatie 'Ontwerprichtlijn Paalmatrassystemen' [22]. Hierin zijn zowel analytische als numerieke ontwerpmethoden uitgewerkt. In de verschillende ontwerpfasen (VO, DO en UO) kan gekozen voor één van deze methoden.

AANDACHTSPUNTEN BIJ HET ONTWERP VAN EEN FUNDERING OP PAALMATRAS

De volgende aandachtspunten worden genoemd bij het ontwerpen van een fundering op een paalmatras voor een kraanopstelplaats bij een windturbine:

- Onzekerheid in kraantype: in een VO is vaak het type in te zetten kraan nog niet bekend. In dat geval dient de ontwerper zelf onderbouwde aannames te doen voor belastingen, contactdrukken en bijbehorende contactoppervlaktes. Dit kan bijvoorbeeld op basis van vergelijkbare projecten. Bij het maken van een definitief ontwerp dient het type toe te passen kraan bekend te zijn, of dient op zijn minst zekerheid te zijn over het maatgevend kraantype.
- In het ontwerp dient de wijze van krachtsafdracht van de horizontale belasting vanuit de kraan te worden meegenomen en de invloed van deze horizontale belasting op de geokunststoffen en de palen dient te worden getoetst. Deze horizontale krachten op de palen kunnen maatgevend zijn voor het ontwerp van de (rand)palen.
- Indien relevant dient rekening te worden gehouden met een horizontale grondbelasting op de palen onder het paalmatras. Deze horizontale grondbelastingen treden bijvoorbeeld op onder de taluds van een kraanopstelplaats die hoger dan het maaiveld wordt aangelegd, of kunnen ontstaan doordat naast de kraanopstelplaats een verhoogde bouw-weg wordt aangelegd.
- De interactie van de paalmatras met de fundering van de windturbine dient te worden beschouwd. Denk hierbij zowel aan fysieke interactie tussen de paalfundering van de windturbine (in geval van schoorpalen) en de palen onder het paalmatras, als aan interactie

door de belasting vanuit het paalmatras op de paalfundering van de windturbine.

Zie voor overige aandachtspunten met betrekking tot het ontwerp van een paalmatras CUR/CROW-publicatie 'Ontwerprichtlijn paalmatrassystemen' [22].

5.7.3 FUNDERING OP POER MET PALEN

Bij een fundering van een kraanopstelplaats op poeren met palen dient het ontwerp en de toetsing van de palen te worden uitgevoerd conform hoofdstuk 7 van NEN 9997-1 [46]. Het constructieve ontwerp van de poer dient conform NEN-EN 1992-1-1 [46] te worden uitgevoerd.

AANDACHTSPUNTEN BIJ HET ONTWERP VAN EEN FUNDERING OP EEN POER MET PALEN

De volgende aandachtspunten worden genoemd bij het ontwerpen van een fundering op een poer met palen voor een kraanopstelplaats bij een windturbine:

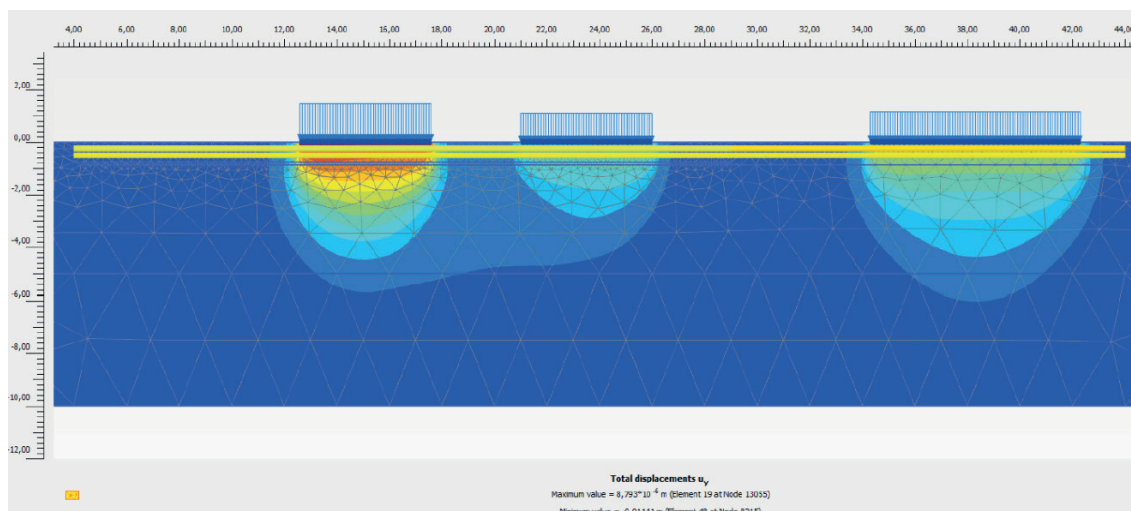
- Onzekerheid in kraantype: in een VO is vaak het type in te zetten kraan nog niet bekend. In dat geval dient de ontwerper zelf onderbouwde aannames te doen voor belastingen, contactdrukken en bijbehorende contactoppervlaktes. Dit kan bijvoorbeeld op basis van vergelijkbare projecten. Bij het maken van een definitief ontwerp dient het type toe te passen kraan bekend te zijn, of dient op zijn minst zekerheid te zijn over het maatgevend kraantype.
- In het ontwerp dient de wijze van krachtsafdracht van de horizontale belasting vanuit de kraan te worden meegenomen en de invloed van deze horizontale belasting op de palen dient te worden getoetst.
- Indien relevant dient rekening te worden gehouden met een horizontale grondbelasting op de palen. Deze horizontale grondbelastingen treden bijvoorbeeld op onder de taluds van een kraanopstelplaats die hoger dan het maaiveld wordt aangelegd, of kunnen ontstaan doordat naast de kraanopstelplaats een verhoogde bouwweg wordt aangelegd.
- In het ontwerp dient rekening te worden gehouden met de geschiktheid van de kraanopstelplaats voor meerdere typen kranen: gedurende de bedrijfsfase van de windturbine zal onderhoud aan de turbine moeten kunnen plaatsvinden, waarvoor wellicht aanzienlijk kleinere kranen nodig zijn dan het opbouwen van de turbine. Ook dient een bewuste keuze te worden gemaakt of de kraanopstelplaats geschikt moet zijn voor zowel rupskranen als stempelkranen. Dit kan leiden tot relatief grote en complex gevormde poeren.
- De interactie van de paalfundering van de kraanopstelplaats met de fundering van de windturbine dient te worden beschouwd. Denk hierbij zowel aan fysieke interactie tussen de paalfundering van de windturbine (in geval van schoorpalen) en de palen onder de kraanopstelplaats, als aan interactie door de belasting vanuit de palen onder de kraanopstelplaats op de paalfundering van de windturbine.
- In het ontwerp dient te worden getoetst of pons van de paal door de betonnen funderingspoer niet op kan treden.
- In het ontwerp van de kraanopstelplaats dient rekening te worden gehouden met mogelijke zettingsverschillen tussen de poeren met palen en de naastgelegen storage area: de poeren met palen zullen vrijwel niet zakken, terwijl de storage area waarschijnlijk gefundeerd is op een meer zettingsgevoelige fundering. Dit kan tot onacceptabele zettingsverschillen tussen de kraanopstelplaats en de storage area leiden.

5.7.4 MODELLERING IN EEM

Bij het toetsen van kraanopstelplaatsen in Eindige Elementen Modellen (EEM) kunnen zowel de vervormingen als de veiligheid tegen bezwijken worden getoetst. De volgende aandachtspunten gelden bij het toetsen van een kraanopstelplaats in EEM:

- De keuze van het grondmodel is bepalend voor het resultaat: in elk geval dient het gebruikte grondmodel plastisch grondgedrag te kunnen modelleren. In de meeste gevallen loont het om een meer geavanceerd grondmodel te gebruiken, omdat dit meestal leidt tot minder conservatieve resultaten.
- De benodigde grondparameters voor een EEM berekening dienen zorgvuldig te worden bepaald. In een VO kan worden overwogen om de parameters te bepalen op basis van conservatieve vuistregels. In de DO of UO fase wordt het sterk aanbevolen om de grondparameters te bepalen op basis van laboratoriumonderzoek: het rekenen met een geavanceerd grondmodel maar met parameters die niet nauwkeurig zijn bepaald leidt anders snel tot een schijnnaauwkeurigheid. Voor de analyses zijn de belangrijkste parameters de sterkte- en stijfheidsparameters en de neutrale gronddrukcoëfficiënt K_0 ;NC. Deze kunnen worden bepaald met K_0 -CRS proeven en triaxiaalproeven of Direct simple shear proeven.
- In de meeste gevallen zullen zettingen door consolidatie niet van belang zijn, omdat de belastingen op de kraanopstelplaats slechts kort aanwezig zijn. In het geval dat de zettingen door consolidatie wel van belang zijn (bijvoorbeeld bij zettingen door aanleg van de kraanopstelplaats), dient een geschikt grondmodel te worden gekozen dat consolidatie en kruip in rekening brengt. Ook dienen de hiervoor relevante parameters (samendrukkingsparameters en parameters met betrekking tot de belastinghistorie van de grond, zoals OCR en grensspanning) te worden bepaald met geschikte laboratoriumproeven, zoals samendrukkingsproeven.
- Afhankelijk van het type ondergrond en de duur van de belasting dient een onderbouwde keuze te worden gemaakt voor ongedraineerd of gedraineerd (of beide) rekenen.
- Er dient een keuze gemaakt te worden voor een 2-dimensionale (2D) of een 3-dimensionale (3D) analyse. Een 3D analyse kan meerwaarde hebben omdat de belasting vanuit een kraan doorgaans beperkte afmetingen heeft. Indien randeffecten van belang zijn, zoals beïnvloeding van de fundering van de windturbine door de kraanopstelplaats, kan een 3D analyse noodzakelijk zijn om tot betrouwbare resultaten te komen.

FIGUUR 5.11 VOORBEELD UITVOER VAN EEN EEM BEREKENING MET BELASTINGEN OP EEN MET GEOKUNSTSTOFFEN VERSTERKTE FUNDERING OP STAAL



5.8 OP TE LEVEREN PRODUCTEN

Het ontwerp van een kraanopstelplaats leidt tot de volgende producten:

- Ontwerprapport. Hierin zijn een beschrijving van het ontwerp, de ontwerpuitsgangspunten en de relevante toetsingen opgenomen.
- Tekeningen. In de tekeningen zijn het ontwerp met de bijbehorende materialen en hoeveelheden weergegeven. Tevens dient op de tekeningen de benodigde maatregelen voor de waterhuishouding (drainage etc.) weergegeven te zijn.
- Technische beschrijving/bestek o.i.d.

Vastgelegd dient te worden welke toetsingen, monitoring en registraties tijdens de realisatie worden gedaan.

6

REALISATIE, BEHEER EN ONDERHOUD

6.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk betreft de realisatie, het beheer en het onderhoud van een kraanopstelplaats. Voor de beschrijving van de betreffende aspecten en aandachtspunten is de volgende paragraafindeling gehanteerd:

- Aanleg opstelplaats (alle benodigde verhardingen t.b.v. opbouw, opslag en transport).
- Uitvoering van de hijsoperatie.
- Beheer en onderhoud van de permanente kraanopstelplaats.
- Verwijderen tijdelijke kraanopstelplaats.
- Monitoring en toetsing.

Er zijn interacties mogelijk met onder andere de aanleg van kabels, de windturbine fundatie, de bouwwegen en het transport van de windturbine.

6.2 AANLEG OPSTELPLAATS

6.2.1 UITGANGSPUNTEN

Uitgangspunt voor de realisatie is het ontwerp zoals beschreven in hoofdstuk 5. Voorwaarde voor een probleemloze realisatie is een goed ontwerp en een goede omschrijving van de randvoorwaarden voor realisatie.

De uitvoerende partij dient op basis van deze ontwerpdocumenten werkplannen te maken. Het soort werkplannen is afhankelijk van de gekozen ontwerpoplossing. De werkplannen dienen getoetst te worden aan de ontwerpdocumenten. Ook dient de wijze van toetsing van de kwaliteit van de uitvoering te worden vastgelegd.

Ook is het nodig om de werkelijk aangetroffen situatie te verifiëren aan de gehanteerde ontwerpuitgangspunten. Te denken valt daarbij aan:

- De diepte van een vaste grondlaag in het geval van een grondverbetering.
- Verdichting van de ondergrond in geval van een zandige toplaag of grondverbetering.
- Aanvullende sonderingen in geval van een sterk inhomogene ondergrond.

6.2.2 AANDACHTSPUNTEN

Uit de praktijk is een aantal aandachtspunten te benoemen. Dit hangt o.a. samen met de gekozen ontwerpoplossing.

REALISATIEPERIODE

De realisatieperiode kan mogelijk beperkt zijn door landbouwactiviteiten, waterhuishoudkundige omstandigheden en wetgeving.

Voor waterkeringen geldt in principe een gesloten seizoen (hoogwater of stormseizoen), waarbij geen werkzaamheden bij of op de waterkeringen mogen plaatsvinden.

Ook kan er in geval van een overstromingsgebied sprake zijn van een verzadigde ondergrond, waardoor realisatie tijdelijk niet mogelijk is.

WEERSOMSTANDIGHEDEN

De weersomstandigheden / seizoenen kunnen invloed hebben op de realisatie van werken of zelfs al op het ontwerp. Zo kan overvloedige regenval een probleem vormen als het gaat om het vollopen van ontgravingen. Dit kan aanzienlijke vertragingen tot gevolg hebben.

Het al of niet verweken van de ondergrond heeft een grote invloed op de draagkracht van kraanopstelplaatsen.

ONTGRAVING GROND

Afhankelijk van de hoeveelheid te ontgraven grond dient mogelijk grond te worden afgevoerd of kan er ter plaatse grond in depot worden gezet. Daarbij speelt ook een rol of de opstelplaats van tijdelijke aard is of permanent dient te worden aangelegd. Bij het afvoeren van grond speelt mogelijk vervuilde grond een rol. De kosten van afvoer en verwerking kunnen hoog zijn.

Bij de keuze van afvoer of depot is vaak overleg met de grondeigenaar nodig. Wellicht is de grond van waarde voor de grondeigenaar. Op en bij waterkeringen worden in het gesloten seizoen geen graafwerkzaamheden toegestaan.

GRONDWATER

Afhankelijk van de diepte van een ontgraving is er bemaling nodig. Daarbij dient ook rekening te worden gehouden met de reeds aanwezige terreindraining. Deze dient te worden hersteld / te worden aangepast om vernatting van de aangrenzende landbouwgrond te voorkomen.

Bij het bemalen zal er moeten worden gekeken naar de lozing van grondwater.

INTERFACES MET ANDERE PARTIJEN

In veel gevallen wordt de aanleg van de civiele infrastructuur en de aanleg van de fundamenteën voor de windturbine door verschillende partijen gedaan. Het managen van deze interface is o.a. qua planning van groot belang. Zo zal het aanvullen van de grond direct naast het fundament mogelijk later gebeuren en kan dat deel van de opstelplaats ook pas na gereedkomen van het fundament worden aangelegd. Aangezien juist dit deel van de opstelplaats grote kraanbelastingen kan krijgen is aandacht voor de kwaliteit van dit laatste stukje aanvulling van groot belang.

Een andere interface is met het kabelwerk. Kabeltracés kunnen mogelijk deels onder de kraanopstelplaats lopen. Om te voorkomen dat dit leidt tot clashes tijdens de realisatie worden hier vaak mantelbuizen in de kraanopstelplaats voor opgenomen.

VOORBELASTING

Bij ontwerp oplossingen 'op staal' kan het voorbelasten van de kraanopstelplaats, door het aanbrengen van een gronddepot, een oplossing zijn om zakkingen tijdens het hijswerk te beperken. Dit voorbelasten heeft enige tijd nodig om effect te sorteren en dient bij het ontwerp en de planning van het project te worden meegenomen. Het voorbelasten zelf heeft grondverplaatsingen tot gevolg die van invloed kunnen zijn op omliggende objecten als kabels en leidingen, sloten, opstallen, en dergelijke.

ZICHTBAARHEID VERSTERKTE DEEL OPSTELPLAATS

In het kader van optimalisatie van het ontwerp van de kraanopstelplaats wordt er soms voor gekozen om onderscheid te maken tussen het deel van de opstelplaats waar de hoofdkraan staat en het deel dat voor lagere belastingen geschikt dient te zijn. Dit kan resulteren in verschillende pakketdikten met verschillende sterkte en vervormingseigenschappen. Aan de bovenzijde van de kraanopstelplaats is dit dikteverschil echter niet zichtbaar, met als gevaar dat hoge belastingen op de rand van het zwakke deel worden geplaatst. Het is dan ook van groot belang om duidelijk te markeren waar zich het sterke deel van de kraanopstelplaats bevindt.

Dit zelfde geldt ook voor de te hanteren randafstand van de grote last tot de rand van de opstelplaats. Ook hiervoor is een duidelijke markering van belang. Vooral in geval van taluds en sloten naast de kraanopstelplaats.

6.2.3 KWALITEITSREGISTRATIES

De uit te voeren kwaliteitsregistraties en controles dienen vooraf in bestek en werkplannen te worden vastgelegd. Het doel van deze kwaliteitsregistraties is om tijdens de realisatie te toetsen aan de ontwerpuitgangspunten. Het is dus uitdrukkelijk niet zo dat deze registraties als doel hebben om draagkracht van de opstelplaats te toetsen. Dit dient immers met een goed ontwerp en de kwaliteitscontrole hierop, te zijn ondervangen. Voorbeelden van kwaliteitsregistraties zijn:

- De verdichting van een menggranulaat pakket middels een plaatdrukproef of een proctorproef met dichtheidsmetingen (steekring- of nucleaire methode).
- In het geval van toepassing geotextielen, overlapping van geogrids en legrichting (legplannen).
- Korrelsamenstelling uit laboratoriumonderzoek.
- Kalenderen van palen.
- Vlakheid van de opstelplaats.
- Dikte van de aangebrachte grondverbetering door (hand)boring.
- Hoogte en verloop van de grondwaterstand / stijghoogte uit peilbuismetingen of eventueel door een sondering met een piëzo-conus.

Er wordt er uitdrukkelijk op gewezen dat de vaak voorgeschreven plaatdrukproeven alleen als doel kunnen hebben om stijfheid (indicatie) van een pakket met beperkte dikte te controleren en niet om daarmee de draagkracht van de opstelplaats te beoordelen.

FOTO 6.1

VERDICHTING VAN HET WERKPLATEAU EN AFWERKING HOOGTES VERDIENST EXTREEM VEEL AANDACHT, GEZIEN DE ZEER KLEINE TOELAATBARE TOLERANTIES



6.2.4 OVERDRACHT / OPLEVERING

Er zijn twee oplevermomenten aan te wijzen bij kraanopstelplaatsen:

- Vóór de bouw van de turbine: bouwfase waarin de kraanopstelplaats geschikt moet zijn voor de hijsoperatie.
- Vóór afronding van bouw windpark: afwerking van de permanente opstelplaats na plaatsing van de windturbine. Daarbij kan een deel van de opstelplaats weer zijn weggehaald en de rest zijn afgewerkt.

De uitvoerende partij dient daarbij het werk over te dragen aan respectievelijk kraanbedrijf/ turbinefabrikant en de eigenaar van het windpark. Deze laatste twee partijen dienen daarbij het geleverde werk te accepteren voordat de volgende fase in kan gaan. De kwaliteitsregistraties dienen daarbij als bewijs van de geleverde kwaliteit.

6.2.5 MONITORING BIJ AANLEG OPSTELPLAATS

Ten aanzien van monitoring tijdens de aanleg van de opstelplaats is het zettingsgedrag bij ophoging (bijvoorbeeld voorbelasting) te noemen. Het doel hiervan is om het werkelijke zettingsgedrag in de tijd te vergelijken met het in het ontwerp voorspelde gedrag. Hiermee kan worden beoordeeld of aan de gestelde zettingseisen voor de opstelplaats wordt voldaan. Monitoring van zettingen kan plaatsvinden met hulp van zakbaken.

Ook bij het installeren en trekken van damwanden en/of het heien van palen kan omgevingsbeïnvloeding optreden. Denk aan trillingschade, trillingshinder en geluidsoverlast.

De wijze van monitoring dient vooraf in een monitoringsplan te worden beschreven. Werkzaamheden op of dichtbij een waterkering zullen veelal trillingsvrij moeten worden uitgevoerd.

Per project (fase) zal een beoordeling moeten worden gedaan van het risico op omgevingsbeïnvloeding. Zie paragraaf 6.6. voor een nadere toelichting bij monitoring.

6.3 DE HIJSOPERATIE

6.3.1 UITVOERING VAN DE HIJSOPERATIE

Aan de uitvoering van de hijsoperatie gaat een gedegen voorbereiding vooraf (de 'hijsplanning'). De Richtlijn arbeidsmiddelen 2009/104/EG [61] zegt hierover in artikel 3.2.5 van Bijlage 2:

Alle handelingen voor het hijsen/heffen moeten correct gepland en onder adequaat toezicht worden uitgevoerd teneinde de veiligheid van werknemers te garanderen.

Het planmatig voorbereiden van een hijsactiviteit betreft het opstellen van een hijsplan. Dit hijsplan is een verzameling van afspraken en documenten met informatie over de uitvoering van een hijsactiviteit. Het hijsplan kan informatie bevatten over de last, de hijsgereedschappen, de kraan en omgevingsfactoren zoals de ondergrond. Het plan kan, afhankelijk van de complexiteit van de hijsactiviteit, eenvoudig van aard zijn en alleen een werkbond met instructies bevatten, maar het kan ook uit meerdere onderdelen bestaan zoals een hijskening en een TRA.

De verantwoordelijkheid voor het opstellen van het hijsplan en de organisatie van het toezicht ligt bij de regie voerende partij. In de overeenkomst tussen de kraanverhuurder en haar opdrachtgever wordt bepaald of er sprake is van 'werken in regie' of 'aangenomen werk'. Hieruit volgt wie van de twee de hijsplanning dient te verzorgen en tevens het toezicht moet organiseren.

Mede onderdeel van de hijsplanning is het samenstellen van het hijssteam. Het veilig uitvoeren van hijswerkzaamheden omvat vanuit wettelijk perspectief het invullen van tenminste de volgende drie rollen:

- De seingever. De seingever is verantwoordelijk voor het geven van de juiste besturingsinstructies aan de machinist.
- De aanpikker. De aanpikker is verantwoordelijk voor het veilig bevestigen of ontkoppelen van de last. Indien noodzakelijk moet hij de last (op aanwijzing van de seingever) kunnen begeleiden, bijvoorbeeld middels stuurlijnen.
- De machinist. De machinist is verantwoordelijk voor de bediening van de mobiele kraan.

Bij sommige activiteiten is het mogelijk dat de aanpikker tevens de rol vervult van seingever.

De invulling van het hijsplan en de wijze waarop het hijssteam wordt samengesteld hangt samen met de complexiteit van de werkzaamheden en de deskundigheid van de medewerkers. Dit geldt ook voor de wijze waarop het toezicht wordt georganiseerd. De complexiteit van de hijsactiviteit kan worden bepaald middels een risicoanalyse. Voor informatie over de uitvoering van deze risicoanalyse en een nadere toelichting op de overige hierboven genoemde onderwerpen wordt verwezen naar de richtlijn mobiele kranen www.richtlijnmobielekranen.nl [71]² of de website van de VVT www.verticaaltransport.nl [69].

² Mogelijk zal deze link nog niet werken. Deze richtlijn naar verwachting gelijktijdig met het uitkomen van onderhavige handreiking kraanopstelplaatsen klaar, de link zal op dat moment verwijzen naar een werkende website

Het volgen van de in deze richtlijnen beschreven stappen leidt tot een veilige uitvoering van de hijsoperatie. Dit komt omdat de operatie:

- Wordt uitgevoerd binnen het kader van een doeltreffend beheerssysteem.
- Ten aanzien van optredende risico's is beoordeeld en op basis daarvan maatregelen zijn getroffen om deze risico's te beheersen, waaronder het verstrekken van instructies.
- Naar behoren is gepland.
- Wordt uitgevoerd met deskundig personeel.
- Wordt uitgevoerd met het juiste materieel.
- Onder deskundig toezicht staat.

6.3.2 MONITORING BIJ DE HIJSOPERATIE

Ook in de gebruiksfase van een kraanopstelplaats kan monitoring van de omgevingsbeïnvloeding belangrijk zijn. Denk aan het scheefzakken van de kraan door grondverplaatsingen, trillingen en/of geluid.

De wijze van monitoring dient vooraf in een monitoringsplan te worden beschreven.

Per project (fase) zal een beoordeling moeten worden gedaan van het risico op omgevingsbeïnvloeding. Zie paragraaf 6.6. voor een nadere toelichting bij monitoring.

6.4 BEHEER EN ONDERHOUD VAN DE PERMANENTE OPSTELPLAATS

6.4.1 INLEIDING

Het permanente deel van de opstelplaats moet gedurende de levensduur van de windturbine beschikbaar blijven voor het opstellen van een onderhoudskraan.

De grootste uitdaging in deze fase is het voorkomen van erosie / tijdsafhankelijke aantasting van de opstelplaats. In sommige gevallen is het uiterlijk van de opstelplaats een factor van belang. We zien dan ook verschillende opbouwen / afwerkingen van opstelplaatsen, welke in grote lijnen zijn in te delen in:

- Gesloten verhardingen als asfalt of beton.
- Open verhardingen als menggranulaat of open straatmaterialen.
- Afdekkingen met teelaarde (gras na inzaaien).

Deze afwerkingen leiden tot verschillende beheeraspecten.

Ten slotte is het goed om ervan bewust te zijn dat opstelplaatsen vaak ook worden gebruikt door landbouwers als bijvoorbeeld parkeerplaats voor landbouwmachines en als opslagplaats voor landbouwproducten (bijvoorbeeld bieten).

6.4.2 ASFALTVERHARDING

Asfalt heeft een zekere mate van flexibiliteit. Hierdoor kan asfalt enige vervormingen in de ondergrond meemaken zonder dat er scheurvorming optreedt. Aangezien de ondergrond in de loop van de tijd zal zakken door het gewicht van de opstelplaats en / of door de zogenaamde autonome zakking, kan men dan ook verwachten dat deze zakkingen (en eventuele zakkingsverschillen) terug te zien zijn in het asfalt. De mate hiervan is afhankelijk van de ondergrond, de opbouw van de opstelplaats als geheel en het eventuele gebruik van de opstelplaats voor andere doeleinden.

Er kunnen twee negatieve effecten optreden:

- De onvlakheid van de opstelplaats bemoeilijkt het plaatsen van een kraan.
- Er ontstaan plassen regenwater / de opstelplaats watert niet goed meer af. Water in combinatie met vorst kan op termijn leiden tot aantasting van het asfalt.

6.4.3 BETONVERHARDING

In tegenstelling tot asfalt is beton een star materiaal. Met vervormingen in de ondergrond zal beton dan ook minder makkelijk mee vervormen. Bij betonverhardingen spelen dan ook andere zaken een rol. Met name scheurvorming is een aandachtspunt. Beton is goed in staat om drukspanningen op te nemen maar kan weinig trekspanning opnemen. Om dat te kunnen oplossen worden betonconstructies doorgaans voorzien van wapeningsstaal in de trekzones. Door bijvoorbeeld buiging van de betonverharding ontstaat er trek. Voordat het wapeningsstaal deze trekkracht kan opnemen zal het beton eerst scheuren. Dit is normaal. De mate van scheurvorming willen we echter beperken. Zouden de scheuren te groot worden, dan bestaat er kans op aantasting (corrosie) van het wapeningsstaal op termijn.

Scheurvorming in beton kan verschillende oorzaken hebben. We noemen er hier enkele:

- Belasting door bijvoorbeeld een kraan of een opslag.
- Belasting door temperatuur.
- Zogenaamde plastische scheurvorming. Deze ontstaat in het net aangebracht beton en is te voorkomen door maatregelen tijdens het aanbrengen van de betonverharding.
- Krimpscheuren. Deze ontstaat door uitdroging van het beton.

Het is goed om te realiseren dat eenmaal ontstane scheurtjes in de loop der tijd zich lijken te verergeren. Dit komt niet persé door het groter worden van de scheuren, maar kan vaak ook worden toegeschreven aan het afbrokkelen / eroderen van de scheurranden door inwerking van vocht en vorst.

Scheuren tot 0,3 mm (officieel te meten ter plaatse van de wapening) worden als acceptabel beschouwd. Bij bredere scheuren kan er worden overwogen om deze middels injectie of een andere reparatiemethode te behandelen.

6.4.4 GESLOTEN VERHARDING EN AFWATERING

In het geval er is gekozen voor een gesloten verharding (asfalt of beton) dient er extra aandacht te worden besteed aan de afwatering. Het gehele verhardingsoppervlak zal immers veel regenwater opvangen. Het voorkomen van vernatting van de naastliggende (landbouw) landen is daarbij van belang. Het aanbrengen van een greppel met eventuele drainage is dan vaak noodzakelijk.

6.4.5 OPEN VERHARDING EN AFDEKKING MET TEELAARDE

Open verhardingen hebben als voordeel dat regenwater in de verharding kan weglopen. De snelheid van deze waterafvoer is echter afhankelijk van de korrelsamenstelling van de verharding. Op plekken met veel fijn materiaal is de kans op plasmvorming groter.

Verzadiging van de open verharding met regenwater door een natte periode en/of door een laag aanlegniveau van de opstelplaats kan tot een (tijdelijke) kwetsbaarheid van het verhardingsoppervlak leiden. Indien de opstelplaats in zo'n periode door bijvoorbeeld landbouwvoertuigen wordt bereden kan zich spoorvorming voordoen.

Net zoals bij asfaltverhardingen zal een open verharding met eventuele vervormingen in de ondergrond meebewegen. Ook dit kan plasmvorming in de hand werken. Aan de andere kant kan er in droge perioden stofvorming ontstaan.

Een belangrijk aspect bij open verhardingen is de kans dat er stenen in het naastliggende

landbouwland terecht komen. Dat is niet wenselijk. Om die reden worden open verhardingen vaak ingepakt en afgedekt met bijvoorbeeld een laag teelaarde.

De oplossing van afdekking met teelaarde geeft de opstelplaats een groen uiterlijk. Een nadeel is echter dat in geval van gebruik voor een onderhoudskraan deze teelaarde eerst moet worden verwijderd.

6.4.6 RANDEN VAN OPSTELPLAATSEN

Indien het oppervlak van opstelplaatsen gelijk ligt aan het omliggende terrein, bestaat er een kans op beschadiging van de randen van de opstelplaats door het op- en afrijden van landbouwvoertuigen. Een verhoogde ligging en/of het aanbrengen van een greppel of sloot rondom de opstelplaats geeft een duidelijke markering van de rand en vermindert daarmee ook de kans op schade.

Indien de opstelplaats verhoogd is aangelegd, is er aandacht nodig voor de bescherming tegen erosie van de taluds. Ook is de stabiliteit van deze taluds van belang. In dat kader is de randafstand van een bovenbelasting (zoals een kraan of opslag) een factor. Een te korte afstand kan leiden tot instabiliteit en afkalving van taluds.

6.4.7 KABELS EN LEIDINGEN

Indien vooraf te voorzien kunnen kabels en leidingen die een opstelplaats kruisen worden aangebracht in een beschermende mantelbuis. Het trekken en/of vervangen van kabels is op die wijze eenvoudiger.

Indien er in een later stadium kabels en leidingen door een opstelplaats moeten worden aangelegd geeft dit aantasting van de opstelplaats en dient er dan ook aandacht te zijn voor het herstel.

6.5 VERWIJDEREN VAN DE TIJDELIJKE OPSTELPLAATS

In veel gevallen is het niet noodzakelijk om de gehele kraanopstelplaats gedurende de levensduur van de windturbines bedrijfsklaar te houden. Tijdens de opbouw van de windturbine is meestal meer ruimte gewenst dan in de operationele fase van de windturbine. Om die reden maken we onderscheid in een tijdelijk en in een permanent deel van de opstelplaats. Permanent landgebruik wordt zo beperkt.

Over het algemeen zal het tijdelijke deel minder hoog worden belast. In verband met het tijdelijke karakter wordt hier vaak gekozen voor een oplossing met geotextiel en menggranulaat welke bij voorkeur op het oorspronkelijke maaiveld kan worden aangebracht. Op die wijze kan het een en ander weer eenvoudig worden verwijderd en kan de oorspronkelijke situatie weer worden hersteld.

6.6 MONITORING EN TOETSING

6.6.1 INLEIDING

Bij de aanleg van de opstelplaats kan omgevingsbeïnvloeding optreden als gevolg van voorbelasting, het inbrengen en verwijderen van damwanden en het heien van palen.

Trillingen en gronddeformaties kunnen schade en hinder aan belendingen, kabels en leidingen en infrastructuur veroorzaken.

Ook tijdens de hijsoperatie kan behoefte bestaan aan monitoring. Denk aan het scheefzakken van de kraan door grondverplaatsingen, het optreden van trillingen en eventueel geluid.

De impact en het belang van omgevingsbeïnvloeding zal afhangen van de locatie van de kraanopstelplaats. In stedelijke omgeving zal de impact en het belang vaak groter zijn dan in landelijke omgeving.

Om de risico's op schade en hinder zoveel mogelijk te verkleinen en te beheersen is een risico-gestuurde werkwijze van belang. Zie ook paragraaf 4.1 over de toepassing van Geotechnisch Risico Management (GeoRM). Met GeoRM kan op gestructureerde wijze worden omgegaan met de onzekere factoren die de verschillende geotechnische risico's bepalen.

Door middel van een risicoanalyse wordt de kans op schade en de gevolgen in alle project-fasen in beeld gebracht (inventarisatie en identificatie) en gekwalificeerd. Uit de risicoanalyses wordt een beeld gevormd van het risicoprofiel. Tegen de onvermijdelijke restrisico's dienen preventieve en/of correctieve beheersmaatregelen te worden genomen.

Monitoring is geen beheersmaatregel op zich, maar aan de hand van monitoring kan het risicoprofiel mogelijk wel worden bijgesteld. Zie ook de aanwijzing in CUR/CROW-publicatie "Richtlijn meten en monitoren van bouwputten" [19].

Monitoring tijdens het bouwproces is een hulpmiddel om inzicht te krijgen in het effect van deformaties (grond en materieel), trillingen en bouwlawaai op objecten in de omgeving.

Monitoring kan ook worden ingezet om beslissingen en aannamen met relatief grote onzekerheid tijdens de realisatie te beoordelen, waarbij op basis van de trillings- of deformatiemetingen en post-analyses grip op de onzekerheden kan worden verkregen.

Deze methode wordt de Observational Method genoemd. Als er bijvoorbeeld na de risicoanalyse in de ontwerpfase grote onzekerheid blijft bestaan over modelparameters voor trillingen en gronddeformaties kan aan de hand van de Observational Method en post analyses het risicoprofiel worden bijgesteld of de uitvoeringswijze worden aangepast.

Voor meer informatie over de toepassing van de SBRCURnet/GeoImpuls-publicatie Observational Method wordt verwezen naar de Handreiking Observational Method [65].

Met het monitoren wordt de invloed van de werkzaamheden op en in de omgeving gemeten, geregistreerd en getoetst aan de eisen. De wijze van meten, registreren, presenteren en toetsen aan signalerings- en interventiewaarden wordt beschreven in een monitoringsplan.

De procedure die bij het monitoren dient te worden gevolgd wordt, vastgelegd in een monitoringsplan. Veel informatie over monitoring kan worden gevonden in CUR-Publicatie Richtlijn meten en monitoren van bouwputten [19].

Vooraf bij toepassing van monitoring voor de Observational Method is het belangrijk dat de metingen grafisch worden gepresenteerd. Dit bevordert de interpretatie en het inzicht in de metingen.

In de volgende paragrafen worden de betreffende metingen nader toegelicht.

6.6.2 MONITORING BIJ VOORBELASTING

Bij voorbelasting van de kraanopstelplaats wordt naast de te realiseren netto dikte van de werkvloer een deel overhoogte aangebracht om de zettingen te compenseren en de zettingen sneller te laten verlopen. Dit laatste deel wordt de extra overhoogte genoemd die wordt verwijderd als aan de hand van zettingsmetingen en zakbaakanalyses voldoende zetting is opgetreden en aan de zettingseisen kan worden voldaan. Het zettingsproces kan kunstmatig

worden versneld door het aanbrengen van verticale drainage eventueel in combinatie met een extra overhoogte.

De te verwachten zetting en de mate van stabiliteit tijdens het ophogen en voorbelasten wordt aan de hand van zettings- en stabiliteitsanalyses door een geotechnisch adviseur bepaald.

Bij het voorbelasten worden de volgende items gemeten:

- a. Zetting van ophogingen.
- b. Water(over)spanning.
- c. Deformaties van grond en objecten.

Ad a) Zettingen van ophogingen kunnen worden gemeten met zakbaken of extensometers (puntmeting) of zettingsmeetslangen (over de gehele doorsnede). De zakbaken worden aangebracht in een grid van maximaal h.o.h. 25 m. Het aantal zakbaken is afhankelijk van de afmeting van de opstelplaats. Denk aan minimaal 2 zakbaken.

De metingen voor horizontale gronddeformaties worden genoemd onder ad c).

Ad b) De waterspanning kunnen worden gemeten met waterspanningsmeters (puntmeting in een grondlaag). De waterspanningsmeters worden bij voorkeur geplaatst bij een beperkt aantal zakbaken aan de rand en de teen van de ophoging.

Ad c) Het verloop van de gronddeformaties onder maaiveld wordt gemeten met hellingmeetbuizen. Indien noodzakelijk wordt op de verschillende objecten voorafgaand aan de werkzaamheden een 0-meting uitgevoerd om de deformaties als gevolg van de bouwwerkzaamheden te kunnen vaststellen.

Deformaties van objecten worden aan de hand van meetboutjes op de betreffende objecten gemeten in x, y en z-richting. De z-richting is verticaal (zetting). De metingen worden bijvoorbeeld uitgevoerd met een theodoliet / total-station. Voor de z-richting wordt een (controle) waterpassing uitgevoerd. De exacte keuze van de meetapparatuur is aan de meetspecialist in overleg met de geotechnisch adviseur.

Om de nauwkeurigheid van de restzettingsvoorspelling van de ophogingen (zakbaakfit) zo goed mogelijk te schatten dienen de metingen en de zakbaakfit aan een aantal voorwaarden conform CROW 304 [10] te voldoen:

METINGEN

- De *meetperiode* dient minimaal de geschatte hydrodynamische periode te zijn, bij voorkeur 2 maal zo lang. De *meetfrequentie* is 1 maal per week tot 1 maal per 2 weken. Niet minder frequent.
- De nauwkeurigheid van het meetinstrument dient ± 5 mm te zijn.

ZAKBAAKFIT

Aan de hand van een fitprogramma waarmee de gemeten zettingen kunnen worden gefit aan theoretische zettingsmodellen. Bij de analyses worden de aanbevelingen in CROW 304 paragraaf 4.2 [10] gevolgd en getoetst.

Voor de nadere invulling wordt een monitoringsplan opgesteld waarin de wijze van meten evenals de waarden voor signalerings- en interventiewaarden per object worden opgenomen.

6.6.3 DEFORMATIEMETINGEN

Om de deformaties in de omgeving te kunnen meten worden in de omgeving meetpunten (boutjes, prisma's, meetstickers of spijkers, leidingbakens) geplaatst. De meetpunten dienen voorafgaand aan de bouwwerkzaamheden (0-meting) en tijdens de bouwwerkzaamheden te worden gemeten. De 0-meting geeft bij een voldoende lange meetperiode ook inzicht in de 'natuurlijke' deformaties door bijvoorbeeld temperatuurverschillen.

Met het uitvoeren van deformatiemetingen worden de deformaties in x, y en z richting in de tijd gevolgd en vastgelegd. De horizontale richtingen zijn x en y. De hoogteligging (z-richting) van de meetpunten wordt gemeten ten opzichte van NAP.

Afhankelijk van de omstandigheden worden de metingen uitgevoerd met een al dan niet automatische RTS (Robotic Total Station) en/of een digitaal waterpasinstrument met meetbaak. Het RTS meet zowel horizontale als verticale deformaties. Met het waterpasinstrument kunnen alleen verticale deformaties worden gemeten.

De nauwkeurigheid van de instrumenten ligt op ca. 0,5 à 1,0 mm. De uiteindelijke nauwkeurigheid van de meetresultaten is afhankelijk van de omstandigheden en de afstanden waarover de metingen moeten worden uitgevoerd.

DIGITAAL WATERPASINSTRUMENT

Voor het meten van de hoogteligging (z-richting) kan een digitaal waterpasinstrument en een baak worden gebruikt. De horizontale richtingen x en y worden hiermee niet gemeten. De meetpunten (vaak meetboutjes) worden ingemeten ten opzichte van het referentiepunt, welke buiten het invloedgebied is geplaatst of een vast punt dat niet aan zakking onderhevig is.

De relatieve nauwkeurigheid van het instrument bedraagt minimaal ca. 0,5 mm. Tevens heeft de temperatuur, weer- en seizoengesteldheid invloed op de nauwkeurigheid van de meting. Onnauwkeurigheden tot 1,0 à 1,5 mm in de meting worden hierom niet uitgesloten. Bij de meetresultaten dient daarom de weersgesteldheid van de betreffende meetdag te worden vermeld. Met het waterpasinstrument kan over relatief grote afstanden worden gemeten. Ook kunnen controlemetingen op het RTS worden uitgevoerd.

ROBOTIC TOTAL STATION (RTS)

Voor het meten van zowel horizontale als verticale deformaties komt een RTS in aanmerking. Deze meting kan al dan niet automatisch met een monitoringscontainer worden uitgevoerd. De nauwkeurigheid van de het automatische monitoring systeem is 1 mm. De afstanden zijn beperkt door obstakels en bij vrij zicht maximaal 75 m.

Bij het monitoren van de deformaties wordt zowel de absolute waarde (ten opzichte van de nulmeting) als het rotatieverschil (verhang tussen 2 opeenvolgende punten) berekend. De meetresultaten worden in samenhang met de werkzaamheden, risicoanalyse en monitoringsplan, gemeten en beoordeeld, zodat op basis hiervan de meetfrequentie naar boven of naar beneden kan worden bijgesteld of maatregelen tijdens de realisatie kunnen worden getroffen.

De rapportage van de deformatiemetingen moet de volgende onderdelen bevatten:

- Beschrijving van de ligging van de meetpunten (welk gebouw, bout/prisma nummering e.d.). De meetlocaties moeten op een tekening aangegeven zijn.
- Overzicht van de meetperiode, onder andere datum en weersomstandigheden.
- Specificatie toegepaste apparatuur en data-acquisitiesysteem.
- Logboek van de metingen en een toelichting op bijzonderheden.
- Presentatie van de meetresultaten (nul- en vervolgmetingen).

6.6.4 TRILLINGSMETINGEN EN TOETSINGSKADERS

Ten aanzien van trillingsschade kan onderscheid worden gemaakt in directe schade en indirecte schade. Indirecte schade wordt veroorzaakt door zakking als gevolg van verdichting van zandlagen.

Ook verweking van grond kan tot schade leiden. Trillingen in de grond wekken water(over)spanningen op. De wateroverspanningen leiden tijdelijk tot een lagere korrelspanning en daarmee tot verminderde draagkracht en mogelijk tot bezwijken van funderingen en instabiliteit van waterkeringen.

Wateroverspanningen bouwen zich vooral op in een gelaagd grondpakket waarbij dissipatie naar de omgeving wordt gelimiteerd.

Directe schade treedt op als direct gevolg van de trillingen. De onderhavige paragraaf gaat over trillingen en de toetsing van de kans op directe schade.

In de SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken:2017 [62] is niet gedefinieerd wat onder schade wordt verstaan. Om de schade kansen door trillingen enigszins te kunnen kwalificeren kan als leidraad bijvoorbeeld de schadeklasse indeling uit COB-publicatie F530 [9] worden gebruikt.

Het invloedgebied waarbinnen kans op schade en nazakking door trillingen kan optreden, dient vooraf aan de hand van een heibaarheids- en trillingsrisicoanalyse te worden geschat. Voor meer algemene schade kwalificatie wordt verder verwezen naar COB-publicatie [9], waarin voor gebouwen (de LTSM methode) en leidingen verschillende beoordelingsmethoden zijn beschreven.

Op basis van trillingsmetingen kan inzicht worden verkregen in het trillingsniveau in relatie tot de interventiewaarden. Voor de meting en toetsing van trillingen zijn de SBR richtlijnen beschikbaar:

- SBR trillingsrichtlijn A: Schade aan gebouwen: 2017 [62];
- SBR trillingsrichtlijn B: Hinder voor personen in gebouwen [63];
- SBR trillingsrichtlijn C: Storing aan apparatuur [64].

Trillingen kunnen worden geprognosticeerd aan de CUR166 methodiek [13].

De trillingssterkte dient conform de SBR richtlijnen te worden gemeten en te worden getoetst aan de interventiewaarden. Bij de toetsing volgens SBR Trillingsrichtlijn A en C wordt bij de interventiewaarde gesproken van grenswaarde. In de SBR Trillingsrichtlijn B wordt bij interventiewaarden specifiek gesproken over streefwaarden. Beheersmaatregelen dienen op de interventiewaarden te worden afgestemd.

Verschillende meetsystemen zijn beschikbaar die volgens SBR richtlijnen zijn ontworpen. Aan een meetsysteem is een 3D-sensor (x, y en z-richting) aangesloten die de trillingen meet. De signaalverwerking en data opslag worden meestal automatisch uitgevoerd, maar kunnen per systeem verschillen. Per geprogrammeerde sample (tijdsinterval) worden de hoogste trillingssnelheid en de bijbehorende frequenties opgeslagen. Na een bepaalde periode wordt het meetsysteem uitgelezen en worden de data verwerkt. Het is mogelijk om een web-based programma aan de meetresultaten te koppelen. Dan is het mogelijk een dagelijkse rapportage van de meetresultaten te maken.

De trillingsmetingen kunnen onbemand en/of bemand worden uitgevoerd.

ONBEMANDE METING

Omdat met onbemande metingen niet direct inzicht wordt verkregen in de grootte van de trillingsintensiteiten in relatie tot mogelijke overschrijdingen van de grenswaarde en uitgevoerde activiteit, wordt aan het meetsysteem een ‘werkend’ alarm (sms, e-mail, e.d.) bevestigd. Bij overschrijding van de vooraf ingestelde signaleringswaarde treedt dit alarm in werking.

BEMANDE METING

Bij de start of naar aanleiding van overschrijdingen (als die optreden) of indien gewerkt wordt in de nabijheid van kwetsbare objecten, kan de meting in overleg met de opdrachtgever bemand worden uitgevoerd.

Tijdens een bemande meting kan een directe relatie worden gelegd tussen de werkzaamheden en de metingen. Op basis van de (eerste) meetresultaten wordt door de meettechnicus aangegeven of er sprake is van (dreigende) overschrijding van de grenswaarde. Afhankelijk van de gemeten trillingsintensiteiten kan het nodig zijn de bemande metingen door te zetten, de uitvoeringswijze aan te passen of over te stappen op onbemande metingen of af te slanken qua meetopzet.

De rapportage van de trillingsmetingen en de toetsingen moet de volgende onderdelen bevatten:

- Beschrijving van de ligging van de meetlocatie.
- Overzicht van de meetperiode.
- Logboek van de tril- / heiwerkzaamheden met gebruikt blok. Waar is gestart, waar zijn mogelijke problemen opgetreden en waar is geëindigd.
- Specificatie toegepaste apparatuur en data-acquisitiesysteem.
- Logboek van de metingen en een toelichting op bijzonderheden, wat onder andere inhoudt dat van de maatgevende trillingen de karakteristieken worden vermeld en welke activiteit er op dat moment plaatsvond.
- Presentatie van de meetresultaten is 2-ledig en moet grafisch worden weergegeven, inclusief een beoordeling en toetsing van de maatgevende meetresultaten. Een grafiek met waarden versus tijd en een grafiek met waarden versus frequentie (beoordelingsgrafiek).

6.6.5 GELUID

Op de bouwplaats voor een windturbine kan onacceptabel bouwlawaai optreden.

Bij het installeren van damwanden, heien van palen en de ander bouwwerkzaamheden kan hinder ontstaan als gevolg van geluidproductie.

De wet schrijft in artikel 8.3 van het Bouwbesluit 2012 eisen voor ten aanzien van het geluidsniveau in de omgeving.

Aan de hand van een geluidspredictie voorafgaand aan de werkzaamheden en geluidsmetingen tijdens de werkzaamheden kan worden beoordeeld en gecontroleerd of het geluidsniveau binnen de normen blijft en aan de gestelde eisen voldoet.

Het monitoringsplan voor geluid is een onderdeel van het geluidsplan, waarin ook het volgende dient te worden vermeld:

- De resultaten van een geluidsprognose.
- De werkzaamheden en het te gebruiken materieel met de bronvermogens.
- De planning van de werkzaamheden.
- De te nemen maatregelen om aan het toetsingskader te voldoen.

Geluidsmetingen dienen te worden uitgevoerd conform de de handleiding meten en rekenen industrielawaai van VROM [34].

Bij de monitoring van geluid dient onderscheid te worden gemaakt tussen de volgende metingen:

- Meting van het achtergrond geluid (0-meting).
- Continue meting van geluid, ter controle van het geproduceerde geluid.
- Bronmetingen, ter bepaling van het geluidvermogen veroorzaakt door werkzaamheden.

Bij de meting van het *achtergrondgeluid* dienen de volgende grootheden te worden gemonitord:

- L_{Aeq} , lange tijd equivalent geluidsniveau, per minuut en dagdeel.
- L_{Amax} , maximaal kortstondig geluidsniveau, per minuut en dagdeel.

Voor de bepaling van het achtergrondgeluidsniveau wordt een meting uitgevoerd. De meting dient te worden verricht op een representatieve dag gedurende een aaneengesloten periode van een etmaal (7:00 – 7:00).

Bij de *continue* metingen moeten op de immissielocaties uit de volgende grootheden worden gemonitord:

- L_{Aeq} , lange tijd equivalent geluidsniveau, per minuut en dagdeel.
- L_{Amax} , maximaal kortstondig geluidsniveau, per minuut en dagdeel.

De meetpunten moeten zodanig worden opgesteld dat het meetpunt representatief is voor het invallende geluid. Metingen moeten worden uitgevoerd op alle werkdagen en uren waarop wordt gewerkt. Bij werken in het weekend ook op zaterdag en zondag.

Bij de *bronmetingen* dient per onderdeel (slopen en in- en uittrillen) te worden vastgesteld wat het geluidvermogen is van de geluid producerende werkzaamheden. Op de eerste dag van de inzet van geluid producerend materieel / werkzaamheden dient een aantal bronmetingen verspreid over de dag te worden uitgevoerd. Ook indien het materieel wordt gewisseld.

Bij de meting van het *brongeluid* dienen de volgende grootheden te worden gemonitord:

- L_{WR} , immissierelevante bronsterkte.
- L_{Amax} , maximaal geluidsniveau.

De metingen worden uitgevoerd gedurende een representatieve periode van de individuele activiteit (meterstand).

In artikel 8.3 van het Bouwbesluit 2012 zijn meerdere geluidgrenswaarden samen met een aantal blootstellingsdagen opgenomen, zie Figuur 6.1.

FIGUUR 6.1

ARTIKEL 8.3 VAN HET BOUWBESLUIT 2012

De op grond van artikel 8.2 te treffen maatregelen worden op aanwijzing van het bevoegd gezag vastgelegd in een bouw- of sloopveiligheidsplan. De maatregelen hebben ten minste betrekking op:

1. Bedrijfsmatige bouw- of sloopwerkzaamheden worden op werkdagen en op zaterdag tussen 7.00 uur en 19.00 uur uitgevoerd.
2. Bij het uitvoeren van de werkzaamheden als bedoeld in het eerste lid worden de in tabel 8.3 aangegeven dagwaarden en de daarbij behorende maximale blootstellingsduur niet overschreden.

Tabel 8.3

Dagwaarde	≤ 60 dB(A)	> 60 dB(A)	> 65 dB(A)	> 70 dB(A)	> 75 dB(A)	> 80 dB(A)
maximale blootstellingsduur	onbeperkt	50 dagen	30 dagen	15 dagen	5 dagen	0 dagen

3. Het bevoegd gezag kan ontheffing verlenen van het eerste en tweede lid. Onverkort het gestelde in de ontheffing, wordt bij het uitvoeren van bouw- of sloopwerkzaamheden gebruik gemaakt van de best beschikbare stille technieken.

4. Indien het bevoegd gezag met betrekking tot het uitvoeren van bouw- of sloopwerkzaamheden beleidsregels als bedoeld in [titel 4.3 van de Algemene wet bestuursrecht](#) heeft vastgesteld, is in afwijking van het derde lid geen ontheffing vereist indien het uitvoeren van de werkzaamheden voldoet aan die beleidsregels en het bevoegd gezag ten minste twee werkdagen voor de feitelijke aanvang van die werkzaamheden in kennis is gesteld van de aanvang van de werkzaamheden.

BEOORDELINGSKADER DAGPERIODE

De werkzaamheden dienen te voldoen aan het beoordelingskader, zoals is opgenomen in het Bouwbesluit artikel 8.3, zie Figuur 6.2. De grenswaarden en toelaatbaar aantal blootstellingsdagen gelden voor werkdagen maandag tot en met zaterdag tussen 07.00 en 19.00 uur.

BEOORDELINGSKADER NACHTPERIODE

Voor het werken buiten de dagperiode (dit is de avond- en nachtperiode) en in het weekeinde dient conform lid 3 een ontheffing te worden aangevraagd. Indien conform lid 4 lokaal beleid ten aanzien van bouwlawaai is vastgesteld en daaraan wordt voldaan, dan is ontheffing niet noodzakelijk.

FIGUUR 6.2

BEOORDELINGSKADER ZOALS OPGENOMEN IN HET BOUWBESLUIT ARTIKEL 8.3

Grenswaarden geluid					
Geluidsniveau		overdag in weekenden en feestdagen, 7.00 tot 19.00 uur	's avonds 19.00 tot 23.00 uur	's nachts 23.00 tot 7.00 uur	
Gemiddeld geluidniveau over een periode van 30 minuten *)	L _{Aeq,30min} *)	70 dB(A) (maximale waarde)	65 dB(A), (maximale waarde)	60 dB(A) (maximale waarde)	
	L _{Aeq,30min} *)	tussen 65 dB(A) en 70 dB(A) maximaal 10 dagen met compensatie **)	tussen 60 dB(A) en 65 dB(A) maximaal 10 avonden, met compensatie **)	tussen 55 dB(A) en 60 dB(A) maximaal 5 nachten, met compensatie **)	
	L _{Aeq,30min} *)	tussen 55 dB(A) en 65 dB(A) maximaal 20 dagen **)	tussen 50 dB(A) en 60 dB(A) maximaal 40 avonden **)	tussen 45 dB(A) en 55 dB(A) maximaal 20 nachten **)	
	L _{Aeq,30min} *)	lager dan 55 dB(A), onbeperkt aantal dagen	lager dan 50 dB(A), onbeperkt aantal avonden	lager dan 45 dB(A), onbeperkt aantal nachten	
Piekniveau	L _{Amax} ***)	85 dB(A)	80 dB(A)	75 dB(A)	

*) Conform de Handleiding Meten en rekenen industrielawaai (VROM, 1999) is de geluidmaat L_{Aeq,30min} gedefinieerd als "het A-gewogen equivalent geluidsniveau ten opzichte van een referentiedruk van 20µPa over de periode van 30 minuten".

**) De beperking tot een maximaal aantal dagen, avonden en nachten, geldt per jaar en gezien vanuit een belaste woning of een ander geluidsgevoelig gebouw. Aan de aanvrager van de ontheffing, maar ook aan het bevoegd gezag, rust een inspanningsverplichting te inventariseren of er meerdere werkzaamheden in hetzelfde gebied gaan plaatsvinden. Als deze bouw- of sloopwerkzaamheden plaatsvinden 's avonds na 21.00 uur of 's nachts, dient door de veroorzaker compensatie te worden aangeboden, bijvoorbeeld middels een slaapplek elders, een financiële vergoeding, plaatsen voorzetramen of een vergoeding in natura (bloemen, dagje uit, etc.).

***) Conform de Handleiding Meten en rekenen industrielawaai (VROM, 1999) is de geluidmaat L_{A,max} gedefinieerd als het maximale A-gewogen geluidsniveau gemeten in de meterstand "Fast".

Alle werkzaamheden mogen de grenswaarden conform het bouwbesluit niet overschrijden. Bij overschrijding bestaat de kans dat de werkzaamheden dienen te worden onderbroken of worden stilgelegd totdat de aannemer maatregelen heeft getroffen waarmee aantoonbaar binnen het wettelijke toetsingskader kan worden gebleven.

Over de maatregelen bij overschrijden van de grenswaarden dienen afspraken te worden gemaakt met het bevoegd gezag.

Bij overschrijding van de grenswaarden dient te worden gerekend met vertraging van de bouwwerkzaamheden met alle gevolgen van dien.

7

LITERATUUR, NORMEN EN RICHTLIJNEN

1. Adviesnota Grondwater, Hoogheemraadschap van Rijnland, reg. Nr. 10.33770, definitief, mei 2011
2. Baars, S. van, 100 jaar Prandtl-Wig: De draagkrachtfactoren, december 2017
3. Brouwer, J.W.R., Asselt, van E., Hei- en trilbaarheid palen en damwanden, SBRCURnet commissie 1694, Geotechniek, december 2016
4. Brouwer, J.W.R., Rooduijn, M.P., Hei- en trilbaarheid palen en damwanden, SBRCURnet commissie 1694, Geotechniek, december 2015
5. BR 470 Working Platforms For Tracked Plant, www.brebookshop.com, 2004
6. Brinch Hansen, J.A., (1970), revised and extended formula for bearing capacity, Bulletin No. 28, Danish Geotechnical Institute Copenhagen, pp. 5-11
7. BS 5930: 1999+A2:2010, Code of practice for site investigations, BSI 2010
8. BS 1377-1:1990; Methods of test for soils for civil engineering purposes. General requirements and sample preparation
9. COB rapport nr. F530-ER-12-49785, aanbevelingen voor het ontwerp van bouwkuipen in stedelijke omgeving, 2012, Stichting COB, Gouda, zie www.cob.nl/document/aanbevelingen-voor-het-ontwerp-van-bouwkuipen-in-stedelijke-omgeving/
10. CROW publicatie 304, Van langsvlakheid naar restzetting, CROW, november 2011, zie [/www.crow.nl/online-kennis-tools/kennismodule-grondwerk-en-funderingen](http://www.crow.nl/online-kennis-tools/kennismodule-grondwerk-en-funderingen)
11. CUR- 2006-2 rapport, Innovatieve aardebaan, Snel gebouwd, Blijvend vlak, Stichting CURNET, Gouda, 2006
12. CUR-rapport 162, Construeren met grond – Grondconstructies op en in sterk samendrukbare en weinig draagkrachtige grond, CUR, Gouda 1992
13. CUR-publicatie 166 Damwandconstructies 6^{de} herziene druk deel 1 en 2, CUR Gouda, 2012, zie www.crow.nl; document CRW C166
14. CUR-rapport 2003-7, Bepaling geotechnische parameters , oktober 2003, Stichting CUR, Gouda, 2003

15. CUR-rapport 2008-2 'Van Onzekerheid naar Betrouwbaarheid, Handreiking voor geotechnisch ontwerpers', Stichting CURNET, Gouda, 2008
16. CUR-aanbeveling 114, Toezicht op de realisatie van paalfunderingen, CUR, Gouda, 2009, zie www.cur-aanbevelingen.nl/cur-aanbeveling-114
17. CUR / Geo-Impuls-rapport 247, Richtlijn Risicogestuurd Grondonderzoek - Van Planfase tot realisatie, Stichting CURnet, Rotterdam 2013
18. CUR/CROW - Aanbeveling 105, Risicoverdeling geotechniek (RV-G), april 2006, stichting CUR, Gouda, zie www.cur-aanbevelingen.nl/cur-aanbeveling-105
19. CUR/CROW-publicatie Richtlijn Meten en Monitoren van Bouwputten – voor kwaliteits- en risicomanagement, Stichting CURNET, Gouda, 2010, zie www.crow.nl; document CRW C223
20. CUR/CROW-publicatie Geokunststoffen als funderingswapening in ongebonden funderingslagen, Delft, december 2017, zie www.crow.nl; document CRW C1001
21. CUR/CROW-publicatie Richtlijn Geotechnisch laboratoriumonderzoek, Delft, december 2017, zie www.crow.nl; document CRW C1002
22. CUR/CROW publicatie Ontwerprichtlijn paalmatrassystemen, Tweede herziene editie van CUR-publicatie 226 (2010), Delft, juli 2016, zie www.crow.nl, document CRW 699.16
23. CUR/CROW-publicatie Handboek soilmix-wanden - ontwerp en uitvoering, 2016, zie www.crow.nl; document CRW 692.16
24. CUR/CROW-publicatie "Handboek Hei- en trilbaarheid palen en damwanden, Delft april 2017, artikelnummer 730.17
25. CUR/CROW-publicatie Praktijkrichtlijn Omgevingsbeïnvloeding inbrengen en trekken van damwanden, Delft, december 2017, zie www.crow.nl; document CRW C1003
26. CUR/CROW-publicatie Handreiking vervormingsgedrag van funderingen op staal, Delft, 2016, art. nr. 664.16, zie www.crow.nl; document CRW 664.16
27. CUR/CROW-publicatie Begaanbaarheid van bouwterreinen – Geotechnische draagkracht voor funderingsmachines, Delft, maart 2017, zie www.crow.nl; document CRW 689.16
28. Effective Site Investigation, Clayton, C.R.I, Smith D.M., on behalf of Site Investigation Steering Group, ICI Publishing, ISBN 978-0-7277-350-7-2, 2013
29. FEM 5.016, 3th ed, April 2017, Guideline – Safety Issues in wind Turbine Installation and transportation, European Materials Handling Federation (FEM) Product Group Cranes and Lifting Equipment
30. Geo-Impuls, Ontwerp en uitvoering een kloof om te overbruggen, november 2012
31. Geo-Impuls, Heeft u overal aan gedacht?, juni 2014

32. Ground Conditions for Construction Plant, Good Practice Guide, Strategic Forum for Construction, 2014, <https://www.ags.org.uk/publications/>
33. Guidelines for Good Practice in Site Investigation, The Association of Geotechnical and Geo-environmental Specialists (AGS), UK, <https://www.ags.org.uk/publications/>
34. Handleiding meten en rekenen industrielawaai, VROM, 2004
35. Handboek Risicozonering Windturbines, Eindversie 3^e geactualiseerde versie mei 2013 en Herzien versie 3.1 september 2014
36. IEC 61400-1:2005+AMD1:2010 CSV, Wind turbines - Part 1: Design requirements
37. ISO/DIS 17982-8:2016(E): Unconsolidated Undrained triaxial test
38. ISO/DIS 17982-9:2016(E): Consolidated triaxial compression tests on water saturated soils
39. ISO 4302: 2016 Cranes – Wind load assessment
40. Lee, J., Cho, W., Lee, K.S., Optimazation of the Hub Height of a Wind Turbine, Journal of Industrial and Intelligent Information Vol 2, No.4, December 2014
41. Lees, A.S., Bearing capacity of a stabilised granular layer on clay subgrade, 2017
42. Lunne, T, Robertson, P.K, and Powell, J.J.M., CPT in geotechnical practice, 1997
43. Lunne, T. (2006), Correlation CPT to Relative Density. Tech Rep. 20041367-3, NGI
44. Lunne, T., & Christoffersen H.P. (1983). Interpretation of Cone Penetrometer Data of offshore Sands. Proceedings 15th Annual Offshore Technology Conference, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA
45. Meyerhof, G.G., The Ultimate Bearing Capacity of Foundations, Geotechnique, 2, p301-332, 1951
46. NEN 9997-1: 2017 geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels
47. NEN-EN 1997-2:2007/C1:2010, Eurocode 7: geotechnisch ontwerp – Deel 2: Grondonderzoek en beproeven
48. NEN-EN 1997-2:2007/NB:2011 en, Nationale bijlage bij NEN-EN 1997-2 Eurocode 7 Geotechnisch ontwerp - Deel 2: Grondonderzoek en beproeven (inclusief C1:2010)
49. NEN 5117:1991 nl, Geotechniek - Bepaling van de schuifweerstand- en vervormingsparameters van grond - Triaxiaalproef
50. NEN-EN 1990, NEN-EN 1990+A1+A1/ C2:2011 nl, Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp

51. NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011 nl, Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen - Windbelasting
52. NEN-EN 13000:2010+A1:2014 en, Kranen - Mobiele kranen
53. NEN-EN 13001-2:2014 en Veiligheid van hijskranen - Algemeen ontwerp – Deel 2: Belastingen
54. NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2016, Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen, 2016
55. NEN-EN-ISO 14688-1, Geotechnisch onderzoek en beproeving – identificatie en classificatie van grond – Deel 1: Grondslagen voor classificatie
56. NEN-EN-ISO 14688-2, Geotechnisch onderzoek en beproeving – identificatie en classificatie van grond – Deel 2: Grondslagen voor identificatie en beschrijving
57. NEN-EN-ISO 22475-1:2006 en, Geotechnisch onderzoek en beproeving - Methoden voor monsterneming en grondwatermeting - Deel 1: Technische grondslagen voor de uitvoering
58. NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013 en, Geotechnisch onderzoek en beproeving - Veldproeven - Deel 1: Elektrische sondering met en zonder waterspanningsmeting
59. NEN-EN-ISO 17892-5:2017: Geotechnisch onderzoek en beproeving – Beproeving van grond in het laboratorium – Deel 5: Eindimensionale samendrukkingsproef
60. Prandtl, L.,(1920), “Über die Harte plastischer Körper”, Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematischer-Physikalischer Klasse, pp 74-85
61. Richtlijn 2009/104/EG Van het Europeesparlement en de raad, gebruik van arbeidsmiddelen, 16-09 2009
62. SBR, Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken:2017; zie www.crow.nl
63. SBR, Trillingen – Meet- en beoordelingsrichtlijnen – Hinder voor personen in gebouwen, Deel B, juli 2006; zie www.crow.nl
64. SBR, Trillingen – Meet- en beoordelingsrichtlijnen – Storing aan apparatuur, Deel C, juli 2006; zie www.crow.nl
65. SBRCURnet/GeoImpuls-publicatie Handreiking Observational Method, Delft, april 2015, zie www.cob.nl/document/handreiking-observational-method/
66. Staveren M. van, Geotechniek in beweging, Praktijkgids voor risicogestuurd werken, 3^{de} druk, 2011
67. Uniforme administratieve voorwaarden voor de uitvoering van werken 1989 (UAV 1989) zie: <http://www.bouwendnederland.nl/web/modellen/bouwenaanbesteding/uav/pages/default.aspx>

- 68. Uniforme Administratieve Voorwaarden voor geïntegreerde contractvormen 2005 (UAVgc 2005) zie: <http://www.uavgc.nl/>
- 69. VVT, Verenging Verticaal Transport, www.verticaaltransport.nl
- 70. Windinvloeden bij kraanbedrijf, Opleidingsdocument, Leibherr, 4^{de} editie 2017
- 71. www.richtlijnmobielekranen.nl

8

VERKLARENDE WOORDENLIJST

Woordenboek voor verbinden werelden van geotechniek, turbinefabrikanten en kraanverhuurders

Aanpikker	De aanpikker is verantwoordelijk voor het veilig bevestigen of ontkoppelen van de last. Indien noodzakelijk moet hij de last (op aanwijzing van de seingever) kunnen begeleiden, bijvoorbeeld middels stuurlijnen. De rol van aanpikker dient vanuit wettelijk perspectief bij elke hijsactiviteit te zijn ingevuld. Afhankelijk van de complexiteit van de activiteit en de deskundigheid van de betreffende medewerker is het mogelijk dat de aanpikker ook de rol van seingever vervult.
Afstempeling	Een kraan uitgerust met afstempeling is voorzien van (meestal) vier hydraulische steunpoten waarmee de kraan waterpas wordt opgesteld.
Ballast	Contragewicht van een mobiele kraan.
Bovendraaier	Praktische naam voor (toren)kranen met de draaikrans geheel bovenin de kraan.
Bovenwagen	Het bovenstel van een kraan. De bovenwagen is gemonteerd op de draaikrans van de kraan en draait bij het zwenken ten opzichte van de onderwagen. De bovenwagen bestaat onder andere uit de hoofdgiek, het lierwerk en (in de meeste gevallen) de bedieningscabine.
Consolidatie	Het proces van uitpersen van het grondwater in de grondporiën gedurende een hydrodynamische periode. In deze periode heeft de grond tijdelijk minder tot geen sterkte.
Contactoppervlak:	Oppervlakte waarop de contactspanning aangrijpt. Bij excentrische belasting is dit niet gelijk aan het oppervlakte van de stempelplaat of rups.
Contactspanning:	Spanning die vanuit de kraan op de ondergrond aangrijpt: in het geval van een stempelkraan is dit de spanning onder de stempelplaat, in het geval van een rupskraan is dit de spanning onder de rupsen.
Drooglegging	Het verschil tussen het polderpeil in een watergang (sloot) en de bovenzijde van de kraanopstelplaats.
Freatische grondwaterstand	Het niveau van het grondwater waaronder de poriën in de grond zijn verzadigd met water. Ook wel de vrije grondwaterspiegel of freatisch vlak genoemd.
Gedraineerd grondgedrag	Treedt op als gevolg van een korte -of dynamische belasting, waarbij zeer kort durend sprake is van wateroverspanning in de poriën van de grond. Treedt op in zand. De hydrodynamische periode is dan zeer kort.

Gesloten seizoen	Hoogwater- of stormseizoen.
Giek opbouwruimte	De benodigde ruimte voor de opbouw van de giek en/of hulpgiek van een kraan.
Giekverlenging	Een praktische term voor een 'vakwerkhulpgiek vast' welke in starre positie op de kop van de hoofdgiek gemonteerd wordt.
Hijspan	Het hijsplan is een verzameling van afspraken en documenten met informatie over de uitvoering van een hijsactiviteit. Het hijsplan kan informatie bevatten over de last, de hijsgereedschappen, de kraan en omgevingsfactoren zoals de ondergrond. Het hijsplan kan eenvoudig van aard zijn en alleen een werkbon met instructies bevatten, maar het kan ook uit meerdere onderdelen bestaan zoals een hijstekening en een TRA.
Hijstekening	Een tekening met daarin weergegeven het boven- en zijaanzicht van één of meerdere kraanopstellingen en de daarbij behorende gegevens. Een hijstekening kan deel uitmaken van het (verplichte) hijsplan.
Hoofdgiek	De basisgiek van een mobiele kraan. De hoofdgiek kan bestaan uit meerdere telescopeerbare secties of uit aan elkaar gekoppelde vakwerkdelen. Synoniemen zijn giek, hoofdmast, mast of arm.
Hulpgiek	Een aanbouwdeel ter verlenging van de hoofdgiek. Mogelijke hulpgieken zijn de 'vakwerkhulpgiek vast' en de 'verstelbare hulpgiek'. Synoniemen zijn 'vaste jib' respectievelijk 'beweegbare jib'.
Hulpkranen	Hulpkranen zijn mobiele kranen die ingezet worden om assistentie te verlenen bij de op- of afbouw van een andere mobiele kraan.
Hydrodynamische periode	De periode waarin de wateroverspanning in de grondporiën afneemt tot nul door consolidatie. In deze periode neemt de sterkte van de grond weer toe.
Kraanopstelplaats	De locatie (of het plateau) waar de kraan wordt opgesteld. De kraanopstelplaats biedt voldoende ruimte voor de kraan in de bedrijfssituatie. In veel gevallen is er voor de op- en afbouwsituatie van de kraan extra ruimte noodzakelijk (giek opbouwruimte).
Nacelles	De behuizing op de top van de turbinemast, waarin de omzetting van de windkracht plaatsvindt.
Notice time	De periode van het plaatsen van een bestelling van een kraan tot aan het moment van mobiliseren.
Ongedraineerd grondgedrag	Treedt op als gevolg van een korte -of dynamische belasting, waarbij sprake is van wateroverspanning in de poriën van de grond. De grond heeft in deze fase geen of slechts een constante en beperkte sterkte en regeert in deze fase min of meer elastisch. Treedt op in cohesieve grondlagen als klei en veen. De hydrodynamische periode is dan relatief lang.
Ontwateringsdiepte	Het hoogteverschil tussen de freatische grondwaterstand en de bovenzijde van de verharding van de opstelplaats.

Operationele situatie	De situatie tussen de opbouw en de demontage van de kraan in; de kraan staat of 'hijsklaar', of er worden hijswerkzaamheden mee uitgevoerd.
Opbolling	Het maximale hoogteverschil tussen het polderpeil in de watergangen (sloten) en de freatische grondwaterstand. De mate van opbolling is afhankelijk van de capillaire opstijging van het grondwater welke wordt bepaald door waterdoorlatendheid van de grondsoort en de luchtdruk. Zand bijvoorbeeld heeft een hoge doorlatendheid en daardoor een relatief kleine opbolling in tegenstelling tot klei en veen.
Optoppen	Het verkleinen van de vlucht van een kraan door het oprichten van de hoofdgiek. De hoofdgiek komt hierbij verticaler te staan (het tegenovergestelde is aftoppen).
Risicogestuurd grondonderzoek:	Grondonderzoek waarvan de omvang en de samenstelling zijn gebaseerd op een voorafgaande risico inventarisatie, met als doel de geotechnische risico's zo effectief mogelijk terug te dringen.
Rotor-hub	Centrale verbinding van de rotorbladen.
Seingever	De seingever is verantwoordelijk voor het geven van de juiste besturingsinstructies aan de machinist. Dit is mogelijk via hand- en armseinen, maar ook via de portofoon. De rol van seingever dient vanuit wettelijk perspectief bij elke hijsactiviteit te zijn ingevuld. Afhankelijk van de complexiteit van de activiteit en de deskundigheid van de betreffende medewerker is het mogelijk dat de seingever ook de rol van aanpikker vervult.
Stabiliteit	Het vermogen van een voorwerp (kraan) om weerstand te bieden tegen krachten die het voorwerp uit zijn oorspronkelijke evenwichtstoestand kunnen brengen.
Stabiliteit (hijskraan)	De kraanstabiliteit geeft het vermogen aan in hoeverre de kraan zelf bestand is tegen het overschrijden van het momentenevenwicht door belastingen uit de hijslast en andere statische en dynamische belastingen.
Stabiliteit (kraanfundering)	De grondmechanische of fundering stabiliteit geeft aan in hoeverre grond weerstand kan bieden tegen bezwijken door aandrijvende belastingen op de kraanopstelplaats. De capaciteit van de grond tegen bezwijken wordt het draagvermogen genoemd. Het bezwijken van de grond treedt op langs diverse vormen van bezwijk- of glijvlakken. Het draagvermogen van grond zal een bepaalde marge moeten hebben op de belasting. Deze veiligheidsmarge is voor verschillende bezwijkmechanismen vastgelegd in geotechnische norm NEN 9997-1 [46].
Strijken	Het neerleggen, dan wel horizontaal brengen, van de hoofdgiek (en de hulpgiek).
Superlift ballast	De ballast welke aan de superlift giek wordt gekoppeld. De minimale en maximale hoeveelheid superlift ballast verschilt per hijsactiviteit (of giek configuratie).

Superlift installatie	Een hulpinstallatie welke op diverse opbouwkransen kan worden gemonteerd en waarmee een sterke verhoging van de capaciteit van de kraan wordt gerealiseerd. De installatie bestaat uit een naar achteren gerichte superlift giek (ook wel 'derrick giek') met daaraan vastgekoppeld extra ballast. Soms is de superlift installatie alleen noodzakelijk om de giek van een opbouwkraan te kunnen oprichten.
Superlift-tray	Het basisframe waarop de superlift ballast wordt geplaatst. Het frame is door middel van tuien of kabels bevestigd aan het uiteinde van de superlift giek.
Tandemhijs	Hijsoperatie uitgevoerd met 2 kranen.
Telescoopkraan	In de handreiking wordt hiermee een kraan bedoeld met een telescopeerbare hoofdgiek en een onderwagen op banden voorzien van afstempeling.
Telescoopgiek	Een hoofdgiek bestaande uit meerdere telescopeerbare secties.
TOM	Trade Off Matrix of een keuzematrix. Een overzicht van de verschillende keuzes met daaraan toegevoegd een criterialijst. De waarde die in de keuzematrix worden toegekend aan de verschillende keuzes heeft ook te maken met de waarde van de criteria (mate van belangrijkheid). Dit kan bijvoorbeeld prijs, kwaliteit, uitvoerbaarheid, impact op de omgeving, e.d. zijn.
TRA	Taak Risico Analyse. Het doel van de taak risico analyse is om van bepaalde risicovolle taken de risico's op te sporen en op te heffen dan wel te verminderen. Het dient om werkzaamheden efficiënter uit te voeren en om incidenten te voorkomen.
Truck pusher	De truck pusher is een logistiek coördinator die verantwoordelijk is voor het regelen van de vrachtwagenstromen op een bouwplaats.
Vakwerkgiek	Een hoofdgiek bestaande uit meerdere vakwerkdelen, welke met pennen aan elkaar worden verbonden. Kranen voorzien van een vakwerkgiek worden ook wel opbouwkransen genoemd.
Verreiker	Een multifunctioneel zelfrijdend voertuig dat, afhankelijk van de gemonteerde hulpstukken, lasten kan heffen of hijsen. Toepassingen als heftruck, hijskraan, hoogwerker of grondverzet machine zijn mogelijk. Verreikers zijn voorzien van een telescopeerbare hoofdgiek. De bovenwagen kan vast zijn of roterend
Vlucht	De horizontale afstand van het hart van de draaikrans van de mobiele kraan tot de verticale projectie van de hartlijn van de hijschaak (synoniemen: radius, spreij).
Vrijloop	De kortste afstand van de te hijsen last of obstakel tot aan de hoofd- of de hulpgiek van een kraan.
Wateroverspanning	Is de verhoogde waterdruk in de grondporiën ten opzichte van de hydrostatische waterdruk ten opzichte van het freatische vlak, gevormd door de freatische grondwaterstand.
Wind-kit	Een circa 6 tot 14 m lange hulpgiek welke onder een vaste hoek bovenop de giekverlenging kan worden gemonteerd.

BIJLAGE A

TABEL MET KRAANBELASTINGEN

De waarden in deze tabel zijn ter indicatie en enkel bedoeld om bewustwording te creëren. Voor elke load case zijn alternatieve kraantypen en/of -configuraties beschikbaar, met afwijkende stempelkrachten en/of rupsdrukken. De kraanleverancier dient voor elk nieuw project middels het hijsplan de optredende drukken te bevestigen.

Load Case					Kraan basisgegevens				Giek oprichten				Operationele situatie, hijsen nacelle					
Nr.	Kraan type	Configuratie	Nacelle gewicht	Naaf hoogte	Massa basis kraan*1	Stempelbasis LxB / h.o.h. maat rupsen	Afmeting schot*2 LxB	Afmeting rups*3 LxB	Benodigde SL ballast	Totale massa kraan	Max. stempel kracht	Max. rups druk	Haak hoogte	Kraan radius	Benodigde SL ballast	Totale massa kraan	Max. stempel kracht	Max. rups druk
			(ton)	(m)	(ton)	(m)	(m)	(m)	(ton)	(ton)	(kN)	(kN/m ²)	(m)	(m)	(ton)	(ton)	(kN)	(kN/m ²)
1	LTM 1500-8.1	TY3SN	70	60	290	10,0 x 9,6	4,0x2,4	-	nvt	290	942	-	75	18	nvt	290	1472	-
2	LTM 1750-9.1	TYV2EN	80	80	395	12,0 x 12,0	4,5x2,4	-	nvt	395	1236	-	90	20	nvt	395	1815 ^s	-
3	LTM 11200-9.1	T3YV2VEN	80	105	430	13,0 x 13,0	5,8x2,4	-	nvt	430	1432	-	115	24	nvt	430	2129 ^s	-
4	LR 1600/2	SL3F	80	105	485	8,4	-	8,7x1,34	nvt	485	1550 ^{s4}	315 ^{s4}	120	18	nvt	485	-	473
5	LG 1750	SL8HS	80	105	495	16,0 x 16,0	6,0x2,5	-	nvt	495	2276	-	125	18	nvt	495	1864 ^s	-
6	LR 1600/2	HSL4DF	80	120	560	8,4	-	8,7x1,34	810	1370	-	942	135	20	0-70	560-630	-	545
7	LG 1750	SL8HDS	80	120	460	12,0 x 12,0	6,0x2,5	-	200	660	2276	-	140	20	-	460	1991	-
8	LR 1600/2	SL13DFB	80	140	565	8,4	-	8,7x1,34	300	885	-	816	155	24	45-90	610-655	-	498
9	LG 1750	SL7DHS	80	140	520	12,0 x 12,0	6,0x2,5	-	250	770	2766	-	150	24	-	520	2325	-
10	LR 1750/2	HSL7DHS	80	140	630	8,8	-	9,1x1,34	290	920	-	904	155	24	-	630	-	739
11	LR1750/2	SX3D4F2B	105	165	830	8,8	-	9,1x1,8	400	1230	-	587	180	28	105-175	935-1005	-	421
12	LG 1750	SX3D4F2B	110	165	725	12,0 x 12,0	6,0x2,5	-	400	1125	2943	-	180	28	110-180	835-905	2560	-
13	LG 1750	SL12D2FB	140	130	750	12,0 x 12,0	6,0x2,5	-	340	1090	2502	-	145	28	130-190	880-940	2609	-

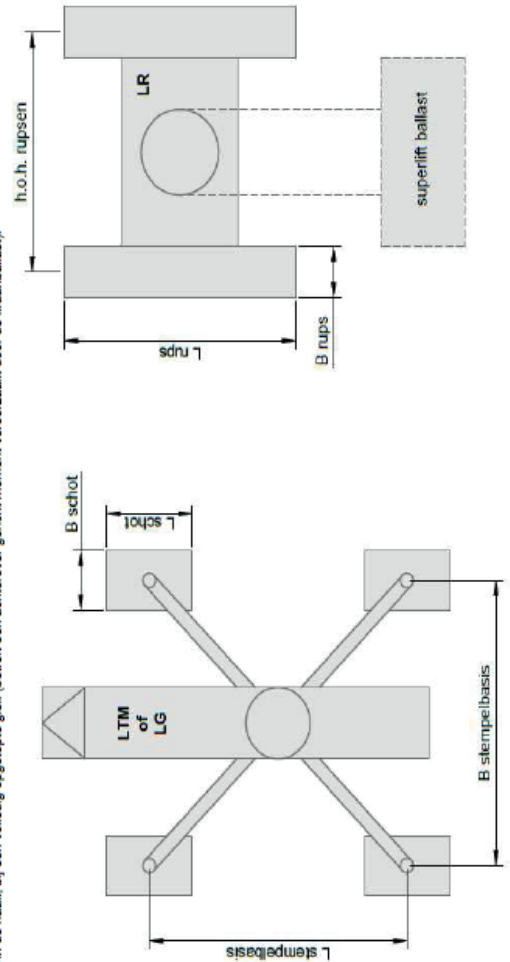
*1 Exclusief eventueel benodigde Superlift Ballast voor het oprichten van de giek of de operationele situatie

*2 Indicator (verschilt in het algemeen per kraanverhuurder), de schotten mogen in gedraaide positie toegepast worden.

*3 De meeste rupsen in deze klasse kunnen uitgerust worden met breedte van 1,5 m of 2,0 m (de effectief werkende breedte op harde ondergrond is 1,34 resp. 1,84 m)

*4 De giek wordt opgericht met behulp van oprichtpoten, de volledige kraanmassa verdeelt zich over de twee poten (max. 1550 kN ton op één poot) en één rups (max 315 kN/m²)

*5 In de operationele situatie ontstaan de grootste drukken soms zonder last in de haak, bij een volledig opgetopte giek (betreft een achterover gericht moment veroorzaakt door de kraanballast).



Aan deze tabel kunnen geen rechten ontleend worden.

BIJLAGE B

OPZET RISICOGESTUURD GRONDONDERZOEK

B.1 INLEIDING

De opzet van risicogestuurd grondonderzoek is gebaseerd op het proces van georisicomanagement (GeoRM). De aanpak is beschreven in de richtlijn CUR/Geo-Impuls-rapport 247 Risicogestuurd grondonderzoek, van planfase tot realisatie [17].

Een geotechnisch risico kan in algemene termen worden gedefinieerd als een ongewenste gebeurtenis met een geotechnische oorzaak, een kans van optreden en een effect op het behalen van een doelstelling.

GeoRM staat voor Geotechnisch RisicoManagement en omvat een sectorbreed geaccepteerd cyclisch werkproces, waarbij continu, expliciet, gestructureerd en communicerend wordt omgegaan met geotechnische risico's met als doel om de projectdoelen zo efficiënt en effectief mogelijk te realiseren.

Voor kraanopstelplaatsen hebben de geotechnische risico's vooral betrekking op sterkte en vervorming van de ondergrond en de werkvloer. De freatische grondwaterstand en de stijghoogte hebben grote invloed op de spanningen in de grond en spelen hierbij een belangrijke rol.

Met GeoRM worden de geotechnische risico's transparant en expliciet gemaakt en wordt een risicobewuste werkwijze in projecten nagestreefd.

Toepassing van GeoRM biedt de mogelijkheid om op gestructureerde wijze om te gaan met de onzekere factoren die de verschillende geotechnische risico's bepalen.

GeoRM proces bestaat uit zes achtereenvolgende stappen:

1. Verzamelen van informatie en bepalen van de doelstellingen.
2. Inventariseren en identificeren van geotechnische risico's.
3. Classificeren van geotechnische risico's.
4. Het selecteren en uitvoeren van preventieve en correctieve beheersmaatregelen.
5. Evalueren of de beheersmaatregelen de beoogde reductie van het risico hebben opgeleverd.
6. Overdracht van alle relevante risico-informatie binnen de projectorganisatie naar de volgende projectfasen.

B.2 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 speelt binnen elk van de zes risicomanagement stappen een belangrijke rol. Het belang van grondonderzoek is hierbij echter bij de stappen identificatie (2), classificatie

(3) en evaluatie (5) het grootst. Ter verduidelijking van de rol van geotechnisch grondonderzoek is tabel B.1 uit CUR/Geo-Impuls [17] opgenomen.

TABEL B.1 DE ROL VAN GEOTECHNISCH ONDERZOEK IN DE ZES RISICOMANAGEMENT STAPPEN; BRON [17]:

Risicomanagement stap		Rol van geotechnisch grondonderzoek
Nr.	Omschrijving	
1	<i>Inventarisatie</i> 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	<i>Identificatie</i> van risico's (welke risico's)	Identificeren van (nieuwe) geotechnische risico's, op basis van de beschikbare gegevens
3	<i>Classificatie</i> van risico's (hoe groot zijn de kansen en gevolgen van de risico's)	Kwalitatief en zo nodig en zo mogelijk kwantitatief classificeren van geotechnische risico's
4	<i>Selectie én uitvoering</i> van risicobeheersmaatregelen (kans- en /of gevolgreductie)	Uitvoeren van (aanvullend) onderzoek of (aanvullende) analyses en/of monitoring (afhankelijk van de projectfase)
5	<i>Evaluatie</i> 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	<i>Overdracht</i> 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 wordt doorlopen.

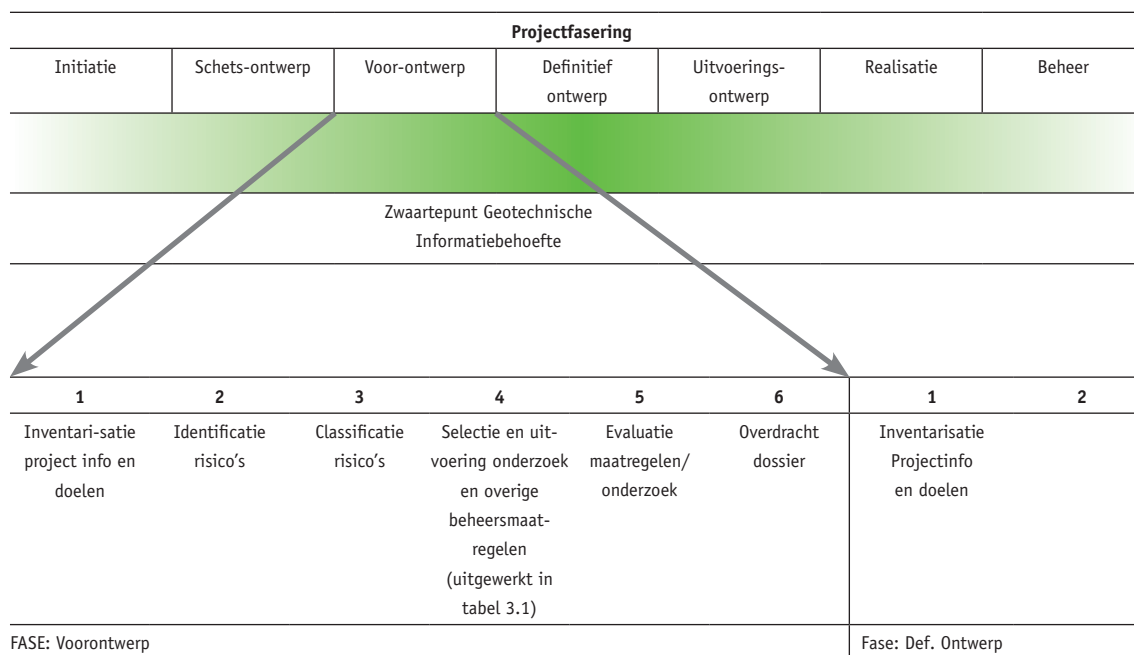
Opgemerkt wordt dat door nieuwe inzichten op basis van aanvullend geotechnisch grondonderzoek, de kans van optreden en de bijbehorende gevolgen van geotechnische risico's niet alleen kan afnemen maar ook kan toenemen. Het betekent dat er een tot dan toe onbekend projectrisico is gesignaleerd, en dat de risico-inventarisatie onvolledig was. Een tijdige onderkenning van dergelijke situaties, in combinatie met passende maatregelen, leidt tot een effectieve beheersing van het toegenomen geotechnische risico.

B.3 BEHOEFTE AAN GEOTECHNISCHE INFORMATIE

De mate waarin binnen een project behoefte bestaat aan informatie met betrekking tot de ondergrond is verschillend en afhankelijk van de projectfase. In figuur B.1 is te zien dat vooral in de fasen vanaf het Voorontwerp (VO) tot en met 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 worden ingespeeld op deze wisselende behoefte.

Doordat bij iedere faseovergang de risicomanagement cyclus wordt doorlopen volgt er 'vanzelf' welke risico's 'in de volgende fase(n) worden voorzien en hoe hiermee wordt omgegaan.

FIGUUR B.1 CYCLUS BINNEN EEN FASE VAN DE PROJECTFASERING



B.4 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.

In tabel B.2 zijn zes generieke vragen opgenomen met bijbehorende acties voor het opzetten en (laten) uitvoeren een risicogestuurd grondonderzoek. Tevens is een beknopt voorbeeld in de tabel en stroomschema opgenomen.

TABEL B.2 ZES VRAGEN EN BIJBEHORENDE ACTIES VOOR EEN OPZET VAN RISICOGESTUURD GRONDONDERZOEK

Nr.	Vraag	Acties	Voorbeeld
1	Welk type constructies?	Bepaal de grond gerelateerde constructies van het project.	Funderingsconstructie op staal of palen voor de kraanopstelplaats
2	Welke risico's?	Bepaal de ongewenste gebeurtenissen (GEVOLG).	Bezwijken ondergrond, omvallen kraan, blijvend sterkteverlies ondergrond, overschrijding planning en budget
3	Welke mechanismen?	Bepaal de significante geotechnische mechanismen (OORZAAK).	Afschuiving en vervorming
4	Welke methodieken?	Bepaal de methodieken voor het kunnen bepalen van de mate van optreden van dit mechanisme. *	Berekeningsmodellen, Prandtl, Koppejan, Darcy, eindige elementen methoden
5	Welke grondparameters?	Bepaal de meest kritische grondparameter(s) die een rol spelen.	Dichtheid, sterkte- en stijfheidseigenschappen
6	Welk grondonderzoek / maatregel of monitoring?	Gegeven de geologische heterogeniteit, bepaal het type, aantal en kwaliteit van het grondonderzoek om deze grondparameters te bepalen.	Aantal en type sonderingen, boringen met monsternamen en lab proeven / kwaliteit werkvloer, zakkingen van de kraan statisch en tijdens hijsen

* dit kunnen zowel ontwerpmethodieken als uitvoeringsmethodieken zijn

Dit basisschema is gebruikt voor de uitwerking van het benodigde grondonderzoek voor kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines.

B.5 RELATIE GRONDONDERZOEK EN CONTRACTVORM

ALGEMEEN

In Nederland worden zowel traditionele, de contracten conform UAV1989 [67], als geïntegreerde contracten, conform UAVgc [68], gebruikt. Opdrachtgevers bepalen welke contractvorm wordt gehanteerd. Als in de realisatiefase of gebruiksfase blijkt dat sprake is van een afwijkende bodemgesteldheid kan de contractvorm van invloed zijn op verdeling van geotechnische risico's tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.

CONTRACTVORMEN

In het traditionele contract is sprake van een strikte scheiding tussen ontwerp- en uitvoeringstaken. Ontwerptaken worden uitgevoerd door de opdrachtgever; daarmee is hij verantwoordelijk voor de afstemming van het ontwerp op de te verwachten bodemgesteldheid. De opdrachtnemer is verantwoordelijk voor de werkvoorbereiding en daadwerkelijke realisatie.

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.

Bij die werkwijze worden per projectfase bewust door opdrachtgever en opdrachtnemer afspraken gemaakt 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.

RISICOVERDELINGGEOTECHNIEK (RV-G)

Indien de verantwoordelijkheden en de risicoverdeling, in geval van een afwijkende bodemgesteldheid, niet helder zijn vastgelegd bestaat de kans op conflicten tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Daarom is de voorkeur om vooraf contractuele afspraken te maken over wanneer er sprake is van een afwijkende bodemgesteldheid en hoe de risico's en verantwoordelijkheden moeten worden verdeeld.

Een leidraad voor het verdelen van geotechnische risico's in de vorm van een RisicoVerdeling-Geotechniek RV-G [18] kan helpen bij de vraag of in een specifiek geval sprake is van een afwijkende bodemgesteldheid en van een buitengewone omstandigheid.

Als annex bij de vraagspecificatie heeft een RV-G een contractuele en juridische status.

Het is dus van groot belang om in een vroegtijdig stadium inzicht te krijgen in de geotechnische risico's, zodat over de verantwoordelijkheden afspraken kunnen worden gemaakt.

B.6 ALGEMENE EISEN AAN UITVOERING VAN GRONDONDERZOEK

Voor de algemene eisen aan de uitvoering wordt verwezen naar hoofdstuk 6 van CUR/Geo-Impuls-rapport 247 Risicogestuurd grondonderzoek, van planfase tot realisatie [17]. De in dit hoofdstuk genoemde normen zijn inmiddels verouderd. In bijlage C is een bijgewerkte versie van hoofdstuk 6 opgenomen.

B.7 VASTLEGGING EN OVERDRACHT VAN GEOTECHNISCHE GEGEVENS

In elke fase van het ontwerp en het bijbehorend onderzoek bestaat een moment waarop deze fase wordt afgesloten en alle verzamelde gegevens en de daarop gebaseerde conclusies worden vastgelegd 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.

Voor meer informatie over de vastlegging en overdracht van geotechnische gegevens wordt verwezen naar hoofdstuk 7 van CUR/Geo-Impuls-rapport 247 Risicogestuurd grondonderzoek, van planfase tot realisatie [17].

BIJLAGE C

ALGEMENE EISEN TE STELLEN AAN

GRONDONDERZOEK

In deze bijlage wordt ingegaan op de specifieke aandachtspunten en eisen die aan elk grondonderzoek zouden moeten worden gesteld.

De eisen voor geotechnisch laboratorium- en veldonderzoek behoren conform NEN9997-1 [46] te voldoen aan NEN-EN 1997-2 [47] en [48].

Het geotechnisch onderzoek voor kraanopstelplaatsen valt minimaal onder geotechnische categorie 2 of 3 (GC2 of GC3). Voor een leidraad in de keuze wordt verwezen naar NEN 9997-1 [46].

C.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.

Indien de hoogte en coördinaten van de onderzoekslocaties zijn bepaald in NAP en RD bedragen de maximale afwijking van de meting van de coördinaten ca. 10 cm en de maximale afwijking van de meting van de hoogte ca. 5 cm. Bij projecten waarbij de sonderingen zijn gerefereerd aan een lokaal vast punt bedraagt de maximale afwijking in de hoogte ca 5 cm. De maximale afwijking in de maatvoering door middel van traditioneel uitzetten met een meetband bedraagt ca. 25 cm.

Indien de onderzoekslocaties niet zijn gerefereerd aan een vaste referentiehoogte wijkt het onderzoek af van de gestelde eisen in de NEN-EN-ISO 22476-1 [58].

C.2 SONDERINGEN

NEN9997-1 eist in art 3.1 (b) dat voor constructies ingedeeld in GC2, elektrische sonderingen in sondeerklasse 3 of 4 volgens NEN-EN-ISO 22476 moeten worden uitgevoerd. Voor constructies ingedeeld in GC3 moet dit minimaal sondeerklasse 2 zijn. De klasse van de sondering, conform NEN-EN-ISO 22476-1 [58], dient op de sondeerstaat te worden aangegeven. De klassenindeling heeft voornamelijk betrekking op de nauwkeurigheid van de gemeten parameters.

Praktisch is om altijd sonderingen met meting van conus, helling en kleeft uit te voeren conform NEN-EN-ISO 22476-1 klasse 2 [58]. In bijzondere gevallen, waarbij de ondergrond puin of grind bevat waardoor er grote kans op schade aan apparatuur is, kan hiervan worden afgeweken.

C.2.1 BENODIGDE ONDERZOEKSDIEPTE

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.

C.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.

C.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 funderings-aanlegniveau's onder de grondwaterstand wordt aanbevolen ten minste 1 sondering met waterspanningsmeting 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).

C.3 BORINGEN EN LABORATORIUMONDERZOEK

C.3.1 UITVOERING BORINGEN

Boringen dienen te worden uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 22475-1 [57]. 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. De lengte van de boring dient te worden bepaald 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. Omdat het resultaat van de boringen en het bijbehorende labonderzoek vaak zeer bepalend zijn voor de uiteindelijke grondparameterset, 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.

Grondmonsters kunnen geroerd of ongeroerd worden genomen. De uitkomende grond van zowel mechanische als handboringen moet worden geclassificeerd volgens NEN-EN-ISO-14688-1 en 2 [55 en 56] (vervangt NEN 5104) en worden beschreven in een boorstaat.

Boormethode en gerealiseerde monsterklasse dienen conform NEN-EN-ISO- 22475-1 [57] te worden aangegeven op de boorstaat.

Meestal worden er classificatieproeven en mogelijk ook aanvullende geotechnische proeven uitgevoerd. De eisen die aan de boringen en de monsternamen worden gesteld zijn mede afhankelijk van de proeven die moeten worden uitgevoerd op monsters uit de boringen. In onderstaande paragrafen wordt deze relatie gelegd.

C.3.2 PEILBUIZEN

Het plaatsen van peilbuizen in de boorgaten dient conform NEN-EN-ISO 22475-1 [57] te worden uitgevoerd. 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 verdient aanbeveling om de boorlocaties die worden afgewerkt tot peilbuis dusdanig te kiezen dat de kans dat deze verloren gaan minimaal is.

C.3.3 Classificatieproeven

In de Nederlandse praktijk worden in cohesieve lagen meestal tenminste 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 aan NEN 9997-1 [46].

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.

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.

C.3.4 SAMENDRUKKINGSPROEVEN

Samendrukkingsproeven of Oedometertesten worden uitgevoerd conform NEN-EN 17892-5 [59] in situaties waarbij de samendrukking van de grond van belang is. De monsters moeten ongeroerd zijn. De diameter van de boring dient bovendien voldoende groot te zijn, bij voor-

keur ten minste 66 mm. Monsters voor samendrukkingsproeven hebben een diameter van 50 mm.

De resultaten van de samendrukkingsproeven spelen in alle projectfasen een belangrijke rol. Daarom dient bijzondere aandacht te worden besteed aan de uitvoering van deze proeven. Voor de aandachtspunten en richtlijnen bij het opgeven van samendrukkingsproeven wordt uitdrukkelijk verwezen naar CUR/CROW-publicatie Richtlijn Geotechnisch laboratorium-onderzoek [21].

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 samendrukkingscoëfficiënt 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 vóór de grensspanning vaak onbetrouwbaar zijn door monsterversoring, 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-Angelsaksisch , a,b,c én de Koppejan-methode, zodat een eigen keuze kan worden gemaakt 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-EN-ISO 17892-8 en 9 (E) [37 en 38] en NEN 5117 [49].

Voor de aandachtspunten en richtlijnen bij het opgeven van triaxiaalproeven wordt uitdrukkelijk verwezen naar CUR/CROW-publicatie Richtlijn Geotechnisch laboratorium-onderzoek [21].

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 of 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:

- C(I)U (Consolidated Undrained): Hierbij laat men het monster tussen de verschillende belasttrappen consolideren tot de z.g. consolidatiespanning; de afschuifproef wordt ongedraineerd uitgevoerd, bij meting van de waterspanning.
- C(I)D (Consolidated Drained): Hierbij laat men het monster tussen de verschillende belasttrappen consolideren; de afschuifproef wordt gedraineerd uitgevoerd.
- UU (Unconsolidated Undrained): Hierbij laat men het monster tussen de verschillende belasttrappen niet consolideren; de afschuifproef wordt ongedraineerd uitgevoerd, bij meting van de waterspanning.

Over het algemeen worden de CU en CD proeven uitgevoerd onder een isotrope (I) spanningstoestand, waarbij de aanvangsconsolidatiespanningen in horizontale en verticale richting gelijk zijn. Meer conform de werkelijke spanningstoestand in-situ kan de CU proef ook worden uitgevoerd onder anisotrope toestand (A), waarbij de horizontale consolidatiespanning kleiner is dan de verticale. Deze methode heeft een langere doorlooptijd en heeft daardoor een hogere prijs.

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 worden 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. De BS 5930 zegt: '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 [42, 43, 44].

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.

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.

C.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 worden gehouden met NEN 99971 [46] voor het bepalen van de karakteristieke waarde van de grondparameter. Van elke relevante te onderscheiden grondlaag dienen minimaal 3 parameterbepalingen te zijn uitgevoerd. In alle andere gevallen zullen de richtwaarden genoemd in Tabel 2.b van NEN 9997-1 [46] 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 meer conservatieve en daarmee duurder ontwerp en in sommige gevallen tot grotere risico's.

BIJLAGE D

TRADE OFF MATRIX ONTWERPOPLOSSINGEN

Type fundering/aspect	Ontwerp					Realisatie			Gebruik			Overig		
	Beperken raakvlakken met fundering turbine	Beperken beïnvloeding geohydrologische situatie	Robuustheid voor onzekerheid in sterke ondergrond	Robuustheid voor verschillizettingen	Robuustheid voor nabijgelegen taluds	Beperken bouwtijd	Beperken overlast omgeving	Robuustheid ontwerp voor kwaliteit uitvoering	Flexibele locatie van belasting mogelijk	Robuustheid bij overschrijding maximale belasting	Beperken onderhoud t.g.v. gebruiksschade	Beperken kosten	Verwijderebaarheid	Beperken impact op milieu
Fundering op staal	+	+	-	-	-	+	+	+	0	-	-	+	+	+
Fundering op staal - grondverbetering	+	0	0	0	-	0	+	0	0	-	-	0	0	0
Fundering op staal - soilmix/mix in place	-	0	-	0	-	-	+	-	0	-	0	0	-	0
Fundering op staal - geokunststoffen	+	+	0	0	0	+	+	0	0	0	0	+	+	+
Paalmatras	-	0	+	+	0	-	0	0	0	+	0	-	-	-
Poer met palen	-	0	+	0	+	-	-	0	-	+	+	-	-	-

+

0

-

Uitleg scores:

Scoort hoog op dit aspect in verhouding tot andere typen fundering

Scoort gemiddeld op dit aspect in verhouding tot andere typen fundering

Scoort laag op dit aspect in verhouding tot andere typen fundering

Uitleg scores:

+ Scoort hoog op dit aspect in verhouding tot andere typen fundering
 0 Scoort gemiddeld op dit aspect in verhouding tot andere typen fundering
 - Scoort laag op dit aspect in verhouding tot andere typen fundering