

Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer

Onderzoeksvraag 3

Veiligheidsbenadering talud boven de kopplaat

projectnummer 413509
definitief revisie 02
1 maart 2019

Inhoudsopgave

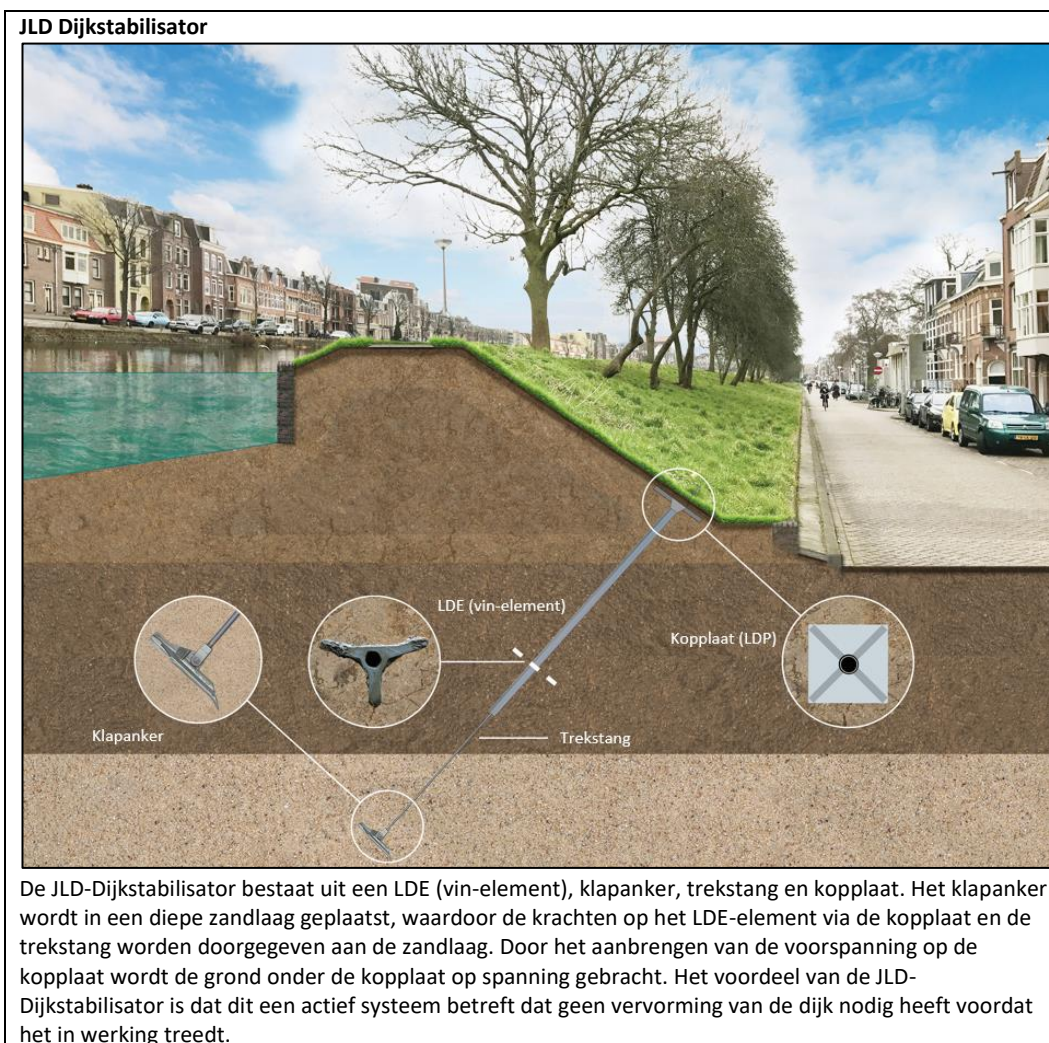
		Blz.
1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Voorliggende rapportage	2
1.3	Aanpak	2
1.4	Leeswijzer	3
2	Antwoord onderzoeksvraag	4
2.1	Oude veiligheidsbenadering	4
2.2	Ontwikkeling veiligheidsbenadering	5
2.3	Huidige aanpak ontwerp	6
3	Conclusie	8
4	Verwijzingen	9

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De JLD-Dijkstabilisator is een nieuwe dijkversterkingsmethode. Voor de ontwerpbaarheid en aantoonbaarheid van deze methode is een pilotproject in combinatie met praktijkproeven opgezet. De resultaten van het pilotproject en de praktijkproeven hebben als doel de (door)ontwikkeling van deze innovatie en het leveren van afdoende onderbouwing voor een ENW-acceptatie mogelijk te maken.

In een voorgaande fase zijn reeds diverse veldproeven uitgevoerd ten behoeve van de ontwikkeling en onderbouwing van de techniek. Deze veldproeven hebben antwoord gegeven op de meeste vragen rond deze innovatieve techniek maar niet alle vragen zijn hiermee beantwoord. De resterende vragen kunnen worden beantwoord met de resultaten van de pilot en de aanvullende veldproeven.



In samenwerking met Waterschap Amstel, Gooi en Vecht is besloten een pilotproject uit te voeren. Als pilotproject is gekozen de versterking van de Ringdijk te Watergraafsmeer in Amsterdam. Daarbij is een team van JLD Contracting, Antea Group en Deltares betrokken.

Na uitvoeren van de veldproeven is op basis van de postdictie een ontwerpmethodologie opgesteld voor de JLD-Dijkstabilisator. Het onderzoek uitgevoerd in de postdictie en de hierop gebaseerde ontwerpmethodologie zijn voorgelegd aan de ENW. De ENW heeft aangegeven dat het onderzoek en de ontwerpmethodologie voldoende basis bieden voor verdere ontwikkelingen. Het ENW heeft hierbij wel enkele kennisvragen opgesteld die in de verdere doorontwikkeling beantwoord moeten worden. De kennisvragen van de ENW zijn bij aanvang van het pilotproject in Watergraafsmeer gecombineerd met kennisvragen die specifiek gelden voor de pilotlocatie en de dijkversterking van de Ringdijk. In het totaal betreft het negentien onderzoeksvragen die beantwoord moeten worden op basis van de pilot en de aanvullende veldproeven. Een aantal van deze vragen dienen voorafgaand aan het DO van het pilotproject te zijn beantwoord. Voor verder onderzoek en voor de beantwoording van deze onderzoeksvragen worden de volgende proeven en het eerder genoemde pilotproject uitgevoerd en gemonitord:

- Voorspanproeven te Purmerend;
- Interactieproef Veen te Broek in Waterland;
- Pilotproject Ringdijk Watergraafsmeer.

1.2 Voorliggende rapportage

Het voorliggende rapport betreft de beantwoording van onderzoeksvraag 3 en het daaraan ten grondslag liggende onderzoek.

De oorspronkelijke onderzoeksvraag 3 is als volgt geformuleerd: Bezwijken talud boven de kopplaat meenemen in faalkansverdeling.

De onderzoeksvraag is op de volgende manier geïnterpreteerd: Hoe moet het bezwijken van het talud boven de kopplaat meegenomen worden in de veiligheidsbenadering van de JLD-Dijkstabilisator?

1.3 Aanpak

Er is een plan van aanpak opgesteld om de onderzoeksvraag te beantwoorden (Antea Group, 2018). In dit plan van aanpak is opgenomen dat de onderzoeksvraag wordt beantwoord op basis van een literatuuronderzoek. Het literatuuronderzoek wordt gebruikt om het systeem van de JLD-Dijkstabilisator te analyseren en op basis hiervan de faalkansenboom aan te passen. De volgende bronnen zijn gebruikt voor het literatuuronderzoek:

- OI2014v4 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016);
- POV-M publicatie Vernagelingstechnieken (Antea Group i.o.v. POV-M, december 2018);
- Basisrapport Eindige-elementenmethode; kenmerk: 11201406-002-GEO-0003; revisie: concept (Deltares i.o.v. POV-M, 2018).

1.4 Leeswijzer

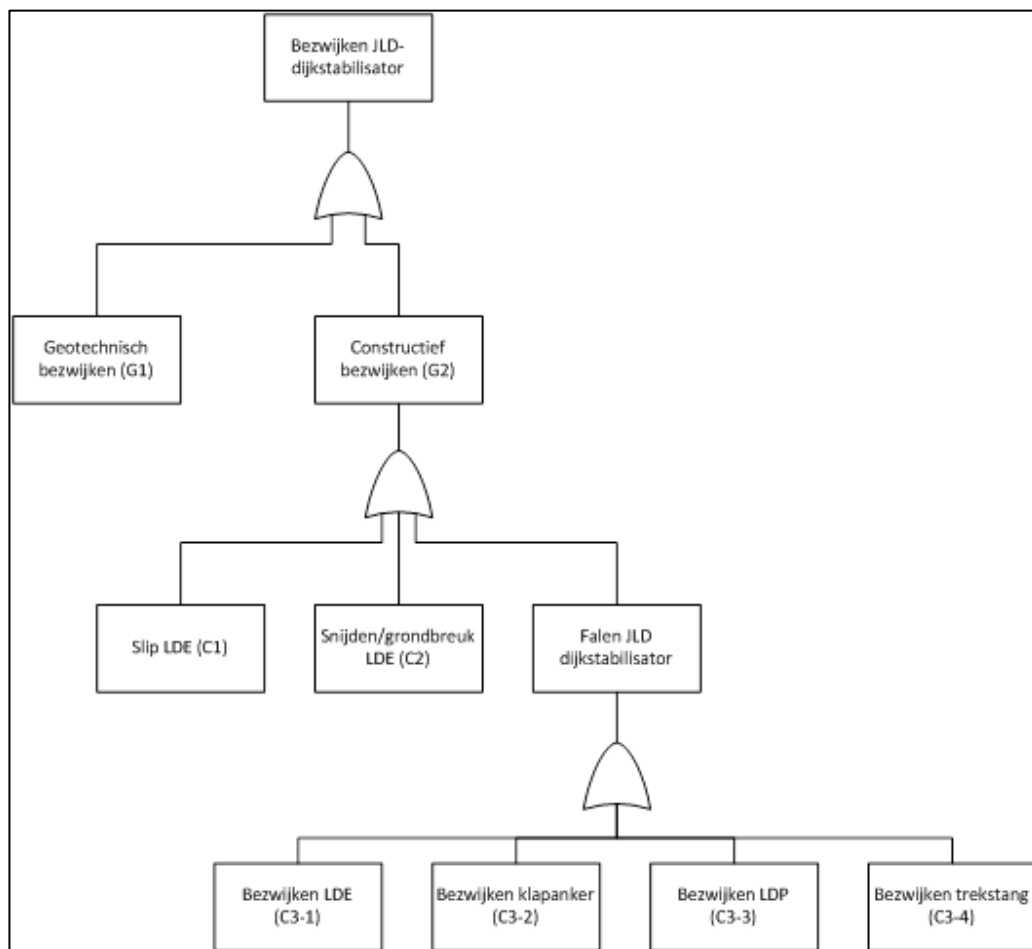
In hoofdstuk 2 is het onderzoek beschreven dat ten grondslag ligt aan de beantwoording van onderzoeksvraag 3 en tevens is onderzoeksvraag 3 beantwoord in dit hoofdstuk. In hoofdstuk 3 zijn de conclusie gerapporteerd.

2 Antwoord onderzoeksvraag

In de oude faalkansenboom was geotechnisch falen opgenomen als faalmechanisme maar was geotechnisch falen niet verder opgesplitst naar onderliggende deelfaalmechanismen. Hierdoor was het falen van het boventalud geen expliciet onderdeel van de faalkansenboom en de veiligheidsbenadering. Inmiddels is de veiligheidsbenadering en de onderliggende faalkansenboom gewijzigd door nieuwe inzichten. In dit hoofdstuk is beschreven hoe de veiligheidsbenadering voorheen was, hoe de veiligheidsbenadering is gewijzigd en hoe het falen van het boventalud is opgenomen in de huidige veiligheidsbenadering.

2.1 Oude veiligheidsbenadering

In de veiligheidsbenadering, die onderdeel is van de ontwerpmethode van de JLD-Dijkstabilisator die is opgeleverd aan het ENW (Antea Group, 2016), is de faalkansenboom opgenomen die is weergegeven in Figuur 2-1. In deze faalkansenboom is geotechnisch bezwijken opgenomen maar het bezwijkmechanisme geotechnisch bezwijken is niet verder uitgesplitst naar de onderliggende deelfaalmechanismen. Het bezwijken van het boventalud zou een van de onderliggende deelfaalmechanismen moeten zijn, vandaar dat ENW adviseerde dit op te nemen in de faalkansenboom en dat hier een onderzoeksvraag van is gemaakt.



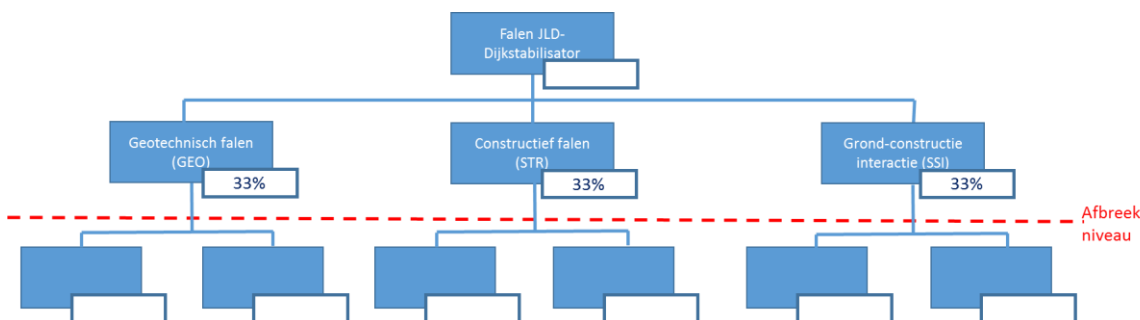
Figuur 2-1: Faalkansenboom JLD-Dijkstabilisator

2.2 Ontwikkeling veiligheidsbenadering

Inmiddels is de veiligheidsbenadering aangepast in lijn met de ontwikkelingen uit het Basisrapport Eindige-elementenmethode (B-EEM) (Deltares i.o.v. POV-M, 2018). Hierdoor is de faalkansenboom op een hoger niveau afgekapt (zie Figuur 2-2). Als argumentatie hiervoor wordt het volgende gesteld:

“Het lijkt aanvaardbaar om geen verdere decompositie toe te passen over constructiedelen. Net zoals in de Leidraad Kunstwerken en in de Eurocode wordt de motivatie gezocht in de volgende twee deelredenen: (1) de aanzienlijke afhankelijkheid die er bestaat tussen de faalkansen voor deze onderdelen, via de waterstand en de grondsterkte en (2) de “redundantie” in de constructie. Zoals eerder al aangegeven wordt met redundantie bedoeld dat onderdelen meervoudig zijn uitgevoerd, zodat de functie van een falend onderdeel (zoals een anker of een nagel) kan worden overgenomen door andere onderdelen”

“Daarbij mag worden aangenomen dat de kansen op het optreden van verschillende mogelijke vormen van geotechnische instabiliteit sterk met elkaar gecorreleerd zijn. De sterkte van voorgespannen ankers wordt in praktijk getest door proefbelasting en de ondergrens is daarmee relatief zeker. Ook de onzekerheid in de sterkte van de constructie is doorgaans beperkt. De overschrijdingskans van maximaal toelaatbare constructiespanningen en ankerkrachten is dus voor het grootste deel afhankelijk van de onzekere grondsterkte en belasting en daarmee dus ook grotendeels gecorreleerd met de kans op geotechnische instabiliteit.”



Figuur 2-2 Faalkansenboom, onderverdeeld in de drie deelfaalmechanismen: geotechnisch falen, constructief falen en falen grond-constructie interactie.

Doordat de faalkansenboom op een hoger niveau wordt afgekapt zijn de deelfaalmechanismen geen onderdeel meer van de faalkansenboom. De deelfaalmechanismen worden wel getoetst in het ontwerp. Het verschil in doelbetrouwbaarheid, tussen het niveau waarop de snedekrachten worden bepaald en de doelbetrouwbaarheid van te toetsen deelfaalmechanismen, zijn in het B-EEM verdisconteerd door het toepassen van een belastingeffect-factor op de berekende snedekrachten.

De onderstaande onderbouwing voor het toepassen van de belastingeffect-factoren, in lijn met de CUR 166 (SBRCUR, 2012) is overgenomen uit het B-EEM:

“De CUR166 gaat uit van een UGT ontwerpprocedure, waarin de constructieve krachten en momenten worden bepaald bij het (via partiële factoren benaderde) ontwerp punt voor geotechnische instabiliteit (grondbreuk). Omdat dit ontwerp punt verschilt van het ontwerp punt voor constructief falen (overschrijden van de vloeispanning) en/of falen van het ankerlichaam wordt op de ankerkracht een correctiefactor van 1,1 geïntroduceerd. Deze factor wordt in de CUR166 een belastingfactor genoemd. In het voorliggende rapport wordt een dergelijke correctiefactor een “belastingeffect-factor” genoemd, om verschil te kunnen maken met de factoren die al direct op een belasting werken. De CUR166 schrijft de toepassing van de belastingeffect-factor 1,1 alleen voor bij de controle van de anker Gording en van het

ankerlichaam. De factor zou formeel echter ook van toepassing moeten zijn bij de controle van het moment. Voor de controle van de ankerstaaf en ankerverbindingen verhoogt de CUR166 de waarde van de belastingeffect-factor naar 1,25. Deze hogere waarde volgt uit de constructieve wens om voor ankerbreuk een hogere doelbetrouwbaarheid te realiseren dan voor de gording en het ankerlichaam.”

Voor de JLD-Dijkstabilisator zijn het afkappen van de faalkansenboom op een hoger niveau en het toepassen van een belastingeffect-factor voor de verdisconteren van het verschil in doelbetrouwbaarheid bij het toetsen van de deelfaalmechanismen uit het B-EEM opgenomen in de ontwerpmethod.

In de onderstaande paragraaf is de aangepaste werkwijze, zoals opgenomen in de POV-M publicatie Vernagelingstechnieken (Antea Group i.o.v. POV-M, december 2018) en gebaseerd op de werkwijze uit het B-EEM, uiteengezet.

2.3 Huidige aanpak ontwerp

Bij het ontwerpen wordt analoog aan het B-EEM het onderstaande werkwijze gevolgd:

1. Het toetsen van de deelfaalmechanismen, onderverdeeld in geotechnisch bezwijken, constructief bezwijken en grond-constructie interactie, vindt plaats bij maatgevende waterstanden / waterstand bij de norm (WBN).
2. Toepassen van de rekenwaarden voor de grondsterkte.
Deze bestaan uit een combinatie van materiaalfactor, schadefactor, modelfactor en schematiseringsfactor.
3. Op de berekende snedekrachten wordt een belastingeffect-factor toegepast voor het verdisconteren van het verschil in doelbetrouwbaarheid.
4. De verder nog toe te passen materiaalfactoren voor constructieve sterkte (vezel versterkte kunststoffen of staal) worden ontleend aan de vigerende richtlijnen. Deze materiaalfactoren zijn niet afhankelijk van de doelbetrouwbaarheid en/of de levensduur.

Belastingeffect-factoren

De belastingeffect-factoren verdisconteren de verschillen in doelbetrouwbaarheid en tevens wordt hierin de manier van bezwijken van het systeem meegenomen. Deze factoren borgen een ‘ductiel ontwerp’, waarin eerst de grond bezwijkt voordat de constructieve elementen bezwijken. De belastingeffect-factoren werken op de in de constructieve elementen berekende spanningen en krachten. De krachten en momenten waarop de factoren moeten worden toegepast worden berekend na voorafgaande toepassing van de relevante partiele factoren op de karakteristieke waarde van de grondsterkte.

In Tabel 2-1 is een overzicht opgenomen van de deelfaalmechanismen en de belastingeffect-factoren van de JLD-Dijkstabilisator zoals opgenomen in de POV-M publicatie Vernagelingstechnieken (Antea Group i.o.v. POV-M, december 2018).

Tabel 2-1 Deelfaalmechanismen JLD-Dijkstabilisator

Geotechnisch falen (GEO)	Codering	Belastingeffect-factor
Geotechnisch bezwijken door de vernagelingstechniek	GEO1	-
Geotechnisch bezwijken buiten de vernagelingstechniek	GEO2	-
Constructief falen (STR)	Codering	Belastingeffect-factor
Constructief bezwijken LDE door combinatie dwarskracht en normaalkracht	STR1	1,25
Constructief bezwijken LDE door combinatie buigend moment en normaalkracht	STR2	1,25
Constructief bezwijken trekstang door combinatie dwarskracht en normaalkracht	STR3	1,25
Constructief bezwijken trekstang door combinatie buigend moment en normaalkracht	STR4	1,25
Constructief bezwijken kopplaat (incl. verbinding)	STR5	1,25
Constructief bezwijken klapanker (incl. verbinding)	STR6	1,25
Grond-constructie interactie (SSI)	Codering	Belastingeffect-factor
Snijden van de grond tussen de JLD-Dijkstabilisatoren	SSI1	1,10
Bezwijken houdkracht klapanker (draagkracht grond boven klapanker)	SSI2	1,10
Bezwijken grond onder de kopplaat	SSI3	1,10

Het bezwijken van het boventalud valt onder het deelfaalmechanisme 'geotechnisch bezwijken buiten de vernagelingstechniek' (GEO2). Voor dit deelfaalmechanisme wordt geen belastingeffect-factor toegepast (ofwel een belastingeffect-factor gelijk aan 1,00). Dit omdat bij het toetsen van dit deelfaalmechanisme automatisch het maatgevende glijvlak wordt bepaald, dit maakt een verdere opsplitsing naar de onderliggende deelfaalmechanismen overbodig. In een analytisch glijvlakmodel als D-Geo Stability wordt het maatgevende glijvlak bepaald buiten de vernagelingstechniek door het toepassen van een forbidden line op de locatie waar de JLD-Dijkstabilisator aanwezig is. In een eindige elementenmethode als PLAXIS wordt bij het toetsen van de geotechnische stabiliteit, middels een safety analyse, het maatgevende glijvlak bepaald van de glijvlakken door de vernagelingstechniek en de glijvlakken buiten de vernagelingstechniek. Hierbij wordt dus tegelijkertijd getoetst aan deelfaalmechanisme GEO1 en GEO2.

3 Conclusie

In dit rapport is het onderzoek en de beantwoording beschreven van onderzoeksvraag 3: ‘Hoe moet het bezwijken van het talud boven de kopplaat meegenomen worden in de veiligheidsbenadering van de JLD-Dijkstabilisator?’.

In het Basisrapport Eindige-elementenmethode zijn kaders opgesteld voor de veiligheidsbenadering van waterkeringen versterkt met constructieve elementen. Voor de JLD-Dijkstabilisator is bij deze kaders aangesloten. Dit betreft een werkwijze om te komen tot een veiligheid voor zowel geotechnische bezwijkmechanismen als voor constructieve bezwijkmechanismen.

Het bezwijken van het talud boven de kopplaat, inclusief kleine glijvlakken direct boven de kopplaat, zijn in de veiligheidsbenadering opgenomen onder het deelfaalmechanisme ‘geotechnisch bezwijken buiten de vernagelingstechniek’ (GEO2). Dit deelfaalmechanisme wordt getoetst door ofwel een veiligheidsanalyse uit te voeren in een analytisch glijvlakmodel als D-Geo Stability, waarbij de JLD-Dijkstabilisator is geschematiseerd als een forbidden line, ofwel door het uitvoeren van een safety analyse in PLAXIS.

4 Verwijzingen

- Antea Group. (2016). *Ontwerpmethode JLD-Dijkstabilisator, eindconcept.*
- Antea Group. (2018). *PvA onderzoeksvraag 2 - jaarkans in veiligheidsfilosofie.*
- Antea Group i.o.v. POV-M. (december 2018). *POV-M publicatie Vernagelingstechnieken.*
- Deltares i.o.v. POV-M. (2018). *Basisrapport Eindige-elementenmethode, concept, kenmerk:11201406-002-GEO-003.*
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016). *Ontwerpinstrumentarium 2014 versie 4.*
- SBRCUR. (2012). *CUR 166, Damwandconstructies, deel 1 en 2.*

Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

Contactgegevens

Antea Group

Rivium Westlaan 72
2909 LD CAPELLE A/D IJSSEL
Postbus 8590
3009 AN ROTTERDAM

E. www.anteagroup.nl

JLD Contracting BV

Wieder 23
1648 GA DE GOORN
Postbus 144
1135 ZK EDAM

E. www.JLDcontracting.com

Copyright © 2018

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.