



Veiligheid mini-windturbines

Beschouwing type BW 10

projectnummer 0437717.100
definitief
29 september 2021

Veiligheid mini-windturbines

projectnummer 0437717.100

definitief
29 september 2021

Auteurs

Jeroen Eskens
Wiro Gruijters
Marouscha Hogeslag

Opdrachtgever

VanWestreenen BV
Anthony Fokkerstraat 1a
3772 MP Barneveld

Gecontroleerd:

datum	beschrijving	vrijgave
29 september 2021	concept	Jeroen Eskens

Inhoud

1	Inleiding	1
2	De externe veiligheidsaspecten	2
2.1	Het falen van windturbines	2
2.2	De mogelijke verspreiding van objecten in de omgeving	3
3	Beoordelingskader	4
3.1	Het wettelijk kader	4
3.2	Te beschermen objecten	5
4	Beschouwing PR- en werpafstanden	6
4.1	Invloed variatie van de ashoogte	6
4.2	Invloed van variatie afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotoras	7
4.3	Invloed van variatie in het nominaal toerental	8
5	Kans op schade binnen de werpafstand	9
6	Conclusie	10

1 Inleiding

Van Westreenen BV heeft namens BestWatt verzocht om onderzoek te doen naar de diverse veiligheidsafstanden van de mini-windturbine Bestwind 10 (BW10).

De BW 10 is een miniwindturbine, waarbij de ashoogte kan variëren van 10 tot 30 meter.

De BW10 heeft een CE certificaat, zie bijlage 1.

In deze rapportage wordt ingegaan op:

- De externe veiligheidsaspecten van mini-windturbines
- Het van toepassing zijnde beoordelingskader
- De plaatsgebonden risicocontouren en werpafstanden bij de diverse uitvoeringen van de BW10 windturbine.



Foto 1: Een windturbine, type BW 10 (foto Antea Group)

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de algemene externe veiligheidsaspecten van windturbines. In hoofdstuk 3 wordt het wettelijke beoordelingskader beschreven. Hoofdstuk 4 gaat in op de diverse veiligheidsafstanden. Hoofdstuk 5 gaat in op mogelijke ondergrondse en bovengrondse schade na een incident met een mini-windturbine.

2 De externe veiligheidsaspecten

Bij een incident bij een windturbine kunnen onderdelen loskomen en zich in de omgeving verspreiden. Hierbij kunnen personen (dodelijk)verwond worden of kunnen installaties beschadigd raken. De kans op een dergelijk incident bij windturbine is heel klein, maar kan niet worden uitgesloten. In dit hoofdstuk wordt eerst ingegaan op het falen van windturbines en daarna op het verspreiden van brokstukken in de omgeving van de windturbine.

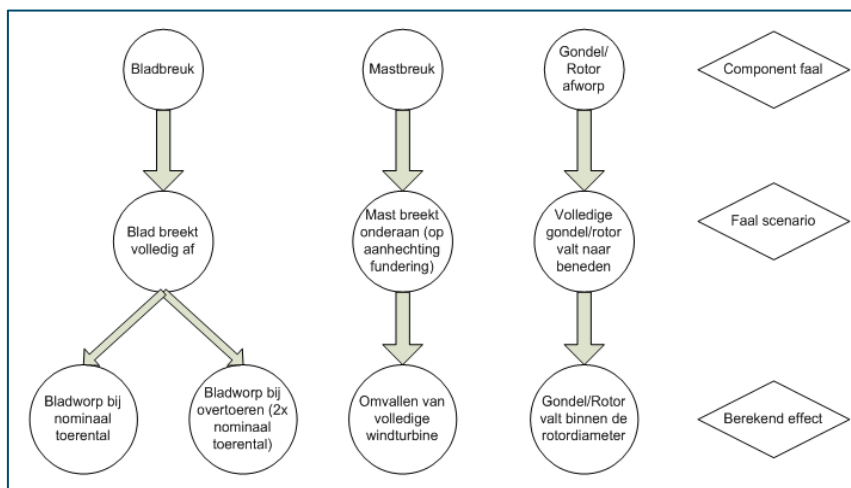
2.1 Het falen van windturbines

Op basis van incidenten uit het verleden zijn faalscenario's voor windturbines vastgesteld. Het betreft hier:

- bladbreuk;
- mastbreuk;
- gondel/rotor afwerp.

Deze drie soorten falen zijn vervolgens vertaald in faalscenario's waarbij per scenario een effect wordt berekend, zie de figuur 1 hiernaast.

Deze scenario's zijn formeel vastgesteld voor windturbines met een vermogen van 1 tot 5 MW¹ en een rotoroppervlak² van meer dan 40m².



Figuur 1, Scenario's voor incidenten met windturbines.

Mini-windturbines hebben een vermogen dat – met de ontwikkeling van de techniek – steeds groter wordt, maar ruim onder de 1 MW blijft. De BW 10 heeft bijvoorbeeld een vermogen van 9,8 kW. Echter, de faalfrequenties die – conform het rekenvoorschrift - gebruikt moeten worden voor windturbines met een vermogen van 1 tot 5 MW zijn in een belangrijke mate gebaseerd op incidenten met windturbines van een vermogen van minder dan 1 MW³ die globaal in de periode 1980-2000 plaatsvonden. Het betreft dus windturbines die technisch gezien 'van de vorige generatie' waren⁴.

¹ Opgemerkt moet worden dat het vermogen van de windturbines zelf geen indicatie is voor welke veiligheidsafstand van toepassing is. Hiervoor zijn andere kenmerken bepalend, zoals ashoogte, het toerental en het zwaartepunt van het blad.

² Het rotoroppervlak is het oppervlak van de cirkel die een turbineblad bestrijkt. Een oppervlak van 40 m² betekent een bladlengte van 3,56 m.

³ Veelal vermogens tussen de 0,5 en 1 MW

⁴ Het RIVM is thans bezig om actuele incidenten te beschouwen om op basis daarvan te beschouwen of de faalfrequenties geactualiseerd moeten worden. Door Antea Group is hierbij in overweging gegeven om ook faalfrequenties voor mini windturbines vast te stellen.

Faalfrequenties

In het RIVM Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid Module IV (2020) zijn faalfrequenties opgenomen voor de verschillende scenario's. Deze zijn opgenomen in tabel 2.1. Formeel zijn deze niet van toepassing op mini windturbines, maar is bij gebrek aan concrete faalfrequenties voor mini-windturbines is hierbij aansluiting gezocht.

Tabel 2.1. De faalfrequenties zoals gegeven in het rekenvoorschrift.

Scenario:	Faalfrequentie/jaar
Bladbreek nominaal toerental	$8,4 \times 10^{-4}$
Bladbreek overtoeren	$5,0 \times 10^{-5}$
Mastbreek	$1,3 \times 10^{-4}$
Gondel/rotor afworp	$4,0 \times 10^{-5}$

2.2 De mogelijke verspreiding van objecten in de omgeving

Ten gevolge van een incident kunnen zich onderdelen verspreiden in de omgeving van de windturbine. Bij de verspreiding in de omgeving wordt aangegeven in kansafstanden (de plaatsgebonden risicocontouren) en effectafstanden (de werpafstanden). Om deze afstanden te bepalen, is gebruik gemaakt van het rekenmodel zoals voorgeschreven is voor windturbines van 1 tm. 5 MW. Het betreft hier het Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid Module IV (2020). Hiervan is het ballistisch rekenmodel gebruikt, zoals door Antea Group is uitgewerkt⁵. Formeel is de gebruikte rekenmethode niet aangewezen voor het gebruik bij mini-windturbines. Echter, er is geen aangewezen rekenmodel beschikbaar en het zijn dezelfde natuurwetten die een rol spelen bij de verspreiding van objecten in de omgeving.

Het rekenmodel vraagt om invoer van de volgende parameters:

- ashoogte;
- rotordiameter;
- nominaal toerental;
- gemiddelde diameter van de toren;
- zwaartepunt van het blad;
- maximale waarde van de lengte en breedte van de gondel.

Een turbineblad van de BW 10 heeft een vaste rotordiameter van 10,679 meter en een blad heeft een gewicht van 66,5 kg⁶ en het gewicht van de torenkop bedraagt circa 600 kg. Ter vergelijking: het gewicht van een windturbineblad van een grote windturbine bedraagt snel 30.000 tot 40.000 kg.

⁵ Dit rekenmodel is ten behoeve van Save-W door het RIVM op juistheid gecontroleerd.

⁶ Dit is het gewicht inclusief bevestigingsbouten en het veersysteem in de tip. Het gezamenlijk gewicht hiervan is ongeveer 3,5kg.

3 Beoordelingskader

Windturbines moeten aan strenge internationale veiligheidseisen voldoen. Deze veiligheidseisen zijn geregeld via IEC- en NEN-normeringen. Een incident met windturbines is (evenals bij ieder ander soort installatie) echter nooit geheel uit te sluiten, waardoor altijd risico's aanwezig zijn. Voor windturbines zijn daarom normen gesteld voor het risico dat zij mogen veroorzaken voor de omgeving. Dit is geregeld in diverse wetten en besluiten, waarvan het Activiteitenbesluit milieubeheer de belangrijkste is.

Binnen het beleidskader voor externe veiligheid staan twee kernbegrippen centraal:

1. Plaatsgebonden risico (PR)

Het plaatsgebonden risico (PR) geeft de kans, op een bepaalde plaats, om te overlijden ten gevolge van een ongeval bij een risicovolle activiteit. Het PR wordt aangegeven met risicocontouren.

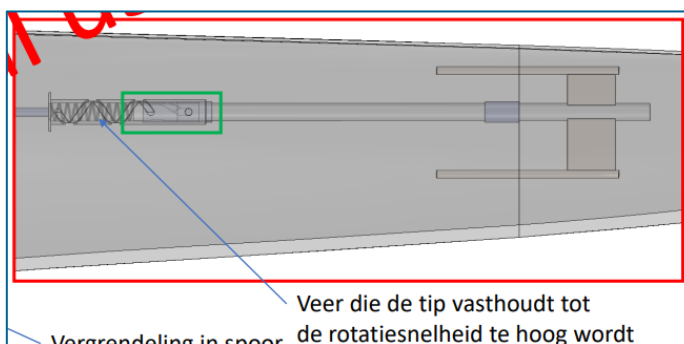
2. Werpafstand

De werpafstand representeert een effectafstand waar een afgeworpen onderdeel kan neerkomen. Er zijn twee soorten werpafstanden:

- Werpafstand bij nominaal toerenaantal
- Werpafstand bij overtoeren

De werpafstand bij nominaal toerental is van toepassing bij de normale gebruikssituatie waarbij de windturbine op een toerental is ingeregeld, waarbij deze het best rendeert.

Indien het interne remsysteem faalt, kan de rotor in overtoeren raken. De werpafstand is dan aanzienlijk groter. De BW 10 beschikt over een systeem dat overtoeren voorkomt doordat een veer de tip vasthoudt als de rotatiesnelheid te hoog wordt. Het blad vangt vervolgens minder wind. Een dergelijk systeem is zeker effectief, maar er zijn geen gegevens voorhanden waaruit valt af te leiden wat de faalkans van een dergelijk systeem is.



3.1 Het wettelijk kader

Activiteitenbesluit milieubeheer

Het Activiteitenbesluit milieubeheer geeft een normstelling voor het plaatsgebonden risico van windturbines. Ingevolge artikel 3.15a zijn kwetsbare objecten zijn binnen de 10^{-6} /jaar-contour geen kwetsbare objecten toegestaan. Binnen de 10^{-5} -contour zijn geen beperkt kwetsbare objecten toegestaan.

Wanneer windturbines onderdeel zijn van dezelfde inrichting als een (beperkt) kwetsbaar object, dan is de bescherming van het Activiteitenbesluit niet van toepassing op die andere onderdelen van die inrichting.

Het Activiteitenbesluit kent **geen** normering van de werpafstand en ook **geen** normering van het toegevoegd risico bij een risicovolle installatie of buisleiding.

Het bestemmingsplan

Indien sprake is van een ruimtelijk besluit mogen deze objecten ook niet binnen deze contouren geprojecteerd zijn, tenzij de objecten binnen de eigen inrichting zijn gelegen.

3.2 Te beschermen objecten

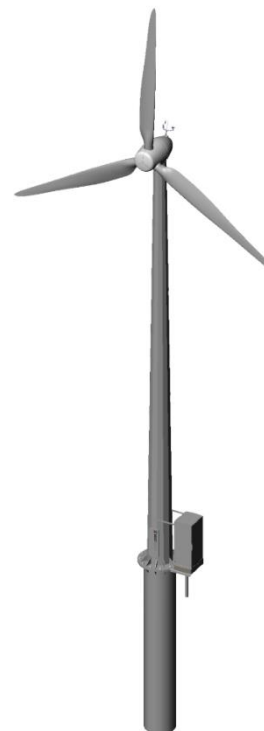
De objecten die beschermd moeten worden zijn gedefinieerd in artikel 1 van het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi). Het betreft hier beperkt kwetsbare en kwetsbare objecten.

Onder kwetsbare objecten vallen in ieder geval ziekenhuizen, verzorgingstehuizen, scholen en burgerwoningen. Ook kantoren met een bruto-vloeroppervlakte groter dan 1500m² vallen onder de definitie kwetsbaar object, evenals "gebouwen waar gedurende langere aangesloten tijd grotere groepen personen aanwezig zijn". Onder beperkt kwetsbare objecten vallen nagenoeg alle objecten die bestemd zijn voor menselijk verblijf (voor zover geen kwetsbaar object).

4 Beschouwing PR- en werpafstanden

In dit document zijn resultaten van berekeningen met deze methode opgesomd. Omdat de ashoogte, de afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotorcentrum en het nominaal toerental nog onbekend zijn, worden in dit document berekeningen met verschillende variaties gepresenteerd. Zo kan de impact van verschillende wijzigingen met variabelen uiteengezet worden waardoor er meer inzicht in het risicospectrum wordt verkregen. Dit geeft een indicatie van de risico's die het kiezen van een bepaalde windturbine met zich meebrengt.

Omdat de BW10, verschillende uitvoeringen kent, en een rotorblad ook gedeeltelijk afgeworpen kan worden, zijn verschillende berekeningen uitgevoerd. Er is gevarieerd met de waarden; ashoogte, de afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotorcentrum en het nominaal toerental. De overige parameters zijn constant gehouden.



4.1 Invloed variatie van de ashoogte

De BW 10 wordt geleverd met een verschillende ashoogte. In tabel 3.2 worden de relevante afstanden voor de verschillende hoogtes gegeven.

Tabel 3.1: Constanten in de berekening variërend op de ashoogte.

Parameters	Constante waarden	Informatiebron
Ashoogte	(varieert)	Gespecificeerde aanname
Rotordiameter	10,679 m	Leverancier
Mastdiameter	0,94 m	Leverancier
Hoogte gondel	0,84 m	Leverancier
Lengte gondel	1,6 m	Leverancier
Breedte gondel	0,84 m	Leverancier
Afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotorcentrum	1,75 m	Aanname (een derde van het blad)
Nominaal toerental*	80 toeren/ minuut	Aanname

* Het nominaal toerental varieert van 30 tot 80 toeren/minuut. Bij 90 toeren grijpt de overspeedbeveiliging in.

Tabel 3.2: Uitkomsten variërend op de ashoogte

Ashoogte	PR 10 ⁻⁵ contour	PR 10 ⁻⁶ contour	Maximale werpafstand	Maximale werpafstand bij overtoeren
15 m	4m	21m	34m	102m
20 m	4m	22m	37m	106m
25 m	4m	26m	40m	110m
30 m	4m	31m	42m	114m

De PR 10^{-5} contour is constant bij verschillende ashoogtes. Bepalend is hierbij het scenario mastbreuk, waarbij ook nog sprake is van een bijdrage van het scenario bladbreuk.

4.2 Invloed van variatie afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotoras

Bij risicoberekening wordt veelal aangenomen dat het zwaartepunt van het turbineblad op 1/3 van de het blad ligt (gemeten vanuit de rotoras). Bij grote windturbines kan een andere positie van het zwaartepunt soms een sterk afwijkende uitkomst geven. Om die reden is de gevoeligheid voor het verschuiven van het zwaartepunt onderzocht. De in tabel 3.4 opgenomen licht blauwe vlakken betreffen hierbij geen realistische positie van het zwaartepunt.

Tabel 3.3: Constanten in de berekening.

Parameters	Constante waarden	Informatiebron
Ashoogte	22,5 m	Aanname
Rotordiameter	10,679 m	Leverancier
Mastdiameter	0,94 m	Leverancier
Hoogte gondel	0,84 m	Leverancier
Lengte gondel	1,6 m	Leverancier
Breedte gondel	0,84 m	Leverancier
Afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotorcentrum	(varieert)	Aanname
Nominaal toerental	80	Aanname

Tabel 3.4: Effect variatie afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotorcentrum.

Variatie afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotorcentrum	PR 10^{-5} contour	PR 10^{-6} contour	Maximale werpafstand	Maximale werpafstand bij overtoeren
0,20 m	5m	23m	4m	7m
0,40 m (voorbij gondel)	8m	23m	7m	15m
0,60 m	6m	23m	11m	24m
0,80 m	5m	23m	15m	34m
1,0 m	5m	23m	19m	46m
1,20 m	4m	25m	24m	59m
1,40 m	4m	29m	29m	75m
1,60 m	4m	23m	34m	93m
1,80 m (een derde)	4m	23m	40m	113m
2,0 m	4m	23m	46m	135m
2,20 m	4m	23m	52m	159m
2,40 m	4m	23m	59m	186m
2,60 m	4m	23m	67m	214m
2,80 m	4m	23m	75m	245m
3,0 m	4m	23m	84m	279m
3,20 m	4m	23m	93m	314m
3,40 m	4m	23m	102m	352m
3,60 m (twee derde)	4m	23m	113m	392m

Uit de tabel valt tevens te concluderen dat afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotorcentrum een matig effect heeft op de maximale werpafstand, maar een groter effect op de maximale werpafstand bij overtoeren.

4.3 Invloed van variatie in het nominaal toerental

Het toerental van de BW 10 varieert tussen de circa 30 tot 80 toeren per minuut. Voor de berekening is uitgegaan van 80 toeren per minuut. Bij een toerental hoger dan 90 toeren, grijpt de overtoerenbeveiliging in.

Tabel 3.5: Constanten in de berekening variërend op het nominaal toerental.

Parameters	Constante waarden	Informatiebron
Ashoogte	22,5 m	Aanname
Rotordiameter	10,679 m	Leverancier
Mastdiameter	0,94 m	Leverancier
Hoogte gondel	0,84 m	Leverancier
Lengte gondel	1,6 m	Leverancier
Breedte gondel	0,84 m	Leverancier
Afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotorcentrum	1,75 m	Aanname (een derde van het blad)
Nominaal toerental	(varieert)	Aanname

Tabel 3.6: Uitkomsten variërend op het nominaal toerental.

Variatie nominaal toerental	PR 10 ⁻⁵ contour	PR 10 ⁻⁶ contour	Maximale werpafstand	Maximale werpafstand bij overtoeren
50	5m	23m	21m	52m
60	4m	27m	26m	68m
70	4m	25m	32m	86m
80	4m	23m	38m	108m
85	4m	23m	42m	119m
90	4m	23m	45m	132m

Uit tabel 3.6 blijkt dat bij 50 toeren/minuut de plaatsgebonden risicocontouren kleiner zijn dan bij de grotere toerenaantallen. Dit komt door de kleinere werpafstanden, waardoor het gebied waarover de kansen verdeeld worden kleiner is.

Het realistische worst-case toerental bedraagt 80 toeren per minuut. Bij 90 toeren grijpt de beveiliging in.

5 Kans op schade binnen de werpafstand

In de voorgaande hoofdstukken zijn werpafstanden bij nominaal- en overtoeren gegeven. De werpafstand bij overtoeren is hierbij het grootst. De faalkans van een overtoerenincident is echter veel kleiner dan de faalkans bij een nominaal toerental (uitgaande van de kansverdeling zoals aangehouden moet worden bij windturbines van 1MW tot 5 MW).

In vergelijking met 'grote' windturbines, is duidelijke verschillen:

- Het grote verschil met een grote windturbine is de omvang en de massa van het blad.
- De relatieve trefkans binnen een invloedsgebied van een mini-windturbine is kleiner dan bij grote windturbines doordat het kritieke bladoppervlak kleiner is.
- De 'dreun' of inslag van een blad(deel) is bij mini-windturbines vele malen lichter dan bij een grote windturbine.
- Het mogelijk effect van kleine windturbines op ondergrondse infrastructuur voor het transport van gevaarlijke stoffen of elektriciteit is kleiner. Dit maakt dat de kritische strook kleiner is en de trefkans lager is. In veel onderzochte situaties was er zelfs geen sprake van een kritische strook en toegevoegd risico.

Indien zich binnen de werpafstanden een bovengrondse hoogspanningsverbinding van TenneT bevindt, is nader onderzoek naar de mogelijke gevolgen van een incident bij de windturbine mogelijk.

6 Conclusie

In deze rapportage zijn de diverse veiligheidsafstanden van de BW10 onderzocht op basis van het rekenmodel en de faalfrequenties die beschikbaar is voor windturbines met een vermogen van 1 tot 5 MW.

De BW10 wordt geleverd met diverse ashoogtes. De rekenresultaten zijn in tabel 6 aangegeven. De rapportage bevat tevens een gevoeligheidsanalyse. Op grond hiervan moeten de waarden in tabel 6 als representatief worden beschouwd.

Tabel 6: Uitkomsten variërend op de ashoogte.

Ashoogte	PR 10 ⁻⁵ contour	PR 10 ⁻⁶ contour	Maximale werpafstand	Maximale werpafstand bij overtoeren
15 m	4m	21m	34m	102 m
20 m	4m	22m	37m	106m
25 m	4m	26m	40m	110m
30 m	4m	31m	42m	114m

Schade in de omgeving

Indien onverhoopt bij de BW10 een blad wordt afgeworpen, wordt geen impact verwacht op ondergrondse infrastructuur voor het transport van gevaarlijke stoffen of transportleidingen voor elektriciteit (er is geen kritische strook). Indien binnen de werpafstanden bovengrondse kabels aanwezig zijn voor het transport van hoogspanning, is nader onderzoek nodig.

Bijlage 1: CE-certificering



CE DECLARATION OF CONFORMITY OF THE MACHINERY (according to annex II.1.A Machine directive)

Bestwatt declares as manufacturer of:

Turbine
Type : Bestwatt BW10
Serial : BW.DE.xx.x.xxx
Bouwjaar : 20121
Year : 2021
Current : 15 Amp.
Power : 10,0 Kw
SWT Class : SWT-1-10,679
Frequency : 50 Hz.

Meets the requirements of:

Machine directive (2006/42/EG)
EMC directive (2014)

And declares that the following harmonised standards have been applied:

EN ISO 12100:2010: Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction
EN IEC 60204-1: 2014: Safety of machinery – electrical equipment of machines – Part 1: General requirements
EN 61400-1: 2019. Wind turbines - Part 1: Design requirements
EN 61400-2: 2014. Wind turbines - Part 2: Small wind Turbines

Manufacturer : Bestwatt B.V.
Adress : Am Emsdeich 7
Country : 26789 Leer

Accountable : Silvia Rohe

Function : Production manager

Signature :

Date : June 9, 2021
Place : Leer



BEST WATT
BestWatt B.V.
Am Emsdeich 7 · 26789 Leer/Germany
Tel.: 0049-(0)491 45410-0
Email: info@bestwatt.eu

De informatie die in dit rapport is opgenomen is uitsluitend bestemd voor de geadresseerde(n) en kan persoonlijke of vertrouwelijke informatie bevatten. Gebruik van deze informatie, door anderen dan de geadresseerde(n) en gebruik door hen die niet gerechtigd zijn van deze informatie kennis te nemen, is niet toegestaan. De informatie is uitsluitend bestemd om te worden gebruikt door de geadresseerde, voor het doel waarvoor dit rapport is vervaardigd. Indien u niet de geadresseerde bent of niet gerechtigd bent tot kennisneming, is openbaarmaking, vermenigvuldiging, verspreiding en/of verstrekking van deze informatie aan derden is niet toegestaan, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group en wordt u verzocht de gegevens te verwijderen en direct melding te maken bij security@anteagroup.nl. Derden, zij die niet geadresseerd zijn, kunnen geen rechten aan dit rapport ontleen, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group.

Over Antea Group

Antea Group is het thuis van 1500 trotse ingenieurs en adviseurs. Samen bouwen wij elke dag aan een veilige, gezonde en toekomstbestendige leefomgeving. Je vindt bij ons de allerbeste vakspecialisten van Nederland, maar ook innovatieve oplossingen op het gebied van data, sensing en IT. Hiermee dragen wij bij aan de ontwikkeling van infra, woonwijken of waterwerken. Maar ook aan vraagstukken rondom klimaatadaptatie, energietransitie en de vervangingsopgave. Van onderzoek tot ontwerp, van realisatie tot beheer: voor elke opgave brengen wij de juiste kennis aan tafel. Wij denken kritisch mee en altijd vanuit de mindset om samen voor het beste resultaat te gaan. Op deze manier anticiperen wij op de vragen van vandaag en de oplossingen voor morgen. Al bijna 70 jaar.

Contactgegevens

Beneluxweg 125
4904 SJ OOSTERHOUT
Postbus 40
4900 AA OOSTERHOUT
T. 06 20 54 48 23
E. jeroen.eskens@anteagroup.nl

www.anteagroup.nl

Copyright © 2021

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.