

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water & Maritime

Aan: Waterschap Rijn en IJssel t.a.v. [REDACTED]
Van: [REDACTED]
Datum: 22-3-2022
Kopie:
Ons kenmerk: BI5627-RHD-AM-NT-GT-0001
Classificatie: Projectgerelateerd
Goedgekeurd door: [REDACTED]

Onderwerp: Windpark IJsselwind - effecten gewijzigde afmetingen en locatie op waterkering

1 Inleiding

Aanleiding

IJsselwind B.V. heeft gezamenlijk met Waterschap Rijn en IJssel het voornemen een windpark te realiseren langs het Twentekanaal ten noorden van Zutphen, in de directe omgeving van bedrijventerrein De Mars en het Twentekanaal. Het windpark zal bestaan uit 3 windturbines, waarvan twee windturbines (WT2 en WT3) zijn voorzien in de beschermingszone van de primaire waterkering van dijktrajecten 50-2 (Twentekanaal Zuid) en 51-1 (Twentekanaal Noord). Eèn windturbine (WT1) staat buiten de beschermingszone, maar kan in geval van een faalincident van de windturbine effect hebben op de waterveiligheid.

Ten behoeve van de watervergunning is in 2018 door Royal HaskoningDHV [REF2] in opdracht van Waterschap Rijn en IJssel onderzocht wat de effecten zijn van het windpark op de waterkerende functie van de primaire waterkering langs het Twentekanaal. In het onderzoek was onderscheid gemaakt tussen de ondergrondse effecten (door trillingen en belastingen) en bovengrondse effecten (door falen windturbine-onderdeel). Aangetoond was dat de waterkerende functie gewaarborgd blijft tijdens de bouw, het gebruik en het verwijderen van het park, mits bepaalde maatregelen worden genomen.

Ten opzichte van 2018 zijn de volgende uitgangspunten gewijzigd:

- De positie van WT1 is met ongeveer 20 m verschoven in verband met de aanwezigheid van een dassenburcht (zie bijlage met locaties windturbine);
- De bandbreedte voor de rotordiameter is gewijzigd van 100 tot 120 meter naar 120 tot 138,25 meter;
- De maximale tiphoogte is gewijzigd van 185 meter naar 187,5 meter;
- De zonering van de primaire keringen is op enkele plaatsen breder geworden (zie bijlage met nieuwe zonering).

Probleemstelling

De gewijzigde positie, afmetingen en zonering kunnen leiden tot een verhoogd negatief effect van de windturbines op de waterveiligheid. Nagegaan dient te worden of de effecten nog acceptabel zijn.

Vraagstelling

Waterschap Rijn en IJssel heeft Royal HaskoningDHV gevraagd om door middel van een verschilanalyse inzichtelijk te maken wat het effect is van de wijzigingen op de waterveiligheid.

Doelstelling

In deze oplegnotitie worden de resultaten beschreven van de verschilanalyse. Deze notitie dient in samenhang te worden gelezen met de eerder genoemde rapportage uit 2018 [REF2].

2 Referenties

[REF1] Pondera, Rapportage Externe Veiligheid Windpark IJsselwind. Kenmerk 721131 | v1.0, 20 januari 2022.

[REF2] Royal HaskoningDHV, Rapport Windpark IJsselwind, Beoordeling invloed op waterveiligheid, Referentie BE4157R001F3.0, status 3.0/Finale versie, 22 november 2018.

[REF3] Waterschap Rijn en IJssel, Vigerende Legger
https://www.arcgis.com/apps/Embed/index.html?webmap=0754263d7d9d45f2bc541390fa17c115&extent=5.5891,51.8531,7.1479,52.2796&zoom=true&scale=true&search=true&searchextent=true&legendlayers=true&basemap_gallery=true&disable_scroll=false&theme=light

3 Verschilanalyse ondergrondse effecten

3.1 Inleiding

In 2018 zijn de ‘ondergrondse’ effecten van de drie windturbines op de dijkringen 50 en 51 inzichtelijk gemaakt. Hierbij zijn op basis van een kwantitatieve analyse mogelijke effecten van de bouw, het gebruik en het verwijderen van windturbines op de verschillende faalmechanismen onderzocht. Het volgende werd geconcludeerd:

- De windturbines kunnen effect hebben op de faalmechanismen overlopen/golfoverslag (hoogte), binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit, piping en bekleding. Overige faalmechanismen zijn niet relevant in dit onderzoek;
- De effecten zijn beoordeeld en zijn niet noemenswaardig ($\leq 1\%$) of maatregelen zijn al voorzien (piping maatregelen bij WT2);
- Door uitvoering onder dagelijkse omstandigheden en met monitoring van vervorming, trillingen en wateroverspanningen worden de negatieve effecten tijdens de uitvoering acceptabel geacht. Daarnaast dient een grondverdringend paalsysteem te worden toegepast en dient aanvulling van ontgravingen zorgvuldig te worden gedaan met herstel van de oorspronkelijke bodemopbouw.

3.2 Overzicht wijzigingen

Ten opzichte van 2018 zijn de volgende uitgangspunten gewijzigd, voor zover relevant voor de ondergrondse effecten:

- De positie van WT1 is met ongeveer 20 m verschoven in verband met de aanwezigheid van een dassenburcht (zie bijlage met locaties windturbine);
- De windturbine wordt groter, waardoor mogelijk meer funderingspalen nodig zijn en een grotere funderingsplaat.

3.3 Bouwfase

Bij de aanleg van de windturbines is in 2018 uitgegaan van een fundering bestaande uit een ronde plaat op grondverdringende palen welke heidend op diepte worden gebracht. De gewijzigde afmetingen van de windturbines leiden niet tot een wijziging van het type fundering, maar mogelijk wel tot een grotere ontgravingsdiepte. Mogelijk zal door grotere belastingen vanuit de windturbine het aantal

funderingspalen veranderen en de plaat dikker moeten zijn. De wijziging van het aantal palen is niet relevant voor de effecten, de (extra) belastingen op de waterkering zijn niet anders dan aangehouden in de eerdere analyse.

Een grotere ontgraving is mogelijk wel van invloed op de analyse.

In de analyse uit 2018 is uitgegaan van een ontgraving met een diepte van 1,5 m. Hierbij is bij WT2, waar de ontgraving op circa 20 m uit de binnenteen zal plaatsvinden, opgemerkt dat bij deze ontgraving opbarsten van de deklaag (in het achterland) kan optreden en maatregelen nodig zijn (bemaling, strooksgewijs ontgraven). Bij een diepere ontgraving is dit nog steeds het geval. Het talud van de diepere ontgraving is bij een helling van 1:2 onvoldoende stabiel. Dit is echter een lokale glijcirkel (zie bijlage 3 met een ontgraving 1 m dieper dan eerder aangehouden), deze is niet relevant voor de waterkering zelf.

Ten aanzien van piping blijft het eerdere advies ook staan: de ontgraving in de bouwfase dient onder dagelijkse omstandigheden te worden uitgevoerd, met een maximale waterstand van NAP +5,85 m.

In de bouwfase is er geen verschil ten aanzien van de in 2018 gerapporteerde ondergrondse effecten.

3.4 Gebruiksfase

In de exploitatiefase wordt, ten gevolge van de wijziging van het type windturbine, geen significante verandering van de trillingen verwacht. In 2018 was uitgegaan van conservatieve waarden op basis van beschikbare metingen. Deze worden nog steeds representatief geacht voor het beoogde type windturbine. De verplaatsing van windturbine WT1 is parallel aan de waterkering, hierdoor wijzigt de positie ten opzichte van de dijk niet.

De (extra) belasting op de waterkering blijft daarom zoals eerder onderzocht, zie [REF2]. Nieuwe berekeningen zijn daarom niet nodig, de resultaten uit 2018 blijven staan.

In de gebruiksfase is er geen verschil ten aanzien van de ondergrondse effecten, zie paragraaf 3.6.

3.5 Verwijderingsfase

De belastingen tijdens de verwijderingsfase zullen niet wijzigen ten gevolge van de wijziging van het type windturbine. Hoewel het aantal palen mogelijk zal toenemen en de funderingsplaat mogelijk groter zal worden, blijven de grondversnellingen ten gevolge van de sloop hetzelfde.

De (extra) belastingen op de waterkering zijn niet anders dan aangehouden in de eerdere analyse, nieuwe berekeningen zijn daarom niet nodig.

In de verwijderingsfase is er geen verschil ten aanzien van de ondergrondse effecten.

3.6 Conclusie ondergrondse effecten

De ondergrondse effecten wijzigen niet als gevolg van de tiphoogtevergroting van 2,5 meter, de rotordiametervergroting tot 138,25 meter en de verplaatsing van WT1. De bevindingen en conclusies uit 2018 blijven staan, waarbij de bepaalde faalkansbijdragen gelijk blijven.

Voor de volledigheid zijn de conclusies uit 2018 onderstaand overgenomen. Hierbij is per faalmechanisme de samenvatting van de bevindingen weergegeven, voor alle windturbines samen en voor alle fasen van het project.

De effecten op de mechanismen 'overlopen' en 'golfoverslag' (hoogte) blijven niet noemenswaardig. Als voorwaarde geldt dat de uitvoering van eventueel aan te leggen kabels in de waterkering zorgvuldig

moet worden verricht met herstel van de profielopbouw en grasbekleding. Een eventuele toekomstige verhoging/verbreding van de waterkering blijft door de aanwezigheid van de windturbines mogelijk.

De effecten van het windpark op de 'macrostabiliteit binnenwaarts' zijn eerder als niet noemenswaardig ($\leq 1\%$) beoordeeld. De afname van de veiligheid in de gebruiksfase (0,04% onder dagelijkse omstandigheden en 0,36% onder extreme omstandigheden) blijft onveranderd. Tijdens de bouw en de sloop van de windturbines wordt de waterveiligheid niet beïnvloed.

De effecten op de 'macrostabiliteit buitenwaarts' zijn eerder als niet noemenswaardig ($\leq 1\%$) beoordeeld en dit blijft gehandhaafd. De plaatsing en aanwezigheid van het windpark heeft een gering negatief effect op de buitenwaartse macrostabiliteit, maar in alle situaties wordt aan de gestelde faalkanseis voldaan. Onder dagelijkse omstandigheden zal bij het gebruik van het windpark de veiligheid van de waterkering met 0,08% afnemen. Bij extreme omstandigheden is de afname 0,24%.

De effecten op het mechanisme piping zijn eerder beoordeeld, en de bevindingen blijven onveranderd. De plaatsing en aanwezigheid van WT2 heeft mogelijk effecten, hier zijn al maatregelen voorzien. De windturbine heeft geen effect op het Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG). Voor locatie WT3 geldt dat de effecten niet noemenswaardig zijn, mits de uitvoering van de bekabeling zorgvuldig wordt verricht met herstel van de 'oorspronkelijke bodemopbouw'. Daarnaast moet een grondverdringend paalsysteem worden toegepast.

De effecten op de bekleding zijn eerder als niet noemenswaardig beoordeeld, mits de uitvoering van de bekabeling en het fundament zorgvuldig wordt verricht met herstel van de 'oorspronkelijke bodemopbouw' en het realiseren van een erosiebestendige aansluiting. Dit advies blijft staan.

De aanbeveling ten aanzien van monitoring, zoals opgenomen in 2018 blijft staan:

De werkelijk optredende trillingen zijn onzeker en kunnen afwijken van de in de studie aangehouden waarden. Aanbevolen wordt om in de definitieve ontwerp- en planningsfase een monitoringsplan op te stellen, waarin trillingen ter plaatse van het fundament en het talud van de waterkering worden gemeten. De metingen dienen te worden verricht voorafgaand aan de bouw (nulmeting), tijdens de bouw en tijdens de exploitatie. Hierbij kunnen tevens metingen van de wateroverspanning worden uitgevoerd.

Door uitvoering onder normale dagelijkse omstandigheden en met monitoring van vervormingen, trillingen en wateroverspanningen worden de negatieve effecten tijdens de uitvoering acceptabel geacht.

4 Verschilanalyse bovengrondse effecten

4.1 Inleiding

In 2018 zijn de 'bovengrondse' effecten van de drie windturbines op de dijktrajecten 50-2 en 51-1 inzichtelijk gemaakt. Hierbij is op basis van de trefkansen van de verschillende windturbine-onderdelen op de waterkering een analyse gemaakt. Het volgende werd geconcludeerd:

- Voor alle faalscenario's van de windturbines is de additionele faalkans minder dan 1% van de norm op doorsnedeniveau.
- Voor beide dijkringen is het maatgevende faalscenario 'mastbreuk', waarbij de mast met gondel op de waterkering valt.

4.2 Overzicht wijzigingen

Wijziging windturbinetype

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de afmetingen en gewichten van de beoogde windturbines.

Tabel 4-1: overzicht gewichten en afmetingen

Eigenschap	Eenheid	RHDHV 2018	Pondera 2022	
		GE 2.75-120	V136-4.3MW	GE 3.8-130
Rotordiameter	[m]	120	136	130
Ashoogte	[m]	125	119.5	120
Tiphoogte	[m]	185	187.5	185
Nominaal toerental	[rpm]	13	10.8	12.8
Afstand zwaartepunt van een blad	[m]	21.6	17.25	21.67
Maximale breedte van een blad	[m]	4	4.27	4
Gewicht blad	[ton]	15	13.6	15.5
Mastdiameter	[m]	-	6	4.3
Lengte gondel, exclusief hub	[m]	9.5	17.6	13
Breedte gondel	[m]	4	5.3	4
Hoogte gondel	[m]	3.8	8.4	3.8
Gewicht gondel	[ton]	93	155.8	130.2
Gewicht naaf en rotor	[ton]	23	30*	30*
Gewicht gondel met naaf en bladen	[ton]	161	227	207

* Schatting

Uit het overzicht blijkt dat het volgende:

- De ashoogte van de windturbine is lager dan aangenomen in 2018. Het mastfaalscenario blijft hierdoor gelijk.
- Het gewicht van de gondel neemt toe van 161 ton naar 227 ton. Ondanks dat de trefkans gelijk blijft (100% treffen), kan wel een grotere kraterdiepte ontstaan.
- Het gewicht van een afgeworpen rotorblad neemt toe van 13,3 ton naar 15,5 ton. In 2018 is gerekend met een rotorbladworp afstand van 174 meter bij nominaal toerental en een afstand van 462 meter bij overtoeren. Door Pondera is voor het zwaardere blad bepaald dat de maximale werpafstand 169 meter bij nominaal toerental en 449 meter bij overtoeren bedraagt. Ondanks de iets geringere werpafstanden kan wel een grotere kraterdiepte ontstaan door het hogere gewicht. Dit is echter ook afhankelijk van de werpsnelheid.

Wijziging positie

De oude en nieuwe coördinaten van WT1 zijn aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4-2: oude en nieuwe positie WT1

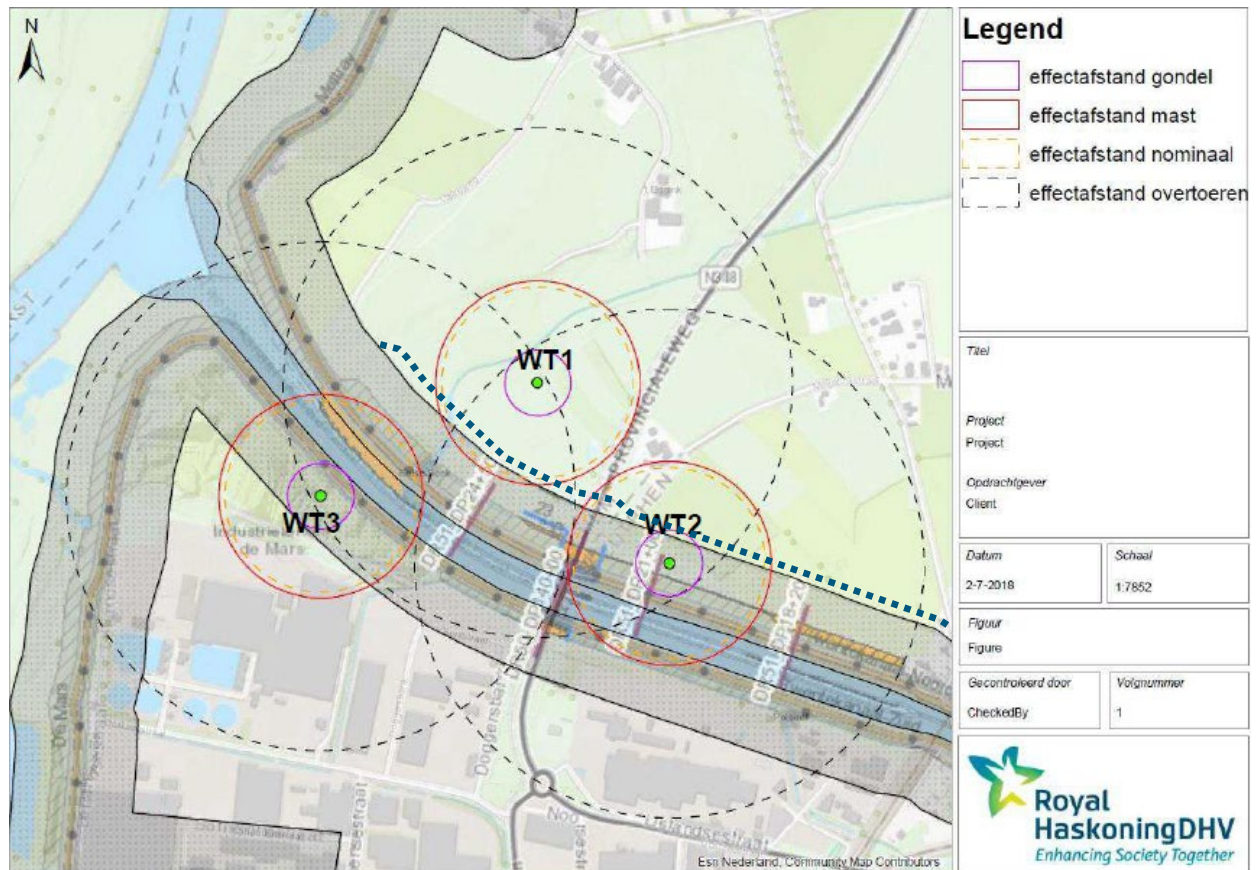
	Coördinaten 2018	Coördinaten 2022	Verskil
X	210773	210791	+20 m
Y	464385	464371	-14 m

De positie verschuift met ongeveer 24 m. De verschuiving is parallel aan de waterkering, waardoor er geen verschil is ten aanzien van de bovengrondse effecten.

Wijziging zonering

De binnenbeschermingszone van dijktraject 51-1 (Twentekanaal-Noord) is met ongeveer 20 m verbreed. De kans op treffen van de waterkeringszone wordt hierdoor vergroot voor WT1 en WT2. Op basis van het oppervlak van het trefgebied is een grove inschatting gemaakt van de toename van de raakfrequentie, zie volgende figuur en tabel.

De waterkeringzones bij dijktraject 50-2 zijn ongewijzigd.



Tabel 4-3: aangenomen (ingeschatte) verhoging van de raakfrequentie door vergroting van de waterkeringszone

Faalscenario	WT1	WT2
Gondelval	Geen verschil (buiten kritische strook)	Geen verschil (al 100% treffen)
Mastbreuk	Ca. +100% (verdubbeling oppervlak)	Ca. +10%
Rotorblad – nominaal	Ca. +100% (verdubbeling oppervlak)	Ca. +10%
Rotorblad - overtoeren	Ca. +10%	Ca. +10%

4.3 Heranalyse bovengrondse effecten

In Bijlage 2 is een heranalyse van de bovengrondse effecten uitgevoerd op basis van de gewijzigde gewichten en zonering. De resultaten zijn samengevat in onderstaande Tabel 4-4 en Tabel 4-5 voor respectievelijk dijktraject 50-2 en 51-1.

Tabel 4-4: overzicht faalkansbijdrage voor dijktraject 50-2 (Twentekanaal Zuid)

Windturbine	$P_{EIS;DSN;1\%}$	2018		2022	
		$P_{WINDTURB;TOT}$	Beoordeling $P_{windturb;tot} \leq P_{eis;windturb;fm}$	$P_{WINDTURB;TOT}$	Beoordeling $P_{windturb;tot} \leq P_{eis;windturb;fm}$
	[1/jaar]	[1/jaar]		[1/jaar]	
WT1	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$8,37 \cdot 10^{-11}$	voldoet	$8,37 \cdot 10^{-11}$	voldoet
WT2	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$1,59 \cdot 10^{-7}$	voldoet	$1,97 \cdot 10^{-7}$	voldoet
WT3	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$4,49 \cdot 10^{-7}$	voldoet	$5,52 \cdot 10^{-7}$	voldoet

Tabel 4-5: overzicht faalkansbijdrage voor dijktraject 51-1 (Twentekanaal Noord)

Windturbine	$P_{EIS;FM;DSN;1\%}$	2018		2022	
		$P_{WINDTURB;TOT}$	Beoordeling $P_{windturb;tot} \leq P_{eis;windturb;fm}$	$P_{WINDTURB;TOT}$	Beoordeling $P_{windturb;tot} \leq P_{eis;windturb;fm}$
	[1/jaar]	[1/jaar]		[1/jaar]	
WT1	$3,33 \cdot 10^{-6}$	$1,65 \cdot 10^{-7}$	voldoet	$2,33 \cdot 10^{-9}$	voldoet
WT2	$3,33 \cdot 10^{-6}$	$4,72 \cdot 10^{-7}$	voldoet	$1,21 \cdot 10^{-6}$	voldoet
WT3	$3,33 \cdot 10^{-6}$	$2,12 \cdot 10^{-7}$	voldoet	$2,62 \cdot 10^{-7}$	voldoet

Uit de heranalyse in Bijlage 2 en bovenstaande vergelijking blijkt het volgende:

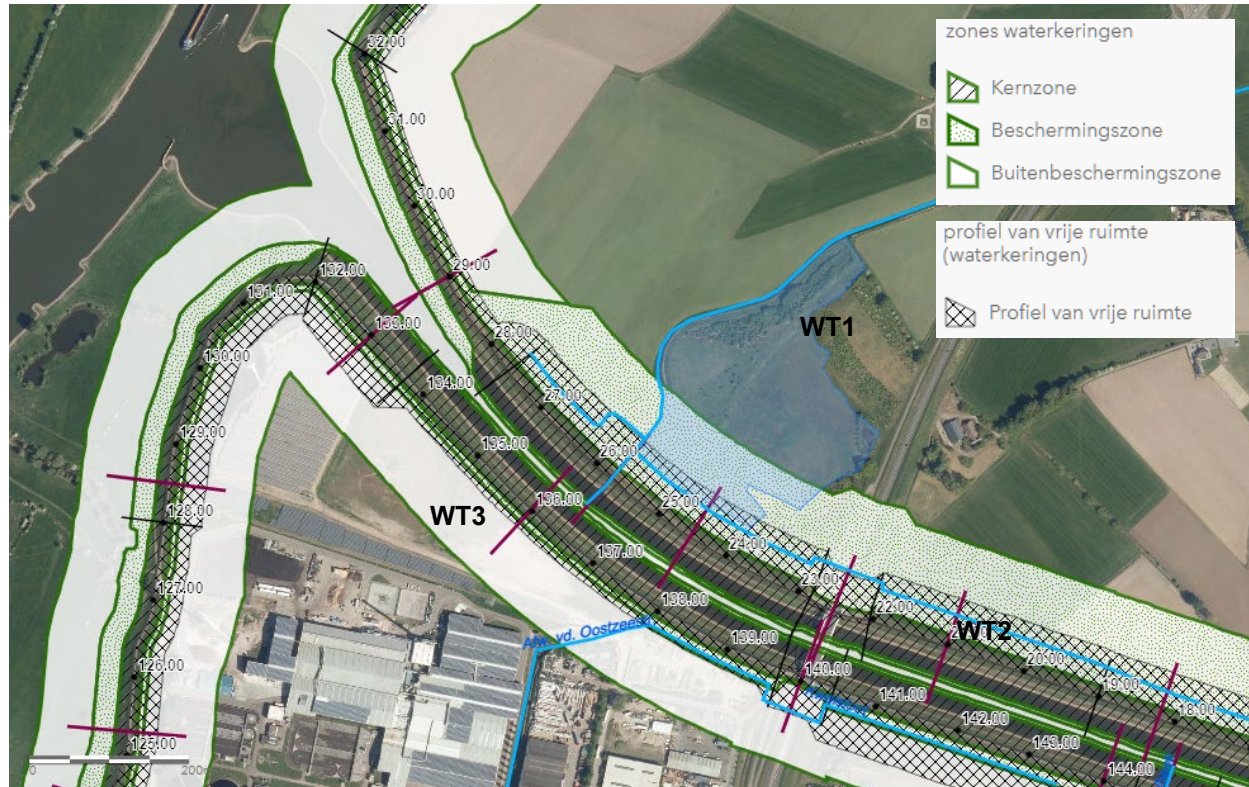
- Voor dijktraject 51-1 neemt de raakfrequentie als gevolg van de grotere waterkeringszone toe.
- De kraterdiepte bij neerkomen van een gondel van het type GE3.8-130 neemt beperkt toe met ongeveer 0,1 m. Voor het type V136-4.3MW neemt de kraterdiepte af door de grotere gondelafmetingen.
- Bij neerkomen van een rotorblad is de kraterdiepte kleiner of gelijk aan rotorblad van het type GE2.75-120.
- Voor WT1 blijft de faalkansbijdrage gelijk voor dijktraject 50-2. De afname van de faalkansbijdrage bij dijktraject 51-1 komt door een foutieve (ongunstige) aanname in 2018. Aangenomen was een te hoge trefkans voor mastbreuk en gondelval. In deze situatie kan de gondel niet op de kernzone terecht komen, waardoor er een groter restprofiel aanwezig is.
- De faalkansbijdrage neemt voor WT2 en WT3 toe. Het grootste verschil (+160%) treedt op voor WT2 bij dijktraject 51-1. In de andere gevallen is de toename circa 25%.

4.4 Conclusie bovengrondse effecten

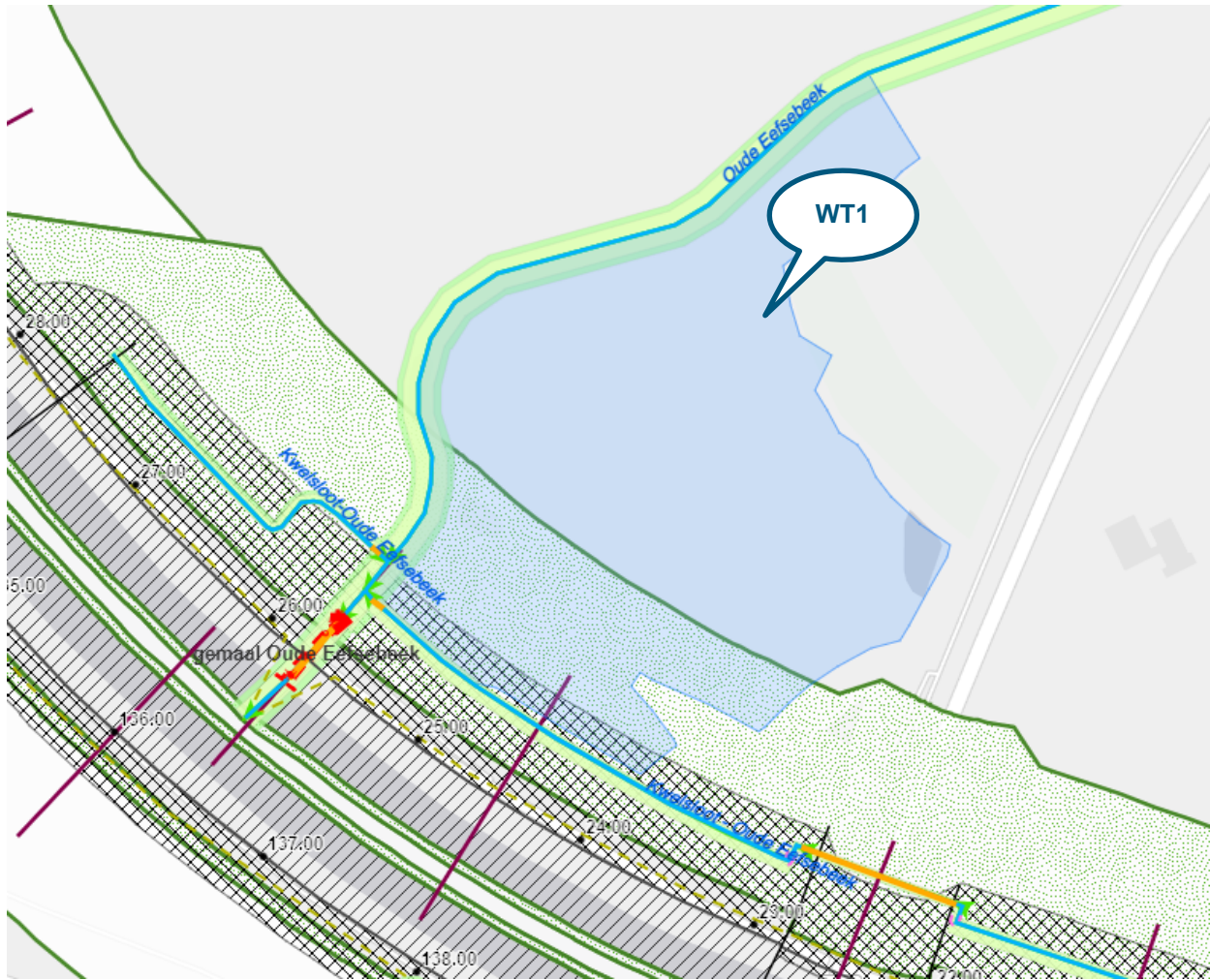
Uit de beoordeling blijkt dat voor alle faalmechanismen en faalscenario's de additionele faalkanstoename minder is dan faalkanseis behorend bij 1% van de norm. Maatgevend is het effect van neerkomen van een gondel op de waterkering na mastbreuk of gondelval bij windturbines WT2 en WT3. De grootste faalkanstoename ten opzichte van 2018 treedt op bij WT2 bij dijktraject 51-1, maar deze blijft nog steeds binnen de gestelde eis.

Bijlage 1 Zonering waterkering

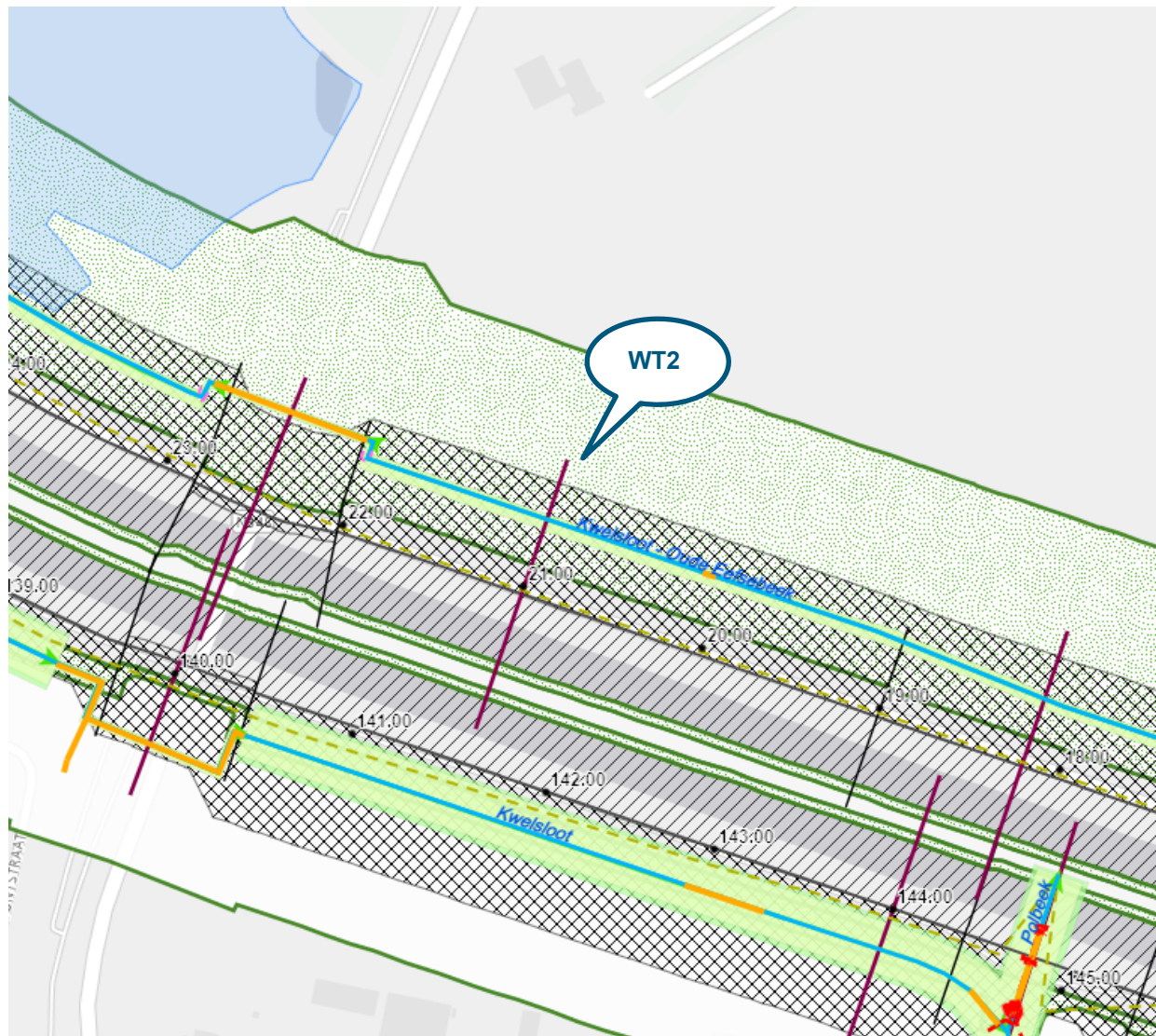
Uit: [Vigerende legger Waterschap Rijn en IJssel \(arcgis.com\)](https://arcgis.com)



Figuur 4-1 Legger Waterschap Rijn en IJssel met locaties windturbines



Figuur 4-2 Locatie WT1 – buiten de (buiten)beschermingszone van de waterkering, leggerprofiel DR51-024+050



Figuur 4-3 Locatie WT2 – buiten PVVR, binnen beschermingszone, leggerprofiel DR51-021+000



Figuur 4-4 Locatie WT3 – buiten PVVR, binnen buitenbeschermingszone, leggerprofiel DR50-136+000

Bijlage 2 Bepaling bovengrondse effecten

B2.1 Methodiek

In dit hoofdstuk wordt op basis van de gewijzigde uitgangspunten (gewichten windturbineonderdeel, positie en zonering) de additionele faalkans berekend en getoetst aan de faalkanseis.

Faalkanseis

De faalkanseis ($P_{\text{eis};\text{windturb}}$) is overgenomen uit de analyse van 2018. Gesteld is dat de faalkansruimte voor de bijdrage van windturbines (NWO's) gevonden dient te worden binnen het betreffende faalmechanisme van de waterkering, waarbij de kansbijdrage niet groter mag zijn dan 1% van de norm (signaalwaarde, $P_{\text{eis};\text{sig}}$) op doorsnedeniveau:

$$P_{\text{eis};\text{windturb}} = 0,01 * P_{\text{eis};\text{sig}}$$

Hierbij was rekening gehouden met een N-factor van 10. De faalkanseis is dan als volgt:

- Dijktraject 51-1: $P_{\text{eis};\text{windturb}} = 1/300 \times 0,01 \times 1/10 = 3,33 \cdot 10^{-6}$;
- Dijktraject 50-2: $P_{\text{eis};\text{windturb}} = 1/1000 \times 0,01 \times 1/10 = 1,0 \cdot 10^{-6}$.

Opgemerkt wordt dat dit een eerste zeer grove benadering betreft. De totale faalkansbijdrage van de windturbine(s) zou per faalmechanisme (fm) van de waterkering bepaald kunnen worden. Per faalmechanisme van de waterkering zou de signaalwaarde op basis van de faalkansruimteverdeling kunnen worden vertaald naar een 'doorsnede-eis' per faalmechanisme. In 2018 is er echter voor gekozen alle faalmechanismen gezamenlijk te beschouwen. In deze heranalyse is dezelfde methodiek overgenomen om inzicht te krijgen in het verschil in faalkansbijdrage.

Methodie bepaling faalkansbijdrage

Stap 1: Per faalmechanisme van de windturbine ($P_{\text{windturb};\text{scenario}}$) is de trefkans (P_{raken}) van de waterkering bepaald. De trefkans is in deze fase niet opnieuw berekend maar overgenomen uit 2018. Voor dijktraject 51-1 is voor de vergrote waterkeringszone een inschatting gemaakt van de toename van de rakfrequentie.

Opgemerkt wordt dat in 2018 de gehele waterkeringszone als kritische strook is beschouwd; er is geen onderscheid gemaakt in zones per faalmechanisme van de waterkering. Zoals eerder aangegeven is dit in deze analyse overgenomen.

Stap 2: Op basis van de verhoogde gewichten van de windturbines zijn de kraterdiepten opnieuw bepaald.

Stap 3: Op basis van de kraterdiepten is het restprofiel van de waterkering na schade bepaald met de bijbehorende kans op overstromen tijdens een herstelperiode van 7 dagen ($P_{\text{falen};\text{herstel}}$)

Stap 4: De faalkansbijdrage van de windturbine(s) per faalscenario van de windturbine is bepaald:

$$P_{\text{additioneel};\text{scenario}} = P_{\text{raken}} \times P_{\text{falen};\text{herstel}}$$

Stap 5: De faalkansbijdrages voor de verschillende faalscenario's van de windturbine zijn gesommeerd:

$$P_{\text{windturb};\text{tot}} = \sum P_{\text{additioneel};\text{scenario}}$$

Stap 6: Vergelijking van de faalkansbijdrage windturbine(s) met maximale faalkanseis windturbine:

$$P_{\text{windturb};\text{tot}} \leq P_{\text{eis};\text{windturb};\text{fm}}$$

In onderstaande paragrafen zijn de bovenstaande kansen nader uitgewerkt.

B2.2 Bepaling faalfrequentie windturbine

De faalfrequenties voor de voorgenoemde maatgevende windturbine zijn afkomstig uit het Handboek Risicozonering Windturbines (HRW) en zijn als volgt:

Tabel B2-1: faalfrequenties windturbine

Scenario	Faalfrequentie $P_{\text{windturb;scenario}}$ [1/jaar]
Omvalen van de mast (inclusief gondel/rotor)	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Gondelfalen	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Bladworp bij nominaal toerental	$8,4 \cdot 10^{-4}$
Bladworp bij overtoeren	$5,0 \cdot 10^{-6}$

B2.3 Bepaling raakfrequenties

De gevolgen van een bovengronds faalincident voor de waterveiligheid hangen sterk af van de locatie waar het gefaalde object landt. Per faalmechanisme van de dijk zou een zonering kunnen worden gedefinieerd voor afleiding van de trefkans. In 2018 is echter de gehele waterkeringszone als 'kritische strook' beschouwd, ongeacht het betreffende faalmechanisme. Deze conservatieve aanname is hier overgenomen.

Voor dijktraject 50-2 zijn de raakfrequenties overgenomen uit 2018. Voor dijktraject 51-1 zijn de raakfrequenties verhoogd op basis van Tabel 4-3 uit deze notitie. De verhoogde raakfrequenties zijn aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel B2-2: verhoogde raakfrequenties voor dijktraject 51-1

WT	Bladbreek		Mastbreek gondel en mast	Mastbreek alleen mast	Gondelafworp
	Nominaal	Overtoeren			
WT1	$4,58 \cdot 10^{-5}$	$6,46 \cdot 10^{-7}$	$5,08 \cdot 10^{-5}$	0	0
WT2	$5,60 \cdot 10^{-4}$	$2,22 \cdot 10^{-6}$	$3,40 \cdot 10^{-5}$	$1,09 \cdot 10^{-4}$	$4,00 \cdot 10^{-5}$
WT3	$7,06 \cdot 10^{-5}$	$5,67 \cdot 10^{-7}$	$3,25 \cdot 10^{-5}$	0	0

B2.4 Restprofiel waterkering en kans op kritieke hydraulische belastingsituatie tijdens herstel

Responstijd

Bij neerkomen binnen de waterkeringszone zal schade aan de waterkering optreden door kratervorming. De krater kan leiden tot verlaging van de kruinhoogte, erosie of afschuiven van de waterkering. Voor het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel binnen de waterkeringszone, geldt dat nog wel sprake is van een restprofiel, dat nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval een responstijd tot repareren. Het repareren betreft een noodsituatie, waarbij een noodoplossing wordt

aangebracht om het water te keren. Net als in 2018 wordt er van uitgegaan dat het aanbrengen van een noodoplossing maximaal 7 dagen duurt. In deze periode is er een gereduceerd waterkerend vermogen.

Te verwachten kraterdiepte

De te verwachten kraterdiepte bij neerkomen van een gondel en rotorblad is opnieuw bepaald voor de gewijzigde gewichten van de windturbineonderdelen.

De kraterdiepte is bepaald op basis van dezelfde twee methoden als gehanteerd in 2018. Deze methoden zijn gebaseerd op een energiebeschouwing (valhoogte en gewicht). Daarnaast is een derde methode gebruikte, de zogenaamde 'methode van Bernhard'. Deze methode vooral voor de gondel als meest realistisch beschouwd, aangezien naast valhoogte en gewicht ook de afmeting (diameter) van het vallende object in beschouwing wordt genomen.

De uitwerking van de kraterdiepte bij gondelval voor het type GE3.3-130 is aangegeven op de volgende bladzijde.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de berekende kraterdiepten.

Tabel B2-3: maximale kraterdiepten door windturbineonderdeel (maximale waarden zijn vetgedrukt)

Faalscenario	GE2.75-120 (2018)	V136-4.3MW (2022)	GE3.8-130 (2022)
Mastbreuk en gondelval	3,4 à 3,7 (Bernard: 3,4 m)	3,0 à 4,3 (Bernard: 3,0 m)	3,8 à 4,1 (Bernard: 3,8 m)
Rotorblad – nominaal toerental	0,7 à 1,5	0,5 à 1,3	0,7 à 1,5
Rotorblad - overtoeren	0,8 à 2,0	0,7 à 1,6	0,8 à 2,0

Uit de vergelijking van de waarden blijkt het volgende:

- Op basis van de twee 'oude' methoden uit 2018 neemt de kraterdiepte bij gondelval/mastbreuk toe met 0,4m en 0,6 m voor respectievelijk het type GE3.8-130 en V136-4.3MW.
- Op basis van de methode van Bernard neemt de kraterdiepte voor het type GE3.8-130 met 0,1 m toe tot 3,8 m. Voor het type V136-4.3MW wordt ondanks het zwaardere gewicht zelfs een geringere kraterdiepte verwacht. De afname is vanwege de grotere gondelafmetingen.
- Bij neerkomen van een rotorblad blijft de kraterdiepte kleiner of gelijk.

Uitgaande van de methode van Bernard wordt rekening gehouden met 0,1 m extra kraterdiepte bij gondelval van het type GE3.8-130.

Kraterdiepte bij neerkomen gondel met bladen

Totaal gewicht:	207 ton	
Totaal gewicht:	207000 kg	
Totaal gewicht:	2030.7 kN	
Diameter object:	4 m	Breedte gondel
Valhoogte (H) = ashoogte	120 m	
Tijd vallend object tot raken grond ($t = \sqrt{H \cdot 2/g}$)	4.95 sec	
Valsnelheid (v)	48.52 m/s	
Opname energie door vervorming	25%	

Methode 1: Menard-methode voor dynamisch grondverdichting ¹⁾

Genormaliseerde kraterdiepte = $a \cdot (WH)^{0.5}$

Ondergrens (a=0,015) **2.0 m** (matig vast zand)

Bovengrens (a=0,030) **4.1 m** (los gepakte zand)

Methode 2: energiebeschouwing

Inschatting op basis van behoud van energie:

Kinetische energie voor inslag = elastische energie bij maximale vervorming

$$1/2 \cdot m \cdot v^2 = 1/2 \cdot k \cdot u^2$$

$$u = v \sqrt{(m/k)}$$

Veerconstante (k) **170000 kN/m** aanname o.b.v. testmeting TNO²⁾

Kraterdiepte (u) = **3.98 m**

Methode 3: bewegingsvergelijking Bernhard

Semi-theoretische methode waarbij diverse empirische coëfficiënten benodigd zijn.

empirische coëfficiënten:	α	2.20E+06 [N/m]	constante
	β	2.80E+07 [N/m ³]	constante
grondsoort	S-number	10 uit tabel	los zand, matige klei
object vorm	N	0.56 uit tabel	stomp

Indringingsdiepte Z= **3.76 m**

Conclusie:

Te verwachten krater diepte: 3,8 à 4,1 m

1) Mayne, P.W., Jones, J.S. and Dumas, J.C. (1984), Ground response to dynamic compaction, ASCE 110, GT6, pp. 757-773

2) TNO-rapport 2008-D-R0410/B, Risico-analyse Windmolens Sabinapolder

3) Bernard 1978

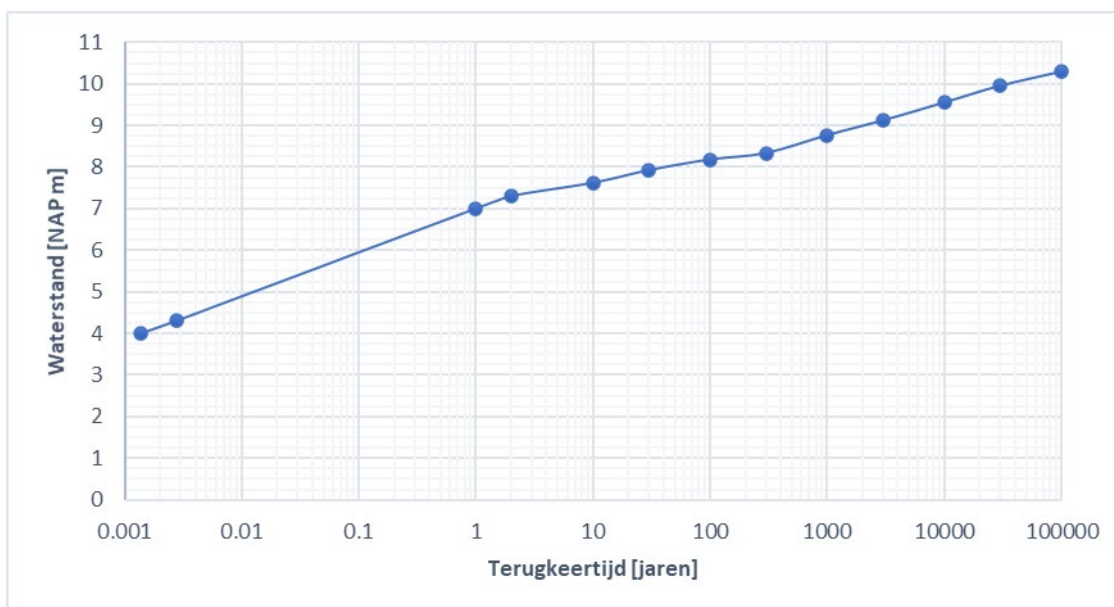
Kans op kritieke hydraulische belastingen tijdens herstel – mastbreuk en gondelval

In onderstaande tabel is per faalscenario en per windturbine aangegeven welke waterstand nog gekeerd kan worden.

Tabel B2-4: kritieke hydraulische belastingen (waterstand en overschrijdingsfrequentie) tijdens herstel

Faalscenario		GE 2.75-120 (2018)	V136-4.3MW (2022)	GE 3.8-130 (2022)
Mastbreuk en gondelval	WT1	+8,6 ¹⁾ (1 x per 1000 jaar)		
	WT2, 3	+5,0 (4 maanden/jaar) ²⁾	+5,0 (4 maanden/jaar) ²⁾	+4,9 (5 maanden/jaar) ³⁾
Rotorblad – nominaal toerental	WT1, 2, 3	+7,3 (1 x per 2 jaar)		
Rotorblad - overtoeren	WT1, 2, 3	+6,6 (6 x per jaar)		

- 1) Bij WT1 reikt de gondel bij gondelval of na mastbreuk niet tot de kruin van de waterkering. In 2018 is hier geen rekening mee gehouden en is een waterstand van NAP +5,0 m aangehouden.
- 2) In 2018 is op basis van historische peilmetingen (RWS meetpunt Zutphen Noord) aangenomen dat deze waterstand gedurende maximaal 4 maanden per jaar wordt overschreden. Uit figuur B2-1 blijkt dat dit conservatief is. De waterstand zal ongeveer 2 maanden per jaar worden overschreden.
- 3) Voor de 0,1m lagere waterstand is een de een hogere overschrijding aangenomen van 5 maanden per jaar. Op basis van figuur B2-1 zal dit in werkelijkheid eerder 3 maanden per jaar zijn.



Figuur B2-1: terugkeertijd waterstand (op basis van afgeleide waarden uit 2018)

De faalkans van de kering tijdens de herstelperiode is dan als aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel B2-5: faalkans (kans op overstroming) waterkering tijdens herstel

Faalscenario		GE 2.75-120 (2018)	V136-4.3MW (2022)	GE 3.8-130 (2022)
Mastbreuk en gondelval	WT1	1,92 · 10 ⁻⁵ (=1/1000 x 7/365)		
	WT2, 3	6,46 · 10 ⁻³ (=4/12 x 7/365)	6,46 · 10 ⁻³ (=4/12 x 7/365)	7,99 · 10 ⁻³ (=5/12 x 7/365)
Rotorblad – nominaal	WT1, 2, 3	2,6 · 10 ⁻⁵		
Rotorblad - overtoeren	WT1, 2, 3	2,6 · 10 ⁻⁴		

B2.5 Bepaling faalkansbijdrage

De faalkansbijdrage per faalscenario van de windturbine is gelijkgesteld aan de raakfrequentie maal de kans op een kritieke hydraulische belastingsituatie binnen de vereiste tijd voor noodreparatie aan de waterkering ($P_{\text{falen;herstel}}$), ofwel:

$$P_{\text{additioneel;scenario}} = P_{\text{raken}} \times P_{\text{falen;herstel}}$$

Vervolgens zijn de faalkansbijdrages voor de verschillende faalscenario's gesommeerd tot

$$P_{\text{windturb;tot}} = \sum P_{\text{additioneel;scenario}}$$

Opgemerkt wordt dat er in deze analyse geen rekening wordt gehouden met wederzijdse beïnvloeding van de windturbines. Als de onderlinge afstand tussen windturbines kleiner is dan de doorsnedelengte, dan kunnen windturbines elkaar gaan beïnvloeden. Ten aanzien van stabiliteit staan de windturbines ver genoeg uit elkaar (doorsnedelengte 50 m voor STBI/STBU en 300 m voor STPH). Voor hoogte (GEKB) geldt een doorsnedelengte van 1000 m. Dit betekent dat er voor dat faalmechanisme wel wederzijdse beïnvloeding is. Om de faalkansbijdrage van dit faalmechanisme te bepalen zou een aanvullende analyse nodig zijn (o.a. bepaling trefkans van alleen de kruin en het talud).

De totale faalkansbijdrage dient kleiner te zijn dan de eis. Er moet gelden:

$$P_{\text{windturb;tot}} \leq P_{\text{eis;windturb}}$$

De resultaten van de toetsing zijn samengevat in Tabel B2-6 en Tabel B2-7 voor respectievelijk dijktrajecten 50-2 en 51-1.

Uit de beoordeling blijkt dat voor alle faalmechanismen en faalscenario's de additionele faalkanstoename minder is dan faalkanseis behorend bij 1% van de norm. Maatgevend is het effect van neerkomen van een gondel op de waterkering na mastbreuk of gondelval bij windturbines WT2 en WT3.

Tabel B2-6: overzicht faalkansbijdrage voor dijktraject 50-2 (Twentekanaal Zuid)

WTG	$P_{\text{windturbine; bladworp nominaal}}$	$P_{\text{windturbine; bladworp overtoeren}}$	$P_{\text{windturbine; mastbreuk}}$	$P_{\text{windturbine; gondelafworp}}$	$P_{\text{WINDTURB;TOT}}$	$P_{\text{EIS;DSN;1\%}}$	Beoordeling $P_{\text{windturb;tot}} \leq P_{\text{eis;windturb;fm}}$
	[1/jaar]	[1/jaar]	[1/jaar]	[1/jaar]	[1/jaar]	[1/jaar]	
WT1	n.v.t.	$8,37 \cdot 10^{-11}$	n.v.t.	n.v.t.	$8,37 \cdot 10^{-11}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$	voldoet
WT2	$8,58 \cdot 10^{-10}$	$1,30 \cdot 10^{-10}$	$1,96 \cdot 10^{-7}$	n.v.t.	$1,97 \cdot 10^{-7}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$	voldoet
WT3	$1,24 \cdot 10^{-8}$	$6,06 \cdot 10^{-10}$	$2,20 \cdot 10^{-7}$	$3,20 \cdot 10^{-7}$	$5,52 \cdot 10^{-7}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$	voldoet

Tabel B2-7: overzicht faalkansbijdrage voor dijktraject 51-1 (Twentekanaal Noord)

WTG	$P_{\text{windturbine; bladworp nominaal}}$	$P_{\text{windturbine; bladworp overtoeren}}$	$P_{\text{windturbine; mastbreuk}}$	$P_{\text{windturbine; gondelafworp}}$	$P_{\text{WINDTURB;TOT}}$	$P_{\text{EIS;DSN;1\%}}$	Beoordeling $P_{\text{windturb;tot}} \leq P_{\text{eis;windturb;fm}}$
	[1/jaar]	[1/jaar]	[1/jaar]	[1/jaar]	[1/jaar]	[1/jaar]	
WT1	$1,19 \cdot 10^{-9}$	$1,68 \cdot 10^{-10}$	$9,75 \cdot 10^{-10}$	n.v.t.	$2,33 \cdot 10^{-9}$	$3,33 \cdot 10^{-6}$	voldoet
WT2	$1,46 \cdot 10^{-8}$	$5,78 \cdot 10^{-10}$	$8,71 \cdot 10^{-7}$	$3,20 \cdot 10^{-7}$	$1,21 \cdot 10^{-6}$	$3,33 \cdot 10^{-6}$	voldoet
WT3	$1,84 \cdot 10^{-9}$	$1,47 \cdot 10^{-10}$	$2,60 \cdot 10^{-7}$	n.v.t.	$2,62 \cdot 10^{-7}$	$3,33 \cdot 10^{-6}$	voldoet

Bijlage 3 Resultaat berekening ondergrondse effecten

