

15 juni 2020
717148

**Trefkansanalyse
waterkering
Windpark Willem-
Annapolder**

Zeeuwind

v5.0



Postbus 579
7550 AN Hengelo
Telefoon (074) 248 99 40

Documenttitel	Trefkansanalyse waterkering Windpark Willem-Annapolder
Soort document	v5.0
Datum	717148
Projectnummer	15 juni 2020
Opdrachtgever	Zeeuwind
Auteur	B. Vogelaar, Pondera Consult
Vrijgave	P. Janssen, Pondera Consult

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
1.1	Analyse methodiek	1
1.2	Opstellingsalternatieven	1
1.3	Windklimaat	2
1.4	Overige uitgangspunten	2
1.5	Zones van de waterkering	3
2	Faalscenario's	4
2.1	Berekeningsmethodiek gondelfalen	4
2.2	Berekeningsmethodiek Mastfalen	5
2.3	Berekeningsmethodiek Bladworp	6
3	Trefkansen	8
3.1	Windpark Willem-Annapolder	8
3.2	Windpark Landmanslust	9

1 INLEIDING

Deze trefkansanalyse analyseert de kansen dat een windturbine(onderdeel) van de beoogde windparken Landmanslust en Windpark Willem-Annapolder in geval van calamiteiten de nabijgelegen waterkering kunnen raken. De analyse is afgestemd met het Arcadis Nederland B.V. die de volledige risicoanalyse voor de effecten op de waterkering uitvoert. De in dit rapport beschreven trefkansen worden gebruikt als input om de risico's inzichtelijk te maken. Deze rapportage omschrijft de gehanteerde methodieken en het resultaat van de berekeningen.

1.1 Analyse methodiek

De methodiek om de trefkansen te berekenen is gebaseerd op de berekeningsmethodieken in de Handreiking Risicozonering Windturbines v1.0 en de Handleiding Risicoberekeningen Windturbines (versie oktober 2019). Dit is de huidige opvolging van het Handboek risicozonering windturbines 2014 (v3.1). Voor het leesgemak wordt naar beide rapportages verwezen met de tekst het "HRW". Per faalscenario wordt omschreven hoe de berekening is uitgevoerd.

1.2 Opstellingsalternatieven

Voor dit onderzoek worden voor Windpark Willem-Annapolder vier opstellingsalternatieven onderzocht (1A, 1B, 2A en 2B) en een voorkeursalternatief. Opstellingen 1A, 1B en een voorkeursalternatief bevinden zich op dezelfde posities en bestaan uit vier windturbines. Opstellingen 2A en 2B zijn ook gelegen op dezelfde posities en bestaan uit vijf windturbines. De afmetingen variëren tussen de A en de B opstellingen.

Voor Windpark Landmanslust is één opstelling geanalyseerd met een maximale tiphoogte van 180 meter en een rotordiameter van 150 meter.

Op dit moment is nog geen keuze gemaakt voor het exacte windturbinetype dat zal worden gerealiseerd. In het bestemmingsplan wordt daarom een bandbreedte aangehouden. De tiphoogte ligt daarbij vast (180m), de ashoogte varieert tussen de 90m en 115m en de rotordiameter tussen de 126m en 150m met maximale afmetingen voor wat betreft de tiphoogte, ashoogte en rotordiameter van de windturbines. Om de effecten van de mogelijke opties binnen deze bandbreedte te kunnen beschouwen, is in dit onderzoek gekozen om voor Windpark Willem-Annapolder twee extreme alternatieven te onderzoeken, alternatief A en alternatief B. Die zijn zo gekozen dat daarmee de 'worst case situatie' in beeld wordt gebracht binnen de afmetingen bandbreedte. Bij een latere keuze voor een specifiek windturbinetype binnen deze bandbreedte, zullen effecten altijd kleiner of gelijk zijn aan hetgeen in dit onderzoek is beschouwd.

Tabel 1.1 Te onderzoeken inrichtingsalternatieven Windpark Willem-Annapolder en LML

Alternatief	# windturbines	Maximale Tiphoogte	Rotordiameter
VKA WAP	4	180 meter	150 meter
Alternatief 1A	4	190 meter	150 meter
Alternatief 1B	4	150 meter	117 meter
Alternatief 2A	5	190 meter	126 meter

Alternatief 2B	5	150 meter	126 meter
LML	2	180 meter	150 meter

Tabel 1.2 Coördinaten alternatieven Windpark Willem-Annapolder

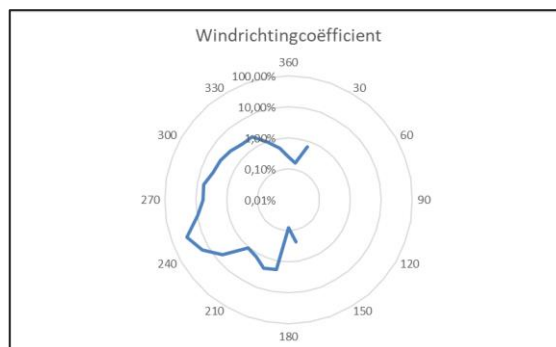
Alternatief 1A en 1B			Alternatief 2A en 2B		
WT	X	Y	WT	X	Y
1	53663	385874	1	53588	385872
2	54132	386091	2	54027	386045
3	54025	385725	3	54421	386195
4	54491	385906	4	53939	385655
			5	54345	385804

Tabel 1.3 Coördinaten Windpark Landmanslust

WT	X	Y
1	56162	386577
2	56520	386845

1.3 Windklimaat

Arcadis heeft aangegeven bij het bepalen van de trefkansen rekening te houden met het scenario dat het faalscenario bladworp en gondelfalen optreden tijdens stormcondities en dat er daarmee een windrichtingsafhankelijke coëfficiënt moet worden toegepast op deze twee faalscenario's. Om het windklimaat te bepalen is afgestemd dat uitgegaan kan worden van windkracht negen op



ashoogte. Om te bepalen welke windrichtingen voorkomen tijdens deze omstandigheden zijn de gegevens van KNMI meetstation Wilhelminadorp opgevraagd van de laatste 20 jaar. Met behulp van een standaard logaritmisch windprofiel is bepaald dat windkracht 9 op 100 meter hoogte (20,3 m/s) overeenkomt met 12,5 m/s op 10 meter ashoogte bij een zeer conservatieve ruwheidslengte van 25 centimeter. Deze windrichtingscoëfficiënt wordt toegepast op de valrichtingen van mastfalen en gondelfalen. De windrichting coëfficiënt wordt niet voor elke ashoogte opnieuw bepaald omdat de afwijkingen in resultaten zo gering zijn dat dit niet leidt tot een significant andere uitkomst per ashoogte. Met andere woorden: de windrichting coëfficiënt is gelijk voor alle ashoogtes binnen de onderzochte bandbreedte.

1.4 Overige uitgangspunten

Naast toepassing van de windrichting coëfficiënt zijn er overige uitgangspunten die een rol spelen voor de bepaling van de trefkansen. In overleg met Arcadis is vastgesteld dat de trefkansen in eerste instantie dienen te worden toegewezen aan de meest kritische onderdelen

van de waterkering. De waterkering bestaat uit verschillende zones te weten een buitentalud, een kruin, een binnentalud en een belemeringszone A. Als een windturbine omvalt kunnen verschillende zones door verschillende gewichten tegelijk worden geraakt tijdens één faalscenario. Zo zou bij mastfalen de gondel op het binnentalud kunnen vallen terwijl een meevallend rotorblad op de kruin van de waterkering valt. In overeenstemming met Arcadis wordt de trefkans dan toebedeeld aan de buitenste zone (in dit voorbeeld de kruin) omdat de gevolgen van schade aan de zones van buiten naar binnen gezien het meest kritiek zijn. Enige uitzondering hierop is de hoogte van de kruin ten opzichte van het schuin aflopende buitentalud bij het faalscenario mastfalen. Als het buitentalud wordt getroffen door een rotorbladgewicht bij mastfalen dan wordt de impact toch toegewezen aan de kruin van de waterkering omdat dit hoger gelegen deel de klap zodanig zal opvangen dat significante schade aan het buitentalud door het bladgewicht onwaarschijnlijk is.

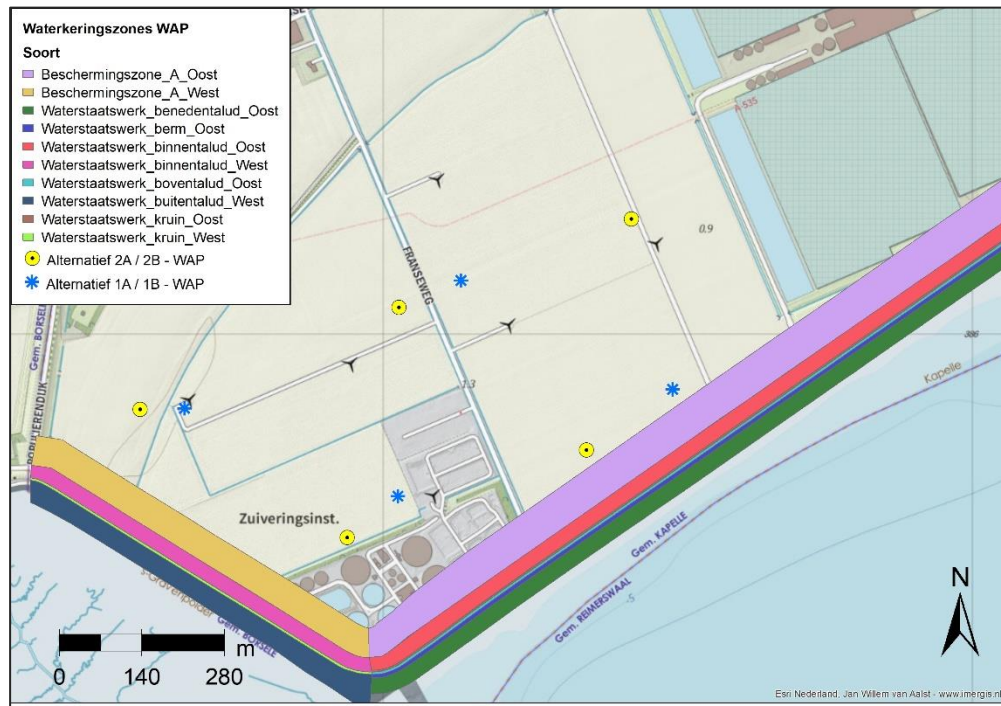
1.5 Zones van de waterkering

De verschillende zones van de waterkering waarvan de trefkansen zijn berekend zijn aangeleverd door Arcadis en weergegeven in onderstaand figuren voor Landmanslust en WAP.

Figuur 1.1 Beschermingszones Waterstaatswerk bij WP Landmanslust



Figuur 1.2 Beschermingszones Waterstaatswerk bij WP Willem-Annapolder



NB. De posities van het voorkeursalternatief voor WP WAP zijn gelijk aan alternatief 1A

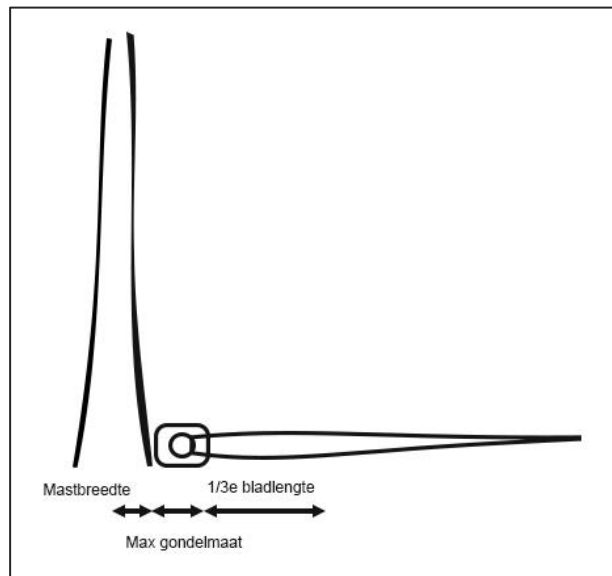
2 FAALSCENARIO'S

2.1 Berekeningsmethodiek gondelfalen

Om de effecten van gondelfalen te berekenen wordt ervan uitgegaan dat de gondel met de rotorbladen langs de torenmast valt. Het zwaartepunt van de gondel valt dan maximaal op een afstand van de breedte van de mast plus het maximum van de breedte, lengte en hoogte van de gondel. Het zwaartepunt van het rotorblad valt nog eens $\frac{1}{3}$ van een bladlengte verder. Om de trefkans te berekenen wordt gekeken welk deel van de zones van de waterkering binnen deze cirkel vallen en wordt aan de hand daarvan de valrichting bepaald. De kans op deze valrichting wordt vermenigvuldigd met de windrichting coëfficiënt. De kans op optreden van het faalscenario gondelfalen is conform het HRW :

$4,0 \times 10^{-05}$ per jaar.

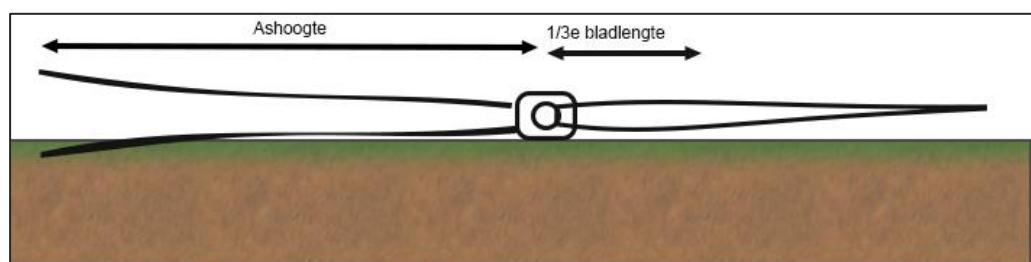
Figuur 2.1 Verbeelding methodiek gondelfalen



2.2 Berekeningsmethodiek Mastfalen

Om de effecten van mastfalen te berekenen wordt ervan uitgegaan dat de mast omvalt waarbij de mast zelf valt tussen het hart van de windturbine en de ashoogte, het gondelgewicht valt op een ashoogte afstand en het gewicht van het rotorblad valt nog 1/3^e bladlengte verder. Om de trefkans te berekenen wordt gekeken welk deel van de zones van de waterkering binnen deze cirkels vallen en aan de hand daarvan worden de valrichtingen bepaald. Zoals aangegeven wordt het treffen van meerdere zones tegelijk altijd toegewezen aan de buitenste zone van de waterkering behalve bij de hogerstaande kruin en het bladgewicht dat daarachter neervalt. De kans op deze valrichtingen wordt vermenigvuldigd met de windrichting coëfficiënt van de bijbehorende windrichtingen. De kans op optreden van het faalscenario mastfalen is volgens het HRW : $1,3 \times 10^{-04}$ per jaar.

Figuur 2.2 Verbeelding methodiek mastfalen



2.3 Berekeningsmethodiek Bladworp

2.3.1 Nominaal toerental

Voor bladworp bij nominaal toerental wordt uitgegaan van de werpafstanden van het zwaartepunt van een rotorblad welke berekend worden met het kogelbaanmodel zonder luchtkrachten zoals opgenomen in paragraaf 3.2.1 van het HRW. Hierbij is uitgegaan van de volgende eigenschappen van referentiewindturbines die de bladworpafstand bepalen. Dit zijn maximale referentiewindturbines binnen de aangegeven maximale dimensies.

Tabel 2.1 Eigenschappen voor bepaling bladworpafstanden

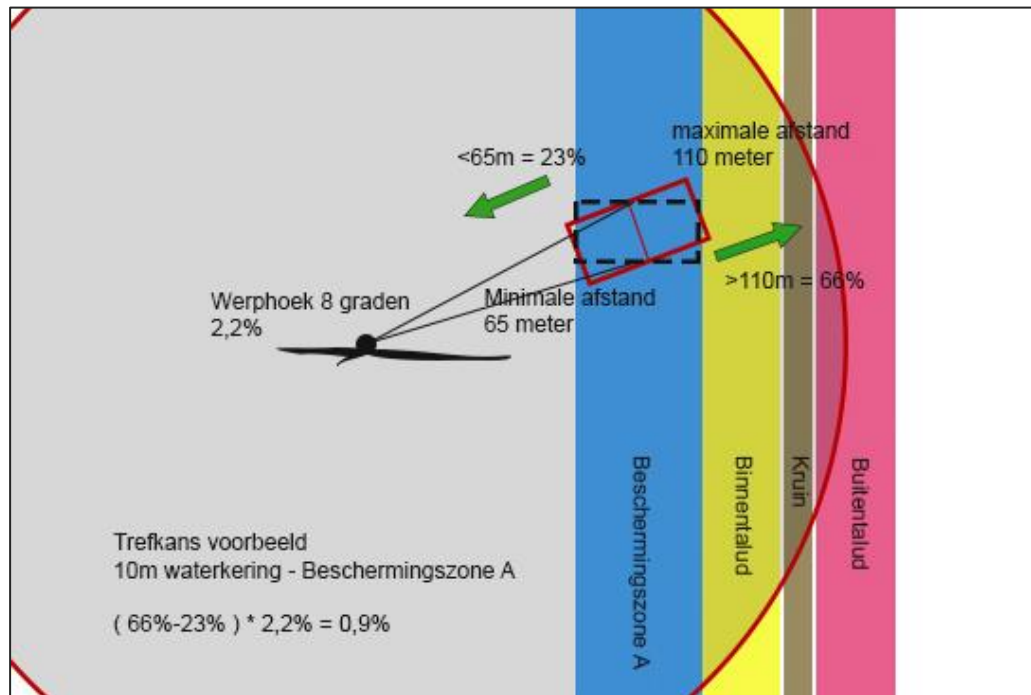
Eigenschappen	VKA	1A	1B	2A	2B	LML
Ashoogte [m]*	105	115	91,5	127	87	105
Rotordiameter [m]**	149	149	113	126	126	149
Nominaal toerental [rpm]	10,7	10,7	15	13,4	13,4	10,7
Zwaartepunt afstand rotorblad t.o.v. ascentrum [m]	24,8	24,8	18,8	21	21	24,8
Referentiewindturbine bladworp	Nordex N149	Nordex N149	Siemens SWT-113	Vestas V126 LTq	Vestas V126 LTq	Nordex N149

* de opgenomen referentieturbines geven de worst case effecten weer binnen de maximale tiphoogte van 180 meter, maximale ashoogte van 115 meter en maximale rotordiameter van 150 meter.

** NB: Voor bepaling van de trefzones wordt wel uitgegaan van de maximale rotordiameter van een opstellingsalternatief (zie **Tabel 1.1**)

Arcadis heeft aangegeven bladworp bij nominaal toerental niet stormafhankelijk te analyseren. De windrichting coëfficiënt speelt daarom geen rol bij deze analyse. Om de trefkans te berekenen is het kogelbaanmodel gecombineerd met de verschillende zones van de waterkering. Omdat in vrijwel alle gevallen de zones geen bochten of hoeken vertonen maar rechte tracés zijn is voor de trefkansberekening het buisleidingmodel toegepast waar de kritische afstanden op maaiveld zijn vervangen door de breedtes van de zones van de waterkering. Vervolgens wordt voor elke werprichting bepaald wat de minimale en maximale afstand is in die specifieke werprichting en wordt per 10 strekkende meter waterkeringzone bepaald wat de kans is op die werprichting en wat de kans is op het behalen van een werpafstand tussen de minimale en maximale afstand van deze zone. De trefkansen per 10 meter worden opgeteld per windturbine om de totale trefkans te berekenen. De kans op optreden van het faalscenario bladworp bij nominaal toerental is conform het HRW : $8,4 \times 10^{-04}$ per jaar.

Figuur 2.3 Voorbeeldweergave trefkansberekening bladworp (fictief)



2.3.2 Overtoeren

Bladworp bij overtoeren wordt op gelijke manier berekend als bladworp bij nominaal toerental. De kans op optreden van het faalscenario bladworp bij overtoeren is conform het HRW : $5,0 \times 10^{-6}$ per jaar.

3 TREFKANSEN

3.1 Windpark Willem-Annapolder

3.1.1 Gondelfalen

Zone Waterstaatswerk	VKA	1A	1B	2A	2B
Waterstaatswerk_benedentalud_Oost	0	0	0	0	0
Waterstaatswerk_berm_Oost	0	0	0	0	0
Waterstaatswerk_boventalud_oost	0	0	0	0	0
Waterstaatswerk_kruin_Oost	0	0	0	0	0
Waterstaatswerk_binnentalud_Oost	0	0	0	0	0
Beschermingszone_A_Oost	6,89E-06	6,89E-06	0	2,89E-06	2,89E-06
Waterstaatswerk_buitentalud_West	0	0	0	0	0
Waterstaatswerk_kruin_West	0	0	0	0	0
Waterstaatswerk_binnentalud_West	0	0	0	0	0
Beschermingszone_A_West	0	0	0	0	0

3.1.2 Mastfalen

Zone Waterstaatswerk	VKA	1A	1B	2A	2B
Waterstaatswerk_benedentalud_Oost	0	0	0	7,73E-06	0
Waterstaatswerk_berm_Oost	0	0	0	5,32E-06	0
Waterstaatswerk_boventalud_oost	0	0	0	3,39E-06	0
Waterstaatswerk_kruin_Oost	2,06E-05	2,35E-05	0	1,56E-05	0
Waterstaatswerk_binnentalud_Oost	1,53E-05	1,68E-05	2,75E-05	1,01E-05	2,59E-05
Beschermingszone_A_Oost	8,06E-05	7,64E-05	8,68E-05	8,36E-05	8,91E-05
Waterstaatswerk_buitentalud_West	0	0	0	0	0
Waterstaatswerk_kruin_West	0	0	0	0	0
Waterstaatswerk_binnentalud_West	0	0	0	0	0
Beschermingszone_A_West	0	0	0	4,48E-06	0

3.1.3 Bladworp nominaal toerental

Zone Waterstaatswerk	VKA	1A	1B	2A	2B
Waterstaatswerk_benedentalud_Oost	3,93E-05	3,90E-05	3,75E-05	3,61E-05	3,79E-05
Waterstaatswerk_berm_Oost	8,84E-06	8,79E-06	8,38E-06	9,60E-06	1,01E-05
Waterstaatswerk_boventalud_oost	6,06E-06	5,37E-06	5,31E-06	6,00E-06	6,19E-06
Waterstaatswerk_kruin_Oost	4,52E-06	4,94E-06	4,53E-06	4,02E-06	3,94E-06
Waterstaatswerk_binnentalud_Oost	4,22E-05	3,99E-05	3,88E-05	3,42E-05	3,56E-05

Beschermingszone_A_Oost	1,33E-04	1,39E-04	1,38E-04	1,52E-04	1,37E-04
Waterstaatswerk_buitentalud_West	0	0	0	0	0
Waterstaatswerk_kruin_West	0	0	0	0	0
Waterstaatswerk_binnentalud_West	0	0	0	3,09E-05	0
Beschermingszone_A_West	0	5,60E-06	3,92E-06	1,39E-04	1,19E-04

3.1.1 Bladworp overtoeren

Zone Waterstaatswer	VKA	1A	1B	2A	2B
Waterstaatswerk_benedentalud_Oost	1,76E-07	1,75E-07	1,60E-07	2,17E-07	2,11E-07
Waterstaatswerk_berm_Oost	4,42E-08	4,41E-08	4,04E-08	5,58E-08	5,40E-08
Waterstaatswerk_boventalud_oost	2,83E-08	2,82E-08	2,62E-08	3,49E-08	3,34E-08
Waterstaatswerk_kruin_Oost	2,17E-08	2,12E-08	1,99E-08	2,67E-08	2,56E-08
Waterstaatswerk_binnentalud_Oost	2,05E-07	1,95E-07	1,80E-07	2,27E-07	2,23E-07
Beschermingszone_A_Oost	6,81E-07	6,91E-07	7,33E-07	8,09E-07	7,77E-07
Waterstaatswerk_buitentalud_West	1,76E-07	1,60E-07	1,43E-07	1,74E-07	1,65E-07
Waterstaatswerk_kruin_West	2,06E-08	2,45E-08	2,19E-08	2,32E-08	2,18E-08
Waterstaatswerk_binnentalud_West	1,26E-07	1,25E-07	1,12E-07	1,57E-07	1,49E-07
Beschermingszone_A_West	2,74E-07	2,84E-07	2,56E-07	3,69E-07	3,51E-07

3.2 Windpark Landmanslust

3.2.1 Gondelfalen

Niet van toepassing kan niet worden geraakt	LML
---	-----

3.2.2 Mastfalen

Zone Waterstaatswerk	LML
Waterstaatswerk_onderbuitentalud	0
Waterstaatswerk_buitenberm	0
Waterstaatswerk_bovenbuitentalud	0
Waterstaatswerk_kruin	0
Waterstaatswerk_binnentalud	4,05E-05
Beschermingszone_A	8,51E-05

3.2.3 Bladworp nominaal toerental

Zone Waterstaatswerk	LML
Waterstaatswerk_onderbuitentalud	0

Waterstaatswerk_buitenberm	0
Waterstaatswerk_bovenbuitentalud	5,49E-06
Waterstaatswerk_kruin	9,01E-06
Waterstaatswerk_binnentalud	7,19E-05
Beschermingszone_A	2,09E-04

3.2.1 Bladworp overtoeren

Zone Waterstaatswerk	LML
Waterstaatswerk_onderbuitentalud	1,85E-07
Waterstaatswerk_buitenberm	3,79E-08
Waterstaatswerk_bovenbuitentalud	3,86E-08
Waterstaatswerk_kruin	2,35E-08
Waterstaatswerk_binnentalud	2,05E-07
Beschermingszone_A	6,47E-07