

BIJLAGE 7 Veiligheid

- 7.1 Berekeningen veiligheid**
- 7.2 Situatietekening plaatsgebonden risico**

BIJLAGE 7.1 Berekeningen veiligheid

Berekeningen veiligheid

Trefkansberekeningen

Algemeen

Scenario's en faalfrequenties

De windturbines kunnen risico's voor personen en installaties in de omgeving van het windturbinepark veroorzaken. In dit hoofdstuk worden risicoberekeningen gepresenteerd die uitgaan van de volgende ongevalsscenario's:

- Bladbreuk tijdens normaal bedrijf
- Bladbreuk tijdens noodstop
- Bladbreuk tijdens overtoeren, waarbij de veiligheidssystemen hebben gefaald
- Omvallen toren
- Afbreken gondel en/of onderdelen, Gondelbrand en IJsafwerping

In een Handboek [NOVEM "Handboek Risicozonering Windturbines", versie 2, januari 2005] is een analyse uitgevoerd naar incidenten met windturbines. Deze analyse heeft geresulteerd in aanbevolen scenario's en faalfrequenties, zoals weergegeven in tabel 7.1.

Tabel 7.1: Scenario's en faalfrequenties voor generieke turbines¹

Onderdeel	Aanbevolen rekenwaarde [1/jr]
geheel blad	$8,4 \cdot 10^{-4}$
nominaal toerental	$4,2 \cdot 10^{-4}$
mechanisch remmen (1,25 keer nominaal toerental)	$4,2 \cdot 10^{-4}$
overtoeren (2 keer nominaal toerental)	$5,0 \cdot 10^{-6}$
mast	$1,3 \cdot 10^{-4}$
gondel en/of rotor	$3,2 \cdot 10^{-4}$

Impact van overslaande golven uit de Waddenzee op de masten van de wind turbines kan in het ergste geval leiden tot mastbreuk. In principe wordt in het ontwerp rekening gehouden met de sterkte van de mast ten opzichte van alle mogelijke externe belastingen zoals golven. De kans op mastbreuk is daarom gelijk gehouden aan de kans uit het Handboek.

¹ Het Handboek behandelt windturbines met een vermogen tot 3,0 MW. Er wordt niet ingegaan op windturbines met een groter vermogen. Deze beperking ligt voor de hand omdat in het verleden nog weinig ervaring is opgedaan met windturbines groter dan 3,0 MW. Om toch generieke data te kunnen gebruiken voor grotere windturbines heeft ECN additionele berekeningen aangeleverd.

Generieke uitkomsten trefkansberekeningen

Bij het afbreken van de gondel of de gehele toren is het niet aannemelijk dat de onderdelen op een grotere afstand dan de tiphoogte van de toren (het hoogst mogelijke punt van de toren) in de omgeving terechtkomen.

In het geval van bladbreuk kunnen de bladen, als gevolg van de draaibeweging, wel op een grotere afstand in de omgeving terechtkomen.

Om deze afstanden te berekenen wordt gebruik gemaakt van ballistische (werp)modellen. Hiermee kan worden vastgesteld hoe groot de kans is dat het blad een bepaald oppervlak op afstand r van de turbine treft. Hierin wordt o.a. meegenomen de afmetingen van het blad, de persoon of een object.

In het handboek zijn voor een aantal generieke situaties (kleiner of gelijk 3 MW) trefkansberekeningen uitgevoerd. Daarmee wordt aangetoond dat:

- $PR = 10^{-6}/\text{jr}$ contour is gelijk aan het maximum van ashoogte plus halve rotordiameter en maximale werpafstand van een blad bij nominaal rotortoerental
- $PR = 10^{-5}/\text{jr}$ contour is gelijk aan de halve rotordiameter.

Werpafstanden

Om voor de turbinevarianten de werpafstanden te kunnen vaststellen moeten de hoofdkenmerken, zoals het nominale toerental en de afmetingen, bekend zijn. Op basis van gegeven vermogen, ashoogte, en rotordiameter zijn de overige parameters nominaal toerental, lengte afgebroken bladdeel en kritiek oppervlak afgebroken bladdeel berekend gebruik makend van de generieke berekeningen uit het Handboek. Deze berekeningen zijn door ECN² uitgevoerd en de hoofdkenmerken staan samengevat in tabel 7.2.

Tabel 7.2: hoofdkenmerken van de turbines (2,0, 3,5 en 6,0 MW variant)

type turbine	2,0 MW	3,5 MW	6,0 MW
vermogen [kW]	2000	3500	6000
ashoogte [m]	80	100	135
aantal bladen	3	3	3
rotor diameter [m]	72	90	126
nominaal toerental [omw/min]	21,0	17,9	14,1
lengte afgebroken bladdeel	34,6	43,3	60,6
kritiek oppervlak afgebroken bladdeel [m ²]	71,8	109,1	205,3

Op basis van een ballistische model, zoals beschreven in het Handboek, zijn door ECN³ voor de drie varianten de maximale werpafstanden en de PR als functie van de afstand tot de windturbine bepaald (zie tabel 7.3 en tabel 7.4).

² De berekende hoofdkenmerken voor de drie varianten zijn door ECN aangeleverd, ref. e-mail van L.Rademakers d.d. 01/12/2005 16:20.

³ De maximale werpafstanden en de grafieken van de PR als functie van de afstand tot de windturbine zijn voor de drie varianten door ECN aangeleverd, ref. e-mail van L.Rademakers d.d. 01/12/2005 16:20.

Tabel 7.3 maximale werpafstanden als functie van het toerental

Type turbine	2,0 MW	3,5 MW	6,0 MW
Situatie	max. werpafstand (m)	max. werpafstand (m)	max. werpafstand (m)
normaal bedrijf (nominaal)	150	159	156
Noodstop (1,25*nominaal)	194	204	195
Overtoeren (2*nominaal) (ECN berekening)	432	436	392
Overtoeren (2*nominaal) (NRG berekening)	240	280	300

Op basis van de eerder genoemde generieke beschouwing leiden de berekende maximale werpafstanden tot de volgende contouren:

Tabel 7.4 Ligging plaatsgebonden risico contouren; afstand tot de windturbine

Type turbine	2,0 MW	3,5 MW	6,0 MW	Grondslag
Contour				
PR = 10^{-5} /jr contour [m]	36	45	63	halve rotor diameter
PR = 10^{-6} /jr contour [m]	150	159	198	maximale werpafstand nominaal toeren of ashoogte plus halve rotor diameter
PR = 10^{-8} /jr contour [m]	c.a. 210	c.a. 210	c.a. 200 m	rekenuitkomst ballistisch model

Voor afstanden groter dan 220 m (2,0 MW en 3,5 MW) en 200 m (6,0 MW) is het berekende PR kleiner dan 10^{-9} /jr. De afstanden voor de 10^{-8} /jr en de 10^{-9} /jr contouren zijn ingeschat uit de door ECN berekende grafieken voor de PR als functie van de afstand.

De berekende werpafstanden (volgens het kogelbaan-model zoals beschreven in het Handboek Risicozonering Windturbines) kunnen als conservatief worden beschouwd. Dit wordt verklaard door het feit dat in het gebruikte kogelbaan-model de luchtweerstandseffecten niet worden meegenomen. In het Handboek Risicozonering Windturbines wordt aangegeven dat het effect van luchtweerstand een reductie van de werpafstanden van 10-60 % kan geven. Daarnaast zijn er additionele berekeningen gedaan met het NRG model dat wel rekening houdt met luchtweerstandseffecten [ref. NRG rapport 911694/06.76614 EW0, 27-11-2006, toegevoegd aan deze bijlage]. Deze berekeningen laten zien dat de maximale werpafstanden (overtoeren 2* nominaal) in dit model respectievelijk 240 m (2,0 MW), 280 m (3,5 MW) en 300 m (6 MW) zijn. Dit is een afstand die 90 tot 190 m korter is. Het is aannemelijk om aan te nemen dat de afgeworpen turbinebladen in

geen geval verder komen dan de berekende werpafstanden volgens het kogelbaan-model zoals beschreven in het Handboek Risicozonering Windturbines. Details over de verschillende modellen zijn in het Handboek Risicozonering Windturbines beschreven.

Mastbreuk en Afbreken gondel

Het afbreken van een gondel zal ertoe leiden dat de gondel naast de mast terecht komt. Objecten en personen nabij de windturbine kunnen door de vallende gondel worden getroffen. Het is niet aangenomen dat de gondel ver van de mast zal vallen.

Voor mastbreuk wordt de afstand tot waar een omvallende windturbine een object of persoon kan treffen gegeven als de ashoogte opgeteld met een halve rotor diameter. In de volgende tabel zijn deze afstanden bepaald op basis van de door ECN aangeleverde grafieken voor de PR als functie van de afstand tot de windturbine.

Tabel 7.4 Effectafstanden en PR voor omgevallen windturbine

type turbine	2,0 MW	3,5 MW	6,0 MW
effectafstand omgevallen windturbine [m] (ashoogte plus halve rotor diameter)	116	145	198
effectafstand afbreken gondel [m]	c.a. 45	c.a. 45	c.a. 65
PR = 10^{-5} /jr contour [m]	c.a. 15	c.a. 15	c.a. 15
PR = 10^{-6} /jr contour [m]	c.a. 110	c.a. 100	c.a. 110

Gondel brand en IJsafwerping

Een brand in de gondel kan voorkomen als gevolg van de inslag van bliksem of een turbinebrand (overbelasting, kortsluiting, falen lagers). Een dergelijke brand, die het best gekarakteriseerd kan worden als een plastic of olie brand, zal weinig vlammen vertonen en gepaard gaan met veel rookvorming. De brand zal worden beperkt door het tekort aan brandbare materialen. Indien de brand toch voortduurt kan uiteindelijk de gondel afbreken, hetgeen gezien de constructiematerialen (metaal en beton) niet waarschijnlijk is.. Verspreiding van de gondelbrand is alleen mogelijk door vallende brandende gondelonderdelen, die niet ver van de mast terecht zullen komen. Kwetsbare objecten of objecten met gevaarlijke stoffen op enkele honderden meters zullen niet worden blootgesteld aan de effecten van een gondelbrand.

De maatregelen te beperking van het risico op brand die voor windturbines worden genomen conform de ontwerpnorm NVN-11400-0 zijn:

- Blikseminslag beveiliging
- Turbine beveiliging (kortsluiting, overbelasting)
- Brandbestendigheid (fire resistant) van elektrische bekabeling

Tijdens stilstand van windturbines kan een dunne ijslaag op de bladen ontstaan die bij dooi of een beweging van het blad rechtstandig naar beneden zal vallen. Volgens het Besluit Voorzieningen en Installaties Milieubeheer mogen turbines met ijsafzetting op de bladen niet opstarten. Het aantal keren per jaar dat ijs aangroeit

aan een blad is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. Volgens schattingen van de opstellers van het Handboek komt de situatie in Nederland maximaal twee keer per jaar voor.

Het is niet zinvol om beide scenario's te kwantificeren. Het is beter om hier een kwalitatieve beschouwing over te houden zoals in het Handboek Risicozonering Windturbines is gedaan.

Gondelbrand en ijsafwerping wordt alleen gevaarlijk geacht voor passanten die onder of vlak naast de windturbines zijn. In het geval van de Schermdijk en de Pier van Oterdum is het aannemelijk dat normaliter geen personen nabij de windturbines zullen zijn, tenzij voor eventueel onderhoud aan de windturbines of andere voorzieningen. Overigens wordt een windturbine niet in werking gesteld als zich een zodanige ijslaag op de rotorbladen heeft afgezet, dat door loslatend ijs de veiligheid voor de omgeving in het geding is.

Vaststellen trefkans schepen en IPR en MR voor opvarenden

De trefkans voor schepen die de beoogde windturbines passeren wordt bepaald door:

- de kans dat een afgeworpen turbineblad een passerend schip treft
- de kans dat een omgevallen windturbine een passerend schip treft

Voor de bepaling van de trefkansen is het Handboek gehanteerd, namelijk de volgende formules

- Afgeworpen turbine blad: formules 3.1.1, 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4 uit Bijlage C1 par. 3.1, 3.3
- Mastbreuk: formules 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.2.3, 1.3.1, 1.3.2 uit Bijlage C2 par. 1.1, 1.2, 1.3

Afgeworpen turbineblad

Voor de bepaling van de trefkans van een afgebroken turbineblad dient het plaatsgebonden risico (PR) t.g.v. een afbrekend turbineblad bekend te zijn, naast gegevens van de windturbine (tabel 7.2) en de passerende schepen (tabel 7.5b).

Het PR voor een afgeworpen turbineblad hangt af van de afstand tot de windturbine. Voor de schepen is alleen de vaargeul relevant. De nabije rand van de vaargeul ligt ongeveer op 100 m afstand van de windturbines en de vaargeul zelf is 100 tot 200 m breed. Het gemiddelde PR voor alle typen windturbines is in geschat op $2 \cdot 10^{-6}$ /jr op basis van de grafieken voor de PR als functie van de afstand tot de windturbine aangeleverd door ECN.

Mastbreuk

Voor de bepaling van de trefkans van een omgevallen windturbine dient de faalfrequentie voor het breken van de mast ter plaatse van de voetflens bekend te zijn, naast gegevens van de windturbine (tabel 7.2) en de passerende schepen (tabel 7.6b). Deze faalfrequentie is gegeven in het Handboek (Bijlage B, Tabel 3.2) als $1,3 \cdot 10^{-4}$ /jr.

Het PR voor een omgevallen windturbine hangt af van de afstand tot de windturbine. Voor de schepen is alleen de vaargeul relevant. De nabije rand van de vaargeul deze ligt ongeveer op 100 m afstand van de windturbines en de vaargeul zelf is 100 tot 200 m breed. De PR is bepaald op basis van de grafieken voor de PR als functie van de afstand tot de windturbine aangeleverd door ECN. Het PR voor alle typen windturbines varieert tussen de $1 \cdot 10^{-6}$ en $5 \cdot 10^{-6}$ /jr in het afstandsbereik van de ashoogte minus halve rotordiameter en ashoogte plus halve rotordiameter. Het maximum PR in dit afstandsbereik ligt op de afstand waar de gondel terecht komt (= de ashoogte)

Scheepvaart gegevens

De gegevens ten aanzien van het aantal en type schepen in de vaargeul zijn gebaseerd op recente gegevens afkomstig van Groningen Seaports over de jaren 2002, 2003, 2004 en 2005 en afkomstig van de Provincie Groningen van tellingen door de Zeesluis Farmsum over de jaren 2002 tot 2005 (bron: Statistisch overzicht scheepvaart provincie Groningen). In tabel 7.6a zijn deze gegevens gepresenteerd als het aantal passages.

Tabel 7.6a: Statistische scheepvaartgegevens – aantal passages

Type scheepvaart	sluizen				zeehaven			
	2002	2003	2004	2005	2002	2003	2004	2005
binnenvaart	10612	10788	11887	13910				
<i>Vracht^a</i>	9528	9822	11027	13045				
<i>Overig^b</i>	1084	966	860	865				
zeevaart	530	492	553	540	7324	7756	7588	7132
<i>Vracht^c</i>	373	368	434	457	6420	7112	7096	6680
<i>Overig^d</i>	157	124	119	83	904	644	492	452
passagiersvaart ^e	45	112	43	72	434	620	616	586
pleziervaart ^f	8459	8816	7441	7791				
gevaarlijke stoffen	1125	1825	2654	3036		360		
<i>kegel/B-vlag</i>	272	195	171	237		342		
<i>niet seinplichtig/ vervoersverbod</i>	863	1646	2499	2799		18		
overig								
<i>Vissersboten^g</i>	131	110	98	59	868	626	488	436

^a optelling scheepscodes 1-39 (sluizen)

^b optelling scheepscodes 40-49 behalve 44 (sluizen)

^c optelling scheepscodes 50-54 (sluizen)

^d optelling scheepscodes 60-69 behalve 63 en 64 (sluizen)

^e optelling scheepscodes 44, 63 en 64 (sluizen)

^f optelling scheepscodes 80-89 (sluizen)

^g optelling scheepscodes 48 en 62 (sluizen)

Het aantal schepen dat aanmeert aan een steiger in het Zeehavenkanaal is 1225 in 2003 en 1143 in 2004. Het aantal schepen dat met gevaarlijke stoffen aanmeert aan een steiger in het Zeehavenkanaal is 180 [bron: steigerbezetting gegevens afkomstig van Groningen Seaports].

De volgende type schepen en bijbehorende kenmerken zijn aangenomen voor de berekening van het IPR en MR:

Tabel 7.6b: Voor de berekening geselecteerde scheepvaart gegevens

	Breedte / Lengte schip + Remweg [m]	Aantal opvarenden	Aantal schepen (passages) in vaargeul per jaar	Aantal passages per schip per jaar
zeevaart	10 / 150 + 300	10	8500	100
binnenvaart ⁴	6 / 100 + 200	5	15000	100
passagiersvaart	8 / 100 + 200	40	750	200
pleziervaart ⁵	3 / 10 + 40	4	9000	10

Voor alle typen schepen is een snelheid van 5 km/uur aangenomen, hetgeen minder is dan de maximaal toegestane snelheid in de vaargeul van 6 knopen. Verder is aangenomen dat de alle schepen op een afstand van 100 m van de windturbines varen, hetgeen de rand van de vaargeul is.

Windpark varianten

De volgende alternatieven op de drie varianten van de windturbines worden beschouwd:

Alternatief I-1A: Windpark met 13 windturbines op de Schermdijk en 5 windturbines op de Pier van Oterdum;	18x 2,0 MW= 36 MW
Alternatief I-1B: Windpark met 13 windturbines aan de voet van de Schermdijk en 5 windturbines op de Pier van Oterdum;	18x 2,0 MW= 36 MW
Alternatief I-2A: Windpark met 13 windturbines op de Schermdijk en 5 windturbines op de Pier van Oterdum;	18x 3,5 MW= 63 MW
Alternatief I-2B: Windpark met 13 windturbines aan de voet van de Schermdijk en 5 windturbines op de Pier van Oterdum;	18x 3,5 MW= 63 MW
Alternatief II-1A: Windpark met 19 windturbines op de Schermdijk en 5 windturbines op de Pier van Oterdum;	24x 2,0 MW= 48 MW
Alternatief II-1B: Windpark met 19 windturbines aan de voet van de Schermdijk en 5 windturbines op de Pier van Oterdum;	24x 2,0 MW= 48 MW
Alternatief II-2A: Windpark met 15 windturbines op de	20x 3,5 MW= 70 MW

⁴ Het totale aantal schepen die de windturbines passeren is de optelling van het aantal dat door de sluizen komt en het aantal dat aan de steigers ligt. Dit is een conservatieve aanname omdat er schepen zullen zijn die door de sluizen komen en aan de steigers in het zeekanaal aanleggen. Deze schepen worden dubbel geteld. Het is echter niet mogelijk te achterhalen om hoeveel het gaat die deze beweging maken.

⁵ Voor de pleziervaart is het aangenomen dat alle boten door de zeesluis Farmsum gaan en geen boten in de Zeehavenkanaal aanleggen.

Schermdijk en 5 windturbines op de Pier van Oterdum;

Alternatief II-2B: Windpark met 15 windturbines aan de voet van de Schermdijk en 5 windturbines op de Pier van Oterdum; 20x 3,5 MW= 70 MW

Alternatief II-3B: Windpark met 12 windturbines aan de voet van de Schermdijk en 3 windturbines op de Pier van Oterdum; 15x 6,0 MW= 90 MW

IPR en MR

Voor de berekening van het IPR (Individueel Passanten Risico) worden de schepen zelf niet beschouwd, alleen de snelheid van de passant (persoon op schip) en het aantal passages per schip die de verschillende typen schepen maken. Het aantal passages vermenigvuldigd met de trefkans voor een persoon op een schip geeft het IPR

Voor de berekening van het Maatschappelijke Risico (MR) wordt voor de verschillende typen schepen de trefkans vermenigvuldigd met het totale aantal passages en het aantal opvarenden. Een totaal MR wordt bepaald door de berekende MR per scheepstype op te tellen.

Tabel 7.7a: Resultaten berekeningen Trefkansen van Personen

Type Windturbine	Trefkans persoon	
	Worp	Mastbreuk
2,0 MW	$1,3 \cdot 10^{-14}$	$7,9 \cdot 10^{-14}$
3,5 MW	$1,3 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-13}$
6,0 MW	$1,3 \cdot 10^{-14}$	$1,3 \cdot 10^{-13}$

Tabel 7.7b: Resultaten berekeningen IPR en MR

	Eén windturbine		Windturbines die schepen kunnen treffen	
	IPR	MR	IPR	MR
2,0 MW (18 stuks)			14 stuks *	
<i>zeevaart</i>	$9,13 \cdot 10^{-12}$	$7,76 \cdot 10^{-09}$	$1,28 \cdot 10^{-10}$	$1,09 \cdot 10^{-07}$
<i>binnenvaart</i>	$9,13 \cdot 10^{-12}$	$6,85 \cdot 10^{-09}$	$1,28 \cdot 10^{-10}$	$9,58 \cdot 10^{-08}$
<i>passagiervaart</i>	$9,13 \cdot 10^{-13}$	$3,29 \cdot 10^{-09}$	$1,28 \cdot 10^{-11}$	$4,60 \cdot 10^{-08}$
<i>pleziervaart</i>	$1,83 \cdot 10^{-11}$	$2,74 \cdot 10^{-09}$	$2,56 \cdot 10^{-10}$	$3,83 \cdot 10^{-08}$
Totaal		$2,06 \cdot 10^{-08}$		$2,89 \cdot 10^{-07}$
(24 stuks)			20 stuks*	
<i>zeevaart</i>			$1,83 \cdot 10^{-10}$	$1,55 \cdot 10^{-07}$
<i>binnenvaart</i>			$1,83 \cdot 10^{-10}$	$1,37 \cdot 10^{-07}$
<i>passagiervaart</i>			$1,83 \cdot 10^{-11}$	$6,57 \cdot 10^{-08}$
<i>pleziervaart</i>			$3,65 \cdot 10^{-10}$	$5,48 \cdot 10^{-08}$
Totaal				$4,13 \cdot 10^{-07}$
3,5 MW (18 stuks)			14 stuks*	
<i>zeevaart</i>	$1,13 \cdot 10^{-11}$	$9,62 \cdot 10^{-09}$	$1,58 \cdot 10^{-10}$	$1,35 \cdot 10^{-07}$
<i>binnenvaart</i>	$1,13 \cdot 10^{-11}$	$8,49 \cdot 10^{-09}$	$1,58 \cdot 10^{-10}$	$1,19 \cdot 10^{-07}$
<i>passagiervaart</i>	$1,13 \cdot 10^{-12}$	$4,07 \cdot 10^{-09}$	$1,58 \cdot 10^{-11}$	$5,70 \cdot 10^{-08}$
<i>pleziervaart</i>	$2,26 \cdot 10^{-11}$	$3,40 \cdot 10^{-09}$	$3,17 \cdot 10^{-10}$	$4,75 \cdot 10^{-08}$

	Één windturbine		Windturbines die schepen kunnen treffen	
	IPR	MR	IPR	MR
Totaal		$2,56 \cdot 10^{-08}$		$3,58 \cdot 10^{-07}$
(24 stuks)			16 stuks*	
<i>zeevaart</i>			$1,98 \cdot 10^{-10}$	$1,54 \cdot 10^{-07}$
<i>binnenvaart</i>			$1,98 \cdot 10^{-10}$	$1,36 \cdot 10^{-07}$
<i>passagiersvaart</i>			$1,98 \cdot 10^{-11}$	$6,52 \cdot 10^{-08}$
<i>pleziervaart</i>			$3,95 \cdot 10^{-10}$	$5,43 \cdot 10^{-08}$
Totaal				$4,09 \cdot 10^{-07}$
6,0 MW (15 stuks)			13 stuks*	
<i>zeevaart</i>	$1,44 \cdot 10^{-11}$	$1,22 \cdot 10^{-08}$	$1,87 \cdot 10^{-10}$	$1,59 \cdot 10^{-07}$
<i>binnenvaart</i>	$1,44 \cdot 10^{-11}$	$1,08 \cdot 10^{-08}$	$1,87 \cdot 10^{-10}$	$1,40 \cdot 10^{-07}$
<i>passagiersvaart</i>	$1,44 \cdot 10^{-12}$	$5,18 \cdot 10^{-09}$	$1,87 \cdot 10^{-11}$	$6,74 \cdot 10^{-08}$
<i>pleziervaart</i>	$2,88 \cdot 10^{-11}$	$4,32 \cdot 10^{-09}$	$3,74 \cdot 10^{-10}$	$5,62 \cdot 10^{-08}$
Totaal		$3,25 \cdot 10^{-08}$		$4,23 \cdot 10^{-07}$

* het aantal windturbines dat een risico voor de scheepvaart kunnen zijn (vaargeul binnen risicocontour)

Voor één windturbine blijkt dat hoe groter de windturbine (in vermogen en dus ook in afmetingen) des te groter het berekende IPR en MR, hetgeen is te verklaren uit de grotere werpafstanden en effectafstand voor mastbreuk. Voor de windturbines langs het Zeehavenkanaal wordt het IPR en MR niet alleen door het type windturbine bepaald ook door het aantal windturbines. Zo kunnen het IPR en MR voor 20 2,0 MW windturbines gelijk zijn die voor 16 3,5 MW windturbines of 13 6,0 MW windturbines.

Vaststellen trefkans schepen met gevaarlijke stoffen

Om de trefkans van schepen met gevaarlijke stoffen te bepalen moet het aantal schepen dat per jaar met een gevaarlijke lading passeert worden bepaald. Deze gegevens zijn bepaald uit de tellingen (bron: Statistisch overzicht scheepvaart provincie Groningen) van schepen met gevaarlijke lading (Seinvoering kegel 1,2,3, B-vlag en niet-seinplichtig/vervoersverbod) die de Zeesluis Farmsum passeren en het aantal schepen dat aan de steigers in het Zeehavenkanaal gevaarlijke stoffen verladen (gegevens van Groningen Seaports). Uit tabel 7.6a blijkt dat 3036 schepen met gevaarlijke lading in 2005 de sluizen zijn gepasseerd en dat dit aantal elk jaar fors stijgt. Het aantal schepen dat jaarlijks een gevaarlijke lading aan de steiger in het Zeehavenkanaal verlaad is in 2003 bepaald op 360.

Vervoer van zout (van Akzo) is niet als gevaarlijk beschouwd.

Het totale aantal schepen met gevaarlijke lading die de windmolens passeren is aangenomen als 3500 zijnde de optelling van het aantal dat door de sluizen komt (ongeveer 3100) en het aantal dat aan de steigers ligt (ongeveer 400). Dit is een conservatieve aanname omdat er schepen zullen zijn die door de zeesluis van Farmsum komen en aan de steigers in het Zeehavenkanaal aanleggen. Deze schepen worden dubbel geteld. Het is echter niet mogelijk te achterhalen om hoeveel het gaat die deze beweging maken. Verder is het conservatief aan te nemen dat alle schepen die in het Zeehavenkanaal varen en aan de steigers in het Zeehavenkanaal

aan- en afmeren, geladen zijn, terwijl het meer aannemelijk is dat schepen slechts in één van de twee passages (met een gevaarlijkste stof) geladen is.

Er is aangenomen dat de betreffende schepen op 100 meter van de rand van de vaargeul en varen met een snelheid van 5 km/uur.

Verder is dezelfde informatie gebruikt t.a.v. turbine dimensies en werpafstanden als gebruikt en berekend in het algemeen voor schepen (zie tabel 7.2)

Tabel 7.8: Resultaten berekening trefkans schepen met gevaarlijke stoffen

Type Windturbine	Aantal *	Trefkans schip Één windturbine		Trefkans schip Windturbines die schepen kunnen treffen		
		Worp	Mastbreuk	Worp	Mastbreuk	Total
2,0 MW (18 stuks)	14	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$5,6 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$
2,0 MW (24 stuks)	20			$8,0 \cdot 10^{-8}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$
3,5 MW (18 stuks)	14	$3,0 \cdot 10^{-9}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$4,3 \cdot 10^{-8}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$
3,5 MW (24 stuks)	16			$4,9 \cdot 10^{-8}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$
6,0 MW (15 stuks)	13	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$4,6 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$

* het aantal windturbines dat een risico voor de scheepvaart kunnen zijn (vaargeul binnen risicocontour)

De trefkans wordt bepaald door een omvallende windturbine. Daarom geldt hoe groter de windturbine des te groter de trefkans. Dit effect wordt grotendeels gecompenseerd in de varianten waarbij het maximale aantal windturbines wordt geplaatst, omdat voor de variant van kleinere windturbines het aantal windturbines groter is dan voor de variant met grotere windturbines.

Ter vergelijking is de bezwijkkans voor tankers als gevolg van een ongeval op de vaarroutes bepaald (ongevalfrequentie van ongeveer 1×10^{-6} per vaartuig km [bron IPORBM, 1997]). Bij een vaarlengte van ongeveer 5 km waarover per jaar 3000 schepen met gevaarlijke stoffen langs de windmolens varen is de kans van een ongeval voor een bepaald vaartuig $1,5 \times 10^{-2}$ per jaar.

Vaststellen trefkans objecten

Aan de overzijde van de vaargeul, gezien vanaf de windturbines bevinden zich de volgende objecten die mogelijk relevant zijn voor deze beschouwing:

- steigers van AKZO, Methanor, Aldel en NAM/Nedalco op respectievelijk 300, 210, 200 en 200 meter.
- twee loodsen van AKZO op 400 meter van Schermdijk
- twee Chloor tanks van AKZO op 400 meter van Schermdijk
- een Waterstof tank van Tejin Twaron op 420 meter van Schermdijk
- vier opslagtanks op het Nedalco terrein op 400 meter van Schermdijk.

Gezien de afstanden is alleen het afbreken van een turbine blad relevant. Voor de beschouwing van de veiligheid van deze objecten is voor de varianten waarbij de windturbines aan de voet zijn geplaatst een onderscheid gemaakt tussen plaatsing aan de noord-zijde van de Schermdijk en plaatsing aan de zuid-zijde van de Schermdijk. Dit onderscheid heeft effect op de fysieke afstand van de windturbines tot de beschouwde objecten (een verschil van minimaal 50 meter). In sommige gevallen leidt een toename van de afstand tot de situatie waarbij het object niet meer binnen de contouren van de maximale werpafstanden valt.

De twee Chloor tanks van AKZO zijn niet relevant voor deze beschouwing omdat de plaatsing van de windturbines (voor alle alternatieven) dusdanig is gekozen dat de Chloor tanks buiten de contouren van de maximale werpafstanden vallen. Een afgeworpen turbineblad van een windturbine op of aan de voet (zuid- of noord-zijde) van de Schermdijk kan de Chloor tanks dus niet bereiken.

De volgende trefkansen van de verschillende objecten berekend volgens het Handboek (formules 3.1.1, 3.4.12, 3.4.13, 3.4.14, Bijlage C1 par. 3.1, 3.4). Als basis van de berekening is de PR gebruikt op een bepaalde afstand tot de windturbines. Voor objecten tussen de maximale werpafstanden bij nominaal toeren en remactie is de PR van $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar gebruikt. Voor objecten tussen de maximale werpafstanden bij remactie en overtoeren is de PR van $1 \cdot 10^{-9}$ per jaar gebruikt. Objecten die verder liggen dan de maximale werpafstand bij overtoeren kunnen niet worden getroffen. De maximale werpafstanden voor de verschillende typen windturbines zijn gegeven in tabel 7.3.

Tabel 7.8a: Resultaten berekening trefkans objecten Loodsen en Opslagtanks

Object	Loods/Opslagtank			Steiger		
Omschrijving						
Afstand	400 (zuid-zijde) 450 (noordzijde)			200 (zuid-zijde) 250 (noord-zijde)		
Breedte	100			230		
Diepte	100			20		
Hoogte	20			0		
Aantal turbines in bereik	2			2		
Type turbine	2.0 MW	3.5 MW	6,0 MW	2.0 MW	3.5 MW	6,0 MW
PR	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Trefkans object (zuid-zijde)	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$
Trefkans object (noord-zijde)	0*	0*	0*	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$

Tabel 7.8b: Resultaten berekening trefkans objecten Chloor tanks en Waterstof tank

Object	Chloor tanks			Waterstof tank		
Omschrijving						
Afstand	400 (zuid-zijde) 450 (noord-zijde)			420 (zuid-zijde) 470 (noordzijde)		
Breedte	20			5		
Diepte	10			5		
Hoogte	15			5		
Aantal turbines in bereik	2			2		
Type turbine	2.0 MW	3.5 MW	6,0 MW	2.0 MW	3.5 MW	6,0 MW
PR	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$
Trefkans object (zuid-zijde)	0*	0*	0*	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	0*
Trefkans object (noord-zijde)	0*	0*	0*	0*	0*	0*

* de afstand tot de dichtstbijzijnde turbine is verder dan de maximale werpafstand, dus het turbineblad kan het object niet raken

Ter vergelijking zijn de volgende faalfrequenties bepaald. Hiervoor zijn gegevens van Groningen Seaports gebruikt.

Tabel 7.9: Faalfrequenties vergelijkingsscenario's

Scenario	frequentie [/jaar]	grondslag
aanvaring (30000 schepen, duur verlading 24 uur, 500 verladingen per jaar)	$2,4 \cdot 10^{-2}$	Paarse Boek 1999 Tabel 3.20
breuk laadarm (500 verladingen per jaar)	$3,0 \cdot 10^{-2}$	Paarse Boek 1999 Tabel 3.20
schade aan loods met mogelijk vrijkomen van gevaarlijke stoffen	$1,0 \cdot 10^{-5}$	Paarse Boek 1999 Tabel 3.15
Falen atmosferische tank (enkelvoudig omhulde tank)	$1,0 \cdot 10^{-5}$	Paarse Boek 1999 Tabel 3.5
Falen druk vat (Waterstof tanks) (enkelvoudig omhulde tank)	$1,0 \cdot 10^{-6}$	Paarse Boek 1999 Tabel 3.3
leidingbreuk (diameter >150mm, lengte leiding 100 m)	$1,0 \cdot 10^{-5}$	Paarse Boek 1999 Tabel 3.7

Koop Duurzame Energie
dhr. P. Zwarts
Hoofdweg 14
Postbus 4
9620 AA SLOCHTEREN

contactpersoon
E. van Wonderen

telefoon
(026) 356 85 67

fax
(026) 445 90 35

e-mail
vanwonderen
@nrg-nl.com

Arnhem, 27 november 2006

onze referentie : 911694/06.76614 EWo

onderwerp : Rapportage Risicoanalyse windturbinepark Delfzijl

Beste heer Zwarts,

Gelieve aan te treffen de resultaten van de risicoanalyse windturbinepark Delfzijl.

1 Doelstelling

Gevraagd is een berekening te maken van de maximale werpafstand van drie typen windturbines met gebruikmaking van het "luchtkrachten"-model zoals beschreven in het Handboek Risicozonering Windturbines.

2 Werkzaamheden

Er zijn drie risicocontouren bepaald voor drie verschillende typen windturbines door middel van Monte Carlo simulatie, gebaseerd op een werpmodel voor bladafworp. Het model is conform het in het handboek "Risicozonering windturbines" opgenomen model. De invoergegevens zijn deels overgenomen uit de reeds eerder door ECN uitgevoerde analyse.

Uit de simulaties volgt een goede indicatie van deze maximale werpafstand, zoals ook is te zien in het handboek "Risicozonering Windturbines".

De volgende deelwerkzaamheden worden onderscheiden:

- 1) Bepaling risicocontouren van drie typen windturbines als gevolg van bladafworp, gebruik makend van de zelfde gegevens als ECN.
- 2) Bepaling maximale werpafstand uit deze contouren
- 3) Rapportage in briefvorm.

NRG Petten

Westerduinweg 3
P.O. Box 25
1755 ZG Petten
The Netherlands

phone
+31 224 56 49 50

fax
+31 224 56 89 12

NRG Arnhem

Utrechtseweg 310
P.O. Box 9034
6800 ES Arnhem
The Netherlands

phone
+31 26 356 85 85

fax
+31 26 351 80 92

internet
www.nrg-nl.com

trade register
37082135

3 Benodigde gegevens

Voor het uitvoeren van de analyses zijn een aantal gegevens nodig van de turbine en kaartgegevens. Ten aanzien van de te analyseren turbines is uitgegaan van:

datum
27 november 2006

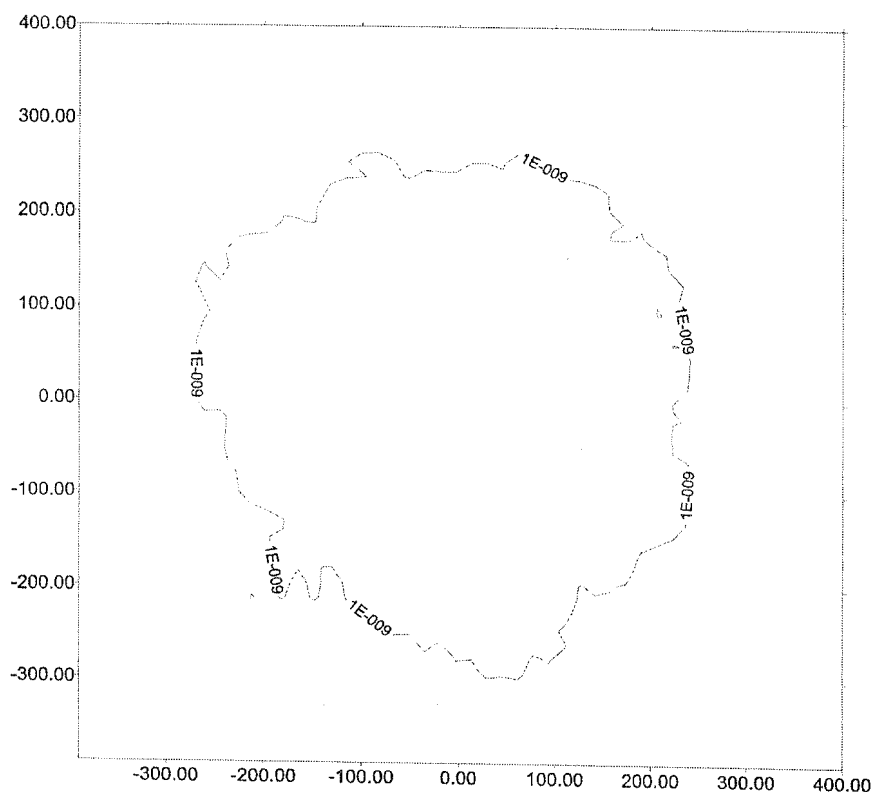
onze referentie
911694/06.76614

type turbine	2,0 MW	3,5 MW	6,0 MW
vermogen [kW]	2000	3500	6000
ashoogte [m]	80	100	135
aantal bladen	3	3	3
rotor diameter [m]	72	90	126
nominaal toerental [omw/min]	21,0	17,9	14,1
lengte afgebroken bladdeel	34,6	43,3	60,6
kritiek oppervlak afgebroken bladdeel [m ²]	71,8	109,1	205,3
Massa blad [ton]	5,7	7,1	10,8
Locatie zwaartepunt blad [%]	34,8	32,0	25,1

De laatste twee gegevens zijn NRG niet bekend en zijn geschat op grond van het formulewerk in het Handboek en ervaring.

4 Resultaten

Trefkanscontouren 6MW turbine (als gevolg van bladafworp):

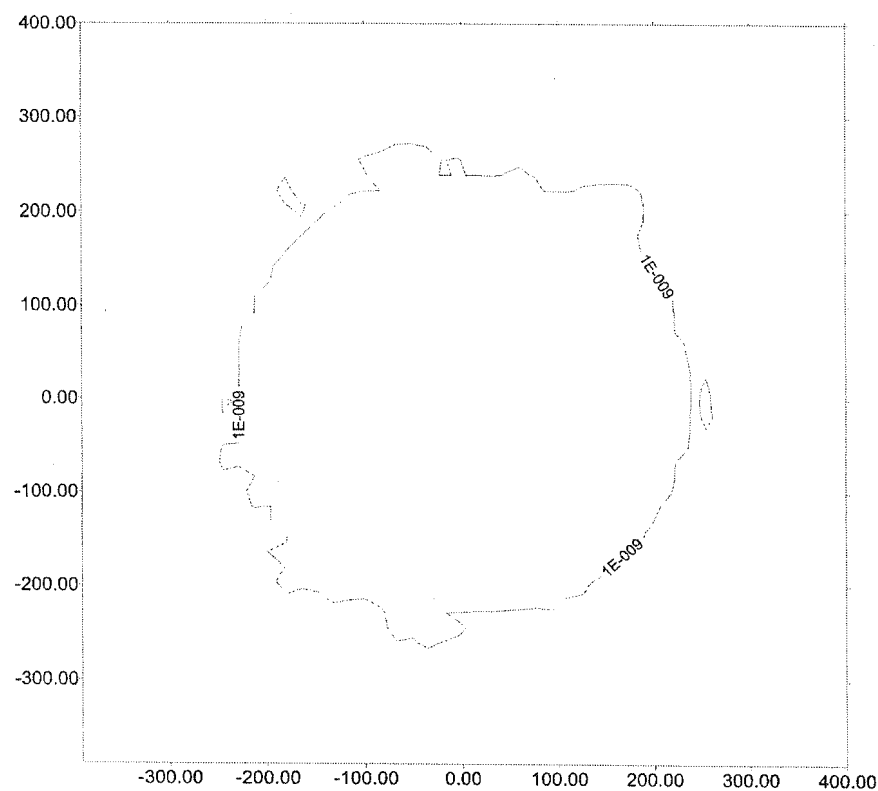


Zoals zichtbaar wordt de 10^{-9} /jaar contour (trefkans per m²) erg grillig. Dit is een direct gevolg van het feit dat op grotere afstand het aantal inslagen drastisch afneemt. Het plotpakket tracht door bepaalde interpolatietechnieken contourlijnen te genereren die recht doen aan de inslagdata. De betrouwbaarheid van de precieze ligging van de contourlijnen neemt navenant ook af. Het kan dus zijn dat een tweede simulatie iets andere ligging genereert van de 10^{-9} /jaar contour.

datum
27 november 2006

onze referentie
911694/06.76614

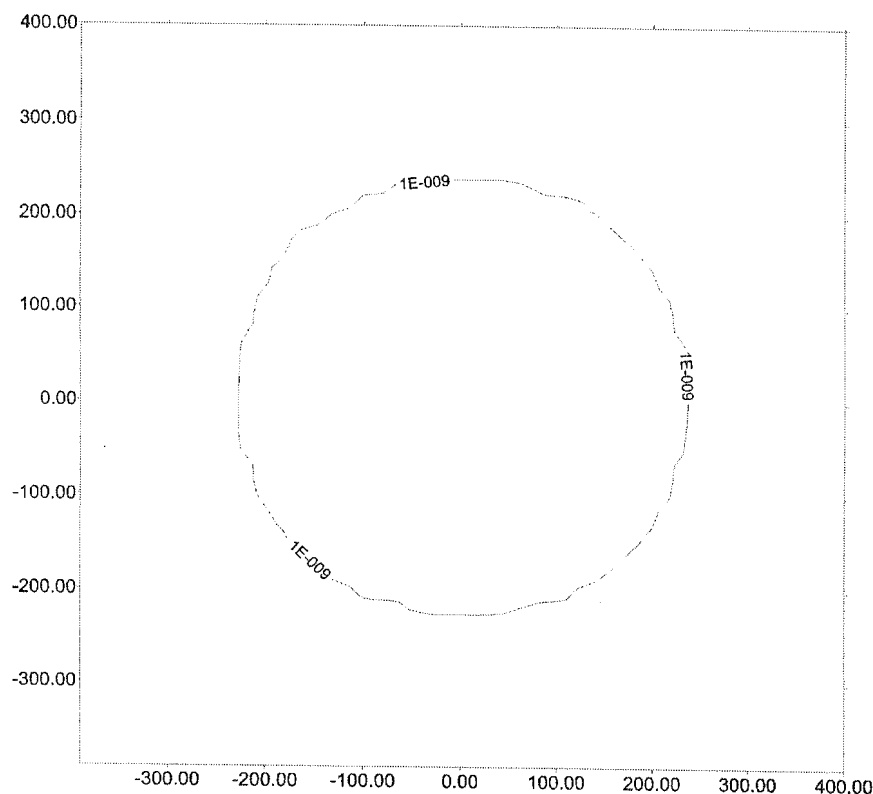
Trefkanscontouren 3,5MW turbine (als gevolg van bladafwerp):



Trefkanscontouren 2MW turbine (als gevolg van bladafwerp):

datum
27 november 2006

onze referentie
911694/06.76614



Maximale werpafstanden

De maximale werpafstand is alleen bij een analytisch model (zoals het kogelbaanmodel) met zekerheid te berekenen. De praktische waarde van deze theoretische waarde is echter discutabel. In het luchtkrachten-model worden een flink aantal simulaties uitgevoerd waarbij de getrokken waarde uit de diverse verdelingen van de betrokken grootheden uiteindelijk de werpafstand bepaald. Als uit 100.000 simulaties de maximale werpafstand bijvoorbeeld 500m blijkt te bedragen, kan met een zekere kans in de volgende 100.000 simulaties blijken dat een nog grotere werpafstand geproduceerd kan worden (bijv. 510m). Er is dus geen absolute zekerheid te geven over de maximale werpafstand. Wat wel aangegeven kan worden is de hoogste werpafstand die in de 100.000 simulaties is opgetreden. De kans op die hoogste waarde is dan de bladafworpkans (best -estimate waarde gedeeld door 100.000 : $8,4E-4 / 100.000 = 8,4E-9$ per jaar.

Feitelijk zijn de door het plotpakket geproduceerde risico-contouren (met behulp van de Kriging methode), in dit geval de 10^{-9} per jaar contour, zoals aangegeven in bovenstaande figuren, dus een goede indicatie van de maximale werpafstanden.

Zoals echter zichtbaar zijn de contouren niet noodzakelijkerwijs geheel cirkelvormig. Dit komt voornamelijk door de al eerder aangehaalde instortende statistiek.

In navolgende tabel wordt de maximale bladafworp gerelateerd aan de 10^{-9} /jaar contour uit de plots:

datum
27 november 2006

onze referentie
911694/06.76614

Turbinevermogen [MW]	Maximale werpafstand [m]
2	240
3,5	280
6	300

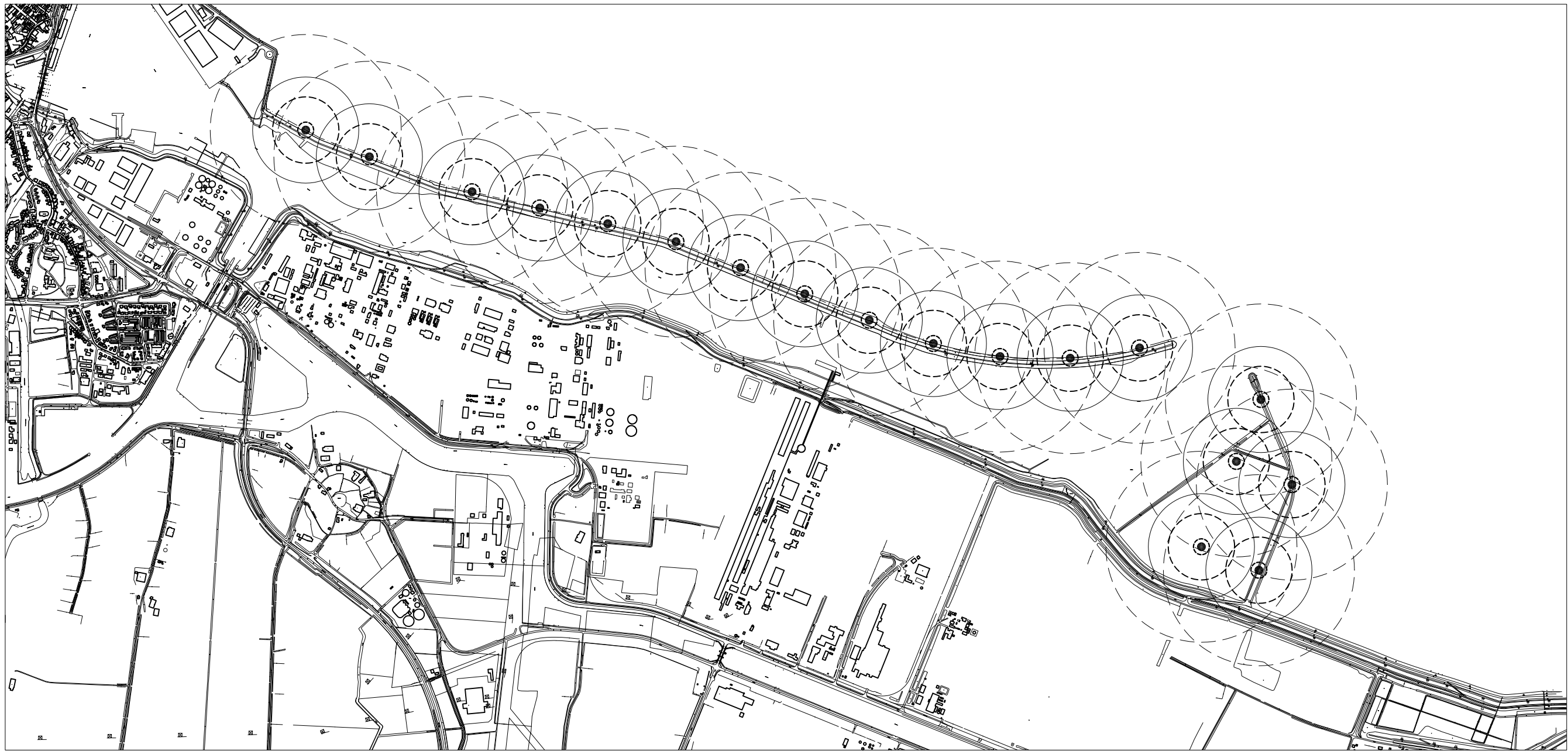
Wij hopen u hiermede van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,

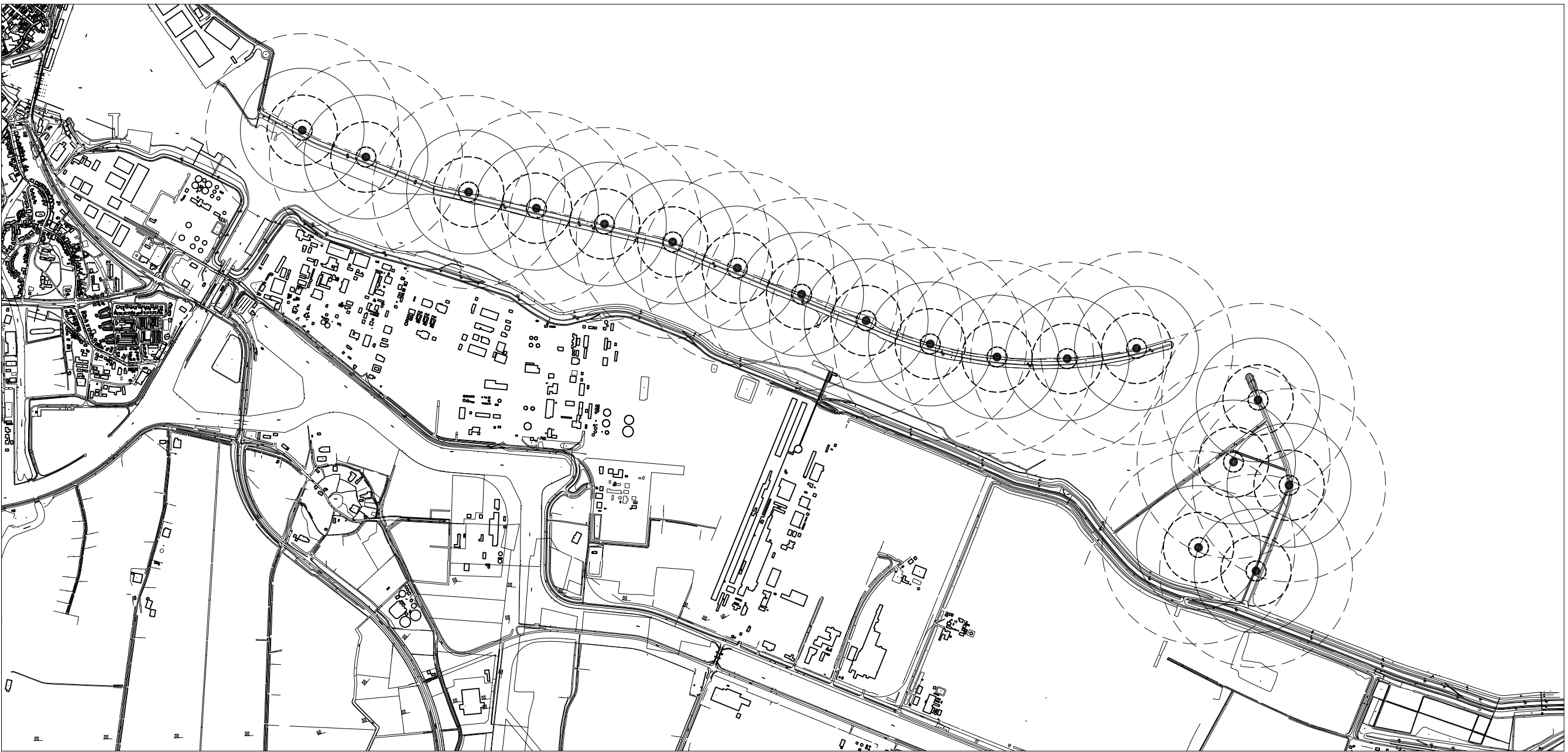


E. van Wonderen
Plant Performance & Technology

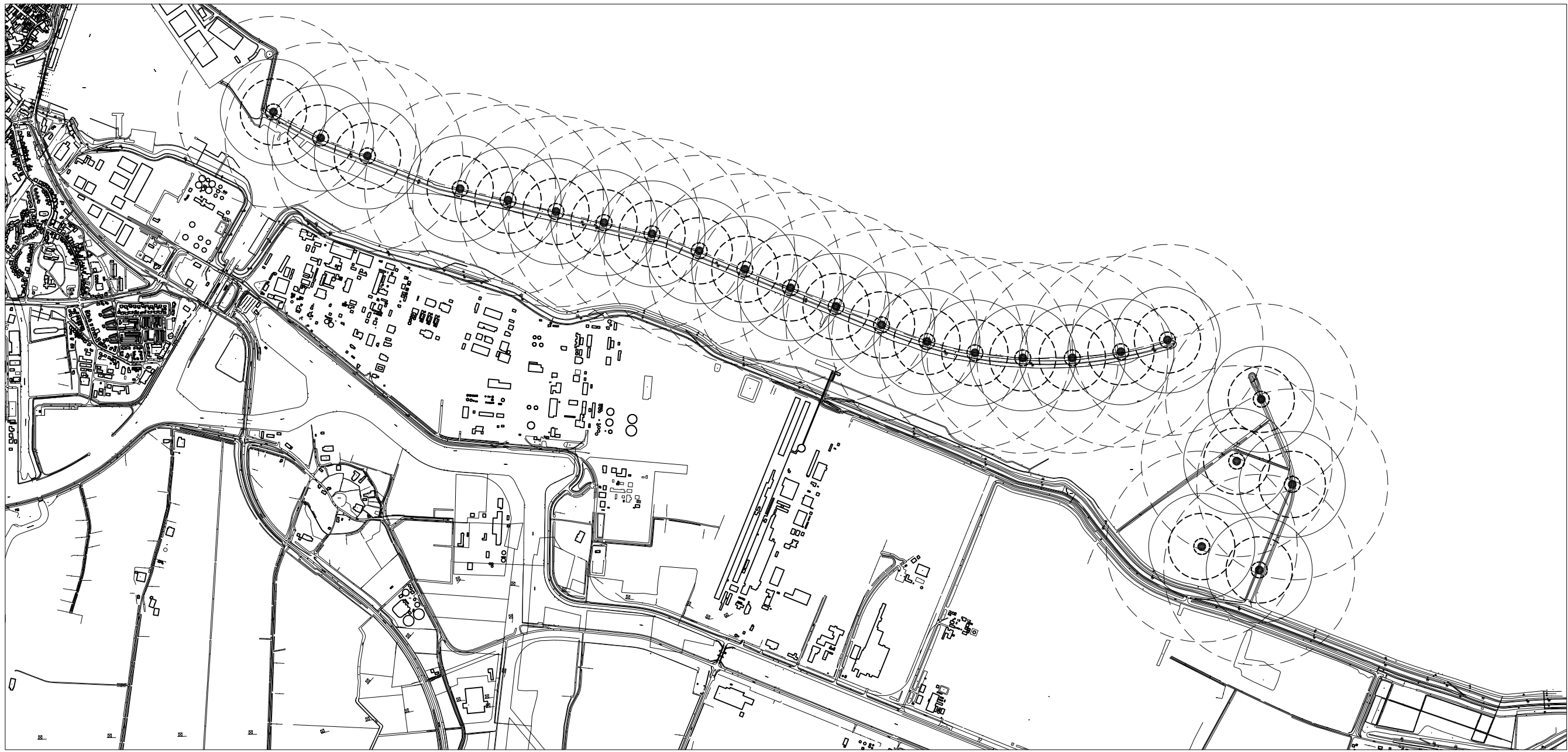
BIJLAGE 7.2 Situatietekening plaatsgebonden risico



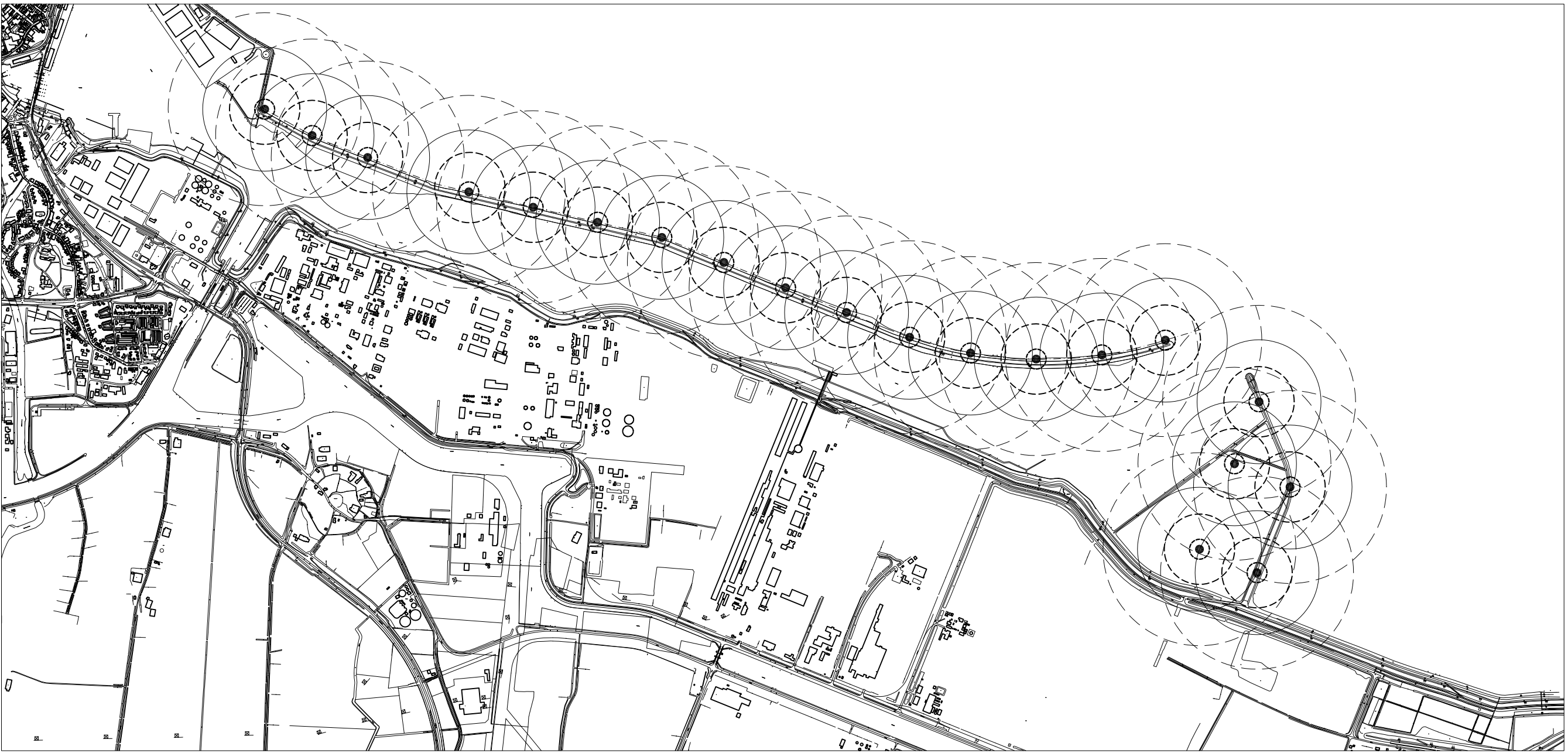
ALTERNATIEF I-1B



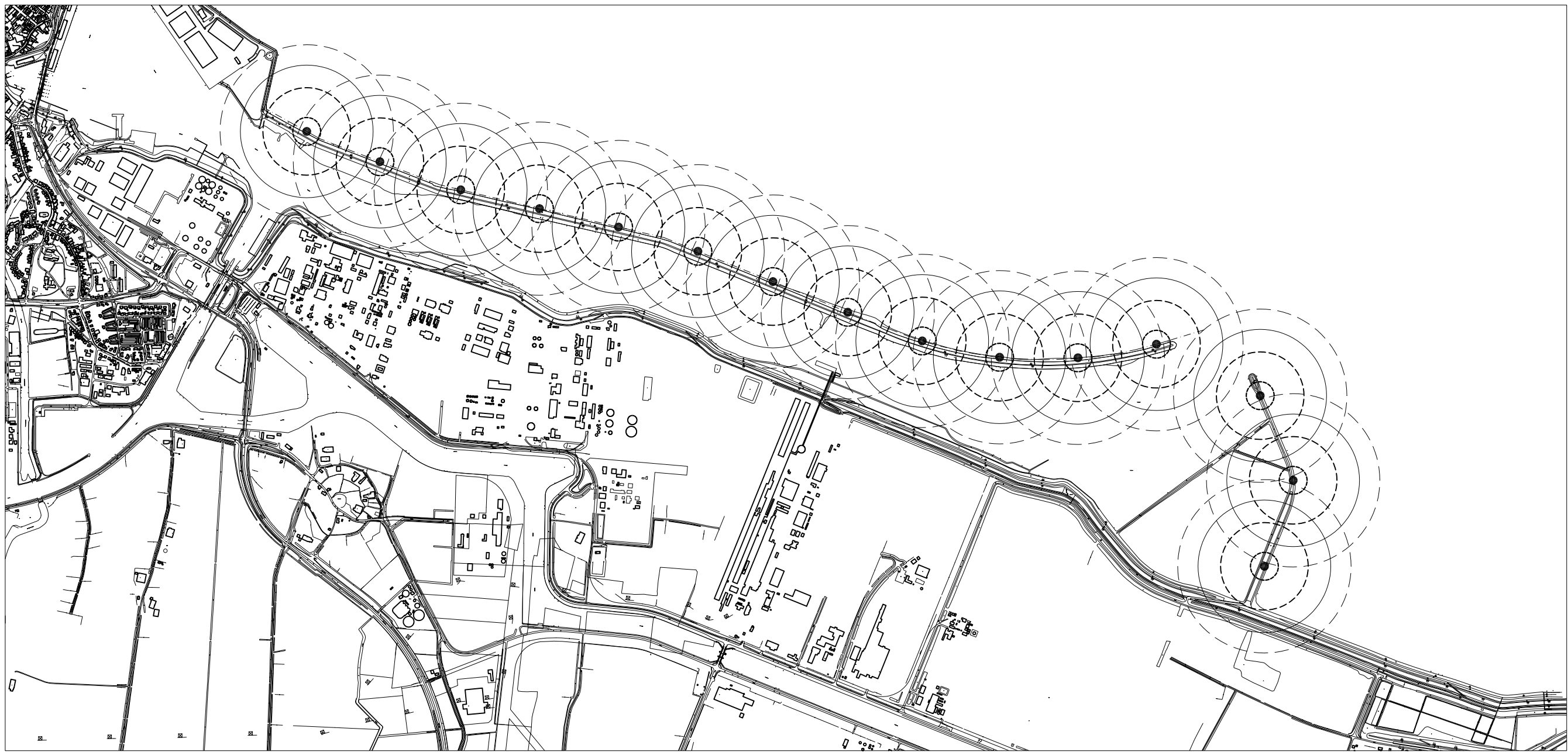
ALTERNATIEF I-2B



ALTERNATIEF II-1B



ALTERNATIEF II-2B



ALTERNATIEF II-3B

- LEGENDA:
- maximale werpafstand (kogelbaan model)
 - maximale werpafstand (luchtkrachten model)
 - plaatsgebonden risico 10-6
 - plaatsgebonden risico 10-5
 - locatie windturbine

© DNV BV met kwaliteitsstempels van DNV BV is geaccrediteerd volgens NEN ISO 9001. Deze tekening mag niet worden verspreid of anderszins openbaar gemaakt, verspreiden, verspreiden of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DNV BV. Het mag niet worden gebruikt voor andere werken dan waarvoor zij is vervaardigd.

MER WINDPARK DELFZIJL NOORD			
MILLENERGY			
	SITUATIE TEKENING PLAATS-GEBOUDEN RISICO		
	datum: 16 februari 2006	schaal: 1:20.000	
	documentnummer: 1-NM-M2007	get. MNo. gecontr. Rkl	
datum: 09/02/2007	dossiernummer: X1510.01.000	formaat: A1	blz: 7.2