Retouradres: Postbus 96864, 2509 JG Den Haag

Dordrechts Museum
T.a.v. mevrouw L. Dekkers
Museumstraat 32
3311 XP DORDRECHT

Defensie & Veiligheid
Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

Datum
25 januari 2021

Onze referentie
DHW-2021-RT-100337544

E-mail
onno.vangent@tno.nl

Doorkiesnummer
+31 88 866 40 25

Doorkiesfax
+31 88 866 65 75

Projectnummer
060.43661/01.36.01

Kopie aan
Ingenieurbureau Drechtsteden
T.a.v. de heer R. Nolles
Postbus 619
3300 AP DORDRECHT

Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Griffie van de Rechtbank Den Haag en de Kamer van Koophandel Den Haag van toepassing. Deze algemene voorwaarden kunt u tevens vinden op www.tno.nl.
Op verzoek zenden wij u deze toe.

Handelsregisternummer 27376655.

Onderwerp
Resultaten onderzoek effecten standbeeld Choëphore op VTS walradars

Geachte mevrouw Dekkers,

Hierbij bied ik u de rapportage aan waarin de resultaten zijn opgenomen van het onderzoek dat TNO in opdracht van u heeft uitgevoerd. In het onderzoek is gekeken naar de mogelijke effecten van het geplande standbeeld Choëphore op de VTS walradars rondom dit standbeeld. Hierbij zijn een tweetal aspecten onderzocht.

- Allereerst is door middel van een zichtlijn analyse nagegaan of het bouwen van het standbeeld resulteert in een belemmerd zicht van de Vessel Traffic Services (VTS) walradars op de vaarweg. Indien er bij een enkele radar sprake is van belemmerd zicht, is nagegaan of dit verminderd zicht kan worden opgevangen in het radarbeeld van de andere radars.
- Vervolgens is er gekeken naar het ontstaan van schijn- of spookdoelen op de radarbeelden van de VTS walradars door reflecties op het standbeeld. Ook hier is er nagagaan of eventuele schijn- of spookdoelen kunnen worden opgevangen door de dekking van andere VTS walradars.

De belangrijkste conclusies

1) Radarbeeld van VTS walradars. Er is sprake van een schaduwwerking vanwege het te plaatsen standbeeld op de VTS radars. Voor de VTS radars Merwedebrug, Lips en Watertoren valt de schaduw volledig buiten het toetsingsgebied. Het standbeeld creëert een smalle schaduwstrook in het toetsingsgebied van de VTS radar Noordpark. Deze strook kan niet worden opgevangen door een andere walradar aangezien er in dit gebied geen meervoudige dekking is. De strook is maximaal 10 meter breed ten opzichte van de meest gangbare vaarrichting, waardoor een schip dat langer is dan 10 m zich nooit zal kunnen verschuilen in de schaduw en daardoor tijdelijk onzichtbaar wordt voor alle VTS radars.
2) Het ontstaan van schijn- of spookdoelen. Het te plaatsen standbeeld zorgt in elk van de dekkingsgebieden van de VTS walradars voor schijn- of spookdoelen. In het grootste gedeelte van de dekkingsgebieden kunnen deze schijndoelen worden geïdentificeerd doordat er sprake is van meervoudige radardekking. Alleen in het dekkingsgebied van de VTS radar Noordpark,

waar er geen ondersteunende radardekking is, zullen schijndoelen ontstaan die niet geïdentificeerd kunnen worden.

De uiteindelijke beoordeling in hoeverre deze effecten op VTS walradars aanvaardbaar zijn dient te worden uitgevoerd door Rijkswaterstaat.

Voor verdere details verwijs ik u naar de bijgevoegde rapportage.
Hoogachtend,

ValidSigned door Onno van Gent
op 25-01-2021

Ing. O.J. van Gent
Senior Research Medewerker

Datum
25 januari 2021

Onze referentie
DHW-2021-RT-100337544

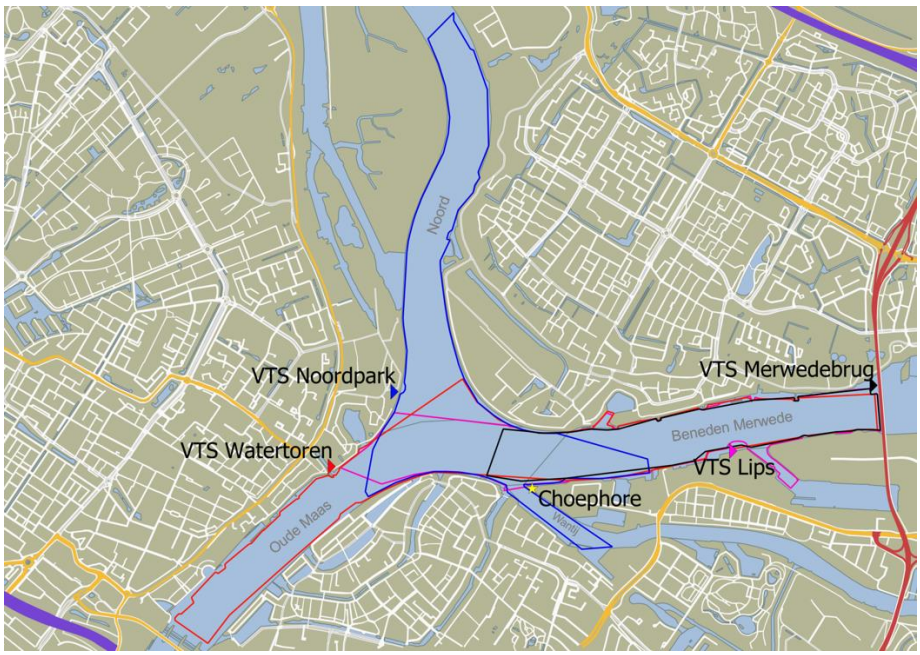
Blad
3/34

1 Inleiding

Voor de begeleiding van de scheepvaart door het havengebied van Dordrecht over de rivieren, Noord, Beneden Merwede, Oude Maas en Wantij wordt door Rijkswaterstaat (RWS) een keten van Vessel Traffic Service (VTS) walradars gebruikt. Rondom het havengebied Stadswerven staat een viertal van deze radarsystemen opgesteld: VTS Noordpark, VTS Watertoren, VTS Lips en VTS Merwedebrug. Op dit terrein wil het Dordrechts Museum het standbeeld Choëphore plaatsen.
Het Dordrechts Museum heeft - op verzoek van RWS - TNO gevraagd een onderzoek uit te voeren naar de mogelijke effecten van het te realiseren standbeeld op de VTS walradars. In deze rapportage worden de bevindingen van dit onderzoek gepresenteerd. Hierbij is gekeken naar een tweetal aspecten. Allereerst is gekeken of er door het te realiseren standbeeld schaduwwerking optreedt in de dekkingsgebieden van de VTS walradars. Ten tweede is er onderzoek gedaan naar het ontstaan van schijn- of spookdoelen op de radarbeelden van de VTS walradars door reflecties op het te realiseren standbeeld.

2 Situatieschets

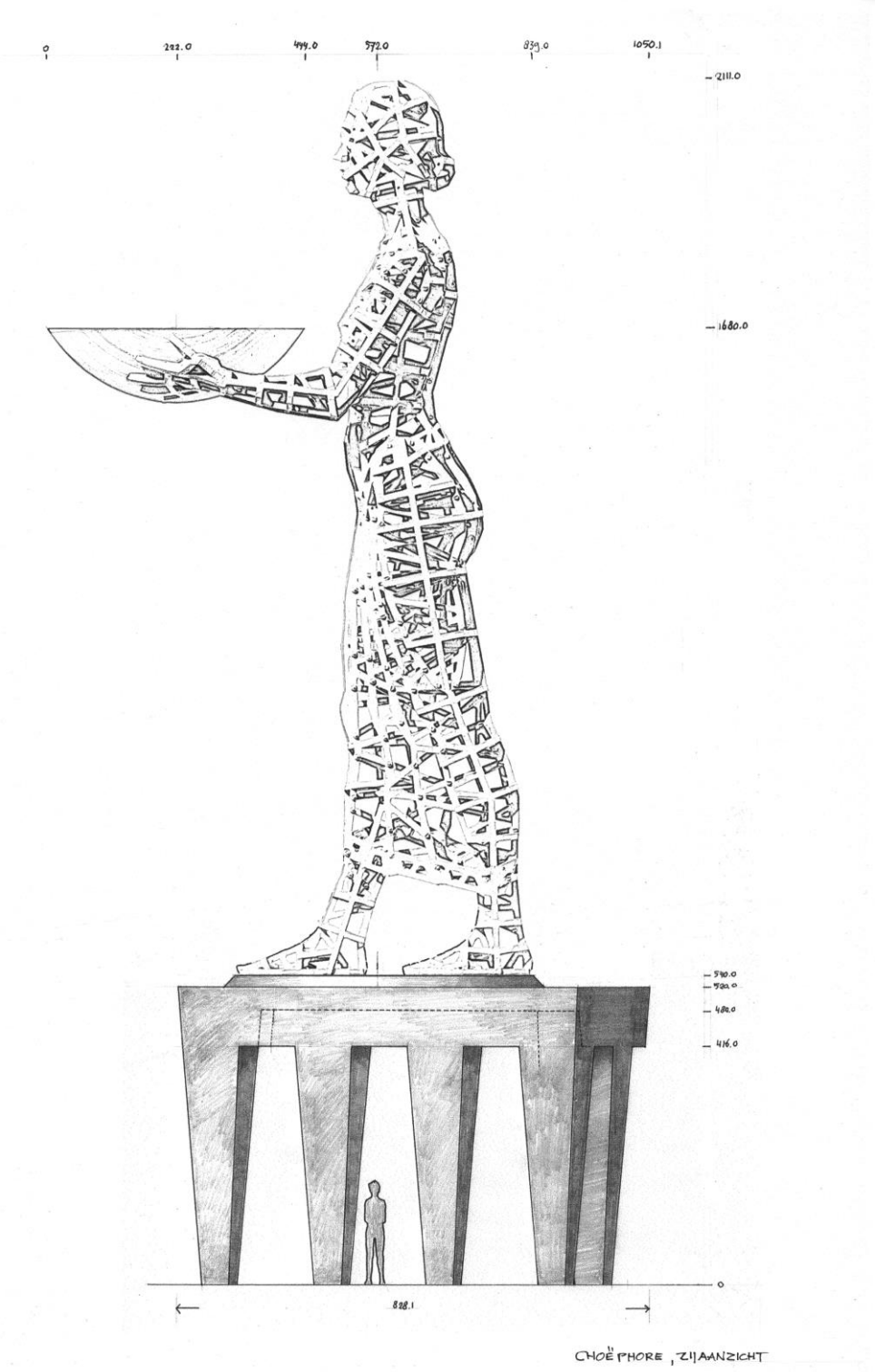
In ***Figuur 1*** is de situatie rondom het te realiseren standbeeld Choëphore weergegeven. Het standbeeld is aangegeven met een gele ster. De verschillende walradars zijn weergegeven met een gekleurde driehoekjes. Bij elk van de walradars hoort een zogenaamd mozaïek, dat aangeeft in welke sector de radargegevens verwerkt worden. Reflecties afkomstig van buiten het mozaïek worden genegeerd. In de figuur zijn de mozaïeken van de betreffende walradar met een corresponderende kleur weergegeven.



Figuur 1 Een bovenaanzicht van de omgeving rondom het te plaatsten standbeeld Choëphore. De vier VTS radarsystemen zijn met gekleurde driehoekjes weergegeven. Het bijbehorend mozaïek is weergegeven met een corresponderende kleur.

Figuur 2 geeft een impressie van het te realiseren standbeeld in zijn omgeving. Daarbij dient opgewekt te worden dat de hierop getoonde sokkel in een latere fase van het ontwerp is aangepast, zie Figuur 3. In ***Tabel 1*** staan de locatiegegevens van de betrokken walradars en het standbeeld en in ***Tabel 2*** de relevante afmetingen van het standbeeld, zoals ontvangen van de opdrachtgever. Tot slot staan in ***Tabel 3*** de radargegevens van de verschillende VTS walradars, beschikbaar gesteld door RWS.

Figuur 2 Montagefoto van het schaalmodel op de beoogde locatie gezien vanaf het veerhuis. Opgemerkt wordt dat de sokkel van het beeld ondertussen is aangepast.



Figuur 3 Zijaanzicht standbeeld en het nieuwe ontwerp van de sokkel.

Tabel 1 Locatiegegevens in WGS 84 relevante objecten.

	Latitude [°]	Longitude [°]
Standbeeld	51.81912	4.678150
VTS Noordpark	51.82382	4.667458
VTS Watertoren	51.82011	4.662544
VTS Lips	51.82107	4.694365
VTS Merwedebrug	51.82437	4.705453

Tabel 2 Technische gegevens, aangeleverd door opdrachtgever.

	Sokkel	Standbeeld
Hoogte [m]	5.84	15.71
Breedte [m]	8.31	8.39
Lengte [m]	7.48	4.44
Basis [m]	-0.64 t.o.v. NAP	5.20 t.o.v. NAP

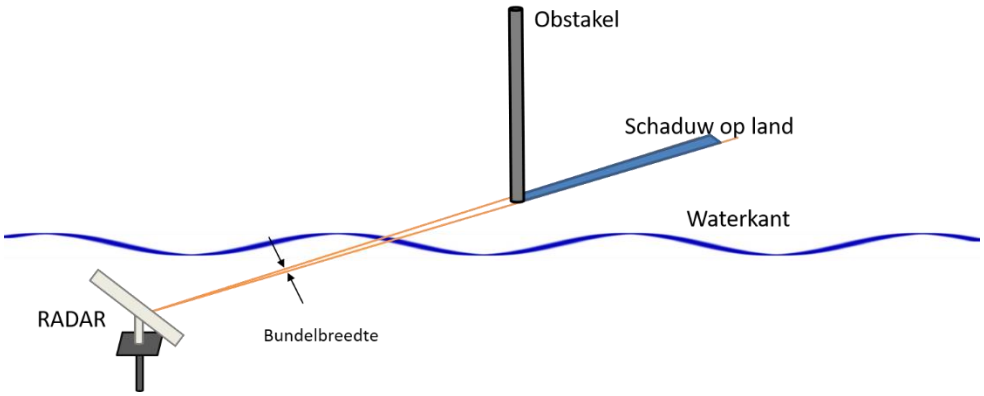
Tabel 3 Radargegevens VTS walradars, aangeleverd door RWS.

	VTS Noordpark	VTS Watertoren	VTS Lips	VTS Merwedebrug
Type	18'Compact Antenna	18' Compact Antenna	18' Compact Antenna	End-fed slotted waveguide
Antennehoogte boven NAP	18 m	18 m	18 m	18 m
Piekvermogen	4 kW	4 kW	4 kW	10 kW
Frequentie	9410 MHz	9410 MHz	9410 MHz	9410 MHz
Pulslengte	0.05 μs	0.05 μs	0.05 μs	0.05 μs
Afstandsresolutie	7.5 m	7.5 m	7.5 m	7.5 m
Antennelengte	0.55 m	0.55 m	0.55 m	0.55 m
Bundelbreedte horizontaal (3 dB)	0.40°	0.39°	0.39°	0.43°
Bundelbreedte verticaal	24°* niet in specs	24°* niet in specs	24°* niet in specs	19°
Zijlusniveau van 1.5° tot 5.0° azimut	-32.8 dB	-33.8 dB	-33.6 dB	-27.0 dB
Zijlusniveau van 5.0° tot 10° azimut	-40.0 dB	-42.1 dB	-38.9 dB	-30.0 dB
Zijlusniveau groter dan 10° azimut	-40.6 dB	-47.6 dB	-38.7 dB	-34.0 dB
Gain	36.2 dBi	36.2 dBi	36.2 dBi	34.5 dBi
Polarisatie	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal

3 Mogelijk optredende effecten

Schaduwwerking

Grote bouwwerken zoals dit standbeeld of een windturbine hebben op een aantal manieren invloed op de radar. Allereerst blokkeert het object de radarstraling. Achter de het object ontstaat daardoor een schaduwgebied. Gezien vanuit een walradar ligt deze schaduw doorgaans op het land, zie Figuur 4. Dit effect treedt overigens ook op bij iedere andere vorm van bebouwing.



Figuur 4 Illustratie van schaduwwerking door een obstakel.

Schijndoelen

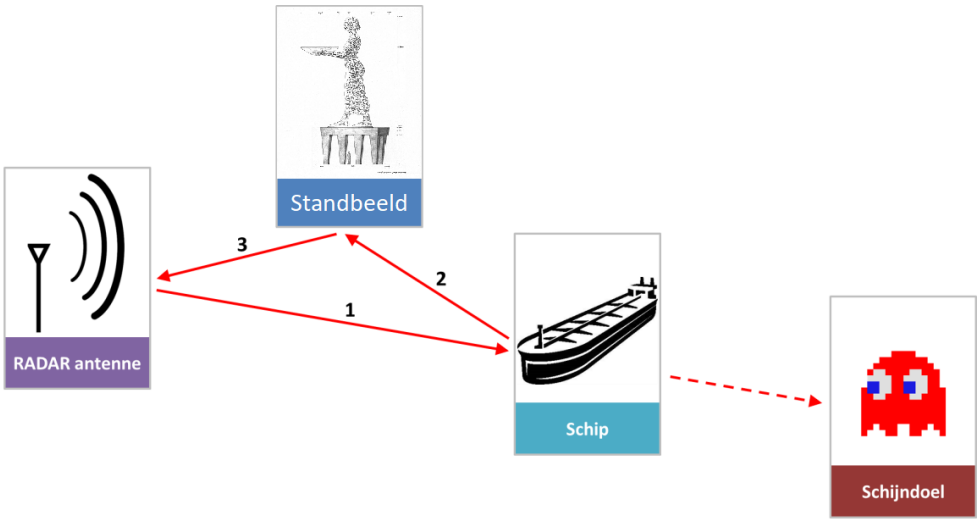
Als een groot object in de buurt van een radarsysteem wordt geplaatst, kan dit negatieve effecten hebben op de werking van het radarsysteem. Een bekend verschijnsel is het optreden van schijndoelen als gevolg van reflecties aan het object.

Een radar neemt doelen waar door het zenden en vervolgens ontvangen van straling. De straling reflecteert aan een doel en als het weerkaatste vermogen groot genoeg is, zal de radar het doel waarnemen. Echter, als een reflectie via een andere route terugkomt bij de radar (en het vermogen van het tweevoudig gereflecteerde signaal is groot genoeg), zal de radar dit ook waarnemen als een doel. Daarbij zijn er twee mogelijkheden:

1. Als het uitgezonden signaal eerst het obstakel raakt, dan het doel en vervolgens terugkaatst naar de radar, zal het schijndoel zich achter het obstakel bevinden. In het geval van het standbeeld zouden deze schijndoelen zich altijd op het land bevinden en zullen niet worden geregistreerd als schijndoelen..
2. Als het uitgezonden signaal eerst het doel raakt, dan het obstakel en vervolgens terugkaatst naar de radar, zal het schijndoel zich achter het werkelijke doel bevinden. Dergelijke schijndoelen, die alleen voor de radar lijken te bestaan, worden altijd op grotere afstand van het werkelijke doel waargenomen.

In het geval van de VTS walradars rond het standbeeld Choëphore kan een schijndoel dus alleen optreden als de reflectie van een schip via het standbeeld terugkaatst naar de radarantenne (zie ***Figuur 5***). Een potentieel schijndoel zal zich dus achter het werkelijke doel bevinden. Schijndoelen kunnen zich niet

voordoen boven land omdat de VTS radars geen doelen weergeeft die zich boven land bevinden. Het weergavegebied waarbinnen een radar doelen presenteren is geïllustreerd in ***Figuur 1***. Elk van de vier radars heeft een ander gebied. De ligging van deze gebieden is door Rijkswaterstaat aan TNO beschikbaar gesteld door middel van een afbeelding. Deze gebieden zijn gereconstrueerd om te bepalen of schijndoelen hinder kunnen veroorzaken.



Figuur 5 Schijndoelen als gevolg van het standbeeld zullen zich bevinden achter het werkelijke doel.

4 Onderzoeksopzet

In de resultaten worden de gebieden waar schaduwwerking ontstaat, de locatie waar schijndoelen kunnen optreden tonen alsmede het bijbehorende relatieve vermogen getoond. Voor het bepalen van de locatie van de schijndoelen en het bijbehorende relatieve vermogen worden vier verschillende scheepstrajecten gebruikt.

Schaduwwerking Walradars

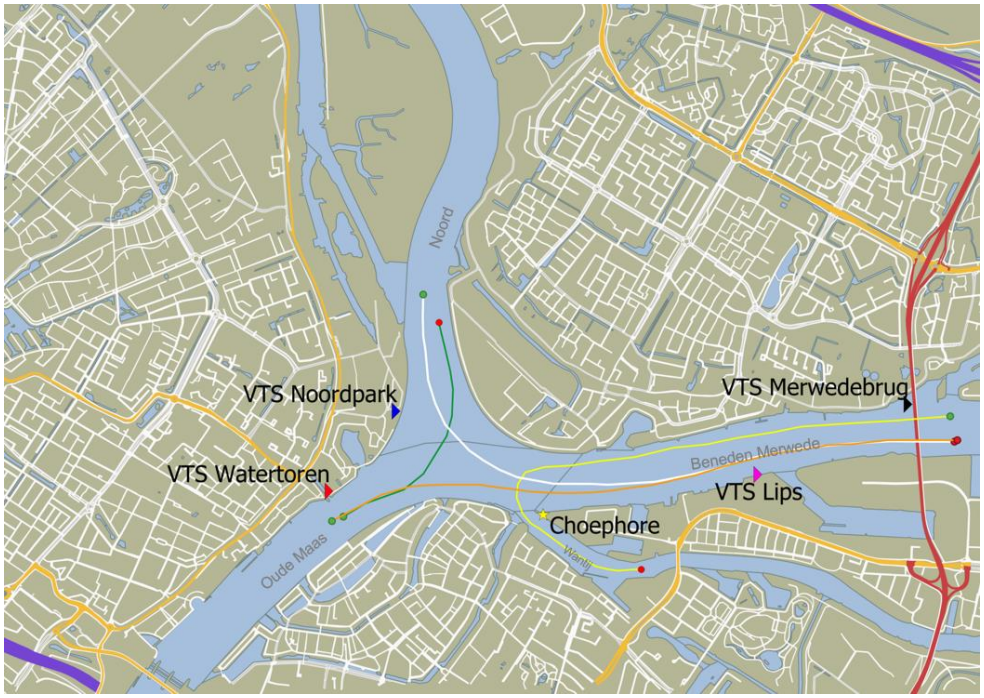
Allereerst zal de schaduwwerking veroorzaakt door het standbeeld op het radarbeeld van de walradars worden onderzocht. Dit gebeurt in een drietal stappen:

1) Eerst wordt berekend in welke gebieden de radars geen zicht hebben omdat het standbeeld een schaduw veroorzaakt. Met wat eenvoudige geometrie kan aan de hand van de posities van radars het standbeeld en de diameter van de het blokkerende object (zoals gedefinieerd in ***Tabel 2***) worden berekend waar een radarsysteem geen zicht zal hebben.
2) In een tweede stap wordt rekening gehouden met het mozaïek van elke radar. De posities waar de schaduwen binnen de mozaïeken van de desbetreffende radar vallen zullen worden berekend.
3) Tot slot zal worden nagegaan of andere radars in de keten het verlies van signaal vanwege schaduwwerking op kunnen vangen. We gaan er hierbij vanuit dat het voldoende is dat één andere radar wel signaal kan ontvangen vanuit het schaduw gebied veroorzaakt door de windturbine.

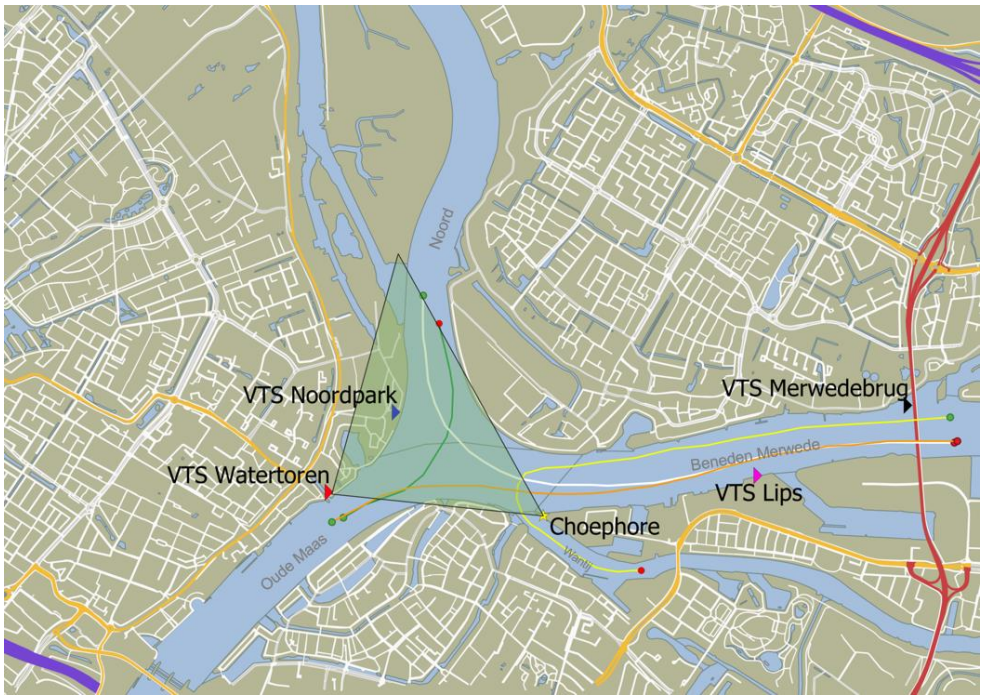
Scheepstrajecten ten behoeve van de bepaling van schijndoelen

Voor het bepalen van de locatie van de schijndoelen wordt uitgegaan van vier scheepstrajecten. De vier onderzochte scheepstrajecten zijn weergegeven in ***Figuur 6***. Scheepstraject 1 (oranje) start in de Oude Maas en stopt ten oosten van de Merwedebrug. Scheepstraject 2 (wit) start in de rivier Noord ten zuiden van Natuureiland Sophiapolder en eindigt net als traject 1 ten oosten van de Merwedebrug. Traject 3 (groen) start in de Oude Maas en stopt ten zuiden van Natuureiland Sophiapolder. Traject 4 (geel) start ten oosten van de Merwedebrug en stopt in de Wantij. Met behulp van deze trajecten zijn alle vaarmogelijkheden rond het standbeeld Choëphore in kaart gebracht.

De scheepstrajecten 1, 2 en 3 zijn niet verlengd in de Oude Maas en Noord respectievelijk omdat er op die delen van het traject geen zichtlijn is met het standbeeld is, zie ***Figuur 7***.



Figuur 6 De vier onderzochte scheepstrajecten. De start van ieder traject is weergegeven met een groene stip en het einde met een rode stip. Traject 1 is aangeven met een oranje lijn, traject 2 met een witte lijn, traject 2 met een groene lijn en traject 4 met een gele lijn.



Figuur 7 De vier onderzochte scheepstrajecten en het zichtveld vanaf het standbeeld in noordwestelijke richting. Tracks buiten het zicht van het standbeeld hoeven niet mee genomen te worden omdat er geen reflectie van het traject naar het standbeeld plaats kan vinden.

Relatief vermogen
Het relatieve vermogen dat we berekenen voor iedere combinatie standbeeld-scheepstraject, is het vermogen van het schijndoel (P_{ghost}) uitgedrukt in het vermogen van het werkelijke doel (P_{real}). Vanwege het hoge dynamisch bereik van radarsystemen, is het eenvoudiger om vermogensverschillen in decibel (dB)[1] uit te drukken. Als het relatief vermogen 0 dB is, is het vermogen van het schijndoel en het werkelijk doel aan elkaar gelijk. Bij -10 dB is het schijndoel 10 keer zwakker dan het werkelijke doel, bij -20 dB is het 100 keer zwakker, bij -30 dB is het 1000 keer zwakker, etc.
Het relatieve vermogen is afhankelijk van veel factoren, zoals het type radar, de (bistatische) radardoorsnede van het standbeeld en de onderlinge afstanden en hoeken. De radardoorsnede van een object is een maat voor hoe goed een object radarstraling reflecteert. De monostatische radardoorsnede is een maat voor hoe goed het object reflecteert terug in de richting van de radar. De bistatische radardoorsnede is een maat voor reflectie in een andere richting.
Het relatieve vermogen bepalen we aan de hand van de volgende formule:

$$\frac{P_{\text{ghost}}}{P_{\text{real}}} = \frac{\sigma_b}{4\pi}\frac{d_1^2}{d_2^2 d_3^2}\frac{G_{rs}}{G_r}$$

Met $\sigma_b$de bistatische radardoorsnede, d_1 de afstand radar-doel, d_2 de afstand doel-standbeeld, d_3 de afstand standbeeld-radar en tot slot G_{rs}/G_r de hoofdlus-zijlusverhouding van de radarantenne.

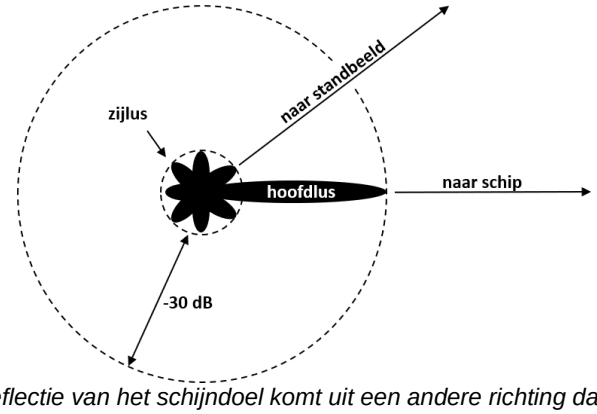
De bistatische radardoorsnede van een complex object zoals de het geplande standbeeld van metalen strips is zeer ingewikkeld om exact te bepalen.
We kunnen het standbeeld bijvoorbeeld redelijk benaderen als een cilinder met een diameter gelijk aan breedte van de sokkel van het standbeeld. De VTS walradars kijken namelijk laag over het oppervlak en de sokkel is in dat geval het object dat gezien wordt. Bovendien kan de radardoorsnede zeer grillig zijn als functie van hoek; het vermogen dat in een bepaalde richting wordt weerkaatst kan daardoor zeer sterk variëren. Om deze redenen doen we een “worst case” aanname: we schrijven de bistatische radardoorsnede, σ_b, van het standbeeld als $\sigma_b = \sigma_m \cos(\beta/2)$, waarbij σ_m de monostatische radardoorsnede van een cilinder is, $\sigma_m = 2\pi R^2 h^2/\lambda^2$, en β de bistatische hoek. R is de straal van de cilinder, hiervoor nemen helft van de breedte van de sokkel van het standbeeld.

De bistatische hoek is de hoek, opgespannen door het schip-standbeeld-radarantenne. De hoogte, h, van de cilinder kiezen we gelijk aan de zogenaamde *effectieve lengte*. Dit is de afstand waarover het faseverloop van de radarstraling op het object kleiner is dan een halve golflengte. De effectieve lengte is afhankelijk van de afstand van het standbeeld naar de radar, d, en de golflengte van de uitgezonden radarstraling, λ, volgens: $l_{\text{eff}} = \sqrt{\lambda d}$. Uit deze formule volgt dat naarmate het standbeeld op grotere afstand staat, de monostatische radardoorsnede in grootte toeneemt. De berekende waardes van de effectieve

[1] De decibel is een logaritmische schaal waarmee de verhouding tussen twee grootheden kan worden uitgedrukt volgens: $L\ [\text{dB}] = 10\log_{10}(I_1/I_0)$.

lengte en monostatische radardoorsnede voor de verschillende VTS walradars zijn weergegeven in ***Tabel 4***.

De energie van een schijndoel komt uit een andere richting dan de kijkrichting van de radar. Het werkelijke doel wordt waargenomen door de hoofdlus van de radar, terwijl het schijndoel wordt waargenomen door een zijlus. Zie ***Figuur 8***. Voor het verschil in gevoeligheid tussen de hoofd- en de zijlus gebruiken we de waardes opgegeven in ***Tabel 3*****Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**.



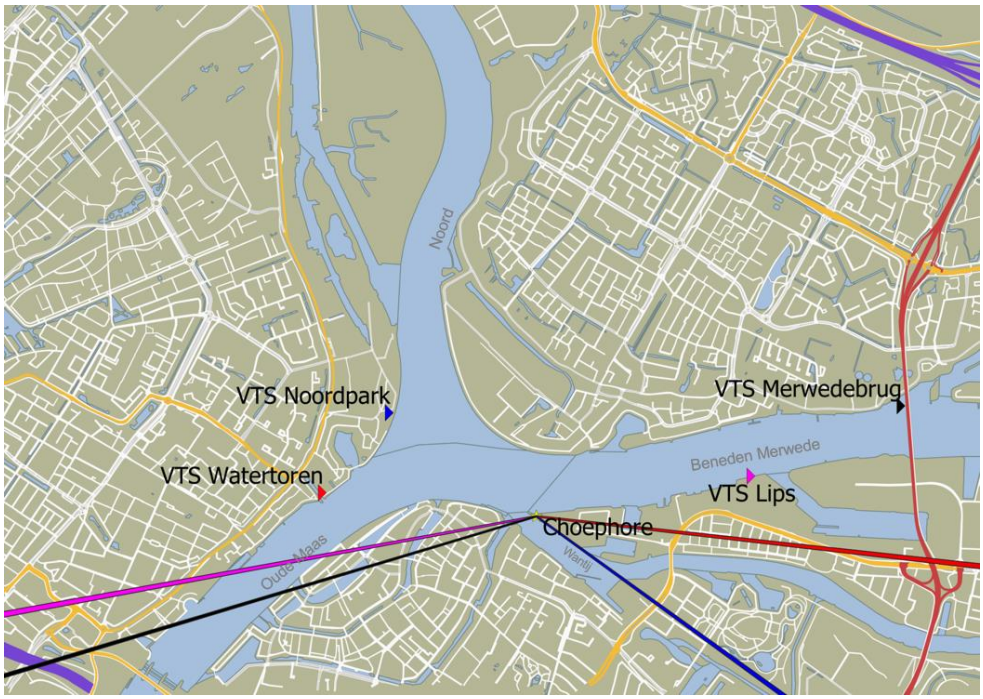
Figuur 8 De reflectie van het schijndoel komt uit een andere richting dan de kijkrichting van de radar.

Tabel 4 De effectieve lengte op de afstand van het standbeeld voor een golflengte van 3 cm en de monostatische radardoorsnede van een cilinder met breedte en hoogte gelijk aan de effectieve lengte.

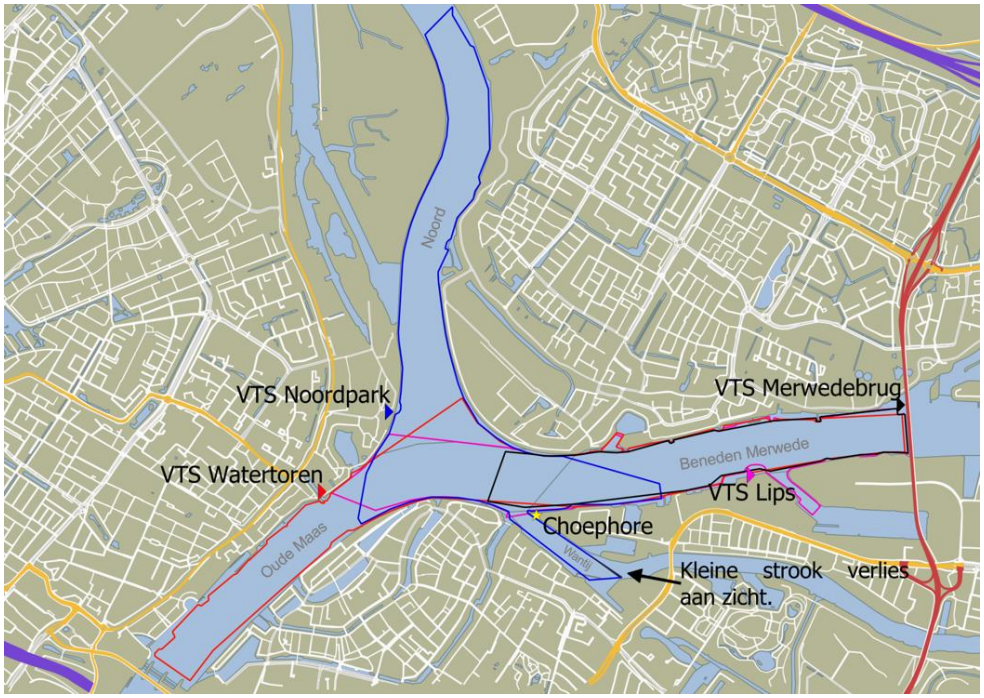
	Afstand radar-standbeeld [m]	Effectieve lengte l_{eff} [m]	Monostatische radardoorsnede σ_m [dBm^2]
VTS Noordpark	904	5.4	44
VTS Watertoren	1082	5.9	45
VTS Lips	1139	6.0	45
VTS Merwedebrug	1971	7.9	47

5 Resultaten zichtlijnanalyse VTS radars

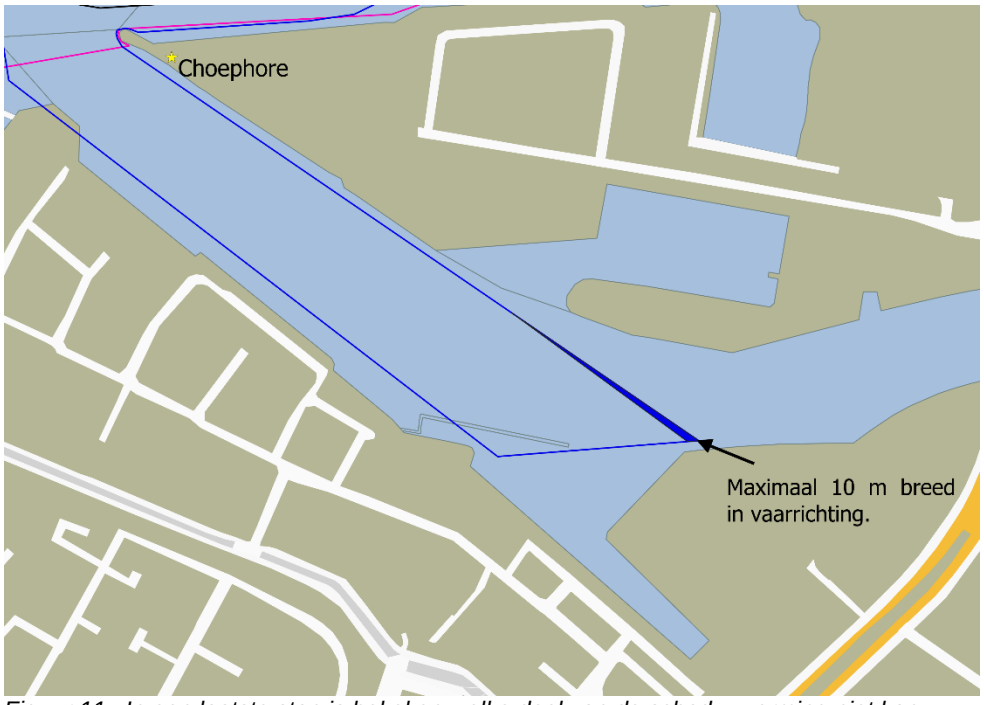
Figuur 9 geeft de volledige schaduwgebieden voor iedere radar weer. In werkelijkheid kunnen niet al deze schaduwen ontstaan door de aanwezigheid van bebouwing op de kade. ***Figuur 10*** geeft de gedeeltes van de schaduwen weer die zich binnen de mozaïeken van de corresponderende VTS radars bevinden.
Het gaat hier om een relatief smalle strook schaduw in de mozaïek van VTS Noordpark. Deze schaduw kan niet worden opgeheven door de werking van een andere radar. ***Figuur 11*** geeft deze strook vergroot weer. De schaduw veroorzaakt het standbeeld is maximaal zo'n 10 m breed en 190 m lang. De stroken zijn met 10 m smal ten opzichte van de meest gangbare vaarrichting, waardoor een schip die langer is dan 10 m zich nooit zal kunnen verschuilen in de schaduw en daardoor tijdelijk onzichtbaar wordt voor alle VTS radars. Daarnaast zal een schip zich altijd langzaam verplaatsen, waardoor het verlies van de radar track binnen het VTS systeem onwaarschijnlijk zal zijn.



Figuur 9 De volledige schaduw gebieden voor elke radar. Met kleuren is aangegeven welke schaduw bij welke radar hoort. In werkelijkheid kunnen niet al deze schaduwen niet volledig ontstaan door de aanwezigheid van bebouwing op de kade.



Figuur 10 In een tweede stap zijn alleen de delen van de schaduwen geselecteerd die binnen het mozaïek van de verschillende radars vallen. Zowel de mozaïeken als de delen van de schaduwen die binnen de mozaïeken vallen zijn weergegeven met kleuren die bij de radar horen.



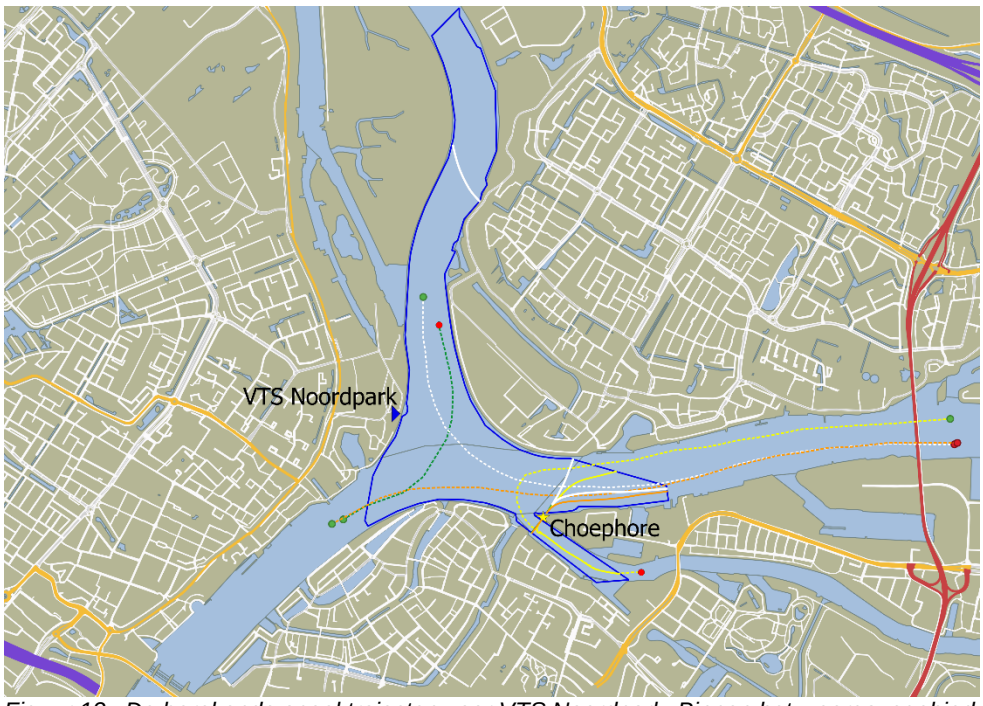
Figuur 11 In een laatste stap is bekeken welke deel van de schaduwvorming niet kan worden ondervangen door een van de andere radars. Het betreft hier een smalle strook in de mozaïek van VTS Noordpark.

6 Berekende trajecten van de potentiele spookdoelen

Als eerste onderdeel van de resultaten tonen we nu voor iedere radarpositie de berekende spooktracks of trajecten per radar. Een spookdoel kan alleen zichtbaar worden de mozaïek van de betreffende radar.

VTS Noordpark

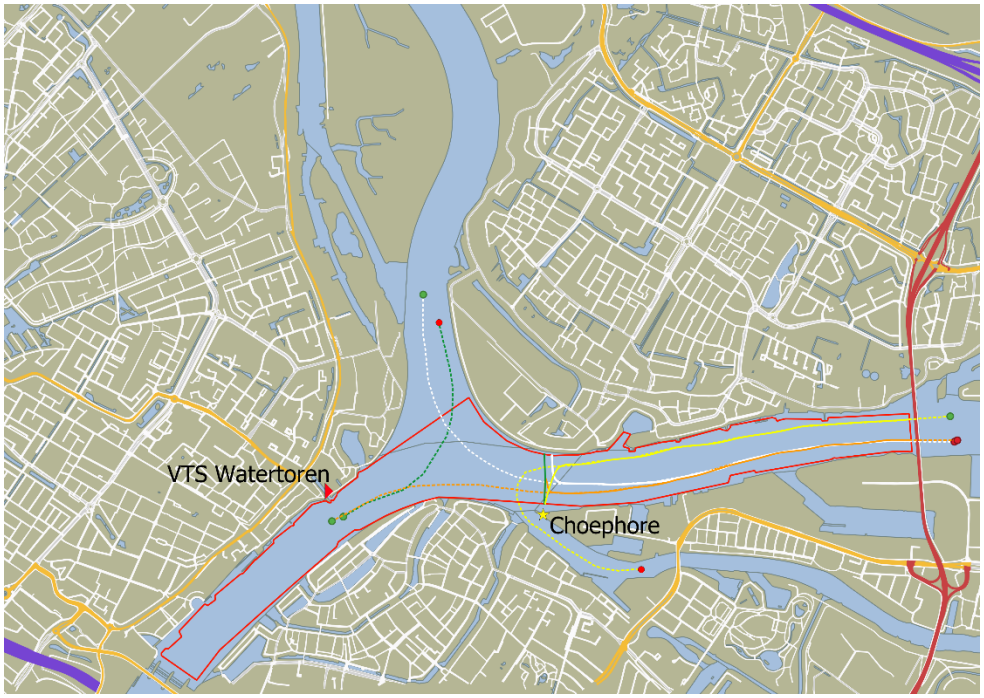
Zoals weergegeven in ***Figuur 12*** zijn er op het radarbeeld van VTS Noordpark vier spookbeelden waar te nemen. Voor elk gedefinieerd traject is er een spooktraject zichtbaar. De spooktracks, weergegeven met de doorgetrokken lijnen, hebben een lengte van enkele honderden meters. De gedefinieerde trajecten zijn weergegeven met een stippellijn. Opvallend is het spooktraject dat noorden van scheepstraject 2 (wit) ontstaat.



Figuur 12 De berekende spooktrajecten voor VTS Noordpark. Binnen het weergavegebied van deze radar zijn spooktrajecten van enkele honderden meters waar te nemen voor ieder van de vier gedefinieerde trajecten. Opvallend is het spooktraject dat noorden van scheepstraject 2 (wit) ontstaat.

VTS Watertoren

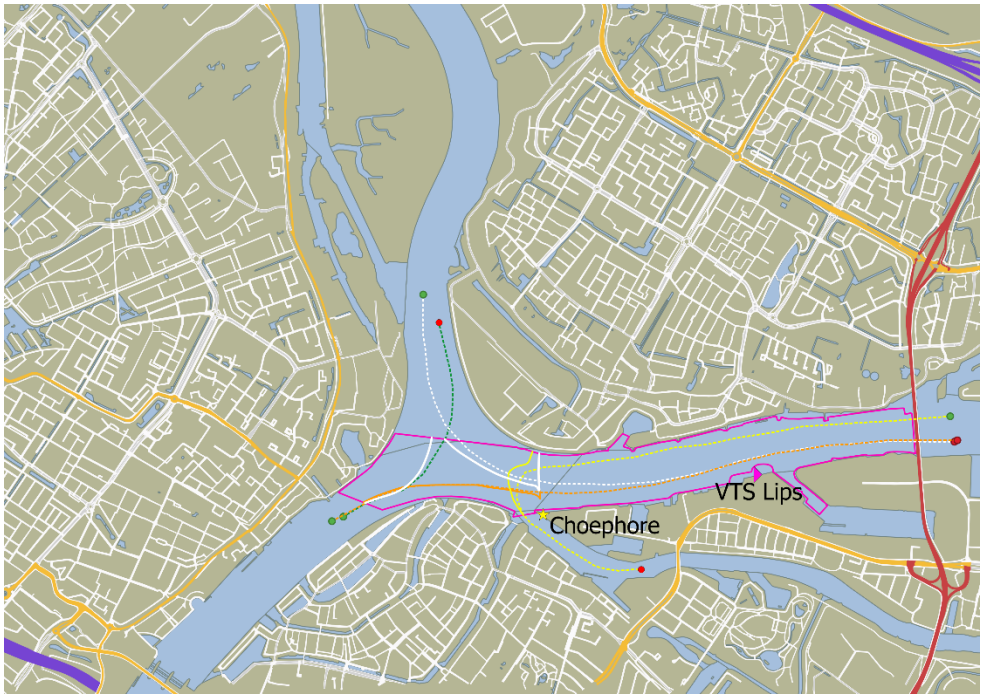
Zoals weergegeven in ***Figuur 13*** zijn op het radarbeeld van VTS Watertoren vier spookbeelden waar te nemen. Voor elk gedefinieerd traject is er een spooktraject zichtbaar. De spooktracks, weergegeven met een doorgetrokken lijn, hebben een lengte van enkele honderden meters tot circa 1800 meter in de richting van de Beneden Merwede.



Figuur 13 De berekende spooktrajecten voor VTS Watertoren. Binnen het weergavegebied van deze radar zijn spooktrajecten van enkele honderden meters tot circa 1800 meter waar te nemen voor ieder van de vier gedefinieerde trajecten.

VTS Lips

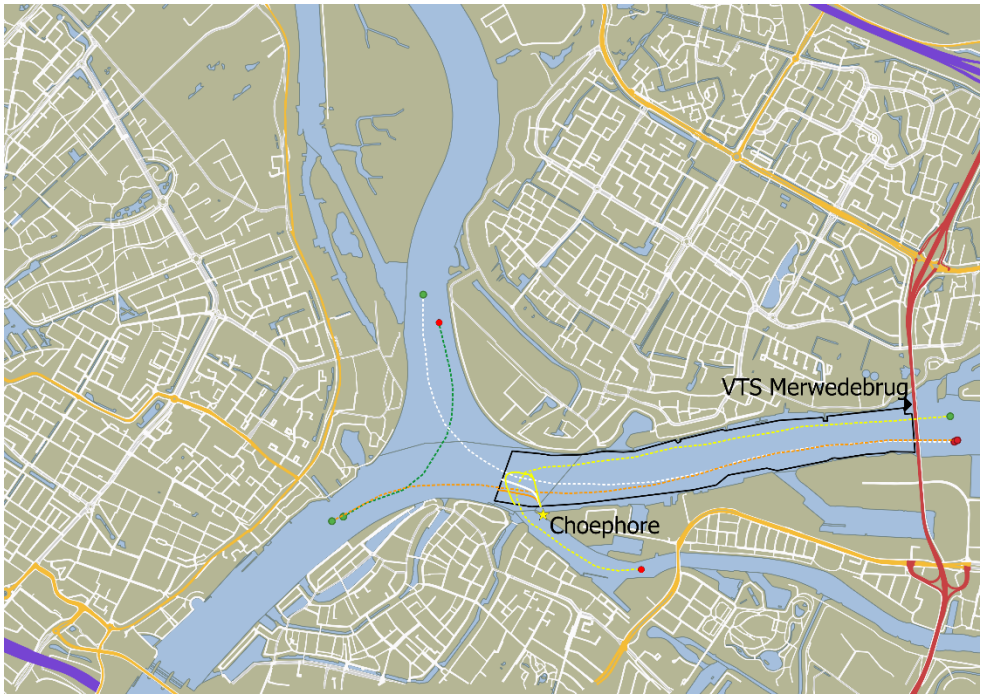
Zoals weergegeven in ***Figuur 14*** zijn op het radarbeeld van VTS Lips vier spookbeelden waar te nemen. Voor elke gedefinieerd traject is er een spooktraject zichtbaar. De spooktrajecten, weergegeven met een doorgetrokken lijn, hebben een lengte van enkele honderden meters.



Figuur 14 De berekende spooktrajecten voor VTS Lips. Binnen het weergavegebied van deze radar zijn spooktrajecten van enkele honderden meters waar te nemen voor ieder van de vier gedefinieerde trajecten.

VTS Merwedebrug

Zoals weergegeven in ***Figuur 15*** zijn op het radarbeeld van VTS Merwedebrug drie spooktrajecten waar te nemen. Scheepstraject 3 krijgt geen spookdoelen omdat deze track volledig buiten het weergavegebied ligt. De spooktrajecten, weergegeven met een doorgetrokken lijn, hebben een lengte van enkele honderden meters tot circa 1800 meter in de richting van de Beneden Merwede.



Figuur 15 De berekende spooktrajecten voor VTS Merwedebrug. Binnen het weergavegebied van deze radar zijn spooktrajecten van enkele honderden meters tot circa 1800 meter waar te nemen voor ieder van de vier gedefinieerde trajecten.

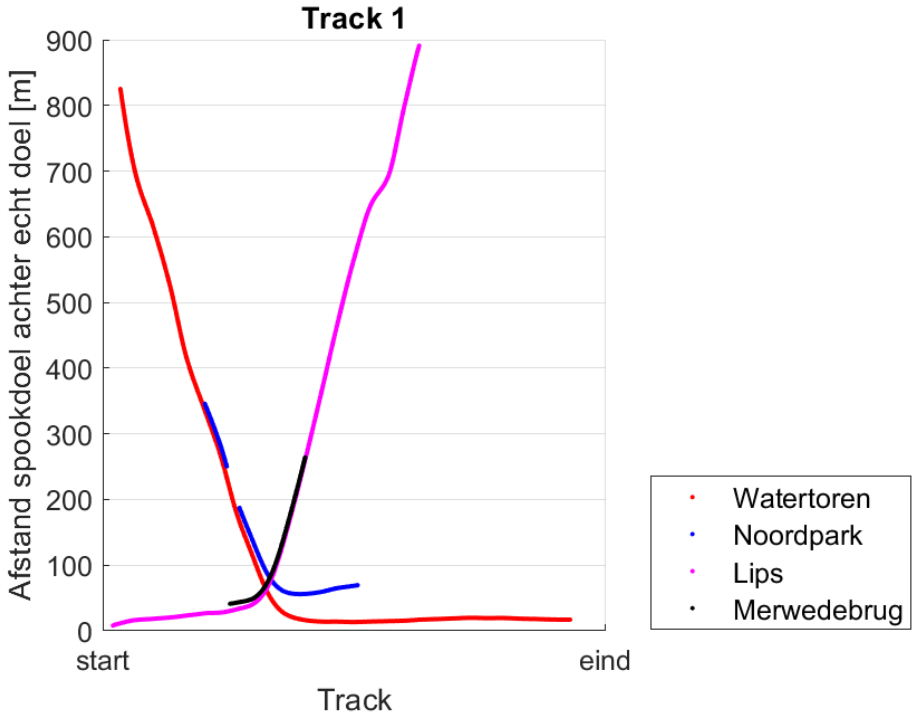
7 Afstand tussen het werkelijke en spook doel en het relatief vermogen

Als tweede onderdeel van de analyse is voor elke plot een figuur gemaakt met de afstanden tussen het werkelijke traject en het spooktraject. Per traject zijn er maximaal vier spooktrajecten mogelijk (één per VTS radar). Waar een spooktraject buiten het waarnemingsgebied van de radar valt is dit stuk niet opgenomen in de figuur.

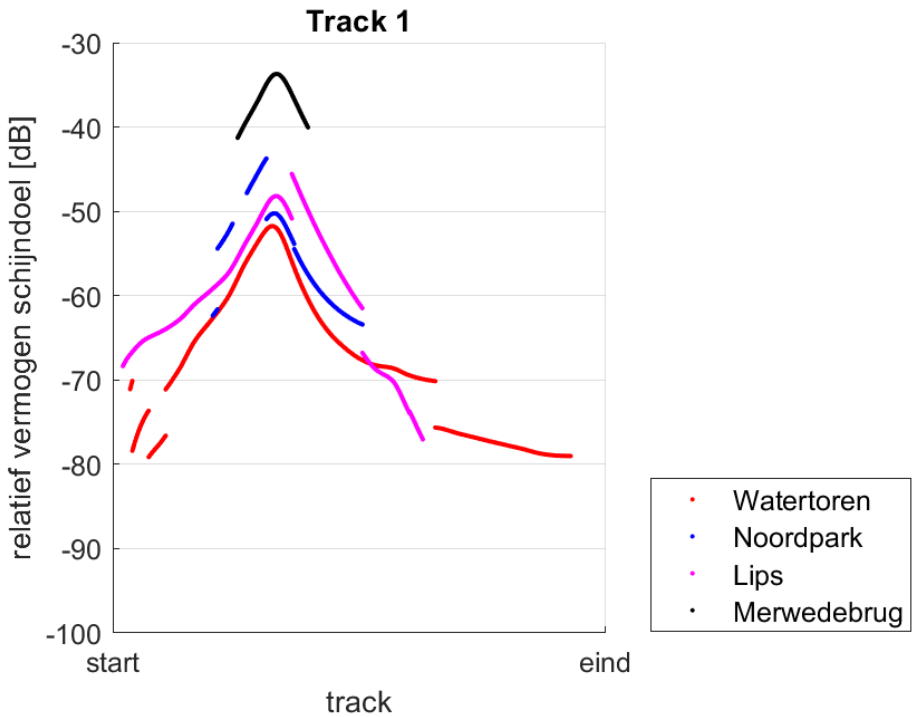
Vervolgens is ook voor iedere spooktraject het relatief vermogen tussen spookdoel en werkelijk doel uitgerekend. Wederom zijn alle spooktrajecten gegroepeerd per traject.

Scheepstraject 1 (oranje)

Figuur 16 geeft de afstand weer tussen het doel en het spookdoel voor traject 1. Zoals valt waar te nemen in de figuur kunnen deze afstanden erg groot worden, tot ongeveer een 900 m. ***Figuur 17*** geeft het relatieve vermogen voor de spooktraject behorende bij scheepstraject 1 weer. Het relatieve vermogen is laag en bereikt alleen voor de spooktraject behorende bij VTS Merwedebrug over een korte afstand een verzwakking van minder dan 40 dB.



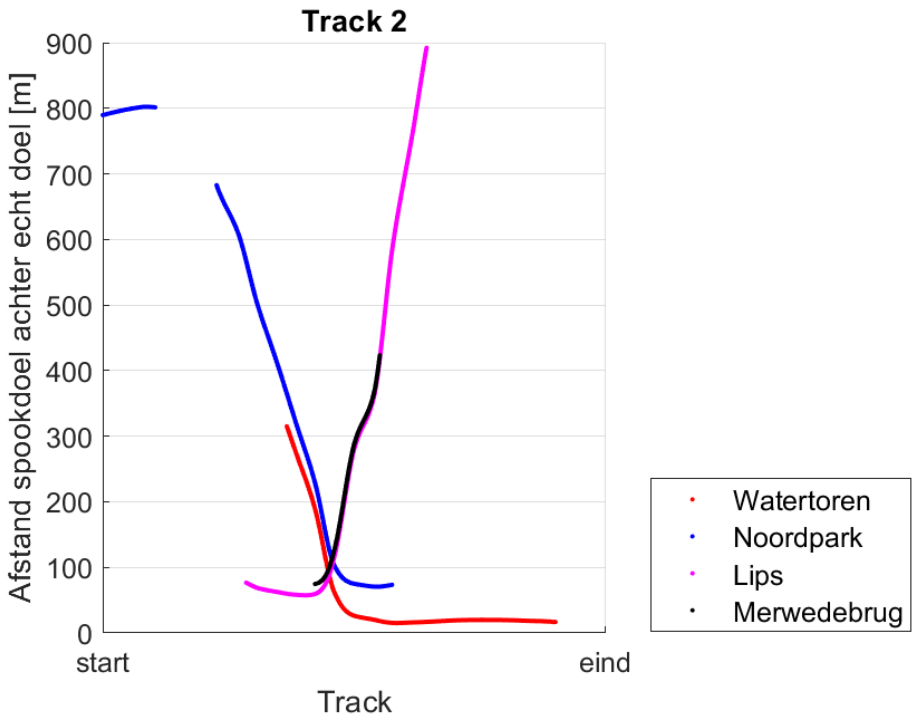
Figuur 16 Afstand spookdoel achter het echte doel voor de spookdoelen van scheepstraject 1.



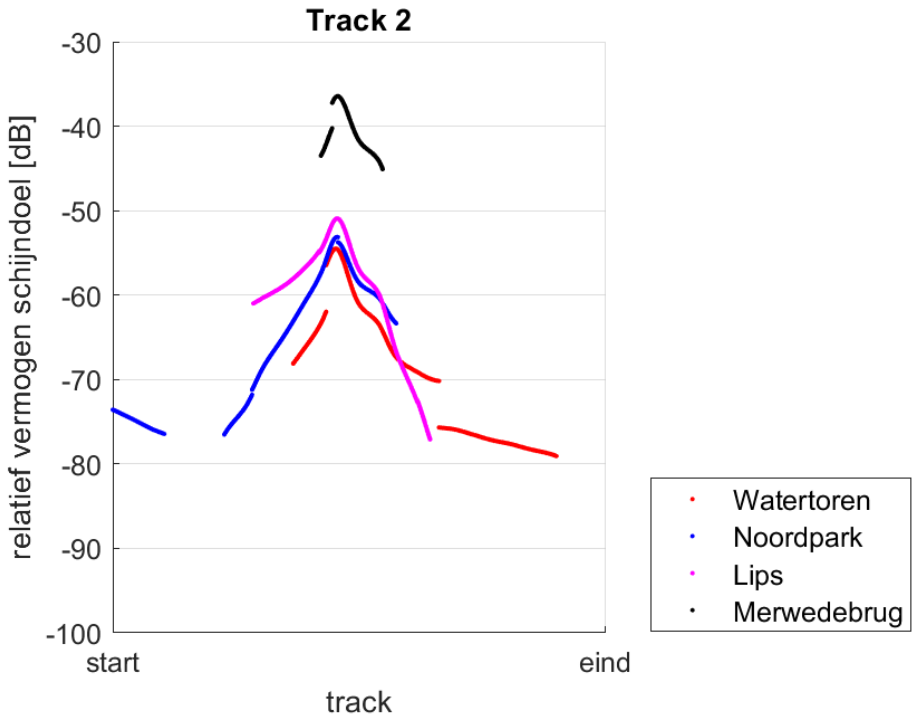
Figuur 17 Relatief vermogen van de spookdoelen ten opzichte van het echte doel voor scheepstraject 1.

Scheepstraject 2 (wit)

Figuur 18 geeft de afstand weer tussen het doel en het spookdoel voor scheepstraject 2. Wederom is te zien in de figuur dat deze afstanden erg groot worden, tot ongeveer 900 meter. ***Figuur 19*** geeft het relatieve vermogen voor de spooktrajecten behorende bij traject 3 weer. Opnieuw is het relatieve vermogen is laag en bereikt het alleen voor het spooktraject behorende bij VTS Merwedebrug voor korte duur een verzwakking van minder dan 40 dB.



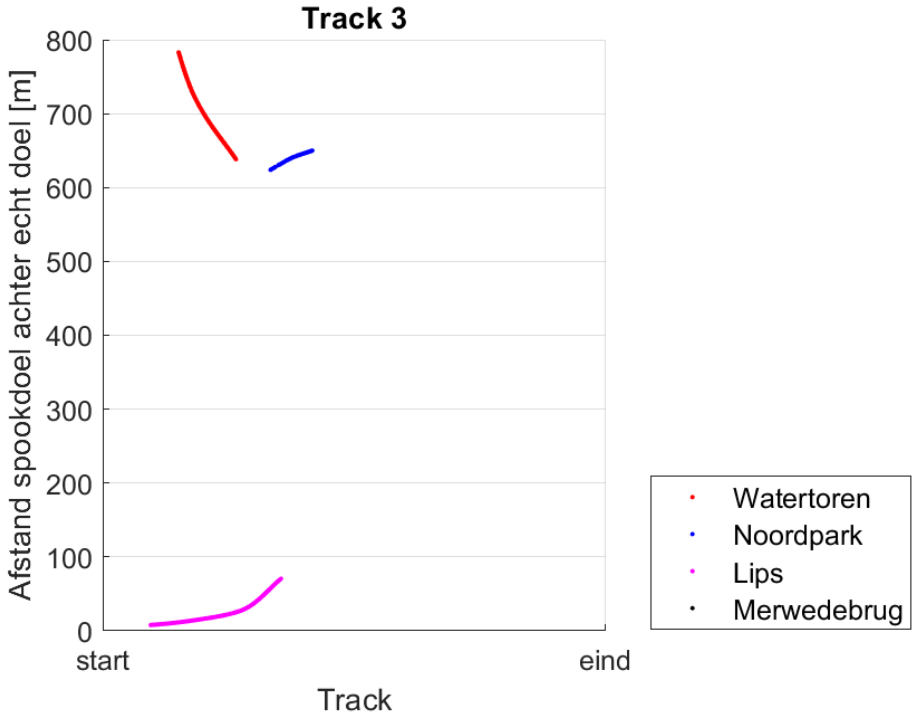
Figuur 18 Afstand spookdoel achter het echte doel voor de spookdoelen van scheepstraject 2.



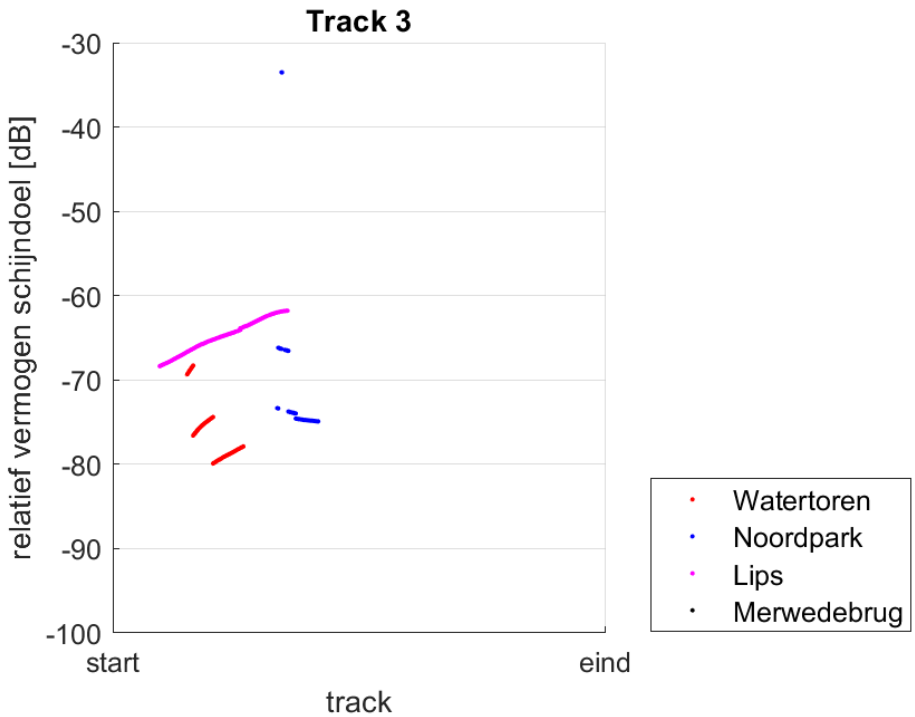
Figuur 19 Relatief vermogen van de spookdoelen ten opzichte van het echte doel voor scheepstraject 2.

Scheepstraject 3 (groen)

Figuur 20 geeft de afstand weer tussen het doel en het spookdoel voor scheepstraject 3. Wederom is te zien in de figuur dat deze afstanden erg groot worden, tot ongeveer 800 meter. ***Figuur 21*** geeft het relatieve vermogen voor de spooktrajecten behorende bij traject 3 weer. Het relatieve vermogen is voor dit traject zeer laag en heeft nooit een verzwakking van minder dan 60 dB.



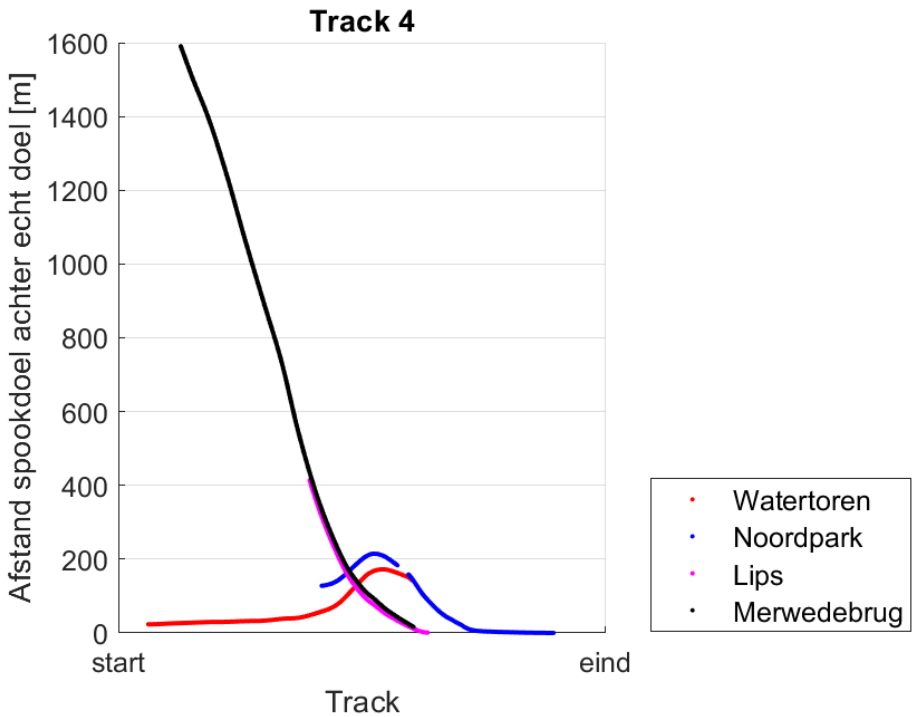
Figuur 20 Afstand spookdoel achter het echte doel voor de spookdoelen van scheepstraject 3.



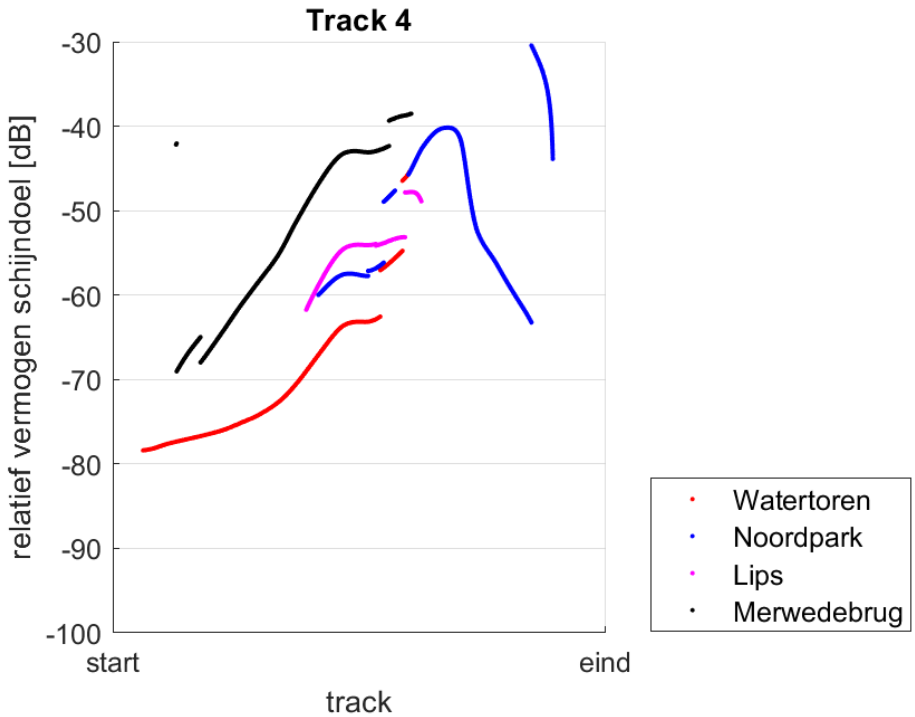
Figuur 21 Relatief vermogen van de spookdoelen ten opzichte van het echte doel voor scheepstraject 3.

Scheepstraject 4 (geel)

Figuur 22 geeft de afstand weer tussen het doel en het spookdoel voor scheepstraject 4. Wederom is te zien in de figuur dat deze afstanden erg groot worden, tot ongeveer 1600 meter. ***Figuur 23*** geeft het relatieve vermogen voor de spooktrajecten behorende bij traject 4 weer. Het relatieve vermogen voor dit traject blijft ten alle tijden onder de -30 dB.



Figuur 22 Afstand spookdoel achter het echte doel voor de spookdoelen van scheepstraject 4.

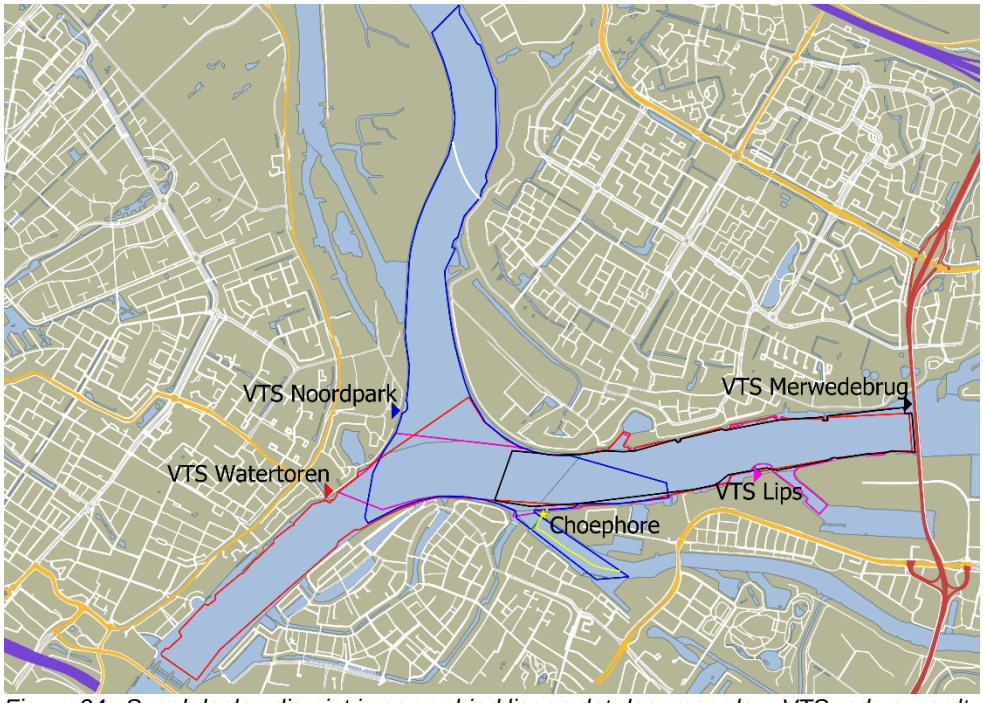


Figuur 23 Relatief vermogen van de spookdoelen ten opzichte van het echte doel voor scheepstraject 4.

8 Afstand tussen het werkelijke en spook doel en het relatief vermogen wanneer er maar dekking is vanuit een enkele VTS walradar

Tot slot is er ook nog gekeken welke van de spooktrajecten niet door processing uit het systeem gehaald kunnen worden. Dit zijn de spooktrajecten die de mozaïeken vallen die geen dubbele dekking hebben. Voor elk traject is weer een plot gemaakt die de afstand weergeeft tussen echt doel en spookdoel. Ook is het relatief vermogen weergegeven per spookdoel.

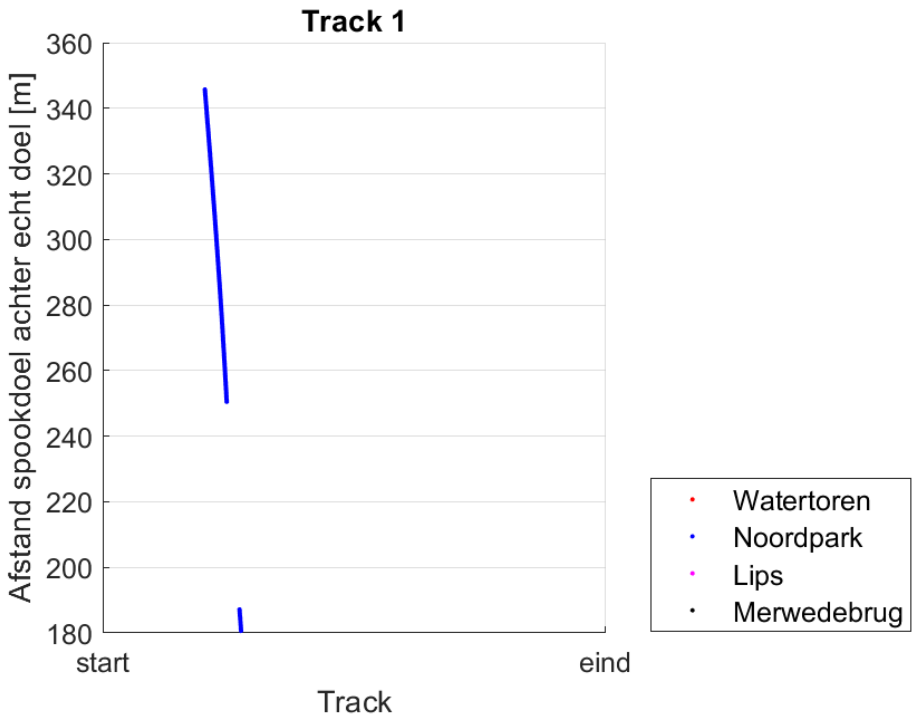
Figuur 24 geeft de spooktrajecten weer die niet in een gebied liggen dat door meerdere VTS radars belicht wordt. Om overzicht te bewaren zijn de originele tracks niet weergegeven. Het noordelijke deel van de mozaïek van VTS Noordpark en het deel in de Wantij zijn kwetsbaar voor spookdoelen.
De spookdoelen zijn in de figuur aangegeven met een witte lijn in het noordelijk deel van de mozaïek en met een gele lijn in de Wantij.



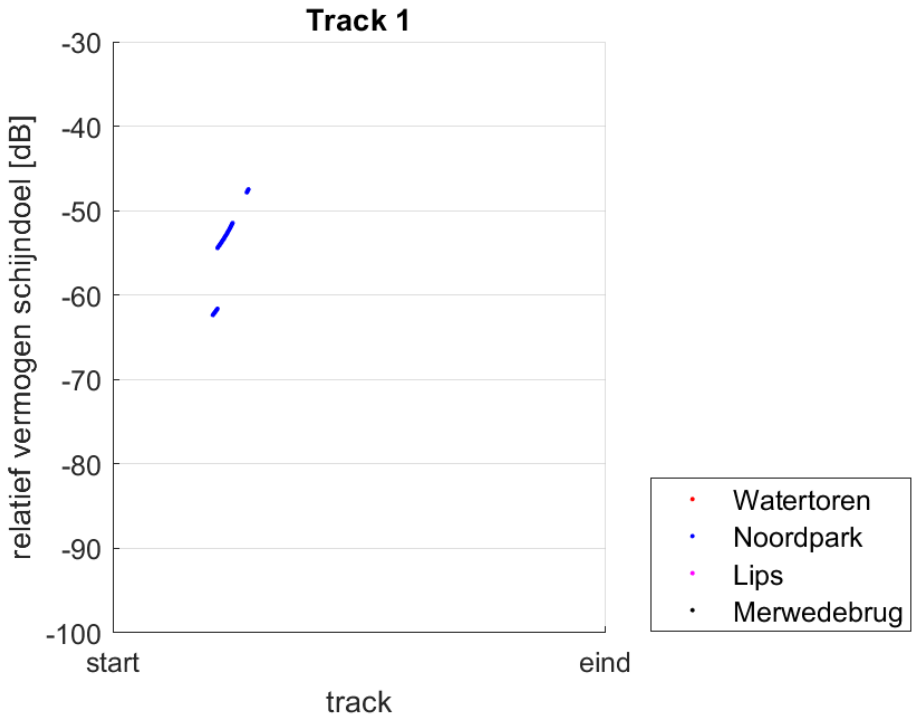
Figuur 24 Spookdoelen die niet in een gebied liggen dat door meerdere VTS radars wordt bekeken. Om overzicht te bewaren zijn de originele trajecten niet weergegeven.

Scheepstraject 1 (oranje)

Figuur 25 geeft de afstand weer tussen het doel en het spookdoel voor scheepstraject 1. Zoals valt waar te nemen in de figuur kan alleen het spookdoel gegenereerd door VTS Noordpark niet worden weggewerkt. ***Figuur 26*** geeft het relatieve vermogen voor de spooktrajecten behorende bij traject 1 weer.
Het relatieve vermogen is laag en bereikt nooit een verzwakking van minder dan 45 dB.



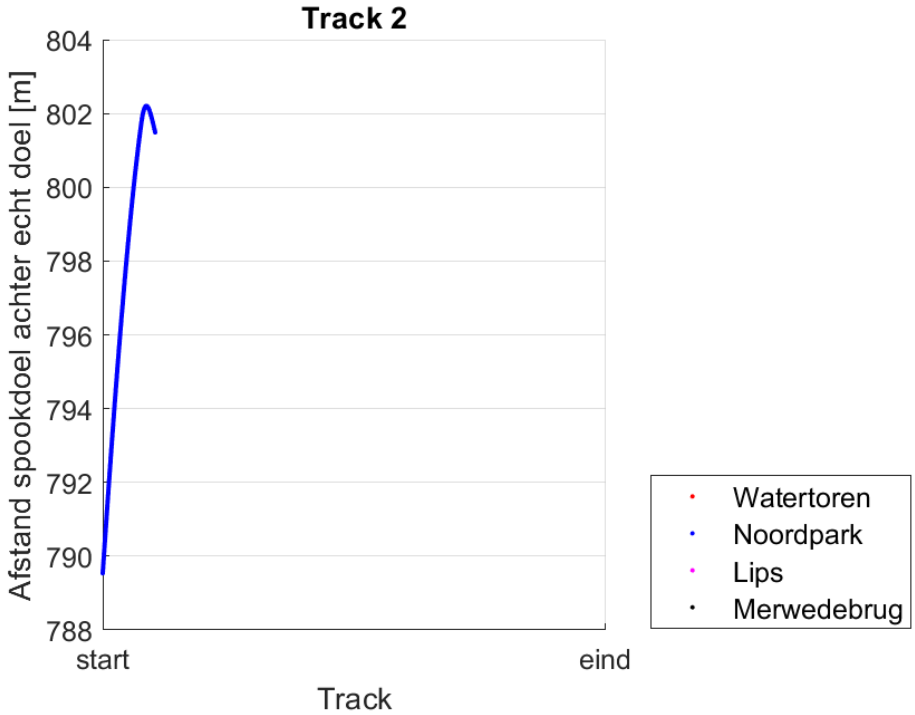
Figuur 25 Afstand spookdoel achter het echte doel voor de spookdoelen van scheepstraject 1.



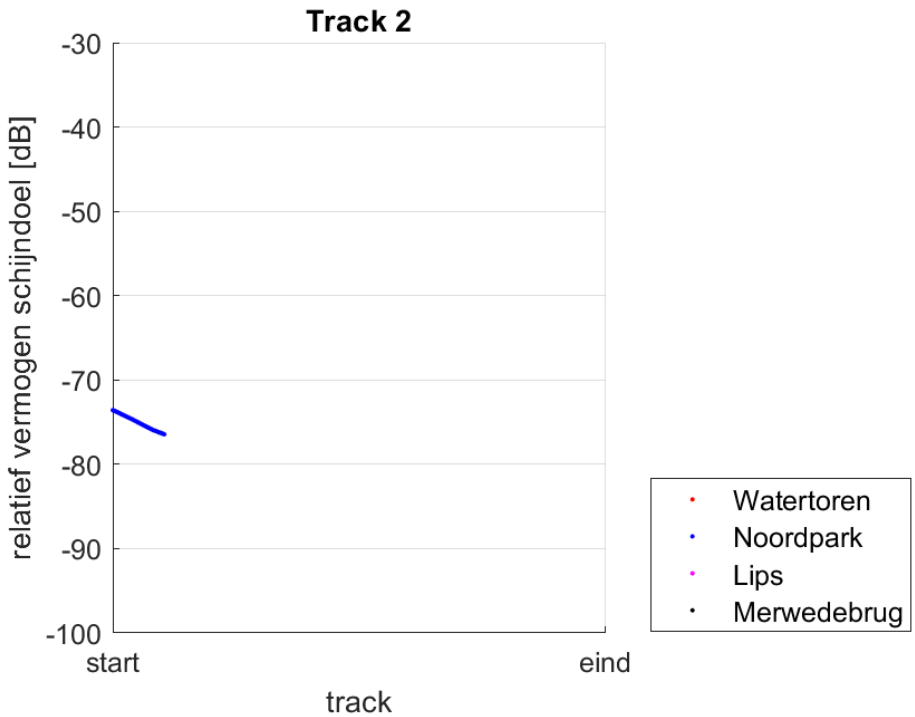
Figuur 26 Relatief vermogen van de spookdoelen ten opzichte van het echte doel voor scheepstraject 1.

Scheepstraject 2 (wit)

Figuur 27 geeft de afstand weer tussen het doel en het spookdoel voor scheepstraject 2. Zoals valt waar te nemen in de figuur kan alleen het spookdoel gegenereerd door VTS Noordpark niet worden weggewerkt. De afstand van het spooktraject tot het echte traject varieert rond de 800 meter. ***Figuur 28*** geeft het relatieve vermogen voor de spooktracks behorende bij track 2 weer. Het relatieve vermogen is laag en bereikt nooit een verzwakking van minder dan 70 dB. Hierdoor is de kans op een continue radardetectie en dus de opbouw van een track laag.



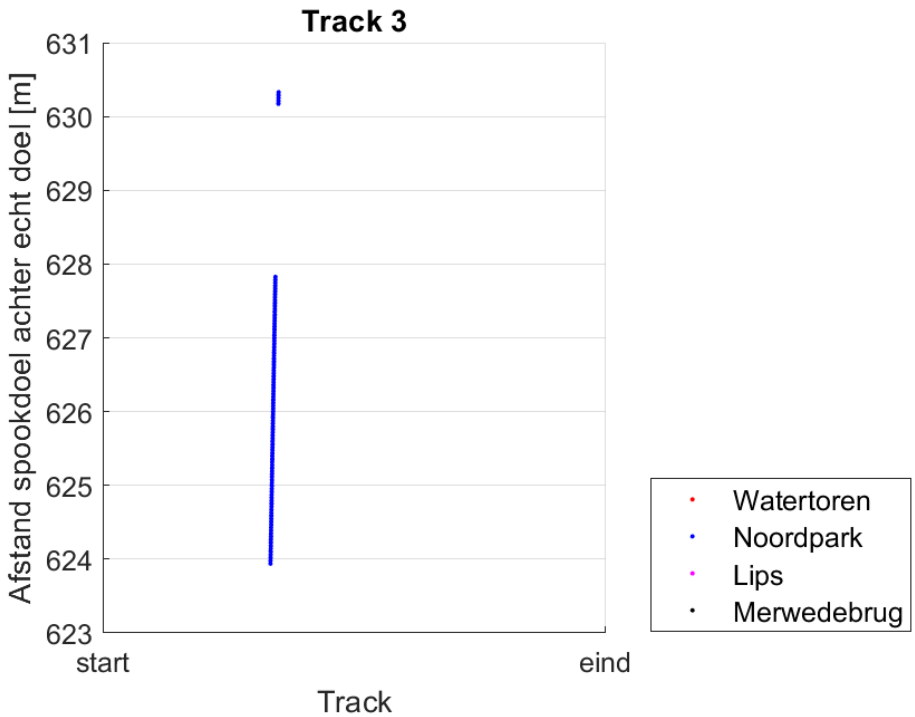
Figuur 27 Afstand spookdoel achter het echte doel voor de spookdoelen van scheepstraject 2.



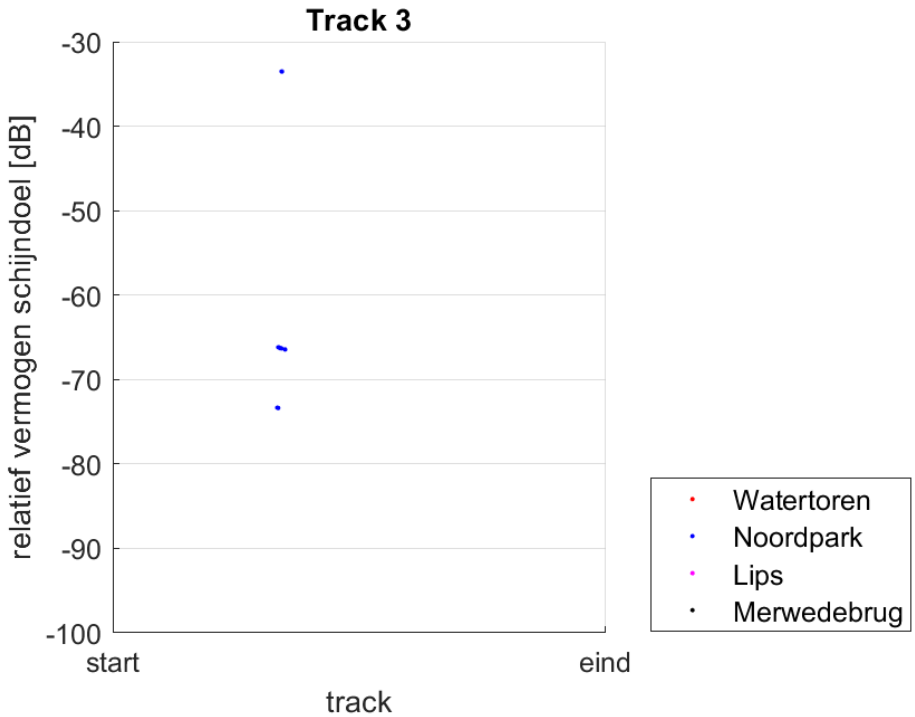
Figuur 28 Relatief vermogen van de spookdoelen ten opzichte van het echte doel voor scheepstraject 2.

Scheepstraject 3 (groen)

Figuur 29 geeft de afstand weer tussen het doel en het spookdoel voor scheepstraject 3. Zoals valt waar te nemen in de figuur kan alleen het spookdoel gegenereerd door VTS Noordpark niet worden weggewerkt. ***Figuur 30*** geeft het relatieve vermogen voor de spooktrajecten behorende bij scheepstraject 3 weer. Slechts voor een heel korte afstand bereikt het vermogen verzwakking van minder dan 40 dB. Verder blijft de verzwakking groter dan 60 dB.



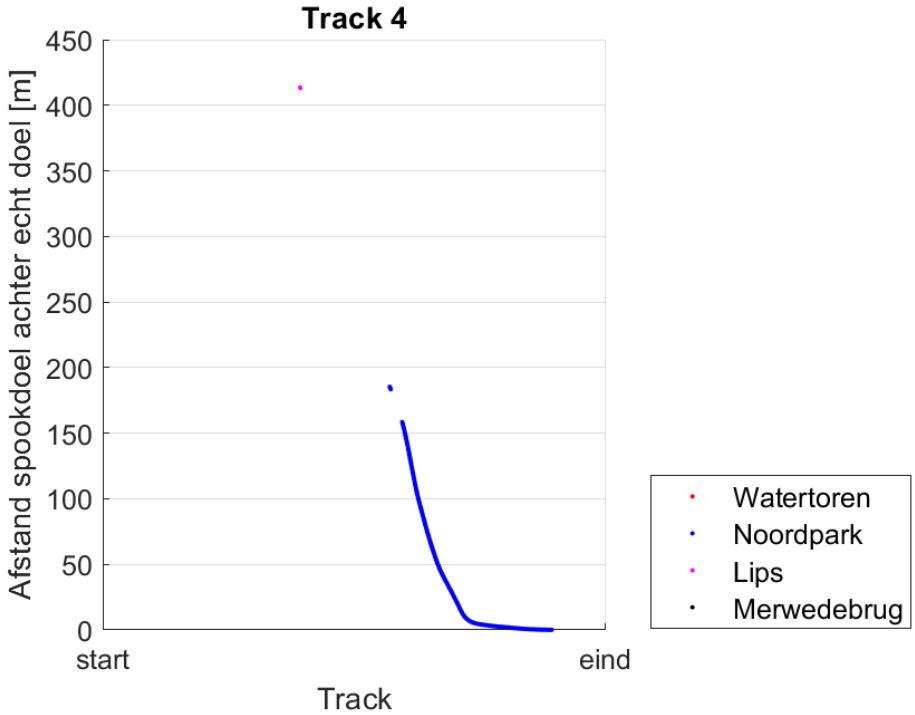
Figuur 29 Afstand spookdoel achter het echte doel voor de spookdoelen van scheepstraject 3.



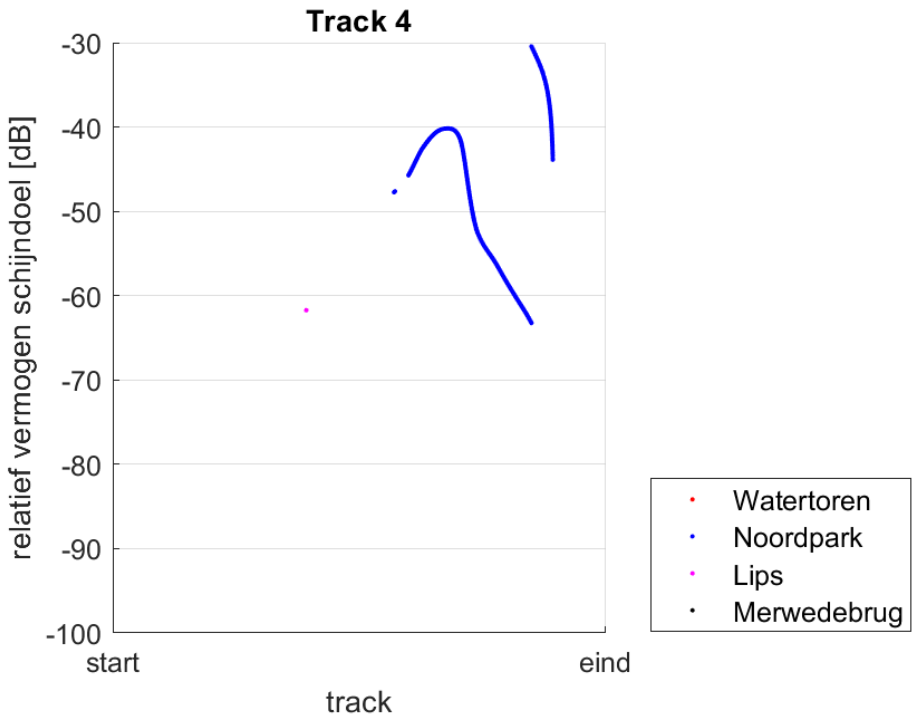
Figuur 30 Relatief vermogen van de spookdoelen ten opzichte van het echte doel voor scheepstraject 3.

Scheepstraject 4 (geel)

Figuur 31 geeft de afstand weer tussen het doel en het spookdoel voor scheepstraject 4. Zoals valt waar te nemen in de figuur kan alleen het spookdoel gegenereerd door VTS Noordpark en een instantaan spookobject gegenereerd door VTS Lips niet worden weggewerkt. Gezien vanuit VTS Noordpark heeft het spooktraject een afstand variërend van circa 150 meter tot 0.1 meter tot het schijndoel. ***Figuur 32*** geeft het relatieve vermogen voor de spooktracks behorende bij scheepstraject 4 weer. De verzwakking blijft ten alle tijden boven de 30 dB.



Figuur 31 Afstand spookdoel achter het echte doel voor de spookdoelen van scheepstraject 4.



Figuur 32 Relatief vermogen van de spookdoelen ten opzichte van het echte doel voor scheepstraject 4.

9 Discussie en interpretatie van de resultaten

Schaduwwerking

Er is sprake van schaduwwerking vanwege het te plaatsen standbeeld op de VTS radars rond het havengebied. Deze valt bijna volledig buiten de VTS mozaïeken. Slechts een malle strook ter grootte van maximaal 10 meter breed en maximaal 180 meter lang, valt binnen de mozaïek van VTS Noordpark in de Wantij.
De strook is maximaal 10 m smal ten opzichte van de meest gangbare vaarrichting, waardoor een schip dat langer is dan 10 m zich nooit zal kunnen verschuilen in de schaduw en daardoor tijdelijk onzichtbaar worden voor alle VTS radars. Daarnaast zal een schip zich altijd langzaam verplaatsen, waardoor het verlies van de radar track binnen het VTS systeem onwaarschijnlijk is.

Relatief vermogen: worst-case aannames

Uit de resultaten in de vorige paragraaf blijkt dat voor alle scheepstrajecten het vermogen van het schijndoel ten minste 30 dB lager ligt dan het vermogen van het echte doel. In principe is dit niet laag genoeg om het schijndoel onzichtbaar te laten zijn voor de radar. Echter, gezien de worst-case aannames in de berekening, betekent dit ook zeker niet dat schijndoelen zich in iedere situatie zullen voordoen. Om de resultaten correct te kunnen interpreteren, bespreken we hier de onderliggende (worst-case) aannames in de berekening van het relatief vermogen.

Het relatief vermogen is een samenspel van drie factoren: (1) de bistatische radardoorsnede van het standbeeld, (2) de geometrie en (3) de hoofdlus-zijlus verhouding van de radarantenne.
De eerste factor, de bistatische radardoorsnede van het standbeeld, is een maat voor de grootte van de reflectie in een andere richting dan terug naar de radarantenne. Voor wat betreft deze factor hebben we een worst-case aanname gedaan door de eerdergenoemde radardoorsnede van een cilinder te gebruiken. De breedte is gekozen gelijk aan de breedte van de sokkel en hoogte van de cilinder is gelijk gekozen aan de effectieve lengte. De effectieve lengte is de grootte van een object waarover het faseverloop van een inkomende golf op een gegeven afstand kleiner is dan een halve golflengte. De fase van de reflectie van het gebied buiten de effectieve lengte varieert zeer snel. Een cilinder die breder en/of hoger is dan de effectieve lengte zal daarom ongeveer dezelfde radardoorsnede hebben. Het gedeelte van het object groter dan de effectieve lengte draagt niet meer bij aan de totale radardoorsnede. De bistatische reflectieberekeningen zijn dus een worst-case benadering.

Locaties van schijndoelen

Ondanks bovenstaande nuancering van het relatief vermogen, kunnen er zich altijd situaties voordoen waarin sterke reflecties via het standbeeld terug naar de radarantenne komen. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen in de situatie waarin de radardoorsnede van het doel zeer groot. In dat geval is naast het relatieve vermogen de locatie van het schijndoel belangrijk. Hoe dichter het schijndoel zich achter het werkelijke doel bevindt hoe beter. Als het schijndoel zich in dezelfde of een naburige resolutiecel bevindt als het werkelijke doel is het schijndoel niet of nauwelijks waarneembaar als een separaat doel. In de resultaten is te zien dat de afstand tot het schijndoel ruim groter is dan de grootte van een resolutiecel.

Ondersteuning van andere radarsystemen en trackopbouw
Omdat de VTS radars een deels overlappend mozaïek hebben kunnen de radarsystemen elkaar ondersteuning bieden in de overlappende sectoren.
Dit biedt extra mogelijkheden om de schijndoelen veroorzaakt door het beeld te onderdrukken. Zoals gezegd, bevindt een schijndoel zich altijd achter het doel en is het dus alleen zichtbaar voor een enkel radarsysteem. Alleen de spooktrajecten in de mozaïek van VTS Noordpark kunnen niet volledig worden opgevangen door de andere VTS radars en kan spooktrajecten veroorzaken van circa 400 meter lang.

10 Conclusies

In deze rapportage is de invloed onderzocht van het nieuw te plaatsen standbeeld Choëphore op de VTS radars Noordpark, Watertoren, Lips en Merwedebrug. Hierbij is gekeken naar het mogelijk optreden van schaduwwerking en schijndoelen als gevolg van dubbele reflecties via het standbeeld.

Aan de hand van het onderzoek komt TNO tot de volgende conclusies:

- Er is sprake van schaduwwerking vanwege het te plaatsen standbeeld op de VTS radars rond het havengebied. Deze valt bijna volledig buiten de VTS mozaïeken. Slechts een malle strook ter grootte van maximaal 10 meter breed en maximaal 180 meter lang, valt binnen de mozaïek van VTS Noordpark in de Wantij. De strook is maximaal 10 m smal ten opzichte van de meest gangbare vaarrichting, waardoor een schip dat langer is dan 10 m zich nooit zal kunnen verschuilen in de schaduw en daardoor tijdelijk onzichtbaar worden voor alle VTS radars. Daarnaast zal een schip zich altijd langzaam verplaatsen, waardoor het verlies van de radar track binnen het VTS systeem niet waarschijnlijk is.
- De kans op schijndoelen, veroorzaakt door reflecties via het standbeeld, is reëel. Er kunnen spooktrajecten van enkele honderden meters ontstaan.
- Vanwege ondersteunende dekking van de VTS walradars kunnen de meeste schijndoelen door meervoudige radardekking ondervangen worden in de processing van de radarketen. Dit kan echter niet worden gerealiseerd in sommige gedeeltes van de mozaïek van VTS Noordpark. Zowel in de Noord als in de Wantij kunnen mogelijk spooktrajecten ontstaan van enkele honderden meters lang. Het spookdoel in de Noord ligt circa 800 meter achter het daadwerkelijke doel en heeft een minimale verzwakking van 70 dB. Hierdoor is de kans op een continue radardetectie en dus de opbouw van een track laag. In de Wantij varieert de afstand tot het spookdoel van 150 tot 0.1 m. De verzwakking is minimaal 30 dB.