

Zon-PV Potentiëstudie

Zonnepanelen op infrastructuur van de RET



Sweco Nederland B.V.
Onderwerp:

Handelsregister 30129769
Zon-PV potentiestudie RET

Projectnummer:

51010828

Gecontroleerd door:



Johan Merks

Klant:

Gemeente Rotterdam

Vrijgegeven door:



Arjan Bogaard

Datum:

28-08-2022

Auteur:

Koen Ligthart

Document referentie:

NL22-648800269-30642

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	De aanpak	4
1.3	Het stappenplan	4
1.3.1	Potentiescan locaties	4
1.3.2	Uitwerken globale businesscases	5
1.3.3	Vervolgstappen	5
2.	Potentiëstudie	6
2.1	De scope	6
2.2	Kansrijke infrastructuur	7
2.2.1	Wat maakt een locatie geschikt?	7
2.2.2	Het bepalen van het theoretisch piekvermogen	8
2.2.3	Theoretisch vermogen van de locaties	9
2.3	Grove haalbaarheidsstudie	10
2.4	Shortlist	12
3.	Businesscase	19
3.1	Belangrijke parameters businesscase	19
3.2	Uitgangspunten	19
3.3	Resultaten	21
4.	Conclusies	24
5.	Vervolgstappen	26
	Appendix 1 Overzicht infrastructuurele objecten	29
	Appendix 2 SDE++ subsidie	34
	Appendix 3 Toelichting parameters businesscase	35
	Appendix 4 Verdeling van de zoninstraling per object	37

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

De Rotterdamse Elektrische Tram N.V. (hierna RET) is een Nederlands vervoer bedrijf dat actief is in het stads- en streekvervoer in en rondom de stad Rotterdam. De RET heeft het doel gesteld om in 2030 energiepositief te zijn. In 2030 wil de RET meer stroom opwekken dan gebruiken. Dit staat gelijk aan een jaarlijks stroomverbruik van meer dan 40.000 huishoudens¹. Eén van de manieren waarop zij dit willen doen is door de opwek van zonnestroom. Zo heeft de RET op een aantal daken van hun assets al zonnepanelen geplaatst.

Naast het plaatsen van zonnepanelen op daken, is het ook mogelijk om op infrastructurele objecten zonnepanelen te plaatsen. Dit zijn zonnepanelen op bruggen, viaducten, geluidsschermen en groenstroken in beheer van de RET.

De gemeente Rotterdam en de RET hebben Sweco gevraagd om de potentie van zonnepanelen op de infrastructurele objecten en groenstroken van de RET in kaart te brengen.

1.2 De aanpak

De RET heeft diverse viaducten, groenstroken en geluidsschermen in beheer. Er is een scan uitgevoerd waarin al deze infrastructurele objecten zijn gebundeld en in kaart gebracht. Voor alle locaties is het theoretische potentieel vermogen berekend, op basis van de beschikbare oppervlakte of lengte van de locatie/het object.

Vervolgens is er een grove schifting gemaakt van de meest kansrijke objecten. De kansrijkheid is bepaald aan de hand van diverse criteria. Daarna is een top 10 van objecten opgesteld, waarvoor businesscases zijn uitgewerkt.

Tot slot is per locatie advies gegeven en zijn de vervolgstappen uiteengezet.

1.3 Het stappenplan

1.3.1 Potentiescan locaties

Ten eerste is de 0-situatie in kaart gebracht. Er is gebruik gemaakt van diverse databestanden vanuit de gemeente Rotterdam en de RET. De databestanden variëren van GIS kaarten, Excelbestanden met naamgeving van het object en de kilometrering van het spoor waar een object ligt. De volgende objecten zijn onderzocht:



Viaducten en (spoor)bruggen

Een viaduct of een brug is een ongelijkvloerse kruising van twee of meer (spoor)wegen. Zonnepanelen kunnen op de zijkanen van de viaducten worden geplaatst.

¹ <https://corporate.ret.nl/mvo/milieu>



Groenstroken

Groenstroken zijn begroeide delen langs de objecten en spoorbanen van de RET.



Geluidsschermen

Een geluidsscherm wordt toegepast langs (spoor)wegen om de geluidshinder voor de omwonenden te verminderen. Zonnepanelen kunnen geplaatst worden op de schermen.

Per object is de beschikbare lengte, breedte en oppervlakte berekend. Met behulp van kengetallen is een grove inschatting gemaakt van het aantal te plaatsen zonnepanelen, het nominaal vermogen en de verwachte jaarlijkse energieopbrengst.

De objecten zijn beoordeeld aan de hand van expert judgement. Hierbij is onder meer de complexiteit van de realisatie van het zonnestelsel, schaduwval, gevoeligheid voor vandalisme en aansluiting op het elektriciteitsnet onderzocht.

Het resultaat is een beoordeling en filtering op de meest kansrijke objecten. Vervolgens is samen met de RET en de gemeente Rotterdam een top 10 objecten uitgekozen.

1.3.2 Uitwerken globale businesscases

Afhankelijk van het aantal locaties en objecten zijn de meest potentiële opties uitgewerkt in globale businesscases. In totaal zijn 10 businesscases uitgewerkt. Voorafgaand aan de uitwerking van de businesscases zijn samen met de RET parameters en uitgangspunten uitgekozen aangezien RET de beoogde investeerder en exploitant zal zijn. Voor het uitwerken van businesscases zijn marktconforme uitgangspunten gebruikt, tenzij anders afgesproken. Denk hierbij aan de kosten van het PV-systeem en de energieopbrengsten. De uitkomsten van de businesscases zijn weergegeven in de terugverdientijd en de onrendabele top.

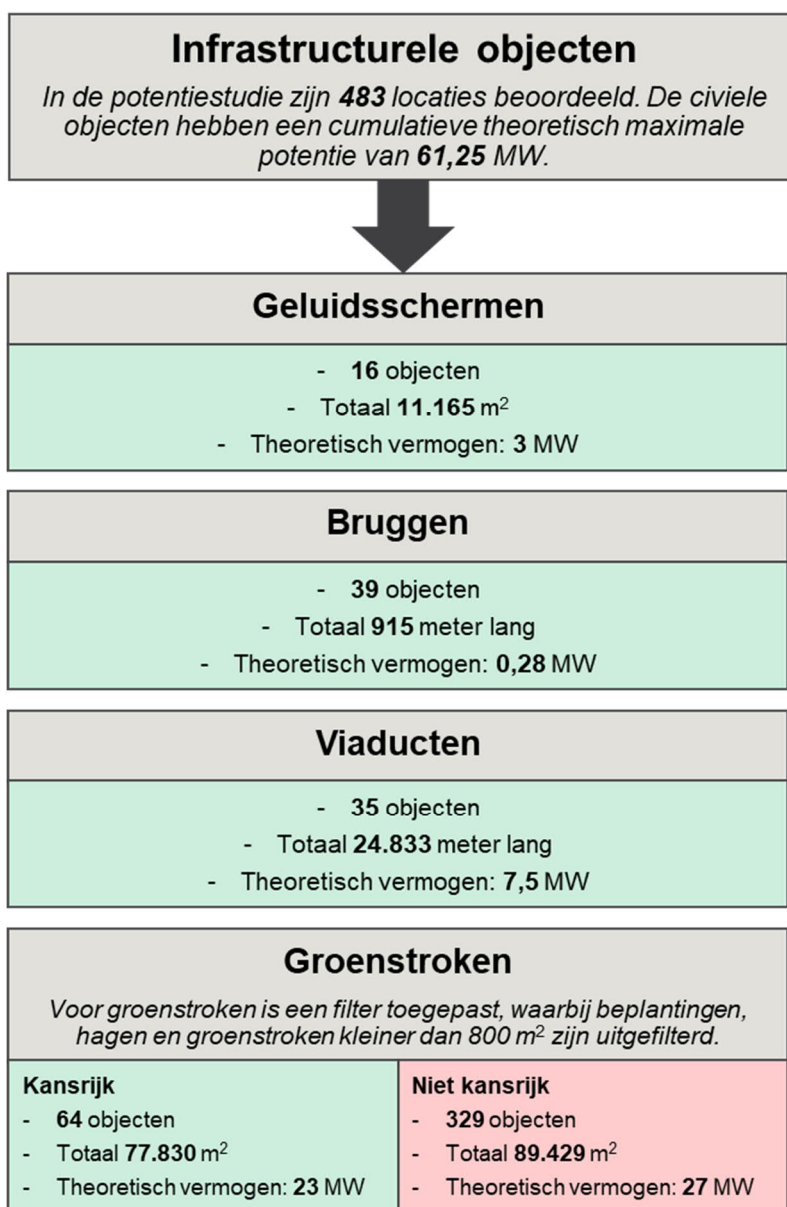
1.3.3 Vervolgstappen

In de laatste stap is vervolgadvis gegeven. Hierin zijn de vervolgstappen geconcretiseerd, afhankelijk van de uitkomst uit stap 2. Denk aan een vervolgstudie, zoals constructieberekeningen, het maken van globale legplannen of advies over het direct aansluiten van de zonnepanelen op de systemen van de RET. Ook overige vervolgstappen zijn toegelicht.

2. Potentiestudie

2.1 De scope

Om kansrijke locaties voor zonnepanelen op infrastructuur in kaart te brengen, moet eerst de scope van de studie worden vastgelegd. Het gaat daarbij om het onderzoeksgebied en een overzicht van de verschillende soorten infrastructuur in beheer van de RET. Vanuit de RET is een lijst aangeleverd met te onderzoeken infrastructuurele objecten bestaande uit:

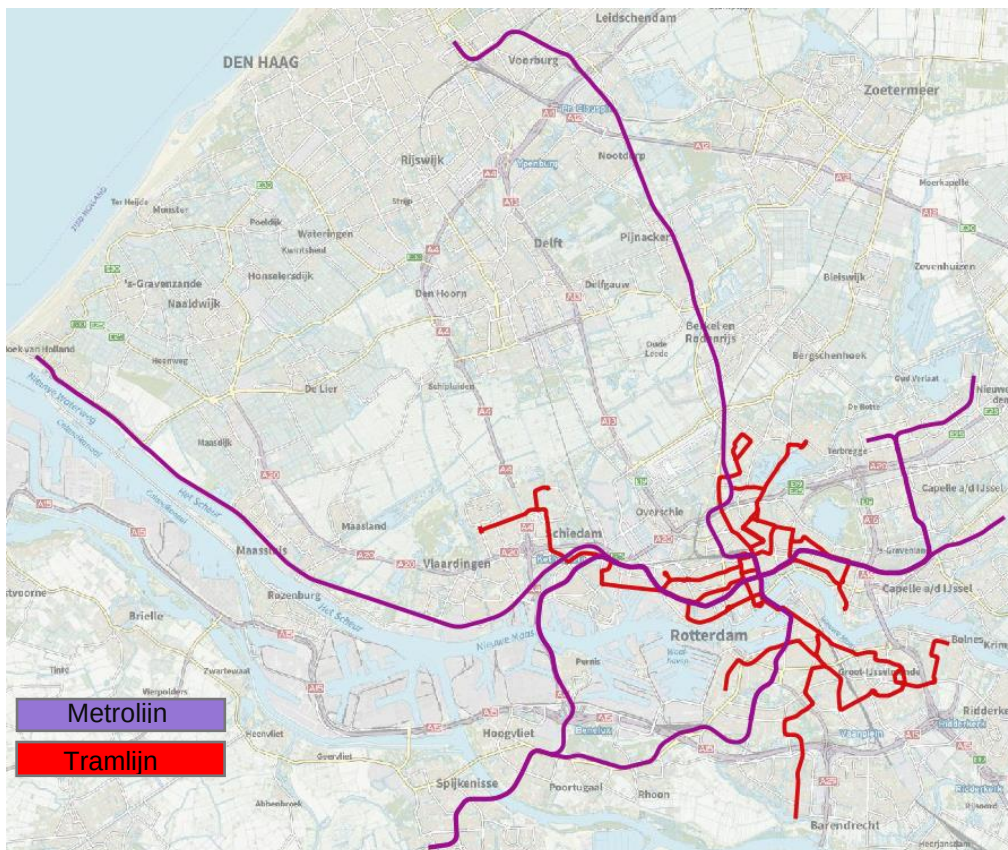


Figuur 1: Overzicht van de infrastructuurele objecten binnen de scope van de RET.

Op de groenstroken na zijn de bovenstaande objecten niet verwerkt in digitale kaarten, maar gelokaliseerd met Google Earth.

Het onderzoeksgebied

Het spoornetwerk van de RET ligt niet alleen in de gemeente Rotterdam. In totaal heeft de RET 187 km aan tram enkelspoor en 217 km aan metro enkelspoor. Dit verbindt onder meer de plaatsen Den Haag, Rotterdam, Vlaardingen, Hoek van Holland, Schiedam, Nesselande, Capelle aan de IJssel en Spijkenisse met elkaar.



Figuur 2: Overzichtskartaan van het spoornetwerk van de RET.

2.2 Kansrijke infrastructuur

2.2.1 Wat maakt een locatie geschikt?

Een locatie kan om meerdere redenen kansrijk zijn. Dit heeft zowel technische als financiële redenen. Deze redenen hebben tevens invloed op elkaar.

Technisch gezien is het plaatsen van zonnepanelen op infrastructurele objecten complexer dan veldopstellingen en daksystemen (conventionele locaties). Bijvoorbeeld: zonnepanelen moeten worden opgehangen in plaats van op de grond of een dak worden geplaatst. Omdat de complexiteit van de realisatie hoger is door onder meer lastige bereikbaarheid zijn de investerings- en onderhoudskosten ook hoger. Figuur 3 geeft inzicht in enkele parameters die belangrijk zijn voor de haalbaarheid van zonprojecten. Hierbij worden grof de verschillen tussen conventionele locaties en de locaties en objecten in deze studie weergegeven.

De daadwerkelijke invulling van de parameters in Figuur 3 is sterk afhankelijk van de situatie en daarom slechts indicatief.

Locatietype	Investing	Ontwikkelkosten	Exploitatiekosten	Inkomsten	Zoninstraling	Haalbaarheid
						
Conventioneel						
Groot (≥ 1 MW)	€	€	€	€€€€	+++	+++
Klein (< 1 MW)	€€	€	€	€€€	+++	++
Zon op infra						
Bruggen & viaducten	€€€€	€€	€€€€	€	--	--
Geluidsschermen	€€€	€€	€€€	€	+	-
Groenstroken	€€	€	€€	€€€	+++	++

Figuur 3: Overzicht van financiële en technische aspecten voor zonnepanelen op diverse locaties.

2.2.2 Het bepalen van het theoretisch piekvermogen

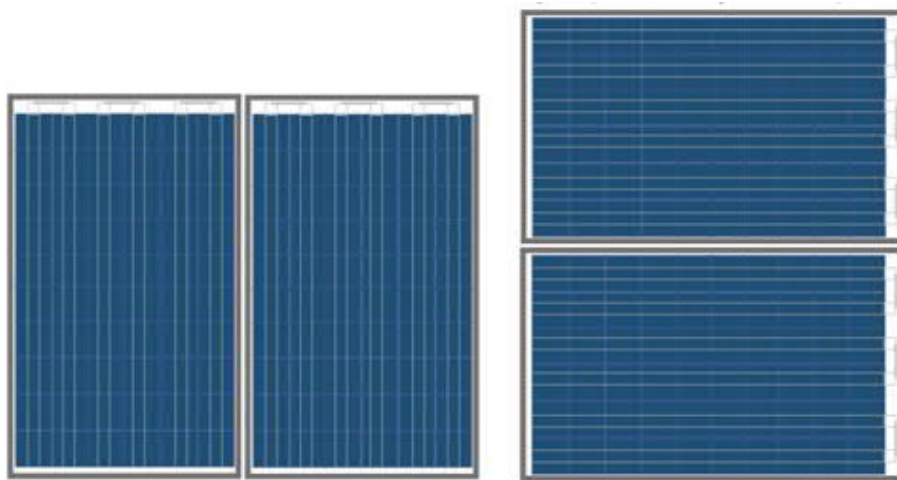
In deze studie wordt onderzocht hoeveel energie een infrastructureel object of locatie met zonnepanelen in potentie kan opwekken. Dit noemen we het potentieel theoretisch vermogen van een object of locatie. Hiertoe is gebruik gemaakt van kengetallen en berekeningen. Hoeveel zonnestroom er op een locatie opgewekt kan worden hangt tevens af van de oriëntatie, hellingshoek en hoeveelheid schaduw op de zonnepanelen.

Vanuit de data is de totale lengte van infrastructurele objecten en de oppervlakte van groenstroken en geluidsschermen onderzocht. Met behulp van de omvang is vervolgens het aantal panelen en het theoretische vermogen berekend.

Bij groenstroken en geluidsschermen is het uitgangspunt dat er één zonnepaneel per 2 m² kan worden geplaatst.² Dit getal komt voort uit ervaring in soortgelijke studies. Er dient bijvoorbeeld rekening gehouden te worden met looppaden en het plaatsen van transformatoren. Daarom is er rekening gehouden met een dekkingsgraad van 75%, wat betekent dat de driekwart van de locatie gedekt kan worden met zonnepanelen.

Bij bruggen en viaducten is het uitgangspunt dat er per 2 meter lengte één zonnepaneel bevestigd kan worden². Dit is berekend op basis van een standaard zonnepaneel in een landschap oriëntatie (zie Figuur 4) die zijn bevestigd aan de reling. Bruggen en viaducten hebben normaliter twee kanten waar zonnepanelen aan bevestigd kunnen worden. Bij een brug van oost naar west is het alleen gunstig om aan de zuidzijde panelen te plaatsen, terwijl bij een brug van noord naar zuid zowel oost- als de westzijde panelen geplaatst kunnen worden. Aangezien de oriëntatie van de brug niet direct uit de data gehaald kan worden, is het uitgangspunt dat er evenveel bruggen van oost naar west als van noord naar zuid lopen. Daarom is het uitgangspunt dat over 1,5 keer de lengte van de bruggen en viaducten zonnepanelen geplaatst kunnen worden.

² Uitgangspunt is een zonnepaneel van 2 bij 1 meter met een piekvermogen van 400 Wp.



Figuur 4: Zonnepanelen in portretopstelling (links) en in landschapopstelling (rechts).

2.2.3 Theoretisch vermogen van de locaties

Geluidsschermen

Van de geluidsschermen was geen digitale data, echter wel de kilometrering van de locaties. Alle geluidsschermen zijn middels objectcodes en spoorcodes gelokaliseerd. Vervolgens zijn de geluidsschermen met het softwaresysteem StreetSmart³ opgemeten. Het theoretisch potentieel vermogen van geluidsschermen is berekend door het totale oppervlak van een geluidsscherm. In totaal is dit voor geluidsschermen binnen de RET 11.165 m². Dit zijn in totaal 16 geluidsschermen met een totale lengte van 4.939 meter en een gemiddelde hoogte van 2 meter.

Het theoretisch potentieel vermogen van zonnepanelen op geluidsschermen is het oppervlak vermenigvuldigd met het totale oppervlak. Echter door de afmetingen van zonnepanelen kan niet het gehele geluidsscherm vol worden gehangen. Daarom is rekening gehouden met een dekkingsgraad van 75%. Voor geluidsschermen is dit in totaal 3 MW. Het overzicht van alle geluidsschermen staat in [Appendix 1](#).

Bruggen

De RET heeft een lijst aangeleverd met in totaal 39 bruggen, waarvan 34 bruggen en 5 spoorbruggen. Normale bruggen gaan over wegen en wateren, spoorbruggen logischerwijs over het spoor.

De totale lengte van de bruggen bedraagt 627 meter met een potentieel theoretisch vermogen van 0,19 MW. De lengtes variëren van minimaal 4 meter tot maximaal 92 meter. Een overzicht van deze bruggen staat in [Appendix 1](#).

De spoorbruggen hebben een gezamenlijke lengte van 288 meter met een potentieel theoretisch vermogen van 0,086 MW. Een overzicht van deze bruggen staat in [Appendix 1](#).

³ [Home page | Cyclomedia](#)

Viaducten

In totaal heeft de RET 35 viaducten (metrospoor op palen) in beheer. Hiervan zijn een aantal viaducten een paar kilometer lang. De langste viaduct is 4.100 meter. Het overzicht van alle viaducten is weergegeven in [Appendix 1](#).

De totale lengte van alle viaducten samen bedraagt 24.833 meter met een potentieel theoretisch vermogen van 7,5 MW.

Groenstroken

De groenstroken zijn aangeleverd via cartografische data (GIS). De groenstroken zijn onderverdeeld in RET tram en RET metro. In totaal zijn dit 393 groenstroken met een totaal oppervlak van 167.259 m² met een potentieel theoretisch vermogen van 50 MW.

Voor de groenstroken is een filter toegepast voor groenstroken, waarbij beplantingen en hagen zijn uitgefilterd. Tevens is een filtering toegepast op groenstroken groter dan 800 m². Dit heeft geresulteerd in een longlist van 64 groenstroken. Het overzicht van deze groenstroken is weergegeven in [Appendix 1](#).

Vanwege hun vorm, zeer smal en erg lang, zijn de groenstroken in beheer van RET helaas niet geschikt voor het plaatsen van zonnepanelen. Het beschikbare groen voor het plaatsen van zonnepanelen ligt tussen of vlak langs (maximaal 50 cm) de tram- en metrorails. In dit onderzoek is geprobeerd minimaal één groenstrook te vinden waarop het technisch mogelijk is om op te plaatsen. Alle groenstroken zijn handmatig langsgelopen, zonder succes. Figuur 5 laat twee voorbeelden zien van groenstroken in beheer van de RET.

Dit soort groenstroken wordt niet meegenomen in de haalbaarheidsstudie. Het is technisch niet mogelijk om zonnepanelen te plaatsen tussen de tramrails of binnen circa 50 cm van een tram- of metrospoor.



Figuur 5: Groenstroken RET

2.3 Grove haalbaarheidsstudie

In deze grove haalbaarheidsstudie is de kans van slagen van de realisatie en economisch verantwoorde exploitatie van zonnepanelen op de gelokaliseerde infrastructurele objecten en groenstroken (zie [Appendix 1](#)) bepaald. Met behulp

van een vooraf opgestelde beoordelingsmatrix zijn de objecten en locaties beoordeeld.

Om de kans van slagen voor het plaatsen van zonnepanelen op de bruggen, viaducten, geluidsschermen en groenstroken te bepalen, is ieder object en locatie op een zevental criteria beoordeeld, zie Tabel 1.

Objectgegevens betreffende criterium 1 en 2 komen uit datasets. De scores van de objecten op criteria 3 tot en met 6 zijn bepaald op basis van expert judgement. Daarbij is ingezoomd op de locatie of het object om te bepalen in welke mate het voldoet aan de criteria.

Tabel 1: Beoordelingsmatrix voor de longlist.

Criteria	1	2	3
1 Grootte	800 tot 3.000 m ²	3.000 tot 10.000 m ²	Groter dan 10.000 m ²
2 Lengte	Korter dan 100 m	100 tot 300 m	Langer dan 300 m
3 Zonstraling	Gedeeltelijke schaduwwerking	Lichtelijke schaduwwerking	Geen schaduwwerking
4 Complexiteit	Ingewikkeld	Gemiddeld	Eenvoudig
5 Vandalisme	Hoog risico	Gemiddeld risico	Laag risico
6 Esthetiek	Grote impact	Gemiddelde impact	Kleine impact

Toelichting methodiek beoordelingsmatrix

1. Grootte

In principe geldt dat een groter oppervlakte een betere businesscase geeft voor het plaatsen van zonnepanelen. De reden hiervoor wordt nader toegelicht in [Appendix 3](#). Dit criterium is enkel meegenomen voor geluidsschermen.

2. Lengte

Dit criterium is meegenomen voor bruggen en viaducten. Voor infrastructurele objecten als bruggen en viaducten is niet de oppervlakte, maar de lengte van belang. De oppervlakte van een brug zegt namelijk niets over de potentie, aangezien zonnepanelen aan de zijkant worden bevestigd. Per object zal de lengte en de oriëntatie van de lengteas beoordeeld worden. Een lengteas met een noord-zuid oriëntatie is kansrijk; zowel aan de oost- als westkant van een brug kunnen zonnepanelen worden geplaatst. Een lengteas met een oost-west oriëntatie is ook kansrijk; aan de zuidkant van de brug kunnen zonnepanelen geplaatst worden. Tevens wordt beoordeeld of meerdere zonnepanelen onder elkaar gehangen kunnen worden.

3. Zonstraling

Zonnepanelen hebben zoninstraling nodig om energie op te wekken. Hoge naastgelegen objecten kunnen schaduw veroorzaken op de zonnepanelen, wat de energieopbrengst negatief beïnvloedt.

4. Complexiteit

Sommige infrastructurele objecten zijn complexe constructies, bijvoorbeeld hoge bruggen of juist bruggen dicht bij het wateroppervlak. Zonnepanelen moeten worden opgehangen op hoge hoogte en er moeten mogelijk wegen worden afgezet voor installatie en onderhoud.

5. Vandalisme

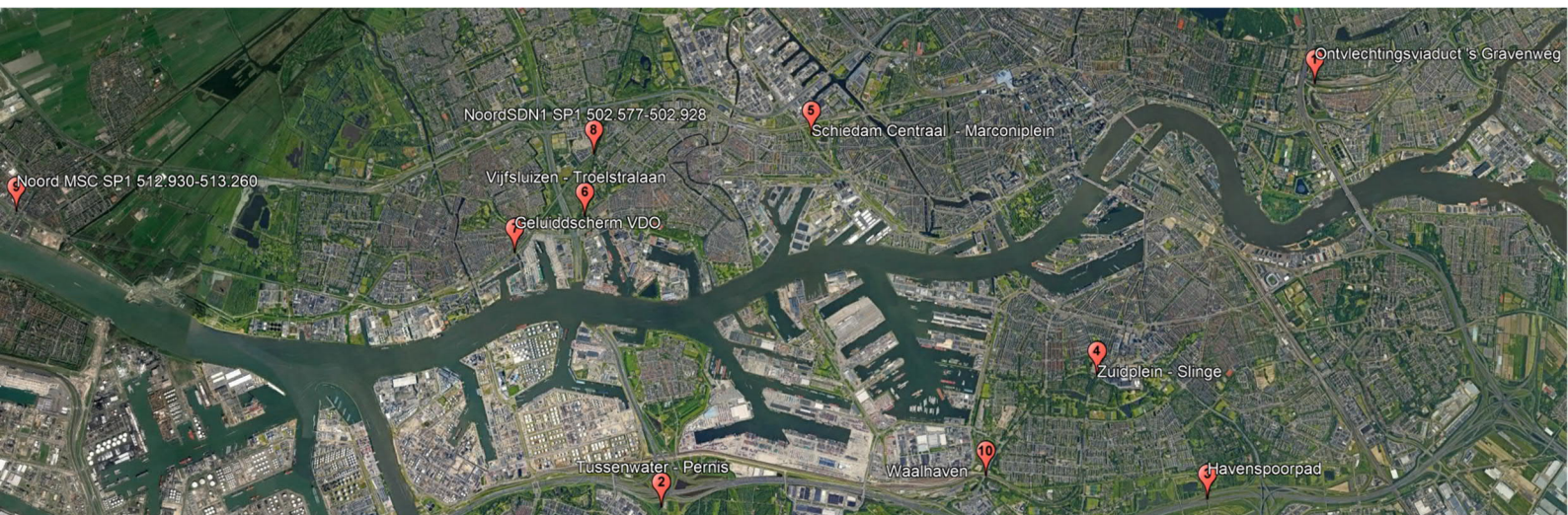
Zonnepanelen moeten diefstal- en vandalismebestendig geplaatst worden. Ze moeten buiten bereik van mensen geplaatst worden. Daarom wordt gekeken naar de bereikbaarheid vanaf de straat en de potentie voor het plaatsen van een hekwerk. Zonnepanelen aan een hoge brug zijn moeilijk bereikbaar en minder gevoelig voor vandalisme. Zonnepanelen aan de buitenkant van een geluidsscherm zonder hekwerk zijn juist gevoeliger voor vandalisme.

6. Esthetiek

Locaties kunnen een bepaalde esthetische waarde hebben of zelfs monumentaal zijn. Zonnepanelen midden in een woonwijk, in een natuurpark of op een monumentaal pand zijn vaak niet gewenst.

2.4 Shortlist

Op basis van de boordelingsmatrix en expert judgement zijn alle bruggen, viaducten en geluidsschermen uit de longlist beoordeeld. Dit heeft geresulteerd in de shortlist van 10 locaties. Deze zijn in Figuur 6 en Tabel 2 weergegeven.



Figuur 6: De shortlist met de top 10 locaties.

De top 10 locaties bestaat uit diverse locaties, waarvan sommige objecten meanderend door de omgeving liggen. Dit zorgt voor een afwisselende zoninstraling per object. Daar is rekening mee gehouden door sommige objecten op te delen en per deel de zoninstraling te berekenen. Een overzicht hiervan staat beschreven in [Appendix 4](#).

Tabel 2: Overzicht van de shortlist.

	Objecttypen	Coördinaten	Oppervlakte of lengte	Realistisch vermogen
1	Viaduct	51.920266 N , 4.537910 E	350 m	70 kW
2	Viaduct	51.871956 N, 4.385229 E	4.000 m	900 kW
3	Viaduct	51.865406 N, 4.503290 E	600 m	240 kW
4	Viaduct	51.883197 N, 4.482101 E	1.512 m	110 kW
5	Viaduct	51.920097 N, 4.423629 E	2.340 m	290 kW
6	Viaduct	51.912020 N, 4.374429 E	850 m	240 kW
7	Geluidsscherm	51.905592 N, 4.353512 E	2.515 m ²	370 kW
8	Geluidsscherm	51.919640 N, 4.376558 E	285 m ²	100 kW
9	Geluidsscherm	51.919593 N, 4.246328 E	156 m ²	65 kW
10	Brug	51.871485 N, 4.455740 E	92 m	20 kW
			Totaal	2.405 kW

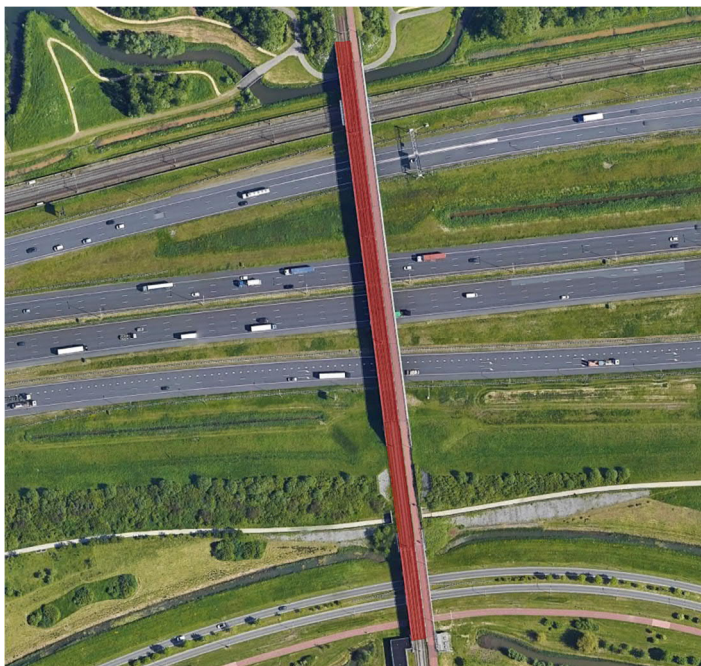
1. Ontvlechtingsviaduct remise 's Gravenweg



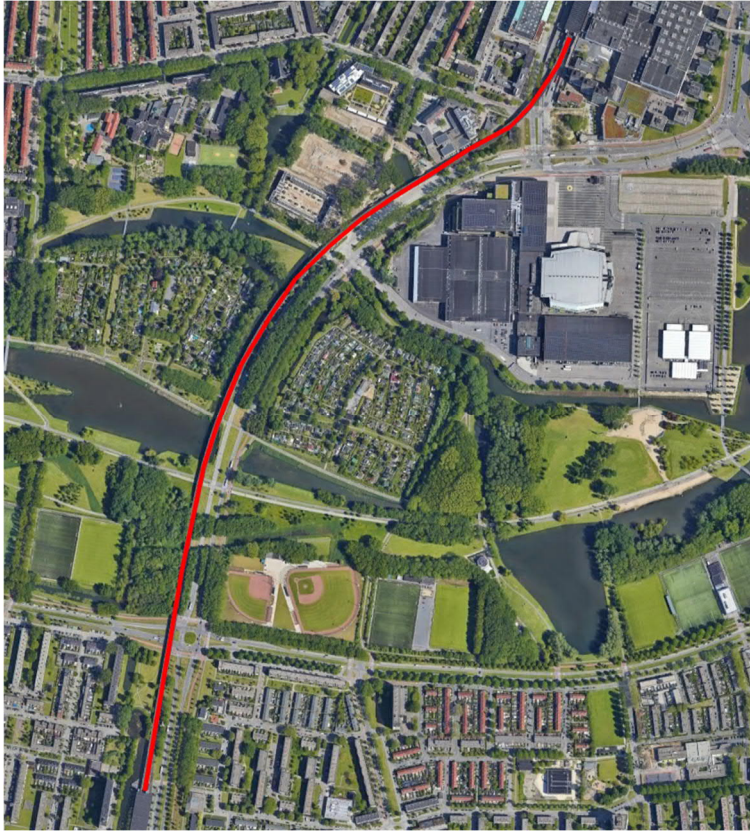
2. Viaduct Tussenwater-Pernis



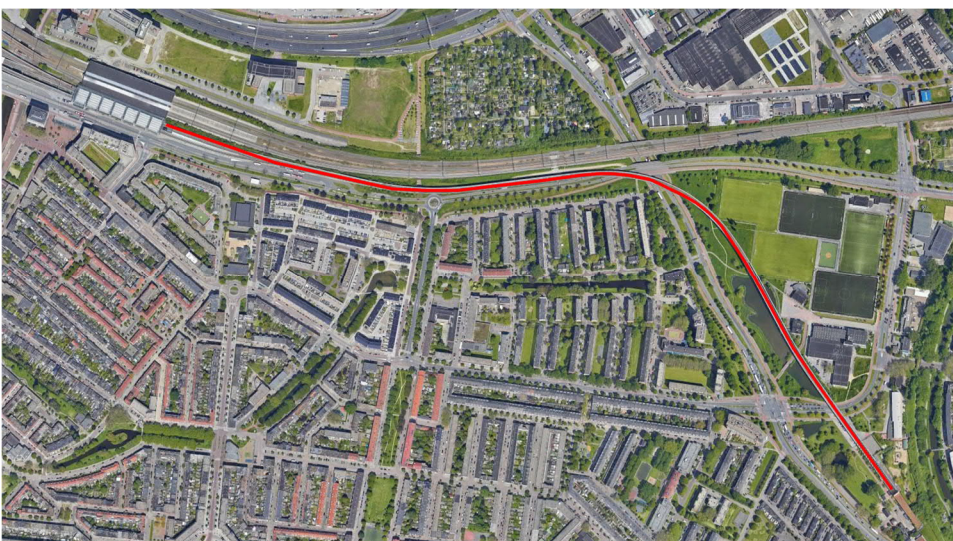
3. Viaduct Havenspoorpad



4. Viaduct Zuidplein – Slinge



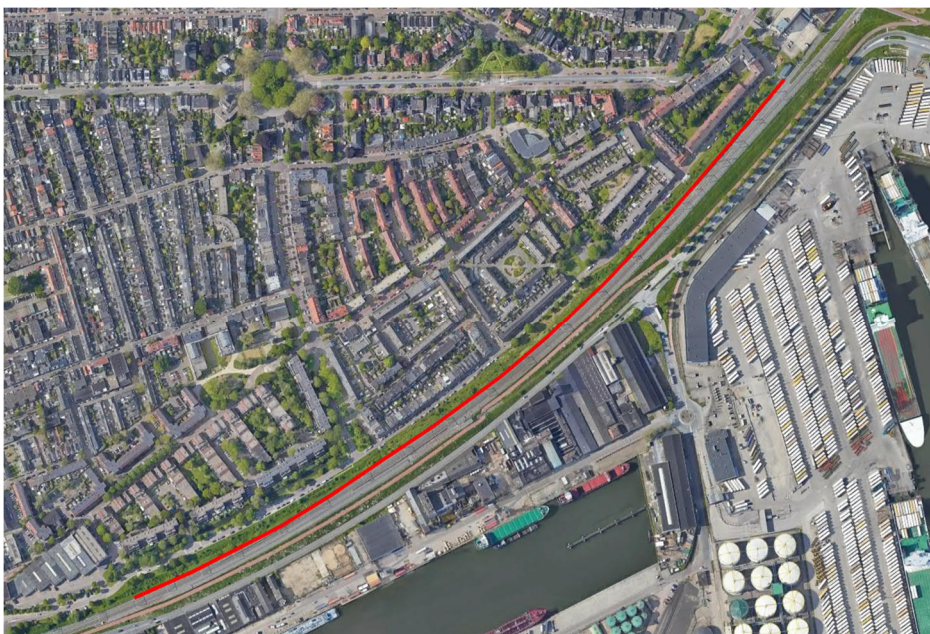
5. Viaduct Schiedam Centraal– Marconiplein, incl. uitloop spoor



6. Viaduct Vijfsluizen – Troelstralaan



7. Geluidsscherm Noord VDO SP1 504.504-504.551 / Midden VDO SP1/2 504.980-505.08 / Zuid VDO SP2 504.790-504.914



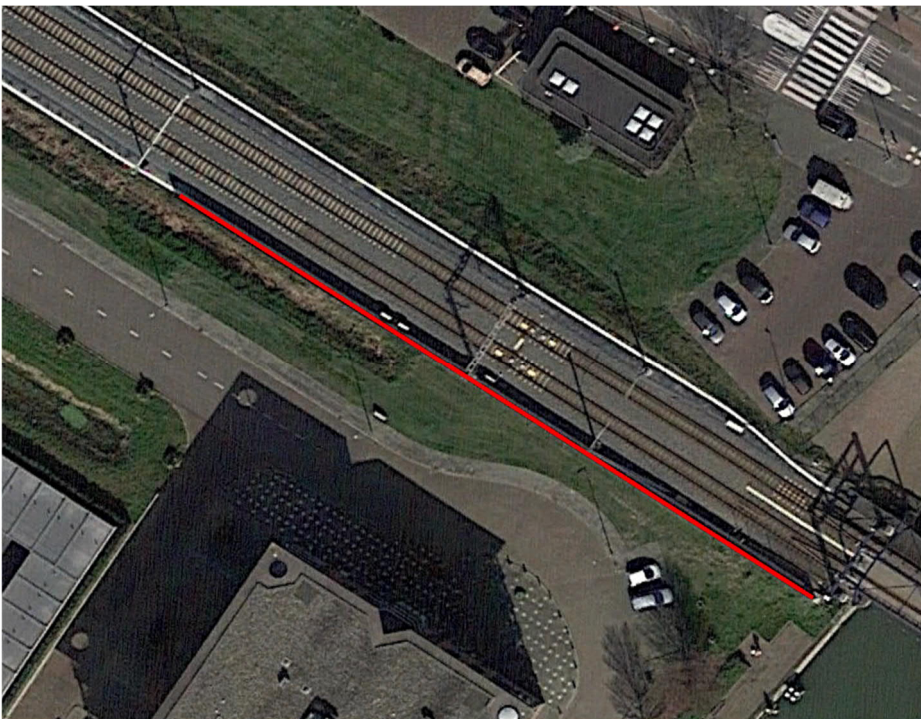
Spoorsingel, Vlaardingen

8. Geluidsscherm Noord SDN1 SP1 502.577-502.928 ½



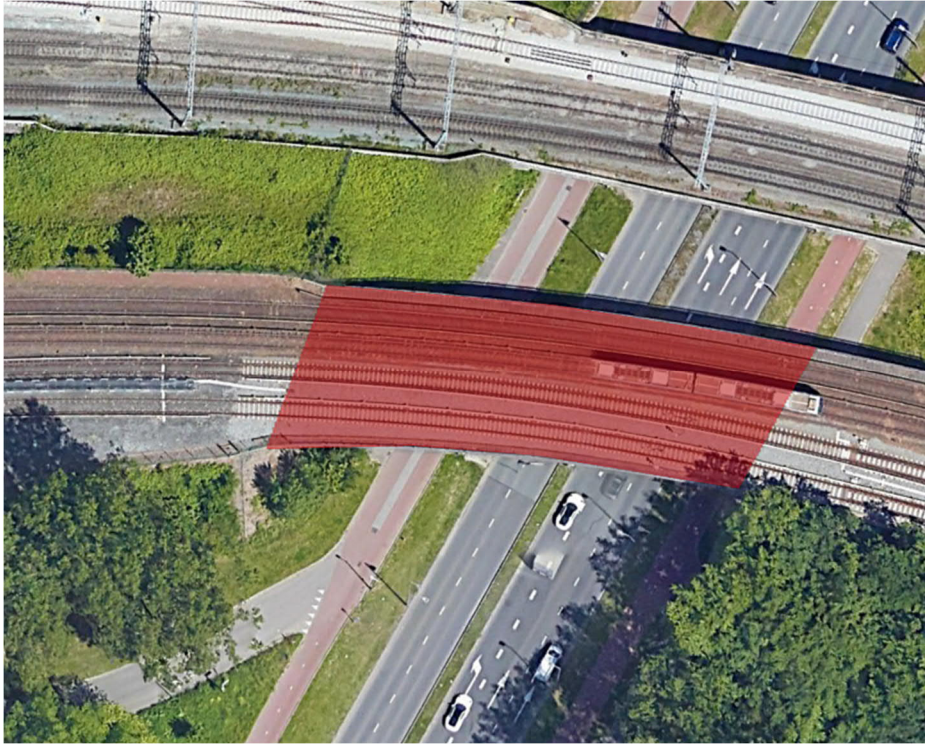
Kappeyne van de Coppellolaan, Schiedam

9. Geluidsscherm Noord MSC SP1 512.930-513.260



Maasweg 1, Maassluis

10. Brug verbindingsboog Waalhaven



Groene Kruisweg, Rotterdam

3. Businesscase

Voor het bepalen van de financiële haalbaarheid van zonnepanelen op de infrastructurele objecten en groenstroken uit de shortlist, zijn globale businesscases uitgewerkt. In de businesscase is gekeken naar de investeringskosten, de opbrengsten van de elektriciteit en de exploitatiekosten van de zonnepanelen. Hierbij is uitgegaan dat de RET zelf wil investeren en exploiteren in de zonnepanelen. Hiermee wordt het financiële rendement bepaald.

3.1 Belangrijke parameters businesscase

De gehanteerde businesscase bestaat uit diverse onderdelen (parameters). Hieronder zijn belangrijke parameters weergegeven die veel invloed hebben op de financiële haalbaarheid van zonnepanelen op een object. Een uitgebreide toelichting op onderstaande parameters staat in [Appendix 3](#).

- **Bouwkosten**
Dit zijn de kosten voor de onderdelen en installatie van het zonnesysteem. De belangrijkste onderdelen van een zonnestroomsysteem zijn de zonnepanelen, omvormers, onderconstructie, bedrading en netaansluiting.
- **VAT (voorbereiding, administratie en toezicht) kosten**
Dit zijn de kosten van de ontwikkeling van een zonnestroomsysteem. Denk hierbij aan kosten voor constructieberekeningen, Recht van Opstal en het aanvragen van vergunningen.
- **Onderhoudskosten**
De belangrijkste exploitatiekosten voor zonnestroomsystemen zijn de onderhoudskosten. Denk hierbij aan regulier en preventief onderhoud, vervanging van defecte onderdelen, verzekeringen, maaibeheer, vastrechtkosten netaansluiting, schoonmaakkosten en controles of het systeem nog naar behoren functioneert.
- **Zoninstraling**
De inkomsten hangen af van de zoninstraling. Hoe meer zonlicht er op de zonnepanelen valt, des te hoger de energieopbrengsten.
- **Inkomsten**
Zonnepanelen genereren inkomsten door de opgewekte zonnestroom te verkopen of te besparen op energie-inkoop. Het is doorgaans gunstiger voor de businesscase als de opgewekte zonnestroom direct op locatie wordt verbruikt.

3.2 Uitgangspunten

De uitkomsten van een businesscase zijn afhankelijk van de gehanteerde uitgangspunten. Het plaatsen van zonnepanelen op infrastructurele objecten kent tot op heden helaas geen beproefde aanpak met veelgebruikte kengetallen. Dit maakt het moeilijk om een inschatting te maken van de juiste uitgangspunten. Zo liggen de investerings- en onderhoudskosten voor zonnepanelen aan de zijkant van een brug of viaduct hoger dan die voor zon op dak. Dit heeft onder meer te maken met de complexiteit, aanvullende beveiligingsmaatregelen, speciale maatregelen ten behoeve van veilig werken en het mogelijk afsluiten van een

(water)weg. De hoogte van de kosten zijn echter moeilijk om in te schatten, zodat er een grote onzekerheid bestaat.

Hieronder zijn de belangrijkste uitgangspunten voor het opstellen van de businesscases toegelicht:

- De RET investeert en exploiteert zelf in de zonnepanelen. De bedragen over de investering en bedrijfslasten zijn daarom inclusief btw.
- De opgewekte elektriciteit kan direct worden gebruikt door de systemen van RET. Er wordt geen elektriciteit teruggeleverd aan het net.
- Er wordt gerekend met de SDE++ tarieven van de openstelling in 2022. Zie [Appendix 2](#) voor meer toelichting. Aangezien het uitgangspunt is dat alle opgewekte elektriciteit direct door RET gebruikt wordt, is het aandeel SDE++ in de businesscase nihil.
- Het elektriciteitsstarief (kale inkoopprijs elektriciteit) waarmee wordt gerekend bedraagt 0,05 euro per kWh. Dit is het elektriciteitsstarief voor bedrijven die in de hoogste staffel vallen. Het transporttarief bedraagt 0,0088 euro per kWh.
- In het geval van onderhoud of reparatie aan of van het infrastructurele object moet het gehele object bereikbaar zijn. Dat kan betekenen dat de zonnepanelen mogelijk tijdelijk verwijderd moeten worden. Dit brengt aanvullende kosten met zich mee en zolang de panelen er af zijn wordt er geen zonnetroom opgewekt. Deze kosten en misgelopen opbrengsten zijn niet in te schatten in deze fase van het onderzoek en om die reden niet meegenomen in de businesscases. Over het algemeen kan gesteld worden dat het eenmalig verwijderen en opnieuw aansluiten van zonnepanelen een erg negatieve impact heeft op de businesscase. Indien dit vaker gedurende de looptijd moet gebeuren, kan men ervan uitgaan dat het project niet financieel haalbaar is.
- De zoninstraling op de zonnepanelen wordt bepaald aan de hand van satellietdata in PVGIS en is afhankelijk van de oriëntatie en hellingshoek van de zonnepanelen.
- In zonnestroomsystemen treden diverse systeemverliezen op. Er zijn diverse soorten systeemverliezen. Voorbeelden zijn verliezen in de kabels, reflectieverliezen en verliezen door te hoge temperaturen. De systeemverliezen bepalen het technisch rendement van de gehele installatie, ook wel de performance ratio genoemd. Dit rendement is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de oriëntatie en hellingshoek van de zonnepanelen. Voor het bepalen van de globale financiële haalbaarheid is voor alle objecten in de shortlist een systeemrendement van 80% gebruikt.⁴
- De investering wordt gefinancierd uit eigen vermogen. Er zijn dus geen financieringskosten meegenomen. In werkelijkheid kan dit afwijken, maar de invloed hiervan op de resultaten van een globale businesscase zijn beperkt.
- Bedragen kunnen door de tijd heen stijgen en dalen, bijvoorbeeld door inflatie en marktontwikkelingen. In de businesscases wordt gerekend met een indexatie van 2% per jaar op de bedrijfslasten en energietarieven. Dit is een conservatieve inschatting.

⁴ Rekenvoorbeeld: bij een jaarlijkse zonne-instraling van 1.000 kWh/m² in het paneelvlak, een modulerendement van het zonnepaneel van 20% en een systeemrendement van 80%, is de jaarlijkse elektriciteitsopwekking voor een paneel van 2 bij 1 meter (2 m²) gelijk aan 1.000 kWh/m² x 20% x 80% x 2 m² = 320 kWh/m².

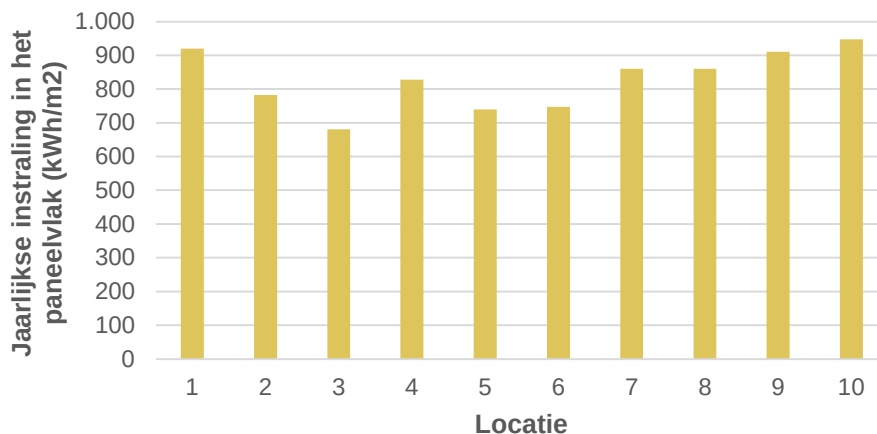
- De looptijd van de uitgewerkte businesscases is 25 jaar. Dit komt overeen met de technische levensduur van de zonnepanelen.
- Er wordt door de gemeente recht van opstal verleend voor de looptijd van het project. Er zijn in de businesscase geen pachtkosten in rekening gebracht.
- Voor het plaatsen van zonnepanelen op geluidsschermen is hoogstwaarschijnlijk een akoestisch- en constructief onderzoek nodig. Er is nog geen standaard berekening voor 'geluid' en 'constructie' voor zonnepanelen op geluidsschermen. Over het algemeen komen dit soort kosten uit op circa 10.000 euro voor een akoestisch onderzoek en 15.000 euro voor een constructieve berekening.
- Het rendement van de zonnepanelen neemt af naarmate de zonnepanelen ouder worden. De panelen hebben een degradatie van 0,5% per jaar.
- De omvormers hebben een levensduur van gemiddeld 15 jaar. Na 15 jaar vindt daarom een herinvestering plaats.

3.3 Resultaten

In de onderstaande grafieken zijn de jaarlijkse instraling in het paneelvlak, de relatieve investering per vermogen en de onrendabele top van de verschillende locaties weergegeven.

De exacte jaarlijkse instraling is voor viaducten een lastige berekening. Viaducten lopen namelijk slingerend. Hierdoor fluctueert de jaarlijkse instraling van viaducten. Bij sommige viaducten zijn op meerdere plekken de instraling berekend. In de onderstaande grafiek staan hiervan de gemiddeldes.

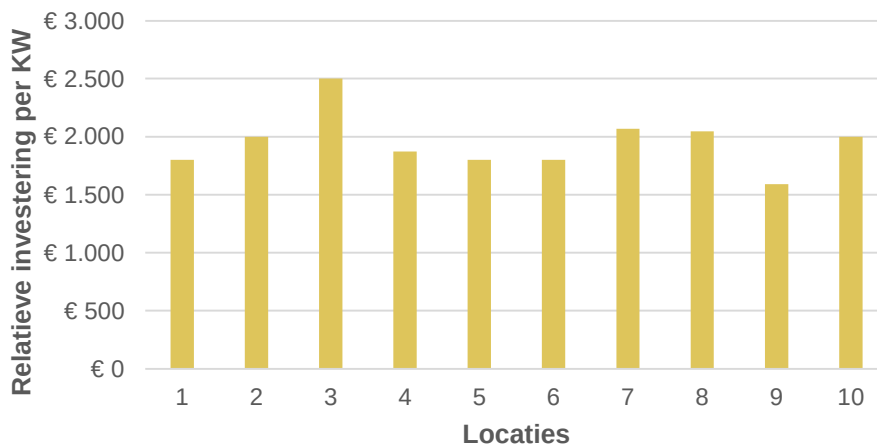
Jaarlijkse instraling in het paneelvlak



Figuur 7: Jaarlijkse instraling in het paneelvlak van de top 10 locaties.

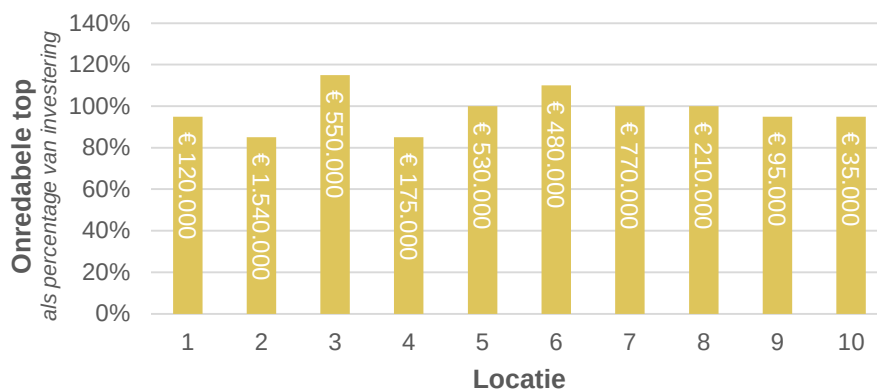
Voor alle locaties is de jaarlijkse instraling op het paneelvlak minder dan 1.000 kWh/m². Over het algemeen geldt dat bij een zonnepanelenopstelling de minimale jaarlijkse instraling 1.000 kWh/m² bedraagt om tot een rendabele businesscase te komen.

Relatieve investeringskosten per geïnstalleerd vermogen



Figuur 8: De relatieve investeringskosten per geïnstalleerd vermogen van de top 10 locaties.

Onrendabele top



Figuur 9: De onrendabele top van de top 10 locaties, inclusief absolute getallen.

In de businesscase is de netto contante waarde bepaald, dit geeft inzicht in de onrendabele top van de investering. De onrendabele top is het deel dat er voor zorgt dat het geen rendabele businesscase is. Voor alle locaties is de onrendabele top hoger dan 80%. Dit maakt duidelijk dat de investering niet wordt terugverdiend gedurende de exploitatie van de zonnepanelen. In sommige gevallen (100% >) moet zelfs gedurende de 25 exploitatiejaren geld bijgelegd worden.

Er is gerekend met conservatieve getallen voor de elektriciteitsprijs en de indexatie. Zodra de elektriciteitsprijs omhoog gaat wordt de businesscase positiever. Echter de businesscases zijn dermate negatief dat de stijgende elektriciteitsprijzen geen invloed heeft op een positieve uitkomst van de businesscases.

Viaducten en bruggen (locatie 1 t/m 6 + 10)

De oorzaak van de onrendabele businesscase is de aanzienlijk hogere investering voor het plaatsen van de zonnepanelen en de significant lagere energieopbrengst. De hogere investering wordt veroorzaakt door de complexiteit van de locaties. Het is kostbaar om zonnepanelen te bevestigen aan een brug.

Mogelijk zullen rij- of spoorbanen moeten worden afgesloten om de zonnepanelen te plaatsen. Locatie 3 is hier een goed voorbeeld van.

De onderhouds- en beheerkosten zijn ook hoger doordat de zonnepanelen lastig toegankelijk zijn. De viaducten staan op hoge palen en er lopen in veel gevallen geen auto of fietspaden langs. Indien de zonnepanelen gedurende de looptijd meerdere malen verwijderd en opnieuw aangesloten dienen te worden (voor eventueel onderhoud), kan ervan uitgegaan worden dat het project niet financieel haalbaar is.

De zonnepanelen worden over een groot deel van de brug verticaal tegen de reling geplaatst. De energieopbrengst voor deze panelen is significant (tot 40%) lager dan bij de meeste veld- of daksystemen. Dit heeft uiteraard een grote negatieve impact op de businesscase.

Geluidsschermen (locatie 7, 8 en 9)

Het plaatsen van zonnepanelen op het geluidsscherm geven geen rendabele businesscase.

Binnenzijde geluidsscherm (locatie 7)

Voor het monteren van zonnepanelen aan de binnenkant van een geluidsscherm moeten mogelijk rij- of spoorbanen worden afgesloten. Verder zijn akoestische en constructieve herberekeningen noodzakelijk. Dit vraagt gemiddeld om 25.000 euro aan extra projectontwikkelkosten. Overige nadelen van zonnepanelen aan de binnenzijde van een geluidsscherm zijn:

- Werken in een spoorzone leiden tot extra veiligheidskosten.
- Mogelijke invoedpunten zijn lastig te vinden/realiseren omdat het niet mogelijk is om overal langs het tractietraject aan te sluiten.
- Een verhoogd risico op seinverblinding van machinisten.
- Het verwijderen van groen is op deze locatie noodzakelijk.
- Het risico op vandalisme (en graffiti) blijft bij geluidsschermen zowel aan de binnen- als buitenkant aanwezig, ondanks dat dit meegenomen is in de potentiebepaling in hoofdstuk 2.
- Mensen op een perron, waar een trein met hoge snelheid passeert, zullen eerst een drukgolf ervaren waarbij ze weggedrukt worden, om vervolgens in de 'slipstream' van de trein te worden meegezogen. Voor de zonnepanelen gelden vergelijkbare krachten. Hiermee moet rekening worden gehouden in het bevestigen van de zonnepanelen.

Buitenzijde geluidsscherm (locatie 8 en 9)

De kosten voor het plaatsen van zonnepanelen aan de buitenkant van een geluidsscherm zijn iets gunstiger. Echter is locatie 8 wel minder goed bereikbaar voor installatie en onderhoud, waardoor steigers nodig zijn.

Voor locatie 9 is het een stuk gunstiger. Deze geluidsscherm is volledig zuid georiënteerd en goed bereikbaar. Hierdoor is de jaarlijkse instraling samen met locatie 1 het hoogst en zijn de relatieve investeringskosten het laagst ten opzichte van de andere locaties. Echter is vandalisme een groot risico én is het een relatief klein geluidsscherm, waardoor de installatie weinig vermogen heeft.

4. Conclusies

In deze potentiëstudie is de meest kansrijke infrastructuur in beheer van de RET onderzocht voor het plaatsen van zonnepanelen. Aan de hand van een potentiëscan en een beoordelingsmatrix zijn alle objecten beoordeeld. Hier is een top 10 aan locaties voortgekomen. Voor deze 10 locaties is een globale businesscase opgesteld. Bij de beoordeling van de objecten lag de focus op infrastructurele objecten als bruggen, viaducten, geluidsschermen en groenstroken. Objecten die buiten het beheer van de RET vallen zijn niet meegenomen in deze studie.

In de potentiëscan zijn in totaal 34 bruggen, 5 spoorbruggen, 35 viaducten, 16 geluidsschermen en 393 groenstroken beoordeeld. Deze locaties hebben een cumulatief theoretisch piekvermogen van ongeveer 61,25 MW. Hiervan komt 50 MW door het theoretisch vermogen op groenstroken. Het is echter technisch onmogelijk zonnepanelen te plaatsen tussen de tramrails of binnen circa 50 cm van waar een tram of metro rijdt. Daarom is uitgegaan van een cumulatief theoretisch piekvermogen van grofweg 11,25 MW.

Middels een beoordelingsmatrix zijn de locaties beoordeeld tot een shortlist met 10 locaties. In de beoordeling is in meer detail gekeken naar de lengte van een civiel object, grootte van een brug, viaduct of geluidsscherm, netcapaciteit, zoninstraling, risico op vandalisme en esthetisch waarde van de omgeving. In de shortlist staan 6 viaducten, 3 geluidsschermen en 1 brug met een cumulatief realistisch piekvermogen van 2,4 MW.

Voor de locaties op de shortlist is een potentiëstudie verder aangescherpt en is voor elke locatie een globale businesscase opgesteld. De jaarlijkse instraling deze locaties ligt tussen 680 en 950 kWh/m². Over het algemeen geldt dat er een minimale jaarlijkse instraling van 1.000 kWh/m² nodig is om tot een rendabele businesscase te komen. Verder zijn de investeringskosten per geïnstalleerd vermogen zeer hoog. De onrendabele top is hierdoor voor alle locaties hoger dan 80%. Dit betekent dat de investering niet wordt terugverdiend gedurende de exploitatie van de zonnepanelen. In een aantal gevallen moet zelfs gedurende de levensduur van de zonnepanelen geld bijgelegd worden, omdat de exploitatiekosten hoger zijn dan de verwachte inkomsten.

Zonnepanelen op viaducten en bruggen

Het plaatsen van zonnepanelen op bruggen en viaducten is niet financieel haalbaar. Er zijn diverse oorzaken. De investering is aanzienlijk hoger dan het plaatsen van zonnepanelen op velden of daken vanwege de hoge complexiteit van de locaties. Ook de onderhouds- en beheerkosten zijn aanzienlijk hoger vergeleken met 'normale' zon op dak of zon op veld projecten. En verticale plaatsing van de zonnepanelen tegen bruggen en viaducten leidt tot een aanzienlijk lagere energieopbrengst. De zonnepanelen kunnen technisch iets hellend geplaatst worden. Dit zal de energieopbrengst verhogen maar de businesscase niet haalbaar maken.

Plaatsing zonnepanelen op bestaande geluidsschermen

Plaatsing van zonnepanelen op het geluidsscherm is niet rendabel en betaalt zich niet terug binnen de levensduur van de zonnepanelen. Zelfs als een aantal obstakels worden weggenomen en de investeringskosten worden teruggebracht, blijven de risico's groot voor een laag rendement. Naast de hoge investering zijn risico's op graffiti en vandalisme zeer hoog. Bovendien wordt gewerkt in een

spoorzone wat kostenverhogend werkt en een en ander complex maakt. Er zijn aanvullende berekeningen nodig voor constructie en geluid. Tot slot bestaat er het risico op seinverblinding van machinisten.

Samengevat

De potentie van zonnepanelen op infrastructurele objecten lijkt in eerste instantie groot. Echter, er vallen veel van deze potentiële objecten af op basis van de gestelde criteria en voorwaarden.

Zonnepanelen op infrastructurele objecten hebben een te hoge investering, te hoge onderhouds- en bedrijfskosten en vaak een te lage energieopbrengst. Technisch gezien kan het mogelijk zijn om zonnepanelen te realiseren, maar uit financieel oogpunt zijn deze locaties niet geschikt voor het plaatsen van zonnepanelen. Naast het financieel en economisch aspect is het plaatsen van zonnepanelen ook een kans voor zichtbare verduurzaming in meervoudig ruimtegebruik. Ook sluit het goed aan bij duurzaamheidsambities van de RET. Vanuit maatschappelijk en duurzaamheidsoogpunt kan een andere afweging worden gemaakt voor het plaatsen van zonnepanelen op de onderzochte locaties.

5. Vervolgstappen

Uit de conclusie van deze studie blijkt dat het plaatsen van zonnepanelen technisch complex is, waardoor de businesscase niet rendabel is. In dit hoofdstuk is gekeken naar wat wel mogelijk is. Ten eerste zijn een aantal algemene vervolgstappen geformuleerd.

- Het plaatsen van zonnepanelen op bestaande viaducten, bruggen en geluidsschermen is erg kostbaar. Bij nieuwe ontwikkelingen of renovaties zijn er echter wel kansen. Sweco raadt aan om in de ontwerpfase of tijdens de renovatie van nieuwe viaducten, bruggen en geluidsschermen duurzaamheid (integratie van zonnepanelen) mee te nemen en daarvoor specifiek de haalbaarheid te onderzoeken.
- De financiële haalbaarheid van zonnepanelen op infrastructurele objecten is laag, maar het draagt wel bij aan de zichtbare verduurzaming en beleidsdoelstellingen van de RET. Dit kan leiden tot meer bewustwording van de noodzaak van verduurzaming bij de RET en reizigers. Verder is er sprake van meervoudig ruimtegebruik. De schaarse (buiten)ruimte van de RET wordt op deze manier benut voor zowel tram- en metroverkeer, het reduceren van geluid, als energieopwekking. Neem deze argumenten mee in de vervolgstappen om zonnepanelen al dan niet te plaatsen op infrastructurele objecten.
- In deze fase van het onderzoek zijn de investeringskosten van het plaatsen van zonnepanelen op met name infrastructurele objecten lastig in te schatten. De reden is dat elke viaduct, brug en geluidsscherm uniek is en er vaak geen standaard oplossingen gebruikt kunnen worden. De kosten voor bevestiging van de zonnepanelen en de kosten voor onderhoud en beheer zijn onzeker. Sweco raadt aan om een pilotproject te starten waarin een viaduct, brug of geluidsscherm wordt verduurzaamd. Hierbij kunnen diverse marktpartijen benaderd worden om een nauwkeurigere inschatting van de kosten op te halen.
- Door de zonnepanelen te plaatsen met een lichtere hellingshoek (geen 90° maar 75°) is de businesscase minder negatief. De onrendabele top is dan gemiddeld 15% lager bij de top 10 locaties (tussen de 12% en 20%).
- Onderzoek de mogelijkheden naar subsidies. Vanaf maandag 3 oktober 2022 is er een nieuwe landelijke subsidieregeling: duurzaam maatschappelijk vastgoed (DUMAVA)⁵. Via deze regeling krijgt maatschappelijk vastgoed 30% subsidie op energiebesparende en/of verduurzamingsmaatregelen, waaronder de aanschaf van zonnepanelen. Een reductie van 30% op de investering leidt niet tot een positieve businesscase, maar zorgt wel voor een minder negatieve businesscase. Naast de DUMAVA zijn er ook diverse innovatiesubsidies beschikbaar die mogelijk een financiële bijdrage kunnen leveren aan innovatieve duurzame oplossingen. Indien een concreet pilotproject wordt opgestart kan dit nader onderzocht worden.

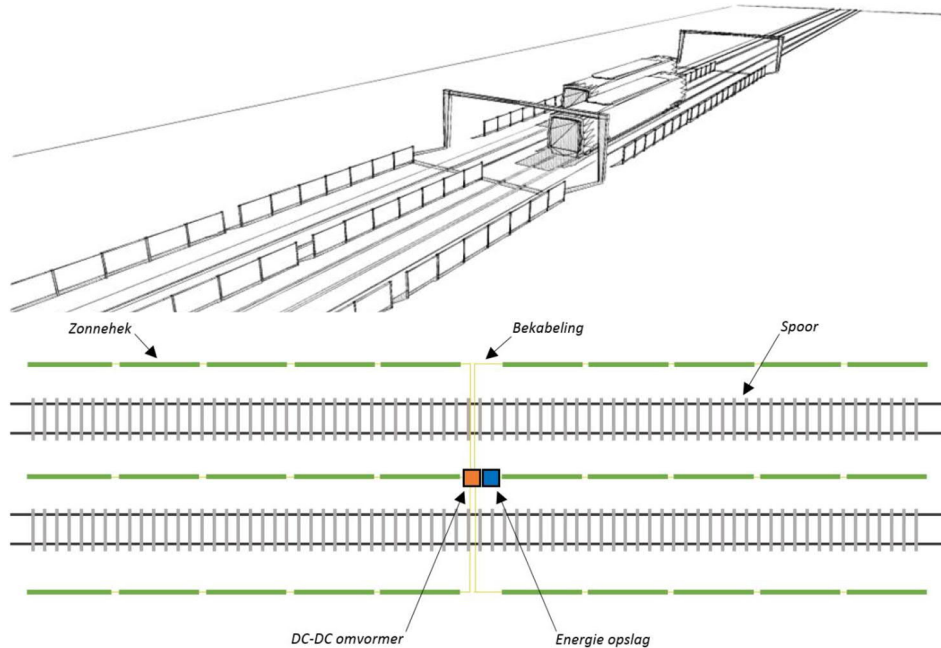
Naast bovenstaande vervolgstappen kan worden ingezet op, of het nauwlettend in de gaten houden van, een aantal alternatieve innovatieve ontwikkelingen voor zonnepanelen langs of op het spoor.

⁵ [Subsidieregeling duurzaam maatschappelijk vastgoed \(DUMAVA\) \(rvo.nl\)](https://rvo.nl/nieuws/2022/09/28/subsidieregeling-duurzaam-maatschappelijk-vastgoed-dumava)

Zonnespin

De Zonnespin is een innovatieve oplossing voor energieopwekking- en opslag langer het spoor, gekoppeld aan de bovenleiding die samen zorgen voor een duurzamer en lager energieverbruik.

De Zonnespin zijn verticaal op een hek gemonteerde zonnepanelen. De hekken staan langs het schouw pad. In het geval van twee sporten kunnen ze ook tussen beide sporen staan. Het zonnehek is maximaal 120 centimeter hoog, waardoor zowel bestuurders als passagiers voldoende uitzicht hebben.



Figuur 10: De Zonnespin⁶.

De Zonnespin heeft enkele voordelige eigenschappen. Het neemt weinig ruimte in beslag en overal langs het spoor kan zonne-energie de bovenleiding voeden met duurzaam opgewekte energie. Verder is er een koppeling met energieopslag, waarbij energieopslag maximaal 15 minuten kan worden opgeslagen voordat het weer gebruikt wordt.

Realisatie nieuwe geluidsschermen

Het plaatsen van zon-PV op huidige geluidsschermen is financieel niet toereikend. Mocht de RET in de toekomst nieuwe geluidsschermen plaatsen is het mogelijk zonnepanelen te gebruiken als geluidsscherm. Adviesbureau WMA heeft een akoestisch onderzoek uitgevoerd naar de variant waarbij de zonnepanelen als bouwsteen van een geluidsscherm wordt gebruikt. Uit het akoestisch onderzoek kan geconcludeerd worden dat de techniek waarbij zonnepanelen als bouwsteen van een geluidsscherm worden gebruikt, geschikt zijn voor de gewenste geluidsreductie. Het is daarbij wel belangrijk om spleten en kieren te beperken.

Voor de technische en financiële haalbaarheid van bovenstaande oplossing heeft Sweco onderzoek uitgevoerd. Er zijn daarin meerdere varianten en een gevoeligheidsanalyse uitgewerkt (denk aan zonnepanelen als geluidsscherm of geïntegreerd in het geluidsscherm). Uit alle varianten bleek dat de

⁶ HTM – Techniek Ontwikkeling

energieopwekkende geluidsschermen een negatief rendement hebben en de terugverdientijd niet binnen de technische levensduur van de zonnepanelen valt. De onrendabele top valt in de studie echter lager uit ten opzichte van deze studie, namelijk circa 60%. Een grote kanttekening is dat bij een investering van een conventioneel geluidsscherm niks wordt terugverdiend en niet wordt voldaan aan de duurzaamheidsambities.

Afgezien van de ongunstige businesscase is het ook sterk aan te raden om eerst te wachten op de standaarden die in de toekomst komen voor constructie en geluid. Dit verlaagt de kosten en verlaagt het risico.

Zonnepanelen in het spoor

De groenstroken van de RET vallen alleen binnen de rails van de spoorlijnen of er net erbuiten. Daarom biedt het integreren van zonnepanelen in het spoor grote mogelijkheden voor duurzame opwek.



Figuur 11: Foto van het pilotproject Deutsche Bahn⁷.

De Deutsche Bahn voert momenteel testen uit, waaruit blijkt dat de potentiële energie opwek enorm groot is (voor de Deutsche Bahn is dit evenveel energie als 5 kerncentrales). De technologie ontwikkelt zich snel, hoewel de slijtage van passerende treinen nog een onbeantwoorde, maar belangrijke vraag is.

⁷ <https://www.spoorpro.nl/spoorbouw/2022/07/13/zonnepanelen-op-duits-spoor-leveren-evenveel-energie-op-als-5-kerncentrales/>

Appendix 1 Overzicht infrastructurele objecten

Bruggen

De RET beheert de volgende bruggen:

Brug	Lengte	Theoretisch potentieel vermogen	
Brug verbind.boog Waalhaven	92 m	27.600 Wp	0,028 MW
Brug Goliath A12	50 m	15.000 Wp	0,015 MW
Brug HSL	50 m	15.000 Wp	0,015 MW
Brug N471	41,4 m	12.420 Wp	0,012 MW
Brug Hofpleinpad	40 m	12.000 Wp	0,012 MW
Brug Waterlinie	25 m	7.500 Wp	0,008 MW
Brug metrostation Berkel Westpolder	25 m	7.500 Wp	0,008 MW
Brug station Poortugaal	24 m	7.200 Wp	0,007 MW
Brug Ringvaart	20 m	6.000 Wp	0,006 MW
Brug Spiegelstraat	20 m	6.000 Wp	0,006 MW
Brug Bovenvaart	20 m	6.000 Wp	0,006 MW
Brug Station Rodenrijs	15 m	4.500 Wp	0,005 MW
Brug Wilgenplaslaan(oud)	15 m	4.500 Wp	0,005 MW
Brug (vee onderdoorgang)	12 m	3.600 Wp	0,004 MW
Brug 3e tocht	12 m	3.600 Wp	0,004 MW
Brug station Meijersplein	12 m	3.600 Wp	0,004 MW
Brug 2e tocht	10 m	3.000 Wp	0,003 MW
Brug fietspad Balijpad	10 m	3.000 Wp	0,003 MW
Brug Florapad	10 m	3.000 Wp	0,003 MW
Brug Hargapad	10 m	3.000 Wp	0,003 MW
Brug Johan de Wittstraat	10 m	3.000 Wp	0,003 MW
Brug Nootdorpsepad	10 m	3.000 Wp	0,003 MW
Brug Pijnacker-Zuid	10 m	3.000 Wp	0,003 MW
Brug Rodenrijse weg	10 m	3.000 Wp	0,003 MW
Brug Roeleveenseweg/Molenpolderstraat	10 m	3.000 Wp	0,003 MW
Brug Willem-Alexanderpad	10 m	3.000 Wp	0,003 MW
Brug 4e tocht	9 m	2.700 Wp	0,003 MW
Brug Gerberasingel	9 m	2.700 Wp	0,003 MW
Brug over sloot	9 m	2.700 Wp	0,003 MW
Brug Rodenrijse Vaart	8 m	2.400 Wp	0,002 MW
Brug Molenpad	5 m	1.500 Wp	0,002 MW
Brug Schoutenlaan	5 m	1.500 Wp	0,002 MW
Brug sloot Balijpad	5 m	1.500 Wp	0,002 MW
Brug Merellaan	4 m	1.200 Wp	0,001 MW
Totaal	627,4 m	188.220 Wp	0,188 MW

De RET beheert de volgende spoorbruggen:

Spoorbrug	Lengte	Theoretisch potentieel vermogen	
Brug Poldervaart	88 m	26.400 Wp	0,0238 MW
Beweegbare brug Vlaardingen	60 m	18.000 Wp	0,0162 MW
Brug Boonervliet	55 m	16.500 Wp	0,0149 MW
Beweegbare brug Maassluis	45 m	13.500 Wp	0,0122 MW
Brug Oranjekanaal	40 m	12.000 Wp	0,0108 MW
Totaal	288 m	86.400 Wp	0,086 MW

Viaducten

De RET beheert de volgende viaducten:

Viaducten	Lengte	Theoretisch potentieel vermogen	
Viaduct Rijnhaven-Slinge	4.100 m	1.230.000 Wp	1,230 MW
Viaduct Tussenwater-Pernis	4.000 m	1.200.000 Wp	1,200 MW
Viaduct Capelsebrug – TRP, incl. uitl.sp	3.700 m	1.110.000 Wp	1,110 MW
Viaduct Spijken.tunn.–AKS	2.850 m	855.000 Wp	0,855 MW
Viaduct Schiedam C.– Marconiplein, incl. uitl.sp	2.340 m	702.000 Wp	0,702 MW
Viaduct De Tochten – NSL, incl. uitl.sp	1.300 m	390.000 Wp	0,390 MW
Viaduct Tussenwater–Hoogvliet, incl Endenhout	1.170 m	351.000 Wp	0,351 MW
Viaduct Vijfsluizen - Troelstralaan	850 m	255.000 Wp	0,255 MW
Tramviaduct Schieplein	850 m	255.000 Wp	0,255 MW
Viaduct Havenspoorpad	600 m	180.000 Wp	0,180 MW
Tramviaduct Varkennoordseweg	500 m	150.000 Wp	0,150 MW
Viaduct uitloopspoor Spijkenisse	500 m	150.000 Wp	0,150 MW
Ontvlechtingsviaduct remise 's Gravenweg	350 m	105.000 Wp	0,105 MW
Tramviaduct Carnisserbaan	340 m	102.000 Wp	0,102 MW
Tramviaduct A15	225 m	67.500 Wp	0,068 MW
A4 viaduct Europaboulevard	170 m	51.000 Wp	0,051 MW
Viaduct A4	105 m	31.500 Wp	0,032 MW
Viaduct Groenekruisweg	100 m	30.000 Wp	0,030 MW
Viaduct station Melanchthonweg	90 m	27.000 Wp	0,027 MW
Breewegviaduct	82 m	24.660 Wp	0,025 MW
Ontvlechting Viaduct Waalhaven	72 m	21.600 Wp	0,022 MW
Viaduct Aveling	63 m	18.900 Wp	0,019 MW
Viaduct Zwaardijk/Hoogvl.kerkweg	61 m	18.300 Wp	0,018 MW
Viaduct Zwaardijk/Ambachtstraat	60 m	18.000 Wp	0,018 MW
Viaduct Rivierweg	55 m	16.500 Wp	0,017 MW
Viaduct Nieuwe Damlaan	50 m	15.000 Wp	0,015 MW
Viaduct Krabbedijkestraat	50 m	15.000 Wp	0,015 MW
Viaduct Meester L.A Kesperweg	40 m	12.000 Wp	0,012 MW
Viaduct N470	40 m	12.000 Wp	0,012 MW

Viaduct Oudelandse laan	32 m	9.600 Wp	0,010 MW
Viaduct David	30 m	9.000 Wp	0,009 MW
Viaduct Parkweg	20 m	6.000 Wp	0,006 MW
Viaduct Noord Nieuwlands Poort	15 m	4.500 Wp	0,005 MW
Viaduct Marathonweg	15 m	4.500 Wp	0,005 MW
Viaduct Fietspad Poldervaartpad	8 m	2.400 Wp	0,002 MW
Totaal	24.833 m	7.449.960 Wp	7,5 MW

Geluidsschermen

De RET beheert de volgende geluidsschermen:

Locatie	Lengte	Hoogte	Oppervlakte	Potentieel theoretisch vermogen	
Gel.schermb Noord VDO SP1 504.504-504.551 / Gel.schermb Zuid VDO SP2 504.790-504.914	768 m	2,5 m	1.920 m ²	576.000 Wp	0,576 MW
Station Capelse Brug tot net na station Alexanders (3/4)	666 m	2,5 m	1.665 m ²	499.500 Wp	0,500 MW
Station Capelse Brug tot net na station Alexanders (2/4)	540 m	2,5 m	1.350 m ²	405.000 Wp	0,405 MW
Tunnelmond Marconiplein	360 m	3,2 m	1.152 m ²	345.600 Wp	0,346 MW
Station Capelse Brug tot net na station Alexanders (4/4)	693 m	1,5 m	1.040 m ²	311.850 Wp	0,312 MW
Station Capelse Brug tot net na station Alexanders (1/4)	322 m	2,5 m	805 m ²	241.500 Wp	0,242 MW
Gel.schermb Zuid SDN1 SP2 502.400-502.837 2/2	255 m	2,5 m	638 m ²	191.250 Wp	0,191 MW
Gel.schermb Mid. VDO SP1/2 504.980-505.08	238 m	2,5 m	595 m ²	178.500 Wp	0,179 MW
Gel.schermb NoordSDN1 SP1 502.577-502.928 2/2	237 m	1,5 m	356 m ²	106.650 Wp	0,107 MW
Gel.schermb Zuid SDC3 SP2 500.792-501.124	230 m	1,5 m	345 m ²	103.500 Wp	0,104 MW
Gel.schermb NoordSDN1 SP1 502.577-502.928 1/2	114 m	2,5 m	285 m ²	85.500 Wp	0,086 MW
Gel.schermb Zuid SDN1 SP2 502.400-502.837 1/2	176 m	1,5 m	264 m ²	79.200 Wp	0,079 MW
Ter plaatse van station Tussenwater in Hoogvliet	126 m	2 m	252 m ²	75.600 Wp	0,076 MW
Gel.schermb Zuid MSC SP2 512.510-512.590	80 m	2,3 m	184 m ²	55.200 Wp	0,055 MW
Gel.schermb Zuid SDN3 SP2 501.570-501.762	56 m	2,85 m	160 m ²	47.880 Wp	0,048 MW
Gel.schermb Noord MSC SP1 512.930-513.260	78 m	2 m	156 m ²	46.800 Wp	0,047 MW
Totaal	4.939 m	35,85 m	11.165 m²	3.349.530 Wp	3 MW

Groenstroken

De RET beheert de volgende groenstroken:

Objectnaam	Straatnaam	Oppervlakte	Theoretisch potentieel vermogen	
69508.gs1	Boergoensevliet	2.666 m2	799.800 Wp	0,800 MW
4766.gs2	Westzeedijk	2.273 m2	681.900 Wp	0,682 MW
98926.gs1	Herenwaard	2.110 m2	633.000 Wp	0,633 MW
99267.gs1	Melanchtonweg	2.045 m2	613.500 Wp	0,614 MW
41501.gs3	Stadionweg	2.028 m2	608.400 Wp	0,608 MW
50921.gs4	Brielselaan	1.825 m2	547.500 Wp	0,548 MW
65358.gs1	Zuiderhelling	1.803 m2	540.900 Wp	0,541 MW
3404.gs2	Hillevliet	1.730 m2	519.000 Wp	0,519 MW
40282.gs1	Hofplein	1.723 m2	516.900 Wp	0,517 MW
69224.gs1	Boergoensevliet	1.722 m2	516.600 Wp	0,517 MW
72711.gs1	Randweg	1.671 m2	501.300 Wp	0,501 MW
2891.gs1	Laan op Zuid	1.587 m2	476.100 Wp	0,476 MW
72354.gs1	Mathenesserdijk	1.563 m2	468.900 Wp	0,469 MW
3405.gs2	Hillevliet	1.558 m2	467.400 Wp	0,467 MW
64769.gs3	Noorderhelling	1.553 m2	465.900 Wp	0,466 MW
4580.gs2	Westzeedijk	1.449 m2	434.700 Wp	0,435 MW
68841.gs1	Kapelburg	1.336 m2	400.800 Wp	0,401 MW
43861.gs1	Westzeedijk	1.289 m2	386.700 Wp	0,387 MW
64811.gs3	Dwarsdijk	1.274 m2	382.200 Wp	0,382 MW
41501.gs2	Stadionweg	1.261 m2	378.300 Wp	0,378 MW
2853.gs3	Laan op Zuid	1.232 m2	369.600 Wp	0,370 MW
98455.gs1	Vierhavensstraat	1.222 m2	366.600 Wp	0,367 MW
55281.gs2	Schiekade	1.213 m2	363.900 Wp	0,364 MW
32801.gs1	Rhijnauwensingel	1.211 m2	363.300 Wp	0,363 MW
98868.gs2	Herenwaard	1.205 m2	361.500 Wp	0,362 MW
3004.gs1	Beukendaal	1.183 m2	354.900 Wp	0,355 MW
68741.gs5	Slinge	1.179 m2	353.700 Wp	0,354 MW
79844.gs1	Dordtsestraatweg	1.172 m2	351.600 Wp	0,352 MW
66391.gs2	Westzeedijk	1.135 m2	340.500 Wp	0,341 MW
98783.gs2	Laan op Zuid	1.125 m2	337.500 Wp	0,338 MW
3634.gs14	Putselaan	1.119 m2	335.700 Wp	0,336 MW
4401.gs1	Eendrachtsweg	1.092 m2	327.600 Wp	0,328 MW
68819.gs5	Langenhorst	1.047 m2	314.100 Wp	0,314 MW
94990.gs1	Stadhoudersweg	1.045 m2	313.500 Wp	0,314 MW
50901.gs1	Brielselaan	1.020 m2	306.000 Wp	0,306 MW
28701.gs1	Heer Bokelweg	1.016 m2	304.800 Wp	0,305 MW
99268.gs1	Schiekade	1.015 m2	304.500 Wp	0,305 MW
4435.gs1	Weena	1.014 m2	304.200 Wp	0,304 MW

68920.gs3	Groeninx van Zoelenlaan	1.006 m2	301.800 Wp	0,302 MW
98868.gs1	Herenwaard	1.002 m2	300.600 Wp	0,301 MW
69224.gs2	Boergoensevliet	971 m2	291.300 Wp	0,291 MW
71487.gs4	Slinge	962 m2	288.600 Wp	0,289 MW
67335.gs2	Dordtsestraatweg	956 m2	286.800 Wp	0,287 MW
99063.gs1	Wilgenplaslaan	955 m2	286.500 Wp	0,287 MW
66392.gs2	Westzeedijk	953 m2	285.900 Wp	0,286 MW
98932.gs1	Westzeedijk	937 m2	281.100 Wp	0,281 MW
4329.gs3	Mauritsweg	934 m2	280.200 Wp	0,280 MW
74729.gs2	Blaak	931 m2	279.300 Wp	0,279 MW
68599.gs4	Pompenburg	921 m2	276.300 Wp	0,276 MW
2853.gs2	Laan op Zuid	894 m2	268.200 Wp	0,268 MW
62371.gs1	Wolphaertsbocht	892 m2	267.600 Wp	0,268 MW
62368.gs1	Wolphaertsbocht	885 m2	265.500 Wp	0,266 MW
79824.gs1	Dordtsestraatweg	884 m2	265.200 Wp	0,265 MW
4835.gs3	Westzeedijk	851 m2	255.300 Wp	0,255 MW
71487.gs5	Slinge	845 m2	253.500 Wp	0,254 MW
67335.gs1	Dordtsestraatweg	843 m2	252.900 Wp	0,253 MW
39701.gs14	Putselaan	834 m2	250.200 Wp	0,250 MW
68741.gs6	Slinge	819 m2	245.700 Wp	0,246 MW
4329.gs2	Mauritsweg	814 m2	244.200 Wp	0,244 MW
64769.gs2	Noorderhelling	810 m2	243.000 Wp	0,243 MW
57401.gs2	Schiekade	810 m2	243.000 Wp	0,243 MW
16177.gs1	Rhijnauwensingel	808 m2	242.400 Wp	0,242 MW
39701.gs15	Putselaan	802 m2	240.600 Wp	0,241 MW
69607.gs1	Wolphaertsbocht	800 m2	240.000 Wp	0,240 MW
Totaal		77.830 m2	23.349.000 Wp	23 MW

Appendix 2 SDE++ subsidie

De Subsidieregeling Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++) is een subsidie voor het verminderen van de CO₂-uitstoot van bedrijven. Een gemeente die energieopwekkende geluidsschermen wil realiseren, komt mogelijk in aanmerking voor de SDE++ subsidie. De SDE++ kan niet gecombineerd worden met de Simuleringsregeling Coöperatieve energieopwekking (SCE) of de Investeringssubsidie Duurzame Energieproductie (ISDE).

De SDE++ is een exploitatiesubsidie en heeft een standaard looptijd van 15 jaar. Het subsidiebedrag per kWh wordt bepaald door het basisbedrag te verminderen met het correctiebedrag. Elk jaar stelt de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) de maximale basisbedragen vast. Het basisbedrag is het bedrag per kWh wat nodig is om een installatie rendabel te maken. Een zonnepark en een windpark hebben dus een verschillend basisbedrag. Binnen de categorie zon-PV wordt onderscheid gemaakt tussen zonnepanelen op velden en bouwwerken. In het basisbedrag wordt ook rekening gehouden met de omvang van de installatie. Het basisbedrag van het jaar waarin de subsidie wordt aangevraagd, geldt voor de hele looptijd van de subsidie. Dit biedt langdurige zekerheid over het rendement op de investering.

Het correctiebedrag is de marktprijs voor elektriciteit en wordt jaarlijks opnieuw vastgesteld. Kortom, als de elektriciteitsprijs stijgt, daalt het subsidiebedrag en vice versa. Bij het correctiebedrag wordt onderscheid gemaakt tussen stroom die wordt geleverd aan het elektriciteitsnet en stroom die op de locatie zelf wordt verbruikt.

De SDE++ is een tenderregeling. Subsidieaanvragen concurreren met elkaar op de subsidiebehoefte per vermeden ton CO₂. De aanvragen met de laagste subsidiebehoefte worden als eerste gehonoreerd tot het beschikbare budget is uitgeput. Met een te hoog basisbedrag aanvragen is daardoor risicovol. Een aanvraag met een te lage subsidiebehoefte indienen gaat echter ten kostte van de rentabiliteit van het project.

Aan de SDE++ subsidie gelden een aantal belangrijke voorwaarden. Voor zon-PV zijn er diverse categorieën beschikbaar, met ieder specifieke voorwaarden. Hieronder zijn enkele belangrijke voorwaarden weergegeven:

- Het piekvermogen dat geplaatst wordt bedraagt minimaal 15 kW.
- De locatie waarop de zonnepanelen worden geplaatst, is in eigendom van de aanvrager of deze heeft hier schriftelijk toestemming voor van de eigenaar.
- Voor locaties waarvoor een omgevingsvergunning vereist is, moet deze verleend zijn voor indiening van de subsidieaanvraag.
- De netbeheerder heeft schriftelijk aangegeven dat de transportcapaciteit beschikbaar is.
- Afhankelijk van de categorie moet het project binnen twee tot vier jaar na de subsidiebeschikking gerealiseerd zijn.

Appendix 3 Toelichting parameters businesscase

In deze appendix worden enkele belangrijke parameters van de businesscase nader toegelicht.

Bouwkosten (investeringskosten)

Dit zijn de kosten voor de systeemcomponenten en de kosten van het installeren en aansluiten daarvan. De belangrijkste onderdelen van een zonnestroomsysteem zijn de zonnepanelen, omvormers, onderconstructie, bedrading en netaansluiting.

Voor een locatie waar meer zonnepanelen kunnen worden geplaatst, zijn de relatieve investeringskosten veelal lager. Dit heeft te maken met schaalvoordelen. Het heeft echter ook te maken met hoe groot het systeem is ten opzichte van de netaansluiting. Netaansluitingen zijn er in een beperkt aantal types en groottes. De kosten van de netaansluiting zijn daarom gestaffeld en lopen niet lineair op met de grootte van een zonnestroomsysteem. Het heeft daarom de voorkeur om de grootte van het systeem te optimaliseren op basis van de grootte van de netaansluiting. Voor alle locaties geldt dat er speciaal voor de zonnepanelen een nieuwe netaansluiting gerealiseerd moet worden. Ook de afstand van de locatie tot het onderstation waar de aansluiting vandaan moet komen heeft grote invloed op de kosten van de totale netaansluiting.

De investeringskosten zijn ook afhankelijk van de complexiteit van de locatie. Het plaatsen van zonnepanelen op een brug of viaduct is aanzienlijk duurder dan zonnepanelen op een veld of een dak. Voor veld- en daksystemen zijn standaard constructies beschikbaar, terwijl voor het plaatsen van zonnepanelen op bijvoorbeeld een brug maatwerk nodig is. Op complexe locaties, zoals bruggen en viaducten, is het moeilijker om panelen te plaatsen. Hierdoor kost het meer tijd, wat een negatieve impact heeft op de kosten. Daarnaast dienen er bij complexe locaties meer beveiligingsmaatregelen getroffen te worden, wat ook aanvullende kosten met zich meebrengt. Denk hierbij aan valbeveiliging, het aanbrengen van netten en het afsluiten van wegen.

De levensduur van zonnepanelen is zo'n 25 tot 30 jaar, maar de omvormers gaan niet zo lang mee. Omvormers gaan gemiddeld zo'n 15 jaar mee. Daarom moet er in de businesscase van zonnestroomsystemen rekening gehouden worden met een herinvestering in nieuwe omvormers.

•VAT (voorbereiding, administratie en toezicht) kosten (ontwikkelkosten)

Dit zijn de kosten van de ontwikkeling van een zonnestroomsysteem. Denk hierbij aan kosten voor constructieberekeningen, het aanvragen van vergunningen, het aanvragen van subsidies en het uitvoeren van diverse onderzoeken. Voor zonneparken zijn de ontwikkelkosten vaak ongeveer gelijk, ongeacht de grootte van het park. Het is om deze reden interessanter om deze kosten te kunnen spreiden over een groter project.

Onderhoudskosten (exploitatiekosten)

De belangrijkste exploitatiekosten voor zonnestroomsystemen zijn de onderhoudskosten. Denk hierbij aan schoonmaakkosten en controles of het systeem nog naar behoren functioneert. Hoe complexer het systeem, hoe hoger de onderhoudskosten. Dat kan komen door een hoger aantal arbeidsuren, maar ook het toepassen van beveiligingsmaatregelen. Hierdoor zijn de

onderhoudskosten voor zonnepanelen die aan een brug gemonteerd zijn veel hoger dan voor zonnepanelen op een dak of in een veld.

Andere voorbeelden van periodieke kostenposten zijn verzekering, beveiliging, netbeheer, pacht en rente. Deze kosten zijn erg situatieafhankelijk.

Inkomsten

Zonnepanelen genereren inkomsten door de opgewekte stroom terug te leveren aan het net of door te besparen op de inkoop van elektriciteit. Wanneer de opgewekte elektriciteit op locatie kan worden verbruikt, is dit gunstiger voor de businesscase. De reden hiervoor is dat aan het openbare elektriciteitsnet geleverde elektriciteit minder oplevert dan niet-ingekochte energie, omdat dan niet alleen op de kale energieprijis wordt bespaard, maar ook op alle belastingen en transporttoeslagen. De inkomsten kunnen worden aangevuld met subsidies. Het idee achter de beschikbare subsidies is dat de onrendabele top wordt afgedekt, ofwel het verschil in kostprijs tussen de productie van *groene* en *grijze* energie. Doordat de prijzen van zonnepanelen dalen en deze tevens steeds efficiënter worden, neemt de onrendabele top af. Hierdoor neemt de subsidie voor zonnestroomsystemen ook af. De subsidies (SDE++, SCE, ISDE, EIA) zijn berekend op het rendabel maken van conventionele (veld en dak) systemen. Complexere systemen die hogere investeringskosten met zich meebrengen, krijgen normaliter niet meer subsidie vergeleken met conventionele projecten.

Zoninstraling

De inkomsten hangen af van de zoninstraling. Hoe meer zonlicht er op de zonnepanelen valt, des te hoger de energieopbrengsten. De gemiddelde instraling is afhankelijk van verschillende factoren: de oriëntatie en hellingshoek van de zonnepanelen en het aantal zonuren op de desbetreffende locatie. Verticaal geplaatste zonnepanelen op de zijkant van een brug die exact op het oosten of westen ligt, produceren zo'n 40% minder zonnestroom dan dezelfde panelen die op het zuiden geplaatst worden met een hellingshoek van 20 graden. Dit heeft dus een grote impact op de financiële haalbaarheid. Aangezien de zon op het noordelijk halfrond vanuit het zuiden schijnt, is het plaatsen van noord georiënteerde zonnepanelen zeer onrendabel ten opzichte van zuid georiënteerde zonnepanelen.

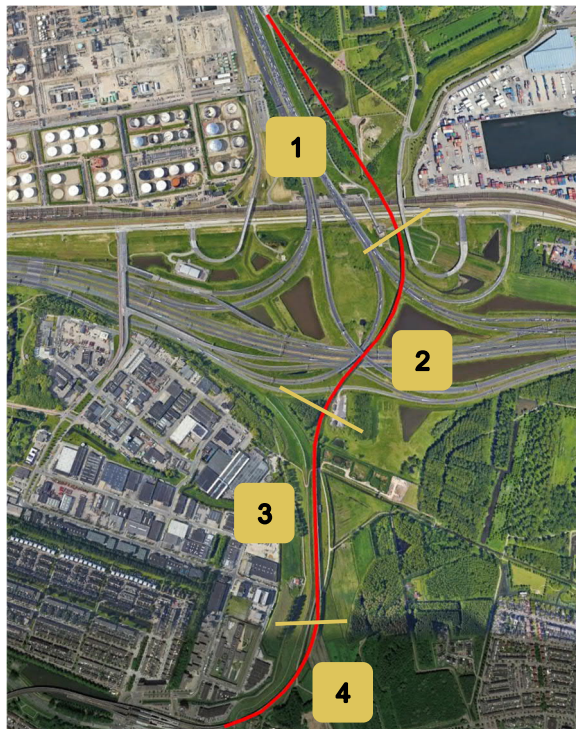
Appendix 4 Verdeling van de zoninstraling per object

1. Ontvlechtingsviaduct remise 's Gravenweg



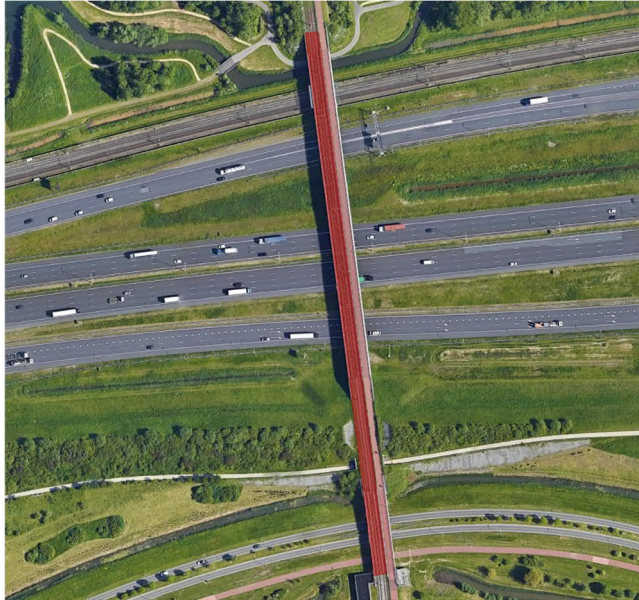
Instraling: zuid

2. Viaduct Tussenwater-Pernis



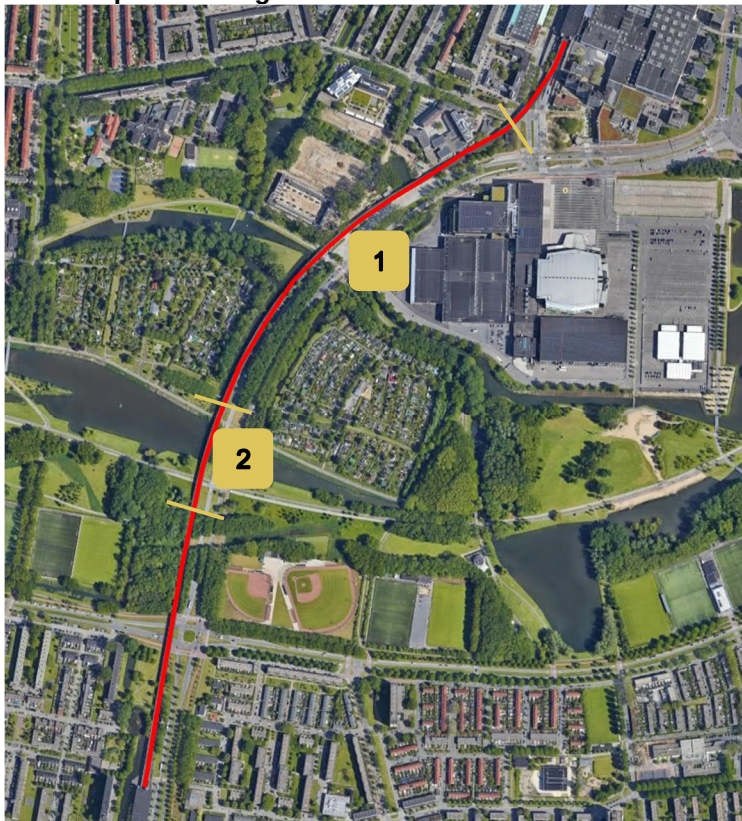
Instraling: 1. Oost-west 2. Oost / Zuidoost 3. Oost-west 4. Zuidoost

3. Viaduct Havenspoorpad



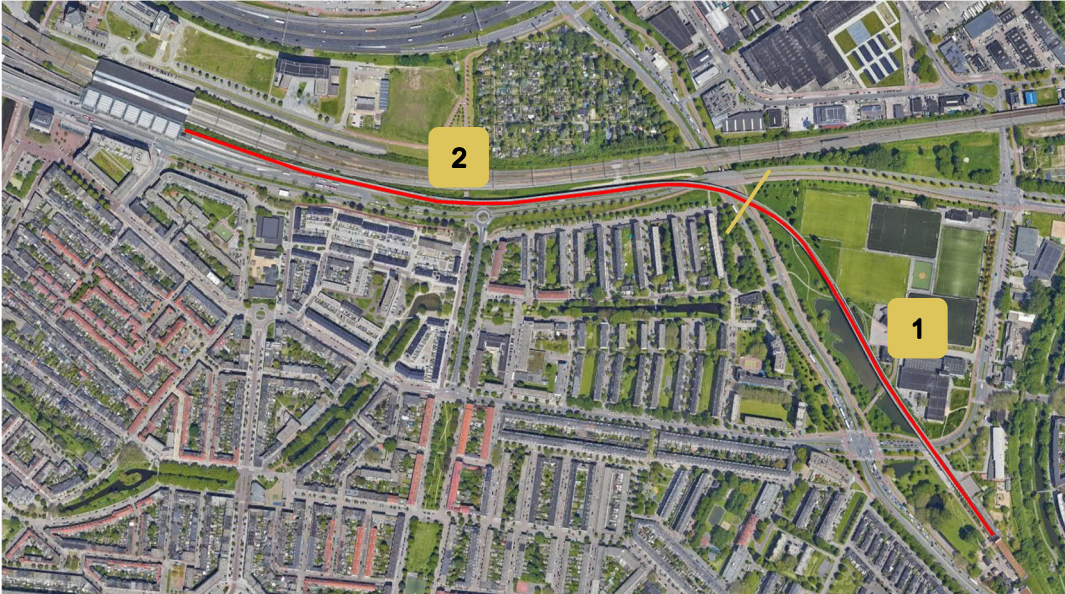
Instraling: Oost-west

4. Viaduct Zuidplein – Slinge



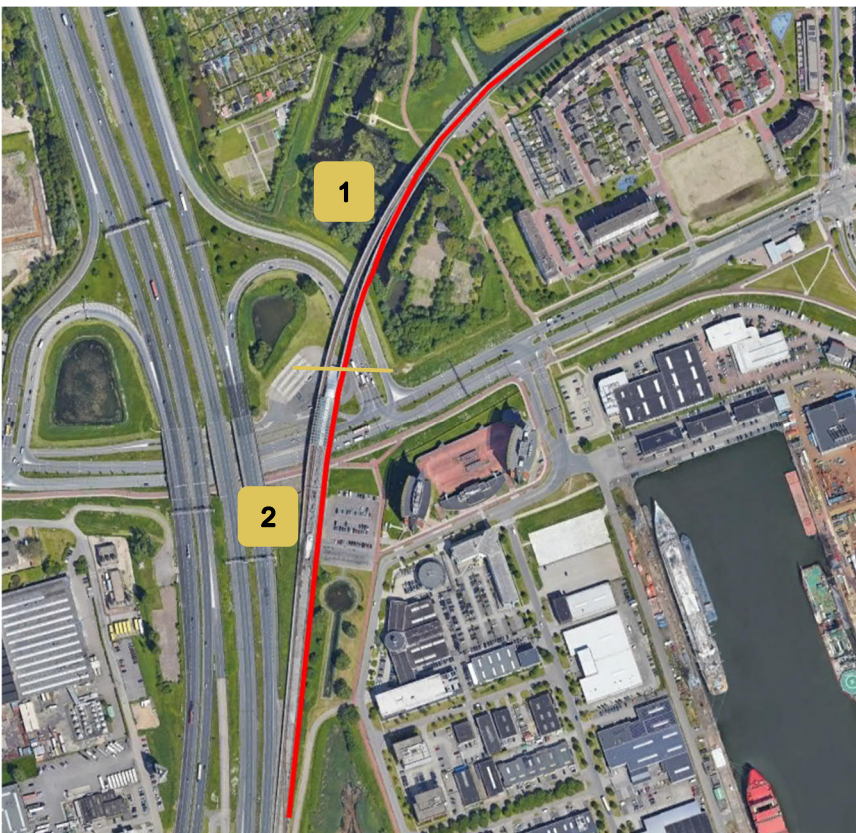
Instraling: 1. Zuidoost 2. Oost-west.

5. Viaduct Schiedam Centraal– Marconiplein, incl. uitloop spoor



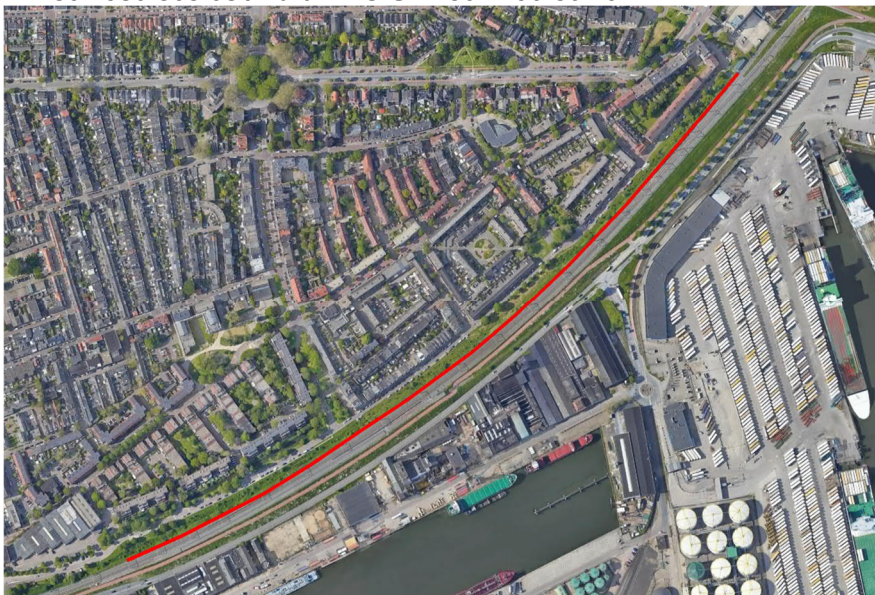
Instraling: 1. Zuidwest 2. Zuid.

6. Viaduct Vijfsluizen – Troelstralaan



Instraling: 1. Zuidoost 2. Oost-west

7. Geluidsscherm Noord VDO SP1 504.504-504.551 / Midden VDO SP1/2 504.980-505.08 / Zuid VDO SP2 504.790-504.914



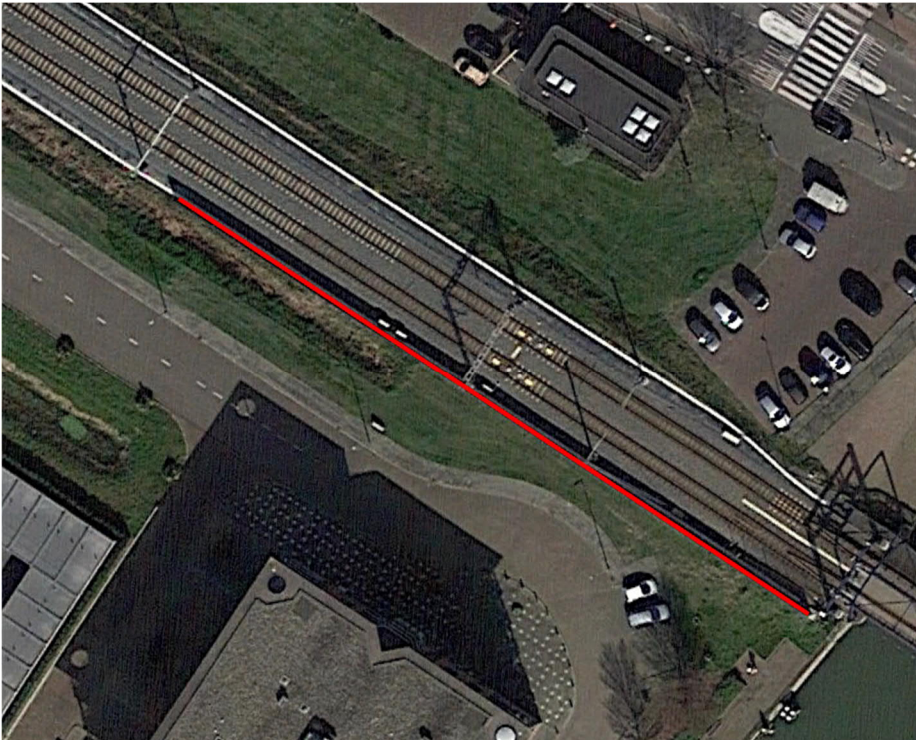
Instraling: Zuidoost

8. Geluidsscherm Noord SDN1 SP1 502.577-502.928 ½



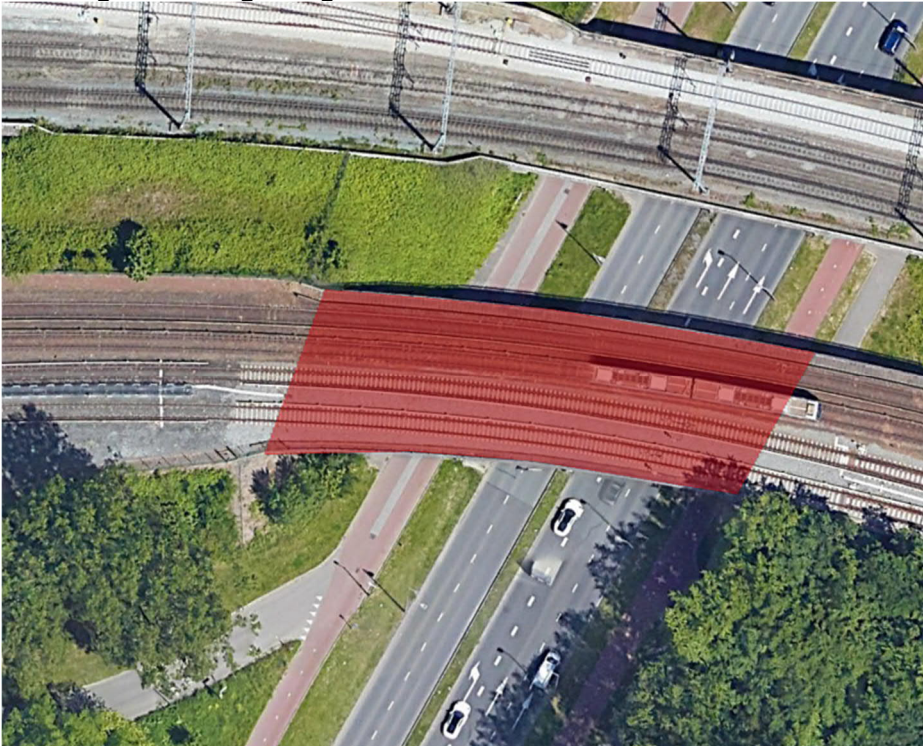
Instraling: zuidoost

9. Geluidsscherm Noord MSC SP1 512.930-513.260



Instraling: Zuidwest

10. Brug verbindingsboog Waalhaven



Instraling: Zuid