Zon op Snelweg



Inventarisatie mogelijkheden zonnepanelen-geluidswal langs de A9 bij Heiloo

Auteur
Wilma Eerenstein

Datum
11 maart 2019

Contact
info@renergize.nl
+31 (0)636429735

Dit rapport is mogelijk gemaakt door een subsidie van de Gedeputeerde Staten van de Provincie Noord-Holland, onder kenmerk 1141097/1142604 in opdracht van Heiloo Energie en Duurzaam Heiloo.

Heiloo Energie
een duurzaam burgerinitiatief

duurzaamheiloo.nl

Inhoud

Samenvatting 4
Resultaten 4
1. Definities 6
1.1 Geluidswal 6
1.2 Geluidsscherm 6
1.3 PV-Geluidsscherm 7
2. Achtergrond 9
2.1 Geluidshinder 9
2.2 De nieuw afslag A9 en fijnstof 9
2.3 De energie transitie 9
3. Vraagstellingen van dit project 9
4. Eerder onderzoek naar een geluidswal in Heiloo 10
5. Resultaten 11
5.1 Uitgangspunten: locatie, maximale lengte, hoogte en afstand tot de weg 11
5.2 Uitvoering van het PV-geluidsscherm 12
5.2.1 Het PV-geluidsscherm 14
5.2.2 De Zonnewal 15
5.3 Investering en Exploitatie 16
5.3.1 PV-Scherm op buis-frame constructie, met bifaciale zonnepanelen a 310 Wp 17
5.3.2 PV-Scherm op frame constructie, met monofaciale zonnepanelen a 320 Wp aan beide zijdes 18
5.3.3 Zonnewal met monofaciale zonnepanelen a 320 Wp 19
5.3.4 Nauwkeurigheid en gevoeligheid van de berekeningen 20
5.3.5 Entiteiten 20
5.3.6. Overige meerwaarde voor de gemeente Heiloo 21
5.4 Geluidsreductie 21
5.5 Fijnstofreductie 21
5.6 Vergunningen, toestemming, draagvlak 22
6. Verdere Stappen 23
7. Conclusies 23
Dankwoord en financiering 24
Bijlage A: Eigenschappen Geluidsschermen 25

Bijlage B: Zonne-Geluidsschermen 27
Aantallen en uitvoeringsvormen 27
Financiële gegevens zonne-geluidsschermen 31
Bijlage C: Mogelijke leveranciers van PV geluidsschermen 33
Heijmans 33
BAM 34
TNC Energie 34
Kohhauer GMBH 35
Referenties 36

Samenvatting

In project 'Zon op Snelweg' is gekeken naar de mogelijkheid om langs de A9 ter hoogte van Heiloo – in ieder geval ter hoogte van de wijk 'Plan Oost' – een geluidsscherm te plaatsen dat is opgebouwd uit zonnepanelen. Ook is gekeken naar de optie van een zonnewal, een aarden geluidswal met panelen direct op het talud geplaatst. Het betreft de inventarisatie fase, waarin gekeken is naar de volgende aspecten:

- Dimensies
  - Lengte, hoogte
- Exploitatie
  - Investeringskosten geluidswal en elektrische aansluitingen
  - Aantal panelen, totale vermogen en verwachtte jaaropbrengst
  - Exploitatiemodellen: postcoderoos, SDE+
  - Overige meerwaarde: gezondheid, huizenprijzen, beschikbaarheid bouwlocaties en fijnstofreductie
- Effectiviteit
  - Op geluid (schatting)
  - Op fijnstof (schatting)
- Stappenplan uitrol

Dit is gedaan middels literatuuronderzoek, gesprekken met Rijkswaterstaat, de Gemeentes Heiloo, Alkmaar en Pijnacker, en met de bedrijven Heijmans, BAM en Kohlhauer.

Resultaten

De bedrijven die normaliter standaard geluidsschermen installeren (Heijmans, BAM, Kohlhauer), denken in termen van een zwaar geluidsscherm met hier zonnepanelen tegen aan. Voor de situatie in Heiloo is het juist interessant om een scherm op te bouwen uit standaard zonnepanelen. De gemeente Alkmaar denkt in dezelfde lijn, en heeft daarom zelf zo'n scherm ontworpen en doorgerekend. Zij willen deze gaan plaatsen langs de Huiswaarderweg (N245), en Heiloo zou hier op mee kunnen liften. Uit de berekeningen komen drie mogelijke constructies:

a) Een verticaal geplaatst scherm, met hierop glas-glas bifaciale zonnepanelen, deze zonnepanelen kunnen aan beide zijdes licht invangen. 's Ochtends produceert de oostkant dan de meeste stroom, en 's middags de westkant.
b) Een A-vormig scherm, waarbij aan beide zijdes van de A standaard zonnepanelen geplaatst worden.
c) Een geluidswal, met zonnepanelen aan beide zijdes direct op het talud geplaats.

Om effectief te zijn is een lengte van minimaal 1.6 km nodig, 3.0 km is echter aan te raden omdat daarmee ook de nieuwe afslag voorzien wordt van geluidswerende maatregelen en met deze lengte een groter bijdrage aan de duurzame energie voorziening geleverd kan worden, die meetelt in de regionale energie strategie (RES). De maximale hoogte is 5 m, daarboven is een dusdanige verzwaring van de constructie nodig die qua kosten niet opweegt tegen de extra stroomopbrengsten.

Voor alle drie de opties kan bij de Provincie Noord-Holland een EFRO-Kansen voor West subsidie aangevraagd worden tot 40% van de benodigde investering (excl. financieringskosten). Met een

gemeentelijke bijdrage tussen 500.000-700.000 euro is het mogelijk om binnen een totale looptijd van ongeveer 25 jaar de installatie terug te verdienen.

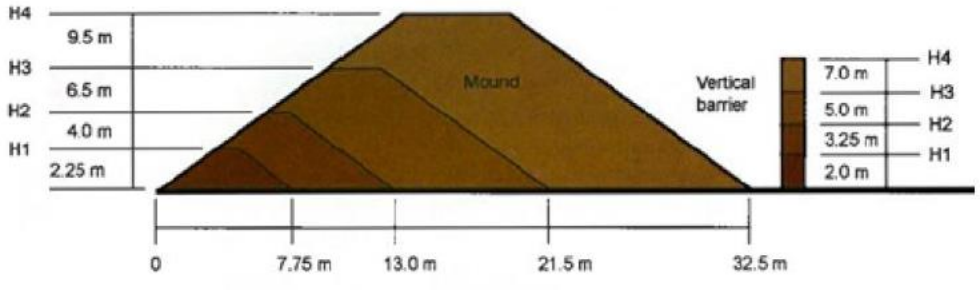
Door gecombineerde uitrol in Alkmaar (2.4 km) en Heiloo kan wellicht ook nog financieel bespaard worden d.m.v. modulaire productie en installatie. Het is zeer de moeite waard om hiervoor binnen de Topsector Energie een ontwikkelproject aan te vragen.

De aanbeveling voor een vervolg is om door te gaan met verdere constructie berekeningen en verfijning van het financieel model, inclusief het opstellen van een cash-flow model. De drie opties kunnen uitgewerkt worden in samenwerking met de gemeente Alkmaar. Op basis van de constructieberekeningen volgt dan met meer nauwkeurigheid welke uitvoering financieel het meest aantrekkelijk is. Daarnaast dient een besluit voor de keuze gebaseerd te worden op landschappelijke inpassing en bewonersacceptatie.

1. Definities

1.1 Geluidswal

Een geluidswal is een aarden wal bedoeld om geluid tegen te houden. De aarden wal kan voorzien worden van begroeiing, zoals gras of struiken. Een geluidswal past vaak goed in een landelijke omgeving, vanwege de gelijkenis met het landschap. Nadeel van een geluidswal is de ruimte die nodig is, de breedte neemt behoorlijk toe met de hoogte van een geluidswal, zoals aangegeven in Figuur 1.



Figuur 1. Relatie tussen hoogte en breedte van een geluidswal. Een geluidswal van 4 m hoog is minimaal 13 m breed, bij 6.5 m hoogte is de breedte minimaal 21.5 m.

Naast groen-begroeiing kunnen op geluidswallen ook zonnepanelen geplaatst worden, in dat geval spreken we over een 'geluidswal met PV' of 'zonnewal'. De zonnewal biedt de mogelijkheid om de panelen meteen op de wal te plaatsen, zoals links in Figuur 2, of onder een hoek zoals rechts in Figuur 2.



Figuur 2. Twee voorbeelden van zonnewallen, met links de zonnepanelen direct op de wal geplaatst en rechts de zonnepanelen onder een hoek. De keuze hiervoor wordt vooral bepaald door de richting van de geluidswal.

1.2 Geluidsscherm

Geluidsschermen zijn verticale constructies opgebouwd uit geluidsabsorberende en – reflecterende materialen, en zijn beschikbaar in vele gedaantes, kleuren en materialen zoals hout, houtvezelbeton, aluminium cassettes gevuld met absorberend materiaal en doorzichtige (transparante) platen. Zowel transparante platen als het aanbrengen van een patroon kunnen de landschappelijke inpassing verbeteren zoals weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3. Links: transparant geluidsscherm, Rechts: patroon bedoeld om landschappelijke inpassing te verbeteren.

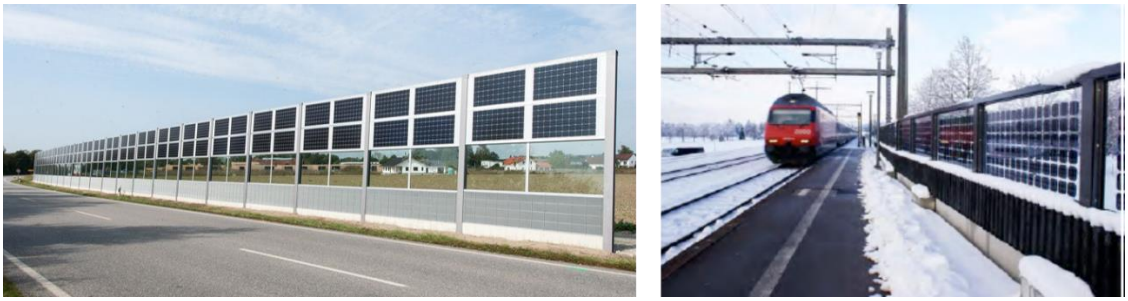
Ook op een geluidsscherm kunnen zonnepanelen aangebracht worden. Dit is met name interessant voor locaties waar reeds een geluidsscherm aanwezig is, en waar het met de huidige lage prijzen voor zonnepanelen interessant is om deze er op (bovenop of er tegenaan, zie voorbeelden in Figuur 4) te plaatsen. In dat geval spreken we in dit rapport van een 'geluidsscherm met PV'.



Figuur 4. Voorbeelden van geluidsschermen met PV. Links een betonnen geluidsscherm met op de bovenrand zonnepanelen geplaatst (A9, Amstelveen), rechts een geluidsscherm van akoestische cassettes waartegen zonnepanelen geplaatst zijn (Oppeano, Italië).

1.3 PV-Geluidsscherm

Daar waar nog geen geluidsscherm aanwezig is, is het interessant om het nieuw te plaatsen scherm meteen geheel uit zonnepanelen op te bouwen. De zonnepanelen doen dan tevens dienst als geluidswering. Twee voorbeelden zijn te zien in Figuur 5. In dat geval spreken we van een PV-geluidsscherm. Meer details en technische randvoorwaarden zijn beschreven in Bijlage B.



Figuur 5. Voorbeelden van PV-geluidsschermen. Links: opgebouwd uit niet-transparante zonnepanelen (Eurorail), Rechts: opgebouwd uit 'bifaciale', transparante zonnepanelen (TNC, Zwitserland)

Voor de situatie in Heiloo wordt vooral het PV-geluidsscherm kansrijk geacht. Een geluidsscherm met PV is minder kansrijk vanwege de hoge kosten voor een geluidsscherm. Een zonnewal zou ook een interessante optie kunnen zijn. De opties voor een PV-geluidsscherm en een zonnewal worden verder uitgewerkt in dit rapport.

In het Engels en in de literatuur wordt vaak gesproken over een ‘PV Noise barrier’, afgekort ‘PVNB’. Er wordt hierbij geen onderscheid gemaakt tussen geluidswallen – en geluidsschermen met hierop PV panelen, en PV geluidsschermen die uit zonnepanelen zijn opgebouwd. In Bijlage B wordt een overzicht gegeven van de beschikbare literatuur over PVNBs en in Bijlage C wordt een overzicht gegeven van leveranciers van zonne-geluidschermen.

2. Achtergrond

2.1 Geluidshinder

In de gemeente Heiloo loopt al lange tijd een discussie of een geluidswal langs de A9 noodzakelijk is, omdat bewoners van de twee naastgelegen wijken 'Plan Oost' en 'Ypestein' geluidshinder ervaren, maar volgens landelijke geluidsberekeningen de normen niet overschreden worden. De berekeningen gaan uit van een gemiddelde geluidsbelasting over een etmaal, terwijl de bewoners hinder ondervinden van piekbelasting. Op de geldigheid/effectiviteit van de berekeningen gaat dit rapport niet verder in.

Omdat de berekeningen van de geluidshinder aantonen dat de geluidswaarden onder de normen vallen, is Rijkswaterstaat niet verplicht om langs de A9 een geluidswal aan te leggen. Het staat de gemeente Heiloo wel vrij, om zelf een geluidswal aan te leggen, op eigen kosten.

2.2 De nieuw afslag A9 en fijnstof

Ook de nog te realiseren afslag voor de A9 heeft een lang voortraject. Besloten is dat de afslag A9 er gaat komen, om de nieuwbouwwijken Zandzoom en Zuiderloo mogelijk te maken, zonder een grote toename van verkeer door Heiloo om naar de A9 te komen. Dit rapport heeft niet ten doel om deze afslag ter discussie te stellen. Een recente uitspraak van de Raad van State stelt dat de nieuwe afslag een acceptabele invloed heeft op fijnstof concentraties, en mogelijke fijnstof uitstoot is geen reden om van de afslag af te zien. Echter, de Gemeente Heiloo ziet de meerwaarde van een geluidswal om toch ook een positieve invloed te hebben op het verder verminderen van fijnstof in de wijken en omringende natuur.

2.3 De energie transitie

De gemeente Heiloo heeft de ambitie de groenste gemeente van Nederland te willen zijn, en wil tevens in staat zijn binnen de gemeentegrenzen zo veel mogelijk duurzame energie op te wekken. Omdat Heiloo een relatief kleine gemeente is qua oppervlak, zijn grootschalige zonneweides niet wenselijk. Een PV-geluidswal zou een significante bijdrage aan de energie- en CO_2 doelstellingen van de gemeente Heiloo kunnen leveren. De exacte hoeveelheden hangen af van de uitvoering van de geluidswal en worden uitgewerkt in Resultaten: vermogen, stroomopbrengst en CO_2 reductie.

3. Vraagstellingen van dit project

Hoe kan een PV-geluidsscherm langs de A9 in Heiloo bijdragen aan geluidsreductie, fijnstofreductie en opwekking van duurzame energie: wat is een geschikte uitvoeringsvorm?

Welke investering is daarbij gemoeid en wat is een mogelijk exploitatiemodel (verkoop stroom, eigenaarschap, rechtsvorm en mogelijke burgerparticipatie)?

Dit project betreft een eerste inventarisatie, waarbij deze vragen op hoofdlijnen beantwoord worden. Om te komen tot realisatie dienen vervolgens details veel verder uitgewerkt te worden in een Pakket van Eisen, offerte van een aannemer en vergunningentraject. Tevens dienen dan de akoestische eigenschappen en effecten op fijnstof door gespecialiseerde bureaus vastgesteld te worden.

4. Eerder onderzoek naar een geluidswal in Heiloo

De gemeente heeft een aantal mogelijkheden voor een geluidswal laten onderzoeken op effectiviteit (te verwachten geluidsreductie) en kosten. Deze berekeningen zijn uitgevoerd door bureau M+P [19-21]. De geluidcontouren vanaf 55 dB zijn in Figuur 6 weergegeven voor de huidige situatie zonder geluidsscherm. Hierin is te zien, dat langs de rand van Plan Oost, het dichts bij de A9, geluidsniveaus rond de 55 dB voorkomen.



Figuur 6. Geluidscontourkaart rond de A9, huidige situatie zonder geluidsscherm.

In onderstaande tabel staan de opties en resultaten weergegeven. Bij deze berekeningen is uitgegaan van een investeringsbudget van 400.000 euro [19].

Type geluidswal	Lengte	hoogte	dB reductie bij woningen 1e lijn
Wal 2,5 m hoog	787	2,5	3
Wal 2 m plus scherm 2 m	143	4	1
Scherm: 5 m	73	5	Niet zinvol vanwege 73 m
Diffractor	1028	< 1	1
Dubbellaags ZOAB fijn	882	nvt	2

Duidelijk is dat met een budget van 400.000 euro de gestelde reductie van 6 dB niet gehaald kan worden. Om 6 dB reductie te halen is een scherm nodig van minimaal 1250 m lang en 4 m hoog [19].

Op het wegdek heeft RWS reeds dubbellaags ZOAB aangebracht, dit heeft een geluid reducerend effect t.o.v. standaard asfalt beton. Fijn ZOAB kan nog meer reductie teweegbrengen, maar de reductie is onvoldoende [19] en weegt niet op tegen de kosten.

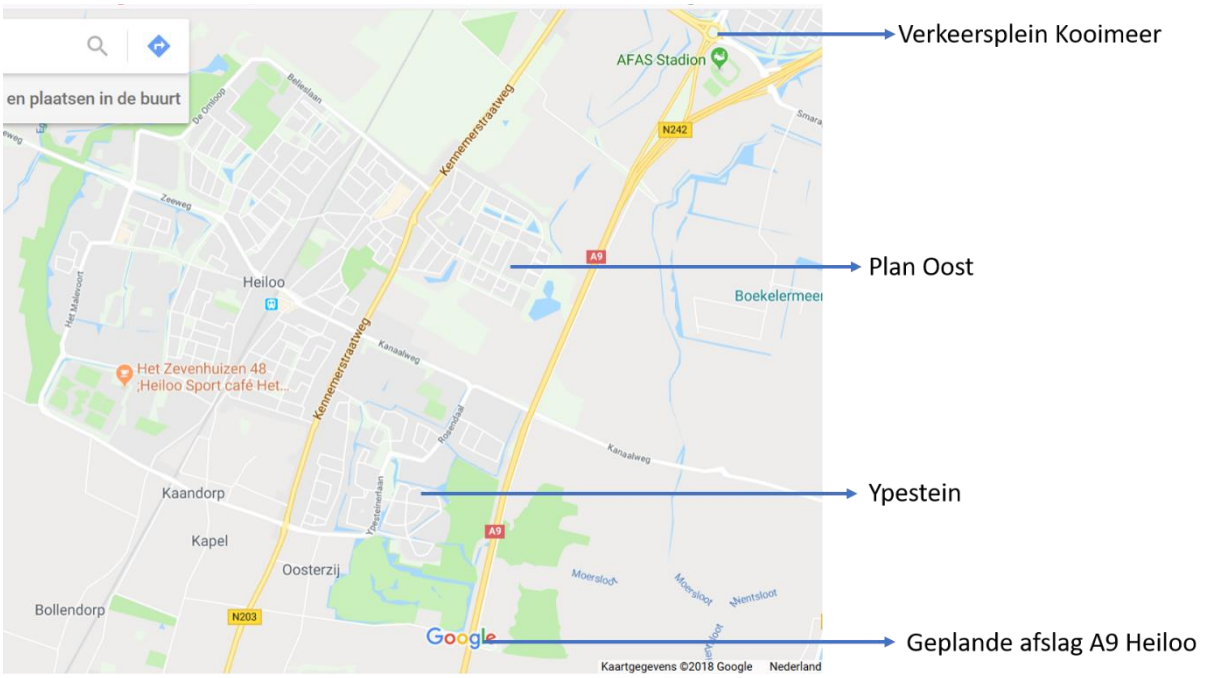
Een diffractor is fors goedkoper dan een standaard geluidsscherm. Het effect is echter ook minder, zeker gezien het feit dat op deze locatie de diffractoren op grotere afstand van de weg geplaatst moeten worden. De gemeente heeft derhalve afgezien van deze optie [22].

Deze rapporten hebben geen effect op fijnstofreductie bepaald.

5. Resultaten

5.1 Uitgangspunten: locatie, maximale lengte, hoogte en afstand tot de weg

In Figuur 1 is op de kaart aangegeven om welk gedeelte van de A9 het gaat. De afstand van verkeersplein Kooimeer tot de geplande afslag A9 Heiloo is 4,1 km.



Figuur 1. Kaart (Google Maps) met de A9, verkeerplein Kooimeer, de wijken Plan Oost en Ypestein en de geplande afslag A9 voor Heiloo (nog in aanbouw).

De maximale lengte bedraagt derhalve 4,1 km. De benodigde hoogte hangt af van:

- Een minimale geluidsreductie bij de woningen langs de rand van Plan Oost van 6 dB
- De afstand tot de weg en de woningen
- De geluidswerende eigenschappen van het PV-geluidsscherm (dikte van het glas)

Uit rapport [19]: maatregelen zijn effectief indien deze over een voldoende grote zichthoek de weg afschermen. Grofweg kan worden gesteld dat de maatregel ten minste 2 x en bij voorkeur 4 x zo lang dient te zijn als de afstand van de waarnemer tot aan de weg. De kortste afstand van woningen tot aan de Rijksweg A9 is 250 meter. Dat betekent dat maatregelen pas effectief zijn als deze over een lengte van meer dan 1,1 km en bij voorkeur 1,6 km worden aangebracht.

Op basis hiervan worden de volgende 3 lengtes onderzocht:

- Optie 1: 1,6 km, van Nijenburgerbrug tot Kanaalweg - alleen Plan Oost is dan beschermd met een geluidswal
- Optie 2: 3 km, van Nijenburgerbrug tot aan de geplande afslag A9 – hiermee zijn zowel Plan Oost als Ypestein beschermd.
- Optie 3: 4,1 het volledige traject van Kooimeer tot aan de geplande afslag.

Een vierde optie is om te starten met optie 1, en bij gebleken werking verder uit te breiden naar de geplande afslag en eventueel ook Kooimeer. Dan wordt het traject eerst opgebouwd uit 1 traject van 1,6 km, dan een tweede traject van 1,4 km en eventueel een derde traject van 1 km.

Op de kaart in Figuur 2 zijn de drie opties ingetekend.



Figuur 2. Kaart (Google Maps) met de drie opties voor een geluidswal langs de A9 ter hoogte van Plan Oost beginnend bij de Nijenburgerbrug (optie 1), Plan Oost en Ypestein (optie 2), en geheel doorlopend van Kooimeer tot aan de geplande afslag A9 (optie 3).

5.2 Uitvoering van het PV-geluidsscherm

Bij de uitvoering spelen naast hoogte en lengte van het beoogde geluidsscherm ook nog andere aspecten een rol, namelijk het type zonnepaneel (afmeting), of deze horizontaal (landscape) of verticaal geïnstalleerd worden, de installatie hoek en of er wel/niet voor dubbelzijdige zonnepanelen gekozen wordt, zie voor meer informatie Bijlage B.

Daarnaast werkt Rijkswaterstaat met een zogeheten ‘modulair geluidsscherm (MGS)’, dit scherm is opgebouwd uit panelen met een standaardafmeting van 6x1 m [23]. Een voorbeeld is weergeven in Figuur 3. Dit betekent niet, dat alle schermen er hetzelfde uit hoeven te zien, de hoogte van het scherm, het soort materiaal en kleur kunnen verschillen.



Figuur 3. Modulair Geluidsscherm volgens de normen van Rijkswaterstaat [23].

Bij het realiseren van een PV-geluidsscherm hoeft deze niet aan de MGS standaarden te voldoen. Wel betekent dit, dat de aannemer een eigen ontwerp moet maken voor de constructie en aan dient te tonen dat deze aan de norm voldoet (zie Bijlage A). Standaard zonnepanelen zijn fors in prijs gedaald. De vraag is of standaard zonnepanelen voldoende geluidsreductie zullen bewerkstelligen. Bij een geluidsscherm zijn 3 mechanismes actief die voor geluid reductie zorgen (zie ook Bijlage A voor meer details): absorptie in het scherm, reflectie van geluid dat tegen het scherm komt en afbuiging van geluid dat aan de bovenzijde komt. Absorptie wordt alleen gehaald bij voldoende dikte. Kan bij een geluidsscherm van minimaal 6 m hoog opgebouwd uit standaard glas-glas panelen (2x3 mm glas) ook voldoende geluid reductie behaald worden? Heijmans en BAM hebben hier geen gedetailleerde uitspraak over gedaan, maar denken wel dat het zou kunnen. Daarom wordt in dit rapport eerst gekeken wat financieel en praktisch een haalbare afmeting is, en zal voor deze afmeting een akoestische berekening gedaan moeten worden (buiten de scope van dit project).

Verder dient rekening gehouden te worden met de volgende zaken:

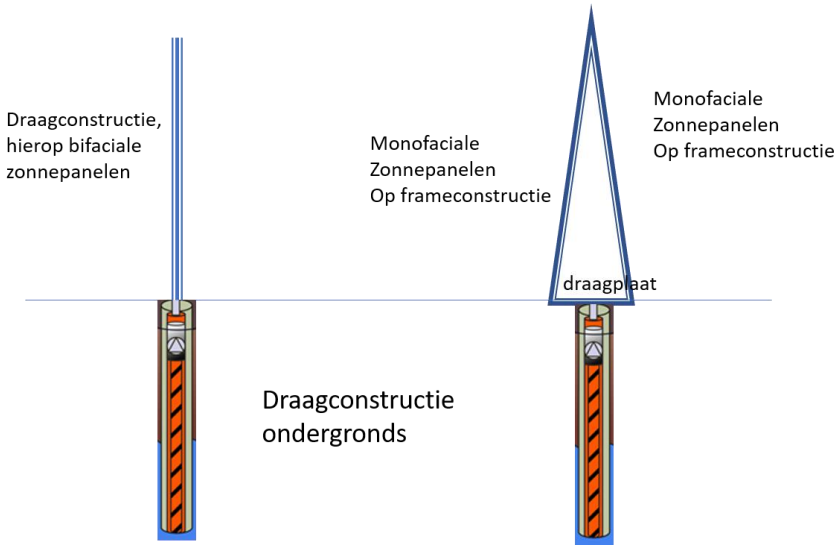
- Vanwege steenslag kun je panelen niet helemaal tot onderop plaatsen. Kohlhauer raadt 2 m vanaf de grond aan, Heijmans en BAM minimaal 1 m vanaf de grond.
- Omdat standaard panelen minder dik zijn dan de platen waar doorgaans een geluidsscherm van gemaakt is, kun je niet heel hoog gaan zonder extra eisen aan de constructie. Hier dient in het ontwerp rekening mee gehouden te worden, dit omslagpunt ligt bij 5,5 m [30].

Een speciaal gemaakt PV-geluidsscherm met 2x8 mm glas is financieel niet haalbaar, zie Bijlage C. Een andere optie kan nog zijn een standaard geluidsscherm, met hiertegen zonnepanelen bevestigd. Vanwege hoge investeringskosten van dit concept, zie ook bijlage C, wordt dit concept niet verder uitgewerkt.

Daarom wordt in de hieronder volgende berekeningen uitgegaan van een PV-geluidsscherm opgebouwd uit standaard glas-glas zonnepanelen. We onderscheiden hierbij twee opties:

1. Een loodrecht geplaatst scherm, waarbij bifaciale zonnepanelen geplaatst worden
2. Een A-vormig scherm onder een lichte hellingshoek, waarbij aan twee zijdes gewone (monofaciale) zonnepanelen geplaatst worden.

Deze opties zijn schematisch weergegeven in Figuur 5. Het voordeel van de verticale optie is dat er 2x minder zonnepanelen geplaatst hoeven te worden, het voordeel van de A-vorm is dat de constructie beter in staat is windbelasting op te vangen en naar verwachting meer geluidsreductie teweeg brengt.



Figuur 5. De twee uitvoeringsvormen van het mogelijke PV geluidsscherm. Links: loodrechte plaatsing van bifaciale zonnepanelen. Rechts: plaatsing van standaard (monofaciale) panelen onder een lichte hellingshoek.

Voor Heiloo kan een zonnewal met zonnepanelen op beide zijdes van het talud ook interessant zijn. Voordeel hiervan is dat er een draagconstructie is (de wal zelf) die meteen voor beide zijdes dienst doet. Tevens levert de wal voldoende geluidsreductie.

Voor deze drie opties is voor de drie lengtes berekend hoeveel panelen, jaarlijkse stroom en CO2 besparing haalbaar is. Hierbij is uitgegaan van een hoogte van 5,5 m met 4 meter aan zonnepanelen. Bij hogere constructies neemt de windbelasting behoorlijk toe en moeten de constructie en fundering verzwaard worden [30].

5.2.1 Het PV-geluidsscherm

In onderstaande berekeningen voor het aantal panelen is uitgegaan van schermen van 5-5,5 m hoogte (afhankelijk van de hellingshoek), waarvan PV op de bovenste 4 m. Verder wordt uitgegaan van de 3 lengte opties en wordt aangenomen dat de onderste 1 m niet uit zonnepanelen bestaat (veiligheid, begroeiing). Bij landscape plaatsing van de panelen (afmeting 1,65x1 m), zijn de volgende aantallen panelen mogelijk bij de bifaciale en de monofaciale, tweezijdige variant:

	lengte scherm (m)	hoogte (m)	aantal panelen bifi	aantal panelen mono
Optie 1	1600	5	3.879	7.758
Optie 2	3000	5	7.273	14.545
Optie 3	4100	5	9.939	19.879

In het definitieve ontwerp moet ook gelet worden op toegankelijkheid voor onderhoud, verkeersveiligheid (vangrail), plaatsing van vluchtdeuren, bescherming tegen vandalisme (graffiti en vernielingen) en diefstal. Het daadwerkelijk aantal panelen zal dan iets lager zijn.

Voor de bifaciale en de monofaciale, tweezijdige varianten worden hieronder het verwachte vermogen, jaarlijkse stroomopbrengst en CO_2 besparing weergegeven. De uitgangspunten hierbij zijn:

- De bifaciale panelen hebben een vermogen van 310 Wp en leveren een jaarlijkse stroom van 0.9 kWh/Wp. Dit is gebaseerd op het feit dat bifacial geluidsschermen ongeveer 1 kWh/Wp leveren [14] en deze zijn geoptimaliseerd voor schaduw, wat hier niet het geval is en daarom tot een iets lagere stroomopbrengst leidt.
- De monofacial panelen hebben een vermogen van 320 Wp en leveren een jaarlijkse stroom van 0.7 kWh/Wp, vanwege hun oriëntatie.
- Een gemiddeld huishouden gebruikt 3400 kWh aan stroom op jaarbasis
- De jaarlijkse CO_2 reductie die hiermee te behalen is, wordt berekend uitgaande van 0,46 kg CO_2 per kWh zonnestroom [27].

Tabel 1: Bifacial PV geluidswal

	lengte scherm (m)	hoogte (m)	aantal panelen bifi	Vermogen (Wp)	kWh/jaar	# huishoudens/jaar	ton CO2/jaar	ton CO2 25 jaar
Optie 1	1600	5	3.879	1.202.424	1.082.182	318	498	12.445
Optie 2	3000	5	7.273	2.254.545	2.029.091	597	933	23.335
Optie 3	4100	5	9.939	3.081.212	2.773.091	816	1.276	31.891

Met deze constructie kan voor een aantal van 318 tot 816 huishoudens stroom opgewekt worden, en jaarlijks kan tussen 498 en 1276 ton CO_2 bespaard worden, over een looptijd van 25 jaar is er een besparing tussen 12.445 en 31.891 ton CO_2 mogelijk.

Tabel 2: Monofacial geluidswal met tweezijdige plaatsing zonnepanelen

	lengte scherm (m)	hoogte (m)	aantal panelen mono	Vermogen (Wp)	kWh/jaar	# huishoudens/jaar	ton CO2/jaar	ton CO2 25 jaar
Optie 1	1600	5	7.758	2.482.424	1.737.697	511	799	19.984
Optie 2	3000	5	14.545	4.654.545	3.258.182	958	1.499	37.469
Optie 3	4100	5	19.879	6.361.212	4.452.848	1.310	2.048	51.208

Met deze constructie kan voor een aantal van 511 tot 1310 huishoudens stroom opgewekt worden, en jaarlijks kan tussen 799 en 2.48 ton CO_2 bespaard worden, over een looptijd van 25 jaar is er een besparing tussen 19.984 en 51.208 ton CO_2 mogelijk.

5.2.2 De Zonnewal

Een andere uitvoeringsvorm die interessant kan zijn is een geluidswal van 4,5-5 m hoog, met zonnepanelen direct op het talud geplaatst (zonnewal). In dat geval kunnen vier rijen panelen landscape geplaatst worden, aan beide zijden. De panelen zijn dan monofacial en deze hebben een vermogen van 320 Wp. Vanwege de oost-west oriëntatie en de hellingshoek, is in de berekeningen ook uitgegaan van 700 kWh/kWp. Voor de drie lengte opties zijn dan de volgende aantallen panelen, vermogen, stroomopbrengsten en CO_2 besparing mogelijk.

	lengte scherm (m)	hoogte (m)	aantal panelen mono	Vermogen (Wp)	kWh/jaar	# huishoudens/jaar	ton CO2/jaar	ton CO2 25 jaar
Optie 1	1600	5	7.758	2.482.424	1.737.697	511	799	19.984
Optie 2	3000	5	14.545	4.654.545	3.258.182	958	1.499	37.469
Optie 3	4100	5	19.879	6.361.212	4.452.848	1.310	2.048	51.208

Met deze constructie kan voor een aantal van 511 tot 1.310 huishoudens stroom opgewekt worden, en jaarlijks kan tussen 799 en 2.048 ton CO_2 bespaard worden, over een looptijd van 25 jaar is er een besparing tussen 19.984 en 51.208 ton CO_2 mogelijk.

5.3 Investering en Exploitatie

De kosten die het meest bepalend zijn voor de financiële haalbaarheid, zijn de kosten van de constructie. Hier zit ook de meeste onzekerheid, omdat de constructies innovatief zijn.

De gemeente Alkmaar heeft berekeningen gedaan voor de zonnewal en voor een PV-geluidsscherm bevestigd op stalen buizen, zie ook Bijlage C. Deze getallen zijn gebruikt als input voor de berekeningen van Heiloo, voor de 3 lengte situaties.

Hierbij is aangenomen dat het bifacial scherm per m^2 duurder is dan het monofacial scherm, vanwege de sterkere windbelasting, maar het monofacial scherm dient tweezijdig geïnstalleerd te worden. De genoemde investeringskosten zijn excl BTW.

Uitgangspunten bij de berekeningen:

- De kosten van de netaansluiting zijn sterk afhankelijk van de systeemgrootte:
    - 1-2 MVA: 34.657 euro eenmalig
    - 2-5 MVA: 223.270 euro eenmalig
    - 5-10 MVA: 265.137 euro eenmalig
        - Bij de aansluiting vanaf 2 MVA geldt ook een veel hogere prijs voor de extra kabellengte en voor de jaarlijkse netbeheerkosten. Een systeem net boven de 2 MVA is daarom minder aantrekkelijk
- De gemeente Heiloo draagt 500.000-700.000 euro bij, afhankelijk van de lengte
- Er is een subsidie mogelijk via de Provincie Noord-Holland, Kansen voor West [33]
- Lineaire financiering met 2.5% rente, lening wordt geheel afgelost binnen 15 jaar.
- Bifaciale panelen, plus kabels en omvormers kosten 200 euro/paneel van 310 Wp
- Monofaciale panelen, plus kabels en omvormer kosten 160 euro/paneel van 320 Wp, direct geschroefd op het geluidsscherm
- Monofaciale panelen, plus kabels, rekken en omvormer kosten 256 euro/paneel van 320 Wp, geïnstalleerd op de aarden wal.
- Twee verkoopmodellen voor de stroom:
    - 15 jaar SDE, a 0,11 euro/kWh (SDE à 0,06 euro en verkoop stroom à 0,05 euro)
    - 15 jaar postcode-roos, a 0,16 euro/kWh
- Na 15 jaar verkoop stroom a 0,05 euro/kWh
- Kosten voor eventuele landaankoop is niet meegenomen

De berekening:

SDE en postcode-roos lopen 15 jaar. Daarna heeft het scherm een ‘stopwaarde’. De stroom wordt dan verkocht tegen 0,05 euro/kWh. Hoeveel jaar dient het systeem dan nog operationeel te blijven om de stopwaarde terug te verdienen?

5.3.1 PV-Scherm op buis-frame constructie, met bifaciale zonnepanelen a 310 Wp

Scenario 1: hele systeem via SDE+ regeling
Uitgangspunt: de gehele investering, minus de bijdrage van de gemeente en de provinciale subsidie wordt geleend en afgelost.

De foutmarge in de berekening van de stopwaarde en aantal jaren is ongeveer 10%. Getallen zijn derhalve afgerond.

Lengte (m)	Vermogen (MW)	Totale investering (€, excl. fin. Kosten)	Stopwaarde (€)	Aantal benodigde operationele jaren
1600	1,17	3.200.000	€ 300.000	6,5
3000	2,19	6.300.00	€ 1.100.000	13,5
4100	2,99	8.500.000	€ 1.450.000	12,5

Bij de lengte van 3 km komt het vermogen net boven de 2 MW uit, waardoor een zware, dure netaansluiting noodzakelijk zou zijn. Het is praktijk wenselijk om deze zo uit te voeren, dat het vermogen net onder de 2 MW blijft. In dat geval is voor deze configuratie het volgende mogelijk:

Lengte (m)	Vermogen (MW)	Totale investering (€, excl. fin. Kosten)	Stopwaarde (€)	Aantal benodigde operationele jaren
1600	1,17	3.200.000	€ 300.000	6,5
3000	**1,99**	5.800.000	**€ 900.000**	**11**
4100	2,99	8.500.000	€ 1.450.000	12,5

Dit zou betekenen dat met een totale looptijd van 26 jaar (15 jaar SDE plus 11 jaar extra looptijd) de installatie zichzelf heeft terugverdiend.

Een bifacial scherm van 3 km biedt op deze manier de gelegenheid om voor 535 huishoudens stroom op te wekken, en jaarlijks 834 ton CO_2 te besparen. Over de totale looptijd van 26 jaar, wordt dan 21.684 ton CO_2 bespaard. Hiermee kan zo'n scherm een belangrijke bijdrage aan de RES doelstelingen leveren, en tegelijkertijd bijdragen aan geluidsreductie en aan vermindering van fijnstof in de woonwijken, incl. het gebied rondom de nieuwe afslag.

Scenario 2: aantal panelen via burgerparticipatie in de postcode roos, de rest via SDE+.

Uitgangspunt: PCR deelnemers betalen het richtbedrag van 340 euro per paneel, met een kWh/Wp verhouding van 0.9 is dit gelijk aan een standaard paneel en is de terugverdientijd voor de deelnemers < 8 jaar, gelijk aan de investering in een standaard PCR project.

Berekent wordt volgens ons model, of dit voor het scherm als geheel een gunstiger scenario oplevert. Voordeel: het financieringsbedrag is lager en daardoor hoeft minder rente betaald te worden. Nadeel: de opgewekte stroom van de PCR panelen komt ten goede aan de deelnemer, en draagt niet meer bij aan de opbrengsten van de SDE verkoop.

Deze twee effecten heffen elkaar op. Hierdoor blijft de conclusie hetzelfde. Het is dus goed mogelijk om bij het scherm van 3 km bijvoorbeeld 2000-3000 panelen aan te bieden aan inwoners middels de PCR regeling.

5.3.2 PV-Scherm op frame constructie, met monofaciale zonnepanelen a 320 Wp aan beide zijdes

Scenario 1: hele systeem via SDE+ regeling
Uitgangspunt: de gehele investering, minus de bijdrage van de gemeente en de provinciale subsidie wordt geleend en afgelost.

De foutmarge in de berekening is hier hoger, doordat deze constructie nog niet door een constructeur doorgerekend is. Getallen zijn derhalve afgerond.

Lengte (m)	Vermogen (MW)	Totale investering (€, excl. fin. Kosten)	Stopwaarde (€)	Aantal benodigde operationele jaren
1600	2,41	5.200.000	€ 770.000	11
3000	4,52	9.400.000	€ 1.270.000	9
4100	6,18	12.700.000	€ 1.700.000	8,5

In alle gevallen is hier een zware netaansluiting noodzakelijk.

Dit zou betekenen dat met een totale looptijd van 25 jaar (15 jaar SDE plus 10 jaar extra looptijd) de installatie zichzelf heeft terugverdiend.

Een A vormig, tweezijzig scherm van 3 km biedt op deze manier de gelegenheid om voor 958 huishoudens stroom op te wekken, en jaarlijks bijna 1500 ton CO_2 te besparen. Over de totale looptijd van 25 jaar, wordt dan 37.500 ton CO_2 bespaard. Hiermee kan zo'n scherm een belangrijke bijdrage aan de RES doelstelingen leveren, en tegelijkertijd bijdragen aan geluidsreductie en aan vermindering van fijnstof in de woonwijken, incl. het gebied rondom de nieuwe afslag.

Scenario 2: aantal panelen via burgerparticipatie in de postcode roos, de rest via SDE+.

Uitgangspunt: PCR deelnemers betalen het richtbedrag van 330 euro per paneel, met een kWh/Wp verhouding van 0.7 is dit gelijk aan een standaard paneel en is de terugverdientijd voor de deelnemers ongeveer 8 jaar, gelijk aan de investering in een standaard PCR project.

Berekent wordt volgens ons model, of dit voor het scherm als geheel een gunstiger scenario oplevert. Voordeel: het financieringsbedrag is lager en daardoor hoeft minder rente betaald te worden. Nadeel: de opgewekte stroom van de PCR panelen komt ten goede aan de deelnemer, en draagt niet meer bij aan de opbrengsten van de SDE verkoop.

Deze twee effecten heffen elkaar op. Hierdoor blijft de conclusie hetzelfde. Het is dus goed mogelijk om bij het scherm van 3 km bijvoorbeeld 2000-3000 panelen aan te bieden aan inwoners middels de PCR regeling.

5.3.3 Zonnewal met monofaciale zonnepanelen a 320 Wp

Aanname: een zonnewal van 4.5-5 m hoog kost 900 euro per strekkende meter (gemiddelde tussen berekening Alkmaar en info Heijmans).

Scenario 1: hele systeem via SDE+ regeling

Uitgangspunt: de gehele investering, minus de bijdrage van de gemeente en de provinciale subsidie wordt geleend en afgelost.

De foutmarge in de berekening van de stopwaarde en aantal jaren is ongeveer 10%. Getallen zijn derhalve afgerond.

Lengte (m)	Vermogen (MW)	Totale investering (€, excl. fin. Kosten)	Stopwaarde (€)	Aantal benodigde operationele jaren
1600	2,41	3.800.000	€ 140.000	5
3000	4,52	6.700.000	€ -100.000	nvt
4100	6,18	9.100.000	€ -350.000	nvt

Omdat de aarden wal als ondergrond dient voor de zonnepanelen aan beide zijdes, is deze constructie relatief goedkoop.

Een aarden wal van 3 km biedt op deze manier de gelegenheid om voor 958 huishoudens stroom op te wekken, en jaarlijks bijna 1500 ton CO_2 te besparen. Over een totale looptijd van 25 jaar, wordt dan 37.500 ton CO_2 bespaard. Hiermee kan zo'n zonnewal een belangrijke bijdrage aan de RES doelstelingen leveren, en tegelijkertijd bijdragen aan geluidsreductie en aan vermindering van fijnstof in de woonwijken, incl. het gebied rondom de nieuwe afslag.

Wel dient eerst vastegsteld te worden, of zo'n wal wenselijk is, of er voldoende ruimte is (de basis is 15-17 meter breed) en of de gemeente hiervoor grond dient aan te kopen. Dat is nog niet meegenomen in de berekening. Deze constructie kan ook gebruikt worden om de bestaande wal rond de wijk Ypestein te verhogen.

Scenario 2: aantal panelen via burgerparticipatie in de postcode roos, de rest via SDE+.

Uitgangspunt: PCR deelnemers betalen 330 het richtbedrag van euro per paneel, met een kWh/kWp verhouding van 0.7 is dit gelijk aan een standaard paneel en is de terugverdientijd voor de deelnemers ongeveer 8 jaar, gelijk aan de investering in een standaard PCR project.

Berekent wordt volgens ons model, of dit voor het scherm als geheel een gunstiger scenario oplevert. Voordeel: het financieringsbedrag is lager en daardoor hoeft minder rente betaald te worden. Nadeel: de opgewekte stroom van de PCR panelen komt ten goede aan de deelnemer, en draagt niet meer bij aan de opbrengsten van de SDE verkoop.

Deze twee effecten heffen elkaar op. Hierdoor blijft de conclusie hetzelfde. Het is dus goed mogelijk om bij het scherm van 3 km bijvoorbeeld 2000-3000 panelen aan te bieden aan inwoners middels de PCR regeling.

5.3.4 Nauwkeurigheid en gevoeligheid van de berekeningen

De berekeningen zijn het meest gevoelig voor de kosten van de constructie, omdat het gaat om 5 m^2 aan oppervlak per strekkende meter scherm of wal, zorgt 10% verschil in deze kosten voor een verdubbeling (of halvering) van de stopwaarde.

Daarnaast is er een sterke gevoeligheid voor de totale stroomprijs. Er is uitgegaan van een totale stroom prijs van 0,11 euro/kWh, opgebouwd uit 0,06 euro/kWh SDE subsidie en 0,05 euro/kWh verkoopprijs. In de tabel hieronder is voor de bifacial constructie weergegeven wat dan de invloed is van de stroomprijs (gedurende de 15 jaar SDE) op het aantal benodigde operationele jaren na afloop van dit SDE traject.

Lengte (m)	0,09 €/kWh	0,10 €/kWh	0,11 €/kWh	0,12 €/kWh
1600	13,5	10	6,5	3
3000	19,5	16	11	8,5
4100	19,7	16	12,5	9

Het is derhalve belangrijk om de totale constructie kosten, verkoopkosten stroom en nieuwe regeling SDE zo nauwkeurig mogelijk te bepalen in het vervolgtraject.

5.3.5 Entiteiten

Een gemeente kan SDE subsidie aanvragen en tevens een EFRO-Kansen voor West subsidie. Voor burgerparticipatie middels de postcoderoos regeling is een coöperatie nodig. Een optie zou dus kunnen zijn dat de gemeente eigenaar is van de constructie, en een coöperatie eigenaar wordt van een gedeelte van de zonnepanelen.

Een andere mogelijkheid is om voor het zonne-geluidsscherm een aparte coöperatie op te richten, die voor een gedeelte SDE aanvraagt en rest van de panelen middels de PCR regeling onder inwoners verkoopt.

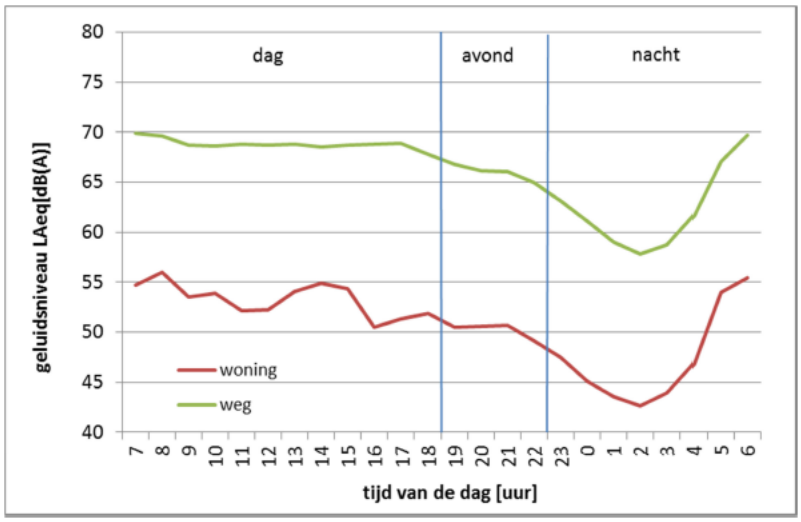
5.3.6. Overige meerwaarde voor de gemeente Heiloo

Voor het realiseren van een zonne-geluidscherm of zonnewal is een gemeentelijke bijdrage noodzakelijk. Voor de gemeente is echter nog andere meerwaarde te behalen, die in de berekeningen niet meegenomen zijn. Dit zijn:

- Invulling van de Regionale Energie Strategie: de opgewekte zonnestroom en verminderde CO_2 uitstoot kunnen volledig meegeteld worden voor de RES doelstellingen.
- Stijging woningwaardes en WOZ inkomsten.
- Geen andere verplichtingen noodzakelijk bij aanscherping van de fijnstofnormen in de toekomst.
- Mogelijke beprijzing van CO_2 in de toekomst.
- Stijging gezondheid en woonplezier inwoners.

5.4 Geluidsreductie

De te verwachten geluidsreductie wordt berekend door de RUD. De huidige geluidsniveaus bij de weg en een woning langs de rand van Plan Oost, is gemeten en laat zien dat het geluidsniveau reeds zeer vroeg in de ochtend hoog is, namelijk 55 dB [19], zie Figuur 5. De bedoeling is om in ieder geval een reductie van 6 dB op de piekmomenten te kunnen bewerkstelligen.



Figuur 5. Gemeten geluidsniveaus over 24 uur langs de A9 en bij een woning aan de rand van Plan Oost [19].

5.5 Fijnstofreductie

Voor fijnstof gelden gemiddelde grenswaardes [31]. Deze zijn op jaarbasis:

- Stikstofdioxide, NO_2: 40 µg/m^3
- Fijnstof, PM10: 50 µg/m^3
- Fijnstof PM2,5: 25 µg/m^3 (momenteel) en 20 µg/m^3 vanaf 2020.

De invloed van een 5,5 m hoog geluidscherm op totale concentraties in de woonwijken zal goed berekend moeten worden. Een vergelijkende berekening voor het Solar Highways scherm bij Uden, toont aan dat de aanwezigheid van het geluidscherm noodzakelijk is om onder de grenswaardes te blijven [32]. In dit geval is de verkeersbelasting op de A50 vergelijkbaar met die op de A9, maar staan

de woningen veel dichter op de weg. Het plaatsen van een geluidsscherm of – wal zal zeker een positieve invloed hebben op de fijnstofconcentraties in de woonwijken.

5.6 Vergunningen, toestemming, draagvlak

Er is sowieso toestemming vereist van alle grondeigenaren. Deze zijn bij de gemeente bekend. Naast de gemeente zelf, gaat het om Natuurmonumenten, Stichting Ter Coulsterbos, Hoogheemraadschap en 1 particulier. Dit is weergegeven op onderstaande eigenarenkaart in Figuur 6.



Figuur 6. Eigenarenkaart [19]. Groen gestreept na Nijenburgerbrug en midden: Natuurmonumenten, roze: particulier, licht blauw gestreept midden: Hoogheemraadschap, lichtgroen ten noorden van Kanaalweg: Ter Coulsterbos

De volgende vergunningen zijn vereist:

- Bij RWS: de waterstaatvergunning. Hierin worden ook afspraken vastgelegd over onderhoud, bv dat onderhoud mogelijk is zonder de weg af te hoeven zetten, en veiligheid.
- Gemeente: bouwvergunning en omgevingsvergunning
    - Bodemkwaliteit: kabels, leidingen, explosieven, verontreinigingen
- Ministerie van Landbouw: Flora/fauna wet

Naast vergunningen is het goed om in een vroeg stadium in gesprek te gaan met bewoners en andere belanghebbenden zoals natuurbeschermingsorganisaties. In Heiloo kan hierbij gedacht worden aan:

- Het Noord-Hollands Landschap, beheert gebied ten westen van de A9, dit gebied is aangemerkt als vogelgebied
- Partijen verenigd via het Groen Platform Heiloo: https://groenplatformheiloo.jouwweb.nl/
- Werkgroep Fruitbomen langs de A9

Indien deze partijen mee kunnen denken over de inrichting, zal dat helpen om weerstand te verminderen/voorkomen.

6. Verdere Stappen

Dit project is een eerste inventarisatie m.b.t. de haalbaarheid van een PV geluidsscherm of zonnewal.

Wij raden de gemeente aan, om verder te gaan met fase 1. Hierin dient een projectteam opgesteld te worden dat aan de volgende stappen gaat werken:

- Afstemming met buurtbewoners en milieuverenigingen zoals hierboven genoemd
- Afstemming met grondeigenaren
- Verdere afstemming met gemeente Alkmaar over Pakket van Eisen en constructie
- Verfijning berekeningen schermen en zonnewal, incl cash-flow model
- Keuze voor type scherm of zonnewal
- Aanvragen vergunningen
- Aanvraag subsidie(s): kansen voor west, en samen met de gemeente Alkmaar binnen de Topsector Energie voor aanvraag technologie ontwikkeling

7. Conclusies

- Bestaande geïntegreerde PV schermen die gemaakt zijn van 2x8 mm glas zijn financieel niet haalbaar
- Een standaard geluidsscherm met hierop zonnepanelen bevestigd is financieel ook niet haalbaar.
- Twee andere opties zijn financieel interessant, waarbij ook samen geïnvesteerd kan worden door de Gemeente en bewoners:
    - Een aarden wal van 5 meter hoog, met op beide zijden zonnepanelen geplaatst op de bovenste 4 meter.
    - Een PV-scherm opgebouwd uit standaard zonnepanelen, geplaatst op een stalen buisframe constructie van 5 meter hoog.
        - Dit scherm zou verticaal geplaatst kunnen worden met glas-glas bifacial zonnepanelen
        - Eventueel kan de constructie gemaakt worden uit 1 fundering, met hierop een A-vormige draagconstructie, op beide zijdes van de A-vorm kunnen dan standaard zonnepanelen geplaatst worden. Deze mogelijkheid is nog niet door een constructeur doorgerekend
- Bij de zonnewal van 5 meter hoog is redelijk zeker dat er dan ook voldoende geluidsreductie wordt behaald
- Bij het PV-scherm op de buizenconstructie moet nog vastgesteld worden of voldoende geluidsreductie behaald kan worden (berekening RUD), de verwachting is dat 6 dB mogelijk is.
- Het is voor de gemeente Heiloo zinvol om op basis van de financiële berekeningen, door te gaan en Fase 1 van dit project in gang te zetten.

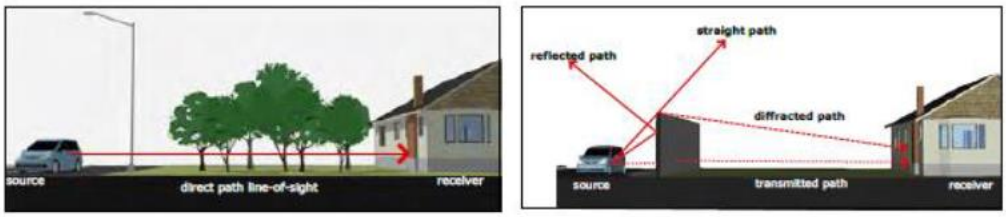
Dankwoord en financiering

Dit project is gefinancierd door de Provincie Noord-Holland, middels een subsidie 'Duurzaamheidsinitiatieven burgercollectieven Noord-Holland'. Renergize Consultancy heeft dit rapport samengesteld met medewerking/input van:

- Harm Hofman, Heiloo Energie
- Ronald van Stiphout, Duurzaam Heiloo
- Ron Poppen, Heiloo Energie
- Fred Wessels, Gemeente Heiloo
- Dirk van der Graaff, Rijkwaterstaat
- Cees de Groot, Gemeente Alkmaar en Groot EcoBouw
- Rens Boersma, Gemeente Pijnacker
- Reinhard Kohlhauer, Kohlhauer GmbH
- Stijn Verkuilen, Heijmans
- Richard Veenstra, BAM

Bijlage A: Eigenschappen Geluidsschermen

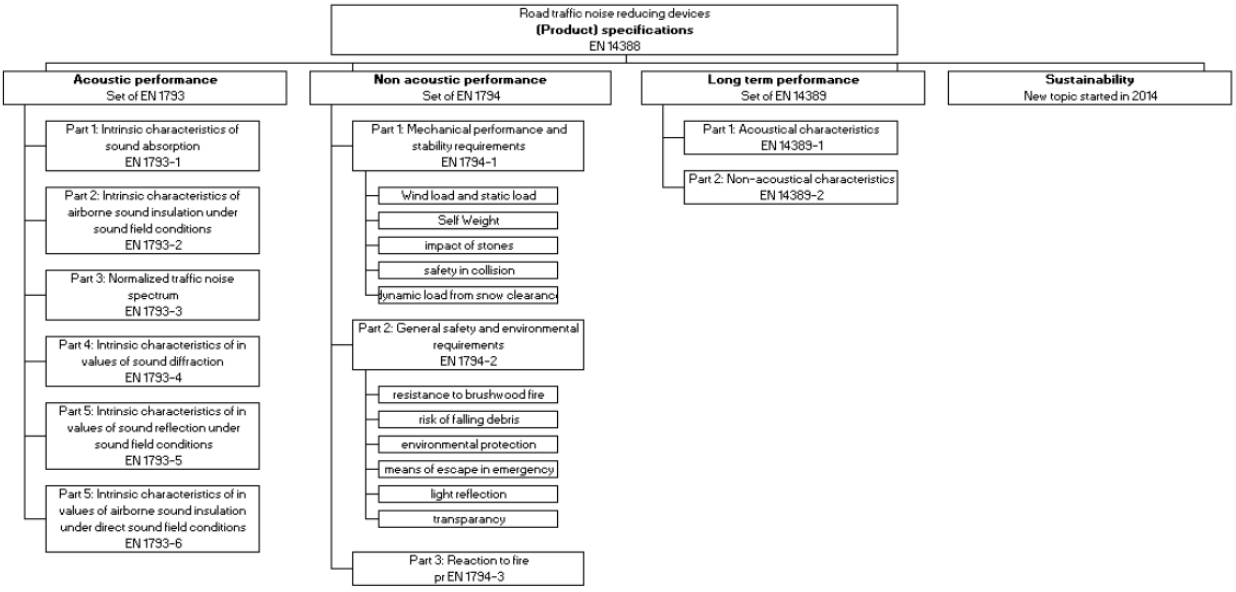
Om effectief te zijn, dient het geluidsscherm zo lang en hoog te zijn, dat de bron aan het zicht onttrokken is. Effectiviteit wordt bepaald door materiaal, locatie, afmeting en vorm. De werking van een geluidsscherm is weergegeven in Figuur A1 [24].



Figuur A1. Werking van een geluidsscherm. Het geluid wordt gedeeltelijk gereflecteerd, afgebogen of in het scherm geabsorbeerd, afhankelijk van de frequentie van het geluid en de eigenschappen van het scherm.

Het effect op de woning is dus dat het geluid verminderd door absorptie, maar tevens komt het afgebogen geluid ook nog bij de woning. Door de afbuiging is het geluid wel minder sterk. Geluid met een lage frequentie (hogere golflengte) wordt meer afgebogen dan geluid met een hoge frequentie. Daarom is het effect van een geluidsscherm minder voor laag frequent geluid (zoals vrachtwagens).

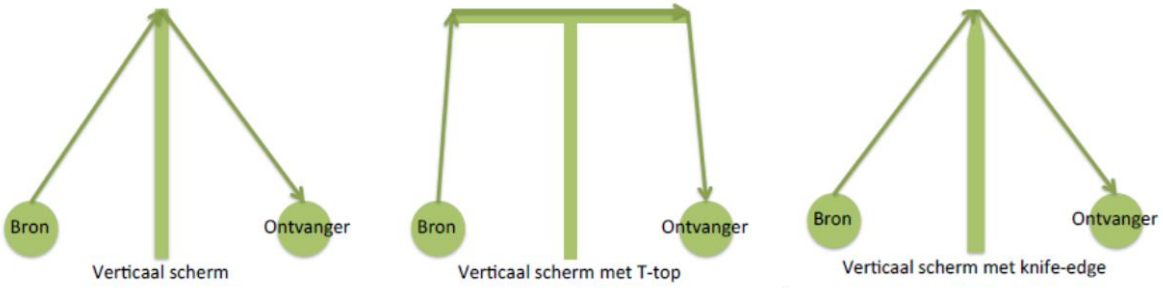
Geluidsschermen dienen te voldoen aan norm EN 14388, hieronder vallen zowel de akoestische eigenschappen (EN 1793) als niet-akoestische eigenschappen (EN 1794) zoals mechanische stabiliteit en veiligheid, en de levensduur (EN 14389). De testen die hieronder vallen zijn schematisch weergegeven in Figuur A2. Een geluidsscherm opgebouwd uit zonnepanelen dient hier ook aan te voldoen.



Figuur A2. De testen die vallen onder norm EN 14388 [24].

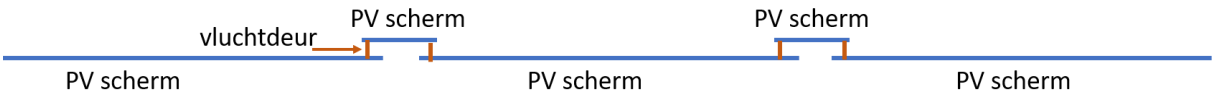
Om voldoende geluidsabsorptie te behalen is een dichtheid van minimaal 15-20 kg/m^2 nodig [24], alhoewel in een andere publicatie 40 kg/m^2 aangehouden wordt [25]. Een gewicht van 40 kg/m^2 zou

bij glas-glas zonnepanelen neerkomen op 2x8 mm glas. Een paneel met een standaard afmeting van 1,6x1 m zou dan 64 kg wegen. Ook de vorm van het scherm en de bovenrand hebben invloed op de mate van geluidsreductie [26]. Dit komt omdat de vorm en de rand beïnvloeden hoe het geluid afgebogen wordt. Dit is weergegeven in Figuur A3, een T-top vorm of 'knife edge vorm' verlengen de afstand tussen bron en ontvanger en bewerkstelligen daarmee geluidsreductie. De T-top is bij toepassing op een zonnegeluidsscherm niet wenselijk ivm schaduwvorming. De 'knife edge' wel en deze kan een decibelreductie van 0,5-2 dB realiseren [26].



Figuur A3. Effecten van de top van een geluidsscherm op afbuiging van geluid: geen speciale top, T-top en 'knife edge' top.

Bij een geluidsscherm dient iedere 400 m een nooduitgang, zoals bijvoorbeeld een vluchtdeur te zijn. In een zonne-geluidsscherm kan dit bijvoorbeeld gerealiseerd worden zoals aangegeven in Figuur A4.



Figuur A4. Optie voor het realiseren van vluchtdeuren in een PV geluidsscherm.

Bijlage B: Zonne-Geluidsschermen

Aantallen en uitvoeringsvormen

Er zijn in Europa nog niet heel veel zonne-geluidsschermen, maar de belangstelling hiervoor neemt sinds 2018 enorm toe, mede door de sterk gedaalde kosten van zonnepanelen. Een overzicht uit 2012 laat 27 PV geluidsschermen zien, waarvan 13 in Duitsland [1]. Op dat moment waren er in Nederland 2 geluidsschermen met PV panelen geïnstalleerd op een bestaand geluidsscherm. Inmiddels zijn daar de proeflocatie van SolarHighways [2] (400 meter lang, 4 meter PV hoogte) bij gekomen en is er bij Pijnacker een 'Energy Wall' geplaatst [3,4]. In het kader van Solar Highways is in 2015 ook een overzicht gemaakt van de in Europa aanwezige zonne-geluidsschermen [5]. Er waren toen 34 gerealiseerde projecten, zie onderstaande tabel.

Country	City	Road/Railway	Rated power (kWp)	Tilt	Azimuth	Year	Location known	Material	Owner/Builder
Switzerland	Chur	A13	100	45°		1989		c-Si	TNC AG
Austria	Seewalchen	A1	40		160°	1992			Oberöstereichische Kraftwerke
Germany	Rellingen	A23	30		200°	1992			TST (DASA)
Switzerland	Gordola	Rail	103		200°	1992	X		TNC AG
Germany	Saarbrücken	A620	60			1995			Stadtwerken Saarbrücken
Switzerland	Giebenach	A2	100	45°		1995			TNC AG/ Kanton Basel
Netherlands	Utrecht	A27	55	50°	245°	1995	X	c-Si	RWS
Netherlands	Ouderkerk a/d Amstel	A9	220	50°	200°	1996	X	c-Si	Shell & ENW / EU Commision
Germany	Inning am Ammersee	A96	30			1997			TNC GmbH, Bayernwerk, BMFT
Switzerland	Zurich (Aubrugg)	E41	10	90°	80°	1997	X	c-Si	Uitbreiding door TNC in 2004
Switzerland	Zurich (Walliselen)	Rail	9.6	45°	200°	1998	X	c-Si	TNC
Switzerland	Zurich (Brütisellen)	A1	10	90°	140°	1999	X	a-Si	TNC
France	Fouquières-lès-Lens	A21	63	45°	170°	1999	X	c-Si	
Germany	Sausenheim	A6	100			1999			
Austria	Gleisdorf	A2	101			2001			
Switzerland	Safenwil	A1	80	45°	170°	2001	X	c-Si	IG Solar Safenwil
Germany	Emden	A31	53	90°	180°	2003	X	multi	Straßenbauamt Aurich/Energiever
Germany	Freising (Munich)	A92	600	45°	180°	2003-	X	c-Si	
Germany	Vaterstetten	Rail	180		210°	2004		a-Si	Phoenix Solar
Germany	Freiburg	B31	365			2006			TNC, aluminium: Van Campen
Germany	Großbettlingen	313	28			2006			
Australia	Melbourne	40	24	90°	180°	2007	X	a-Si	
Germany	Töging am Inn	A94	1000	45°	210°	2007	X		
Switzerland	Melide (Lugano)	A2/rail	123	45°	220°	2007	X	c-Si	Suntechnics Fabrisolar AG
Switzerland	Münsingen	Rail	14	90°	80°	2008	X	c-Si	TNC
Italy	Marano d'Isera (Trento)	A22	730	*	140°	2009	X	c-Si	IrisLab/Autobrennero A22
Germany	Aschaffenburg	A3	2065	45°	150°	2009	X	c-Si	Evergreen solar GmbH
Italy	Oppeano (Verona)	SS434	833	45°	210°	2010	X	c-Si	
Germany	Bürstadt	B47	283	60°	150°	2010	X		
Germany	Biessenhofen (Bayern)		90	45°	180°	2010	X		Rau Lärmschutzsysteme
Germany	Wallersdorf	A92	1000	45°	150°	2010	X		Apfelböck Ingenieurbüro GmbH
Germany	Polling	Rail	1200	45°	210°	2012	X	c-Si	Exaphi GmbH
Germany	München	Rail/road	7.5	90°		2013			Kohlauer
Switzerland	Zumikon	Road	90.8	45°		2014		c-Si	TNC
Systemens in preparation									
Netherlands	Bathmen	A1	1000		180°				RWS
Netherlands	Tiel	A15	300						
Germany	Michendorf	A10	4500		180°				
UK	Swindon	A419							
UK	Buckinghamshire	M40							
Netherlands	Rotterdam	A20							

Drie van de projecten in Zwitserland zijn gerealiseerd met bifaciale zonnepanelen die aan beide kanten licht in kunnen vangen. Deze zijn ontworpen en gerealiseerd door Thomas Nordmann Consulting [6,7], het oudste systeem dateert van 1997. Een voorbeeld van een project uit 2005 is gegeven in Figuur B1.



Figuur B1. Geluidswal in Zwitserland (Aubrugg), opgebouwd uit bifaciale zonnepanelen [XIV].

De bifaciale zonnepanelen vervangen conventionele geluidsschermen geheel, de gebruikte glasdikte is niet aangegeven. Met huidige bifaciale zonneceltechnologie kan ook bij de verticale installatie een goede stroomopbrengst gehaald worden [7], 832 kWh/kWp (op basis van het Wp vermogen van de voorzijde). In de publicaties van TNC zijn geen gegevens over de investeringskosten of businesscase opgenomen. Recent werk van het Nederlandse Solar Energy Application Centre (SEAC) laat zelfs nog betere opbrengst zien [14], te weten 1080 kWp/kWp.

Solar Highways is ook opgebouwd uit bifaciale zonnepanelen die aan beide kanten licht in kunnen vangen. Dit kan ook voor de A9 bij Heiloo interessant zijn, omdat de weg noord-zuid loopt en bifaciale zonnepanelen daarmee een oost-west oriëntatie hebben. De bifaciale panelen voor Solar Highways zijn speciaal ontworpen om in een standaard modulair geluidsscherm te passen [8]. Ook is zeer dik glas gebruikt van 8 mm (standaard solar glas is 3 mm dik). Hierdoor zijn deze panelen erg zwaar en duur, het project is vooral bedoeld om het principe aan te tonen, maar wordt financieel alleen interessant bij grootschalige productie van de panelen [9].

Door de zwaarte van de panelen zijn de benodigde constructiepalen dik (diep) en deze zorgen voor schaduw op de zonnecellen. Hier is in het ontwerp van Solar Highways rekening mee gehouden [8]. Bij toepassing van standaard zonnepanelen kan er geen rekening gehouden worden met het minimaliseren van deze schaduwverliezen, wel is de verwachting dat de benodigde diepte van de constructiepalen minder is door het lagere gewicht van de panelen. Dit dient in een volgende fase afgestemd te worden met de aannemer.

Ook is gekeken naar **veiligheid van bestuurders**, zouden zij eventueel meer hinder kunnen ondervinden van een PV geluidsscherm door reflectie? Dit lijkt niet het geval, bestuurders gedroegen zich niet anders als zij langs het PV geluidsscherm reden [10]. Doordat zonnepanelen tegenwoordig bijna allemaal een anti-reflectie coating hebben, is er niet meer reflectie dan bij een standaard geluidsscherm.

Vervuiling door stof/uitstoot van verkeer: Bij het geluidsscherm langs de A9 is 8% verlies waargenomen over een periode van 2 jaar [15]. Bij dit systeem staan de panelen heel dicht op de weg, voor de situatie bij Heiloo is de afstand groter en zal dit effect kleiner zijn. Regen helpt ook om de

panelen weer redelijk schoon te krijgen en aparte schoonmaakacties lijken daarom financieel niet zinvol [16].

Graffiti: graffiti is op glas makkelijker schoon te maken dan op andere materialen die doorgaans voor geluidsschermen gebruikt worden [9].

Diefstal: Bij het plaatsen van zonnepanelen op bestaande geluidsschermen is diefstal een mogelijk risico. Dit kan verminderd worden door de toegankelijkheid zo lastig mogelijk te maken, door het plaatsen van camera's en door speciale 'anti diefstal bouten en moeren' [1], zie Figuur B2. Bij volledige geïntegreerde PV geluidsschermen is diefstal veel lastiger.



Figuur B2, veiligheids bouten en moeren, ter voorkoming van diefstal van de zonnepanelen.

The US Department of Transportation heeft in 2017 een overzicht gepubliceerd met hierin een literatuuroverzicht en voorbeeld cases uit Zwitserland, Duistland, Nederland en Australië [11]. Zij geven ook aan dat een PV paneel (met standaard dikte) vooral geluid reflecteert, en niet absorbeert. Dit kan echter voldoende zijn in die situaties waar alleen reflectie de gewenste geluidsreductie bij de ontvangers kan bewerkstelligen. In Georgia is een stuk grond beschikbaar gesteld voor het testen van innovatieve technologie, deze test site heet 'The Ray'. In 2017 is er een haalbaarheidsonderzoek uitgevoerd naar een PV geluidsscherm [13]. Hier is voor een esthetische oplossing gekozen en niet zozeer voor de hoogste stroomopbrengst.

De EnergyWall bij Pijnacker-Nootdorp bestaat uit een geluidsscherm met geïntegreerde zonnecellen [17,18], tevens hebben studenten van de TU Delft gekeken naar het plaatsen van kleine windturbines [3,17]. Deze zijn in de praktijk echter niet geplaatst, vooral vanwege hoge kosten. De Energy Wall bij Pijnacker staat langs de N470, is 480 m lang en 2,5 m hoog, zie Figuur B3. Het scherm is opgebouwd uit modulaire geluidsschermen. Het bovenste scherm bevat eenzijdige zonnecellen. Het onderste scherm heeft een zeefdruk om het uiterlijk van zonnecellen na te bootsen. Dit scherm levert stroom voor ongeveer 10 huishoudens, 34 MWh/jaar. Vanwege deze geringe hoeveelheid heeft de gemeente Pijnacker verder geen stappen ondernomen om SDE te regelen, de gemeente verkoopt de stroom direct aan Engie [18]. Wel wil men nog kijken of in de toekomst de stroom ook gebruik kan gaan worden voor elektrische laadpalen. Het scherm is gebouwd door BAM.



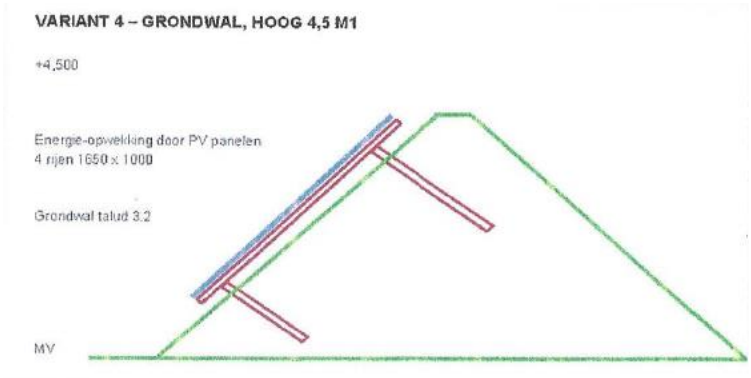
Figuur B3. Energy Wall bij Pijnacker. De hoogte is 2,5 m, het bovenste scherm bestaat uit werkende zonnecellen, het onderste scherm bevat een print (zeefdruk) om het uiterlijk van zonnecellen na te bootsen.

In Nederland zijn nog 2 andere initiatieven om een zonne-geluidswal te gaan realiseren, te weten

- Gemeente Alkmaar, langs de Huiswaarderweg
- Gemeente Harderwijk, zij zijn in gesprek met o.a. Heijmans en BAM.

De gemeente Alkmaar heeft zelf een aantal ontwerpen gemaakt. Deze zouden van belang kunnen zijn voor Heiloo. Zij hebben 5 opties ontworpen en doorgerekend. Twee opties daarvan die geschikt zouden kunnen zijn voor de situatie langs de A9 bij Heiloo zijn:

1. Grondwal van 4,5 m hoog met standaard panelen op de wal.
   Deze is weergegeven in Figuur B4.

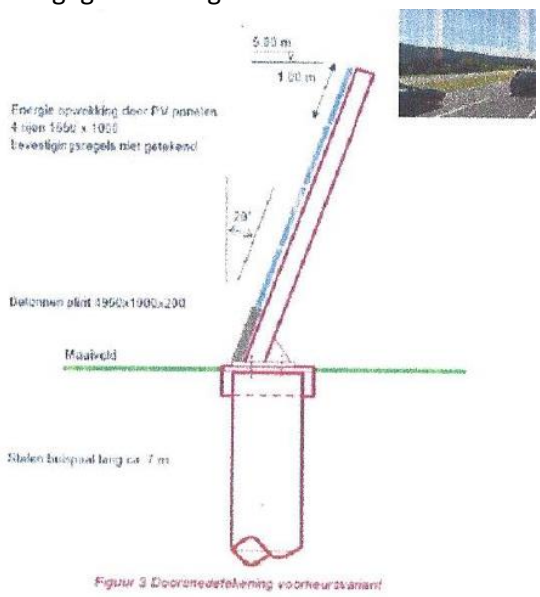


Figuur B4. Grondwal van 4,5 m hoog met zonnepanelen aan 1 zijde.

   Voor de situatie langs de A9 zouden ook aan de andere zijde zonnepanelen geplaatst kunnen worden.
   De financiële doorrekening van Alkmaar laat het volgende zien:

Bij een lengte van 1200 m, is de totale investering 2.57 Meuro, en is na 15 jaar een stopwaarde van 950.000 euro.

2. Zonne-geluidsscherm opgebouwd uit standaard panelen, geplaatst op een buisframe met verankering in de grond.
   Deze is weergegeven in Figuur B5.



Figuur B5. Buisframe constructie met verankering in de grond en standaard zonnepanelen geplaatst tegen de buizen.

Voor plaatsing langs de A9 zou dan in plaats van standaard zonnepanelen bifacial panelen gebruikt kunnen worden. In dat geval is een hellingshoek niet nodig. Het ontwerp dient dan wel zo te zijn, dat de buizen niet te veel schaduw op de panelen geven.
De financiële doorrekening van Alkmaar laat het volgende zien:
Bij een lengte van 1200 m, is de totale investering 2.55 Meuro, en is na 15 jaar stopwaarde van 800.000 euro.

Indien Heiloo verder gaat, is het verstandig om met Alkmaar verder te spreken over deze ontwerpen, en de voorwaarden voor toepassing, als ook akoestische berekeningen te checken/uit te laten voeren

Financiële gegevens zonne-geluidsschermen

Er is nog weinig publieke informatie over de business-case van zonne-geluidsschermen. Indien de meerkosten van een installatie t.o.v. een standaard geluidswal of – scherm niet heel hoog zijn, kan door de verkoop van de stroom het geluidsscherm zichzelf gedeeltelijk terugverdienen. Hierdoor is de totale, netto investering over de looptijd (15-25 jaar) aanzienlijk lager dan bij een geluidsscherm alleen.

Naast de investeringskosten en verkoopopbrengsten van de stroom, zijn er ook nog andere factoren die meewegen en ook opbrengsten op kunnen leveren, al zijn deze lastiger te kwantificeren [12]. Dit zijn:

- Stijging van de huizenprijs. Dit levert niet alleen financieel voordeel op voor de huiseigenaar, maar ook voor de gemeente in de vorm van extra OZB inkomsten.

- Effecten op gezondheid. Slaapverstoring en stress ten gevolge van geluidsoverlast kan leiden tot serieuze gezondheidsklachten zoals een hartaanval.
- Milieuvoordeel. Minder fijnstof en schadelijke stoffen in de woonwijken en weilanden. Indien het geluidsscherm ook voldoende deze stoffen tegen weet te houden, zijn additionele investeringen op dat vlak overbodig.
- CO_2 besparing. Voor bedrijven hangt wel een prijskaartje aan de uitstoot van CO_2, voor gemeentes is dat (nog) niet het geval.

Giles Parker van het bedrijf SoundBarrier Solutions Ltd, heeft een korte publicatie over kosten en baten [29]. Volgens hem kan een zonne-geluidsscherm zichzelf terugverdienen. Helaas is de berekening heel summier, maar de boodschap is: een geluidswal of – scherm met hierop panelen bevestigd kan zichzelf terugverdienen.

Een issue met PV-geluidsschermen is eigenaarschap en exploitatie [5,7,11]. Wie investeert in welk onderdeel, wie is waar voor verantwoordelijk en wie krijgt de stroomopbrengsten? Indien het een geïntegreerd PV-geluidsscherm betreft, is dit nog lastiger, aangezien in Nederland geldt:

- Indien RWS het geluidsscherm koopt/plaatst, is RWS automatisch eigenaar
- RWS mag geen energie verkopen
- Om in aanmerking te komen voor een Postcoderoos constructie, moet een coöperatie juridisch eigenaar zijn, in ieder geval na afloop (huur-koop). Dat kan niet als RWS eigenaar is van het geluidsscherm.

Bijlage C: Mogelijke leveranciers van PV geluidsschermen

Volledig geïntegreerde PV geluidsschermen zijn nog niet standaard. Echter, door de prijsdaling van zonnepanelen komen er meer partijen die geluidsschermen met zonnepanelen aanbieden. Mogelijke leveranciers zijn hieronder genoemd, samen met plaatjes van hun producten indien beschikbaar.

Twee Nederlandse leveranciers van geluidsschermen zijn HollandScherm en Van Campen, zij hebben echter geen zonne-geluidsschermen in hun productportfolio.

Heijmans

Heijmans heeft het scherm voor SolarHighways bij Uden gebouwd. De panelen zijn gemaakt bij Scheuten in Limburg, en hebben een afmeting van 2985x1964 mm groot, 18 mm dik en hebben een gewicht van 249 kg, weergegeven in Figuur C1. Het gebruikte glas is 2x8 mm. Dit is zeer dik en het paneelgewicht van 249 kg maakt dat standaard processen in de paneelfabriek niet mogelijk zijn. Hierdoor is dit scherm zeer prijzig, zo'n 1200 euro/m2. Een 5 m hoog scherm kost dus 6000 euro per strekkende meter. Een scherm van 1600 meter lang kost dan 9,6 miljoen euro. Zelfs met een postcoderoos constructie kan hier maximaal 2,8 miljoen euro aan zonnestroomopbrengsten mee gerealiseerd worden, en is er een onrendabele top van 6,8 miljoen euro.



Figuur C1. Close up van de Solar Highways geluidswal bij Uden, met bifaciale zonnecellen tussen 2x8 mm dik glas.

Heijmans heeft nog geen ervaring met een geluidswal direct opgebouwd uit standaard zonnepanelen. Heijmans is ook met de gemeente Harderwijk in gesprek over een geïntegreerd scherm, a la SolarHighways.

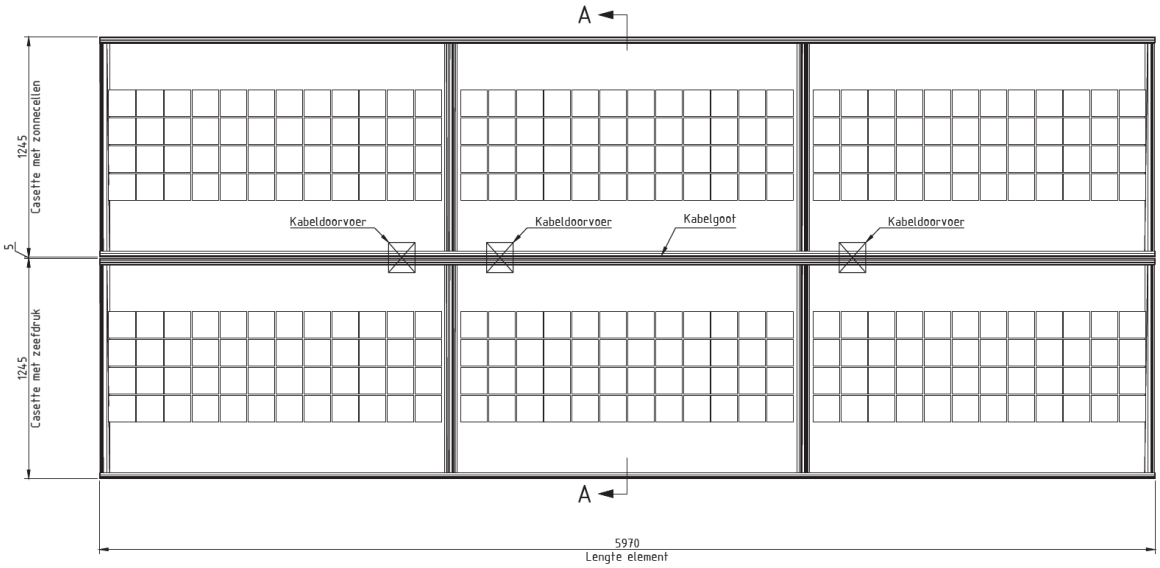
BAM

BAM heeft het scherm EnergyWall bij Pijnacker gebouwd, nogmaals weergegeven in Figuur C2.



Figuur C2. Energy Wall PV geluidsscherm, met monofaciale zonnecellen.

De opbouw van het scherm is weergegeven in Figuur C3.



Figuur C3. Schematische tekening van het Energy Wall PV geluidsscherm.

Per ruit zijn 48 cellen geplaats (enkelzijdige) en iedere ruit heeft een vermogen van 210 Wp. In totaal zijn 152 ruiten geplaatst, waarden de bovenste rij, 76 stuks, voorzien zijn van zonnecellen. Het totale PV vermogen van de EnergyWall is daarmee 48 kWp. Het scherm is zuid georiënteerd, en de installatie hellingshoek is 10 graden, en het systeem levert op jaarbasis 34 MWh, oftewel 0,71 kWh/kWp. Dit glas was ook 2x8 mm dik.

TNC Energie

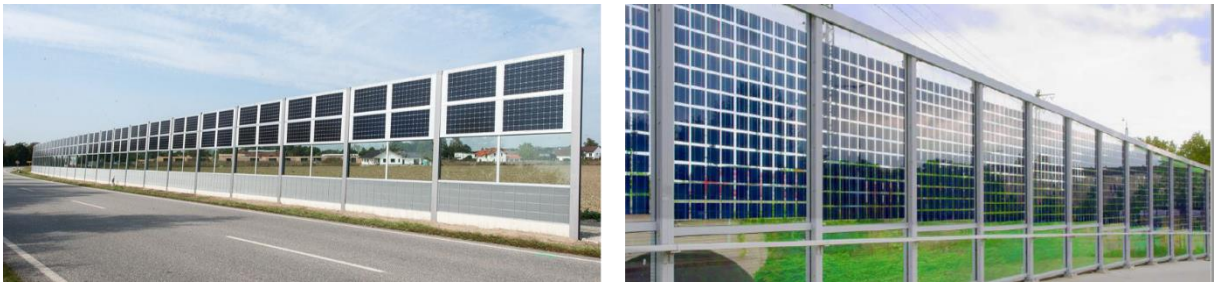
Dit Zwitserse bedrijf was de eerste die bifaciale PV geluidsschermen op de markt bracht met een eerste installatie in 1997. Op hun website staat als laatste project een scherm uit 2009, zie Figuur C4. Er is verder geen brochure met specificaties.



Figuur C4. Bifacial zonne-geluidsscherm van TNC, geïnstalleerd bij Münsingen, Zwitserland.

Kohhauer GMBH

Dit Duitse bedrijf heeft een aantal PV Geluidsschermen onder de merknaam Kohlhauer Volta [28]. Kohlhauer produceert de schermen en levert deze aan aannemers. Kohlhauer heeft 2 producten, een dicht scherm met hierop standaard zonnepanelen bevestigd (Opaque), en een transparant scherm, hier kunnen ook bifacial cellen in geplaatst worden (Thru), zie Figuur C4.



Figuur C4. PV zonnescherm opties van Kohlhauer. Links standaard zonnepanelen op een scherm-element (Kohlhauer Opaque), rechts het transparante scherm opgebouwd uit glas-glas met hiertussen zonnecellen (Kohlhauer Thru).

Het transparante scherm wordt speciaal gemaakt met 2x8 mm glas en is erg duur. Gegeven de situatie langs de A9, raadt Kohlhauer het volgende aan:

- Een scherm van 4,5 m hoog. Bij 6 m heb je duurder frame en funderingskosten.
- Op de bovenste 2 m standaard zonnepanelen van 300 Wp. Op de onderste 2,5 m raden ze geen zonnepanelen aan vanwege steenslag en vandalisme. Het scherm ziet er dan uit zoals in Figuur C4 links.

1.6 km van dit geluidsscherm zou dan ongeveer 3 M€ aan investering vergen. Met toepassing van 300 Wp panelen is het vermogen 564 kW. Gezien de oriëntatie zou hier op jaarbasis 225.000 kWh aan stroom mee opgewekt kunnen worden (ruim 20.000 euro bij een stroomprijs van 9 ct/kWh), dit is financieel niet erg aantrekkelijk.

Referenties

[1] Laura Corfield, TV Energy 'Photovoltaic Noise Barriers', April 2012.
[2] www.solarhighways.eu
[3] Michael A. Nash, 'Potential of the Energy wall, a renewable energy generating noise barrier - With a focus on Rotterdam, Netherlands, thesis University of Delft, January 2018
[4] Michael A. Nash, 'Multi-criteria analysis of the Energy wall -feasibility analysis of the deployment of Solar Noise barriers around the Rotterdam Ring road, thesis University of Delft, July 2018.
[5] http://solarhighways.eu/sites/default/files/documents/SEAC%20-%20Solar%20Highways%20Benchmark%20Study.pdf
[6] https://www.tnc.ch/en/photovoltaics/#pv-noise-barrier
[7] Th. Nordmann, Th. Vontobel, L. Clavadetscher, 15 YEARS OF PRACTICAL EXPERIENCE IN DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF BIFACIAL PHOTOVOLTAIC NOISE BARRIERS ALONG HIGHWAYS AND RAILWAY LINES IN SWITZERLAND, 27th EUPVSEC, 3843 (2012).
[8] http://solarhighways.eu/sites/default/files/documents/ECN%20-%20Referentieontwerp%20bifaciale%20PV-module%20%28NL%29.pdf
[9] Dirk van der Graaf, projectleider Solar Highways, persoonlijk gesprek.
[10] D.R. Carder and K.J. Barker, M27 trial of highway noise barriers as solar energy generators, TRL project report PPR178, 2006.
[11] US Department of Transportation, Federal Highway Administration, 'Highway Renewable Energy: Photovoltaic Noise Barriers', document nr. FHWA-HEP-17-088, augustus 2017.
[12] Ellen de Schepper, Steven van Passel, Jean Manca, Theo Thewys, Combining photovoltaics and sound barriers – a feasibility study, Renewable Energy **46**, 297 (2012)
[13] Innovia Technology, Demonstrating Solar Noise Barriers on The Ray
[14] G.J. Faturrochman et al, Maximizing annual yield of bifacial photovoltaic noise barriers, Solar Energy 162, 300 (2018).
[15] M. J.Jansen, N.J.C.M van der Borg, 'Photovoltaic noisebarrier at the A9-highway in The Netherlands. ECN-C–01-021, 2001, beschikbaar via http://pvdatabase.nl/pdf/PV_scherm_A9_English.pdf
[16] NREL/Sandia/Suspec.Bestpracticesinphotovoltaicsystemoperationsandmaintenance.Report,NationalRenewableEnergyLaboratory(NREL),2016.
[17] A. Vilarasau Amoros, 'Turning noise-barriers into sustainable energy systems', master thesis University of Delft, 20-04-2018.
[18] Rens Boersma, gemeente Pijnacker, persoonlijk gesprek.
[19] Marc Burgmeijer en Erik Olink, Plan Oost te Heiloo, onderzoek maatregelen tegen geluidsbelasting Rijksweg A9, 23 mei 2016.
[20] Roy van der Heijden en Jan Hooghwerff, Diffractoren op laag geluidscherm, 10 april 2017.
[21] Theodoor Höngens, Memo Haalbaarheidsstudie diffractor op een lage verhoging langs Rijksweg A9, 10 april 2017.
[22] Fred Wessels, gemeente Heiloo, persoonlijk gesprek.
[23] Modulaire Geluidsschermen, Handleiding configuratie en implementatie, DWW uitgave DWW-2004-083.
[24] Barbara Vanhooreweder, Sébastien Marcocci, Alberto De Leo, CEDR Technical Report 2017-02, State of the art in managing road traffic noise: noise barriers, December 2016.
[25] CROW, Richtlijnen geluidbeperkende constructies langs wegen (GCW-2012), 2012
[26] Marie-Anne de Gier, De Wobbel: Een innovatief geluidsscherm tegen zowel hoog- als laagfrequent geluid, februari 2018.

[27] https://www.gaslicht.com/energiebesparing/stroom-opwekken-met-zonnepanelen
[28] https://www.kohlhauer.com/en/products/noise-barrier-kohlhauer-volta
[29] Giles Parker, The application of solar-noise barriers for UK highways and their combined benefits for local governments, developers and the wider community, ISSN 2226-5147, p 63, presented at Euronoise 2015, Maastricht.
[30] Gemeente Alkmaar, persoonlijk gesprek Cees Groot, en input Heijmans.
[31] https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/luchtkwaliteit/regelgeving/wet-milieubeheer/beoordelen/grenswaarden/
[32] D. Bouman (Antea Group), 'Solar Highways A50 Uden, Effecten op de luchtkwaliteit', https://solarhighways.eu/sites/all/files/default/documents/SolarHighways%20A50%20Uden%20-%20Effecten%20op%20luchtkwaliteit.pdf
[33] https://www.kansenvoorwest2.nl/files/uitvoeringsprogramma-beleidsagenda-energietransitie-2016-2020.pdf