

Stieltjesweg 1
2628 CK Delft
Postbus 155
2600 AD Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 20 00

TNO-rapport

TNO 2019 R10445 PV4ROADS

Datum	14 maart 2019
Auteur(s)	TNO met input van PV4ROADS consortium
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	20 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	RVO Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Projectnaam	Photovoltaic Roads
Projectnummer	TEUE116215 (RVO referentie) 060.23878 (TNO referentie)PenvoerderTNOConsortiumECN part of TNO, Ooms Civiel B.V., VLAQ Infra & Industrie B.V., EV Consult B.V., Alliander N.V., Kameleon Solar B.V., HelioxProjectperiode2 januari 2017 tot en met 31 december 2018
Penvoerder	TNO
Consortium	ECN part of TNO, Ooms Civiel B.V., VLAQ Infra & Industrie B.V., EV Consult B.V., Alliander N.V., Kameleon Solar B.V., Heliox
Projectperiode	2 januari 2017 tot en met 31 december 2018

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Inhoudsopgave

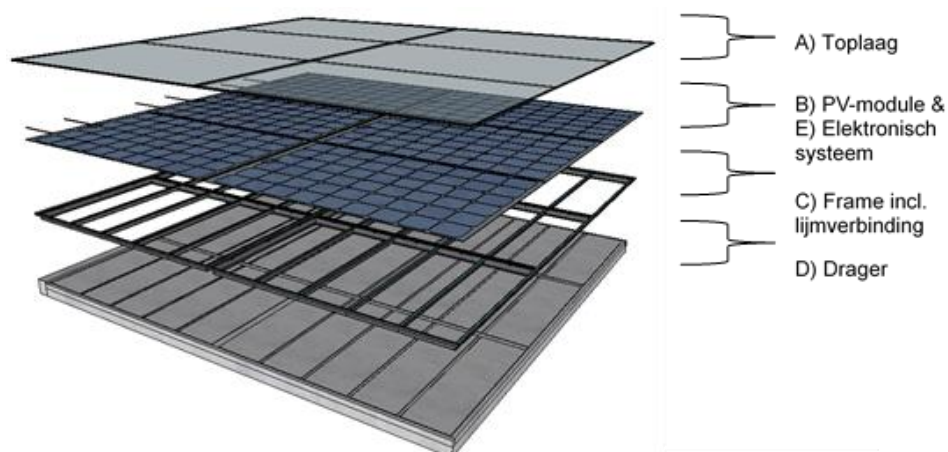
1	Samenvatting	3
2	Inhoudelijk eindrapport.....	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Opzet van de rapportage	5
2.3	Doelstellingen	6
2.4	Samenwerkende partijen	7
3	Projectresultaten	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Resultaten cyclus 1: zwaar verkeer	11
3.3	Resultaten cyclus 2: grootschalige productie	14
3.4	Conclusies en aanbevelingen.....	15
3.5	Perspectief voor toepassing	16
3.6	Bijdrage project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding en versterking van de kennispositie).....	17
3.7	Mogelijkheden spin off binnen en buiten de sector	17
4	Overzicht van openbare publicaties	18
5	Algemene informatie	19
6	Ondertekening	20

1 Samenvatting

In het kader van het Nationaal Energieakkoord is het van belang om grootschalige implementatie van nieuwe vormen van duurzame energieopwekking mogelijk te maken. Een van deze vormen is integratie van PV in wegen, waarmee een groot extra areaal aan oppervlak ontsloten kan worden voor de opwekking van zonnestroom, zonder extra ruimtebeslag en zonder hinder voor de omgeving of de natuur. Nederland is internationaal koploper op het gebied van PV in wegdekken. In 2014 heeft een Nederlands consortium (SolaRoad¹) 's werelds eerste fietspad met geïntegreerde zonnecellen geopend in Krommenie.

Om de potentie voor duurzame energieopwekking van PV in wegdekken ten volle te kunnen benutten, en de internationale voorsprong die Nederland heeft uit te kunnen bouwen, zowel qua kennis- als qua marktpositie, is door een consortium van bedrijven en kennisinstellingen besloten om binnen het TKI project PV4ROADS (2017-2018) de volgende generatie zonne-energie opwekkende wegen te ontwikkelen. De twee hoofddoelen van PV4ROADS zijn: ontwikkeling van PV wegdek voor zwaarder belaste wegen (cyclus 1) en ontwikkeling van PV wegdek systeem voor grootschalige productie (cyclus 2). Parallel is in dit project een exploitatiemodel ontwikkeld waarin de taken, verantwoordelijkheden en financiële stromen tussen de stakeholders zijn beschreven.

Het resultaat van cyclus 1 is een ontwerp voor een zwaar verkeer PV-wegdekelement. Het ontwerp bestaat uit vijf hoofdelementen, hieronder schematisch weergegeven. Van dit ontwerp zijn tevens prototypes gemaakt die ingezet zijn voor validatietesten voor twee pilotprojecten: één in Zuid-Holland op de busbaan van de N218 en één in Noord-Holland op een parallelweg lang de N232 Fokkerweg.



In cyclus 2, de ontwikkeling richting een PV-wegdeksysteem geschikt voor grootschalige productie, zijn grote stappen gezet. Naast ontwikkeling aan deelsystemen is er een alternatief mechanisch verbingsprincipe (“opspannen”)

¹ Het Nederlandse SolaRoad-consortium bestaat uit TNO, de Provincie Noord-Holland en de private partijen Ooms Civiel en Dynniq (voormalig Imtech Traffic & Infra).

tussen betonnen drager en PPL (Pavement PV-module Laminate: combinatie van top laag en PV-module) ontwikkeld. Dit principe heeft potentie voor industrialisatie en levert daarnaast significante voordelen op voor onder meer export en end-of-life oplossing. Verder opent de ont koppeling van drager en PPL de weg voor een modulaire opbouw van het PV-wegdeksysteem, waarbij eenvoudig ingespeeld kan worden op verschillend gebruik en/of toepassing. Een in ontwikkeling zijnde IP voor dit verbindingsprincipe geeft tenslotte een goede uitgangspositie voor verdere ontwikkeling en marktintroductie.

Uit de uitwerking van het exploitatiemodel komt naar voren dat het nodig is om nog een aantal verbeterpunten door te voeren voor een positieve business case in 2020. PV-wegdekken zijn zeer geschikt om op grote schaal gefaseerd uit te rollen met een beperkt aantal stakeholders. Het aanbesteden van het groot onderhoud (eventueel op meerdere locaties) inclusief de exploitatie van de energie in één contract lijkt het meest voor de hand liggend. De totale kosten zijn het laagst wanneer het PV-wegdek aangesloten wordt op het elektriciteitsnet met aansluitingen met een capaciteit van 160 kVA of 630 kVA. Het combineren van de netaansluiting van PV-wegdekken met bestaande aansluitingen kan een voordeel bieden voor beide partijen. Uit een inventarisatie van Product-Marktcombinaties met PV-wegdekken komt daarnaast naar voren dat de combinatie met (snel)laden van voertuigen (en opslag) en directe koppeling met een grootverbruiker interessant kunnen zijn.

Aanbevolen wordt om op basis van de resultaten die verkregen worden uit de pilotprojecten met het PV-wegdekontwerp zwaar verkeer het ontwerp waar nodig verder te optimaliseren. Daarnaast is het gewenst om, ten behoeve van het grootschalig en kostenefficiënt exploiteerbaar maken van PV-wegdeksystemen, het modulaire ontwerp met het alternatieve verbindingsprincipe tussen betonnen drager en PPL door te ontwikkelen. Verder komt uit de exercitie t.b.v. de exploitatiestrategie de aanbeveling om bij introductie en uitbreiding van PV-wegdekken de locatie en aansluiting in afstemming met een lokale netbeheerder uit te werken.

2 Inhoudelijk eindrapport

2.1 Inleiding

Voor het behalen van de Nederlandse energiedoelstellingen geformuleerd in onder andere het Nationaal Energieakkoord is het van belang om grootschalige implementatie van nieuwe vormen van duurzame energieopwekking mogelijk te maken. Echter in dichtbevolkte gebieden zoals Nederland is ruimte schaars. Om maatschappelijke weerstand te voorkomen is het daarom van belang om nieuwe vormen van schone energieopwekking ruimtelijk goed in te passen zonder dat dit hinder voor de omgeving of natuur oplevert. Daken worden steeds meer gebruikt voor het plaatsen van PV panelen. Maar zelfs al zijn straks op alle hiervoor geschikte daken PV-panelen geplaatst, worden er zonneweides en windmolens geplaatst waar haalbaar, dan is er nog steeds onvoldoende duurzaam opgewekte elektriciteit om Nederland grotendeels te kunnen voorzien van duurzaam opgewekte elektriciteit. Zeker wanneer zowel de warmtevoorziening als vervoer de komende decennia verder verelektrificeert.

Volgens een rapport van Holland Solar (Ruimte voor zonne-energie, 2015) heeft Nederland naast ca 400 km² dakoppervlak ruim 1000 km² aan wegoppervlak. Middels de integratie van PV in wegen kan dus een groot extra areaal aan oppervlak ontsloten worden voor de opwekking van zonnestroom, zonder extra ruimtebeslag en zonder hinder voor de omgeving of de natuur.

Nederland is internationaal koploper op het gebied van PV in wegdekken. In 2014 heeft het Nederlands consortium SolaRoad² 's werelds eerste fietspad met geïntegreerde zonnecellen geopend in Krommenie. Deze eerste pilot laat zien dat het technisch mogelijk is wegdekken te maken waarmee zonlicht omgezet kan worden in elektriciteit, zonder afbreuk te doen aan de gebruiksveiligheid. De energieopbrengst in Krommenie ligt tussen de 50 en 70 kWh/m²/jaar. Het uitgangspunt voor PV4ROADS is dat ook bij doorontwikkeling dit de verwachte opbrengst is.

Om de potentie voor duurzame energieopwekking van PV in wegdekken ten volle te kunnen benutten, en de internationale voorsprong die Nederland heeft uit te kunnen bouwen, zowel qua kennis- als qua marktpositie, is door een consortium van bedrijven en kennisinstellingen besloten om binnen het TKI project PV4ROADS (2017-2018) de volgende generatie zonne-energie opwekkende wegen te ontwikkelen.

2.2 Opzet van de rapportage

In deze rapportage worden de belangrijkste resultaten en conclusies van het project PV4ROADS samengevat. Vanwege de vertrouwelijke aard van het onderzoek worden de resultaten en conclusies in deze publieke rapportage niet tot in detail beschreven.

² Het Nederlandse SolaRoad-consortium pilot Krommenie bestaat uit TNO, de Provincie Noord-Holland en de private partijen Ooms Civiel en Dynniq (voormalig Imtech Traffic & Infra).

In paragraaf 2.3 worden de doelstellingen van het project en SolaRoad in brede zin beschreven. Hier wordt ook de werkwijze van het project toegelicht. In hoofdstuk 3 worden per onderwerp de insteek van het project en de resultaten besproken. In paragraaf 3.4 worden de conclusies en aanbevelingen van het project als geheel gepresenteerd. Perspectief voor toepassing, bijdrage aan de doelstellingen van de regeling en mogelijkheden voor spin off binnen en buiten de sector staan respectievelijk in de paragrafen 3.4, 3.5 en 3.6. Afsluitend bevat hoofdstuk 4 een overzicht van openbare publicaties.

2.3 Doelstellingen

2.3.1 *Projectdoelstelling*

Het project PV4ROADS beoogt een modulair, elektriciteitsproducerend PV wegdek-systeem te ontwikkelen, dat:

- toepasbaar is voor meerdere typen wegen en;
- grootschalig en kostenefficiënt exploiteerbaar is.

Het modulair, elektriciteitsproducerend PV wegdek-systeem bestaat uit één basisontwerp dat door middel van aanpassingen aan de componenten in het productieproces geschikt kan worden gemaakt voor verschillende wegtypen.

Parallel wordt in dit project een exploitatiemodel ontwikkeld waarin de taken, verantwoordelijkheden en financiële stromen tussen de stakeholders (o.a. wegbeheerders, netbeheerders, energiebedrijven, eindgebruikers) worden beschreven.

2.3.2 *Doelstelling in brede zin*

Naast de projectdoelstelling van PV4ROADS hebben de partijen die werken aan SolaRoad in brede zin de ambitie om het concept SolaRoad verder te ontwikkelen tot een commercieel exploitabel product bestaande uit elementenverharding met geïntegreerde PV, dat:

- het mogelijk maakt om grootschalig zonnestroom op te wekken uit weginfrastructuur;
- voldoet aan de eisen voor weginfrastructuur met betrekking tot veiligheid, levensduur, beheer en onderhoud;
- toepasbaar is op allerlei typen infrastructuur (fietspaden, voetpaden, parkeerplaatsen, busbanen, wijkontsluitingswegen, etc.);
- lifecycle kosten heeft die het product aantrekkelijk maken;
- internationaal toepasbaar is.

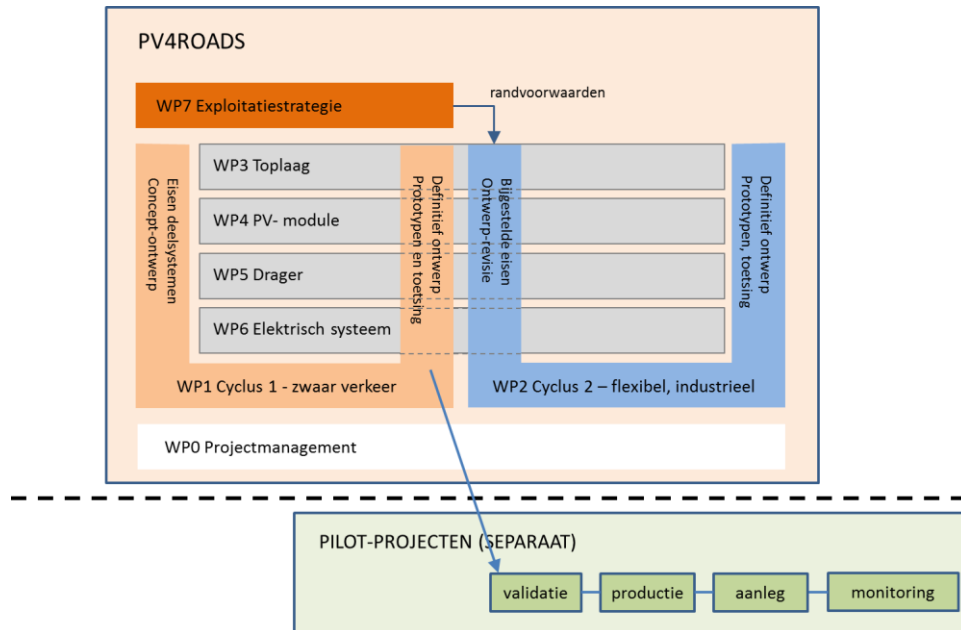
De resultaten van PV4ROADS zullen in dit brede kader geplaatst worden om bijdrage aan de totale ontwikkeling inzichtelijk te maken.

2.3.3 *Werkwijze*

De onderzoeks- en ontwikkelactiviteiten van dit project zijn in twee projectcycli uitgevoerd, die corresponderen met de twee technische uitdagingen. Zie Figuur 1 voor een overzicht van de 2 cycli en de samenhang tussen de 8 werkpakketten:

- Werkpakket 0: Projectmanagement
- Werkpakket 1: Cyclus 1 – zwaar verkeer
- Werkpakket 2: Cyclus 2 – flexibel, industrieel
- Werkpakket 3: Toplaag
- Werkpakket 4: PV-module

- Werkpakket 5: Drager
- Werkpakket 6: Elektrisch systeem
- Werkpakket 7: Exploitatiestrategie



Figuur 1 - Schematische projectstructuur inclusief relatie met pilots

In de eerste cyclus (uitvoer in 2017) is het reeds beschikbare ontwerp van een PV fietspad (pilot Krommenie) als basis genomen voor het ontwerp van een geïntegreerd, elektriciteitsproducerend PV wegdek voor zwaar verkeer. Proefstukken van deelsystemen zijn getest, het ontwerp is getoetst op hoofdlijnen en er worden prototypes op schaal van het definitieve ontwerp gemaakt. Daarnaast is een exploitatiestrategie uitgewerkt voor het PV-wegdeksysteem.

De tweede cyclus (uitvoer in 2018) richt zich op de ontwikkeling van een modulair PV wegdek-systeem: één, modulaire basis dat met beperkte aanpassingen in de deelsystemen en het productieproces geschikt is voor het gewenste wegtype zoals fietspaden, busbanen en parallelwegen.

De werkzaamheden in cycli 1 en 2 zijn gecoördineerd en geïntegreerd vanuit overkoepelende werkpakketten, respectievelijk werkpakket 1 (WP1) en werkpakket 2 (WP2). De specifieke onderzoeks- en ontwikkelactiviteiten zijn geclusterd in een werkpakket per deelsysteem: toplaag (WP3), PV-module (WP4), drager (WP5) en elektrisch systeem (WP6). De uitwerking van het exploitatiemodel gebeurt in WP7. De resultaten uit WP7 vormen mede input voor de tweede ontwerpcyclus (WP2). Algemene projectcoördinatie, inclusief bewaking projectbudget en –planning is ondergebracht in WP0.

2.4 Samenwerkende partijen

De volgende partijen zijn de projectpartners in PV4ROADS, met hun rol en korte beschrijving van het type organisatie.

Naam deelnemer	Type organisatie	Rol in project
TNO	Onderzoeksorganisatie (niet-economische activiteiten)	Penvoerder, overall projectleider, trekker integrerende cycli (WP1 en WP2)
ECN part of TNO	Onderzoeksorganisatie (niet-economische activiteiten)	Inbreng kennis van ontwerp productietechnieken en beproeving van PV-modules
Ooms Civiel	Groot bedrijf (onderdeel van Strukton Groep)	Inbreng kennis over uitvoering en engineering grond-, weg en waterbouw Inbreng civiel technische kennis. Trekker werkpakket over Drager
VLAQ Infra & Industrie BV	MKB (middelgroot)	Trekker werkpakket over top laag, inbreng kennis over ontwikkeling en eindformulatie coatingsystemen.
EV Consult	Klein bedrijf	Inbreng kennis over elektrisch vervoer en aanbestedingen. trekker werkpakket over exploitatiestrategie
Liander	Groot bedrijf	Inbreng kennis van (regionale) elektriciteitsnetten. Deelnemer in de werkpakketten over Elektrisch Systeem en Exploitatiestrategie
Kameleon Solar	Klein bedrijf	Inbreng kennis over zonnepanelen. Trekker werkpakket over PV Systemen
Heliox	Klein bedrijf	Inbreng kennis over elektrische systemen. Grootste deelnemer in werkpakket over Elektrisch Systeem

Naast bovenstaande deelnemende partijen is in cyclus 1 overleg gevoerd met de Provincie Noord-Holland en provincie Zuid-Holland, welke (deels) ook partner/opdrachtgever voor de aanpalende pilot projecten van dit TKI project zijn. Hiermee is de hele keten vertegenwoordigd in dit consortium: kennisinstellingen -> toeleveranciers -> wegenbouw -> wegbeheerder (overheid) -> regionale netbeheerder.

Hieronder volgt een toelichting van de deelnemende partijen.

TNO

De Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) is met circa 3.000 medewerkers de grootste toegepaste onderzoeksinstituut van Nederland. De energietransitie, van grotendeels fossiel naar grotendeels duurzame energie is één van de belangrijkste onderzoeksrichtingen binnen TNO. De combinatie van PV en infrastructuur past in de energievisie van TNO. TNO is in 2009 begonnen met de ontwikkeling van PV in wegdekken en is dé partij met kennis over dit onderwerp.

ECN part of TNO

ECN is een onderzoeksorganisatie waarvan de activiteiten gericht zijn op een efficiënt gebruik van energie en infrastructuur, de inzet van duurzame energiebronnen, een schone omzetting van fossiele brandstoffen en de ontwikkeling van energieanalyses en -beleid. Met en voor de markt ontwikkelen we kennis en technologie die een transitie naar een duurzame-energiehuishouding

mogelijk maken. Speerpunten zijn energiebesparing, duurzame energie en een efficiënt en schoon gebruik van fossiele brandstoffen. ECN richt zich vooral op de behoeften van de overheid en de industrie. De kracht van ECN ligt in zijn portfolio, die de ontwikkeling van volgende generaties technologieën mogelijk maakt.

Ooms Civiel BV

Ooms Civiel is een innovatieve infraprovider met ca. 350 enthousiaste professionals. Het bedrijf bestaat uit een drietal werkmaatschappijen, elk met hun eigen disciplines:

- Ooms Construction, Grond-, Weg- en Waterbouw, zowel bovengronds als ondergronds.
- Ooms Producten, met asfaltproductie in eigen beheer en speciale wegenbouwproducten. Ooms Producten Europe houdt zich bezig met de internationale handel in wegenbouwproducten (zoals Sealoflex® bitumen, blanke bitumen en asfaltwapening).
- Unihorn, ingenieurbureau voor infrastructuur.

Ooms Civiel heeft een eigen Research & Development afdeling (met internationale bekendheid). Daarnaast is Ooms Civiel sinds januari 2012 onderdeel van Strukton Civiel. Binnen deze grotere organisatie staan meerdere disciplines tot de beschikking van Ooms Civiel BV, zoals Prefab Beton, Asset Management, Funderingstechnieken en Grond- en afvalstoffenbeheer.

Ooms Civiel is vanaf het begin betrokken bij de projecten rondom SolaRoad, de eerste elektriciteitsproducerende weg. Daarmee beschikt Ooms als enige infraprovider over kennis en ervaring met betrekking tot elektriciteitsproducerende infrastructuur.

VLAQ Infra & Industrie BV

VLAQ Infra & Industrie is een middelgroot Nederlands bedrijf, gespecialiseerd in onder meer kunstharstechnieken. Voor VLAQ Infra & Industrie ontstaat met de komst van elektriciteitsproducerende wegen een nieuwe markt voor hun coatings die enerzijds stroefheid onder alle weersomstandigheden moeten garanderen maar anderzijds voldoende transparant en vasthoudend moeten zijn om tot een duurzame businesscase voor de nieuwe wegen te komen. Voor het consortium is de kennis en ervaring van VLAQ Infra & Industrie daarmee zeer waardevol: dochter Gouda Chemie was leverancier van de topcoating op de SolaRoad die in Krommenie wordt getest.

EVConsult

EVConsult is een onafhankelijk advieskantoor gespecialiseerd in elektrisch-vervoer vraagstukken. EVConsult opereert zowel in Nederland als wereldwijd. De projecten van EVConsult bevinden zich dikwijls op het snijvlak van publiek en privaat werkterrein, van energie en mobiliteit. In het publieke werkveld werkt EVConsult voor het Rijk, provincies, regio's of gemeenten aan het realiseren van aanbestedingen, beleidsontwikkeling en beleidsevaluaties. Zo heeft EVConsult meerdere gemeenten en provincies begeleid bij de uitrol van openbare laainfrastructuur. Vanwege de voor de hand liggende koppeling tussen elektriciteitsproducerende wegen en Elektrisch Vervoer is EVConsult geïnteresseerd in deelname in dit TKI-project.

Vanuit het consortium is de expertise vanuit EVConsult op het gebied van beleid rondom aanbesteding en ontwikkeling relevant.

Liander

Liander is de grootste regionale netbeheerder van Nederland, en participeert in dit project om kennis op te doen over de mogelijke effecten van elektriciteitsproducerende wegen op het regionale elektriciteitsnet. Bij grootschalige projecten in de toekomst (bijvoorbeeld een hele woonwijk waarin de wegen met pv-panelen worden uitgerust) zal de netbeheerder die 'energetisch' moeten oplossen. Door in dit stadium al mee te denken, wil Liander verrassingen in de toekomst voorkomen. Voor het consortium is de kennis van Liander over regionale netten van groot belang.

Kameleon Solar

Kameleon Solar (tot voor kort bekend als Orange Solar specials) is een Nederlandse ontwerper en producent van op maat gemaakte zonnepanelen voor elk verschillende toepassingen. Integratie van haar producten in wegen is voor Kameleon Solar een nieuwe toepassing, en kan dus in potentie een grote nieuwe markt betekenen. Voor het consortium is deelname van Kameleon Solar belangrijk vanwege de kennis van productie van zonnepanelen.

Heliox

Heliox is gespecialiseerd in vermogenselektronica. Heliox is actief in verschillende markten, waaronder renewable energy. Voor deze markt ontwikkelt Heliox micro-omvormers voor PV-panelen, bedoeld voor bestaande bebouwde omgeving. Integratie van hun producten in wegoppervlakte opent voor Heliox een nieuwe markt. Voor het consortium is deelname van Heliox interessant omdat de Heliox-invertor met name slim omgaat in situaties met schaduw, een situatie die op de openbare weg vaak voorkomt.

3 Projectresultaten

3.1 Inleiding

De “SolaRoad” gebruikt fotovoltaïsche technologie (PV) om zonlicht dat op het fietspad valt om te zetten in elektriciteit die vervolgens aan het elektriciteitsnet wordt geleverd. Gezien het succes van de pilot in Krommenie is door een consortium van bedrijven en kennisinstellingen besloten om binnen het TKI project PV4ROADS (2017-2018) de volgende generatie zonne-energie opwekkende wegen te ontwikkelen. De twee hoofddoelen van PV4ROADS zijn:

- i. Ontwikkeling van PV wegdek voor zwaarder belaste wegen
- ii. Ontwikkeling van PV wegdek systeem voor grootschalige productie

In 2017 lag de focus op het eerste onderwerp: zwaar verkeer. Het tweede punt, de grootschalige productie, ook wel cyclus 2 genoemd, is in het tweede jaar (2018) opgepakt.

3.2 Resultaten cyclus 1: zwaar verkeer

3.2.1 Inleiding

In cyclus 1 is gewerkt aan het door ontwikkelen van het SolaRoad concept voor fietspaden naar een PV-wegdek voor reguliere wegen. Hiervoor is het ontwerp van het PV fietspad element (zoals aangelegd in Krommenie) als uitgangspunt genomen en, waar nodig, aangepast om het geschikt te maken voor zwaarder verkeer.

Er is gestart met het opstellen van een generiek programma van eisen voor een PV wegdek element voor zwaar verkeer. Dit programma van eisen is het uitgangspunt geweest om de R&D- en engineeringactiviteiten binnen PV4ROADS in cyclus 1 te sturen en prioriteren. Dit heeft geresulteerd in een voorstel voor configuratie van het PV-wegdek voor de parallelweg en de busbaan (paragraaf 3.2.3) en in ontwerpspecificaties van het PV-wegdekelement (paragraaf 3.2.4).

Dit ontwerp is vervolgens toegepast op twee pilot locaties voor zwaar verkeer: (1) een busbaan in Zuid-Holland en (2) een parallelweg naast een provinciale weg in Noord-Holland.

Parallel aan de uitwerking van het ontwerp voor zwaar verkeer is de exploitatiestrategie voor PV-wegdekken ontwikkeld (3.2.5).

3.2.2 Doorontwikkeling

Voor doorontwikkeling van het SolaRoad fietspad-ontwerp tot een concept geschikt voor reguliere wegen zijn per onderdeel de volgende ontwikkelstappen uitgevoerd.

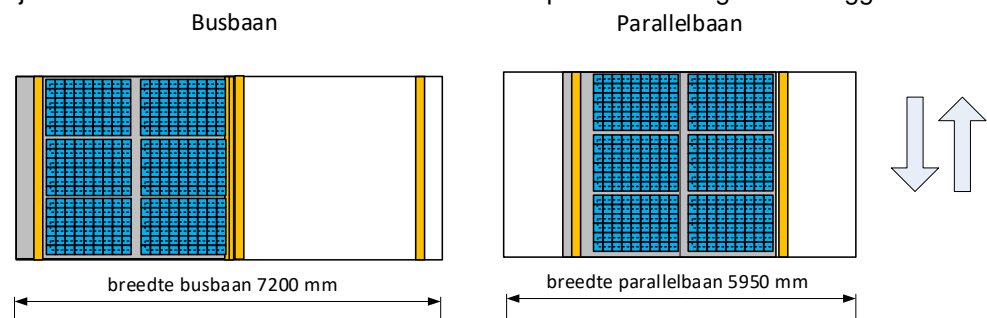
- Toplaag
Voor de toplaag zijn zowel de opbouw van de verschillende lagen als de stappen productie geoptimaliseerd. Dit resulteert in een toplaag die voldoet aan

de voor zwaar verkeer aanvullend gestelde eisen voor veiligheid en duurzaamheid. Hierbij zijn oppervlaktestructuur, hechting en optische kwaliteit leidend.

- **PV-module**
In cyclus 1 zijn op basis van ervaringen in eerdere toepassingen (o.a. Krommenie) nieuwe configuraties voor de PV-module bedacht en getest. Dit heeft geresulteerd in een nieuwe frontsheet, lay-out cel configuratie, productieproces en bijbehorend elektrisch systeem.
- **Frame en lijmverbinding**
Om de hanteerbaarheid van het frame te vergroten en de kosten te reduceren heeft het frame een nieuwe configuratie, zowel in maatvoering als materiaal. Tevens is lijmdekte tussen frame en PV-module vergroot om thermische uitzetting van de PV-module te kunnen opvangen.
- **Drager**
Op basis van de eisen voor de zwaar verkeer toepassing is een nieuwe berekening gedaan om de specificaties van de betonnen drager (afmeting, type beton, wapening en configuratie) vast te stellen. Een extern bureau is ingeschakeld om hiervoor de constructieve berekening uit te voeren. Dit heeft geresulteerd in nieuwe specificaties voor de drager.
- **Elektrisch systeem**
Met de veiligheidseisen voor zwaar verkeer toepassing als uitgangspunt, zijn de specificaties voor het elektrisch systeem vastgesteld. Er is gekozen net als in Krommenie V2 de lokale converters niet in het beton, maar in de naast gelegen kabelgoot te plaatsen. Tevens is in cyclus 1 een eerste stap gemaakt in mogelijkheden voor type converter, communicatie en koppeling van sub- en hoofd trunk-kabels.

3.2.3 Configuratie PV-wegdek

In Figuur 2 is de geselecteerde configuratie voor het PV-wegdek te zien met de bijbehorende situaties zoals het element in de pilots in de weg komt te liggen.

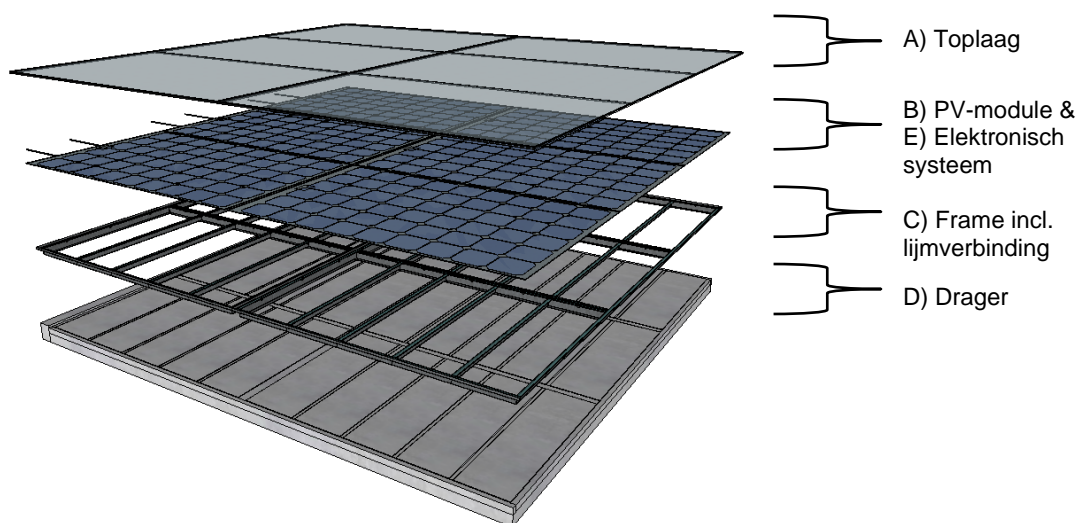


Figuur 2 - Configuratie PV-wegdek

3.2.4 Ontwerp PV-wegdekelement zwaar verkeer

Het resultaat van cyclus 1 is een ontwerp voor een zwaar verkeer PV-wegdekelement dat toegepast kan worden in de twee beschreven pilots. Het ontwerp bestaat uit vijf hoofdelementen, hieronder schematisch weergegeven in Figuur 3. De materiaalspecificaties zijn vertrouwelijk en worden daarom hier niet

verder toegelicht. Van dit ontwerp zijn tevens prototypes gemaakt die ingezet zijn voor validatietesten van de pilotprojecten.



Figuur 3 - Schematische weergave PV-wegdekelement

3.2.5 Exploitatiestrategie PV-wegdekken

Marktintroductie van PV-wegdekken kan alleen succesvol verlopen als marktpartijen en overheden inzicht hebben in kansen en belemmeringen voor succesvolle exploitatie. Onder leiding van EVConsult is parallel aan de ontwikkeling van een PV-wegdekelement ontwerp in cyclus 1 onderzocht welke exploitatiemodellen het meest geschikt zijn voor PV-wegdekken. Omdat de inpassing van PV-wegdekken in het energiesysteem - en meer specifiek de impact op het elektriciteitsnet - van groot belang is, is in het werkpakket nauw samengewerkt met netbeheerder Liander.

Het belangrijkste resultaat van dit werkpakket is inzicht voor stakeholders in de kansen en belemmeringen van de meest kansrijke exploitatiemodellen voor PV-wegdekken. Hierbij ligt de focus op inpassing in het energiesysteem en de energietransitie. Centraal daarin staan:

- 1) verdienmodellen op basis van de energie opwek;
- 2) ruimtelijke 'winst';
- 3) het inzichtelijk maken van (verborgen) maatschappelijke kosten als onderdeel hiervan.

De volgende conclusies kunnen getrokken worden:

- Op basis van een economisch optimum is het gewenst PV-wegdekken technisch aan te sluiten op 160 kVA of 630 kVA;
- De impact op het elektriciteitsnet is vergelijkbaar met PV;
- Kostenreducties en/of overheidsinvesteringen zijn in de eerste fase noodzakelijk;
- PV-wegdekken zijn geschikt om op grote schaal uit te rollen, met beperkt aantal stakeholders;
- Voorbereiding weginfrastructuur, omgeving en elektriciteitsnet is gewenst;

- Contracttermijn is een afweging tussen terugverdientermijn & technische levensduur;
- Aanbesteding met groot onderhoud en exploitatie in één contract;
- Modelkeuze is afhankelijk van product/marktontwikkeling.

3.3 Resultaten cyclus 2: grootschalige productie

3.3.1 Inleiding

Cyclus 2 richtte zich op grootschalige productie. Relevante ontwikkelpunten richting deze grootschalige productie zijn geïventariseerd, waarbij zowel optimalisaties van de individuele deelcomponenten naar voren zijn gekomen als optimalisaties die betrekking hebben op het PV-wegdeksysteem als geheel. Deze ontwikkelpunten en bijbehorende resultaten worden in de volgende paragrafen besproken.

3.3.2 Toplaag

Er zijn diverse ontwikkelpunten m.b.t. tot de toplaag geadresseerd ter uitwerking in cyclus 2 voor verdere opschaling en industrialisatie van de productie van het PV-wegdeksysteem. Het aspect van verwitting en/of verbrossing van de toplaag is uitgewerkt en verder geoptimaliseerd. Dit is gedaan op basis van testen die zich richten op veroudering & transparantie van de toplaag en hechting aan de rest van het ontwerp. Daarnaast is het gebruik van ander (gerecycled) glas als instrooi materiaal voor de toplaag onderzocht. Hierbij is gekeken naar transparantie, korrelgrootte, stroefheid en waterbergend vermogen onderzocht. De doorontwikkeling heeft geleid tot een toplaag waarvan de verwitting en verbrossing is vermindert ten opzichte van de vorige versie.

3.3.3 PV-module

De PV-module bestaat uit verschillende materialen en lagen die om goed te functioneren met elkaar samen moeten werken. In cyclus 2 is wat betreft de PV-module ingezet op selectie van een van deze lagen, encapsulant, waarbij de focus lag op een alternatief encapsulant die een verbeterde weerstand tegen corrosie en delamineren geeft. Er is een matrix opgesteld met de alternatieve encapsulanten in combinatie met de andere materialen in de PV-module. Dit heeft geresulteerd in een aantal geschikte combinaties van encapsulant en backsheet met voldoende hechting die daarmee geschikt zijn voor vervolgtesten.

3.3.4 Drager

Voor de betonnen drager is gekeken naar de koppeling tussen twee PV-wegdekelementen, zowel de mechanische verbinding als de voegovergangen. In de variant van het PV-wegdeksysteem zoals in cyclus 1 ontwikkeld dient, bijvoorbeeld bij vervanging van defecte modules, het element als geheel vervangen te kunnen worden. Dit heeft geresulteerd in een deugel-achtige verbinding in de vorm van een stalen koker. Daarnaast is een experiment bij Strukton Civiel uitgevoerd waar een prototype met verschillende typen voegovergangen in de weg is geplaatst om pragmatisch te kunnen testen hoe deze stand houden onder verschillende (buiten) condities en belastingen. Eerste resultaat van deze testen is dat alle ingezette voegovergangen nog in tact zijn. Langeduur testen na PV4ROADS kunnen mogelijk meer inzicht in verschillen tussen deze voegovergangen bieden.

3.3.5 *Elektrisch systeem*

Het elektrisch systeem dient het door de PV modules geproduceerde vermogen te reguleren, transporteren, om te vormen en aan te bieden aan de afnemer. Er zijn een bekabelingsconcepten opgeleverd met configuratie van main- en sub trunk kabels, spanning, fasen, sectiekasten en bijbehorende kosten. Afhankelijk van de situatie is er voorkeur een van deze concepten toe te passen. Daarnaast zijn de specificaties van de lokale converter opgeleverd in een langgerekte vorm die in de drager kan worden ingepast.

3.3.6 *Ontwerp grootschalige productie*

Om grootschalige productie te realiseren wordt het van belang geacht het ontwerp voor het PV-wegdekelement op te splitsen in twee losse delen met een eigen levensduur: de betonnen drager (lange levensduur) en de PPL (Pavement PV-module Laminate: combinatie van toplaag en PV-module met kortere levensduur). In cyclus 2 is de haalbaarheid onderzocht van drie alternatieve verbindingsmethoden tussen deze betonnen drager en PPL. De focus heeft hierbij gelegen op die aspecten waarvan verwacht wordt dat ze bepalend zijn voor de haalbaarheid. De principe oplossing die als meest kansrijk naar voren kwam, zowel qua technische haalbaarheid als qua doorlooptijd, is het principe van opspannen. Dit principe is binnen cyclus 2 uitgewerkt tot een functioneel prototype. Op het principe van opspannen loopt een octrooiaanvraag en wordt om die reden hier niet verder toegelicht.

3.4 **Conclusies en aanbevelingen**

Conclusies met betrekking tot doelstelling 1: Ontwikkeling van een modulair, elektriciteit producerend PV-wegdeksysteem dat toepasbaar is voor meerdere typen wegen.

Op basis van een programma van eisen voor alle (deel)systemen is in cyclus 1 een elektriciteit producerend PV-wegdeksysteem ontwikkeld dat voor meerdere type wegen toepasbaar is. Het resultaat is succesvol daar het ontwerp gebruikt is voor de aanleg van twee pilots voor zwaar verkeer wegen in Noord- en Zuid-Holland. Hiermee is een ontwerp voor handen dat in de markt gebruikt kan worden voor de aanleg van PV-wegen.

Conclusies met betrekking tot doelstelling 2: Ontwikkeling van een modulair, elektriciteit producerend PV-wegdeksysteem dat grootschalig en kostenefficiënt exploiteerbaar is.

In de ontwikkeling richting een industrieel te vervaardigen PV-wegdeksysteem zijn binnen dit project grote stappen gezet. De belangrijkste is zonder twijfel de ontwikkeling van een alternatief mechanisch verbindingprincipe ("opspannen") tussen betonnen drager en PPL. Naast voordelen voor industrialisatie levert dit ook significante voordelen op voor onder meer export en end-of-life oplossing. Verder opent de ontkoppeling van drager en PPL de weg voor een modulaire opbouw van het PV-wegdeksysteem, waarbij eenvoudig ingespeeld kan worden op verschillend gebruik en/of toepassing. Het in ontwikkeling zijnde IP geeft tenslotte een goede uitgangspositie voor verdere ontwikkeling en marktintroductie.

Conclusies met betrekking tot doelstelling 3: Ontwikkeling van een exploitatiemodel.

De totale kosten zijn het laagst wanneer het PV-wegdek aangesloten wordt op 160 kVA of 630 kVA. Het combineren van de netaansluiting van zonnepanelen met bestaande aansluitingen kan een voordeel bieden voor beide partijen. Uit een inventarisatie van Product-Marktcombinaties met PV-wegdekken komt naar voren dat de combinatie met (snel)laden van voertuigen (en opslag) uit kan groeien tot een interessante combinatie. Ook een directe koppeling met een grootverbruiker is interessant. De business case voor PV-wegdek in 2020 komt niet uit o.b.v. een terugverdientermin van 15 jaar, er zijn echter mogelijkheden om de business case te verbeteren. Pv-wegdekken zijn zeer geschikt om op grote schaal gefaseerd uit te rollen met een beperkt aantal stakeholders. Het aanbesteden van het groot onderhoud (eventueel op meerdere locaties) inclusief de exploitatie van de energie in één contract lijkt het meest voor de hand liggend. Een opdracht of een concessiemodel zijn beide geschikte varianten om PV-wegdekken uit te vragen als overheid.

Aanbevelingen

Op basis van de resultaten die verkregen worden uit de pilotprojecten met het cyclus 1 PV-wegdekontwerp zwaar verkeer kan het ontwerp waar nodig worden geoptimaliseerd.

Ten behoeve van het grootschalig en kostenefficiënt exploiteerbaar maken van PV-wegdeksystemen is het gewenst het modulaire ontwerp met het alternatieve verbingsprincipe tussen betonnen drager en PPL door te ontwikkelen. Op dit moment is deze ontwikkeling nog niet op het niveau dat er een pilot mee uitgevoerd kan worden. In het kader van haalbaarheid van deze grootschalige en kostenefficiënt exploiteerbare PV-wegdeksystemen is dit wel gewenst. Uit de exercitie t.b.v. de exploitatiestrategie komt verder de aanbeveling bij introductie en verdere groei van PV-wegdekken de locatie en aansluiting in afstemming met een lokale netbeheerder uit te werken.

3.5 **Perspectief voor toepassing**

Het PV-wegdek ontwerp voor zwaar verkeer uit cyclus 1 van PV4ROADS wordt toegepast in twee pilots, te weten:

- Pilot busbaan in Zuid-Holland op de N218 van 100m;
- Pilot parallelweg in Noord-Holland langs de N232 Fokkerweg van 50m;

Dit is de manier om het ontwerp zoals dit binnen het PV4ROADS project is ontworpen in de openbare ruimte te demonstreren. Hiermee kan praktijkervaring worden opgedaan met dit ontwerp, waarbij specifiek gekeken kan worden naar wegbeheer, ervaring van weggebruikers, elektriciteitsproductie en levensduur onder praktijkomstandigheden. De pilots zijn geopend in maart 2019..

De stappen die in cyclus 2 van PV4ROADS zijn gemaakt, vormen de basis voor een traject van doorontwikkeling van dit ontwerp parallel aan de pilot projecten. Het doel is om een tweede 50m SolaRoad bij de pilot in Noord-Holland aan te leggen met een doorontwikkeld ontwerp.

De grote maatschappelijke waarde van SolaRoad zit in de unieke combinatie van de wegfunctie met de functie van duurzame energieopwekking (multifunctioneel ruimtegebruik). Hierbij wordt niet extra beslag gelegd op ruimte, is er geen hinder voor omwonenden of verstoring van de omgeving en de natuur.

3.6 **Bijdrage project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding en versterking van de kennispositie)**

Dit project geeft invulling aan programmalijn 3a multifunctionele bouwdelen (MFB), stroom producerende bouwdelen. De doelstelling van dit programma is ontwikkeling van multifunctionele bouwdelen, waarmee tevens zonnestroom kan worden opgewekt (dit kan zowel in niet-transparante bouwdelen als in transparante “stroomramen”), met de volgende eisen: esthetisch aantrekkelijk, flexibel toepasbaar en marktconforme prijzen (beperkt duurder dan standaardoplossingen).

Binnen PV4ROADS is een modulair, multifunctioneel wegdek ontwikkeld dat ook zonnestroom kan produceren.

Flexibel toepasbaar – Er is één basisontwerp voor PV wegdekken ontwikkeld dat door middel van minimale aanpassingen aan componenten en productieproces geschikt kan worden gemaakt voor toepassing in meerdere wegtypen.

Esthetisch aantrekkelijk / inpasbaar - Uitgangspunt van de PV wegdekken is dat ze voldoen aan dezelfde wegprestaties als reguliere wegen, en een vergelijkbare esthetische uitstraling hebben. Daarmee maken deze multifunctionele wegdekken het mogelijk om het grote oppervlak van het wegennet (meer dan 1000 km² alleen in Nederland - Holland Solar, 2015) ook voor het opwekken van zonnestroom te benutten, zonder extra ruimtebeslag, zonder hinder voor omgeving of natuur. De PV is volledig geïntegreerd in wegen die we toch nodig hebben. Bij aanleg van nieuwe wegen, en bij reconstructie van bestaande wegen kan dit multifunctionele wegdek worden toegepast.

Marktconforme prijzen – PV4ROADS heeft in cyclus 2 een eerste stap gezet in de richting van het ontwikkelen van een PV-wegdek dat grootschalig en kostenefficiënt exploiteerbaar is.

3.7 **Mogelijkheden spin off binnen en buiten de sector**

De resultaten uit PV4ROADS worden zoals voorzien ingezet in twee pilot projecten. Daarnaast is op 24 mei 2018 SolaRoad BV opgericht waar de partijen TNO, ECN en Strukton Civiel West hun kennis over PV-wegdekken, onder ander opgedaan in PV4ROADS, zullen bundelen (voor zover daar recht toe is) en op deze wijze de opgedane kennis zullen vermarkten. Dit geldt ook voor de resultaten van PV4ROADS.

4 Overzicht van openbare publicaties

Voor een overzicht van alle publicaties, interviews en andere media-uitingen wordt verwezen naar de website www.solaroad.nl.

Enkele recente persuitingen over SolaRoad:

BBC Earth: <https://www.youtube.com/watch?v=HAfB6om2UAc>

BNR: <https://www.bnr.nl/nieuws/mobiliteit/10369396/zonnige-toekomst-voor-van-rijkswege-n-opgewekte-stroom>

BNR: <https://www.bnr.nl/podcast/techniektour/10368982/de-techniek-achter-de-slimme-weg>

NH nieuws: <https://www.nhnieuws.nl/nieuws/240875/autorijden-op-zonne-energie>

5 Algemene informatie

Voor meer informatie of het bestellen van dit rapport kunt u contact opnemen met:

Ir. W. Kanten-Roos (projectleider PV4ROADS)
+31 6 5280 3647
wietske.vankanten@tno.nl

Dr. Ir. S.M. de Wit (commercieel directeur SolaRoad BV)
+31 6 1202 1647
sten.dewit@tno.nl | sten.dewit@solaroad.nl

Ir. S.A.W. Klerks (directeur R&D SolaRoad BV)
+31 6 2015 9246
stan.klerks@tno.nl | stan.klerks@solaroad.nl

Dit rapport kan tegen betaling van €50,00 geleverd worden.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

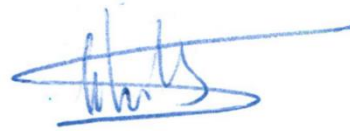
6 Ondertekening

Delft, 27 maart 2019

TNO



Ir. W. van Kanten
Projectleider PV4ROADS



Ir. S.A.W. Klerks
Reviewer



Ir. P.C. Rasker
Research manager
Structural Reliability

Ir. W. van Kanten
Projectleider PV4ROADS

Ir. S.A.W. Klerks
Reviewer

Ir. P.C. Rasker
Research manager
Structural Reliability