



Beroepsproduct portfolio

Afstudeertraject Built environment

Naam: Casper Scheltes
Studentnummer: 345219

Datum: 14-01-2021
Plaats: Groningen

Contactgegevens

Rijksvastgoedbedrijf

Adres:	Korte Voorhout 7
Postcode:	2511 CW, Den Haag
Telefoonnummer algemeen:	088-1158000
Postbus:	16169 2500 BD
Begeleider:	Dennis Faas
Telefoonnummer begeleider:	06-11261209
Emailadres begeleider:	dennis.faas@rijksoverheid.nl

Hanzehogeschool

Adres:	Zernikeplein 11
Postcode:	9714 AS, Groningen
Telefoonnummer algemeen:	050-5954573
Emailadres algemeen:	13803512
Begeleider:	Bate Boschma
Telefoonnummer begeleider:	06-13803512
Emailadres begeleider:	b.boschma@pl.hanze.nl

Student

Naam:	Casper Scheltes
Studentnummer:	345219
Tijdelijk adres:	Dierenselaan 17A
Bijbehorende postcode:	2573 KA, den Haag
Vast adres:	Westersingel 61
Bijbehorende postcode:	9718 CJ, Groningen
Telefoonnummer:	0648695681
Emailadres:	casper-scheltes@hotmail.com

Samenvatting

Op dit moment is binnen het Rijksvastgoedbedrijf geen concrete tool aanwezig waarmee de toepassing van PV op daken meegenomen kan worden in een (bouw)project-uitvraag richting de markt. Het doel van dit onderzoek is de ontwikkeling van een praktisch toepasbaar stroomschema dat als ondersteunend en adviserend document bijdraagt aan dit besluitvormingsproces. Dit is een vorm van procesoptimalisatie. In dit onderzoek wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag;

‘Op basis van welke vragen en afwegingen kan optimale besluitvorming voor toepassing van PV op daken plaatsvinden in een (bouw)project uitvraag?’

Doormiddel van de PDCA-cyclus (plan, do, check act) is dit stroomschema ontwikkeld.

Plan: geformuleerde doelstelling,

Do: uitvoeren van stappenplan, kwantificeren, kwalificeren en rangschikken van data tot een (concept)schema

Check: evaluatiepunt, praktijktoetsing

Act: waar nodig is bijgestuurd om deze wel te behalen.

PV is een techniek waarmee doormiddel van het fotonvoltaiisch effect hernieuwbare energie wordt opgewekt. PV-techniek wordt verwerkt in panelen en modules; op basis van cel-techniek, materialisatie en (toepassings)vorm kan onderscheid worden gemaakt tussen verschillende PV-vormen. De meest gebruikelijke toepassingsvorm in de bouw is een traditioneel PV-paneel.

Zowel installatievorm, -onderdelen als -opstelling kunnen van invloed zijn op de besluitvorming over pv in de planvormfase van een (bouw)project. Vanuit (bouw)project-specifieke belangen kan voor genoemde onderdelen een voorkeur worden uitgesproken, echter heeft dit betrekking op de specificatie van de installatie-onderdelen en niet op het wel of niet toepassen van de installatie. Naast technische aspecten, zijn wet-en regelgeving en financiële aspecten van invloed op de besluitvorming over toepassing van PV op daken in een (bouw)project uitvraag; deze zijn project-specifiek. Belangrijk zijn de volgende aspecten:

- | | |
|--|---|
| - Bouwkundige aspecten: | materialisatie en levensduur dak |
| - Bouwfysische aspecten: | bevestiging en dakopbouw |
| - Brandveiligheidsaspecten: | materialisatie, gebouwcategorisering, situering |
| - Aspecten m.b.t. veilig werken op hoogte: | bereikbaarheid en aanwezige voorzieningen |
| - Constructieve aspecten: | draagkracht/bevestigingsmethode |
| - Elektrotechnische aspecten: | onderdelen en samenstelling van installatieonderdelen |
| - Zichtbaarheid van panelen: | wet- en regelgeving m.b.t. veranderend uiterlijk van gebouw |
| - Oppervlak en oriëntatie dak: | situering, hoek, oppervlak per dakdeel |

Gedurende het afstudeertraject is een stroomschema ontwikkeld op basis waarvan besluitvorming kan plaatsvinden over de toepassing van PV-panelen op daken binnen (bouw)projecten van het Rijksvastgoedbedrijf.

De definitieve versie van het stroomschema wordt toegevoegd aan de (concept)richtlijn van het RVB en gaat toegepast worden bij toekomstige (bouw)projecten. Onderstaande vragen en afwegingen vormen de basis van het stroomschema:

Schema 1: ‘Is PV mogelijk?’

- Wat is de gebouwclassificering?
- Is het dak bereikbaar en voorzien van veiligheidsvoorzieningen?
- Is de materialisatie van het dak geschikt?
- Heeft het dak voldoende (extra) draagkracht?

Schema 2: ‘Specificatie installatie’ leidt tot

- Keuze installatievorm, -onderdelen en-oriëntatie
- Businesscase voor betreffend project

Wanneer bovenstaande punten worden ‘meegenomen’ en het definitieve stroomschema wordt toegepast, kan optimale besluitvorming plaatsvinden.

Inhoudsopgave

INLEIDING.....	5
AANLEIDING, CONTEXT EN THEMATIEK ENERGIETRANSITIE	5
HOOFDSTUK 1: ONDERZOEKSOPZET BEROEPSPRODUCT	6
1.1 INLEIDING.....	6
1.2 AANLEIDING	6
1.3 PROBLEEMSTELLING	6
1.4 BEOOGD RESULTAAT (DOELSTELLING) & BEROEPSPRODUCT	7
1.5 HOOFDVRAAG	7
1.6 DEELVRAGEN	7
1.7 AFBAKENING.....	8
1.8 METHODIEK STAPPENPLAN	9
HOOFDSTUK 2: UITWERKING STAP 1, ALGEMENE BEELDVORMING PV(PANELEN).....	10
2.1 WAT IS PV EN HOE WERKT PV.....	10
2.2 VERSCHILLENDE SOORTEN PV-CEL TECHNOLOGIEËN	11
2.2.1 Kristallijne zonnecellen	11
2.2.2 Dunne film zonnecellen.....	11
2.3 TYPE-EN OPBOUW PV-PANELEN	12
2.4.1 Opbrengst in wattpiek.....	13
2.4.2 Aanschafkosten	13
2.4.3 Rendement zonlicht in %	13
2.4.4 Behoud van rendement	13
2.4.5 Levensduur	13
2.4.6 Opbrengst bij diffuus licht & extreme temperatuurverschillen.....	14
2.4.7 Materialisatie en benodigde hoeveelheid	14
2.4.8 Formaat/oppervlak.....	14
2.4.9 Mogelijkheden tot circulaire PV-panelen	14
2.4.10 Esthetiek.....	16
2.4.11 Onderhoud	16
2.4.13 Multicriteria analyse kristallijne PV/dunnefilm PV	17
2.5 VERSCHILLENDE PV-PANEELTYPEN/MODULES.....	18
2.6 CONCLUSIE & BEANTWOORDING DEELVRAAG 1.....	19
HOOFDSTUK 3 UITWERKING STAP 2: INVENTARISATIE INSTALLATIEVORMEN, ONDERDELEN EN OPSTELLINGEN.	20
3.1 TYPEN PV-INSTALLATIESYSTEMEN	20
3.2 ONDERDELEN PV-SYSTEEM	20
3.2.1 Energieopwekkende componenten.....	21
3.2.2 Montage & onderconstructie	21
3.2.3 DC-en AC-bekabeling	21
3.2.4 Typen omvormers.....	22
3.3 CONCLUSIE & BEANTWOORDING DEELVRAAG 2.....	24
HOOFDSTUK 4 UITWERKING STAP 3: INVENTARISEREN BEÏNVLOEDENDE ASPECTEN	25
4.1 INVENTARISATIE ASPECTEN.....	25
4.2 BOUWKUNDIGE ASPECTEN	27
4.2.1 Algemeen	27
4.2.2 Eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf	27
4.3 BOUWFYSISCHE ASPECTEN	28
4.3.1 Algemeen	28
4.4 BRANDVEILIGHEID ASPECTEN.....	29
4.4.1 Algemeen	29
4.4.2 Eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf	30

4.5 ASPECTEN VANUIT VEILIG WERKEN OP HOOGTE	30
4.5.1 Algemeen	30
4.5.2 Eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf	32
4.6 CONSTRUCTIEVE ASPECTEN	33
4.6.1 Algemeen	33
4.6.2 Eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf	34
4.7 ELEKTROTECHNISCHE ASPECTEN	35
4.7.1 Algemeen	35
4.7.2 Eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf	36
4.8 WET-EN REGELGEVING MET BETREKKING TOT ZICHTBAARHEID PANELEN	40
4.8.1 Algemeen	40
4.8.2 Eisen met betrekking tot zichtbaarheid	40
4.9 OPPERVLAK DAK	40
4.10 OMVORMERTYPE	40
4.11 INSTALLATIETYPE.....	40
4.12 OPSTELLING VAN PANELEN (OPSTELLING WINDRICHTING)	40
4.13 ENERGIEVRAAG GEBOUW	40
4.14 CONCLUSIE & BEANTWOORDING DEELVRAAG 3.....	41
HOOFDSTUK 5 UITWERKING STAP 4: FORMULEREN VAN GESLOTEN VRAGEN.....	42
5.1 CONCLUSIE & BEANTWOORDING DEELVRAAG 4.....	43
HOOFDSTUK 6: STAP 5 OPZET STROOMSCHEMA.....	44
6.1 EERSTE OPZET/ONTWERP	44
6.2 VERVOLGONTWERP	45
6.3 CONCLUSIE & BEANTWOORDING DEELVRAAG 5.....	46
HOOFDSTUK 7: STAP 6 TOETSING AAN PRAKTIJKVOORBEELD	47
7.1 TOEPASSEN VAN HET STROOMSCHEMA:.....	47
7.2 CONCLUSIE & BEANTWOORDING DEELVRAAG 5.....	50
HOOFDSTUK 8: STAP 7 PERFECTIONEREN VAN HET STROOMSCHEMA	51
8.1 CONCLUSIE & BEANTWOORDING DEELVRAAG 5.....	51
HOOFDSTUK 9: CONCLUSIE, DISCUSSIE EN AANBEVELING.....	52
9.1 CONCLUSIE	52
9.2 DISCUSSIE & AANBEVELINGEN	52
BIBLIOGRAFIE	54

Bijlage 1: Beroepsproduct
 Bijlage 2: Uitwerking stroomschema project Bleiswijk
 Bijlage 3: Werkwijze en reflectie
 Bijlage 4: Deelonderzoek BIPV (zonnegevels)
 Bijlage 5: Getranscribeerde interviews

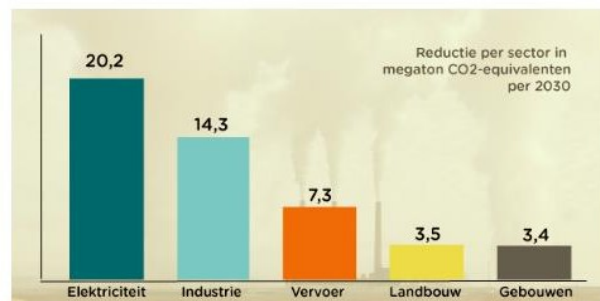
Inleiding

Gedurende mijn afstudeerstage heb ik mij beziggehouden met de ontwikkeling van een beroepsproduct. Dit beroepsproduct is gerelateerd aan het thema energietransitie. In dit beroepsproduct-portfolio wordt ingegaan op de thematiek, onderzoeksopzet, doelstelling en uitvoering. Het beroepsproduct is bijgevoegd (zie bijlage 1), de uitkomsten van de toepassing van het beroepsproduct op een (versnellings)project (zie bijlage 2) en een werkwijze-omschrijving voorzien van reflectie (bijlage 3).

Aanleiding, context en thematiek energietransitie

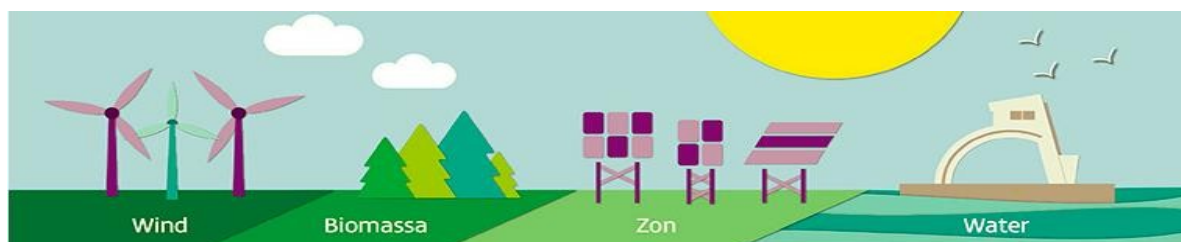
Het klimaat verandert, de aarde warmt op als gevolg van meer broeikasgassen in de atmosfeer. CO₂ is de voornaamste boosdoener. Om te voorkomen dat dit proces in de toekomst verergert en meer onomkeerbare schade aanricht aan mens, milieu en natuur, zullen veranderingen moeten worden doorgevoerd. Tijdens de klimaatconferentie van Parijs in 2015 stond de problematiek rondom de opwarming van de aarde centraal. Deze conferentie heeft geresulteerd in een akkoord tussen 185 landen, waaronder Nederland, waarin afspraken staan die de mondiale temperatuurstijging moet beperken tot maximaal twee graden (Nederlandse Emissieautoriteit, sd). Indien de afspraken niet worden nageleefd zal dit resulteren in een klimaatverandering die (in)direct een onleefbare situatie voor mens en natuur tot gevolg heeft.

Om het klimaatakkoord van Parijs na te komen heeft Nederland een eigen klimaatakkoord ontwikkeld. Dit heeft betrekking op de gebouwde omgeving. Volgens het Rijk is 'de gebouwde omgeving' verantwoordelijk voor zo'n 36% van het finale energieverbruik en 25% van de totale CO₂-uitstoot die gerelateerd is aan het energetisch verbruik. (Nederland, 2018)



Afbeelding 1 (Energierijk Nederland, 2019)

Het doel van het Nederlandse klimaatakkoord is een reductie van CO₂-uitstoot van 49% in 2030, vergeleken met 1990. In 2050 moet de uitstoot met 95% zijn afgenomen (Rijksoverheid, 2019). Deze doelstellingen zijn verdeeld over vijf sectoren. In afbeelding 1 is per sector weergegeven hoeveel megaton aan CO₂-reductie benodigd is. Er is een energietransitie nodig om de klimaatdoelstellingen te behalen. Dit omvat de overstap van fossiele brandstoffen op duurzame en hernieuwbare energiebronnen zoals wind, water, biomassa en zon (zie afbeelding 2). In het klimaatakkoord zijn maatregelen en afspraken omtrent de energietransitie vastgelegd. De maatregelen uit het klimaatakkoord kunnen winst opleveren voor gezondheid, veiligheid en natuur door



Afbeelding 2 (Haarlem duurzaam, 2017)

vermindering van gebruik van fossiele bronnen. Dit is een maatschappelijk belang. Het RIVM werkt aan verschillende thema's om de doelstellingen te behalen. Een van deze thema's omvat een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050 (RIVM, sd). Om hieraan te voldoen is het Rijksvastgoedbedrijf bezig verduurzamende maatregelen toe te passen in haar bouwvoorraad. Een voorbeeld is het benutten van Rijksdaken voor opwekking van groene energie om zo bij te dragen aan de reductie van de CO₂-uitstoot in Nederland. Opwekking van zonne-energie door gebruik te maken van de gebouwde omgeving sluit aan op het maatschappelijke vraagstuk hoe kan worden voorzien in voldoende (duurzame) energie als gevolg van de groeiende vraag naar energie. Dit sluit aan op een van de vijf gewenste thema's vanuit de opleiding, te weten: 'Hoe zorgen we voor genoeg' (energie).

Hoofdstuk 1: Onderzoekopzet beroepsproduct

Het beroepsproduct is gerelateerd aan het thema energietransitie. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de inleiding, aanleiding en probleemstelling van het onderzoek; vervolgens wordt benoemd wat de doelstelling is en met welk resultaat de onderzoeksdoelstelling behaald wordt. Hierna worden de hoofd- en deelvragen benoemd. Dit leidt tot een methodiek die is vertaald in een concreet stappenplan.

1.1 Inleiding

Als gevolg van het klimaatakkoord is de ambitie ontstaan dat het Rijksvastgoedbedrijf (RVB) op zo'n kort mogelijke termijn zoveel mogelijk photo voltaic (PV) toe moet gaan passen bij Rijksgebouwen. Dit heeft zich vertaald in het project: 'Zon op dak', afgekort ZOD. Zoals de naam al doet vermoeden, betreft het project de implementatie van PV-panelen op Rijksvastgoed. Het is de bedoeling dat binnen vijf tot tien jaar zoveel mogelijk Rijksdaken worden benut voor de toepassing van PV-panelen. Dit om de voorbeeldfunctie die het Rijksvastgoedbedrijf als Rijksorgaan heeft, uit te dragen en de benodigde landelijke energietransitie te bespoedigen.

1.2 Aanleiding

Momenteel bevindt het project ZOD zich in de pilotfase, waarvoor enige gebouwen zijn geselecteerd. Hiervan zullen een aantal binnen een tot twee jaar worden voorzien van PV, rekening houdend met de financiële kaders. Het is een ambitieuze doelstelling om dat op zoveel mogelijk daken uit te voeren, gezien de vele multidisciplinaire facetten die een rol spelen bij de toepassing van PV op gebouwen en het ontbreken van een overzicht van gebouwen waarbij PV toegepast kan worden. Het is gebruikelijk dat de implementatie van PV in de gebouwoorraad van het Rijksvastgoedbedrijf wordt meegenomen binnen 'natuurlijke ingreep momenten', dit wil zeggen: geplande momenten, zoals renovatie, verbouw, nieuwbouw, herontwikkeling etc. Bij versnellingsprojecten is dit niet altijd mogelijk en vormt dit in een extra uitdaging.

Gedurende dit soort momenten wordt per project een team samengesteld dat verantwoordelijk is voor de uitvoering en het verloop van renovatie-, verbouw-, nieuwbouw- of herontwikkelingsprojecten van een gebied of gebouw. Zo'n team bestaat uit een projectmanager, contractmanager en technisch manager. Door de technisch manager worden de volgende disciplines aan een project gekoppeld: duurzaamheidsexperts, bouwfysici, architecten, werktuigbouwkundigen, installatietechnici en brandveiligheidsdeskundigen, afhankelijk van de aard en omvang van het project.

1.3 Probleemstelling

Op dit moment is voor objectmanagers, technisch managers en de overig benoemde disciplines nog geen concrete tool aanwezig die toepasbaar is om op simpele wijze te achterhalen met welke facetten en afwegingen zij rekening dienen te houden, alvorens de toepassing van PV op daken mee te kunnen nemen in de project-uitvoering richting de markt. Dit betekent dat het de projectmanagers, technisch managers en overige disciplines veel meer tijd kost om dit per project uit te zoeken.

Naast de lage score op kostenefficiëntie, is dit tijd-technisch gezien ook niet wenselijk vanwege de ambitieuze doelstelling van het overkoepelende ZOD-project. Om dit te bespoedigen is het voor het Rijksvastgoedbedrijf zeer nuttig over een simpele multi-inzetbare tool te beschikken die gedurende de planvormingsfase kan worden gebruikt. Hierdoor wordt direct inzichtelijk of PV kan worden toegepast, hoeveel dakoppervlak hiervoor beschikbaar is, welke bijkomende benodigde gebouwaanpassingen vereist zijn en welke overige facetten wel of niet van belang zijn bij het betreffende project met betrekking tot de toepassing van PV-panelen op het dak.

1.4 Beoogd resultaat (doelstelling) & beroepsproduct

Het is de bedoeling dat het beroepsproduct een stroomschema wordt, waarmee gedurende de planvormingsfase van een renovatie-, verbouw-, nieuwbouw-en herontwikkelingsproject door een projectmanager, technisch manager of duurzaamheidsexpert kan worden vastgesteld of PV kan worden toegepast op het dak. Zo ja, hoe de panelen bevestigd worden, hoeveel dakoppervlak beschikbaar is, welke bijkomende gebouwaanpassingen vereist zijn voor de toepassing van PV-panelen, en eventueel een specificatie van installatieonderdelen (de project-specifieke kosten en baten worden buiten beschouwing gelaten). Als dit wordt vertaald naar voorbeelden van beroepsproducten zoals de opleiding deze heeft ingedeeld, zal dit stroomschema/keuzeboom een mix zijn tussen een databank (fabricaat) en een advies.

Samengevat

Een praktisch toepasbaar stroomschema dat als ondersteunend en adviserend document bijdraagt aan de keuze voor toepassing van PV op daken in een (bouw)project uitvraag van het Rijksvastgoedbedrijf. Dit is een vorm van procesoptimalisatie.

1.5 Hoofdvraag

‘Op basis van welke vragen en afwegingen kan optimale besluitvorming voor toepassing van PV op daken plaatsvinden in een (bouw)project uitvraag?’

1.6 Deelvragen

1. Welke vormen kent PV?
2. Welke installatievormen, onderdelen en opstellingen kent een PV-installatie?
3. Welke aspecten hebben invloed op toepassing van PV-panelen op het dak van een gebouw?
4. Hoe kunnen de geïnventariseerde aspecten in gesloten vragen vertaald worden?
5. Hoe kunnen de geformuleerde vragen optimaal in een keuzeschema worden samengevat?

1.7 Afbakening

Wat is het voor onderzoek?

Het is een onderzoek waarbij vanuit technisch oogpunt in kaart wordt gebracht wat PV is, wat voor vormen en toepassingsmogelijkheden PV kent en hoe onderstaande punten invloed hebben op de toepassing van PV op daken in een (bouw)project uitvraag van het Rijksvastgoedbedrijf (RVB):

- Constructieve bevestiging
- Brandveiligheid
- Veiligheid m.b.t. bereikbaarheid/onderhouden van de installatie
- Installatietechniek
- Positionering
- Materialisatie eisen
- Mogelijk benodigde (bouwkundige)gebouw aanpassingen

Bovenstaande punten gaan over de technische geschiktheid voor toepassing van PV. Besluitvorming over de toepassing is een traject waarbij met name wet-en regelgeving en financieel rendement een rol speelt.

Voor wie is het nuttig /relevant?

Dit onderzoek is nuttig voor het RVB, specifiek deelnemers van een projectteam zoals projectmanagers, technisch managers, duurzaamheidsexperts of bouwfysici en vergelijkbare disciplines.

Waarom is het nuttig/relevant?

Het onderzoek leidt tot bundeling van multidisciplinaire kennis over toepassing van PV binnen de gebouwde omgeving en de besluitvorming hierover. De gebundelde kennis versimpelt en versnelt (mogelijke) toepassing van PV in renovatie-, verbouw-, nieuwbouw- en herontwikkelingsprojecten van het RVB en verkleint de kans op fouten in dit besluitvormingsproces. Dit levert zowel technisch als financieel voordelen op. Daarnaast bespoedigt dit de energietransitie en dient het een maatschappelijk belang.

Hoe vindt het plaats?

Op pagina 8 is de onderzoeksmethodiek stapsgewijs weergegeven. Hierin wordt per stap de activiteit, onderzoeksmethode, doel, resultaat of deelproduct en de hieraan te linken deelvraag aangegeven.

Wanneer vindt het plaats?

Het onderzoek beslaat de gehele stageperiode. In bijlage 2 van het plan van aanpak is een planning van de werkzaamheden weergegeven.

1.8 Methodiek stappenplan

De toegepaste methodiek is in tabel 1 in stappen weergegeven:

- Bijbehorende activiteit(en)
- Onderzoeksmethode
- Doel
- Resultaat of deelberoepsproduct
- Deelvraag waar de stap aan gerelateerd is

Stap	Activiteit	Onderzoeksmethode	Doel	Resultaat of deelberoepsproduct	Deelvraag
1	Onderzoek naar PV is het algemeen, was is het? Hoe werkt het? Uit welke onderdelen bestaat het? Vervolgens het in kaart brengen van energie- en (duurzaamheid)prestaties. Het onderscheiden van paneeltypen	Deskresearch, exploratief onderzoek	Begrijpen wat PV is, hoe het werkt. En in welke hoofdlijnen onderscheid bestaat tussen PV technologieën.	Documentatie: 1. Werking PV, typen PV technologieën. 2. Multi criteria-analyse van prestaties verschillende PV typen	Nr.1
2	Inventariseren onderdelen van een PV installatie, verschillende typologieën PV installaties.	Deskresearch, exploratief onderzoek	Onderscheid kunnen maken tussen verschillende typen installatievormen-en onderdelen. Onderscheid kunnen maken tussen paneelvormen. Dit is benodigde basiskennis om te begrijpen welke technische aspecten invloed hebben op het wel of niet toepassen van PV in een (bouw)project.	Documentatie: 1: Overzicht van alle verschillende onderdelen van een PV-installatie 2: Verschillende typologieën PV-installaties	Nr.2
3	Inventariseren relevante (technische) aspecten voor de toepassing van PV op daken. - Installatietechniek - constructieve bevestiging - brandveiligheid - veiligheid m.b.t. bereikbaarheid - installatietechniek - positionering - materialisatie eisen - (mogelijk) benodigde gebouw aanpassingen	Deskresearch, kwalitatief onderzoek doormiddel van interviews	Inzichtelijk maken van alle relevante (technische) aspecten die van invloed zijn op de besluitvorming over de toepassing van PV op daken in een (bouw)project uitvraag.	Documentatie: 1. relevante aandachtspunten en vereisten voor de toepassing van PV op een dak op gebied van: - constructieve bevestiging - brandveiligheid - Veilig werken op hoogte - installatietechniek - materialisatie eisen - (mogelijk) benodigde gebouw aanpassingen - mogelijke overige aandachtspunten	Nr.3
4	De verzamelde data uit stap 3 formuleren tot gesloten vragen	Doormiddel van overleg met vak deskundigen van verschillende disciplines	Per relevant aspect (benoemd in stap 3) een of meerdere gesloten vragen formuleren die bepalen of PV en onder welke voorwaarden gebouw)aangepassing PV panelen kunnen worden toegepast op het dak van het gebouw.	Documentatie: 1. De relevante geïnventariseerde aspecten uit stap drie vertaald in gesloten vragen.	Nr.4
5	De vragen uit stap 4 rangschikken in volgorde en in het format van een stroomschema weergeven	Doormiddel van overleg met vak deskundigen van verschillende disciplines	Volgorde bepalen van alle relevante zaken die invloed hebben op de besluitvorming over de toepassing van PV op daken	1. Opzet stroomschema voor de toepassing van PV op daken (hierin zijn de vragen uit stap vier verwerkt)	Nr.5
6	Het concept stroomschema uit stap 5 wordt op een (bouw)projectcase toegepast.	Toetsend onderzoek	Controleren of het schema praktisch toepasbaar is en of er te veel/te weinig stappen zijn.	Documentatie: 1. Uitkomsten/uitwerking toepassing stroomschema op (voorbeeld) case 2. (mogelijk) Ontbrekende inhoudelijke onderdelen/verbeterpunten 3. Praktische gebreken/verbeterpunten voor het doorlopen van het schema.	Nr. 5
7	Mogelijk ontbrekende informatie en/of indeling aanpassen.	Doormiddel van overleg met vak deskundigen van verschillende disciplines	Perfectioneren van stroomschema doormiddel van het aanvullen van (mogelijk) ontbrekende informatie en/of (praktisch) gebruik (uitleg stappen en of volgorde)	Een volledig en praktisch toepasbaar stroomschema. Dit stroomschema dat optimaal functioneert als ondersteunend en adviserend document bij de besluitvorming over de toepassing van PV op daken in een (bouw)project uitvraag van het Rijksvastgoedbedrijf.	Nr 5

Tabel 1

Hoofdstuk 2: Uitwerking Stap 1, Algemene beeldvorming PV(panelen)

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op stap 1 uit het stappenplan. Het doel van deze stap is begrijpen wat PV is, hoe PV-panelen zijn opgebouwd en wat voor verschillende typen PV er bestaan. Daarnaast zijn verschillende PV-prestaties in kaart gebracht en is een indicatie gegeven van de energie-en duurzaamheidsprestaties van PV. Doormiddel van een multi-criteria-analyse is hiervan een vergelijking gemaakt (op basis van cel-technologie). Vervolgens wordt nog een klein overzicht gegeven van nieuwe ontwikkelingen op het gebied van PV.

Op deze manier wordt inzicht geboden in wat PV is, hoe het werkt en waaruit het bestaat. Deze basiskennis draagt bij aan het uitvoeren van de vervolgstappen door beter inzicht in het begrip PV, de vormen en verschillende toepassingen. Er wordt in dit hoofdstuk antwoord gegeven op de eerste deelvraag.

‘Deelvraag 1: welke vormen kent PV?’

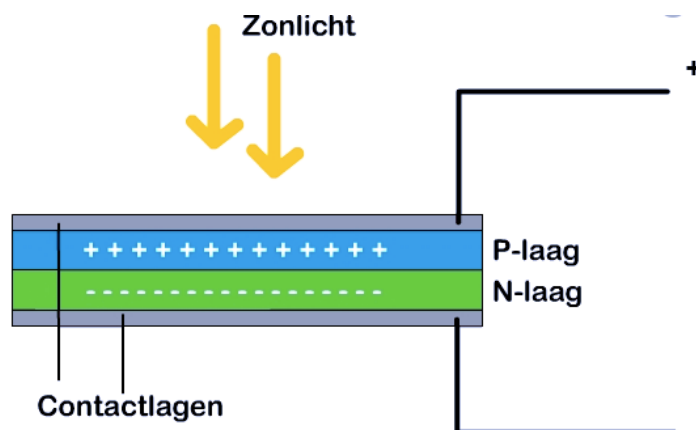
2.1 Wat is PV en hoe werkt PV

PV (photo voltaic), ook wel zonnecellen genoemd, zijn apparaten die doormiddel van fotovoltaïsch effect zonlicht omzetten in elektriciteit. De straling van de zon kent verschillende kleuren; samen vormen zij het zonniespectrum. Iedere golflengte heeft een specifieke energie. Straling afkomstig van de zon kan worden beschouwd als een stroom deeltjes, fotonen genaamd.

Wanneer fotonen worden geabsorbeerd door een fotovoltaïsch apparaat, kunnen de elektronen in dat apparaat naar een hoger niveau getild worden. Dit gebeurt alleen wanneer het geabsorbeerde foton een bepaalde energiegrens overschrijdt. Deze is afhankelijk van het materiaal waaruit de cel bestaat. Het meest gebruikte materiaal voor zonnecellen is silicium (het hoofdbestandsdeel van zand).¹

Een zonnecel bestaat uit een p-laag en een n-laag. “De p-laag heeft vrije ruimten waar de elektronen naartoe kunnen bewegen¹”. De n-laag bestaat uit elektronen, die in beweging kunnen komen onder invloed van zonlicht.

Wanneer zonlicht op een silicium cel in een PV-paneel schijnt, ontstaat er een elektrische stroom. Het zonlicht (de fotonen) komt in aanraking met de siliciumatomen: dit kan worden omschreven als een soort botsing waarbij uit het siliciumatoom een negatief geladen elektron wordt weggeschoten. Het elektron laat een positief geladen gat achter dat wordt afgevangen door de p-laag van de silicium cel, terwijl het negatieve elektron wordt afgevangen door de n-laag van de silicium cel. Door de verplaatsing van elektronen ontstaat een constante spanning. Zo ontstaat een loop van (gelijk)stroom¹ hierboven. ² Zie afbeelding 3.¹



Afbeelding 3

¹ (TU Delft, 2011)

² (Solution-plus, sd)

2.2 Verschillende soorten PV-cel technologieën

In de basis wordt een zonnecel gemaakt van halfgeleidermateriaal. Er kan in hoofdlijnen onderscheid worden gemaakt tussen twee soorten cel-technologieën: kristallijne-en dunne-filmtechniek. Tegenwoordig is silicium het meest gebruikte halfgeleidermateriaal voor kristallijne panelen. Voor amorf dunne-filmpanelen wordt hetzelfde halfgeleidermateriaal toegepast. Voor de overige vormen van dunne film worden andere stoffen gebruikt, zie paragraaf 2.2.2.

2.2.1 Kristallijne zonnecellen

Monokristallijn zonnecellen

Anno 2020 komen monokristallijne zonnecellen het meest voor. De zonnecellen bestaan uit siliciumplakken van één kristal. Gedurende het productieproces wordt het kristal gecontroleerd afgekoeld. Dit resulteert in een gelijkmatige structuur en kleurstelling; dit is over het algemeen donker. Monokristallijne panelen zijn vaak opgebouwd uit 60 tot 72 van dit soort cellen, variërend in formaat van 125 x 125 mm tot 161,7x161,7 mm.³

Polykristallijn zonnecellen

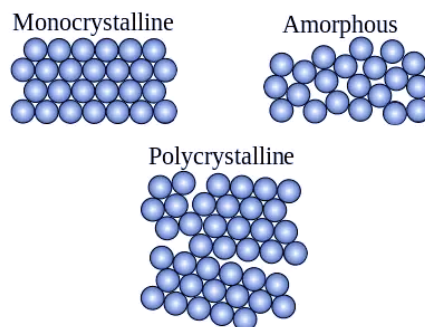
Ook wel multikristallijn silicium genoemd, bestaat uit siliciumplakken van meerdere kristallen. Dit type is momenteel vrijwel geheel van de markt verdrongen. De cellen hebben een lager rendement dan monokristallijne zonnecellen. De panelen hebben van oudsher een blauwe kleur. De opbouw van polykristallijne panelen bestaat uit een aantal cellen en de afmeting is vergelijkbaar met monokristallijne panelen.

2.2.2 Dunne film zonnecellen

Dunne film zonnecellen hebben een diversere oorsprong aan materialisatie. Hieronder zijn de vier basisvormen genoemd.

- Amorf silicium,
- Cadmium telluride,
- Koper indium gallium selenide
- Organische fotonvoltaïsche cellen

Dit type cellen bestaat uit een niet-kristallijne vorm van silicium, cadmium telluride, koper indium gallium selenide of een vorm van organische fotonvoltaïsche cellen. Dunne film zonnecellen worden opgedampt op een ondersteunend materiaal. Dit resulteert in een cel met lagere opbrengst. Het voordeel van dit type cellen is het lagere materiaalverbruik, minder energieverbruik tijdens productie en de mogelijkheid de cellen te verwerken in grotere oppervlaktes, dakbedekking of gevelbekleding. De opbouw van deze panelen is anders dan die van de traditionele opbouw van mono- en poly- panelen. Vaak is deze vormgegeven in langere rails van cellen. Zie afbeelding 4 voor de uitlijning silicium cellen: hier is het verschil te zien tussen kristallijne (mono en poly) en dunne film (amorf). De uitlijning van siliciummoleculen is bepalend voor de manier waarop een cel zonne-energie omzet in elektriciteit. Het rendement wordt bepaald door de zuiverheid van silicium.⁴



Afbeelding 4

³ (Trinasolar, 2016)

⁴ (Solarclarity, sd)

2.3 Type-en opbouw PV-panelen

PV-panelen zijn op meerdere manieren te typeren. Als gekeken wordt naar panelen die zich alleen richten op opwekking van elektrische energie, kan dit op basis van cel-technologie of materialisatie. Wanneer op basis van materialisatie wordt getypeerd, wordt onderscheid gemaakt tussen glas-glas panelen en glas-folie panelen. Het verschil zit in de (materialisatie)opbouw van de panelen. Op afbeelding 2 is de opbouw van een PV-paneel weergegeven. In het geval van een glas-glas paneel is zowel de voor-als achterzijde van het paneel voorzien van een glasplaat. Bij een glas-folie paneel is de voorzijde voorzien van een glasplaat en de achterzijde van een kunststof backsheet. Glas-glas panelen hebben een langere levensduur en verliezen minder snel rendement.

Glas-glas panelen hebben over het algemeen een productgarantie van > 30 jaar met een vermogensgarantie van >87% na 30 jaar. Waar glas-folie panelen een productgarantie hebben van 25 jaar met in de meeste gevallen een vermogensgarantie van >80% na deze 25 jaar. Glas-glas panelen zijn minder schadegevoelig (microcracks) en zijn beter bestand tegen (mogelijke) transport, hagel, montage(schade). Glas-glas panelen zijn verkrijgbaar in twee varianten: panelen met (aluminium) frame en zonder frame. Glas-glas panelen zijn duurder dan glas-folie panelen. Glas-glas panelen met frame kosten ca. 20% meer dan glas-folie panelen; glas-glas panelen zonder frame ca. 30-50% meer.^{5, 6}

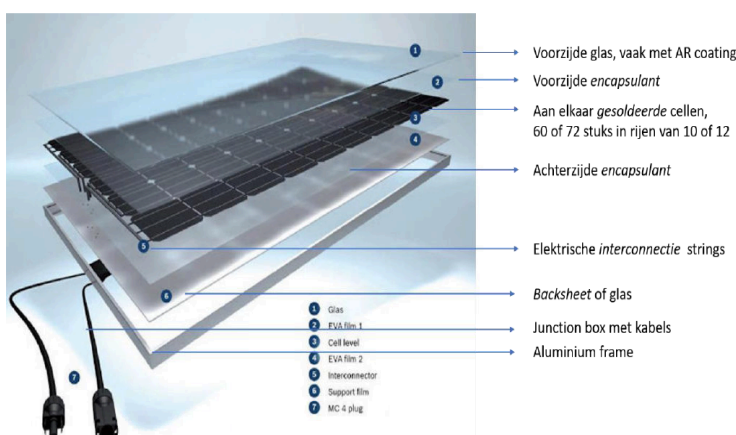
Als gekeken wordt naar cel-technologie, zijn er in de basis twee soorten panelen. Het eerste type is het traditionele kristallijne paneel, onder te verdelen in mono- en polypanelen. Het tweede type is het dunne-film paneel. Dit kan gemaakt zijn van amorf silicium, cadmium telluride, koper indium gallium selenide of van organische fotonvoltaïsche cellen. Hiervan zijn amorf silicium en cadmium telluride de meest gangbare varianten. Tegenwoordig worden ook panelen met combinatietechnieken van kristallijne-en dunne-filmtechnieken op de markt aangeboden; dit komt met name voor in BIPV (built integrated PV). Voor meer informatie over BIPV en de vergelijking met pv-panelen zie paragraaf 2.5. Deze combinatietechnieken worden in dit hoofdstuk buiten beschouwing gelaten. In principe zijn de meest gangbare PV-panelen voorzien van alleen kristallijne- of dunne-filmtechniek.

Kristallijn⁷

- Monokristallijn silicium (c-Si)
- Polykristallijn silicium (poly-Si/mc-Si)

Dunne film

- Amorf silicium (A-Si)
- Cadmium telluride (CdTe)
- Koper indium gallium selenide (CIS/CIGS)
- Organische fotonvoltaïsche cellen (OPC)



Afbeelding 5 (copper8, 2020)

Het maximale rendement van commerciële siliciumcellen ligt anno december 2019 zo rond de 22%. Naar verwachting neemt dit per jaar met ongeveer 0,4% toe. Als gevolg van onevenredig hoge kosten in verhouding tot het energierendement ligt het maximum van industrieel vervaardigde silicium panelen op ongeveer 26-27%⁸. Volgens onderzoeker Gianluca Coletti komt dit doordat de kosten heel snel zullen toenemen naarmate het rendement hierboven wordt verhoogd. In afbeelding 5 is de standaard opbouw van een PV-paneel weergegeven.

⁵ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

⁶ (Zonnepanelen.net, 2020).

⁷ (Solarclarity)

⁸ (Beerda, 2019)

2.4 Prestaties van verschillende typen PV-cel technologieën

Het voornaamste verschil tussen traditionele kristallijne panelen en filmpanelen is de opbouw. Kristallijne panelen bestaan uit kleine individuele silicium zonnecellen (wafers) die doormiddel van stroomdraden met elkaar zijn verbonden. Dunne-filmpanelen bestaan uit een egale laag materiaal waar stroomdraden doorheen lopen. Traditionele kristallijne zonnecellen hebben een absorberende laag van ongeveer 350 micrometer terwijl bij dunne-film zonnecellen deze laag slechts één micrometer dik is.⁹

De afmeting van een standaard kristallijn paneel is ongeveer 165 x 100 cm; dat van een dunne-film paneel bedraagt ongeveer 125 x 100 cm. Dunne-filmcellen hebben een lager rendement waardoor een groter oppervlak nodig is om dezelfde hoeveelheid energie op te wekken als kristallijne panelen.¹⁰ Traditionele kristallijne panelen hebben een hoger rendement, zowel in percentage van zonlicht dat wordt omgezet in energie, als in wattpiek-opbrengst. Dunne-filmpanelen zijn minder milieubelastend doordat er minder materiaal gebruikt wordt bij productie en minder productieafval ontstaat. Daarnaast is de techniek toegepast in dunne-filmpanelen, ook bruikbaar in andere vormen dan in panelen. Doordat het gebruikt kan worden op buigbare materialen is een grotere vormvrijheid mogelijk, denk bijvoorbeeld aan dakpannen, geveldelen of glas/ramen. Ook hebben dunne-filmpanelen een hoger rendement bij diffuus licht (bewolkt weer) en zijn ze minder gevoelig voor temperatuur: het rendement van dunne-filmpanelen blijft bij hoge of lage temperaturen stabiel.¹⁰

2.4.1 Opbrengst in wattpiek

Het rendement van marktconforme (mono) kristallijne panelen in Nederland loopt uiteen van 250 tot 440 wattpiek. De opbrengst van film panelen in wattpiek bedraagt zo'n 100 tot 170. Als wordt gekeken naar de opbrengst in wattpiek per vierkante meter, is dit voor marktconforme (mono) kristallijne panelen ongeveer 170 tot 200 per vierkante meter. Marktconforme dunne-film panelen leveren per m² zo'n 110 tot 135 wattpiek op.¹¹

2.4.2 Aanschafkosten

De kosten van een paneel zijn vooral afhankelijk van kwaliteit, rendement van om te zetten zonlicht, wattpiek, afwerking, materialisatie en merk. De prijsstijging van de panelen is logaritmisch aan de lineaire stijging in wattpiek van de panelen. Standaard kristallijne panelen kosten zo'n 100 tot 300 euro per paneel, terwijl standaard dunne-film panelen zo'n 100 tot 200 euro per paneel kosten. Kristallijne panelen zijn over het algemeen groter en hebben een hogere opbrengst in wattpiek¹², uitgaande van een gemiddelde van beiden typen (kristallijne: 1.65m², 200 euro, 300 wp, dunnefilm: 1,25m², 155 euro, 122,5 wp)

(Mono)kristallijne 300/1.65 = 181,82 wattpiek per m ²	200/1.65= 121 euro per m ²
Dunne-film 155/1,25 = 124 wattpiek per m ²	155/1.25= 124 euro per m ²

Uitgaande van bovenstaande situatie kan worden opgemaakt dat gemiddelde (mono)kristallijne panelen 121 euro per m² kosten, met een opbrengst van 181,82 wattpiek waar dunne-filmpanelen 124 euro per m² kosten met een opbrengst van 124 wattpiek. Hieruit kan worden geconcludeerd dat in verhouding (mono)kristallijne panelen voordeliger zijn dan dunne-filmpanelen.

2.4.3 Rendement zonlicht in %

Kristallijne cellen/panelen scoren een stuk hoger dan film panelen. Anno 2020 kunnen marktconforme kristallijne panelen zo'n 15 tot 22% van het zonlicht omzetten in elektriciteit tegenover slechts 10 tot 14% bij dunne-filmpanelen.¹¹

2.4.4 Behoud van rendement

Uitgaande van glas-folie panelen hebben kristallijne panelen na 10 jaar gemiddeld nog een rendement van 90% (poly) en 92% (mono); na 25 jaar is dit 80% (poly) en 82% (mono). Degradatie van dunne-film panelen gaat sneller: de eerste 10 jaar behouden de panelen gemiddeld een rendement van 90%; vanaf het 10^e tot 25^e jaar degradeert dit tot ongeveer 80%.¹³

2.4.5 Levensduur

⁹ (Zonnepanelen-info, sd)

¹⁰ (zonnefabriek.nl, sd)

¹¹ (Zonnepanelen.net, 2020)

¹² (Slimster, sd)

¹³ (sirius-solar, sd)

Uitgaande van glas-folie panelen is de levensduur van kristallijne panelen langer dan die van film panelen. Kristallijne panelen hebben gemiddeld een levensduur van 20 tot 30 jaar, waar film panelen vaak een levensduur hebben van 15 tot 25 jaar. In de praktijk gaan beiden vaak langer mee, echter loopt het rendement terug.¹⁴

2.4.6 Opbrengst bij diffuus licht & extreme temperatuurverschillen

Uit verschillende studies blijkt dat dunne-film panelen bij diffuus licht en onder extreme temperatuurverschillen beter functioneren dan kristallijne panelen. Veel marktpartijen beweren dat dit voordeel op kan lopen tot 20%. Uit diverse wetenschappelijke onderzoeken blijkt een kleiner verschil.

De uitslagen van in het laboratorium uitgevoerde tests laten grotere verschillen zien tussen kristallijne-en dunne-film panelen. Daarnaast is er nog een verschil in opbrengst tussen de verschillende typen dunne-filmpanelen. In november 2012 is een onderzoek gepubliceerd waarbij 12 verschillende modulen-technologieën zijn getest in Nicosia (Cyprus) en Stuttgart (Duitsland). Indien correct gemeten zouden dunne-filmpanelen 1-4% efficiënter werken als gevolg van temperatuursveranderingen en 3% efficiënter bij diffuus licht. De uitslag van het onderzoek geeft aan dat op zonnige warme locaties CdTe (dunne-film) 5-6% beter presteert dan c-Si (monokristallijn). De conclusie van het onderzoek was dat het verschil tussen dunne-film modules en kristallijne modules in een praktijksituatie waarbij diffuus licht van toepassing is, kleiner was dan eerder is gedacht.¹⁵

Een andere studie, gepubliceerd in 2019, wijst uit dat een c-Si (monokristallijn) paneel jaarlijks gemiddeld 1,05% minder rendement behaalt dan een CdTe (dunne-film) paneel. In deze studie zijn de panelen 4 jaar lang gemonitord (2011-2014). Hierbij dient rekening gehouden te worden met het feit dat kristallijne panelen tegenwoordig een hoger rendement hebben dan in 2011-2014. De conclusie is dat CdTe (dunne-film) panelen zeer geschikt zijn voor gebieden waar diffuus licht vaker voorkomt.¹⁶ Dunne-film levert bij diffuus licht en opwarming van panelen meer energie op, maar wanneer over een periode van een jaar wordt gekeken is geen sprake meer van hogere energieopbrengst. Hiermee kan gesteld worden dat de hogere opbrengst van dunne-film bij afwijkende temperatuur of diffuus licht, verwaarloosbaar is.

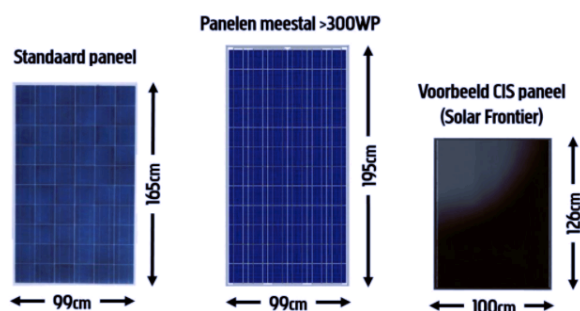
2.4.7 Materialisatie en benodigde hoeveelheid

Voor de productie van dunne-film panelen is aanzienlijk minder materiaal nodig, maar (afhankelijk van het type dunne-film zonnecellen) wel zeldzamer materiaal. De specifieke hoeveelheid verschilt per paneel.

2.4.8 Formaat/oppervlak

In de afgelopen tien jaar zijn de standaardafmetingen van wafers (silicium plakjes waaruit een kristallijn paneel is opgebouwd) fors toegenomen. Zo'n tien jaar geleden hadden deze het formaat van 125 bij 125 millimeter, vijf jaar geleden was dit zo'n 156,75 bij 156,75 millimeter. Inmiddels zijn diverse fabrikanten overgestapt op een formaat van 161,7 bij 161,7 millimeter. Afbeelding 6 geeft een beeld van (tegenwoordig) veel voorkomende afmetingen.^{14, 17}

Het formaat van de wafers is bepalend voor het formaat van kristallijne panelen. Een kristallijn paneel bestaat uit zo'n 60 tot 72 wafers. Een standaard kristallijn paneel is 0,99 x 1,65. Daarnaast komen panelen van 0,99 x 1,95 meter steeds vaker voor; dit zijn panelen met een hogere opbrengst. Een standaard filmpaneel is ongeveer 1,00 x 1,26 meter. Beiden typen (film en kristallijn) zijn ook in andere maten verkrijgbaar of op maat te laten maken.¹⁷



Afbeelding 6

2.4.9 Mogelijkheden tot circulaire PV-panelen

¹⁴ (zonnepaneelprijzen.nl, sd)

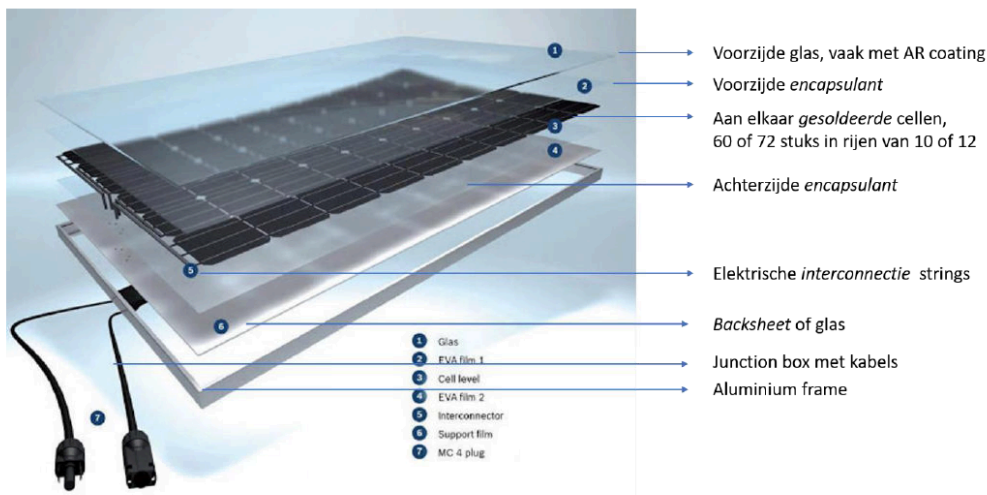
¹⁵ (Steven S, 2013)

¹⁶ (Syed M Ahsan, 2019)

¹⁷ (Solar magazine, 2020).

Anno 2020 is TNO bezig met de ontwikkeling van recyclebare panelen. Het paneel zal dezelfde opbouw hebben als traditionele panelen. Het verschil zit in de EVA/encapsulant (lijm-laag). Deze wordt vervangen door een encapsulant die na 25 tot 30 jaar loslaat. Hierdoor kunnen de glazen voor-en achterzijde en de aan elkaar gesoldeerde cellen gescheiden worden en kunnen beiden hoogwaardiger worden gerecycled.

De opbouw van een recyclebaar paneel komt overeen met die van een regulier paneel, alleen de encapsulant is verrijkt met een nieuwe techniek. De opbouw van een paneel van achter naar voren bestaat uit: glasplaat, eerste encapsulant folie, dunne laag koper, folie encapsulant met gaatjes, elektrisch geleidende lijntjes, zonnecellen, folie encapsulant glasplaat. Op afbeelding 7 zijn de opbouw van een paneel en de locatie van de encapsulant weergegeven.



Afbeelding 7

Firstsolar is op dit moment het enige bedrijf dat volledig gerecycled; zij produceren dunne-filmpanelen (CDTE). In dit type PV-paneel worden zware metalen toegepast. Daarom is het wettelijk verplicht deze volledig te verwerken na de levensduur.

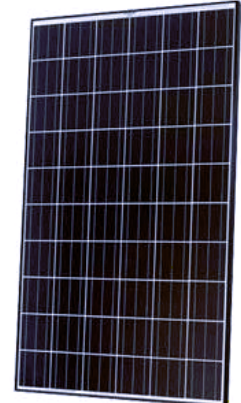
2.4.10 Esthetiek

Kristallijne zonnecellen zijn beperkt in vormvrijheid door de structuur van de zonnecellen. Doordat dunne-film zonnecellen buigbaar zijn en deze techniek van zonnecelproductie toegepast kan worden op andere materiaaltypen, is dit type vormvrij. Naast traditionele panelen kan dit type zonnecellen bijvoorbeeld ook worden toegepast in dakpannen, geveldelen en glaswerk/ramen.

Dunne-filmpanelen zijn over het algemeen esthetisch aantrekkelijker dan kristallijne panelen. Dit komt doordat filmpanelen een egaal zwart vlak hebben, terwijl die bij kristallijne panelen vaak onderbroken is (met name polykristallijne en oudere mono-kristallijne panelen). Tegenwoordig zijn mono-kristallijne panelen ook verkrijgbaar met minder zichtbare onderbrekingen (lijnen). Op afbeelding 8 is een standaard dunne-filmpaneel weergegeven, op afbeelding 9 een standaard (mono)kristallijne paneel.



Afbeelding 8



Afbeelding 9

2.4.11 Onderhoud

De onderhoudsfrequentie wordt bepaald door de zelfreinigende werking van PV-panelen, vervuilingsgraad en aard van vervuiling. Eenmaal per jaar is voldoende (bij kustlocaties vaker). Bij panelen die een wezenlijk deel uitmaken van de gevel, is het aan te raden de panelen in aangepaste frequentie te wassen. Dunne-film en kristallijne panelen verschillen niet in onderhoud. Hieronder is een opsomming weergegeven van de benodigde onderhoudswerkzaamheden en bijbehorende rapportage.¹⁸

Visuele check:

- Paneel breuk
- Mechanische constructie check
- Verplaatsing/verschuiving
- Loszittende bevestigingsmiddelen
- Controleren op corrosie

Kabel check

- Loshangen van kabels
- Vastzitten van kabelgoten
- Klemzitten van kabels

Systeem check

- Uitlezen omvormers
- Opbreng analyse
- String spanning check
- Check werking aanwezige montage apparatuur

Rapportage

- Schriftelijke status rapportage
- Aanbevelingen en eventueel te nemen acties

¹⁸ (boere)

2.4.13 Multicriteria analyse kristallijne PV/dunnefilm PV

Tabel 2 geeft een multicriteria-analyse (MCA) weer met een overzicht van voor-en nadelen van dunne film panelen ten opzichte van monokristallijn. Dit geeft een overzicht van paragraaf 2.4 weer. Vanuit financieel opzicht scoort kristallijne techniek beter: er zal meer energie worden opgewekt tegen lagere kosten. Vanuit duurzaamheidsperspectief scoort kristallijne techniek ook hoger door langere levensduur en toegepaste materiaal soort; vanuit esthetisch opzicht scoort dunne-filmtechniek hoger door grotere toepassingsmogelijkheden.

Financiële component	Dunne-film	Monokristallijn
Aanschafkosten	-	+
Opbrengst wattpiek	-	+
Rendement zonlicht	-	++
Behoud rendement	-	+
Opbrengst bij extreme temperaturen	+	-
Opbrengst bij diffuus-licht	+	-

Duurzaamheidscomponent	Dunne-film	Monokristallijn
Materiaalgebruik (hoeveelheid)	+	--
Materiaalgebruik (soort materiaal)	-	+
Circulariteit	-	-
Levensduur	-	+

Esthetische component	Dunne-film	Monokristallijn
Gewicht per m2	+	-
Mogelijkheden tot toepassing	++	-

Tabel 2

2.5 Verschillende pv-paneeltypen/modules

Pv wordt verwerkt in panelen/modules. De panelen zijn op meerdere vlakken te typeren. Dit kan op basis van op te wekken energievorm en/of op basis van paneel/modulevorm.

Pv-producten op de markt:

PVT-panelen

Een duurzame ontwikkeling die in opkomst is, zijn PVT-panelen. PVT-panelen zijn een combinatie van zonnecollectoren en PV-panelen. PVT-panelen halen zowel elektrische als thermische energie uit het zonlicht. Voor gebouwen waar naast elektriciteit ook een thermische energievraag is, kunnen deze panelen uitkomst bieden. Een voordeel van dit type paneel is dat ze door water gekoeld worden waardoor de efficiëntie van de panelen toeneemt (tot 20%, afhankelijk van het paneel) en het water gebruikt kan worden voor verwarming van gebouw of als tapwater. Dit type panelen is momenteel vooral populair bij woningeigenaren. Ook biedt dit type panelen veel voordelen bij utiliteitsbouw. Er zijn panelen op de markt, die naast thermische warmte, een vergelijkbare Wattoekop aan opbrengst hebben als een gemiddeld marktconform kristallijn of dunne film PV-paneel. Deze panelen zijn echter wel een stuk duurder dan reguliere kristallijne of dunne film PV-panelen.¹⁹

PV-cellen in ramen (BIPV)

Een ontwikkeling op het gebied van toepassing van PV-cellen is de toepassing in ramen (een vorm van BIPV). De afgelopen jaren is hiermee geëxperimenteerd. Yuan Gao heeft in 2019 twee nieuwe methodes ontwikkeld om multifunctionele fofovoltaïsche ramen te realiseren. Voor meer informatie over BIPV zie bijlage 4

Dit type innovatieve ramen kan zonne-energie omzetten in elektriciteit. Daarnaast kan dit type ramen het interieur van een gebouw manipuleren op het gebied van daglicht en zonwering. Deze aanpak is gebaseerd op gebruik van ondoorzichtige PV-schaduwelementen en semi-transparante PV (STPV)- beglazingsramen in combinatie met polymeedispersie van vloeibare kristal (PDLC) folie.²⁰

PV-cellen in dakpannen (BIPV)

Een andere ontwikkeling is toepassing van zonnecellen in dakpannen, ook wel zonnepannen genoemd. Het zijn dakpannen waarin kleine zonnecellen zijn geïntegreerd, echter zien ze eruit als dakpannen en worden ze als zodanig bevestigd. Nadelen van deze zonnepannen zijn de hoge kosten (2 tot 3 keer hoger dan traditionele zonnepanelen) en minder opwekking in Wattoekop, waardoor de zonnepannen een relatief laag rendement hebben. Wanneer deze pannen worden toegepast moet het gehele dak vervangen worden. Er is slechts een zeer beperkt aantal aanbieders, waardoor er weinig keuze is.²¹

Nieuwe (experimentele) ontwikkeling

Waterstof paneel

Een team van onderzoekers van de KU Leuven is erin geslaagd een zonnepaneel te ontwikkelen dat waterstof kan opwekken. Waterstof is een gas dat warmte en elektriciteit kan opslaan. Anno 2020 wordt het grootste deel van waterstof geproduceerd doormiddel van olie en gas; dit is niet duurzaam. Waterstof uit hernieuwbare energie (groene waterstof) heeft alleen lucht nodig. Groene waterstof is al jaren een behoefte op de energiemarkt. Het speciale zonnepaneel haalt waterdamp uit de lucht en zet dat om in waterstof door de energie die het paneel opwekt. Traditionele zonnepanelen wekken tijdens de winter niet voldoende energie op om aan de energievraag te voldoen. Bij dit speciale zonnepaneel wordt dit probleem verholpen met een nieuw systeem. Een paneel maakt gemiddeld 250 liter waterstof per dag. Met twintig van dit soort nieuwe panelen zou een jaar lang zonder gas en elektra geleefd kunnen worden; met nogmaals twintig panelen zou een auto een jaar op waterstof kunnen rijden.

²²

¹⁹ (Vastelastenbond, 2019)

²⁰ (TU delft, 2019)

²¹ (vattenfall, sd)

²² (KU Leuven, 2019)

2.6 Conclusie & beantwoording deelvraag 1

‘Deelvraag 1: welke vormen kent PV?’

PV is een techniek waarmee doormiddel van het fotonvoltaïsch effect, zonlicht wordt omgezet in (hernieuwbare) energie. PV wordt verwerkt in panelen/modules. De panelen zijn op meerdere vlakken te typeren. Dit kan door materialisatie(opbouw), cel-technologie, op te wekken energievorm en/of op basis van paneel/modulevorm.

Standaard PV-panelen kunnen op basis van materialisatie(opbouw) in twee typen worden onderverdeeld: glas-glas en glas-folie. Bij het type glas-glas is zowel de voor-als achterzijde van het paneel voorzien van een glasplaat; bij het type glas-folie is alleen de voorzijde voorzien van een glasplaat, de achterzijde van een folieplaat.

Wanneer op cel-technologie wordt getypeerd, kan onderscheid worden gemaakt tussen kristallijne- en dunne-filmtechnologie. Kristallijne technologie wekt efficiënter energie op, zowel in wattpiek als in percentage zonlicht dat wordt omgezet in energie. Daarnaast heeft deze technologie een langere levensduur. Dunne-filmtechnologie is lichter en vormvrijer. De wereldmarkt van PV (panelen) wordt gedomineerd door kristallijne panelen met een aandeel van ongeveer 95%. De overige 5% bestaat uit dunne-filmpanelen.

Naast (standaard) PV-panelen bestaan nog alternatieve paneeltypen, zoals PVT (met dit paneeltype wordt zowel elektrische-als thermische energie opgewekt) en BIPV (PV-techniek verwerkt in constructiematerialen die het PV-paneel van een installatie vervangen, bijvoorbeeld dakpannen, leien, gevel-bekledende delen of ramen). Hiermee wordt antwoord gegeven op de eerste deelvraag.

Hoofdstuk 3 Uitwerking stap 2: inventarisatie installatievormen, onderdelen en opstellingen.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de verschillende typologieën PV-installaties en de verschillende onderdelen van een PV-installatie. Dit draagt bij aan het doorgronden en inventariseren van de (technische)aspecten die ‘meegenomen’ dienen te worden in de besluitvorming over het toepassen van PV in een (bouw) projectuitvraag en geeft antwoord op de tweede deelvraag.

‘Deelvraag 2: welke installatievormen-en onderdelen en opstelling kent een PV-installatie?’

3.1 Typen PV-installatiesystemen

In de basis zijn drie verschillende typen te onderscheiden: autonome systemen, back-up systemen en net-gekoppelde systemen. In Nederland is het ‘net-gekoppelde’ systeem het meest toegepast. De overige systemen zijn prijstechnisch minder aantrekkelijk omdat meer voorzieningen nodig zijn voor opslag van opgewekte elektriciteit.²³

Volledig autonome systemen

Dit type systemen staan volledig los van het elektriciteitsnetwerk. De opgewekte energie wordt opgeslagen in accu's. Dit is veel duurder dan netvoeding. Hierdoor worden dit soort systemen (vrijwel) alleen toegepast in situaties waar het niet anders kan, zoals toepassing op boten, afgelegen plaatsen en landen met een extreem instabiel elektriciteitsnetwerk.

Net-gekoppelde systemen

Dit systeem zet opgewekte gelijkstroom uit zonnepanelen om naar wisselstroom. Na aftrek van het interne gebruik wordt de overgebleven elektriciteit aan het lokale elektriciteitsnetwerk geleverd. Wanneer de zonnepanelen geen elektriciteit opwekken wordt gebruik gemaakt van de netstroom. Dit type systeem is het meest toegepast in westerse landen.

Back-up systemen

Dit systeem is een combinatie van bovengenoemde systemen. Wanneer het elektriciteitsnetwerk wegvalt zal de installatie functioneren doormiddel van accu's of een ander opslagsysteem. Deze systemen zijn relatief duur door de kosten van energieopslag en toepassing van (prijzige) omvormers.

3.2 Onderdelen PV-systeem

Een PV-installatie kent een aantal standaard onderdelen. Hieronder is een opsomming gegeven van de vier basisonderdelen. Vervolgens worden nog drie optionele onderdelen genoemd.²⁴

- Energieopwekkende component (panelen of objecten waar PV-cellen in verwerkt zijn)
- Montagemateriaal (stallage en of andere bevestigende onderdelen)
- DC- en AC-bekabeling, pvc-buizen e.d. (gelijkstroom en wisselstroombekabeling)
- Omvormer (gekoppeld aan het net die DC-spanning omzet in AC-spanning)
- Optioneel: een logging van de opbrengsten (vaak zit dit in de omvormer)
- Optioneel: een meter die teruggeleverde energie apart registreert, of een terugdraaibare meter
- Optioneel: een optimizer (indien een string omvormer wordt toegepast)

Aandachtspunten

Op het gebied van omvormers is onderscheid te maken in twee typen: een string-omvormer en een micro-omvormer. Later in deze paragraaf wordt ingegaan op de specifieke voor- en nadelen van beiden typen. Naast de installatie zelf, is de oriëntatie van de energieopwekkende componenten (panelen) van grote invloed op de hoeveelheid energie die wordt opgewekt. Zo kan worden gekozen voor een traditionele zuid opstelling of voor een oost-westopstelling.

²³ (tweakers, 2020)

²⁴ (copper8, 2020)

3.2.1 Energieopwekkende componenten

In voorgaand hoofdstuk is ingegaan op verschillende typen PV-panelen en specifieke paneeltechnologie.

3.2.2 Montage & onderconstructie

De onderconstructie van panelen is afhankelijk van daktype en materialisatie van het dakpakket, waarop de PV-installatie geplaatst wordt.

- Plat dak, ondersteuning van aluminium constructie in rails indien groepen panelen worden toegepast. Vaak wordt de constructie niet vast bevestigd, maar doormiddel van een ballast op zijn plaats gehouden.
- Pannendak, (hellend) doormiddel van haken om de dakpan en panlat heen aangebracht. Aan deze haken wordt een rails gemaakt waaraan de panelen worden bevestigd of ze worden aan de dakbalken vastgeschroefd.
- Bitumen of golfplaten bij een hellend dak; hierbij wordt de rails met een stokschroef door de dakbedekking heen aan de balken bevestigd. Aan de rails worden de panelen gemaakt.
- Metalen daken; hierbij worden speciale klemmen toegepast waaraan de rails gemonteerd kunnen worden.

3.2.3 DC-en AC-bekabeling

Elektrotechnisch bestaat een PV-installatie uit twee delen. Het eerste deel loopt van de opwekkende modules (panelen) tot de omvormer: dit is het gelijkstroomdeel (DC-deel) van de installatie. Het tweede deel is de aansluiting op het reguliere net: dit is het deel tussen de verdeelrichtingen en de omvormer.

Voor beiden is een leidingaanleg nodig. Dit moet vakkundig worden gedaan. Belangrijk is dat cross-matching (het combineren van kabels en aansluitstukken van verschillende merken) wordt voorkomen. Volgens TNO is cross-matching een van de grootste oorzaken van brand bij PV-installaties.

3.2.4. Typen omvormers

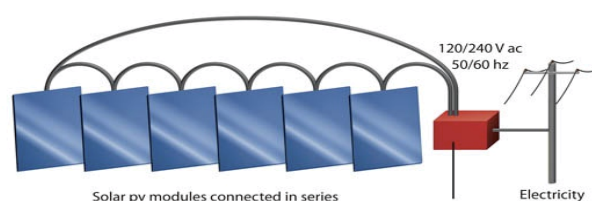
Een omvormer zet (opgewekte) gelijkspanning om in wisselspanning zodat deze kan worden doorgegeven aan het elektranetwerk. Er zijn drie omvormer-opties:²⁵

1. String-omvormers
2. String-omvormers voorzien van zogeheten 'power optimizers'
3. Micro-omvormers

String-omvormer

Bij de eerste optie worden alle panelen in serie aan elkaar verbonden. Hoe meer panelen aan elkaar gekoppeld, hoe hoger het voltage wordt. De string-omvormer moet toereikend zijn voor de hoeveelheid volt die de panelen samen kunnen leveren. Afbeelding 10 visualiseert een installatie met string-omvormer.²⁶

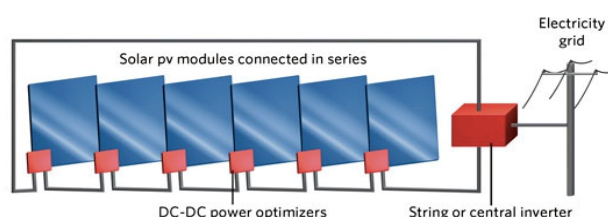
Een nadeel van deze omvormer is wanneer een paneel schaduw krijgt of door vervuiling minder licht opvangt, de rest van de panelen hierdoor negatief wordt beïnvloed. Het systeem is relatief simpel en bestaat uit weinig verschillende onderdelen, waardoor minder kans op storing (het effect is vergelijkbaar met kerstverlichting). Daarnaast zijn string-omvormers goedkoper.



Afbeelding 10 string-omvormer

Optimizers

Bij optie twee worden optimizers toegepast om de voordelen van string- en micro-omvormers te combineren. Per paneel kan een optimizer worden gebruikt om blokkade van de stroomloop te voorkomen ten gevolge van vervuiling of schaduw (zie afbeelding 11). Vanwege extra onderdelen is het systeem uitgebreider waardoor grotere kans op storingen.

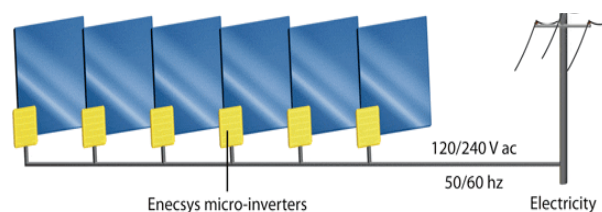


Afbeelding 11 string-omvormer met optimizers

Micro-omvormer

Bij de derde optie wordt per paneel gelijkstroom direct omgezet in wisselstroom (zie afbeelding 12). Deze micro-omvormers worden aangesloten op een trunkkabel met een spanning 230 vol . Voordeel is dat geen extreem hoge voltages voorkomen binnen deze installatie. Ook is het gunstig dat altijd de maximale opbrengst wordt gegenereerd: schaduw of vervuiling hebben geen invloed.

Een micro-omvormer pakt het werkelijke wattpiekrendement van het paneel. Daarnaast kan elk paneel individueel gemonitord worden en heeft een micro-omvormer minder vermogen nodig om te starten (hij springt eerder aan), echter zijn deze omvormers wel duurder. Ook is dit systeem uitgebreider (door extra onderdelen) waardoor grotere kans op storing. In tabel 3 is een overzicht weergegeven van specifieke eigenschappen van een micro-en string omvormer (met en zonder optimizer).



Afbeelding 12 micro-omvormer

	String-omvormer	String-omvormer met optimizer	Micro-omvormer
Meting	Per groep	Per paneel	Per paneel
Uitlezen	Per groep	Per paneel	Per paneel
Opbrengst bij schaduw op dak	75%-86%	96%	96%
Gemiddelde levensduur	8-12 jaar	15-20 jaar	25 jaar
Investering bij aanschaf	Laagste investering	Gemiddelde investering	Hoogste investering

Tabel 3 (Zonnepanelengids, sd).

²⁵ (Zonnefabriek, sd):

²⁶ (tweakers, 2020)

3.2.5 Positionering panelen

De positionering van PV-panelen kan worden onderscheiden op basis van windrichting, manier waarop panelen ten opzichte van elkaar worden geplaatst en plaatsingshoek. De combinatie van deze factoren is van invloed op de energieopwekking. Gebruikelijke opstellingen: een (traditionele) zuid-opstelling en een oost-westopstelling. Uitgaande van de ideale paneelplaatsingshoek (zuidopstelling 37 graden, oost-westopstelling 10-13 graden) en optimaal gebruik van beschikbaar dakoppervlak kan het volgende worden gesteld:

Voordelen Zuid-opstelling

- Hoger rendement per paneel
- Lagere reinigingsfrequentie
- Minder investeringskosten per vierkante meter (beschikbaar) dakoppervlak

Voordelen Oost-West opstelling

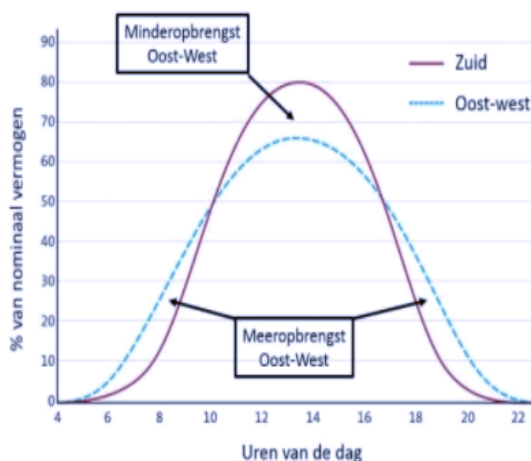
- Hogere opbrengst per vierkante meter (beschikbaar) dakoppervlak
- Meer panelen per vierkante meter (ca. 30% meer op dezelfde hoeveelheid m2)
- Energieopwekking start eerder en gaat langer door
- Geleidelijke verdeling opwekking over de dag (hierdoor volstaat een omvormer met lager maximaal voltage en gaat de omvormer langer mee; daarnaast vinden netbeheerders dit prettig)

Zuid-opstelling

Bij een traditionele zuid-opstelling moet rekening worden gehouden met schaduw van een rij zonnepanelen op de volgende rij; daarom moet meer ruimte tussen de panelen worden gehouden. In afbeelding 13 is dit weergegeven. De bovenste opstelling geeft een zuid-opstelling weer, de onderste een oost-west opstelling.²⁷



afbeelding 13 Zuid-opstelling, Oost-West opstelling



afbeelding 14 (zonnestroomnederland, sd)

²⁷ (zonnestroomnederland, sd)

3.3 Conclusie & beantwoording deelvraag 2

‘Deelvraag 2: welke installatievormen-en onderdelen en opstelling kent een PV-installatie?’

Er zijn drie installatiesystemen te onderscheiden: autonoom, back-up en net-gekoppeld.

In de basis bestaat een PV-installatie uit de volgende onderdelen:

- Energieopwekkende component (panelen)
- Montagemateriaal (stelling en of andere bevestigende onderdelen)
- DC- en AC-bekabeling, pvc-buizen e.d. (gelijkstroom en wisselstroombekabeling)
- Omvormer (gekoppeld aan het net; zet DC-spanning om in AC-spanning)

Het is gebruikelijk PV-panelen in een Zuid- of Oost-Westopstelling te plaatsen. Een Zuid-opstelling is geschikt wanneer maximale energieopbrengst is gewenst met minimale investering; een Oost-Westopstelling wanneer maximale energieopbrengst is gewenst uit het beschikbaar oppervlak.

Opmerking:

Zowel installatievorm, -onderdelen en-opstelling kunnen van invloed zijn op de besluitvorming over pv in de planvormfase van een (bouw)project. Vanuit project-specifieke belangen kan voor genoemde onderdelen een voorkeur worden uitgesproken, echter heeft dit betrekking op de specificatie van de installatieonderdelen en niet op het wel of niet toepassen van de installatie.

Hoofdstuk 4 Uitwerking stap 3: inventariseren beïnvloedende aspecten

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op alle relevante (technische) aspecten voor toepassing van PV op daken in een (bouw)project uitvraag van het Rijksvastgoedbedrijf. Voorbeelden zijn bouwkundige-, constructieve-, brandveiligheid-en onderhoud technische aspecten. De aspecten dienen ‘meegenomen’ te worden in het proces van besluitvorming over of en hoe PV-panelen op het dak toegepast gaan worden. In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag:

‘Deelvraag 3: Welke aspecten hebben invloed op de toepassing van PV-panelen op het dak van een gebouw?’

4.1 Inventarisatie aspecten

Overlegmomenten met diverse deskundigen binnen het Rijksvastgoedbedrijf (RVB) hebben geleid tot categorisering van de belangrijkste aspecten. Verkennende gesprekken hebben plaatsgevonden met duurzaamheidsadviseur en tevens projectteamlid van het programma ‘Zon op dak’ (Marten de Bruin), een adviseur bouwfysica en duurzaamheid (Dennis Faas), een brandveiligheidsdeskundige (Marco Jaspers), een constructeur (Marc Perin), en een elektrotechnicus (Danny van Elteren). Aanvullend zijn Marten de Bruin en Dennis Faas in de diepte geïnterviewd doormiddel van een open interview. In bijlage 5 is een transcript en samenvatting van deze interviews weergegeven. Hieruit blijkt dat naast technische aspecten, ook wet-en regelgeving en financiële aspecten invloed hebben op het besluitvormingsproces over toepassing van PV op daken van het RVB. Daarnaast hebben deze interviews inzicht gegeven in relevante brandveiligheid-, constructieve- en veiligheidsaspecten.

De afgelopen jaren is het steeds gebruikelijker geworden PV-panelen toe te passen op daken van gebouwen, deels vanwege de steeds strenger wordende eisen m.b.t. energieprestatie die aan bouwwerken worden gesteld. Gebleken is dat de veiligheid, waaronder constructieve veiligheid, brandveiligheid en elektrische veiligheid, niet zondermeer gegarandeerd is. Hiervoor heeft het RVB de onderhavige richtlijn opgesteld om het plaatsen van de meest voorkomende typen PV-installaties op daken integraal te beoordelen. Deze richtlijn richt zich hoofdzakelijk op de meest voorkomende typen PV-installaties, de zogenaamde ‘op-dak’ systemen. Dit aangezien voor andere systemen maatwerk vereist is, dat niet in een algemene richtlijn te vervatten is.²⁸

De richtlijn benadert het veilig kunnen plaatsen van PV-installaties integraal vanuit de disciplines brandveiligheid, elektrotechniek, bouwkunde, constructies, bouwfysica, duurzaamheid, monumenten en veiligheid & gezondheid (waaronder Veilig Werken op Hoogte). Vanuit iedere vakdiscipline worden eisen gesteld en aanbevelingen gedaan om plaatsing van PV-systemen op daken zo optimaal mogelijk uit te voeren.

²⁸ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

Onderstaande aspecten hebben invloed op de toepassing van PV-panelen op daken in de planvormfase van een (bouw)project van het RVB. Waar mogelijk zijn eisen (vanuit de conceptversie van de Richtlijn: Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020) gekoppeld aan deze aspecten.

Aangezien dit een conceptrichtlijn is, staan de eisen nog niet vast. Mogelijk worden deze nog gewijzigd.

- Bouwkundige aspecten
- Bouwfysische aspecten
- Brandveiligheidsaspecten
- Aspecten m.b.t. veilig werken op hoogte
- Constructieve aspecten
- Elektrotechnische aspecten
- Wet-en regelgeving met betrekking tot zichtbaarheid van panelen
- Oppervlak en oriëntatie dak

Naast overlegmomenten en interviews met genoemde (vak)deskundigen binnen het RVB, is op basis van vooronderzoek naar typen PV-installatiesystemen-en onderdelen vastgesteld welke aspecten bij kunnen dragen aan beeldvorming over invulling van een PV-installatie op een dak.

Relevante punten:

- Omvormerstype
- Installatievorm
- Opstelling van panelen
- Energievraag gebouw

4.2 Bouwkundige aspecten

4.2.1 Algemeen

Bouwkundige aspecten (materialisatie en levensduur dak) zijn van invloed op:

- Vorm van het gebouw/dak (plat, hellend of gebold)
- Gebruiksdoel van het gebouw
- Gebruiksfuncties op het dak
- Esthetische eisen dak
- Verschillende materiaalkeuzen-en combinaties, systemen en bevestiging;
- Bouwvoorschriften (*bijv. brandveiligheid, warmteweerstand, constructief*).

Niet alle soorten dakafwerkingen (dakisolatie i.c.m. dakbedekking) zijn geschikt voor toepassing van PV-panelen. Een-laagse kunststofdakbedekking met zachte dakisolatie is niet wenselijk i.c.m. PV-panelen. Alvorens PV toe te passen moet de huidige kwaliteit van de dakafwerking vastgesteld worden. Bij korte levensduur (5-10 jaar) kan worden overwogen het dakpakket te vervangen in combinatie met plaatsing van PV.

Aandachtspunten algemeen

- Bepaalde edelmetalen gaan niet samen met metaal (reactie op elkaar: elektrolyse). Onderzoek dit bij plaatsing van een metalen frame op (bijvoorbeeld) een koperen dak.
- Asbesthoudende platen zijn niet geschikt voor toepassing van PV. Indien asbesthoudende golfplaten wel zijn toegepast, raadpleeg programma asbest.

Aandachtspunten specifiek voor hellende daken

- Een dak wordt als hellend beschouwd wanneer de hoek meer dan vier graden op-of afloopt.
- Houd rekening met de bevestiging (en alle mogelijke doorvoeren); het is moeilijk aan te tonen dat panlatten waaraan pv-panelen doorgaans met haken worden bevestigd, extra draagkracht aankunnen. Daarnaast moet dakbedekking plaatselijk doorboord of verwijderd worden. Dit resulteert (mogelijk) in een koudebrug met alle gevolgen van dien.

4.2.2 Eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf

Vanuit de conceptversie van de Richtlijn: Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020²⁹,

- Alle risico's moeten inzichtelijk worden gemaakt + samenstelling van bestaande (of nieuwe) dakafwerking en resterende levensduur
- Indien levensduur 10 jaar of minder, dakbedekking integraal vervangen
- Begaanbaarheid nieuwe dakisolatie minimaal klasse C volgens BRL1309, in combinatie met twee-laagse bitumineuze dakbedekking.
- Indien kunststof dakbedekking van toepassing: alleen EPDM, dikte membraam minimaal 2,0mm. Begaanbaarheid bestaande dakisolatie minimaal Klasse D volgens BRL1309.
- Indien hieraan niet voldaan kan worden, dient een bouwkundige binnen A&T te beoordelen of toepassing van PV mogelijk is doormiddel van aanpassingen aan bestaande situatie.
- Indien bevestiging d.m.v. ballast wordt toegepast moet het dakpakket de extra ballast aankunnen (isolatie dakafwerking voor het extra gewicht van de installatie en belopen van het dak), afhankelijk van gewicht van installatie en ballast. Benodigde ballast is afhankelijk van gewicht panelen, windzone en hoogte waarop panelen geplaatst worden. Voorgestelde bevestiging en uiteindelijk uitvoeringsplan moet door constructeur gecontroleerd en goedgekeurd worden.
- Waterdichtheid dak: iedere doorbreking zorgvuldig afdichten, anders treedt lekkage op.

²⁹ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

4.3 Bouwfysische aspecten

4.3.1 Algemeen

Bouwfysische aspecten die van belang zijn voor toepassing van PV op daken vinden hun oorsprong in de bevestiging van de PV aan een gebouw.

- Doormiddel van ballast
- Door-en-door bevestiging

In beiden gevallen dient isolatie en dakafwerking geschikt te zijn. In geval van ballastbevestiging dient de isolatie het extra gewicht aan te kunnen.

Aandachtspunten

- De tweede optie brengt bouwfysische risico's met zich mee. De invloed van warmteweerstand van dak of gevelpakket is afhankelijk van dakconstructie en het aantal bevestigingen dat door het dak heen gaat (situatieafhankelijk). Daarnaast kan het leiden tot problemen door inwendige condensatie door koudebrug: wanneer bouten door een isolatielaag heen prikken en dwarsdoor de dakconstructie worden bevestigd, zorgt dat voor een potentiële koudebrug, met mogelijke oppervlaktecondensatie in winterperiode op bout aan binnenzijde. Bij verankering in betonnen dak is dat geen probleem aangezien de bout niet door de constructie heen gaat. Voor metalen en houten daken waar de bevestiging door het totale dakpakket heen steekt, is dit anders. De grootte van dit risico is afhankelijk van dakopbouw, vochtproductie en binnentemperatuur, behorende bij de gebruiksfunctie van de ruimte onder het dak.

4.4 Brandveiligheid aspecten

4.4.1 Algemeen

Brandveiligheidsaspecten komen voort uit mogelijke brandgevaar van een PV-paneelinstallatie. Genoemde eisen zijn gebaseerd op de interne (concept) richtlijn van het Rijksvastgoedbedrijf en hebben betrekking op:

- Dematerialisatie (afwerking en isolatie)
- Afstand tussen paneel en dak
- Materialisatie paneel

Naar verwachting zal de specifieke inhoud van eisen die vanuit de conceptrichtlijn op het gebied van brandveiligheid worden gesteld, nog veranderen.

Aandachtspunten

TNO vermoedt dat de meeste PV-branden niet ontstaan door PV-panelen of installaties zelf, maar door cross-matching (stekkers/connectoren van het ene merk verbonden met die van een ander merk). Mogelijke gevolgen zijn overgangsweerstanden, interne vlambogen, warmteontwikkeling en uiteindelijk kans op brand. Vaak komt cross-matching voor bij kabels over langere afstanden of bij onvakkundig monteren. Schade-experts schatten dat dit in 80-99% van branden in PV-systemen de brandoorzaak is. De mogelijke gevolgschade buiten de PV-installatie is afhankelijk van hellingshoek van het dak, soort dakisolatie en afstand tussen PV-installatie en dakbedekking. Platte daken zijn veelal voorzien van brandbare dakbedekking (EPDM, bitumen en PVC).

Materiaalbodemplaat (paneel)

Ook het type PV-paneel heeft invloed op de brandveiligheid. Op de markt zijn panelen beschikbaar met een brandbare (kunststof) bodemplaat en een glazen bodemplaat. Uit onderzoek van TÜV Rheinland blijkt dat bij relatief kleine/kortstondige elektrische vlambogen, het PV-paneel met glazen bodem niet vlamvat. Wanneer de ontstekingsbron groter wordt zal dit paneel (mogelijk) wel vlamvatten door brandbare rubbers, katten, e.d. Het aandeel in brand (warmteafgifte) van een paneel met glazen bodem blijkt echter wel een factor 3 à 4 kleiner dan die van een PV-paneel met brandbare bodem. Vanwege lagere warmteafgifte bij verbranding van een glazen paneel is geringere schade aan het bouwwerk te verwachten. Glas-glas panelen zijn minder vatbaar voor brand dan glas-foliepanelen (bodemplaat).

Schuine daken

Invloed van ondergrond op branduitbreidingssnelheid: het Rijksvastgoedbedrijf verwacht dat PV-systemen op een traditioneel pannendak niet per se leiden tot branddoorslag naar binnen door de brandwerende werking van dakpannen. Schade aan het gebouw kan bij op-dak systemen op schuine daken met dakpannen of leien, worden beperkt tot de PV-installatie. Bij schuine daken met zinken of andere metalen dakafwerkingen kan mogelijk schade aan het dakvlak optreden als gevolg van warmtestraling en convectieve warmteoverdracht. Gevolgschade buiten de PV-installatie is afhankelijk van de hellingshoek van het dak, soort dakisolatie, afstand van panelen tot dak en aanwezigheid van geventileerde luchtsponw aan achterzijde dakbedekking

Platte daken

Voor platte daken geldt dat vanwege de vaak brandbare dakbedekking een grotere gevolgschade te verwachten is. Aan de Universiteit van Gent is onderzoek gedaan of PV-panelen als katalysator kunnen dienen voor versnelde branduitbreiding in geval van brandbare dakbedekking (bijv. EPDM, bitumen, PVC). Bij een afstand van meer dan 200 mm mag worden aangenomen dat een PV-paneel geen noemenswaardige bijdrage levert aan de branduitbreidingssnelheid ten opzichte van een dak zonder PV-panelen.

4.4.2 Eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf

Vanuit de conceptversie van de Richtlijn: Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020³⁰, worden deze eisen gesteld. Naar verwachting zal de specifieke inhoud op het gebied van brandveiligheid nog veranderen. Inschaling van gebouwtypen in risicocategorieën geeft aan welke gevolgschade door het RVB wordt geaccepteerd. Afwegingen zijn gemaakt op basis van hersteltijd van (gebouw)schade, imagoschade en bedrijfscontinuïteit.

Onderstaand de inschaling van de brandcategorie in tabel 4. In tabel 5 is weergegeven welke eisen op brandveiligheidsgebied gelden vanuit het RVB. Indien hier niet aan voldaan kan worden en toch de wens is PV toe te passen, dan in overleg met een brandveiligheidsdeskundige een alternatieve oplossing vaststellen.

De indeling van brand categorieën gebaseerd op:

1. Schade beperkt tot PV-panelen;
2. Schade beperkt tot PV-panelen en dakvlak;
3. Schade beperkt tot PV-panelen, dakvlak en ondergelegen brandcompartiment.

Soort bouwwerk	Risicocategorie*
Monument onder lokaal belang	3
Monument lokaal belang ⁶	2
Monument boven lokaal of regionaal belang ⁶	1
Monument boven regionaal of nationaal belang ⁶	1
Monument boven nationaal belang ⁶	1
Kantoor algemeen	3
Kantoor ministerie	1
Kantoor specialty	n.t.b.
Rechtbank	2
Gevangenis	1
Logiesgebouw	2
Paleis	2
Overige specialty	n.t.b.
Industrie defensie, wel van belang slagkracht	n.t.b. (1)
Industrie defensie, niet van belang slagkracht	n.t.b. (3)
Datacenter	Geen PV-panelen op dak toepassen

Tabel 4

**Aanvullend op weergegeven inschaling is bij sommige gebouwen te overwegen om in het kader van brandveiligheid helemaal geen PV-panelen aan te brengen. Dit is een politieke/bestuurlijke afweging. Denk bijvoorbeeld aan gebouwen met cultuurhistorische waarde.*

Risico-klasse	Plat dak	Hellend dak*
1.	•De bovenste 50 mm van het dak bestaat uit onbrandbaar materiaal (bijv. grind, vegetatiedak) •PV-panelen zijn van het type glas-glas •Isolatie bestaat uit minerale wol •De afstand tussen PV-panelen en dak bedraagt minimaal 200 mm (i.o.m. constructeur/fabrikant)	•Dakvlak bestaat uit leien of dakpannen •PV-panelen zijn van het type glas-glas •Isolatie bestaat uit minerale wol •De afstand tussen PV-panelen en dak wordt zo groot mogelijk gemaakt (i.o.m. constructeur/fabrikant)
2.	•PV-panelen zijn van het type glas-glas •Isolatie bestaat uit minerale wol •De afstand tussen PV-panelen en dak bedraagt minimaal 200 mm (i.o.m. constructeur/fabrikant)	•Dakvlak betreft geen rieten dak •PV-panelen zijn van het type glas-glas •Isolatie bestaat uit minerale wol •De afstand tussen PV-panelen en dak wordt zo groot mogelijk gemaakt (i.o.m. constructeur/fabrikant)
3.	•PV-panelen zijn van het type glas-glas of glas-folie •Isolatie bestaat uit minerale wol of PIR •De afstand tussen PV-panelen en dak bedraagt minimaal 200 mm (i.o.m. constructeur/fabrikant)	•PV-panelen zijn van het type glas-glas of glas-folie •Isolatie bestaat uit PIR / minerale wol •De afstand tussen PV-panelen en dak wordt zo groot mogelijk gemaakt (i.o.m. constructeur/fabrikant)

Tabel 5

**mogelijk wordt ook aan risicocategorie 2 voldaan doormiddel van een kunstschuim-isolatie die voldoet aan brandklasse B volgens NEN-EN13501-1 (naakt product) indien voorzien wordt in een brandwerende scheiding onder de isolatie.*

³⁰ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

Dit aspect heeft betrekking op de eisen vanuit het programma Veilig Werken op Hoogte (VWoH). De eisen zijn gebaseerd op de (concept) richtlijn van het RVB en hebben betrekking op:

- Bereikbaarheid dak
- Aanwezige voorzieningen om veilig op het dak te werken.

Vanuit Veiligheid & Gezondheidsoverwegingen (V&G) zijn twee zaken van belang:

- Veilige bereikbaarheid dak. Oftewel toegang tot dakvlak via gebouw (route of glazenwasserslift) of vanaf de straatzijde doormiddel van externe voorzieningen (hiervoor moet ruimte aanwezig zijn). Daarnaast moet voldoende ruimte aanwezig zijn op het dak.
- Ook moet het mogelijk zijn om veilig te werken (t.b.v. onderhoud/vervanging) op het dak, zodanig dat de monteur minimale persoonsafhankelijke veiligheidsvoorzieningen hoeft te gebruiken.

In dit kader is het belangrijk dat bij ieder project waar PV-panelen op het dak geplaatst worden, een interne veiligheidskundige van het RVB aanhaakt. De veiligheidsdeskundige zoekt altijd afstemming met het aspectprogramma Veilig Werken op Hoogte.

Aandachtspunten bestaande bouw:

Aanwezigheid van andere installaties op het dak, naast de nieuw aan te brengen PV-installatie, kan de ruimte op het dak beperken. Bij het ontwerp (legplan) dient rekening gehouden te worden met het veilig kunnen onderhouden aan alle aanwezige installaties en het schoonhouden van systemen en onderliggende dakvlak.

In overleg met een veiligheidsdeskundige van het RVB zal nagedacht moeten worden over het plaatsen van een veiligheidsvoorziening c.q. maatregel.

Aandachtspunten nieuwbouw:

Bij ontwerp van een nieuw bouwwerk zowel met plat, hellend of gebold dak, moet in een vroeg stadium V&G worden meegenomen.

Om V&G voldoende te waarborgen dient een veiligheidsdeskundige van het RVB al bij het schetsontwerp betrokken te worden. Deze stelt in ieder geval een RI&E (risico inventarisatie & evaluatie) op, waaruit eenduidig blijkt dat PV-panelen op het dak worden gelegd.

Aanvulling aandachtspunten schuine daken bestaande bouw en nieuwbouw:

- Met name de toegang tot het schuine dak is veelal risicovol omdat deze toegang inpandig vaak niet aanwezig is. Hierdoor moet een schuin dak van buitenaf worden beklommen vanuit of vanaf een voorziening.

4.5.2 Eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf

Voor platte daken vanuit programma: Veilig werken op hoogte ³¹

- Looppad vrijhouden van 0,5 meter breed voor onderhoud en VWoH. Liefst buiten onveilige dakrandzone van 4,0 meter.
- Wanneer het gehele dak vol wordt gelegd met PV-panelen is aanbrengen van permanente dakrandvoorziening tegen vallen van hoogte vereist. Blijkt uit overleg met een veiligheidsdeskundige van het RVB en adviseur van het aspectprogramma VWoH dat dat niet mogelijk is, dan valveiligheidslijn op 2,0 meter uit de dakrand aanbrengen met direct daarachter (van 2,0 tot 2,5 meter uit de dakrand) het looppad.
- Dakisolatie die belast wordt door bevestigingspunten van VWoH-voorzieningen, moet voldoen aan begaanbaarheidsklasse D volgens BRL 1309 (minimaal 80 kPa).

Voor hellende/gebolde daken vanuit programma: Veilig werken op hoogte ³¹

- De hoogwerker is het meest veilige systeem om op schuine daken PV-panelen te onderhouden, ook al vraagt dit een bijzondere werkhouding.
- Veilig werken en lopen door de goot brengt extra veiligheidsrisico's met zich mee. Goten zijn niet constructief aantoonbaar veilig.
Meervoudig nokrailsystemen zijn veiliger dan enkelvoudige dakhaken, mits aantoonbaar veilig verankerd (zie 5-stappenplan hoofdstuk 6), en zijn vooralsnog de enige valveilige systemen als oplossing voor veilig werken op hoogte bij schuine daken.
- Een combinatiesysteem waarbij de onderconstructie voor PV-panelen tevens dienstdoet als VWoH-systeem, is nog niet eerder aantoonbaar volgens het 5-stappenplan (zie hoofdstuk 6) aangeboden en goedgekeurd. Dit betekent niet dat de onderconstructie niet als VWoH-voorziening dienst kan doen, maar wel dat deze wel middels het 5-stappenplan moet zijn ontworpen.

³¹ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

4.6 Constructieve aspecten

4.6.1 Algemeen

Constructieve aspecten die van invloed zijn op:

- Draagkracht dak
- Bevestigingswijze panelen
- Onderconstructie (aluminium frame)

Vanuit constructief oogpunt kan worden gesteld dat het dak voldoende extra draagkracht per vierkante meter nodig heeft voor installatie en (onderhoud)monteurs. Daarnaast moet constructieve bevestiging mogelijk zijn.

Bevestigingsmethoden:

- Doormiddel van ballast (alleen mogelijk bij platte daken)
- Door-en-door (zowel mogelijk bij platte als hellende/gebolde daken)

Wanneer ballasten geen optie is, dan dient de onderconstructie door-en-door bevestigd te worden aan de dakconstructie. Het haken van PV-systemen aan panlatten en vastschroeven aan het beschot van hellende daken is constructief niet aantoonbaar te maken, waardoor door-en-door bevestigen aan (constructieve) balken het enige alternatief is.

Vanuit constructief oogpunt wordt voorkeur gegeven aan 'door-en-door' bevestiging. Hierbij worden panelen door het dak heen aan de constructie van het gebouw bevestigd. Voordeel is dat hiervoor weinig extra draagkracht van het dak wordt gevraagd. Vanuit bouwfysisch-en bouwkundig opzicht is een ballastconstructie wenselijker omdat er minder gevolgrisco's optreden. Voor meer informatie zie paragraaf 4.3.

Daarnaast spelen andere zaken een rol: constructief gezien moet voldaan worden aan eisen m.b.t. wind-en sneeuwbelasting; relevant is in welke windzone een gebouw zich bevindt en op welke hoogte de panelen worden geplaatst. De combinatie van deze factoren is bepalend voor de toe te passen bevestigingsconstructie. Dit moet altijd door een constructeur van A&T beoordeeld worden.

De mogelijkheden tot constructieve bevestiging zijn afhankelijk van de combinatie tussen de volgende factoren:

- Draagkracht dak,
- Windbelasting (windzone/hoogte van plaatsing)
- Vorm dak (plat, hellend/gebold)

Het is altijd raadzaam een constructeur te raadplegen om de bevestigingsmogelijkheden vast te stellen.

Aandachtspunten

- De bevestigingen vanuit de markt geleverd, voldoen vaak niet aan de huidige regelgeving m.b.t. windzuiging eurocode/NEN7250
- Bestaande houten dakconstructies kunnen vaak de ballast niet aan
- Wanneer 'door-en-door' bevestiging wordt toegepast, moeten panelen aan (constructieve) balken worden bevestigd (het is vaak niet aantoonbaar dat panlatten de extra ballast aankunnen).
- Aluminium onderconstructies door leveranciers aangebracht, worden vaak onvoldoende aantoonbaar bevonden op gebied van constructieve veiligheid. Eigenhandig ontwerp van stalen onderconstructie is soms nodig voor afstemming op dakconstructie.

4.6.2 Eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf³²

- Dak moet voldoende draagkrachtig zijn
- Bevestiging moet door een constructeur goedgekeurd zijn
- Onderconstructie moet vanuit constructief oogpunt voldoen aan rekenschema in tabel 6

De constructieve veiligheid van aluminium onderconstructies van PV-systemen die door leveranciers worden aangebracht, worden onvoldoende aantoonbaar bevonden. Het eigenhandig ontwerpen van een stalen onderconstructie (of controleren van door de markt geleverde onderconstructie) is noodzakelijk en dient afgestemd te worden op de dakconstructie.

Rekenstappen constructieve veiligheid

Stap	Inhoud	Activiteiten
1.	Uitgangspunten vaststellen	- Drukvaste en beloopbare (BRL1309; type D) isolatie toepassen van ten minste 80 kPa. - Gegevens van PV-elementen en onderconstructie(systeem); materiaal, gewicht etc. - Verificatie van bestaande situatie op basis van archiefonderzoek en opnamegegevens; beschrijving van dakopbouw; toegepaste materialen, afmetingen/ diktes van diverse onderdelen en hart op hart afstanden hoofddraagconstructie. Zie ook RVB product informatieblad Veilig werken op hoogte PIB 33.00.60-01. - Normen & voorschriften; project-specifiek vaststellen van lokale (wind)belastingen, belastingcombinaties, veiligheidsfactoren (verschillend per land), etc.
2.	Systeemberekening onderconstructie	- Drukvaste en beloopbare (BRL1309; type D) isolatie toepassen van ten minste 80 kPa. - Evenwichtsberekening & ballastberekeningen zijn aantoonbaar, navolgbaar en compleet volgens de geldende wet, regelgeving en normeringen - (Controle)berekening onderconstructie a. mechanica-schema bevestiging PV-element op onderconstructie en b. mechanica-schema onderconstructie op/aan dakconstructie; zijn de gebruiksgrenzen duidelijk?
3.	Bevestiging onderconstructie aan dakopbouw(constructie)	- Drukvaste en beloopbare (BRL1309; type D) isolatie toepassen van ten minste 80 kPa. - Detailberekeningen, bevestigingsmiddelen (o.a. BRL1309 en NEN12430). - Op schuine daken: het systeem door-en-door bevestigen aan de dakconstructie en/of extra ravelingen of klossen aanbrengen.
4.	Controle hoofddraagconstructie	- Controle draagkracht. Aandacht voor extra (wind)zuiging, wateraccumulatie door vervorming, sneeuwophoping en indien aanwezig extra ballast. - Eventuele versterkingen (ravelingen, etc.) of aanpassingen aan hoofddraagconstructie berekend en aangetoond. - Analytische controle of globale stabiliteitsberekening (vergelijking).
5.	Uitvoeringstekeningen	- Dakplan(/overzicht) tekening, gemaatvoerd aanzicht en plattegrond. - Tekeningen onderconstructie en details. - Versterkingen hoofddraagconstructie overzicht en details.

Tabel 6

Wanneer bovenstaand stappenplan (zie tabel 6) met positief resultaat is doorlopen (d.w.z. akkoord bevonden door een constructeur van het RVB), kan worden gesteld dat vanuit constructief oogpunt PV-panelen geplaatst kunnen worden.³²

Opmerking: ervaring uit het aspectprogramma VWoH leert dat VWoH-producten zelden voldoen aan de regelgeving (ook al heeft de leverancier een productcertificaat). Dit geldt ook voor onderconstructies van PV-panelen. Daarom is controle van het bovenstaande 5-stappenplan noodzakelijk (Rijksvastgoedbedrijf, 2020).

³² (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

4.7 Elektrotechnische aspecten

4.7.1 Algemeen

Elektrotechnische aspecten die van invloed zijn:

- Panelen/PV-modules
- Gelijkstroom-bekabeling (DC-bekabeling)
- Omvormers
- Wisselstroom-bekabeling (AC-bekabeling)
- Installatie (uitvoering)
- Montageploeg/installateur.

De genoemde componenten worden door verschillende fabrikanten gemaakt, bij verschillende leveranciers ingekocht en door verschillende installateurs aangelegd. Hierdoor zijn veel verschillende technische combinaties mogelijk, elk met hun eigen specifieke kenmerken en risico's.

Zonder benodigde technische maatregelen zijn PV-installaties zowel brand- als aanrakingsgevaarlijk. Gelijkspanning (DC) kan door falende verbinding, falende componenten of menselijke fouten op verschillende manieren leiden tot ontsteking van brandbare materialen in de omgeving. Daarnaast is de spanning van een PV-paneel lastig af te schakelen: hierdoor is voor de mens een onveilig hoge spanning aanwezig. Vanuit de bouwregelgeving zijn voor PV-installaties bij bestaande bouw nauwelijks beperkende of dwingende regels voor elektrotechnische installatie.

In eerder vermelde brandonderzoeken (TNO/TÜV Rheinland) bij of met PV-panelen is de oorzaak (zowel direct als indirect) grotendeels te herleiden tot dezelfde ontstekingsbron, namelijk elektriciteit³³:

- In directe zin door slechte elektrische (stekker) verbindingen of door falende panelen (zoals microcracks) en soms door of bij omvormers.
- In indirecte zin kan het opgewekt elektrisch vermogen in combinatie met slechte koeling tot oververhitting in panelen en omvormers leiden.

Aandachtspunten

- Het kan worden overwogen de keuze van een bepaald type omvormer aan uitvoerende marktpartijen voor te schrijven. Hierbij kunnen de voor- en nadelen van micro omvormers en string-omvormers (met of zonder optimizers) worden afgewogen. Globaal kan worden gezegd dat micro-omvormers een langere levensduur hebben en altijd maximaal rendement aan opgewekte energie opleveren, waar string-omvormers resulteren in lagere opbrengst voor alle panelen bij vervuiling of beschadiging van een enkel paneel.
- Indien er wordt gekozen voor een back-up of autonoom systeem, dienen extra voorzieningen te worden getroffen. Deze systeemtypen onderscheiden zich van een regulier net-gekoppeld systeem, doordat de energie deels of tijdelijk (back-up systeem) wordt opgeslagen in accu's voordat het wordt teruggeleverd aan het net. De toepassing van back-up en autonome systemen heeft het RVB nog niet opgenomen in de algemene richtlijn. Indien wenselijk, dient een electrotechnicus van A&T geraadpleegd te worden voor de extra benodigde componenten. Dit is afhankelijk van het formaat van de installatie (hoeveelheid panelen), de locatie van het gebouw en de al aanwezige electrotechnische (installatie) onderdelen in het gebouw.

³³ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

4.7.2 Eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf

Vanuit de conceptversie van de Richtlijn: Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020³⁴, Naar verwachting zal de specifieke inhoud van de eisen die vanuit de conceptrichtlijn op het gebied van elektrotechniek worden gesteld nog veranderen.

Afkortingen en definities:

AC	Alternate Current. Dit staat voor wisselstroom, meestal wordt hierbij de netspanning bedoeld.
DC	Direct Current. Dit staat voor gelijkstroom.
EBI	Eerste of bijzondere inspectie.
IP	Ingress protection; Dit geeft een mate van bescherming aan.
kWh	Kilowatt uur.
Led	Light emitted diode, lamp op basis van led technologie.
LEMP	elektromagnetische impuls veroorzaakt door blikseminslag.
LPS	Bliksembeveiligingsinstallatie.
MC4	Multi-Contact connector van 4 mm, enkelpolige connector voor PV-installaties ontworpen door Stäubli.
MPPT	Maximum Power Point Tracking. Dit is een techniek die steeds het beste rendement van het PV-paneel op zoekt bij de op dat moment betreffende zoninstraling.
NSA	Noodstroom aggregaat.
PV	Photo Voltaic. Dit staat voor licht en spanning, en is de technische benaming voor een zonnepaneel.
PERC	Passivated Emitter Rear Contact. Dit is een techniek waarbij warmteontwikkeling achter het paneel gereduceerd wordt.
RVB	Rijksvastgoedbedrijf
RVS	Roestvast staal.
SPD	Overspanningsbeveiliging.
String	Een string is een elektrisch DC circuit, waarin tenminste twee PV-panelen en een omvormer/optimizer in serie met elkaar gekoppeld zijn.
Transiënt	Betekent letterlijk tijdelijke aard. Een spanningsverhoging van tijdelijke aard zoals bij een blikseminslag op of nabij het object.
UV	Ultraviolet, Ultraviolette straling (niet zichtbaar licht wat bij zonlicht voorkomt).

Eisen m.b.t. panelen³⁴:

1. Zijn van het type glas-glas, en
 - Gekwalificeerd volgens de normen: IEC 61215 | IEC 61730 | IEC 61701 | IEC 62804
 - Beschermingsklasse van tenminste IP67
 - Standaard productgarantie van ≥ 30 jaar, af fabriek
 - Vermogensgarantie van $\geq 85\%$ na ≥ 30 jaar, af fabriek
 - Warmtereducerende PERC cellen (Passivated Emitter Rear Contact)
 - Zowel zoutnevel- als ammoniakbestendig

In afwijking van eis 1 mogen bij bouwwerken van risicocategorie 3 (brandveiligheid) voor stallingsplaatsen en terreinen, ook PV-panelen toegepast worden welke tenminste aan de volgende eisen voldoen:

- Type glas-folie, (N-type)
- Gekwalificeerd volgens de normen: IEC 61215 | IEC 61730 | IEC 61701 | IEC 62804, IEC 62716
- Beschermingsklasse van tenminste IP67
- Standaard productgarantie van ≥ 25 jaar, af fabriek
- Vermogensgarantie van $\geq 85\%$ na ≥ 25 jaar, af fabriek
- Zowel zoutnevel- als ammoniakbestendig.

³⁴ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

Eisen m.b.t. omvormers³⁵:

Van onderstaande apparatuur dienen de gestelde eisen uit de betreffende datasheet en/of, handleiding te herleiden te zijn. Omvormers en (power-)optimizers moeten een productgarantie van tenminste 25 jaar (af fabriek) hebben; micro-omvormers van tenminste 20 jaar (af fabriek). De fabrikant-productgarantie dient overdraagbaar zijn te zijn en voor/bij oplevering overgedragen te worden aan het RVB.

2. Omvormers dienen een beschermingsklasse van tenminste IP65 te hebben. Zowel micro-omvormers als (power) optimizers een beschermingsklasse van tenminste IP67 .
3. PV-string omvormers dienen buiten onder afdak aan kopse zijde (oost/west of noord/zuid opstelling) of nabij PV-panelen in kast of onder afdak geplaatst te worden opdat deze goed bereikbaar zijn en niet bloot staan aan weersomstandigheden.
4. PV-string omvormers dienen op toegankelijke plaatsen gemonteerd te worden zodat deze veilig, zonder extra gereedschap en/of veiligheidsmaatregelen bereikbaar zijn voor onderhoud en/of inspectie.
5. PV-micro omvormers/(power-)optimizers, dienen onder het paneel (of onder een per twee/vier bij dubbele/ Quattro input) gemonteerd te worden.
6. Alleen PV-omvormers en micro-omvormers die van DC naar AC omvormen, mogen toegepast worden.
7. In elke DC-string (zie definitie) wordt vlamboogdetectie toegepast en deze is geactiveerd². Een vlamboogdetector schakelt na detectie de betreffende string direct naar een veilige toestand (zie nood-uit circuit). Een afgeschakelde string dient handmatig gereset te worden alvorens weer in bedrijf te kunnen komen. Indien slechts één PV-paneel is aangesloten op één ingang van een micro omvormer/(power-)optimizer, dan mag vlamboogdetectie in dit circuit achterwege blijven (deze eis geldt niet bij een weiland/open terrein opstelling).
8. Het serieel doorkoppelen van PV-panelen is niet toegestaan. Elk PV-paneel dient te worden aangesloten op een onafhankelijke MPPT (Maximum Power Point Tracking) via eigen (power-) optimizer en/of micro omvormer (deze eis geldt niet bij een weiland/open terrein opstelling).
9. Elke PV-string (zie definitie) dient veilig afgeschakeld en gescheiden te kunnen worden door externe DC-vermogenschakelaar⁴ welke binnen handbereik van omvormer is geplaatst. Bij een - actief - veilig DC spanning systeem (dwz <120V zoals SafeDC van SolarEdge of bij DC/AC Micro- omvormers per paneel) mag de DC-vermogenschakelaar achterwege blijven.
10. Elke PV-omvormer dient veilig afgeschakeld en gescheiden te kunnen worden door externe AC - vermogenschakelaar⁴ welke binnen handbereik van omvormer is geplaatst. Elke voedende kabel naar een set Micro- omvormers dient veilig afgeschakeld en gescheiden te kunnen worden door externe AC-vermogenschakelaar⁴ welke binnen handbereik van eerste omvormer is geplaatst.
11. Aanvullende beheerseis: bewaking en analyse van systeemprestaties van elk paneel evenals elke omvormer dient via ethernet op afstand uitgelezen te kunnen worden.

Eisen m.b.t. elektra bekabeling en montage³⁵:

12. DC kabels naar componenten worden niet in lussen gelegd (doorgelust), plus en min liggen altijd bij elkaar op hetzelfde kabeltracé (Dit ter voorkomen van EMC interferentie, zie advies Agentschap Telecom⁵).
13. Omvormer dient via ethernet op afstand uitgelezen te kunnen worden.
14. Elektrakabels, stekkers en overige elektrische componenten hebben een beschermingsklasse van tenminste IP67, zijn UV bestendig en kabels worden (qua isolatie) dubbel geïsoleerd uitgevoerd. (voor kabels die in de grond worden gelegd gelden reguliere eisen uit de NEN1010).
15. DC bekabeling is voldoende (max. 30 cm) ondersteund en vrij van scherpe randen/voorwerpen aangelegd en vastgezet.
16. DC kabels mogen niet meer dan 30 cm vrije ruimte overspannen.
17. Kabeldoorvoeren en kabelwegen zijn vrij van scherpe randen. Voor kabelwegen mogen alleen RVS draadgoten van tenminste 150 mm breed toegepast worden. Kabelwegen bevinden zich tenminste 8 cm boven de dakbedekking.
18. Elektrakabels dienen zo aangelegd te zijn dat zij nergens in (een plas) water kunnen komen te liggen.
19. Kabelbinders (zoals tie-wraps) mogen de isolatie van DC kabels niet vervormen.

³⁵ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

20. Kabels dienen zoveel mogelijk op kabelwegen gemonteerd te worden. Op kabelwegen dienen kabels met voldoende overlengte aangelegd te worden zodat temperatuur-wijzigingen niet kunnen leiden tot (te) strakke kabels.
21. Kabels, connectoren, bouten/schroeven en overige componenten zijn vakbekwaam en volgens voorschriften fabrikant bevestigd, vastgezet en wartels zijn vakbekwaam en op de juiste, door fabrikant voorgeschreven manier en moment aangedraaid. (Ook onder de panelen).
22. Voor alle AC-kabels geldt: 'elke stroomketen moet een beschermingsleiding hebben, die met de relevante aardklem is verbonden'³⁶. (NEN1010:2015 art. 411.3.1.1) of het gehele systeem is voorzien van dubbel isolatie of versterkte isolatie (rubriek 412). *(Let op: niet alle aangeboden systemen voldoen hieraan.)*
23. Alle bovengrondse AC-kabels dienen tenminste in brandklasse Cca-s1,d1,a1 te zijn uitgevoerd, tenzij een hogere eis wordt gevraagd.

Eisen m.b.t. connectoren³⁷:

24. Connectoren hebben (afgemonteerd) een beschermingsklasse van tenminste IP67, zijn UV bestendig en vergrendelbaar en zijn na montage daadwerkelijk vergrendeld.
25. Alleen stekker/contrastekker verbindingen van hetzelfde fabricaat/type mogen in het DC deel toegepast worden⁶ (lees: geen cross matching). Dit geldt zowel voor kabels tussen PV-panelen, string kabels, schakelaars, zekeringhouders; (micro) omvormers als naar optimizers.
26. Wanneer van de specifieke combinatie van stekker en contrastekker is aangetoond dat deze voldoet aan NEN EN IEC 62852 middels tests en door een notified body vastgesteld is dat de materialen dezelfde eigenschappen hebben, dan is de combinatie toegestaan. Connectoren dienen met het door de fabrikant voorgeschreven gereedschap (zoals voor krimpen, strippen, op moment aandraaien, ontgrendelen etc.) gemonteerd en/of gedemonteerd te worden.

Eisen m.b.t. bliksembeveiliging en aarding³⁷:

27. Indien er op een bouwwerk géén bliksembeveiligingsinstallatie(LPS) aanwezig is, dient elke AC kabel van/naar de PV-installatie voorzien te worden van een (transiënte) overspanningsbeveiliging(SPD) tenminste type II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305). Deze SPD dient bij de overgang van buiten naar binnen in pandig geplaatst te worden.
28. Alle metalen delen (zoals draagconstructies en goten) dienen verbonden te worden met een veiligheidsaarding (beschermende vereffeningssleiding) en de relevante aardklem (hoofdaardrail/-klem). Veiligheidsaarding is uitgevoerd in vertind koper van tenminste 6 mm².
29. Indien op een bouwwerk (te beschermen object) wel een bliksembeveiligingsinstallatie(LPS) is aangebracht en de afstand tot de LPS en de PV constructie/paneel is groter dan 50 cm, dan dient elke AC-kabel van/naar de PV installatie voorzien te worden van een (transiënte) overspanningsbeveiliging(SPD) tenminste type II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305). Deze SPD(s) dient(en) bij de overgang van buiten naar binnen in pandig geplaatst te worden. Een DC-string dient voorzien te zijn van een DC type I overspanningsbeveiliging.
30. Alle metalen delen (zoals draagconstructies en goten) dienen verbonden te worden met een veiligheidsaarding (beschermende vereffeningssleiding) en relevante aardklem (hoofdaardrail/-klem). Veiligheidsaarding is uitgevoerd in vertind koper van tenminste 6 mm².
31. Het ontwerp van zowel PV-installatie als bliksembeveiligingsinstallatie dient (qua inslag, aarding, overspanningsbeveiliging en schaduwwerking) op elkaar afgestemd te worden zodat alle beveiligingseisen evenals (bestaande) strategie (klasse/zone) in stand worden gehouden.
32. Indien op een bouwwerk (te beschermen object) wel een bliksembeveiligingsinstallatie(LPS) is aangebracht en de afstand tot de LPS en de PV-constructie/paneel is minder dan of gelijk aan 50 cm, dan dient elke AC-kabel van/naar de PV-installatie voorzien van een (transiënte) overspanningsbeveiliging(SPD) tenminste type I+II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305). Deze SPD(s) dient(en) bij de overgang van buiten naar binnen in pandig geplaatst te worden. Een DC-string dient voorzien te zijn van een DC type I overspanningsbeveiliging.

³⁶ (Concuct technical solutions)

³⁷ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

33. Alle metalen delen (zoals draagconstructies en goten) dienen verbonden te worden met een bliksempotential vereffeningsleiding en relevante aardklem (hoofdaardrail/-klem). De bliksempotential vereffeningsleiding is uitgevoerd in vertind koper van tenminste 16 mm².
34. Het ontwerp van zowel PV-installatie als bliksembeveiligingsinstallatie dient (qua aarding, overspanningsbeveiliging en schaduwwerking) op elkaar te worden afgestemd zodat alle beveiligingseisen als (bestaande) strategie (klasse/zone) in stand gehouden worden.
35. Bij een weiland, open terreinopstelling of opstelling boven een stallingplaats (zoals fietsenstalling, parkeervak of externe opslag) dient een werkende bliksembeveiligingsinstallatie (conform NEN-EN-IEC 62305) geplaatst te worden welke is voorzien van de benodigde bliksemafleiders (opvangsers en/of tuidraden), aardelektrodes en (transiënte) overspanningsbeveiligingen (SPD). Het ontwerp van zowel PV-installatie als bliksembeveiligingsinstallatie is technisch en functioneel op elkaar afgestemd. Overspanningsbeveiliging (SPD) type I+II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305) dienen op de juiste plaats te worden toegepast. Indien uit het ontwerp blijkt dat toepassen van DC type 1 overspanningsbeveiliging nodig is dan dient deze ook volgens voorschriften fabrikant geplaatst en aangesloten te worden.
36. (Her-)ontwerpen, (laten) toetsen, plaatsen, uitbreiden en/of aanpassingen aan bliksembeveiligingsinstallatie en/of overspanningsbeveiligingen zijn onderdeel van werkzaamheden van PV-installatie-leverancier.

Eisen m.b.t. nood-uit systeem / Brandweerschakelaar³⁸:

37. Middels op afstand geplaatste nood-uit knoppen dient de gehele installatie dubbelpolig, zowel AC-zijdig, DC-zijdig evenals elke DC-string (zie definitie) naar een brand- en aanrakingsveilige (<50V bij AC, <120V bij DC) toestand gebracht te worden. Deze nood-uit knoppen dienen zichtbaar en bereikbaar geplaatst te worden nabij de (hoofd)ingang van elk gebouw evenals bij alle toegangen (binnenzijde) tot het dak waar zich PV-installaties bevinden. Een nood-uit knop is uitgevoerd in de kleur rood, heeft een draaiontgrendeling en is duidelijk herkenbaar gemarkeerd. In de directe nabijheid van de nood-uit knop bij de (hoofd)ingang dienen twee signaal(led)lampen geplaatst te worden waarbij witte LED's aangeven dat de PV-installatie in bedrijf is en rood knipperende LED's aangeven dat het nood-uit circuit geactiveerd is (bij woningen, stalling en plaatsen als open terrein installaties mag een nood-uit systeem achterwege blijven).
38. Bij een bouwwerk kan een brandweerschakelaar buiten aan de gevel nabij de ingang op de begane grond gewenst zijn (de objectmanager van het RVB bepaalt in overleg met gebruiker en/of bedrijfsbrandweer).

Eisen m.b.t. verbruik registratie³⁸:

39. Eisen omtrent het al dan niet toepassen van verbruiksregistratie dienen nog nader door de directie Vastgoed Beheer ingevuld/aangevuld te worden.

Eisen m.b.t. noodstroomaggregaat³⁸:

40. Indien een PV-installatie op een bouwwerk en/of terrein met een noodstroomaggregaat (NSA) aangesloten wordt, dient de gehele PV-installatie automatisch afgeschakeld te worden zodra een NSA start. (Een PV-installatie mag nooit invoeden/actief zijn tijdens NSA bedrijf).
41. Indien er een PV nood-uit systeem aanwezig is/komt, dan dient het nood-uit circuit van PV installatie automatisch geactiveerd te worden zodra een NSA start.

Eisen m.b.t. inspectie³⁸:

42. Momenteel is SCIOS Scope 12 "Inspecties van Zonnestroominstallaties" in voorbereiding; zowel cursussen als examens zullen medio 2020 beschikbaar zijn. Vanaf 01-01-2021 is voor elk op te leveren PV-installatie een EBI keuring (met rapport) verplicht conform SCIOS Scope 12.

³⁸ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

4.8 Wet-en regelgeving met betrekking tot zichtbaarheid panelen

4.8.1 Algemeen

De status van een gebouw is bepalend voor het uiterlijk van een gebouw. Zo mag bij monumenten en beschermde stadsgezichten geen PV in het zichtveld worden toegepast. Voor andere gebouwen geldt de vraag wat daarover in het omgevingsplan, bestemmingsplan of welstandsnota geregeld is.

Aandachtspunten

- Belangrijk is het onderscheid tussen beschermde monumenten zoals rijksmonumenten, provinciale monumenten en gemeentelijke monumenten. In geval van een beschermd monument geldt voor vrijwel alle gemeenten dat een omgevingsvergunning aangevraagd moet worden.
- In de praktijk geldt voor beschermde objecten en structuren vaak de regel 'akkoord indien niet zichtbaar' m.u.v. beschermde monumenten in bepaalde gemeenten. Dit kan betekenen dat PV-panelen niet op beschermde monumenten worden aangebracht, maar bijvoorbeeld op een niet-monumentaal bij- of buurtgebouw of nabijgelegen terrein (hier gaat in alle gevallen de voorkeur naar uit). Samenwerking met burens kan tot goede (alternatieve) oplossingen leiden (voor meer informatie over de toepassing van PV op monumenten zie document 'zonne-energie-plannen en monumenten, verwijzer voor vergunningverleners').
- Het is een langere procedure voordat PV toegepast kan worden (vanwege de vergunningsaanvraag voor PV).

4.8.2 Eisen met betrekking tot zichtbaarheid ³⁹

- Bij monumenten en beschermde stadsgezichten mag de PV-installatie niet zichtbaar zijn.

4.9 Oppervlak dak

Vanuit het interne Rijksvastgoedbedrijf document in stroomschema 'groene daken' wordt de ondergrens voor minimaal bruikbaar dakoppervlak aangegeven voor toepassing van PV-panelen. Hier wordt gesteld dat het niet nuttig is PV toe te passen wanneer hiervoor minder dan 50m² dakoppervlak beschikbaar is, omdat dit scenario als niet rendabel beschouwd wordt. Beleidsmatig staat dit getal niet vast. Het kan zijn dat het RVB hier in de toekomst een andere waarde aan toekent.

4.10 Omvormerstype

Onder de kop 'installatietechniek' is al eerder ingegaan op de eisen die aan omvormers worden gesteld. De mogelijke voor- en nadelen van de opties zijn reeds toegelicht in paragraaf 3.2.4. Voor meer informatie over eisen vanuit het RVB m.b.t. omvormers, zie paragraaf 4.7.2.

4.11 Installatietype

In de basis zijn de drie onderstaande typologieën te onderscheiden (voor meer informatie over installatietype, zie paragraaf 3.1).

- Volledig autonome systemen
- Back-up systemen
- Net-gekoppelde systemen

4.12 Opstelling van panelen (opstelling windrichting)

De positionering van PV-panelen heeft invloed op de energieopwekking (voor meer informatie over de positionering, zie paragraaf 3.2.5). De voor- en nadelen van beide opstellingen kunnen worden 'meegenomen' in de voorbereiding van een (bouw)project.

4.13 Energievraag gebouw

Wanneer een gebouw zowel een elektrische als thermische energievraag heeft, kunnen PVT-panelen een alternatieve optie zijn, in plaats van PV-panelen. Deze panelen wekken zowel thermische als elektrische energie op, waar PV-panelen alleen elektrische energie opwekken (voor meer informatie over PVT-panelen, zie paragraaf 2.5).

³⁹ (Rijksvastgoedbedrijf, 2020)

4.14 Conclusie & beantwoording deelvraag 3

‘Deelvraag 3: Welke aspecten hebben invloed op de toepassing van PV-panelen op het dak van een gebouw?’

Deze stap omvat de kwantificatie van data/aspecten die invloed uitoefenen op de besluitvorming over de toepassing van PV binnen projecten van het RVB. Vervolgens is de verzamelde data gekwalificeerd in de vorm van eisen. Naast technische aspecten zijn wet- en regelgeving en financiële aspecten van invloed op de besluitvorming over toepassing van PV op daken in een (bouw)project uitvraag. Deze zijn project-specifiek. Belangrijk zijn de volgende aspecten:

- | | |
|--|---|
| - Bouwkundige aspecten: | materialisatie en levensduur dak |
| - Bouwfysische aspecten: | bevestiging en dakopbouw |
| - Brandveiligheidsaspecten: | materialisatie, gebouwcategory, situering |
| - Aspecten m.b.t. veilig werken op hoogte: | bereikbaarheid en aanwezige voorzieningen |
| - Constructieve aspecten: | draagkracht/bevestigingsmethode |
| - Elektrotechnische aspecten: | onderdelen en samenstelling van installatieonderdelen |
| - Zichtbaarheid van panelen: | wet- en regelgeving m.b.t. veranderend uiterlijk van gebouw |
| - Oppervlak en oriëntatie dak: | situering, hoek, oppervlak per dakdeel |

De volgende punten zijn relevant voor de specificatie van de installatieonderdelen:

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| - Omvormerstype: | serie- of parallelschakeling |
| - Installatievorm: | net-gekoppeld, back-up, of autonoom |
| - Opstelling van panelen: | opstelling windrichting |
| - Energievraag gebouw: | elektrisch of elektrisch en thermisch |

Hoofdstuk 5 Uitwerking stap 4: formuleren van gesloten vragen

In het voorgaande hoofdstuk is ingegaan op alle relevante technische aspecten voor toepassing van PV op het dak van een (bouw)project uitvraag. Deze aspecten zijn van belang in het proces van besluitvorming. Om vast te stellen of, in welke mate (beschikbaar oppervlak) en met welke (systeem)onderdelen PV op daken toegepast kan worden, dienen deze aspecten tot vragen geformuleerd te worden. Hiermee wordt de volgende deelvraag beantwoord:

Deelvraag 4: Hoe kunnen de geïnventariseerde aspecten in gesloten vragen vertaald worden?

Op basis van gedocumenteerde informatie, weergegeven in hoofdstuk drie, en besprekingen met diverse disciplines (duurzaamheid, bouwfysica, brandveiligheid, constructie en elektrotechniek, zie paragraaf 4.1) zijn deze aspecten tot vragen geformuleerd. In dit hoofdstuk worden deze weergegeven. Om de leesbaarheid van dit document te bevorderen zijn de vragen gecategoriseerd volgens de paragrafen uit hoofdstuk 4. Sommige vragen worden genoemd bij meerdere categorieën.

Bouwkundige gerelateerde vragen

1. Voldoet de materialisatie aan de gestelde begaanbaarheidseis?
2. Dak plat of hellend?
3. Levensduur van het dak minimaal 10 jaar?
4. Panelen door-en door of d.m.v. ballast bevestigen?
5. Zijn de risico's die de bevestiging met zich meebrengt acceptabel volgens de (concept)richtlijn?

Brandveiligheid gerelateerde vragen

6. Valt het gebouw in brandveiligheids categorie 1,2 of 3?
7. Voldoet (huidige) dakopbouw aan de gestelde eisen behorend bij betreffende brandveiligheids categorie?

Vragen voortkomend uit veilig werken op hoogte

8. Dak bereikbaar voor onderhoud via het gebouw of alleen via externe voorzieningen?
9. Voldoen de aanwezige veiligheidsvoorzieningen aan de eisen in de richtlijn?

Constructieve gerelateerde vragen

10. Panelen door-en door of d.m.v. ballast bevestigen?
11. Dak plat of hellend?
12. In welke windzone bevindt het gebouw zich, 1, 2 of 3?
13. Panelen op hoog-of laagbouw plaatsen?
14. Voldoet de (aluminium-)onderconstructie aan de eisen van het RVB?

Elektrotechnisch gerelateerde vragen

15. Voldoet de paneelkeuze aan de eisen van het RVB?
16. Voldoet de connectorspecificatie aan de eisen van het RVB?
17. Voldoet de specificatie m.b.t. bliksembeveiliging aan de eisen van het RVB?
18. Voldoet de specificatie m.b.t. noodstroom-systeem aan de eisen van het RVB?
19. Voldoet de specificatie m.b.t. verbruik registratie aan de eisen van het RVB?
20. Voldoen de gestelde eisen m.b.t. inspectie aan de eisen vanuit van het RVB?

Vragen voortkomend uit wet- en regelgeving m.b.t. zichtbaarheid PV

21. Is het gebouw een monument of beschermd stadsgezicht?
22. Is het mogelijk PV-elementen buiten het zicht toe te passen?

Vraag gerelateerd aan het dakoppervlak

23. Minimaal 50m² dak beschikbaar voor toepassing van PV?

Vragen gerelateerd aan de Installatieonderdelen-en vorm

24. Voorkeur voor zuid of oost-westopstelling?
25. Voorkeur voor string-omvormer of micro-omvormer)
26. Alleen elektrische of ook thermische energievraag?
27. Mogelijke teruglevering aan het net?

5.1 Conclusie & beantwoording deelvraag 4

Deelvraag 4: Hoe kunnen de geïnventariseerde aspecten in gesloten vragen vertaald worden?

De antwoorden op de geformuleerde vragen (1 t/m 27, zie pagina 42) beïnvloeden de besluitvorming over toepassing van PV op daken in een (bouw)project uitvraag van het RVB. Deze vragen zijn voortgekomen uit de belangrijkste aspecten die invloed hebben bij de toepassing van PV-panelen op daken van gebouwen:

- Bouwkundige aspecten:	materialisatie en levensduur dak
- Bouwfysische aspecten:	bevestiging en dakopbouw
- Brandveiligheidsaspecten:	materialisatie, gebouwcatégorisering, situering
- Aspecten m.b.t. veilig werken op hoogte:	bereikbaarheid en aanwezige voorzieningen
- Constructieve aspecten:	draagkracht/bevestigingsmethode
- Elektrotechnische aspecten:	onderdelen en samenstelling van installatieonderdelen
- Zichtbaarheid van panelen:	wet- en regelgeving m.b.t. veranderend uiterlijk van gebouw
- Oppervlak en oriëntatie dak:	situering, hoek, oppervlak per dakdeel
- Installatieonderdelen-en vorm:	voorkeur binnen betreffende (bouw)projectcase

In voorgaand hoofdstuk zijn alle relevante aspecten gekwantificeerd; vervolgens zijn deze gekwalificeerd doormiddel van gestelde eisen. Tijdens deze stap zijn vragen geformuleerd waarmee wordt vastgesteld hoe een gebouw, of onderdeel hiervan, gepositioneerd is; daarnaast is per eis uit voorgaand hoofdstuk een vraagstelling geformuleerd waarmee wordt bevestigd of en hoe hieraan voldaan wordt. Hiermee wordt per eis uitgesloten of bevestigd dat de betreffende eis een belemmering kan zijn voor de toepassing van PV binnen een betreffende (bouw)projectcase. Voor de 27 specifieke vragen zie voorgaande pagina.

Hoofdstuk 6: Stap 5 Opzet stroomschema

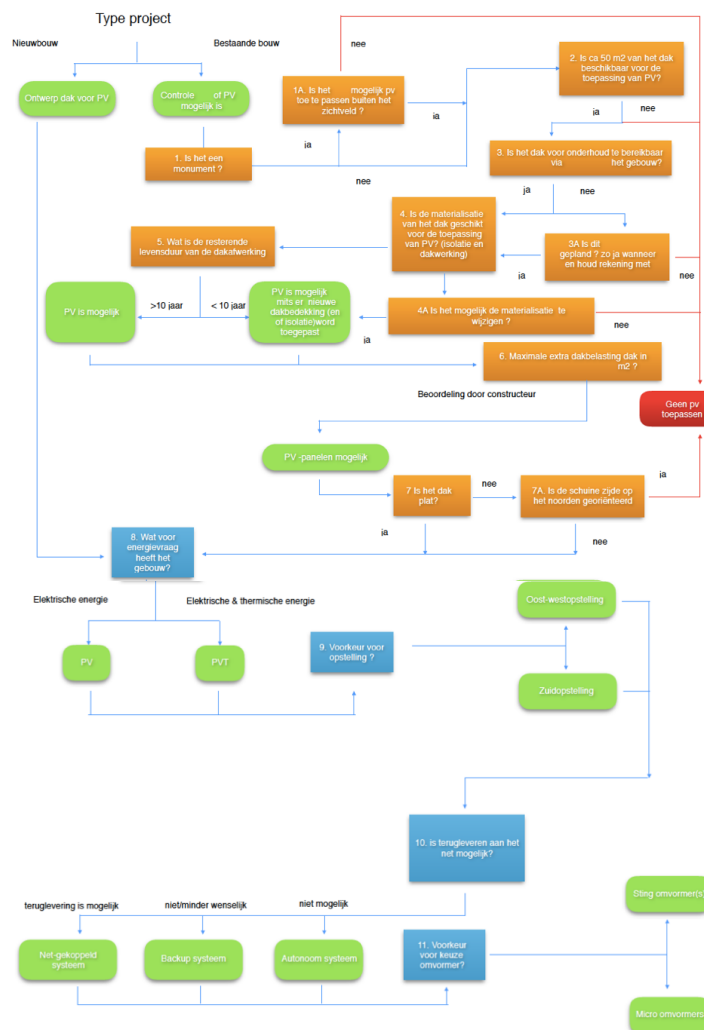
In dit hoofdstuk wordt een eerste opzet weergegeven; dit draagt bij aan het beantwoorden van de deelvraag:

‘Deelvraag 5: hoe kunnen de geformuleerde vragen optimaal in een besluitvormingskeuzeschema worden samengevat?’

Gedurende deze stap zijn de vragen uit de voorgaande stap in het format van een stroomschema verwerkt. Dit kan worden gezien als 'schetsontwerp' of eerste 'concept ontwerp'. Om overzicht te houden is in dit schema nog niet elke vraag uit voorgaande stappen weergegeven. De toegepaste vragen zijn op basis van een globale inschatting qua urgentie geselecteerd. Vragen voortkomend uit specifieke installatieonderdeel-eisen zijn hierin nog niet weergegeven want deze zijn pas relevant wanneer bekend is dat PV toegepast gaat worden en wanneer het schema, hieronder weergegeven, volledig is doorlopen. Daarnaast zijn bepaalde vragen samengevoegd wanneer deze dezelfde strekking hebben zoals: wanneer een dak-onderdeel in meerdere opzichten aan materialisatie-eis of classificering moet voldoen (bijvoorbeeld brandveiligheid/begaanbaarheid). De minimale afstandseis (tussen paneel en dak) en paneelmaterialisatie-eis (glas-glas of glas-folie) die in het kader van brandveiligheid worden gevraagd, zijn hier nog niet toegevoegd. De volgorde van vraagstelling in dit schema is nog willekeurig.

6.1 Eerste opzet/ontwerp

Schema 1:



6.2 Vervolgontwerp

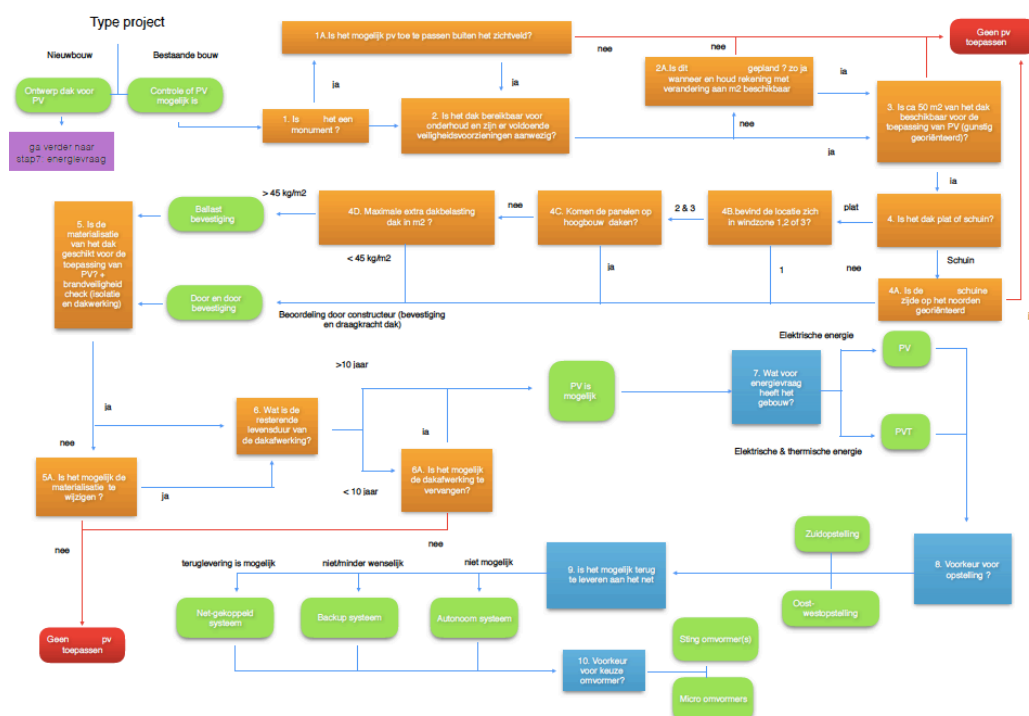
Het schema is vervolgens zo uitgebreid mogelijk gemaakt; alle vragen uit hoofdstuk 5 zijn toegevoegd (uitgezonderd de vragen voortkomend uit de specifieke installatieonderdeel-eisen).

Aanpassingen schema 2 t.o.v. schema 1:

- In het schema is een duidelijk punt aangebracht dat aangeeft wanneer PV mogelijk is (na stap 6), waardoor duidelijk wordt welke vragen/stappen doorlopen moeten worden om te bepalen of PV mogelijk is. Hierna wordt ingegaan op de optionele systeem(onderdeel) specificatie.
- Vraag 2 en 2A (schema 2) zijn ten opzichte van het vorige schema naar voren gehaald omdat aanwezige veiligheidsvoorzieningen invloed hebben op beschikbaar dakoppervlak (vraag 3).
- Vraag 5 schema 2 is uitgebreid van materialisatiecheck naar materialisatie + brandveiligheidscheck m.b.t. dakafwerking, isolatie, paneeltype en minimale afstand tussen dak en paneel, die worden geëist in de risicocategorisering van het gebouw.
- Vraag 4, 4B en 4C zijn toegevoegd, omdat deze invloed hebben op de bevestigingsmethode die weer invloed heeft op de (constructieve) draagkracht.
- Stap 7 (in schema 1) is in schema 2 naar voren gehaald en stap 4A geworden (in schema 2); deze sluit beter aan op 4B en 4C omdat de dak-situering (schuin/plat of gebold) hier ook een rol speelt. Dit bepaalt mede de constructieve bevestiging.

Met schema 2 kan bepaald worden of het volgens de gestelde eisen vanuit het Rijksvastgoedbedrijf mogelijk is PV toe te passen. De vragen m.b.t. specifieke eisen vanuit elektrotechniek zijn hier nog buiten beschouwing gelaten omdat deze pas relevant zijn op het moment dat zeker is dat PV op het dak toegepast gaat worden. Dit is van belang nadat schema 2 is doorlopen. Deze vragen zouden een nuttige vervolgstap kunnen zijn.

Schema 2:



6.3 Conclusie & beantwoording deelvraag 5

‘Deelvraag 5: hoe kunnen de geformuleerde vragen optimaal in een besluitvormingskeuzeschema worden samengevat?’

In deze en voorgaande stappen is gekwantificeerd en gekwalificeerd welke zaken de besluitvorming over toepassing van PV beïnvloeden; er is zo veel mogelijk data verzameld. De verzamelde informatie is in een zo uitgebreid mogelijk schema weergegeven, zie paragraaf 6.2 schema 2. In de vervolgstappen (6 en 7) wordt het (concept)schema gestroomlijnd. Het idee hierachter is het schema terug te brengen tot de essentie, waarbij de belangrijkste aspecten worden ‘meegenomen’. Dit zijn:

- Gebouwtype (classificering risicocategorie RVB, monumentale status)
- Materialisatie van het dak (robuustheid, brandbaarheid)
- Aanwezige veiligheidsvoorzieningen en situering gebouw/dak (windzone, hoogte, dakvorm)
- Beschikbaar dakoppervlak
- Draagkracht onderconstructie (benodigde extra capaciteit, bevestigingsmethodiek)
- Keuze voor installatievorm,-onderdelen en-oriëntatie.

Wanneer bovengenoemde aspecten worden verwerkt in het stroomschema, kan optimale besluitvorming plaatsvinden over toepassing van PV binnen de planvorming van een (bouw)projectcase. Deze punten dragen bij aan het antwoord op deelvraag 5.

Hoofdstuk 7: Stap 6 toetsing aan praktijkvoorbeeld

Tijdens deze stap is het stroomschema (schema 2 paragraaf 6.2) onderworpen aan toetsing op een gebouw. Het betreft de PI (penitentiaire inrichting) in Heerhugowaard. Voor dit gevangeniscomplex is gekozen, omdat het een van de versnellingsprojecten is van het programma 'Zon op dak'. Het Rijksvastgoedbedrijf wil PV toepassen op dit gebouw. Daarnaast zijn van dit project veel gebouwd data beschikbaar, nodig om het stroomschema te kunnen doorlopen. Dit draagt bij aan het beantwoorden van de deelvraag:

'Deelvraag 5: hoe kunnen de geformuleerde vragen optimaal in een besluitvormingskeuzeschema worden samengevat?'

Afbeelding 15 en 16 geven een impressie van het gebouw. Gezien de vertrouwelijke aard van de (bouwtechnische) informatie (en indeling van de PI), zijn in dit document alleen algemeen beschikbare gegevens weergegeven.



Afbeelding 15



Afbeelding 16

7.1 Toepassen van het stroomschema:

Vraag 1. Is het pand een monument?

Het is geen monument; deze vraag geeft geen beperking m.b.t. de toepassing van PV op het dak.

Vraag 2. Dak bereikbaar voor onderhoud en zijn er voldoende veiligheidsvoorzieningen aanwezig?

Het verschilt per dakdeel hoe deze bereikbaar is en welke voorzieningen aanwezig zijn. Alle daken zijn bereikbaar voor onderhoud via het gebouw zelf of een externe voorziening (Bijvoorbeeld een hoogwerker). Voor dak 2 tot en met 8 zijn er voorzieningen aanwezig en goedgekeurd. Zie tabel 7.

Dak deel	Bereikbaarheid	Veiligheidsvoorzieningen VWOH
1.	Via gebouw	Opstaande dakrand +/- een meter
2.	Via gebouw	Dak plannen voor VWOH voorzieningen zijn aanwezig
3.	Via gebouw	Dak plannen voor VWOH voorzieningen zijn aanwezig
4.	Via gebouw	Dak plannen voor VWOH voorzieningen zijn aanwezig
5.	Via gebouw	Dak plannen voor VWOH voorzieningen zijn aanwezig
6.	Via gebouw	Dak plannen voor VWOH voorzieningen zijn aanwezig
7.	Via gebouw	Dak plannen voor VWOH voorzieningen zijn aanwezig
8.	Via gebouw	Dak plannen voor VWOH voorzieningen zijn aanwezig
9.	Via externe voorziening	Via externe voorziening
10.	Via externe voorziening	Via externe voorziening
11.	Via externe voorziening	Via externe voorziening

Tabel 7

Vermeld kan worden dat voor de externe voorzieningen, benodigd voor dak 9,10 en 11, voldoende ruimte aanwezig is. Deze vraag levert geen belemmering op voor de toepassing van PV op daken.

Vraag 3. Minimaal 50 m2 dakoppervlak aanwezig?

Op meerdere daken zijn installaties en obstakels aanwezig. Deze beslaan in alle gevallen minder dan de helft van de ruimte per dakdeel. Op elk dak is minimaal 50 m2 beschikbaar. De buitenste 1,8 meter van dak 4, 5, 6, 7 en 8 mag niet worden gebruikt volgens de plankarten vanuit Veilig werken op hoogte. Deze plankarten zijn speciaal voor deze daken gemaakt. Zie tabel 8 voor het beschikbaar dakoppervlak per dakdeel.

Dak deel	Oppervlak dak deel in m2	Ingeschat bruikbaar dakoppervlak in %	Ingeschat beschikbaar dakoppervlak in m2
1.	922m2	90%	830 m2
2.	285 m2	50%	142 m2
3.	285 m2	50%	142 m2
4.	631 m2	70%	442 m2
5	631 m2	60%	378 m2
6.	631 m2	40%	252 m2
7.	299 m2	50%	150 m2
8.	299 m2	50%	150 m2
9.	983 m2	80%	786 m2
10.	983 m2	80%	786 m2
11.	317 m2	90%	284 m2
Totaal	6226 m2	69,7 %	4342 m2

Tabel 8

Wanneer PV-panelen worden toegepast is bovenstaand oppervlak beschikbaar per dak. Er moet rekening mee worden gehouden dat nog oppervlak verloren gaat voor looppaden (de situering en het oppervlak zijn afhankelijk van de paneelopstelling). Er is op elk dak minimaal 50m2 aanwezig. Dit geeft geen belemmering voor de toepassing van PV.

Vraag 4. Dak plat of schuin?

Er zijn zowel schuine/gebolde daken als platte daken aanwezig, zie tabel 9.

Vraag 4A. Zijn de schuine daken op het noorden georiënteerd?

Van alle schuine daken is de helft van dak deel 11 op het noorden georiënteerd omdat deze gebold is. Hier wordt geen PV geplaatst omdat het niet rendabel is. Het bruikbare oppervlak van dak 11 moet gehalveerd worden. Dit betekent dat er nog 142 m2 bruikbaar dakoppervlak overblijft op dakvlak 11.

Vraag 4B. In welke windzone bevindt het gebouw zich?

Het gebouw bevindt zich in windzone 1; volgens het huidige stroomschema moet door-en-door bevestiging worden aangebracht op alle dakdelen (ook op de platte daken).

Dak deel	Situering
1.	Plat
2.	Plat
3.	Plat
4.	Plat
5.	Plat
6.	Plat
7.	Plat
8.	Plat
9.	Gebold
10.	Gebold
11	Gebold

Tabel 9

Vraag 5. Materialisatie geschikt voor toepassing van PV?

Vanuit beloopbaarheid zijn geen bezwaren. De materialisatie voldoet aan de gestelde eisen.

Vanuit brandveiligheid zijn wel bezwaren: een PI wordt ingeschaald in risicocategorie 1, waarbij wordt geëist dat de bovenste 50mm van het dak uit onbrandbaar materiaal bestaat, zie tabel 10.

Dak deel	Materialisatie/dakopbouw	Geslacht/ongeslacht
1.	Beton/bitumen	Bitumen zijn niet geschikt
2.	Beton/bitumen	Bitumen zijn niet geschikt
3.	Beton/bitumen	Bitumen zijn niet geschikt
4.	Beton/bitumen	Bitumen zijn niet geschikt
5.	Beton/bitumen	Bitumen zijn niet geschikt
6.	Beton/bitumen	Bitumen zijn niet geschikt
7.	Beton/bitumen	Bitumen zijn niet geschikt
8.	Beton/bitumen	Bitumen zijn niet geschikt
9.	Aluminium (Inschatting)	Geslacht
10.	Aluminium (Inschatting)	Geslacht
11.	Aluminium (Inschatting)	Geslacht

Tabel 10

Voor dak 1 t/m 8 dient met een brandveiligheidsdeskundige overlegd te worden welke aanpassingen nodig zijn (de toepassing van grind zou een oplossing kunnen zijn). Dak 9,10 en 11 zijn geschikt.

Vraag 6. Resterende levensduur van het dak?

De exacte levensduur van het dak is onbekend. Minder dan 10 jaar kan een bezwaar zijn voor de toepassing van PV. Door middel van fysieke inspectie dient dit nader vastgesteld te worden.

Vraag 7. Energievraag van het gebouw?

Er is zowel een elektrische-als warmtevraag. PVT of een combinatie van PV en PVT kan bijdragen aan gunstiger energieverbruik.

Vraag 8. Wat is de voorkeur voor opstelling?

Op gebolde daken is geen keuzemogelijkheid; de panelen hebben dezelfde oriëntatie als de daken (dak 9 oost-west, dak10 oost-west en dak 11 zuid). Voor platte daken wordt een oost-westoriëntatie geadviseerd. Uitgaande van de ideale paneelplaatsingshoek (zuidopstelling 37 graden, oost-westopstelling 10-13 graden) en optimaal gebruik van beschikbaar dakoppervlak zijn de voordelen van een oost-westopstelling t.o.v. een zuidopstelling:

- Hogere opbrengst per vierkante meter (beschikbaar) dakoppervlak
- Meer panelen per vierkante meter (ca. 30% meer op dezelfde hoeveelheid m²)
- Start eerder op de dag met opwekken en gaat langer door
- Geleidelijke verdeling opwekking over de dag (hierdoor volstaat een omvormer met een lager maximaal vermogen of gaat de omvormer langer mee; daarnaast vinden netbeheerders dit prettig)

Wanneer maximale energieopbrengst uit het dakoppervlak wenselijk is, wordt een oost-west opstelling geadviseerd. Gezien de hoge energievraag van de PI wordt aangeraden het dakoppervlak maximaal te benutten.

Vraag 9. Mogelijke teruglevering aan het net?

Terugleveren aan het net is mogelijk; daarom het advies bij dit project een net-gekoppeld systeem toe te passen.

Vraag 10. Voorkeur voor omvormer?

In de omgeving is geen hoogbouw aanwezig; dit is van belang voor mogelijke schaduwvorming op het dak. Wel zijn installaties aanwezig op bijna alle daken. Het is daarom raadzaam micro-omvormers toe te passen; wanneer enkele panelen beschaduwd worden zal dit geen invloed hebben op overige (niet beschaduwde) panelen.

Conclusie case uitwerking:

Doormiddel van fysieke inspectie dient de levensduur van het dak bepaald te worden. Daarna kan pas met zekerheid vastgesteld worden of PV kan worden toegepast. Daarmee is geen rekening gehouden in tabel 11.

Dak deel	Benodigde aanpassingen:	Beschikbaar oppervlak in m2	Is pv mogelijk
1.	Toevoegen onbrandbare laag 50 mm	830 m2	Na aanpassing daklaag
2.	Toevoegen onbrandbare laag 50 mm	142 m2	Na aanpassing daklaag
3.	Toevoegen onbrandbare laag 50 mm	142 m2	Na aanpassing daklaag
4.	Toevoegen onbrandbare laag 50 mm	442 m2	Na aanpassing daklaag
5.	Toevoegen onbrandbare laag 50 mm	378 m2	Na aanpassing daklaag
6.	Toevoegen onbrandbare laag 50 mm	252 m2	Na aanpassing daklaag
7.	Toevoegen onbrandbare laag 50 mm	150 m2	Na aanpassing daklaag
8.	Toevoegen onbrandbare laag 50 mm	150 m2	Na aanpassing daklaag
9.		786 m2	PV is mogelijk
10.		786 m2	PV is mogelijk
11.		142 m2	PV is mogelijk
Totaal		4200 m2	Een deel van de daken dient eerst aangepast te worden in opbouw

Tabel 11

Het totaal beschikbare dakoppervlak bedraagt 4200 m2. Dat wordt verminderd met het oppervlak van looppaden; het oppervlak belegd met panelen is afhankelijk van het legplan.

Gezien de (grotere) vraag naar warm tapwater wordt geadviseerd te onderzoeken of PVT een goede optie is. Een net-gekoppeld systeem is de meest voor de hand liggende optie voor de systeemvorm: het is mogelijk terug te leveren aan het net. Verder wordt geadviseerd een micro-omvormer toe te passen.

7.2 Conclusie & beantwoording deelvraag 5

Deelvraag 5: hoe kunnen de geformuleerde vragen optimaal in een besluitvormingskeuzeschema worden samengevat?

Het doorlopen van het schema en de toepassing hiervan op de PI in Heerhugowaard heeft geleid tot een aantal verbeterpunten voor het schema. Doormiddel van verbeterpunten wordt het (concept)stroomschema gestroomlijnd. Deze zijn onder te verdelen in praktische en inhoudelijke verbeterpunten. Deze verbeterpunten dragen bij aan het antwoord op deelvraag 5.

Praktische verbeterpunten:

- Geef aan dat het dak per deel beoordeeld moet worden. Deel het dak op in compartimenten en nummer deze; dit draagt bij aan de praktische uitvoerbaarheid.
- Vraag 5 en 6 kunnen worden samengevoegd (deze hebben beiden betrekking op de specifieke uitvoering/materialisatie van het dak).

Inhoudelijke verbeterpunten:

- De mogelijkheden tot bevestiging zijn afhankelijk van de combinatie tussen windzone, plaatsingshoogte en extra draagkracht van het dak. Dit dient aan een constructeur te worden voorgelegd. Een algemene aanname is hier niet mogelijk.
- Vanuit brandveiligheid worden eisen gesteld aan de afstand tussen dak en panelen; dit heeft invloed op de constructieve verbinding.
- Daarnaast kan vanuit brandveiligheid worden geëist dat de materialisatie aangepast moet worden (of uitgebreid met bijvoorbeeld een laag grind). Vanwege het (mogelijk extra) gewicht kan dit van invloed zijn op de onderconstructie en de daarvoor benodigde draagkracht. Daarom dient dit plaats te vinden voordat de vragen m.b.t. constructieve draagkracht en bevestiging worden gesteld.

Hoofdstuk 8: Stap 7 perfectioneren van het stroomschema

In stap zeven zijn praktische en inhoudelijke verbeterpunten naar voren gekomen. Daarnaast is in een integraal overlegmoment met Royal Haskoning (dit is een externe partij die de Richtlijn m.b.t. de toepassing van PV op daken van het RVB reviewd) aangegeven dat het nuttig is wanneer een stroomschema wordt opgedeeld in twee schema's:

1. Een schema waarmee bepaald wordt of PV mogelijk is (en hoeveel dakoppervlak hiervoor beschikbaar is)
2. Een PV-systeem (onderdeel) specificatie

Het is van belang dat tijdens de specificatie van het systeem (in een project-uitvraag) aan alle eisen vanuit de richtlijn wordt voldaan. Daarom moet aan het einde van dit specificatie-stroomschema een stap worden opgenomen die verwijst naar de specifieke minimale (installatietechnische) eisen, gesteld door het RVB m.b.t. installatieonderdelen. Hiermee worden de vragen voortkomend uit de specifieke installatieonderdeel-eisen, beantwoord (vraag 15 t/m 20 uit hoofdstuk 5).

De verzamelde informatie uit stap 1-6 heeft geleid tot documentatie van alle relevante achtergrondinformatie m.b.t. de vragen/stappen uit het schema. Deze is aan de schema's toegevoegd. Feedbacksessies met diverse eerder genoemde disciplines hebben geleid tot aanscherping van deze achtergrondinformatie. De eis van het minimaal beschikbaar dakoppervlak is geschrapt, omdat deze niet voldoende onderbouwd kan worden vanuit interne RVB-documentatie. Daarnaast is de stap m.b.t. omvormerkeuze verwijderd. Vanuit de (concept)richtlijn wordt geëist dat string-omvormers altijd worden voorzien van power-optimizers. Omdat het verschil tussen micro-omvormers en string-omvormers voorzien van power-optimizers minimaal is, dient hier geen voorkeur over uitgesproken te worden. Ook is de minimale levensduur van de bestaande dakafwerking van 10 naar 5 jaar verlaagd conform de (concept)richtlijn.

8.1 Conclusie & beantwoording deelvraag 5

Deelvraag 5: hoe kunnen de geformuleerde vragen optimaal in een besluitvormingskeuzeschema worden samengevat?

Het schema functioneert beter wanneer het wordt gesplitst in twee delen. In het eerste deel wordt vastgesteld of PV mogelijk is, hoeveel dakoppervlak beschikbaar is, welke constructieve bevestiging mogelijk is en de benodigde gebouwaanpassingen. In het tweede deel worden de installatieonderdelen en vorm vastgesteld en wordt een beeld gegeven van de businesscase. Deze tweedeling sluit beter aan op de besluitvormingsstappen die worden doorlopen binnen de planvorming van (bouw)projecten binnen het RVB. Doormiddel van het eerste schema wordt de technische haalbaarheid vastgesteld; met het tweede de financiële haalbaarheid.

Het schema is teruggebracht tot essentiële stappen, om te beoordelen of plaatsing geen belemmeringen oplevert m.b.t. wet en regelgeving.

Daarnaast is de volgorde van de vragen geoptimaliseerd, waardoor de beantwoording geen invloed heeft op eerder beantwoorde vragen.

De genoemde punten aangevuld met het beroepsproduct in bijlage 1, geven antwoord op deelvraag 5.

Hoofdstuk 9: Conclusie, discussie en aanbeveling

9.1 Conclusie

Hoofvraag:

‘Op basis van welke vragen en afwegingen kan optimale besluitvorming voor toepassing van PV op daken plaatsvinden in een (bouw)project uitvraag?’

Gedurende het afstudeertraject is een stroomschema ontwikkeld op basis waarvan besluitvorming kan plaatsvinden over de toepassing van PV-panelen op daken binnen (bouw)projecten van het Rijksvastgoedbedrijf.

De definitieve versie van het stroomschema wordt toegevoegd aan de (concept)richtlijn van het RVB en gaat toegepast worden bij toekomstige (bouw)projecten. Onderstaande vragen en afwegingen vormen de basis van het stroomschema:

Schema 1: ‘*Is PV mogelijk?*’

- Wat is de gebouwclassificering?
- Is het dak bereikbaar en voorzien van veiligheidsvoorzieningen?
- Is de materialisatie van het dak geschikt?
- Heeft het dak voldoende (extra) draagkracht?

Schema 2: ‘*Specificatie installatie*’ leidt tot

- Keuze installatievorm, -onderdelen en-oriëntatie
- Businesscase voor betreffend project

Wanneer bovenstaande punten worden ‘meegenomen’ en het definitieve stroomschema wordt toegepast, kan optimale besluitvorming plaatsvinden.

9.2 Discussie & aanbevelingen

De gebruikte kennis komt voort uit kwantitatief onderzoek in de vorm van gespreksvoering en interviews met experts binnen het RVB. Gezien de achtergrond van de geïnterviewde en interviewer (student), kan ervan uit worden gegaan dat er geen belangenverstrengeling is: beide partijen streven naar een kloppend en valide resultaat. Een deel van de kennis komt voort uit deskresearch uit bronnen als Google scholar, Google, TNO, interne RVB-databank. Bij de selectie van bronnen is, waar mogelijk, gebruik gemaakt van objectieve en actuele bronnen. Dit draagt bij aan de betrouwbaarheid en validiteit van gebruikte data.

De onderzoeksopzet en-methodiek is gebaseerd op de PDCA-theorie (zie paragraaf 2.8 PVA). Deze theorie heeft een wetenschappelijke grondslag. Toepassing hiervan bevordert de betrouwbaarheid en validiteit van het onderzoek. Gedurende dit onderzoek is slechts één cyclus uitgevoerd. Het is mogelijk dat herhaling van deze cyclus tot verdere stroomlijning van het schema leidt.

Het gebruik en toepassing van het stroomschema leidt tot goede resultaten (voorbeeld bijlage 2 uitwerking case Bleiswijk). Doormiddel van het doorlopen van het schema wordt duidelijk dat het mogelijk is PV toe te passen en dat geen verdere gebouwaanpassingen benodigd zijn bij deze case. Dit betekent dat dit schema RVB breed zal worden uitgerold en toegepast. Dit zal leiden tot versnelling van het besluitvormingsproces binnen toekomstige (bouw)projecten van het RVB. Hiermee draagt het bij aan het programma ‘zon op dak’ en bespoedigt dit de gaande energietransitie. Dit betekent dat mijn werk bijdraagt aan nationaal maatschappelijk belang.

Wanneer wordt gekeken naar het eindresultaat (zie bijlage 1) kan worden gesteld dat er nog een aantal punten ter discussie staan. Op dit moment wordt in de richtlijn en het stroomschema de optie geboden PV toe te passen op monumenten en beschermde stadsgezichten wanneer deze buiten het zichtveld worden toegepast. De vraag is of dit wenselijk is, gezien het brandgevaar van PV en de cultuurhistorische waarde van bepaalde onvervangbare monumenten. Misschien moet de toepassing van PV op monumenten in zijn geheel worden uitgesloten.

Binnen het schema is uitgegaan van de eisen vanuit het RVB; als minimale levensduur is een termijn van 5 jaar aangehouden. Deze is vanuit gebouwbeheer beredeneerd: daken met een korte of middellange resterende levensduur van 0-5 jaar moeten integraal vervangen worden met plaatsing van PV-panelen. De gedachte hierachter is dat winst door verduurzaming van het gebouw vanwege plaatsing van PV groter is dan verlies aan materiaal dat nog een resterende levensduur heeft.

Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen verschillende typen dakafwerkingen en bijkomende locatie-gerelateerde kosten. De verschillende typen dakafwerkingen en de waarde van de resterende levensduur resulteren in combinatie met de (mogelijke) verwijdering van aanwezige dak-installaties, in een veel hogere kostenpost.

Daarnaast is het interessant wat er met PV-panelen gebeurt wanneer na bijvoorbeeld 10 jaar een dakrenovatie plaatsvindt: worden deze tijdelijk geborgen en na dakrenovatie herplaatst of worden op dat moment 'up-to-date' panelen geplaatst met een hoger rendement? Dit zal worden bepaald door milieu-impact, economisch gewin en kosten. Deze zijn project-specifiek: aangeraden wordt om hier vervolgonderzoek naar uit te voeren.

Tevens kan het nuttig zijn vanuit het RVB een richtlijn op te stellen over de toepassing van PV in geveldelen. Momenteel is weinig ervaring binnen het RVB m.b.t. de toepassing van BIPV. Hier liggen kansen tot verduurzaming van de vastgoedportefeuille van het Rijk; zeker bij gebouwen met een groot geveloppervlak en klein dakoppervlak biedt dit uitkomst (bijvoorbeeld flatgebouwen). Wanneer hiervoor een algemene richtlijn wordt ontwikkeld, kan implementatie van BIPV binnen (bouw)projecten worden bespoedigd.

De (concept)richtlijn waar het stroomschema op aansluit is nog niet definitief. Inhoudelijk wordt deze naar alle waarschijnlijkheid aangepast in de komende periode; dit betekent dat het stroomschema ook aangepast dient te worden door het RVB. Net als de richtlijn is het een dynamisch product.

Bibliografie

- Beerda, E. (2019, November). *installatiejournaal.nl/energie/artikel/2019/11/tweezijdig-tandemzonnepaneel-heeft-de-toekomst*. Opgehaald van [installatiejournaal.nl](https://www.installatiejournaal.nl/energie/artikel/2019/11/tweezijdig-tandemzonnepaneel-heeft-de-toekomst-10110268?_ga=2.134688438.616687081.1586881980-23350261.1586881980): https://www.installatiejournaal.nl/energie/artikel/2019/11/tweezijdig-tandemzonnepaneel-heeft-de-toekomst-10110268?_ga=2.134688438.616687081.1586881980-23350261.1586881980
- boere, G. F. (sd). Do's and don'ts hand out. *Do's and don'ts hand out bij toepassen van PV-panelen*. RVB.
- Conduct technical solutions. (sd). *www.conduct.nl/info-aarding-pv-installaties/*. Opgehaald van [conduct.nl](https://www.conduct.nl/info-aarding-pv-installaties/): <https://www.conduct.nl/info-aarding-pv-installaties/>
- copper8. (2020). *duurzame zonnepaneel-systemen*.
encyclo.nl. (sd).
<https://www.encyclo.nl/begrip/Stroomdiagram#:~:text=Een%20stroomdiagram%20of%20strooomschema%2C%20ook,het%20proces%20te%20kunnen%20vinden>. Opgehaald van [www.encyclo.nl](https://www.encyclo.nl/begrip/Stroomdiagram#:~:text=Een%20stroomdiagram%20of%20strooomschema%2C%20ook,het%20proces%20te%20kunnen%20vinden):
<https://www.encyclo.nl/begrip/Stroomdiagram#:~:text=Een%20stroomdiagram%20of%20strooomschema%2C%20ook,het%20proces%20te%20kunnen%20vinden>.
- Encyclo.nl. (sd).
[www.encyclo.nl/begrip/Klimaatverandering#:~:text=en%2Dklimaat%2Fklimaatverandering,Klimaatverandering,en%20warme%20periodes%20\(interglacialen\)](https://www.encyclo.nl/begrip/Klimaatverandering#:~:text=en%2Dklimaat%2Fklimaatverandering,Klimaatverandering,en%20warme%20periodes%20(interglacialen)). Opgehaald van [www.encyclo.nl](https://www.encyclo.nl/begrip/Klimaatverandering#:~:text=en%2Dklimaat%2Fklimaatverandering,Klimaatverandering,en%20warme%20periodes%20(interglacialen)):
[https://www.encyclo.nl/begrip/Klimaatverandering#:~:text=en%2Dklimaat%2Fklimaatverandering,Klimaatverandering,en%20warme%20periodes%20\(interglacialen\)](https://www.encyclo.nl/begrip/Klimaatverandering#:~:text=en%2Dklimaat%2Fklimaatverandering,Klimaatverandering,en%20warme%20periodes%20(interglacialen)).
- Energierijk Nederland . (2019, Oktober 3). *energievergelijk.nl/onderwerpen/klimaatakkoord*. Opgehaald van [www.energievergelijk.nl](https://www.energievergelijk.nl/onderwerpen/klimaatakkoord):
<https://www.energievergelijk.nl/onderwerpen/klimaatakkoord>
- Haarlem duurzaam. (2017). *www.haarlemduurzaam.nl/nieuws/onderzoek-naar-energietransitie*. Opgehaald van [haarlemduurzaam.nl](https://www.haarlemduurzaam.nl/nieuws/onderzoek-naar-energietransitie): <https://www.haarlemduurzaam.nl/nieuws/onderzoek-naar-energietransitie>
- KU Leuven. (2019, Februari 27). *www.leuven2030.be/verhalen/ku-leuven-ontwikkelt-zonnepaneel-dat-lucht-opvangt-en-er-groene-waterstof-van-maakt*. Opgehaald van [www.leuven2030.be](https://www.leuven2030.be/verhalen/ku-leuven-ontwikkelt-zonnepaneel-dat-lucht-opvangt-en-er-groene-waterstof-van-maakt):
<https://www.leuven2030.be/verhalen/ku-leuven-ontwikkelt-zonnepaneel-dat-lucht-opvangt-en-er-groene-waterstof-van-maakt>
- Kuijpers Office. (2020). *Spotlight on Solar Facades*. Helmond the Netherlands: Kuijpers Office, Studio Solarix, Kameleen Solar, Sobra. Opgehaald van [file:///Users/casperscheldes/Downloads/Solar%20Facades%20Guide%20\(1\).pdf](file:///Users/casperscheldes/Downloads/Solar%20Facades%20Guide%20(1).pdf)
- Nea. (sd). *emissieautoriteit.nl/onderwerpen/klimaatakkoord-van-parijs*. Opgehaald van [emissieautoriteit.nl](http://emissieautoriteit.nl/onderwerpen/klimaatakkoord-van-parijs): <http://emissieautoriteit.nl/onderwerpen/klimaatakkoord-van-parijs>
- Nederland, R. v. (2018, December).
[rvo.nl/sites/default/files/2018/12/Monitor%20Energiebesparing%20gebouwde%20omgeving%202017.pdf](https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/12/Monitor%20Energiebesparing%20gebouwde%20omgeving%202017.pdf). Opgehaald van [www.rvo.nl](https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/12/Monitor%20Energiebesparing%20gebouwde%20omgeving%202017.pdf):
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/12/Monitor%20Energiebesparing%20gebouwde%20omgeving%202017.pdf>
- Rijksoverheid. (2019). *Rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord*. Opgehaald van [www.rijksoverheid.nl](https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord):
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord>
- Rijksoverheid. (2019). *www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord*. Opgehaald van [www.rijksoverheid.nl](https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord):
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord>

Rijksvastgoedbedrijf. (2017). *Poster Rijksvastgoedbedrijf in beeld*. Den Haag: Rijksvastgoedbedrijf.

Rijksvastgoedbedrijf. (2019). *Handreiking Klimaatadaptatie*. Den Haag: Rijksvastgoedbedrijf.

Rijksvastgoedbedrijf. (2020). *conceptversie van de Richtlijn: Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020*. Den Haag: Rijksvastgoedbedrijf.

Rijksvastgoedbedrijf. (2020). www.rijksvastgoedbedrijf.nl/over-ons. Opgehaald van www.rijksvastgoedbedrijf.nl: <https://www.rijksvastgoedbedrijf.nl/over-ons>

Rijksvastgoedbedrijf. (sd). *Handboek expert Architectuur & Techniek*. Den Haag: Rijksvastgoedbedrijf.

RIVM. (sd). www.rivm.nl/onderwerpen/energietransitie. Opgehaald van www.rivm.nl: <https://www.rivm.nl/onderwerpen/energietransitie>

sirius-solar. (sd). <https://www.sirius-solar.com/dunne-film-zonnepanelen/>. Opgehaald van sirius-solar.com: <https://www.sirius-solar.com/dunne-film-zonnepanelen/>

Slimster. (sd). slimster.nl/zonnepanelen/kosten-zonnepanelen/prijs-dunne-film-zonnepanelen/. Opgehaald van slimster.nl: <https://slimster.nl/zonnepanelen/kosten-zonnepanelen/prijs-dunne-film-zonnepanelen/>

Solar magazine. (2020). Race naar de 500 wattpiek. *Solar magazine*, 2.

Solarclarity. (sd). docplayer.nl/17665748-Mono-poly-of-dunne-film-panelen. Opgehaald van Docplayer.nl: <https://docplayer.nl/17665748-Mono-poly-of-dunne-film-panelen.html>

Solarclarity. (sd). docplayer.nl/17665748-Mono-poly-of-dunne-film-panelen.html. Opgehaald van docplayer.nl: <https://docplayer.nl/17665748-Mono-poly-of-dunne-film-panelen.html>

Solution-plus. (sd). [solution-plus.nl/werking-zonnepanelen/](https://www.solution-plus.nl/werking-zonnepanelen/). Opgehaald van solution-plus.nl: <https://www.solution-plus.nl/werking-zonnepanelen/>

Steven S, H. (2013). Review of photovoltaic module energy yield (kWh/kw): Comparison of crystalline Si and thin film technologies. *Wiley interdisciplinary reviews: Energy and Environment*, 1, 14.

Syed M Ahsan, H. A. (2019). Performance comparison of CdTe thin film modules with c-Si modules under low irradiance. *IET Renewable Power Generation*.

Trinasolar. (2016). www.zonnepanelen-installeren.nl/trina.html. Opgehaald van www.zonnepanelen-installeren.nl: <https://www.zonnepanelen-installeren.nl/trina.html>

Trouw. (2020, januari 22). trouw.nl/duurzaamheid-natuur/zonnepanelen-met-twee-gezichten-leveren-de-goedkoopste-stroom~b1f87734/?referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F. Opgehaald van trouw.nl: <https://www.trouw.nl/duurzaamheid-natuur/zonnepanelen-met-twee-gezichten-leveren-de-goedkoopste-stroom~b1f87734/?referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>

TU Delft. (2011, juni 1). [youtube.com/watch?v=vf7R7lriZSk](https://www.youtube.com/watch?v=vf7R7lriZSk). Opgehaald van youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=vf7R7lriZSk>

TU delft. (2019, Juni 25). tudelft.nl/2019/ewi/de-magie-van-multifunctionele-fotovoltaische-ramen/. Opgehaald van tudelft.nl: <https://www.tudelft.nl/2019/ewi/de-magie-van-multifunctionele-fotovoltaische-ramen/>

tweakers. (2020, 4 2). [tweakers.net/forum/list_messages/1982964](https://gathering.tweakers.net/forum/list_messages/1982964). Opgehaald van tweakers.net: https://gathering.tweakers.net/forum/list_messages/1982964

Vastelastenbond. (2019, Januari 31). vastelastenbond.nl/blog/zijn-pvt-panelen-de-oplossing-combineren-en-door-ontwikkelen-sleutel-tot-succes/. Opgehaald van vastelastenbond.nl: <https://www.vastelastenbond.nl/blog/zijn-pvt-panelen-de-oplossing-combineren-en-door-ontwikkelen-sleutel-tot-succes/>

vattenfall. (sd). [vattenfall.nl/kennis/dakpan-zonnepaneel/](https://www.vattenfall.nl/kennis/dakpan-zonnepaneel/). Opgehaald van vattenfall.nl: <https://www.vattenfall.nl/kennis/dakpan-zonnepaneel/>

Woonbewust. (2019, Mei 8). woonbewust.nl/zonne-energie/zonnepanelen-wegen-fietspaden. Opgehaald van Woonbewust.nl: <https://woonbewust.nl/zonne-energie/zonnepanelen-wegen-fietspaden>

Zonne-energiegids.be. (2020). [zonne-energiegids.be/soorten-zonnepanelen/glas-glas/](https://www.zonne-energiegids.be/soorten-zonnepanelen/glas-glas/). Opgehaald van www.zonne-energiegids.be: <https://www.zonne-energiegids.be/soorten-zonnepanelen/glas-glas/>

Zonnefabriek. (sd). *zonnefabriek.nl/faq/micro-omvormers-of-string-omvormers/*. Opgehaald van zonnefabriek.nl: <https://www.zonnefabriek.nl/faq/micro-omvormers-of-string-omvormers/>

Zonnefabriek. (sd). *zonnefabriek.nl/nieuws/dunne-film-of-kristallijn/*. Opgehaald van zonnefabriek.nl: <https://www.zonnefabriek.nl/nieuws/dunne-film-of-kristallijn/>

Zonnepanelen.net. (2020). *zonnepanelen.net/glas-glas-zonnepanelen/#:~:text=In%20de%20meeste%20gevallen%20geven,vocht%2C%20temperatuurverschillen%20en%20mechanische%20spanningen*. Opgehaald van zonnepanelen.net: <https://www.zonnepanelen.net/glas-glas-zonnepanelen/#:~:text=In%20de%20meeste%20gevallen%20geven,vocht%2C%20temperatuurverschillen%20en%20mechanische%20spanningen>.

zonnepaneelprijzen.nl. (sd). *zonnepaneelprijzen.nl/soorten/*. Opgehaald van zonnepaneelprijzen.nl: <https://www.zonnepaneelprijzen.nl/soorten/>

Zonnepanelen.net. (2020). *zonnepanelen.net/nl/zonnepanelen-vergelijken?capacity=10&type=2&sort=title*. Opgehaald van zonnepanelen.net: <https://www.zonnepanelen.net/nl/zonnepanelen-vergelijken?capacity=10&type=2&sort=title>

zonnepanelen.net. (sd). *zonnepanelen.net/afmeting/*. Opgehaald van zonnepanelen.net: <https://www.zonnepanelen.net/afmeting/>

Zonnepanelen.net. (sd). *zonnepanelen.net/dunne-film/*. Opgehaald van zonnepanelen.net: <https://www.zonnepanelen.net/dunne-film/>

Zonnepanelengids. (sd). *zonnepanelengids.com/omvormer/kosten-omvormer/*. Opgehaald van zonnepanelengids.com: <https://www.zonnepanelengids.com/omvormer/kosten-omvormer/>

Zonnepanelen-info. (sd). *zonnepanelen-info.nl/cis-zonnepanelen/*. Opgehaald van zonnepanelen-info.nl: <https://www.zonnepanelen-info.nl/cis-zonnepanelen/>

zonnestroomnederland. (sd). *zonnestroomnederland.nl/kennisbank/de-4-grootste-voordelen-bij-een-oost-west-opstelling-van-zonnepanelen/*. Opgehaald van zonnestroomnederland.nl: <https://www.zonnestroomnederland.nl/kennisbank/de-4-grootste-voordelen-bij-een-oost-west-opstelling-van-zonnepanelen/>

Bijlage 1



Rijksvastgoedbedrijf
*Ministerie van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties*

Beroepsproduct

Afstudeertraject Built environment

Naam: Casper Scheltes
Studentnummer: 345219

Datum: 14-01-2021
Plaats: Groningen

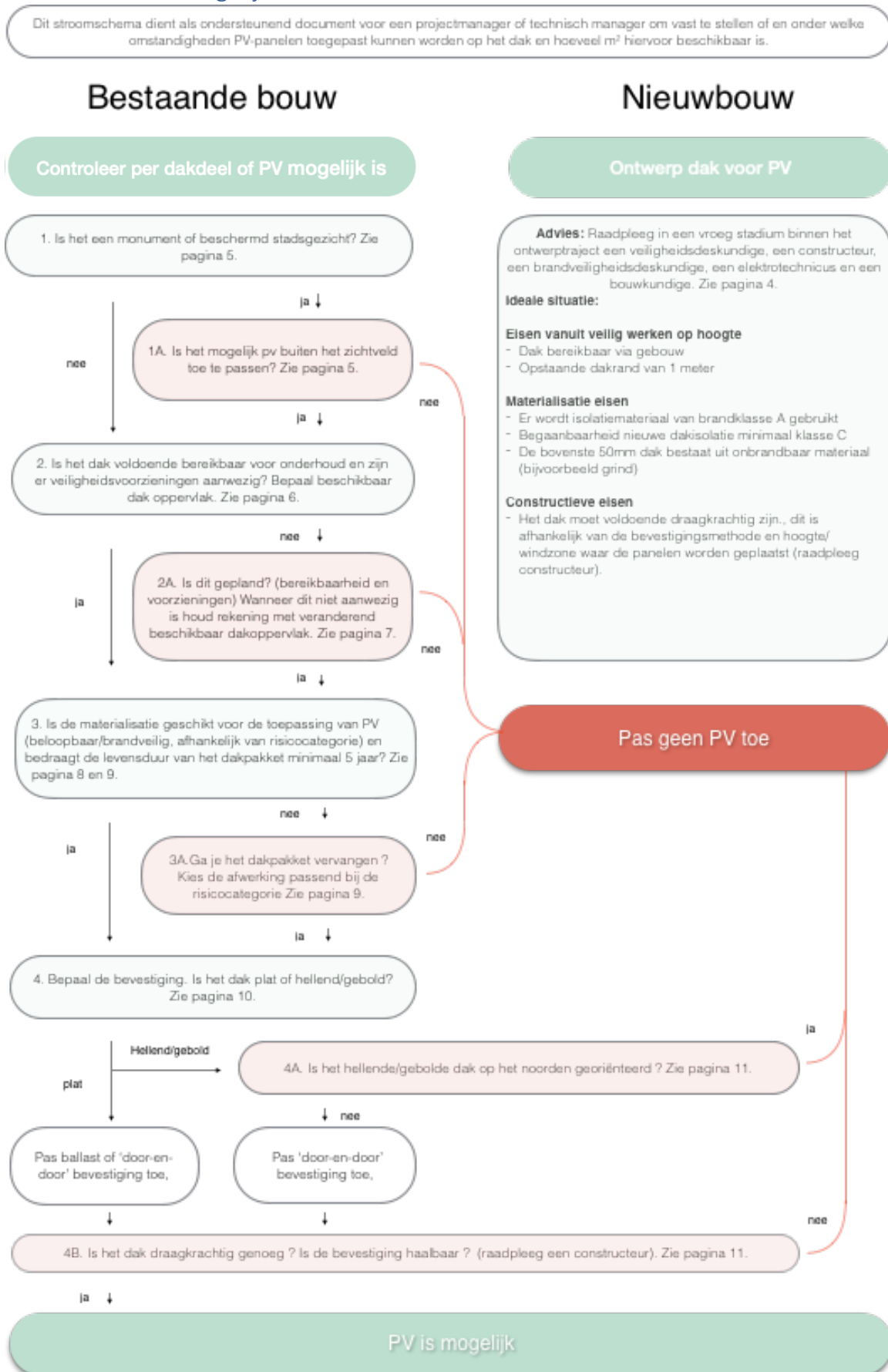
Bijlage 1

Inhoudsopgave

Schema 1: 'Is PV mogelijk?'	2
<i>Achtergrondinformatie vragen/stappen schema 1</i>	3
<i>Ontwerpeisen nieuwbouw</i>	4
<i>Controle of PV mogelijk is bij bestaande bouw</i>	5
Vraag 1:	5
Vraag 2:	6
Vraag 3:	8
Vraag 4:	10
Schema 2: 'Specificatie installatie'	12
<i>Achtergrondinformatie vragen/stappen schema 2</i>	13
Stap 1:	14
Stap 2:	14
Stap 3:	15
Stap 4:	16
Stap 5:	16

Bijlage 1

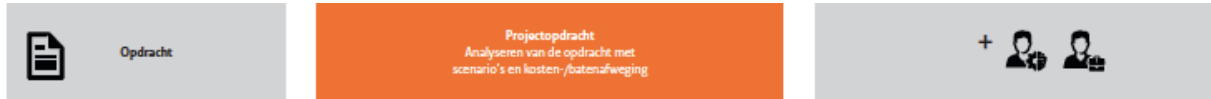
Schema 1: 'Is PV mogelijk?'



Bijlage 1

Achtergrondinformatie vragen/stappen schema 1

Deze paragraaf omvat de randvoorwaarden behorend bij de stroomschema's: 'is PV mogelijk?' en het stroomschema 'specificatie installatie'. De specifieke eisen geformuleerd in dit document, zijn gebaseerd op de conceptversie van de RVB-richtlijn 'Veiligheid PV-systemen op daken' (versie 17-06-2020). Deze richtlijn is nog 'onder motie'; dit betekent dat bepaalde specifieke eisen nog niet definitief zijn. Dit stroomschema kan in de opdrachtfase worden toegepast door een projectmanager of technisch manager.



Doel stroomschema 1

- Zijn PV-panelen mogelijk op het dak?
- Hoeveel m² dakoppervlak is bruikbaar/geschikt?
- Welke bevestigingsmogelijkheid is toepasbaar?
- Welke gebouwaanpassingen zijn benodigd?

Het stroomschema is bestemd voor PV-systemen:

- Zowel hellende als platte daken;
- Glas-folie en glas-glas PV-panelen.

De stroomschema's zijn niet bestemd voor PV-systemen:

- Indak-systemen;
- PV-panelen in of aan gevel;
- Andere PV-systemen dan glas-folie en glas-glas panelen.

Bijlage 1

Ontwerpeisen nieuwbouw

Advies: wanneer de wens is om PV toe te passen, raadpleeg dan in een vroeg stadium van het ontwerptraject een veiligheidsdeskundige, constructeur, brandveiligheidsdeskundige en elektrotechnicus. Algemeen kan gesteld worden dat onderstaande eisen de basiseisen zijn. In overleg met een vakdeskundige kan hiervan afgeweken worden.

Ideale situatie (vanuit conceptrichtlijn: Veiligheid PV-systemen op daken (versie 17-06-2020))

De ideale situatie betreft de eisen die worden gesteld aan gebouwen uit (brandveiligheid)risicoklasse 1. Doel van de eisen aan materialisatie: in geval van brand door de PV-installatie blijft dat beperkt tot het PV-systeem; de dakafwerking wordt niet aangetast. Per situatie dient afgewogen te worden of dit risico wel of niet genomen wordt, passend bij de betreffende risicoklasse van het gebouw.

Eisen vanuit veilig werken op hoogte

- Dak bereikbaar via gebouw
- Opstaande dakrand 1 meter

Materialisatie eisen (brandveiligheid en begaanbaarheid)

- Er wordt isolatiemateriaal met brandklasse A toegepast
- Begaanbaarheid nieuwe dakisolatie minimaal klasse C
- De bovenste 50mm dak bestaat uit onbrandbaar materiaal (bijvoorbeeld grind)

Constructieve eisen

- Het dak moet voldoende draagkrachtig zijn; dit is afhankelijk van de bevestigingsmethode en hoogte/windzone waar de panelen worden geplaatst (raadpleeg constructeur).

Bijlage 1

Controle of PV mogelijk is bij bestaande bouw

Om te bepalen of het dak geschikt is voor toepassing van PV, dient het opgesplitst te worden in delen. Vaak heeft een gebouw/object meerdere daken met verschillende hoogtes, vormen en (zon)oriëntaties. Daarom zullen bij ieder dakdeel de vragen 1 tot en met 4 moeten worden gesteld.

Vraag 1:

‘Is het een monument of een beschermd stadsgezicht?’

Ga na wat voor status het gebouw heeft. Indien geen documentatie aanwezig is, raadpleeg de gemeente.

De status van een gebouw is bepalend voor het uiterlijk. Zo mag bij monumenten en beschermde stadsgezichten geen PV in het zichtveld worden toegepast. Voor andere gebouwen geldt de vraag wat daarover geregeld is in het omgevingsplan, bestemmingsplan of welstandsnota.

Indien het een monument is, ga door naar vraag 1A.

Aandachtspunten:

- Belangrijk is het onderscheid in beschermde monumenten: rijksmonumenten, provinciale monumenten en gemeentelijke monumenten. Als sprake is van een beschermd monument geldt voor vrijwel alle gemeenten dat daarvoor een omgevingsvergunning aangevraagd moet worden.
- Voor andere gebouwen geldt allereerst de vraag wat daarover (met name in het omgevingsplan, het bestemmingsplan of de welstandsnota) geregeld is.
- In de praktijk geldt voor beschermde objecten en structuren vaak de regel ‘akkoord indien niet zichtbaar’ m.u.v. beschermde monumenten binnen bepaalde gemeenten. Dit kan betekenen dat PV-panelen niet op beschermde monumenten worden aangebracht maar bijvoorbeeld op een niet-monumentaal bij- of buurtgebouw of nabijgelegen terrein (hier gaat in alle gevallen de voorkeur naar uit). Samenwerking met burens kan tot een goede (alternatieve) oplossing leiden (voor meer informatie over de toepassing van PV op monumenten zie document: ‘zonne-energie-plannen en monumenten, verwijzer voor vergunningverleners’).
- Houd bij beschermde monumenten rekening met een langere procedure voordat PV toegepast kan worden (nodig voor het aanvragen van een vergunning voor PV).

Voor meer informatie over de toepassing van PV op monumenten zie:

‘Zonne-energie-plannen en monumenten, wegwijzer voor huurders en eigenaren’ (gepubliceerd door Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed)

Vraag 1A:

‘Is het mogelijk PV buiten het zichtveld te plaatsen?’

Indien dit niet mogelijk is, kan op dit gebouw geen PV worden toegepast.

Bijlage 1

Vraag 2:

'Is het dak bereikbaar voor onderhoud en zijn er voldoende veiligheidsvoorzieningen aanwezig?'

Naar aanleiding van deze vraag moet worden vastgesteld hoeveel dakoppervlak beschikbaar is; het oppervlak van de onveilige zone en aanwezige installaties moet worden afgetrokken van het totale dakoppervlak (bij vragen of onduidelijkheden raadpleeg een veiligheidsdeskundige binnen A&T: er dient een RI&E opgesteld worden voor het betreffende dak voordat PV toegepast kan worden). Indien niet aan de eisen wordt voldaan, ga naar vraag 2A.

Eisen algemeen (richtlijn Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020)

Het dak moet voldoende bereikbaar zijn (route via gebouw of externe voorziening); wanneer dit met behulp van externe voorzieningen gebeurt, moet hier ruimte voor aanwezig zijn (bijvoorbeeld een steiger).

Eisen voor platte daken vanuit programma: Veilig werken op hoogte (Richtlijn: Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020)

- Een looppad vrijhouden van 0,5 meter breed voor onderhoud en veilig werken op hoogte (VWoH) (bij voorkeur buiten de onveilige dakrandzone van 4,0 meter).
- Wanneer het gehele dak wordt gelegd met PV-panelen, is het aanbrengen van permanente dakrandvoorziening tegen vallen van hoogte vereist. Indien niet mogelijk, plaats dan een valveiligheidslijn op 2,0 meter uit de dakrand met direct daarachter (van 2,0 tot 2,5 meter uit de dakrand) het looppad.
- Dakisolatie die belast wordt door bevestigingspunten van VWoH-voorzieningen, moet voldoen aan begaanbaarheidsklasse D volgens BRL 1309 (minimaal 80 kPa).

Belangrijk: wanneer een dak smaller is dan 8 meter in lengte of breedte, geen valveiligheidslijn of opstaande dakrand aanwezig is en geen veilige zone, dan kunnen geen pv-panelen worden geplaatst.

Opmerkingen voor schuine/gebolde daken vanuit programma: Veilig werken op hoogte

- Een hoogwerker is het meest veilige systeem om op schuine daken PV-panelen te onderhouden (is hier voldoende ruimte voor aanwezig?).
- Veilig werken en lopen door de goot brengt extra veiligheidsrisico's met zich mee. Goten zijn niet constructief aantoonbaar veilig.
- Een meervoudig nokrailsysteem is veiliger dan enkelvoudige dakhaken, mits aantoonbaar veilig verankerd volgens 5-stappenplan constructieve veiligheid (zie richtlijn zonnepanelen op daken). Dit zijn vooralsnog de enige twee valveilige systemen om veilig werken op hoogte bij schuine daken mogelijk te maken.
- Een combinatiesysteem waarbij de onderconstructie voor PV-panelen tevens dienstdoet als VWoH-systeem, dient aan het 5-stappenplan constructieve veiligheid (zie richtlijn zonnepanelen op daken) getoetst te worden.

Bijlage 1

Vraag 2A:

‘Is het gepland dat deze voorzieningen er komen?’

Vanuit veilig werken op hoogte is niet acceptabel dat (onderhoud)installateurs een dak betreden waar geen of niet voldoende veiligheidsvoorzieningen aanwezig zijn. Wacht met plaatsen van PV-panelen op daken tot deze voorzieningen aanwezig zijn. Dit kan betekenen dat op dat moment geen PV kan worden toegepast, maar bij het volgende natuurlijk ingrijpsmoment zodat de vereiste veiligheidsvoorzieningen samen met de PV aangebracht worden. Ook dient een RI&E opgesteld te worden door een veiligheidsdeskundige binnen A&T.

Opmerking voor platte daken: wanneer nog veiligheidsvoorzieningen geplaatst moeten worden heeft dit invloed op het dakoppervlak waar PV toegepast mag worden

- Wanneer een opstaande dakrand van 1 meter hoog aanwezig is mag tot 1 meter van de dakrand gelegd worden
- Wanneer er een valveiligheidslijn aanwezig is kan PV tot 2-2,5 meter van de dakrand worden geplaatst
- Indien geen opstaande dakrand of valveiligheidslijn aanwezig is, geldt de eerste 4 meter vanuit de dakrand als onveilige zone; hier mag geen PV worden toegepast.

Bijlage 1

Vraag 3:

'Is de materialisatie van het dak geschikt voor toepassing van PV en bedraagt de levensduur hiervan minimaal 5 jaar?'

Dit heeft betrekking op isolatie, dakafwerking, paneel(materialisatie)type en minimale afstand tussen dak en paneel. Indien niet wordt voldaan aan onderstaande (bouwkundige en brandveiligheid) eisen of het onduidelijk is, wordt geadviseerd een bouwkundige en/of brandveiligheidsexpert te raadplegen (over alternatieven). Stem af welke materialisatie-eisen nodig zijn en ga door naar vraag 3a:

Eisen met betrekking tot de materialisatie van dakpakket en PV-panelen (conceptrichtlijn: Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020)

- Begaanbaarheid nieuwe dakisolatie minimaal klasse C volgens BRL1309, in combinatie met twee-laagse bitumineuze dakbedekking.
- Indien kunststof dakbedekking van toepassing: alleen EPDM, dikte membraam minimaal 2,0mm. Begaanbaarheid dakisolatie minimaal Klasse D volgens BRL1309.
- De materialisatie van dak en paneel dient te voldoen aan eisen behorend bij de betreffende risicocategorie, zie tabel 1 en 2 dak-en paneelmaterialisatie (volgende de conceptrichtlijn: Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020).
- De levensduur van het dakpakket bedraagt minimaal 5 jaar (wanneer PV wordt toegepast op een dak hiervoor niet voor ontworpen, degradeert de levensduur door extra belasting of beschadiging; dit is onwenselijk). De ideale situatie is de combinatie van plaatsen van PV-panelen met toepassing van een nieuw dakpakket.

Soort bouwwerk	Risicocategorie*
Monument onder lokaal belang	3
Monument lokaal belang ⁶	2
Monument boven lokaal of regionaal belang ⁶	1
Monument boven regionaal of nationaal belang ⁶	1
Monument boven nationaal belang ⁶	1
Kantoor algemeen	3
Kantoor ministerie	1
Kantoor specialty	n.t.b.
Rechtbank	2
Gevangenis	1
Logiesgebouw	2
Paleis	2
Overige specialty	n.t.b.
Industrie defensie, wel van belang slagkracht	n.t.b. (1)
Industrie defensie, niet van belang slagkracht	n.t.b. (3)
Datacenter	Geen PV-panelen op dak toepassen

Tabel 1

**Aanvullend op weergegeven inschaling is het bij sommige gebouwen te overwegen om in het kader van brandveiligheid helemaal geen PV-panelen aan te brengen. Dit is een politieke/bestuurlijke afweging. Denk bijvoorbeeld aan gebouwen met een cultuurhistorische waarde.*

Bijlage 1

Risico-klasse	Plat dak	Hellend dak*
<u>1</u>	• Bovenste 50 mm van het dak bestaat uit onbrandbaar materiaal (bijv. grind, vegetatiedak) • PV-panelen van het type glas-glas • Isolatie bestaat uit minerale wol • Afstand tussen PV-panelen en dak bedraagt minimaal 200 mm (i.o.m. constructeur/fabrikant)	• Dakvlak bestaat uit leien of dakpannen • PV-panelen zijn van het type glas-glas • Isolatie bestaat uit minerale wol • Afstand tussen PV-panelen en dak wordt zo groot mogelijk gemaakt (i.o.m. constructeur/fabrikant)
<u>2</u>	• PV-panelen van het type glas-glas • Isolatie bestaat uit minerale wol • Afstand tussen PV-panelen en dak bedraagt minimaal 200 mm (i.o.m. constructeur/fabrikant)	• Dakvlak betreft geen rieten dak • PV-panelen zijn van het type glas-glas • Isolatie bestaat uit minerale wol • Afstand tussen PV-panelen en dak wordt zo groot mogelijk gemaakt (i.o.m. constructeur/fabrikant)
<u>3</u>	• PV-panelen van het type glas-glas of glas-folie • Isolatie bestaat uit minerale wol of PIR • Afstand tussen PV-panelen en dak bedraagt minimaal 200 mm (i.o.m. constructeur/fabrikant)	• PV-panelen zijn van het type glas-glas of glas-folie • Isolatie bestaat uit PIR / minerale wol • Afstand tussen PV-panelen en dak wordt zo groot mogelijk gemaakt (i.o.m. constructeur/fabrikant)

Tabel 2

*mogelijk wordt ook aan risicocategorie 2 voldaan doormiddel van kunstschuim-isolatie die voldoet aan brandklasse B volgens NEN-EN13501-1 (naakt product), indien voorzien wordt in een brandwerende scheiding onder de isolatie.

Aandachtspunten met betrekking tot de materialisatie van het dakpakket

- Bepaalde edelmetalen gaan niet samen met metaal, reactie op elkaar (elektrolyse). Onderzoek dit bij plaatsing van metalen frame (bijvoorbeeld) aan koperen dak (met name schuine daken). Bij twijfel raadpleeg een bouwkundige binnen A&T.
- Asbesthoudende platen zijn ongeschikt voor toepassing van PV. Indien asbesthoudende golfplaten zijn toegepast, raadpleeg programma asbest.
- Alle risico's moeten inzichtelijk worden gemaakt + samenstelling van bestaande (of nieuwe) dakafwerking.

Vraag 3A.

'Is het mogelijk de materialisatie te wijzigen?'

De materialisatie dient gewijzigd te worden naar de eisen zoals eerder beschreven (zie vraag 3) of het alternatief dat is voortgekomen uit overleg met een bouwkundige of brandveiligheid-expert. Wanneer de dakafwerking niet voldoet aan de materialisatie eisen of minimale resterende levensduur (5 jaar) moet het dak integraal vernieuwd worden. Indien dit niet wordt gedaan, is het niet raadzaam PV-panelen te plaatsen.

Dit resulteert in bijkomende kosten:

- Deze kosten zijn project-specifiek (raadpleeg een kostendeskundige binnen A&T)
- Mogelijke complicaties en kosten voortkomend uit aanwezige installaties op het dak, indien deze niet onbeschadigd verplaatst kunnen worden.

Ter overweging:

Wanneer een dakpakket vroegtijdig vervangen wordt is de vraag: weegt de materiaalverspilling op tegen de duurzame energieopwekking van de PV-installatie?

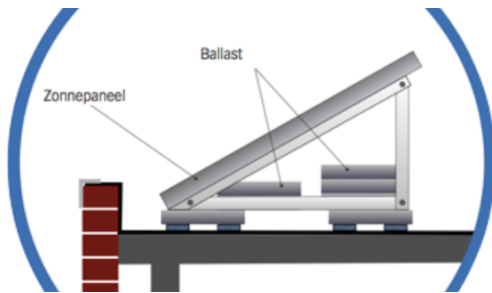
Bijlage 1

Vraag 4:

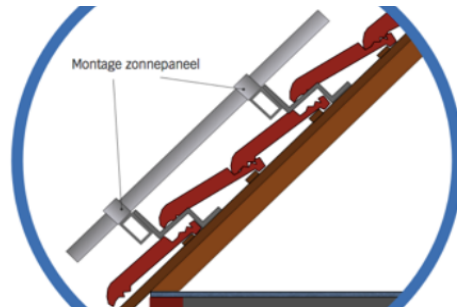
'Is het dak plat of hellend/gebold? Bepaal de constructieve bevestigingsmethode

Opmerking

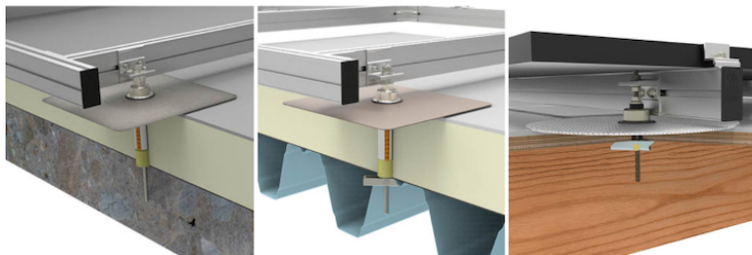
- Bij een plat dak is de eerste voorkeur het toepassen van een bevestiging doormiddel van ballast; als dit niet mogelijk is overweeg een door-en-door bevestiging.



Figuur 1 bevestiging doormiddel van ballast (plat dak)



Figuur 2 bevestiging door-en door schuin dak



Figuur 3 Bevestiging door-en door plat dak

Mogelijke bevestigingsmethoden:

- Doormiddel van ballast (alleen mogelijk bij platte daken), zie figuur 1
- Door-en-door (zowel mogelijk bij platte als hellende/gebolde daken), zie figuur 2 en 3

Voordelen ballast bevestiging:

- Vanuit bouwkundig en bouwfysisch opzicht wenselijker. Het is minder bewerkelijk en heeft lagere kosten.
- Het dakpakket/constructie wordt niet aangetast/doorboord, waardoor minder (mogelijke) bouwkundige en bouwfysische risico's optreden.

Voordelen door-en-door bevestiging:

- Constructief wenselijker, minder kans op verplaatsing van installatie
- Toepasbaar bij minder draagkrachtige daken
- Toepasbaar op hoogbouw en in extremere windzones

Opmerking:

- Vanaf een hoek van 4 graden wordt een dak beschouwd als hellend/gebold

Als het dak hellend of gebold is, ga door naar vraag 4A; indien het dak plat is ga door naar vraag 4B

Bijlage 1

Vraag 4A:

‘Is het hellende/gebolde dak op het noorden georiënteerd?’

Wanneer een hellend/gebold dak op het noorden is georiënteerd, wordt PV als niet rendabel beschouwd: pas in dit geval geen PV toe.

Vraag 4B:

‘Is het dak draagkrachtig genoeg? Is de bevestiging haalbaar?’

De benodigde draagkracht van het dak is afhankelijk van de bevestigingsmethode. Voor bevestiging doormiddel van ballast is meer extra draagkracht nodig dan bij door-en-door bevestiging. De eisen m.b.t. windzuiging waaraan de constructieve bevestiging moet voldoen vanuit wet-en regelgeving, (NEN7250) worden bepaald door de combinatie van plaatsingshoogte, betreffende windzone en bevestigingsmethodiek.

Indien plat dak, raadpleeg constructeur of de gewenste bevestigingsmethode mogelijk is en pas PV wel of niet toe; indien het dak hellend/gebold is, kan alleen door-en-door bevestiging worden toegepast. Houd hierbij rekening met de afstand tussen paneel en dak.

Opmerking

Daken voorzien van een betonnen (constructieve) draagstructuur hebben vaak overcapaciteit in draagkracht.

Aandachtspunten (algemeen)

- Bestaande houten dakconstructies kunnen vaak het gewicht van geballaste draagsystemen niet aan.
- Vanuit kostenefficiënte heeft het de voorkeur gebruik te maken van aluminium onderconstructies vanuit de markt. Wanneer de aluminium onderconstructies onvoldoende aantoonbaar sterk worden bevonden, dient eigenhandig een onderconstructie te worden gemaakt afgestemd op de dakconstructie: hiervoor is een stappenplan voor constructieve veiligheid opgesteld. Een register-constructeur o.g. moet de onderconstructie hieraan toetsen of zelf uitvoeren, inclusief vier ogen toets (conceptrichtlijn: Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020).
- Houd rekening met hoge bijkomende kosten wanneer het dak versterkt moet worden (raadpleeg een kostendeskundige binnen A&T).

Specifiek voor hellende daken

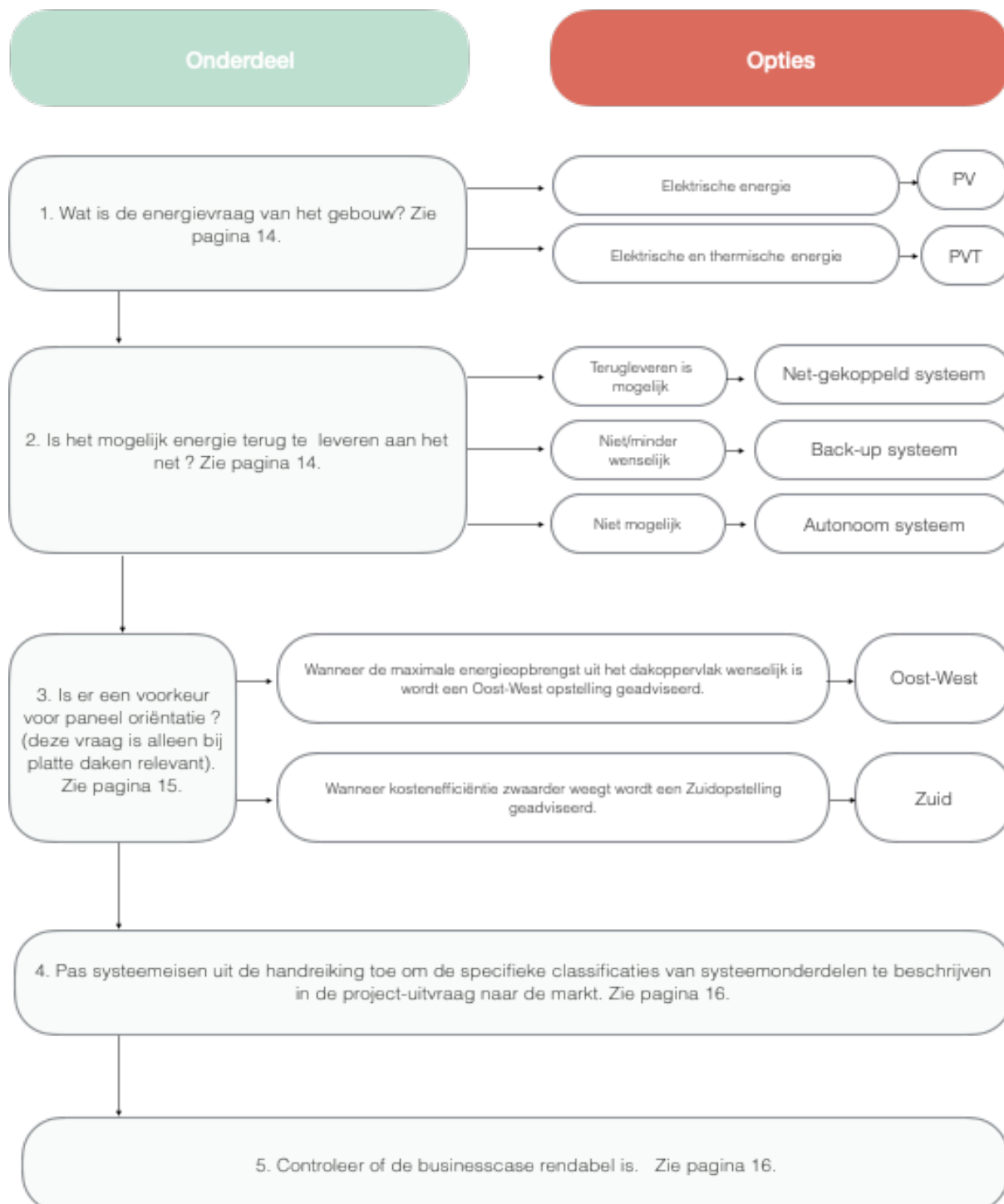
- Wanneer ‘door-en-door’ bevestiging wordt toegepast, moeten panelen aan (constructieve) balken worden bevestigd (het is vaak niet aantoonbaar dat panelen de extra ballast aankunnen). Dit is alleen relevant voor hellende daken.

Bijlage 1

Schema 2: 'Specificatie installatie'

Specificatie installatie

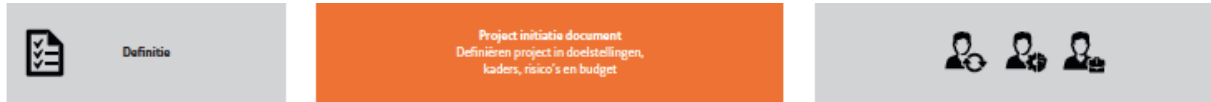
Dit is de vervolgstap wanneer is vastgesteld dat PV-panelen toepasbaar zijn op het dak van een gebouw. Het doel van dit schema is het creëren van beeldvorming over de (mogelijke) installatievorm-en onderdelen. Dit moet bijdragen aan de keuze welke specifieke eisen worden gesteld aan de PV- installatie in de marktvraag. De stappen uit dit schema kunnen ook een marktpartij worden uitbesteed.



Bijlage 1

Achtergrondinformatie vragen/stappen schema 2

Deze paragraaf omvat achtergrondinformatie en randvoorwaarden behorend bij het stroomschema 'specificatie installatie'. De informatie uit stap 1 tot en met 4 is gebaseerd op het uitgevoerde onderzoek naar PV-installatieonderdelen-en vormen. De specifieke eisen geformuleerd bij stap 5, zijn gebaseerd op de conceptrichtlijn: 'Veiligheid PV-systemen op daken', versie 17-06-2020. Deze richtlijn is nog 'onder motie', dit betekent dat bepaalde specifieke eisen nog niet definitief zijn. Dit stroomschema kan worden toegepast in de definitieve fase door een projectmanager of technisch manager.



Doel stroomschema

- Creëren van beeldvorming over (mogelijke) installatievorm-en onderdelen.
- Draagt bij aan formulering van specifieke eisen voor PV- installatie in de marktvraag.

Afbakening

De stroomschema's zijn bestemd voor:

- Bestaande en nieuwe daken
- Zowel hellende als platte daken;
- Glas-folie en glas-glas PV-panelen.

De stroomschema's zijn niet bestemd voor:

- Indak-systemen;
- PV-panelen in of aan gevel;
- Andere PV-systemen dan glas-folie en glas-glas panelen.

Bijlage 1

Keuze Installatiedelen

Stap 1:

‘Wat is de energievraag van het gebouw?’

De energievraag wordt bepaald door de functie van het gebouw en verwarmingssysteem. Wanneer grote vraag is naar warm tapwater (bijvoorbeeld bij een logiesfunctie) en hiervoor een centrale voorziening aanwezig is, of indien het gebouw gebruik maakt van een warmtepomp om te verwarmen, kan worden overwogen Photovoltaic thermic-panelen (PVT) toe te passen.

Energievraag gebouw

- Elektrische energievraag (pas PV toe)
- Elektrische en thermische energievraag (overweeg PVT toe te passen)

Aandachtspunt: bij toepassing van PVT dient naast een elektra netwerk ook een waterleiding netwerk van de installatie naar de wateraansluiting van het gebouw aangelegd te worden. De aanschafkosten van PVT zijn hoger dan die van PV; neem dit mee in de businesscase.

Stap 2:

‘Is het mogelijk energie terug te leveren aan het net?’

In Nederland is het meestal geen probleem terug te leveren aan de netleverancier. Wanneer een situatie zich voordoet waar geen netaansluiting aanwezig is of teruglevering vanuit de netleverancier niet gewenst is, kan worden gekozen voor alternatieve systeemvormen. Er zijn drie optionele systeemvormen:

- Een autonoom systeem (dit is niet gebruikelijk in Nederland)
- Een back- up systeem
- Net-gekoppeld systeem

Een autonoom systeem is niet aangesloten op het elektranetwerk. Bij deze systeemvorm wordt energie direct gebruikt of tijdelijk opgeslagen in accu's (vanwege benodigde opslagcapaciteit is dit systeem duurder in aanschaf). Een back-up systeem is aangesloten op het elektranetwerk en voorzien van een bepaalde opslagcapaciteit. Wanneer het niet wenselijk is energie direct terug te leveren aan het net, kan deze (tijdelijk) worden opgeslagen in accu's; ook dit systeem is door de extra accu capaciteit duurder in aanschaf. Een net-gekoppeld systeem levert alle elektriciteit die niet direct wordt gebruikt, terug aan het net.

Opmerking

- De vergoeding voor terugleveren van energie verschilt per leverancier. Deze vergoeding is vaak lager dan de kosten van afname. De verhouding tussen gebruikte energie en terug te leveren energie heeft grote impact op de businesscase voor het plaatsen van PV.
- Houd rekening met de capaciteit van het elektra-netwerk in het gebouw; deze moet toereikend zijn voor de hoeveelheid op te wekken energie (raadpleeg een elektrotechnicus).
- Houd rekening met mogelijk bijkomende kosten bij bestaande bouw (raadpleeg een kostendeskundige binnen (A&T).

Bijlage 1

Stap 3:

‘Welke opstellingsoriëntatie heeft de voorkeur?’

Gebruikelijke opstellingen: (traditionele) zuid-opstelling (figuur 4) en oost-westopstelling (figuur 5).

Uitgaande van de ideale paneelplaatsingshoek (zuid-opstelling 37 graden, oost-westopstelling 10-13 graden) en optimaal gebruik van beschikbaar dakoppervlak, kan het volgende worden gesteld:

Voordelen zuid-opstelling

- Hogere (energie)opbrengst per paneel
- Minder frequente schoonmaak (door grotere plaatsingshoek)
- Lagere investeringskosten per vierkante meter (beschikbaar) dakoppervlak

Voordelen oost- west opstelling

- Hogere opbrengst per vierkante meter (beschikbaar) dakoppervlak
- Meer panelen per vierkante meter (ca. 30%)
- Start eerder op de dag met opwekken en gaat langer door
- Geleidelijke verdeling opwekking over de dag (hierdoor volstaat een omvormer met een lager maximaal vermogen of gaat de omvormer langer mee; daarnaast vinden netbeheerders dit prettig)

Conclusie: Wanneer maximale energieopbrengst uit het dakoppervlak wenselijk is, wordt een oost-west opstelling geadviseerd. Wanneer kostenefficiëntie zwaarder weegt, wordt een zuid-opstelling aangeraden.

Figuur 4 Zuid-opstelling



Figuur 5 Oost-Westopstelling



Bijlage 1

Stap 4:

‘Pas (installatie) systeemeisen uit de richtlijn toe’

Pas systeemeisen toe uit de conceptring ‘Veiligheid PV-systemen op daken, versie 17-06-2020’ om de specifieke classificaties van systeemonderdelen te beschrijven in de project uitvraag naar de markt. Op de volgende pagina’s worden deze (elektrotechnische) systeemeisen weergegeven. Houd bij de paneelmaterialisatie rekening met de brandveiligheid risicocategorie. Deze systeem eisen hebben betrekking op:

- Paneel eisen
- Omvormer eisen
- Eisen m.b.t. elektrabekabeling en montage
- Eisen m.b.t. connectoren
- Eisen m.b.t. bliksembeveiliging en aarding
- Eisen m.b.t. noodstroom/brandweerschakelaar
- Inspectie eisen
- Ontwerp eisen m.b.t. (brand)veiligheid en constructieve bevestiging, zie richtlijn

Aandachtspunten

- Voorkom crossmatching
- Pas rekenschema toe uit conceptring om onderconstructie te controleren wanneer aluminium onderconstructies onvoldoende aantoonbaar sterk worden bevonden.

Stap 5:

‘Controleer of de businesscase rendabel is’

Raadpleeg een kostenadviseur binnen A&T. Wanneer een marktpartij een volledig PV-installatieplan heeft uitgewerkt is duidelijk wat de exacte kosten van de installatie zullen zijn. Deze kosten kunnen worden vergeleken met het (energie) afnametarief. Op deze manier kan de terugverdientijd worden berekend en vastgesteld worden of het rendabel is PV-installatie toe te passen.

Aandachtspunten

- Houd rekening met de verwachte termijn dat het gebouw binnen de RVB-portefeuille blijft.

Bijlage 1

Uitvoeringseisen elektrische PV-installatie

Afkortingen en definities:

- AC Alternate Current. Dit staat voor wisselstroom, meestal wordt hiermee de netspanning bedoeld
- DC Direct Current. Dit staat voor gelijkstroom
- EBI Eerste of bijzondere inspectie
- IP Ingress protection; Dit geeft een mate van bescherming aan.
- kWh: kilowatt uur.
- Led Light emitted diode, lamp op basis van led technologie.
- LEMP elektromagnetische impuls veroorzaakt door blikseminslag.
- LPS Bliksembeveiligingsinstallatie.
- MC4 Multi-Contact connector van 4 mm, enkelpolige connector voor PV-installaties ontworpen door Stäubli.
- MPPT Maximum Power Point Tracking. Dit is een techniek die steeds het beste rendement van het PV-paneel opzoekt bij de op dat moment beschikbare zoninstraling.
- NSA Noodstroom aggregaat.
- PV Photo Voltaic. Dit staat voor licht en spanning, en is de technische benaming voor een zonnepaneel.
- PERC Passivated Emitter Rear Contact. Dit is een techniek waarbij warmteontwikkeling achter het paneel gereduceerd wordt.
- RVB Rijksvastgoedbedrijf
- RVS Roestvast staal.
- SPD Overspanningsbeveiliging.
- String Een string is een elektrisch DC-circuit waarin tenminste twee PV-panelen en een omvormer/optimizer in serie met elkaar gekoppeld zijn.
- Transiënt Betekent letterlijk tijdelijke aard. Een spanningsverhoging van tijdelijke aard zoals bij een blikseminslag op of nabij het object.
- UV Ultraviolet, Ultraviolette straling (niet zichtbaar licht wat bij zonlicht voorkomt).

1.1 Eisen panelen

1. PV-panelen voor bouwwerken dienen (conform de betreffende datasheet) tenminste aan de volgende eisen te voldoen. PV-panelen¹:

- zijn van het type glas-glas, en;
- zijn gekwalificeerd volgens de normen: IEC 61215i | IEC 61730ii | IEC 61701iii | IEC62804iv, en;
- hebben een beschermingsklasse van tenminste IP67, en;
- dienen een standaard productgarantie van ≥ 20 jaar*, af fabriek te hebben, en;
- bestaan uit warmte-reducerende PERC cellen (Passivated Emitter Rear Contact), en;
- zijn zowel zoutnevel-als ammoniakbestendig.

2. In afwijking van eis 1 mogen bij bouwwerken van risicocategorie 3, voor stallingsplaatsen en terreinen, ook PV-panelen toegepast worden welke tenminste aan de volgende eisen voldoen:

PV-panelen:

- zijn van het type glas-folie, (N-type) en;
- zijn gekwalificeerd volgens de normen: IEC 61215 | IEC 61730 | IEC 61701 | IEC 62804, IEC 62716v en;
- hebben een beschermingsklasse van tenminste IP67, en;
- dienen een standaard productgarantie van ≥ 20 jaar*, af fabriek te hebben, en;
- zijn zowel zoutnevel-als ammoniakbestendig.
- de fabrikantproduct-en vermogen garantie dient overdraagbaar zijn te zijn, en voor/bij oplevering overgedragen te worden aan het Rijksvastgoedbedrijf.

* In het kader van veiligheid is een productgarantie van 20 jaar afdoende. Op basis van duurzaamheidsambities kunnen hogere productgaranties en mogelijk vermogensgaranties worden gevraagd in een aanbestedingstraject.

Bijlage 1

1.2 Eisen omvormers

3. Van navolgend beschreven apparatuur dienen de gestelde eisen uit de betreffende datasheet en/of handleiding te herleiden zijn.

4. Omvormers en (power-)optimizers dienen een productgarantie van tenminste 20 jaar*, af fabriek, te hebben. Micro-omvormers dienen een productgarantie van tenminste 20 jaar*, af fabriek, te hebben; de fabrikantproduct garantie dient overdraagbaar zijn te zijn, en voor/bij oplevering overgedragen te worden aan het Rijksvastgoedbedrijf.

5. Omvormers dienen een beschermingsklasse van tenminste IP65 te hebben, en micro-omvormers als (power) optimizers dienen een beschermingsklasse van tenminste IP67 te hebben.

6. PV-string omvormers dienen buiten onder een afdak aan de kopse zijde (oost/west of noord/zuid opstelling) of nabij de PV-panelen in een kast of onder een afdak geplaatst te worden opdat deze goed bereikbaar zijn en niet bloot staan aan weersomstandigheden.

7. PV-string omvormers dienen op een toegankelijke plaats gemonteerd te worden zodat deze veilig, zonder extra gereedschap en/of veiligheidsmaatregelen bereikbaar zijn voor onderhoud en/of inspectie.

8. PV-micro omvormers/(power-)optimizers, dienen onder het paneel (of onder een per twee/vier bij dubbele/quattro input) gemonteerd te worden.

9. Alleen PV-omvormers en micro-omvormers die van DC naar AC omvormen, mogen toegepast worden.

10. In elke DC-string (zie definitie) wordt vlamboogdetectie toegepast en deze is geactiveerd². Een vlamboogdetector schakelt na detectie de betreffende string direct naar een veilige toestand (zie nooduit circuit). Een afgeschakelde string dient handmatig gereset te worden alvorens weer in bedrijf te kunnen komen. Indien slechts één PV-paneel is aangesloten op één ingang van een micro omvormer/(power-)optimizer dan mag vlamboogdetectie in dit circuit achterwege blijven (deze eis geldt niet bij een weiland/open terrein opstelling).

* In het kader van veiligheid is een productgarantie van 20 jaar afdoende. Op basis van duurzaamheidsambities kunnen hogere productgaranties en mogelijk vermogensgaranties worden gevraagd in een aanbestedingstraject. E.e.a. ter beoordeling aan de bij het project betrokken expert duurzaamheid. Definitief v1.0 | Veiligheid PV-systemen op daken | 17 juni 2020

11. Het serieel doorkoppelen van PV-panelen is niet toegestaan. Elk PV-paneel dient te worden aangesloten op een onafhankelijke MPPT (Maximum Power Point Tracking) via een eigen (power-) optimizer en/of micro omvormer (deze eis geldt niet bij een weiland/open terrein opstelling).

12. Elke PV-string (zie definitie) dient veilig afgeschakeld en gescheiden te kunnen worden door een externe DC-vermogensschakelaar⁴ welke binnen handbereik van de omvormer is geplaatst. Bij een - actief - veilig DC-spanning systeem (dwz <120V zoals SafeDC van SolarEdge of bij DC/AC-micro- omvormers per paneel) mag de DC-vermogensschakelaar achterwege blijven.

13. Elke PV-omvormer dient veilig afgeschakeld en gescheiden te kunnen worden door een externe AC-vermogensschakelaar⁴ welke binnen handbereik van de omvormer is geplaatst. Elke voedende kabel die naar een set micro-omvormers gaat dient veilig afgeschakeld en gescheiden te kunnen worden door een externe AC-vermogensschakelaar⁴ welke binnen handbereik van de eerste omvormer is geplaatst.

14. Aanvullende beheerseis: bewaking en analyse van de systeemprestaties van elk paneel evenals elke omvormer dient via ethernet op afstand uitgelezen te kunnen worden (deze eis geldt niet op een terrein/bouwwerk van defensie)

1.3 Eisen elektra bekabeling en montage

15. DC-kabels naar componenten worden niet in lussen gelegd (doorgelust), plus en min liggen altijd bij elkaar op hetzelfde kabeltracé (dit ter voorkoming van EMC interferentie, zie advies Agentschap Telecom⁵).

Bijlage 1

16. Elektrakabels, stekkers en overige elektrische componenten hebben een beschermingsklasse van tenminste IP67, zijn UV bestendig en kabels worden dubbel geïsoleerd uitgevoerd. (voor kabels welke in de grond gelegd worden, gelden de reguliere eisen uit de NEN1010).

17. DC-bekabeling is voldoende (max. 30 cm) ondersteund en vrij van scherpe randen/voorwerpen aangelegd en vastgezet.

18. DC-kabels mogen niet meer dan 30 cm vrije ruimte overspannen. Definitief v1.0 | Veiligheid PV-systemen op daken | 17 juni 2020.

19. Kabel doorvoeren en kabelwegen zijn vrij van scherpe randen. Voor kabelwegen mogen alleen RVS draadgoten van tenminste 150 mm breed toegepast worden. Kabelwegen bevinden zich tenminste 8 cm boven de dakbedekking.

20. Elektrakabels dienen zo aangelegd te zijn dat zij nergens in (een plas) water kunnen komen te liggen.

21. Kabelbinders (zoals Tie-wrap) mogen de isolatie van DC-kabels niet vervormen.

22. Kabels dienen zoveel mogelijk op kabelwegen gemonteerd te worden. Op kabelwegen dienen kabels met voldoende overlengte aangelegd te worden zodat temperatuurwijzigingen niet kunnen leiden tot (te) strakke kabels.

23. Kabels, connectoren, bouten/schroeven en overige componenten zijn vakbekwaam, en volgens voorschriften fabrikant bevestigd en vastgezet; wartels zijn vakbekwaam en op het juiste, door fabrikant voorgeschreven manier en moment, aangedraaid. (Ook onder de panelen).

24. Voor alle AC-kabels geldt: elke stroomketen moet een beschermingsleiding hebben die met de relevante aardklem is verbonden. (NEN1010:2015 art. 411.3.1.1) of het gehele systeem is voorzien van dubbel isolatie³ of versterkte isolatie (rubriek 412). *(Let op: niet alle aangeboden systemen voldoen hieraan.)*

25. Alle bovengrondse AC-kabels dienen tenminste in brandklasse Cca-s1,d1,a1 te zijn uitgevoerd, tenzij aan een hogere eis moet worden voldaan.

1.4 Eisen connectoren

26. Connectoren hebben (afgemonteerd) een beschermingsklasse van tenminste IP67, zijn UV bestendig en vergrendelbaar en zijn na montage daadwerkelijk vergrendeld.

27. Alleen stekker/contrastekker verbindingen van hetzelfde fabricaat/type mogen in het DC-deel toegepast worden⁶ (lees: geen cross matching). Dit geldt voor zowel kabels tussen PV-panelen; string kabels; schakelaars; zekeringhouders; (micro) omvormers als naar optimizers. Een combinatie is toegestaan wanneer van de specifieke combinatie van stekker en contrastekker is aangetoond dat deze:

- voldoet aan NEN EN IEC 62852 middels tests en;
- door een notified body vastgesteld is dat de materialen en de verbindingen dezelfde eigenschappen hebben.

Definitief v1.0 | Veiligheid PV-systemen op daken | 17 juni 2020

28. Connectoren dienen met het door de fabrikant voorgeschreven gereedschap (zoals voor krimpen, strippen, op moment aandraaien, ontgrendelen etc) gemonteerd en/of gedemonteerd te worden.

1.5 Eisen bliksembeveiliging en aarding

29. Indien er op een bouwwerk géén bliksembeveiligingsinstallatie(LPS) aanwezig is dan dient elke AC kabel van/naar de PV-installatie voorzien te worden van een (transiënte) overspanningsbeveiliging (SPD) tenminste type II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305). Deze SPD dient bij de overgang van buiten naar binnen in pandig geplaatst te worden.

Bijlage 1

30. Alle metalen delen (zoals draagconstructies en goten) dienen verbonden te worden met een veiligheidsaarding (beschermende vereffeningsleiding) en relevante aardklem (hoofdaardrail/-klem). De veiligheidsaarding is uitgevoerd in vertind koper van tenminste 6 mm².

31. Indien er op een bouwwerk (te beschermen object) wel een bliksembeveiligingsinstallatie (LPS) is aangebracht en de afstand tot de LPS en de PV-constructie/paneel is groter dan 50 cm, dan dient elke AC-kabel van/naar de PV installatie voorzien te worden van een (transiënte) overspanningsbeveiliging (SPD) tenminste type II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305). Deze SPD(s) dient(en) bij de overgang van buiten naar binnen in pandig geplaatst te worden. Een DC-string dient voorzien te zijn van een DC type I-overspanningsbeveiliging.

32. Alle metalen delen (zoals draagconstructies en goten) dienen verbonden te worden met een veiligheidsaarding (beschermende vereffeningsleiding) en de relevante aardklem (hoofdaardrail/-klem). De veiligheidsaarding is uitgevoerd in vertind koper van tenminste 6 mm².

33. Het ontwerp van zowel de PV-installatie als de bliksembeveiligingsinstallatie dient (qua inslag, aarding, overspanningsbeveiliging en schaduwwerking) op elkaar afgestemd te worden zodat alle beveiligingseisen als (bestaande) strategie (klasse/zone) instant gehouden wordt.

34. Indien op een bouwwerk (te beschermen object) wel een bliksembeveiligingsinstallatie (LPS) is aangebracht en de afstand tot de LPS en de PV constructie/paneel is minder dan of gelijk aan 50 cm, dan dient elke AC-kabel van/naar de PV-installatie voorzien te worden van een (transiënte) overspanningsbeveiliging (SPD) tenminste type I+II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305). Deze SPD(s) dient(en) bij de overgang van buiten naar binnen in pandig geplaatst te worden. Een DC-string dient voorzien te zijn van een DC type I-overspanningsbeveiliging.

Definitief v1.0 | Veiligheid PV-systemen op daken | 17 juni 2020

35. Alle metalen delen (zoals draagconstructies en goten) dienen verbonden te worden met een bliksempotentiaal vereffeningsleiding en relevante aardklem (hoofdaardrail/-klem). De bliksempotentiaal vereffeningsleiding is uitgevoerd in vertind koper van tenminste 16mm².

36. Het ontwerp van zowel PV-installatie als bliksembeveiligingsinstallatie dient (qua aarding, overspanningsbeveiliging en schaduwwerking) op elkaar afgestemd te worden zodat alle beveiligingseisen als (bestaande) strategie (klasse/zone) instant gehouden wordt.

37. Bij een weiland, open terreinopstelling of opstelling boven een stallingplaats (zoals fietsenstalling, parkeervak of externe opslag) dient een werkende bliksembeveiligingsinstallatie (conform NEN-EN-IEC 62305) geplaatst te worden welke is voorzien van de benodigde bliksemafleidings (opvangers en/of tuidraden), aardelektrodes, en (transiënte) overspanningsbeveiligingen (SPD). Het ontwerp van zowel PV-installatie als bliksembeveiligingsinstallatie is technisch en functioneel op elkaar afgestemd. Overspanningsbeveiliging (SPD) type I+II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305) dienen op de juiste plaats toegepast te worden. Indien uit het ontwerp blijkt dat het toepassen van DC-type 1 overspanningsbeveiliging nodig is dan dienen deze ook volgens voorschriften fabrikant geplaatst en aangesloten te worden.

38. (Her-)ontwerpen, (laten) toetsen, plaatsen, uitbreiden en/of aanpassingen aan de bliksembeveiligingsinstallatie en/of overspanningsbeveiligingen zijn onderdeel van het werk van de leverancier v/d PV-installatie.

1.6 Eisen nooduit-systeem⁷ / Brandweerschakelaar

39. Middels op afstand geplaatste nooduit knoppen dient de gehele installatie dubbelpolig, zowel AC-zijdig, DC-zijdig evenals elke DC-string (zie definitie) naar een brand- en aanrakingsveilige (<50V bij AC, <120V bij DC) toestand gebracht te worden. Deze nooduit knoppen dienen zichtbaar en bereikbaar geplaatst te worden nabij de (hoofd) ingang van elk gebouw evenals bij alle toegangen (binnenzijde) tot het dak waar zich PV-installaties bevinden. Een nooduitknop is uitgevoerd in de kleur rood, heeft een draaiontgrendeling en is herkenbaar gemarkeerd (zie figuur 712.1 van de NEN1010) zodat het duidelijk is dat het om PV-panelen gaat. In de directe nabijheid van de nooduitknop bij de (hoofd)ingang dienen twee signaal(led)lampen geplaatst te worden waarbij de witte LED's aangeven dat de PV-installatie in bedrijf is en rood knipperende LED's aangeven dat het nooduit-circuit geactiveerd is (bij woningen, stalling plaatsen als open terrein installaties mag een nooduit-systeem achterwege blijven). Definitief v1.0 | Veiligheid PV-systemen op daken | 17 juni 2020

Bijlage 1

40. Bij een bouwwerk kan een brandweerschakelaar buiten aan de gevel nabij de ingang op de begane grond gewenst zijn (de objectmanager van het RVB bepaalt in overleg met gebruiker en/of bedrijfsbrandweer).

A.7 Eisen opbrengstregistratie

41. Eisen omtrent het al dan niet toepassen van opbrengstregistratie (bruto energie bemetering) dient nog nader door de directie Vastgoed Beheer ingevuld/aangevuld te worden.

A.8 Noodstroomaggregaat

42. Indien een PV-installatie op een bouwwerk en/of terrein met een noodstroomaggregaat(NSA) aangesloten wordt, dient de gehele PV-installatie automatisch afgeschakeld te worden zodra een NSA start (een PV-installatie mag nooit invoeden/actief zijn tijdens NSA bedrijf).

43. Indien een PV nooduit-systeem aanwezig is/komt, dient het nooduit-circuit van de PV-installatie automatisch geactiveerd te worden zodra een NSA start.

A.9 Inspectie

44. Momenteel is SCIOS Scope 12 “Inspecties van Zonnestroominstallaties” in voorbereiding en cursussen als examens zullen medio 2020 beschikbaar zijn. Vanaf 01-01-2021 is voor elke op te leveren PV-installatie een EBI keuring (met rapport) verplicht conform SCIOS Scope 12. Het SCIOS Scope 12 rapport, met positieve conclusie, is onderdeel van de opleverdocumenten.

A.10 Ontwerp eisen

a. Bij opstelling van een PV-installatie op een gebouw mogen PV-panelen – vanwege toegankelijkheid, onderhoudbaarheid, mogelijkheid tot inspectie evenals reiniging – in principe zoveel mogelijk op het platte deel van een dak gemonteerd worden. Toepassingen op hellende daken zijn toegestaan ofschoon dit niet de voorkeur heeft.

b. Zogenaamde “indak” systemen mogen alleen toegepast worden na goedkeuring van de betreffende adviseurs van de directie T&P / Architectuur en Techniek of directie VB Definitief v1.0 | Veiligheid PV-systemen op daken | 17 juni 2020 /Expertise Centrum Techniek (dit ivm controle op brandveiligheid/ constructie eisen/ elektrotechnische veiligheid).

c. Gevelmontage mag alleen bij uitzondering toegepast worden na goedkeuring van de betreffende adviseurs van de directie T&P/ Architectuur en Techniek of directie VB /Expertise Centrum Techniek (dit ivm controle op brandveiligheid/ constructie eisen/ elektrotechnische veiligheid).

d. Het aandraaien van bouten wordt gedaan volgens de voorgeschreven aandraaimomenten. Controle met monumentsleutel geschiedt op elke bout en na goedkeuring wordt deze verbinding “afgelakt” met zegellak⁸ welke voor dit doel en buitengebruik geschikt is.

e. Voor aan te leggen PV-installaties worden de eisen uit de NEN1010 gehanteerd, welke geldt voor nieuwbouw (lees: de laatst geldende versie van de NEN1010 dient toegepast te worden, oudere versies bevatten namelijk geen eisen).

f. Een PV-installatie mag overige installaties op het dak niet belemmeren, deze blijven voldoende vrij, bereikbaar, bruikbaar, onderhoudbaar en toegankelijk.

g. Tussen elke twee rijen panelen (oost/west of noord/zuid opstelling) zit een verhard (steen/rubber) looppad van tenminste 30 cm (tegelbreedte) om onderhoud-, inspectie-en/of schoonmaakwerkzaamheden uit te kunnen voeren.

h. Bij panelen met een enkele - zon georiënteerde - opstelling (zoals zuid) zit tussen elke rij panelen een verhard pad (steen/rubber looppad van tenminste 60 cm (2x tegelbreedte) om schoonmaak-, onderhoud-, en/of inspectiewerkzaamheden uit te kunnen voeren.

Bijlage 1

i. De PV-installatie is afgestemd op mogelijke schaduwwerkingen. Puntbelasting door schaduwwerking dient zoveel mogelijk vermeden of anders geminimaliseerd te worden (denk aan gebouwdelen, ornamenten, op-/uitbouw, bliksembeveiliging, schoorstenen, etc).

j. PV-panelen niet-parallel met het dak – al dan niet met ballast - dienen tenminste 10 cm van/boven de ondergrond/dakbedekking geplaatst te worden.

k. PV-panelen dienen zo opgesteld te worden dat de warmteafvoer van onder de PV-panelen als van de (micro) omvormers/optimizers ruim voldoende geborgd is. Indien bladeren, vogels of andere zaken de warmteafvoer kunnen belemmeren dan dienen hier technische maatregelen (zoals een afscherming van gaas) tegen genomen te worden.

l. Bij opstelling van een PV-installatie op een terrein of bij een stallingsplaats:

Definitief v1.0 | Veiligheid PV-systemen op daken | 17 juni 2020

- dienen alle kabels en componenten beschermd te zijn tegen het knagen van dieren of beschadigen door dieren;
- dient de onderzijde van de PV-panelen zich tenminste 80cm boven de grond te bevinden;-
- dienen alle installatiecomponenten voldoende hoog gemonteerd te zijn zodat deze (na stortregens) niet onderwater kunnen komen te staan;
- dienen kabels zo aangelegd te zijn dat machinaal maaien mogelijk is zonder dat de kabels kunnen beschadigen.

Aanvullende informatie/voetnoten

¹ PV-panelen van het fabricaat Solarwatt, types Vision 60M, Vision 60M STYLE Perc, Vision 60M Highpower PERC en Vision 36M glass voldoen hieraan;

² Een SolarEdge systeem gecombineerd met power-optimizers en SafeDC systeem met geactiveerde vlamboogdetectie voldoet hieraan;

³ Een Enphase systeem met micro-omvormers uit de IQ(7) serie aangesloten met Enphase Q-Kabel voldoet hieraan;

⁴ Een vermogensschakelaar is een schakelaar welke het volle vermogen (veelvuldig) veilig uit- en weer in- kan schakelen en heeft in uitgeschakelde toestand een voldoende veilige scheiding zodat er op een (Arbo) veilige manier gewerkt kan worden aan de omvormer. Let op: Elektronische componenten (zoals een diode/thyristor) kunnen géén veilige scheiding tot stand brengen;

⁵ <https://www.agentschaptetelecom.nl/onderwerpen/tips/voorkom-storingen-doorzonnepanelen;>

⁶ Het afknippen van bestaande stekkers kan een oplossing zijn, het argument “vervallen van garantie” is een niet valide argument om het te laten;

⁷ Indien het onder ² of ³ vermelde systeem toegepast wordt hoeft alleen het AC-deel (af)geschakeld te worden door het nooduit circuit;

⁸ Zegellak van het fabricaat/type LOCTITE SF 7414 is hier geschikt voor;

⁹ PV-panelen van het fabriikaat LG type NEON®R serie (LGxxxQ1C-V5) voldoen

Bijlage 2



Rijksvastgoedbedrijf
Ministerie van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties



Uitwerking PV-keuzeschema

Object: Overbuurtseweg 13, Bleiswijk

Naam: Casper Scheltes
Studentnummer: 345219

Datum: 14-01-2021
Plaats: Groningen

Bijlage 2

Inhoudsopgave

Object Details	2
Stroomschema 1 'Is PV mogelijk?'	3
<i>Vraag 1:</i>	3
Conclusie vraag 1:	3
<i>Vraag 2:</i>	3
Conclusie vraag 2:	3
<i>Vraag 3:</i>	4
Conclusie vraag 3:	4
<i>Vraag 4:</i>	5
Conclusie vraag 4:	5
<i>Vraag 4B:</i>	5
Ontwerp draagvermogen	5
Optie 1: 'Door-en-door' bevestigd PV-systeem	6
Optie 2: Geballast PV-systeem	7
Conclusie vraag 4b	10
<i>Conclusie schema 1 'Is PV mogelijk?':</i>	10
Stroomschema 2 specificatie PV-installatie	11
<i>Stap 1:</i>	11
<i>Stap 2:</i>	11
<i>Stap 3:</i>	11
<i>Stap 4:</i>	11
<i>Stap 5:</i>	11

Bijlage 2

Object Details

Object	100815G01
Adres	Overbuurtseweg 13 Bleiswijk, 2665CA
Functie	Bedrijfsruimte
Monument	Nee
Bouwjaar	1997



Afbeelding 1



Afbeelding 2

Het object is een opslag voor inbeslaggenomen spullen. Het betreft een van de versnellingsprojecten vanuit ZOD. Er zijn plannen om het dak te vervangen, waardoor dit een potentieel project is om PV-panelen toe te passen. Afbeelding 1 en 2 geven een impressie van het gebouw weer.

Bijlage 2

Stroomschema 1 'Is PV mogelijk?'

Vraag 1:

'Is het mogelijk PV buiten het zichtveld te plaatsen?'

Het gebouw is opgeleverd in 1997, het is geen monument:

Conclusie vraag 1:

Deze vraag levert geen belemmeringen op voor toepassing van PV-panelen.

Vraag 2:

'Is het dak bereikbaar voor onderhoud en zijn er voldoende veiligheidsvoorzieningen aanwezig?'

Volgens de uitgevoerde RI&E zijn er geen bezwaren m.b.t. de toegankelijkheid van het dak; deze is bereikbaar doormiddel van een dakluik vanuit het gebouw. Omdat er geen fysieke (permanente) dakrandvoorziening aanwezig is (bijvoorbeeld een opstaande dakrand van minimaal 1 meter hoog), worden de eerste vier meter vanuit de dakrand beschouwd als onveilige zone.

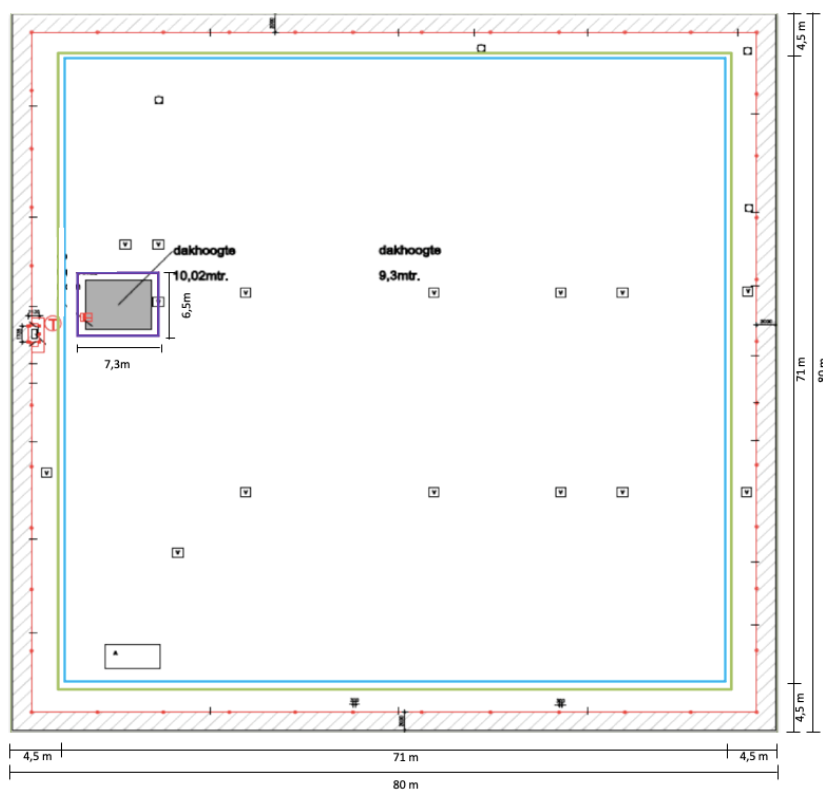
Op afbeelding 3 is de situering weergegeven. Gebouwafmetingen: $l \times b = 80 \times 80 = 6.400 \text{ m}^2$ dakoppervlak; de groene lijn kadert de veilige zone af. De rode lijn geeft de aanlijnvoorziening weer. Er dient een looppad van 0,5 meter rondom de panelen geplaatst te worden binnen de veilige zone. Uitgaande van een situatie waarin het maximale dakoppervlak wordt benut, betekent dat de buitenste 4,5 meter van de dakrand niet gebruikt kunnen worden voor een PV-installatie. Er blijft $71 \times 71 = 5.041 \text{ m}^2$ over, dit gebied is weergegeven met een blauwe lijn.

Ingeschat is dat ongeveer 80 m^2 hiervan niet bruikbaar is door aanwezige obstakels en de benodigde afstand tussen obstakels en PV-installatie. Dit onbruikbare oppervlak omvat luchtafvoerkanalen, bliksembeveiliging en een dakopbouw ($6,3 \times 5,5 \text{ m}$) + onbruikbare omliggende randstrook van een meter (totaal opbouw + randstrook $7,3 \times 6,5 \text{ m}$), zie paarse lijn afbeelding 3.

Dit betekent dat $5.041 - 80 = 4.961 \text{ m}^2$ dakoppervlak beschikbaar is voor toepassing van een PV-installatie, waarbij rekening gehouden dient te worden met het aanbrengen van looppaden (0,5 meter tussen de rijen panelen). Dit oppervlak wordt vastgesteld nadat de paneeloriëntatie en hoeveelheid te plaatsen panelen is bepaald in een legplan.

Conclusie vraag 2:

Deze vraag levert geen belemmeringen op voor toepassing van PV-panelen. Wanneer een PV-installatie wordt geplaatst is deze voldoende bereikbaar voor onderhoud en reparatie. Er is 4.961 m^2 dakoppervlak beschikbaar voor toepassing van een PV-installatie.



Afbeelding 3

Bijlage 2

Vraag 3:

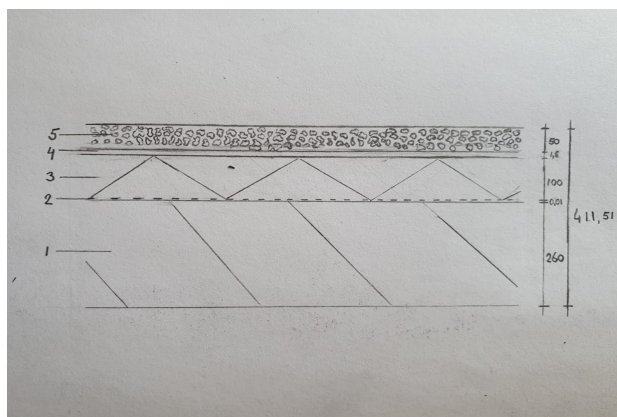
‘Is de materialisatie van het dak geschikt voor toepassing van PV en bedraagt de levensduur hiervan minimaal 5 jaar?’

Huidige situatie

Huidige opbouw dak (zie afbeelding 4), van binnen naar buiten, is als volgt:

1. Dakconstructie	Betonvloer (kanaalplaat)
2. Damp remmende laag	Polyethyleenfolie
3. Isolatiemateriaal	Steenwol
4. Dakbedekkingssysteem	Losliggende kunstofdakbanen, type PVC
5. Ballast laag	Grof grind, korrelgradatie 16/32, dik circa 50 mm

De begaanbaarheidsklasse voldoet aan de minimaal eis klasse D volgens BRL1309. Vanuit brandveiligheid voldoet de huidige dakopbouw aan de eisen van risicoklasse drie (steenwol). Het huidige dakpakket voldoet hiermee aan de eisen vanuit bouwkunde en brandveiligheid. Het dakpakket is aangebracht in 1997, de pvc-dakbedekking ligt tussen de 20 en 30 jaar. Dit betekent dat de dakafwerking een maximale technische levensduur van 7 jaar heeft. Er zijn plannen om de dakafwerking te vervangen.



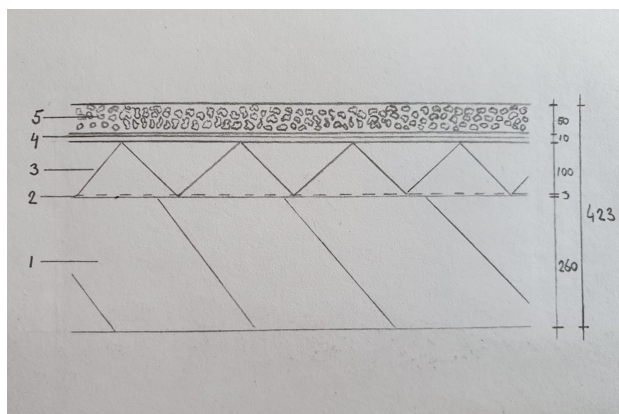
Afbeelding 4 schets dakopbouw huidige situatie

Nieuwe situatie

Nieuwe opbouw dak (zie afbeelding 5), van binnen naar buiten, is als volgt:

1. Dakconstructie	Betonvloer (kanaalplaat)
2. Damp remmende laag	Gebitumineerde polyester mat (volledig gekleefd);
3. Isolatiemateriaal	Polyisocyanuraatschuim (PIR), $R_c \geq 6,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$;
4. Dakbedekkingssysteem	Tweelaags losliggende APP-dakbanen;
5. Ballast laag	Grof grind, korrelgradatie 16/32, dik circa 50 mm

De begaanbaarheidsklasse voldoet aan de minimale eis (minimaal klasse C volgens BRL1309); vanuit brandveiligheid voldoet de dakopbouw aan de eisen van risicoklasse drie (PIR-isolatie). Het nieuwe (geplande) dakpakket voldoet hiermee aan de eisen vanuit bouwkunde en brandveiligheid. Omdat het dakpakket vervangen wordt is de verwachte levensduur langer dan 5 jaar.



Afbeelding 5 schets dakopbouw nieuwe situatie

Conclusie vraag 3:

De materialisatie en levensduur van het dakpakket leveren, zowel in huidige als nieuwe situatie, geen belemmeringen op wanneer een PV-installatie wordt toegepast.

Bijlage 2

Vraag 4:

'Is het dak plat of hellend/gebold? Bepaal de constructieve bevestigingsmethode

Het volledige dak is plat: een ballastconstructie heeft de voorkeur omdat dit minder bewerkelijk is en lagere kosten met zich meebrengt.

Conclusie vraag 4:

Een ballastconstructie heeft de voorkeur.

Vraag 4B:

'Is het dak draagkrachtig genoeg? Is de bevestiging haalbaar?'

Doormiddel van berekeningen is vastgesteld of het dak draagkrachtig genoeg is voor de extra belasting van een PV-installatie. Zowel voor een door-en door-bevestigde (optie 1) als een geballaste installatie (optie 2) is de berekening gemaakt.

Eerst is het ontwerp draagvermogen in kaart gebracht. Op afbeelding 6 en 7 zijn doorsneden van het gebouw weergegeven waarop de draagstructuur is te zien. De draagstructuur bestaat uit prefab betonnen kolommen, opgelegd met prefab betonnen balken. Het dak is opgebouwd uit betonnen kanaalplaten (260mm dik) met een veranderlijke (ontwerp) belasting van 2 kN/m^2 (zie afbeelding 8).

Ontwerp draagvermogen

Gebouwafmetingen: $l \times b \times h = 80 \times 80 \times 9,5\text{m}$

De huidige en nieuwe situatie (dakopbouw) hebben een vergelijkbaar gewicht. Onderstaande berekening (permanente belasting) is voor beiden representatief.

Draagvermogen dak

Bestaande dakopbouw	
Grof grind $50\text{mm} \times 16 \text{ kN/m}^3$	$= 0,80 \text{ kN/m}^2$
Dakbedekking	$= 0,10$
Isolatie (100mm)	$= 0,15$
Dampremmende laag	$= 0,05$
Kanaalplaten ($h = 260\text{mm}$)	$= 3,75$
Installaties	$= 0,15 \text{ kN/m}^2$
Totaal permanente belasting	$= 5,00 \text{ kN/m}^2$
Veranderlijke (ontwerp)belasting	$= 2,00 \text{ kN/m}^2$

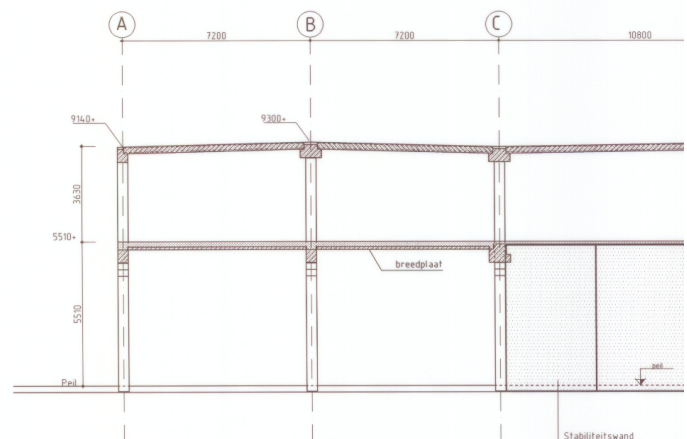
De karakteristieke waarde (q_{kar}) is de druksterkte van de betonnen constructie. De rekenwaarde (q_d) is de karakteristieke materiaalsterkte vermenigvuldigd met de veiligheidsfactor γ (volgens norm: NEN-EN 1990/NB:2019, tabel NB.4). De rekenwaarde wordt in de vervolgberekeningen gebruikt om vast te stellen of het dak voldoende draagkrachtig is voor de toepassing van een PV-installatie. De rekenwaarde mag hierbij niet overschreden worden.

Berekening ontwerp-draagvermogen

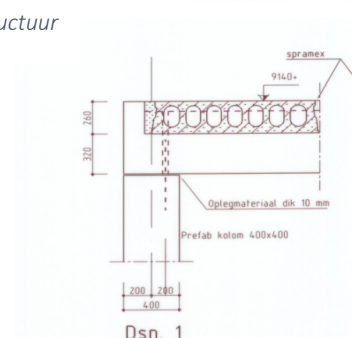
Karakteristieke waarde	$q_{kar} = 5,0 + 2,0 = 7,0 \text{ kN/m}^2$
Rekenwaarde (gevolgklasse CC2)	$q_d = 1,2 * 5,0 + 1,5 * 2,0 = 9,0 \text{ kN/m}^2$

Conclusie

Karakteristieke waarde	$(q_{kar}) = 7,0 \text{ kN/m}^2$
Rekenwaarde	$(q_d) = 9,0 \text{ kN/m}^2$



Afbeelding 6 doorsnede draagstructuur



Afbeelding 7 doorsnede draagstructuur



Afbeelding 8 dikte beton, var 2 kN/m^2

Bijlage 2

Optie 1: 'Door-en-door' bevestigd PV-systeem

Er is in kaart gebracht wat de nieuwe permanente (dak) belasting is wanneer een PV-installatie 'door-en-door' bevestigd aan het dak wordt toegevoegd. Op afbeelding 9 is weergegeven welke bevestiging dit betreft. Afbeelding 10 en 11 schetsen de detaillering van de bevestiging in de case van Bleiswijk. Hierbij is uitgegaan van de nieuwe situatie dakopbouw.

Berekening permanent gewicht na plaatsing systeem

Eigen gewicht panelen incl. montageframe = 0,15 kN/m²

Totaal permanente belasting (nieuw) = 5,00 + 0,15 = 5,15 kN/m²

Veranderlijke (ontwerp)belasting = 2,00 kN/m²

Controle draagvermogen dak met ballastvrij PV-systeem:

Verbouwniveau bestaande constructie, norm: NEN8700, tabel A1.2(B)

$\gamma_{Gj} = 1,15$

$\gamma_{Q,1} = 1,3$

Rekenwaarde totale belasting: $q_d = 1,15 * 5,15 + 1,3 * 2,0 = 8,5 \text{ kN/m}^2$

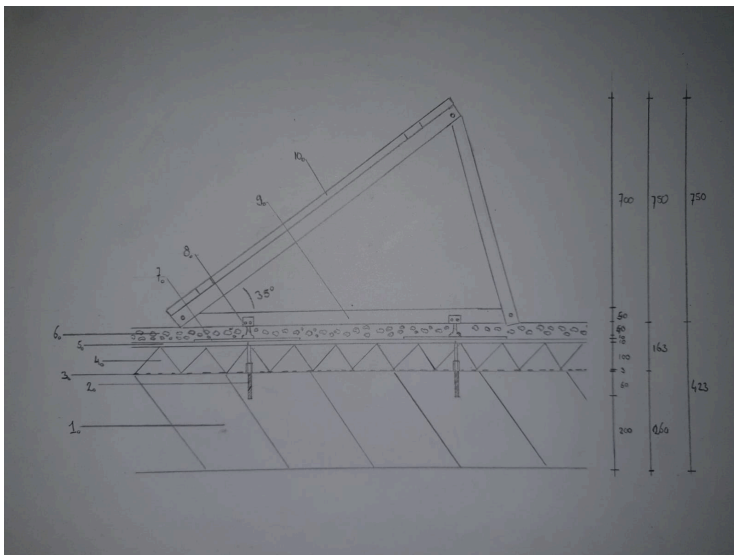
Vervolgens wordt de rekenwaarde van de totale (nieuwe) belasting gedeeld door de rekenwaarde van de ontwerpbelasting. De uitkomst moet kleiner dan 1 zijn.

U.C. = $8,5/9,0 = 0,95 < 1,0$ OK.

Conclusie: het draagvermogen van het bestaande dak is (ruim) voldoende voor de toepassing van een PV-installatie doormiddel van dit type bevestiging (met behoud van volledige reserve aan veranderlijke belasting).



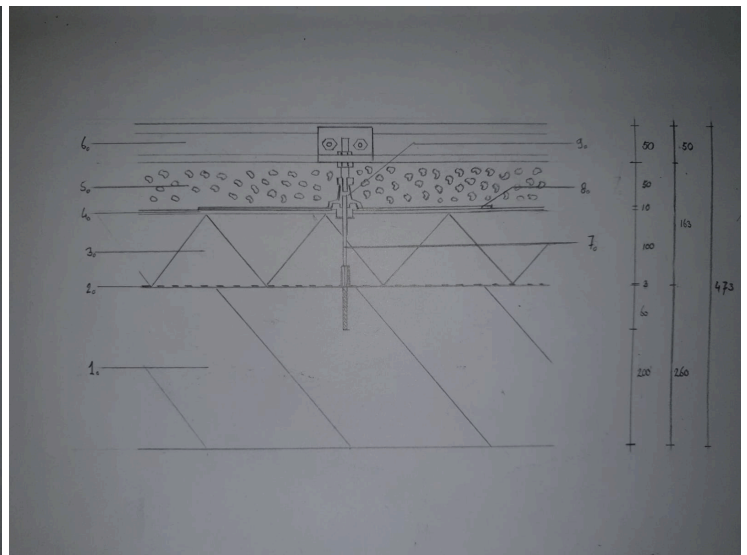
Afbeelding 9 Jual Solar bevestiging



Afbeelding 10 schets bevestiging 'door-en-door'

Legenda afbeelding 10

1. Kanaalplaatvloer
2. Betonanker
3. Gebitumineerde polyester mat volledig verkleeft
4. PIR-isolatie
5. Tweelaags losliggende APP-dakbanen
6. Grindlaag
7. Bitumen membraam volledig verkleeft
8. Bevestigingsconsole
9. Aluminium profiel
10. PV-paneel



Afbeelding 11 schets bevestiging 'door-en-door'

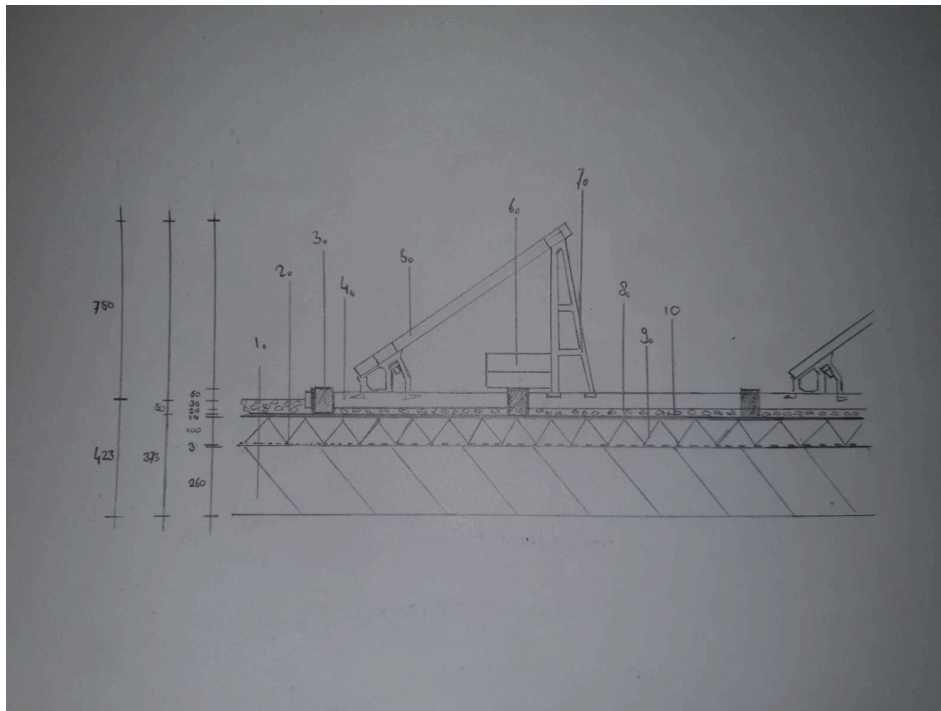
Legenda afbeelding 11

1. Kanaalplaatvloer
2. Gebitumineerde polyester mat volledig verkleeft
3. PIR-isolatie
4. Tweelaags losliggende APP-dakbanen
5. Grindlaag
6. Aluminium profiel
7. Betonanker
8. Bitumen membraam volledig verkleeft
9. Bevestigingsconsole

Bijlage 2

Optie 2: Geballast PV-systeem

Vervolgens is de (nieuwe) situatie in kaart gebracht wanneer er een geballaste montage wordt toegepast. In afbeelding 12 en 13 is weergegeven hoe dit in de case van Bleiswijk eruit zal zien. Uitgangspunt is dat het gewicht van montagesysteem en PV-paneel bij een geballaste bevestiging gelijkwaardig is aan die van een 'door-en-door' bevestigd systeem (gewicht panelen incl. montageframe = $0,15 \text{ kN/m}^2$). Vervolgens is de benodigde ballast berekend op basis van de lokale windbelastingen en montagewijze.



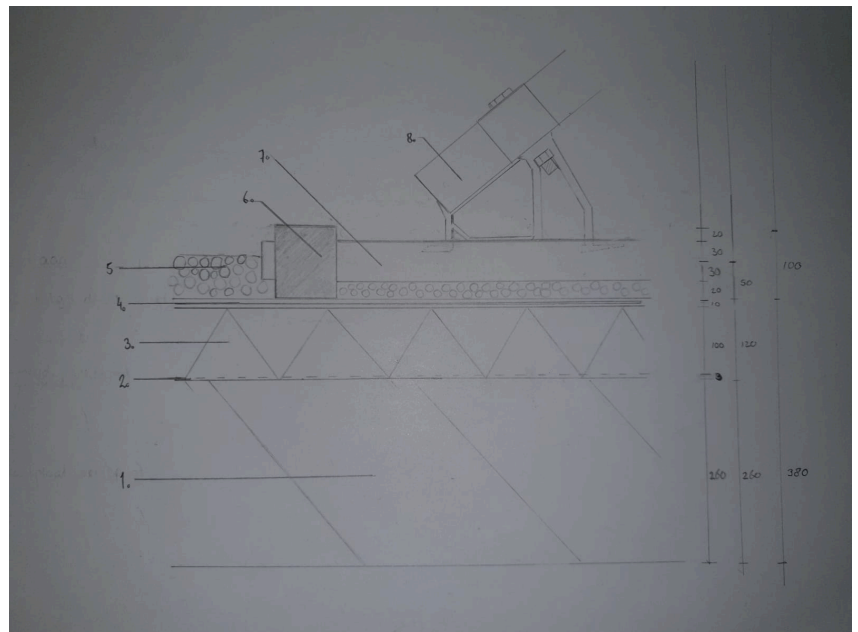
Legenda afbeelding 12

1. Kanaalplaatvloer
2. Gebitumineerde polyester mat volledig verkleefd
3. kunststof voetstuk
4. Aluminium profiel
5. PV-paneel
6. Grindtegel (ballast)
7. Aluminium montageframe
8. Grindlaag
9. PIR-isolatie
10. Tweelaags losliggende APP-dakbanen

Afbeelding 12 schets bevestiging d.m.v. ballast

Legenda afbeelding 13

1. Kanaalplaatvloer
2. Gebitumineerde polyester mat volledig verkleefd
3. PIR-isolatie
4. Tweelaags losliggende APP-dakbanen
5. Grindlaag
6. Kunststof voetstuk
7. Aluminium montageframe
8. PV-paneel



Afbeelding 13 schets bevestiging d.m.v. ballast

Bijlage 2

Om vast te stellen of het dak over voldoende draagkracht beschikt voor een geballaste constructie dient de benodigde ballast voor de case in Bleiswijk berekend te worden. Om dit vast te stellen moet eerst de windbelasting worden bepaald (opwaarts, zijwaarts en neerwaarts); deze verschilt per dakzone.

Rekengegevens:

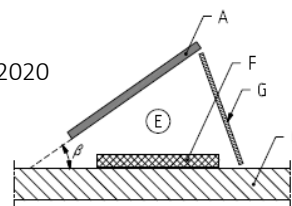
Bepaling windbelasting – stuwdruk o.b.v. NEN-EN 1991-1-4 + Nationale Bijlage aug. 2020

Windgebied: II ($v_{b,0} = 27,0$ m/s; Zuid-Holland)

Terreincategorie: II (Onbebouwd; $z_0 = 0,2$; $z_{\min} = 4$)

Gebouwhoogte (z): 9,5 m

Stuwdruk $q_p = 0,84$ kN/m² (NEN-EN 1991-1-4, Tabel NB.5)



Legenda

- A zonne-element
- C onderliggende constructie
- E open of gesloten ondersteuningsconstructie
- F eventuele ballast
- G eventueel achterpaneel

Afbeelding 14 Montagewijze 3 (volgens: NEN 7250)

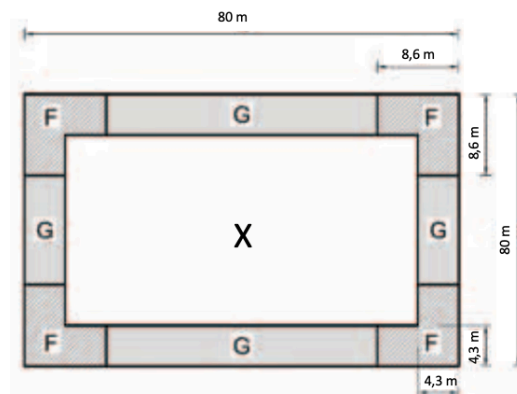
Montagewijze 3 (volgens: NEN 7250) zie afbeelding 14:

- gesloten montageconstructie
- hellingshoek $\beta = 35^\circ$
- systeemhoogte ± 750 mm vanaf bk. dakbedekking
- dakrandhoogte < 200 mm
- aanname: **geen** panelen in dakzones F, G (hoek- en dakrandzones) en P zie afbeelding 15 en 16.

Het is niet gebruikelijk hoek en randzones (dakzone F, G en P) te benutten voor de toepassing van PV-panelen. Daarnaast vallen dakzones F, G en P binnen het gebied dat vanuit veilig werken op hoogte als niet bruikbaar wordt beschouwd voor de toepassing van PV.

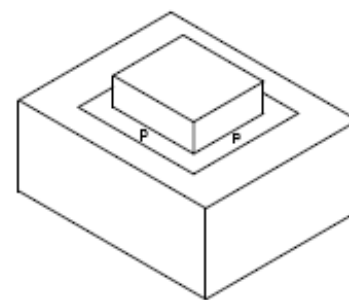
Diepte van zone F en G case Bleiswijk = 4,3 meter

Diepte zone P case Bleiswijk = 0,7 meter

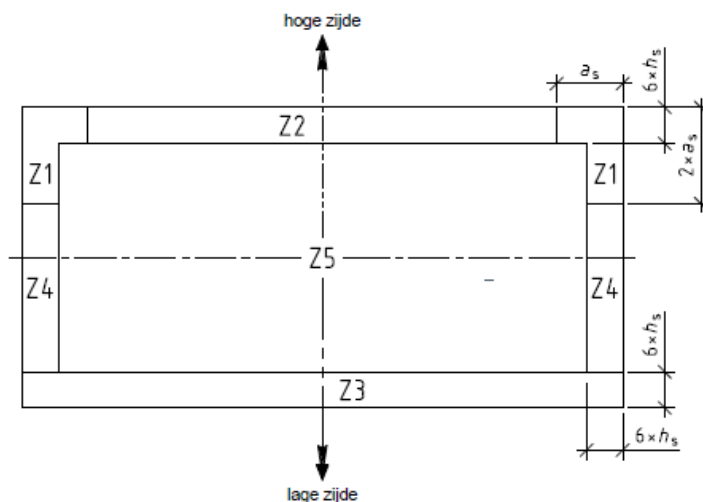


Afbeelding 15 afmetingen dakzone F en G Bleiswijk, situering zone X

De NEN 7250 gaat uit van verschillende druk coëfficiënten binnen het gebied waar een PV-installatie wordt toegepast. Deze worden gekenmerkt als zone Z1 t/m Z5, zie afbeelding 17. Deze belastingzones van met PV-systeem bedekt dakoppervlak (zone Z1 t/m Z5) bevinden zich binnen dakzone X zie afbeelding 15.



Afbeelding 16 dakzone P



Afbeelding 17 (met PV-systeem bedekt oppervlak) zone Z1 t/m Z5

Bijlage 2

Windbelasting opwaarts, zijwaarts en neerwaarts

Vervolgens is voor zone 1 t/m 4 en zone 5 de windbelasting in kaart gebracht.

Rekengegevens NEN 7250

Opwaartse drukcoëfficiënt: Neerwaartse drukcoëfficiënt:

Zone 1 t/m 4: $c_{p,net} = 1,0$ Zone 1 t/m 5: $c_{p,net} = 0,5$

Zone 5: $c_{p,net} = 0,5$

Berekening opwaartse windbelasting:

Zone 1 t/m 4: $P_{w,opwaarts} = \cos 35^\circ * 1,0 * 0,84 = 0,69 \text{ kN/m}^2$

Zone 5: $P_{w,opwaarts} = \cos 35^\circ * 0,5 * 0,84 = 0,35 \text{ kN/m}^2$

Berekening zijwaartse belasting:

Zone 1 t/m 4: $P_{w,zijwaarts} = \sin 35^\circ * 0,84 * 0,75\text{m} = 0,36 \text{ kN/m}^1$

Zone 5: $P_{w,zijwaarts} = \sin 35^\circ * 0,42 * 0,75\text{m} = 0,18 \text{ kN/m}^1$

Berekening neerwaartse windbelasting:

Zone 1 t/m 5: $P_{w,neerwaarts} = \cos 35^\circ * 0,5 * 0,84 = 0,35 \text{ kN/m}^2$

Hierna is berekend de benodigde ballast berekend.

Berekening benodigde ballast tegen opwaaien:

Zone 1 t/m 4: Ballast = $1,5 * 0,69 - 0,9 * 0,15 = 0,90 \text{ kN/m}^2 (\approx 92 \text{ kg/m}^2)$

Zone 5: Ballast = $1,5 * 0,35 - 0,9 * 0,15 = 0,39 \text{ kN/m}^2 (\approx 40 \text{ kg/m}^2)$

Vervolgens is gecontroleerd of de ballast voldoende is om afschuiving te voorkomen.

Controleberekening ballast tegen afschuiven:

Wrijvingscoëfficiënt APP dakbedekking $f_{kar} = 0,38$ (TNO rapport 2002-BS-R0195)

Zone 1 t/m 4: Ballast = $(1,5 * 0,36 - 0,9 * 0,15) / 0,38 = 1,07 \text{ kN/m}^2 (\approx 109 \text{ kg/m}^2)$

Zone 5: Ballast = $(1,5 * 0,18 - 0,9 * 0,15) / 0,38 = 0,36 \text{ kN/m}^2 (\approx 36 \text{ kg/m}^2)$

Controle draagvermogen dak (in maatgevende zones Z1 t/m Z4):

Maatgevende ballast in zone 1 t/m 4 (tegen afschuiven) = $1,07 \text{ kN/m}^2$

Eigen gewicht panelen incl. montageframe + ballast = $0,15 + 1,07 = 1,22 \text{ kN/m}^2$

Totaal permanente belasting (nieuw) = $5,00 + 1,22 = 6,22 \text{ kN/m}^2$

Hierna is de sneeuwbelasting bepaald.

Sneeuwbelasting:

Zone 1 t/m 5: $P_{snk} = 0,8 * 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$

Sneeuwophoping :

Lokaal kan sneeuwophoping plaatsvinden.

Bij een PV-systeemhoogte van 75 cm is $\mu_2 = 2,0 \text{ kN/m}^3 * 0,75\text{m} / 0,7 = 2,1 > 2,0$

Omdat het een gesloten montageconstructie betreft is t.p.v. de zonnepanelen de maximale sneeuwbelasting gemiddeld genomen, dus de helft van de maximaal opgewaaide sneeuw (met $h = 75\text{cm}$).

Zone 1 t/m 5: $P_{snk; max} = \frac{1}{2} * 2,0 * 0,7 = 0,70 \text{ kN/m}^2$

Bijlage 2

Regenwaterbelasting:

Er is voldoende afschot aanwezig; de extra doorbuiging van de dakconstructie zorgt niet voor belemmering van afvoer van regenwater.

Controle draagvermogen dak incl. geballast PV-systeem:

Verbouwniveau bestaande constructie, norm: NEN8700, tabel A1.2(B)

Belastingcombinatie met sneeuw, rekenwaarde $q_d = 1,15 * 6,22 + 1,3 * 0,70 = 8,06 \text{ kN/m}^2$

Belastingcombinatie met wind, rekenwaarde $q_d = 1,15 * 6,22 + 1,4 * 0,35 = 7,64 \text{ kN/m}^2$

Conclusie: belastingcombinatie met sneeuw is groter en dus maatgevend;

Vervolgens wordt de rekenwaarde van de totale (nieuwe) belasting gedeeld door de rekenwaarde van de ontwerpbelasting. De uitkomst moet kleiner dan 1 zijn.

U.C. = $8,06/9,0 = 0,90 < 1,0$ OK*.

Unity check t.o.v. de ontwerpbelasting. In realiteit is de veiligheidsmarge in de constructie (ook met unity checks $< 1,0$) dus nog hoger.

Conclusie vraag 4b

Het draagvermogen van de dakconstructie beschikt over voldoende overcapaciteit voor het toepassen van een PV-systeem. Zowel bevestiging doormiddel van ballast als een door-en-door verbinding zijn mogelijk bij dit project.

Conclusie schema 1 'Is PV mogelijk?':

Zowel in de huidige als nieuwe situatie (dakopbouw) is het mogelijk een PV-installatie toe te passen. 4.961m² is beschikbaar voor de toepassing van een PV-installatie met daartussen looppaden.

Bijlage 2

Stroomschema 2 specificatie PV-installatie

Stap 1:

‘Wat is de energievraag van het gebouw?’

Het gebouw heeft geen grote elektrische energievraag, geen grote vraag naar warm tapwater en geen thermische energievraag. Daarom wordt aangeraden reguliere PV-panelen toe te passen.

Stap 2:

‘Is het mogelijk energie terug te leveren aan het net?’

Het gebouw is momenteel aangesloten op het elektriciteitsnetwerk. De betreffende netbeheerder is Stedin; het is mogelijk terug te leveren aan deze netbeheerder wanneer het (interne)elektra netwerk hiertoe in staat is. Het huidige interne elektranetwerk dient gecontroleerd te worden op voldoende capaciteit, afhankelijk van de hoeveelheid te plaatsen PV-panelen. Advies: een net-gekoppeld systeem toepassen.

Stap 3:

‘Welke opstellingsoriëntatie heeft de voorkeur?’

Als wordt gekeken naar de functie van het gebouw en bijbehorende energievraag, kan worden gesteld dat deze vraag relatief laag is. Het is niet noodzakelijk het gehele dak vol te leggen met PV-panelen om aan deze energievraag te voldoen. Gezien het (lagere) tarief dat wordt ontvangen voor de terug te leveren elektriciteit, is het onvoordelig veel energie terug te leveren aan het elektranet.

Geadviseerd wordt een zuid-opstelling toe te passen, uitgaande van de ideale plaatsingshoek van 37 graden. De voordelen:

- Lagere investeringskosten per vierkante meter (beschikbaar) dakoppervlak.
- Hoger (energie)opbrengst per paneel.
- Behoeft minder frequente schoonmaak (door grotere plaatsingshoek).

Stap 4:

‘Pas (installatie) systeemeisen uit de richtlijn toe’

Het gebouw is ingeschaald in brandveiligheid risico drie; dit betekent dat zowel panelen van het type glas-glas als glas-folie toegepast mogen worden. Kostentechnisch zijn glas-folie panelen aantrekkelijker; daarom wordt geadviseerd deze toe te passen. De installatietechnische onderdelen kunnen volgens eisen uit de (concept) richtlijn geformuleerd worden (bijlage A conceptrichtlijn).

Stap 5

‘Controleer of de businesscase rendabel is’

Deze stap kan pas worden doorlopen wanneer door een marktpartij een volledige installatiesituering met bijbehorende kosten is geformuleerd.



Rijksvastgoedbedrijf
*Ministerie van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties*

Procesomschrijving en reflectie

Afstudeertraject Built environment

Naam: Casper Scheltes
Studentnummer: 345219

Datum: 14-01-2021
Plaats: Groningen

Bijlage 3

Inhoudsopgave

Stap 1	4
1.1 Aanleiding/context van stap 1	4
1.2. Activiteit stap 1	4
1.3. Werkwijze stap 1	4
1.4. Producten/resultaten stap 1	5
1.5. Reflectie stap 1	5
Stap 2	6
2.1 Aanleiding/context van stap 2	6
2.2 Activiteit stap 2	6
2.3 Werkwijze stap 2	6
2.4 Producten/resultaten stap 2	6
2.5 Reflectie stap 2	7
Stap 3	8
3.1 Aanleiding/context van stap 3	8
3.2 Activiteit stap 3	8
3.3 Werkwijze stap 3	8
3.4 Product/resultaat stap 3	8
3.5 Reflectie stap 3	9
Stap 4	10
4.1 Aanleiding/context van stap 4	10
4.2 Activiteit stap 4	10
4.3 Werkwijze stap 4	10
4.4 Producten/resultaten stap 4	10
4.5 Reflectie stap 4	10
Stap 5	11
5.1 Aanleiding/context van stap 5	11
5.2 Activiteit stap 5	11
5.3 Werkwijze stap 5	11
5.4 Producten/resultaten stap 5	11
5.5 Reflectie stap 5	11
Stap 6	12
6.1 Aanleiding/context van stap 6	12
6.2 Activiteit stap 6	12
6.3 Werkwijze stap 6	12
6.4 Producten/resultaten stap 6	12

Bijlage 3

6.5 Reflectie stap 6	12
Stap 7	13
7.1 Aanleiding/context van stap 7.....	13
7.2 Activiteit stap 7.....	13
7.3 Werkwijze stap 7	13
7.4 Product/resultaat stap 7.....	14
7.5 Reflectie stap 7	14

Bijlage 3

Stap 1

1.1 Aanleiding/context van stap 1

Om te bestuderen welke zaken van invloed zijn op de toepassing van PV(panelen) op daken in een (bouw)projectuitvraag van het Rijksvastgoedbedrijf (RVB), moet duidelijk zijn wat PV precies is, hoe het werkt, wat voor verschillende PV-technologieën en toepassingsvormen er bestaan en op wat voor vlakken PV(panelen) te onderscheiden zijn. Gezien het ontbreken van basiskennis over het begrip PV, PV-(cel)technieken en PV toepassingsmogelijkheden was het nodig onderzoek te doen om algemene beeldvorming over PV (panelen, technieken en toepassingsvormen) te creëren. Deze basiskennis draagt bij aan het doorgronden welke aspecten (vanuit de PV-techniek of paneelvorm) invloed uitoefenen op de besluitvorming over de toepassing van PV-panelen op daken in een (bouw)projectuitvraag.

1.2. Activiteit stap 1

Vaststellen wat PV is, hoe PV-panelen energie opwekken (hoe het werkt), op welke manier onderscheid te maken is tussen verschillende soorten PV-panelen en (cel)technologieën, en de toepassingsmogelijkheden.

1.3. Werkwijze stap 1

Tijdens deze stap heb ik de rol van onderzoeker aangenomen. Doormiddel van literatuuronderzoek heb ik mij ingelezen in het begrip PV (photo voltaic). Dit heeft mij doen inzien dat de term PV zelf niets meer zegt dan het opwekken van energie, door zonlicht op een halfgeleidend materiaal te laten schijnen waardoor elektronen beginnen te bewegen en (gelijk)spanning ontstaat; dus een vorm van elektriciteit.

Ik heb uitgebreid gesproken met deskundigen op het gebied van PV en mij laten informeren over verschillende wijzen waarop PV kan worden ingeschaald/gecategoriseerd. Uit deze gespreksvoering heb ik onder andere het inzicht gekregen dat PV-techniek zowel in panelen als alternatieve constructiedelen verwerkt kan zijn.

Middels literatuuronderzoek via Google scholar-en Googlebronnen heb ik onderscheid leren maken tussen verschillende vormen van PV-techniek. Dit kan worden gedaan op gebied van cel technologie, materialisatie, vorm van het PV-paneel/object of van de opgewekte energievorm. Er zijn PV-panelen die, doormiddel van extra techniek, naast elektriciteit ook warmte kunnen genereren (PVT-panelen). Ook heb ik zo het inzicht gekregen dat naast de traditionele wijze van PV op daken, ook PV-techniek in constructiedelen (BIPV) wordt verwerkt. Hiernaar heb ik vervolgens een deelstudie uitgevoerd (BIPV in de vorm van zonnegevels). De voornaamste bevinding die hieruit voortkwam is dat de implementatie(fase) van deze twee toepassingsmogelijkheden verschilt.

Bij de traditionele wijze waarop PV-panelen op een dak worden geplaatst, moet het dak aan constructieve- en brandveiligheidseisen voldoen. PV(panelen) zijn in dit geval een externe toevoeging, waardoor deze als externe component aan bestaande bouw toegevoegd kunnen worden. Dit resulteert in de mogelijkheid om achteraf PV-panelen te implementeren op een gebouw.

Bij Built integrated PV (BIPV) moet in een vroeg ontwerpstadium van een gebouw rekening gehouden worden met toepassing van dit element (zoals PV-gevelbekleding of PV-dakpannen). De noodzaak hiervan komt voort uit de bevestigingswijze en brandveiligheidsafweging. Aangezien BIPV onderdeel uitmaakt van de buitenschil van een gebouw, moeten alle andere onderdelen van de buitenschil hierop afgestemd worden.

Ik heb de verzamelde kennis vervolgens schriftelijk gebundeld in een document. De prestaties van de verschillende PV-cel technologieën heb ik in een multi criteria analyse met elkaar vergeleken. Hiermee heb ik de voor- en nadelen van verschillende PV-cel technologieën uitgewerkt.

Bijlage 3

1.4. Producten/resultaten stap 1

1. Multi-criteria analyse waarin de eigenschappen van kristallijne-en dunne filmtechniek zijn vergeleken
2. Algemene omschrijving van verschillende typeringen voor PV-paneeltypen
3. Deelonderzoek naar BIPV (in de vorm van zonnegevels)

Een product dat is voortgekomen uit stap 1 is een multi-criteria analyse, waarmee voor-en nadelen van kristallijne-en dunne filmtechniek met elkaar vergeleken zijn. Daarnaast is een algemene omschrijving van PV-cel technologieën-en paneelvormen gegeven. Hiermee wordt de eerste deelvraag van het onderzoek beantwoord: Welke vormen kent PV? Ik heb vastgesteld hoe verschillende PV-vormen invloed kunnen hebben op toepassing van PV op een gebouw en in een projectuitvraag van een (bouw)project. Daarnaast is deelonderzoek naar BIPV, specifiek gericht op PV in gevels (zonnegevels), uitgevoerd.

1.5. Reflectie stap 1

Gedurende deze stap heb ik de rol van onderzoeker aangenomen. Voorafgaand aan dit onderzoek was PV voor mij een onbekend begrip en was het noodzakelijk om me in de materie te verdiepen om een duidelijk beeld te krijgen van wat PV is en hoe het werkt. Hierdoor heb ik geleerd op welke verschillende manieren PV kan worden toegepast en welke verschillende (paneel)vormen PV kent. Ook heeft mij dit het inzicht verschaft hoe deze vormen te categoriseren en te onderscheiden zijn. Dit heeft bijgedragen aan een algehele kennisverbreding over PV, hoe en in welke ontwikkelfase verschillende technologieën en toepassingsvormen in/op een gebouw kunnen worden geïmplementeerd. Ik heb hierdoor geleerd dat de implementatiefase van PV en BIPV op/in een gebouw op een ander moment geschieden, omdat BIPV-onderdeel is van de gebouw(schil) en PV panelen op daken een losse externe extra toevoeging zijn. PV-panelen op daken kunnen achteraf op een (al bestaand) gebouw worden toegevoegd; BIPV moet in de ontwerpfase (van bijvoorbeeld een gevel) geïmplementeerd worden.

Competenties

LU 10 Onderzoeken	Doormiddel van een open en kritische denk- en werkhouding, literatuuronderzoek en gesprekvoering met deskundigen heb ik data verzameld en vakkennis verbreed om betere kwaliteit te kunnen leveren en mijn doel te behalen (vaststellen hoe genoemde zaken invloed uitoefenen op de besluitvorming over PV in een bouwproject uitvraag). Ik heb relevant deelonderzoek uitgevoerd naar BIPV en vastgesteld dat implementatie van PV-panelen op daken en BIPV op een andere wijze geschiedt. Daarnaast is de verdiepende slag van deze onderzoekstap ook een deelonderzoek van het hoofdonderzoek, waarbij wordt getracht vast te stellen hoe optimale besluitvorming omtrent de toepassing van PV-panelen op daken kan geschieden. Ik heb mijn bevindingen over verschillende PV-cel technologieën, PV-paneeltyperingen en verschillende toepassingsvormen van PV geëvalueerd, conclusies getrokken en vervolgens onderbouwd met argumenten.
LU 12 Communiceren en samenwerken	Door collega's te informeren, feedback te vragen op mijn onderzoek en dit te verwerken, laat ik zien samen te kunnen werken op professioneel niveau. Ik ben mij bewust van mijn rol, mijn werkomgeving en haal maximale (product)resultaat.
LU 13 Managen en innoveren	Om de hoofdpdracht naar behoren uit te voeren heb ik veel kennis over PV moeten opdoen. Met dit inzicht laat ik zien een zelfsturende werkwijze te hanteren. Aanvullend daarop laat deze beschouwing zien dat mijn werkhouding ook reflectief is.
LU 14 Managen en innoveren	Ik demonstreer de toepassing van professionele vakkennis door documentatie van verzamelde informatie en de conclusies hieruit voortgekomen. Daarnaast toon ik aan mijn professionele vakkennis te hebben uitgebreid.
LU 15 Managen en innoveren	Doormiddel van deze reflectie (en schematische weergave) kijk ik terug op mijn beroepsmatig handelen en de professionalisering hiervan.

Bijlage 3

Stap 2

2.1 Aanleiding/context van stap 2

Na uitvoering van stap 1 is een duidelijk beeld verkregen van PV-technologie, paneelvormen en toepassingsmogelijkheden in de bouw. PV-panelen zijn slechts de energieopwekkende component van een PV-installatie. Om te doorgronden welke zaken van invloed zijn op toepassing van PV(panelen) op daken in een (bouw)projectuitvraag van het RVB, moet duidelijk zijn hoe onderscheid gemaakt kan worden tussen PV-installatievormen-en onderdelen, aangevuld met paneeloriëntatie-mogelijkheden. Gezien het ontbreken van basiskennis over installatievormen, onderdelen en oriëntatiemogelijkheden van panelen is nader onderzoek gedaan.

2.2 Activiteit stap 2

Vaststellen welke installatievormen-en onderdelen, en (paneel)oriëntatie mogelijkheden voorkomen bij PV-installaties.

2.3 Werkwijze stap 2

Tijdens deze stap heb ik de rol van onderzoeker aangenomen en heb literatuuronderzoek gedaan naar verschillende installatievormen-en onderdelen. Vervolgens ben ik bijgepraat door een (ervarings)deskundige op het gebied van toepassing van PV-installaties op daken (Ingo Horig) en heb ik me laten informeren over verschillende installatie- onderdelen, vormen en gebruikelijke paneel- oriëntaties.

Door gespreksvoering heb ik een globaal beeld ontwikkeld van genoemde zaken, die ik vervolgens door literatuurstudie heb uitgebreid en gecompleteerd. Mijn bevindingen zijn gedocumenteerd in tekst en beeld.

2.4 Producten/resultaten stap 2

1. Overzicht van alle verschillende onderdelen van een PV-installatie
2. Verschillende typologieën PV-installaties
3. Overzicht van (gebruikelijke) paneel oriëntatieopstellingen.

De conclusie is dat zowel installatievorm als installatie-onderdelen van invloed zijn op de besluitvorming over toepassing van een PV-installatie in de planvormfase van een (bouw)project. Vanuit project-specifieke belangen kan voor genoemde onderdelen een voorkeur worden uitgesproken, echter heeft dit betrekking op de specificatie van installatie-*onderdelen* en niet op het wel of niet toepassen van de installatie. Hiermee wordt antwoord gegeven op deelvraag 2: Welke installatievormen, onderdelen en opstellingen kent een PV-installatie?

Bijlage 3

2.5 Reflectie stap 2

Ook gedurende deze stap heb ik de rol van onderzoeker aangenomen en heb mijn kennis van PV-installatie onderdelen-en vormen uitgebreid. Tevens heb ik veel geleerd betreffende de opstellingsmogelijkheden van panelen bij een PV-installatie.

Competenties

LU 10 Onderzoeken	Doormiddel van een open, kritische denk-en werkhouding heb ik door literatuuronderzoek en gespreksvoering met deskundigen data verzameld, mijn ontbrekende kennis aangevuld en op deze manier mijn uiteindelijke doel behaald (vaststellen hoe de benoemde zaken invloed uitoefenen op de besluitvorming over PV in een bouwproject uitvraag). Mijn bevindingen over de verschillende PV-installatievormen-en onderdelen heb ik geëvalueerd en de conclusie getrokken dat deze vormen en onderdelen invloed hebben op de specificatie van PV-installatie in een projectuitvraag.
LU 12 Communiceren en samenwerken	Door collega's te informeren en feedback te vragen op mijn onderzoek en onderzoeksresultaten en dit te verwerken, toon ik aan samen te kunnen werken op professioneel niveau. Ook ben ik mij bewust van mijn rol, mijn werkomgeving en de manier waarop ik het maximale (product)resultaat behaal.
LU 13 Managen en innoveren	Doormiddel van het inzicht dat ik mijn kennis over PV-installaties, onderdelen en oriëntatiemogelijkheden heb moeten verbreden om de hoofdpdracht naar behoren uit te voeren toon ik aan een zelfsturende werkwijze te hanteren. Aanvullend daarop laat deze beschouwing zien dat mijn werkhouding ook reflectief is.
LU 14 Managen en innoveren	Middels de documentatie van verzamelde informatie en de conclusies hieruit getrokken, demonstreer ik ontwikkeling en toepassing van professionele vakkennis
LU 15 Managen en innoveren	Doormiddel van deze reflectie (en schematische weergave hiervan) kijk ik terug op mijn beroepsmatig handelen en de professionalisering hiervan.

Bijlage 3

Stap 3

3.1 Aanleiding/context van stap 3

Na uitvoering van voorgaande stappen is een duidelijk beeld ontstaan wat PV is, welke PV-technologieën te onderscheiden zijn, welke (paneel)vorm wordt toegepast, uit welke onderdelen een PV-installatie bestaat, welke installatievormen bestaan en welke PV-paneelopstellingen gebruikelijk zijn. Dit zijn zaken die betrekking hebben op invulling van de installatie zelf. De vervolgstap is vaststellen welke (technische) aspecten vanuit de gebouwsituering van invloed zijn op de besluitvorming over de toepassing van PV(panelen) op daken in een (bouw)projectuitvraag van het RVB. Daarnaast moet geïnventariseerd worden op basis van welke uitgangspunten dit moet geschieden.

3.2 Activiteit stap 3

Achterhalen op basis van welke (technische) aspecten besluitvorming plaatsvindt over het toepassen van PV op daken in een (bouw)projectuitvraag.

3.3 Werkwijze stap 3

Tijdens deze stap heb ik de toepassing van PV-panelen op daken bekeken door de ogen van een constructeur, bouwkundige, veiligheidsdeskundige, brandveiligheidsdeskundige, elektrotechnicus en projectmanager. Door gespreksvoering met collega's binnen het RVB heb ik geïnventariseerd welke aspecten invloed hebben op de planvorming van een (bouw)project. Vervolgens is dit verdeeld in een categorisering waarbij onderscheid is gemaakt tussen aspecten beschreven als aandachtspunten, en harde eisen toegekend aan (technische) aspecten. De aandachtspunten komen voort uit gesprekken en interviews met deskundigen van verschillende disciplines (bouwkunde, brandveiligheid, constructie, veiligheid en elektrotechniek). De harde eisen zijn overgenomen uit de (concept)richtlijn van het RVB over toepassing van zonnepanelen op daken.

3.4 Product/resultaat stap 3

- Overzicht van (technische) aspecten en gebouwkenmerken die van invloed zijn op besluitvorming over de toepassing van PV-panelen op daken van gebouwen, weergegeven in aandachtspunten en concrete eisen.

Hiermee wordt antwoord gegeven op de deelvraag: Welke aspecten hebben invloed op de toepassing van PV-panelen op het dak van een gebouw?

Bijlage 3

3.5 Reflectie stap 3

Gezien de (technische) achtergrond van mijn studie heb ik deze stap vanuit de techniek beredeneerd. Gedurende de uitvoering van deze stap kwam ik tot de conclusie dat voor besluitvorming over de implementatie van PV-panelen op daken naast technische ook financiële aspecten en wet/regelgeving van invloed zijn. Dit heeft geresulteerd in wijziging van de scope van stap 3 en onderzoeksvraag 3. Dit heeft mij het inzicht gegeven dat de strekking van de onderzoeksvraag breder moet zijn dan slechts (fysiek)technisch om tot een bruikbaar resultaat te komen voor het RVB. De onderstaande aspecten hebben invloed op besluitvorming. Per punt zijn aandachtspunten en eisen gedocumenteerd.

- Bouwkundige aspecten (materialisatie en levensduur dak)
- Bouwfysische aspecten (bevestiging en dakopbouw)
- Brandveiligheid aspecten (eisen vanuit het RVB en het bouwbesluit)
- Aspecten m.b.t. veilig werken op hoogte (bereikbaarheid en aanwezige voorzieningen)
- Constructieve aspecten (draagkracht/bevestigingsmethode, eisen vanuit het bouwbesluit)
- Elektrotechnische aspecten (onderdelen en samenstelling van installatieonderdelen)
- Wet-en regelgeving met betrekking tot zichtbaarheid van panelen (mogelijk veranderend uiterlijk van het gebouw).
- Oppervlak (dat beschikbaar is)

Competenties

LU 3 Ontwerpen	Doormiddel van het inzicht dat de geïnventariseerde uitgangspunten, aandachtspunten en eisen (verwoordt als aspecten, zie hierboven) de kern vormen van de besluitvorming over de afweging of, onder welke omstandigheden en met welke onderdelen een PV-installatie wordt toegepast, laat ik zien dat ik de essentie van de procesoptimalisatie en het ontwerpen hiervan begrijp. Hiermee toon ik aan een integraal beeld te hebben van alle zaken die de besluitvorming beïnvloeden.
LU 4 Ontwerpen	De hierboven benoemde aspecten zijn verkend, onderzocht en gespecificeerd in de vorm van de eisen (vanuit de conceptrichtlijn).
LU 5 Ontwerpen	In gespreksvoering met diverse deskundigen (genoemd bij werkwijze stap drie) zijn deze eisen bekritiseerd en is gesproken over mogelijke oplossingen (bijvoorbeeld het alternatief voor PV-panelen bij monumenten, het plaatsen van PV-panelen op een niet-monumentaal bijgebouw, of het toepassen van een andere bevestigingsmethode wanneer het dak niet draagkrachtig genoeg is voor een ballast bevestiging). Dit toont aan dat ik verschillende oplossingen 'meeneem' in het ontwerpproces van de procesoptimalisatie voor toepassing van PV-panelen.
LU 9 Onderzoeken	Ik heb de praktijkopgave geanalyseerd op basis van het doel ' doorgronden welke aspecten van invloed zijn op de toepassing van PV(panelen) op de daken van het Rijksvastgoedbedrijf'. Ik heb vastgesteld dat naast de verwachte technische aspecten, ook financiële aspecten en wet-en regelgeving invloed hebben op deze besluitvorming.
LU 10 Onderzoeken	Doormiddel van een open en kritische denk-en werkhouding heb ik literatuuronderzoek, gesprekvoering en interviews met deskundigen gevoerd en geïnventariseerd welke eisen en randvoorwaarden invloed hebben op de besluitvorming over een PV-paneelinstallatie voor daken. Deze bevindingen zijn gecategoriseerd en vertaald in aandachtspunten en harde eisen.
LU 13 managen en innoveren	De beschreven inzichten demonstreren zelfsturende en reflectieve werkwijze-en houding.
LU 14 managen en innoveren	Door documenteren van verzamelde informatie en de conclusies hieruit getrokken, demonstreer ik ontwikkeling van professionele vakkennis.
LU 15 managen en innoveren	Doormiddel van deze reflectie (en schematische weergave hiervan) kijk ik terug op mijn eigen beroepsmatig handelen en toon ik ontwikkeling m.b.t. de professionalisering van mijn beroepsmatig denken en handelen.

Bijlage 3

Stap 4

4.1 Aanleiding/context van stap 4

In stap drie zijn alle relevante (technische) aspecten voor toepassing van PV op het dak in een (bouw)project uitvraag van het RVB benoemd. Deze aspecten zijn bepalend in het besluitvormingsproces over of, met welke specifieke installatieonderdelen en met welke benodigde gebouwaanpassingen PV-panelen op het dak toegepast kunnen worden. Per aspect is het nodig deze tot een gesloten vraag te formuleren. Doormiddel van het beantwoorden van deze gesloten vragen wordt duidelijk of PV-panelen op het dak haalbaar zijn, onder welke omstandigheden, met welke gebouwaanpassingen en wat voor installatieonderdelen de voorkeur krijgen.

4.2 Activiteit stap 4

De aspecten zijn in gesloten vragen geformuleerd; het antwoord per vraag leidt tot het wel of niet toepassen van een PV-installatie en/of de keuze voor een specificatie van installatieonderdeel of gebouwaanpassing.

4.3 Werkwijze stap 4

Op basis van gedocumenteerde eisen uit stap drie en besprekingen met diverse (eerder genoemde) disciplines, zijn deze aspecten (eisen) tot vragen geformuleerd. Per eis, (gebouw)situering of materialisatiekenmerk is een gesloten vraag gesteld.

4.4 Producten/resultaten stap 4

- Een lijst met gesloten vragen die de richting van de besluitvorming aangeven en een beeld geven van de toepassingsmogelijkheden van PV-panelen op daken binnen een (bouw)projectuitvraag van het RVB.

Hiermee wordt antwoord gegeven op de volgende deelvraag: Hoe kunnen de geïnventariseerde aspecten in gesloten vragen vertaald worden?

4.5 Reflectie stap 4

Doormiddel van de verkregen inzichten benoemd bij stap drie (welke aspecten zijn relevant en hoe hebben deze invloed op elkaar en op de besluitvorming over de toepassing van PV-panelen) was deze stap relatief simpel te doorlopen: het verwerken van verzamelde data uit stap drie. De verzamelde data zijn gespecificeerd tot gesloten vragen. Waar nodig zijn deskundigen van het RVB geraadpleegd., bijvoorbeeld wanneer het lastig was een relevant aspect in een gesloten vraag te formuleren, zoals bij constructieve aspecten, omdat bevestigingsmethode en eisen hiervan afhankelijk zijn van een combinatie tussen locatie (windzone), plaatsingshoogte en draagkracht van het dak.

Competenties

LU 4 Ontwerpen	Door middel van de geformuleerde vragen wordt duidelijk of en onder welke omstandigheden PV-panelen toegepast kunnen worden. Deze omstandigheden (bijvoorbeeld gebouwaanpassingen) zijn een voorbeeld van deeloplossingen. Ieder aspect van invloed op besluitvorming (zie aspecten uit stap 3) is in een gesloten vraag gevat. De gesloten vragen (benodigde besluitvormingsstappen) geven aan op basis van welke gestelde eisen (gerelateerd aan aspecten stap 3) het besluitvormingsproces plaatsvindt. Hierbij zijn alternatieve opties of vertakkingen van vragen geformuleerd, zoals wanneer de materialisatie van het dak niet geschikt is of gewijzigd kan worden. Indien niet (financieel) mogelijk/gewenst, zijn PV-panelen geen optie, bijvoorbeeld wanneer dit in strijd is met bouwkundige- of brandveiligheidseisen. Dit is onderdeel van de essentie van de procesoptimalisatie.
LU 6 Specificeren	De eisen en randvoorwaarden die door het RVB worden gesteld om te bepalen of, hoe en onder welke omstandigheden een PV-installatie op het dak wordt geïmplementeerd, zijn leidend in het besluitvormingsproces over het toevoegen van een PV-installatie in een (bouw)projectuitvraag. Het begrijpen/doorgroen van deze eisen en randvoorwaarden en de vertaalslag hiervan in gesloten vragen, duidt op het specificeren van deze eisen en randvoorwaarden (expliciet in gesloten vragen).
LU 15 managen en innoveren	Doormiddel van deze reflectie (en schematische weergave hiervan) kijk ik terug op mijn eigen beroepsmatig handelen en toon ik ontwikkeling m.b.t. de professionalisering van mijn beroepsmatig denken en handelen.

Bijlage 3

Stap 5

5.1 Aanleiding/context van stap 5

De vragen die in stap vier zijn geformuleerd bepalen of en onder welke omstandigheden PV-paneel installaties en onderdelen op daken worden toegepast binnen projecten van het RVB. Om tot een optimaal besluitvormingsproces te komen dienen deze vragen systematisch en in een bepaalde volgorde weergegeven te worden. Om dit te bespoedigen is het raadzaam verschillende opties te proberen, beginnend met een simpele basis.

5.2 Activiteit stap 5

De vragen uit stap vier zijn in het format van een (concept)stroomschema weergegeven. Hiermee wordt een eerste aanzet/invulling gegeven voor het antwoord op deelvraag 5: hoe kunnen de geformuleerde vragen optimaal in een besluitvormingsschema worden samengevat?

5.3 Werkwijze stap 5

Gedurende deze stap heb ik de vragen uit stap vier in het format van een stroomschema verwerkt. Dit kan worden gezien als eerste 'schetsontwerp' of 'eerste conceptontwerp'. Om overzicht te houden zijn nog niet alle vragen uit de voorgaande stap verwerkt. De vragen weergegeven in het schema zijn gekozen op basis van ingeschatte urgentie. In gesprekken met (eerder genoemde) deskundigen van diverse disciplines, is de opzet van het eerste schema besproken en is nagegaan waar dingen aangevuld konden worden. Dit heeft geleid tot uitbereiding van het stroom/keuzeschema waarmee het schema zo uitgebreid mogelijk is gemaakt. Dit is gedaan om uit te sluiten dat bepaalde aspecten worden vergeten of niet worden meegenomen.

5.4 Producten/resultaten stap 5

- Schetsontwerp/eerste conceptontwerp stroomschema
- Uitgebreid conceptontwerp stroomschema

5.5 Reflectie stap 5

Gedurende deze stap heb ik zelfstandig een eerste opzet gemaakt voor het stroomschema en ingezien wat het belang is van samenwerking. Door tussentijdse resultatendeling en feedback van collega's, ben ik tot het inzicht gekomen dat het tactisch is om het schema eerst zo uitgebreid mogelijk te maken om het vervolgens in vervolgstappen te beperken tot de essentie (alleen de belangrijkste vragen). Zo wordt niets vergeten of over het hoofd gezien. In vervolgstapen zal duidelijk worden of bepaalde vragen mogelijk samengevoegd of weggelaten kunnen worden. Ik heb het schema zo uitgebreid mogelijk gemaakt. Hierdoor werd mijn schema groter, maar ook onduidelijker en chaotischer.

Competenties

LU 5 Ontwerpen	In deze stap zijn schets/conceptontwerpen gerealiseerd; dit is een opstap naar de optimale volgorde en selectie van de vraagstelling die bepaalt of, onder welke omstandigheden en met welke onderdelen een PV-installatie wordt toegepast op het dak van een gebouw. Bij zowel het eerste als het tweede schema zijn de vragen uit het voorgaande hoofdstuk weergegeven. Deze vertegenwoordigen de eisen en wensen op basis waarvan het besluitvormingsproces over de toepassing van PV-panelen op daken in een projectuivraag geschiedt. Hiermee integreer ik (deel)oplossingen (zoals vereiste gebouwaanpassingen) in de optimalisatie van het besluitvormingsproces dat ik aan het ontwerpen ben.
LU11 Communiceren en samenwerken	Doormiddel van de opzet (vormgeving) en het delen (met collega's) van beide (concept)schema's, breng ik op gestructureerde wijze informatie over. Naar aanleiding van feedbacksessies zijn aanpassingen in het schema aangebracht; daarmee toon ik aan kritisch te zijn op de inhoud.
LU 12 Samenwerken en communiceren	Doormiddel van het delen van conceptversies (tussenresultaten) en de feedback die ik hierop heb ontvangen van collega's, toon ik aan bezig te zijn met de leeruitkomst 'samenwerken en communiceren'. Ik zie in wat mijn eigen rol is in het ontwikkelproces van dit schema en wat de verschillende beroepsrollen en bijbehorende invalshoeken van mij vragen, bijvoorbeeld die van onderzoeker, projectmanager, constructeur en brandveiligheidsdeskundige, omdat ik vanuit al deze perspectieven nadenk over welke zaken invloed hebben op de besluitvorming over PV-panelen op daken. Dit toont besef van eigen rol en werkomgeving met de daarin te onderscheiden beroepsrollen.
LU 15 managen en innoveren	Doormiddel van deze reflectie (en schematische weergave hiervan) kijk ik terug op mijn beroepsmatig handelen en toon ik ontwikkeling m.b.t. de professionalisering van mijn beroepsmatig denken en handelen.

Bijlage 3

Stap 6

6.1 Aanleiding/context van stap 6

Om te testen of inhoudelijke en praktische zaken (zoals vraagvolgorde) verbeterd kunnen worden in het schema, is het nuttig deze te testen op een projectcase.

6.2 Activiteit stap 6

Het toepassen van het (concept)stroomschema op een projectcase. De uitkomsten documenteren. Formuleren van inhoudelijke en praktische aandacht/verbeterpunten voor het schema.

6.3 Werkwijze stap 6

Ik heb een collega gevraagd naar een (bouw)project waar het Rijksvastgoedbedrijf PV-panelen op het daken toe zou willen passen en waarvan veel gebouwd data beschikbaar zijn. Een versnellingsproject vanuit het programma ZOD is mij aangeboden. Het versnellingsproject betreft de Penetiare inrichting (PI) in Heerhugowaard. Dit project is volgens deelnemers van het projectteam ZOD een potentieel gebouw om (relatief) eenvoudig, zonder al te veel gebouwaanpassingen of andere complicaties, PV-panelen op het dak toe te passen. Vervolgens heb ik de vragen uit het (concept)schema beantwoord met de gebouwgegevens die voorhanden waren van de PI in Heerhugowaard; hieruit zijn praktische en inhoudelijke verbeterpunten voor het schema naar voren gekomen. Daarnaast heb ik de uitkomsten van de vragen uit het stroomschema gedocumenteerd en is een beeld gecreëerd van benodigde gebouwaanpassingen voor toepassing van PV-panelen, hoeveel dakoppervlak beschikbaar is en welke installatieonderdelen- en oriëntatie de voorkeur hebben.

6.4 Producten/resultaten stap 6

- Document met antwoord op de vragen: kan er PV worden toegepast, hoeveel dakoppervlak is beschikbaar, welke gebouwaanpassingen zijn nodig en is er voorkeur voor specifieke installatie onderdelen? Voor de PI in Heerhugowaard.
- Inhoudelijke en praktische verbeterpunten voor het stroomschema
- Overzicht van documenten(gebouwinformatie) die vereist zijn om alle vragen uit het (concept)stroomschema te kunnen beantwoorden wanneer deze wordt toegepast op een (bouw)project.

6.5 Reflectie stap 6

Gedurende deze stap kwam ik tot de conclusie dat de volgorde van vragen aangepast moest worden, omdat het antwoord op de ene vraag van invloed is op een andere vraag (wanneer de materialisatie niet geschikt is en vervangen dient te worden, kan dit nieuwe materiaal invloed hebben op de draagkracht van het dak); daarom dient de vraagstelling over de constructie na de materialisatievraagstelling te worden geplaatst. Daarnaast heb ik ingezien dat het dak van een gebouw niet als een heel vlak moet worden gezien, maar als losse delen. Dit betekent dat per dakdeel het schema doorlopen moet worden. Tevens kunnen bepaalde vragen samengevoegd worden (m.b.t. materialisatie en levensduur dak).

Competenties

LU 6 Specificeren	Doormiddel van het (concept)stroomschema worden relevante aspecten (uit stap 3) vertaald naar een adviserend implementatiedocument. Dit document geeft aan of PV-panelen op het dak van het desbetreffende gebouw kunnen worden toegepast, welke gebouwaanpassingen vereist zijn, hoeveel dakoppervlak hiervoor beschikbaar is en of er voorkeur is voor specifieke installatie onderdelen. Dit is een vorm van specificeren. Bij elke vraag is aangegeven/onderbouwd of en mogelijk hoe dit invloed heeft op toepassing van PV-panelen bij de PI in Heerhugowaard.
LU 10 onderzoeken	Uitkomsten van zowel praktische toepassing van het schema als de inhoud, worden geëvalueerd. Er is geconcludeerd waar aanpassingen aangebracht moeten worden in het schema, zowel inhoudelijk als praktisch (volgorde vraagstelling).
LU 15 managen en innoveren	Doormiddel van deze reflectie (en schematische weergave hiervan) kijk ik terug op mijn eigen beroepsmatig handelen en toon ik ontwikkeling m.b.t. de professionalisering van mijn beroepsmatig denken en handelen.

Bijlage 3

Stap 7

7.1 Aanleiding/context van stap 7

De inhoudelijke en praktische verbeterpunten uit stap 6 moeten in het stroomschema geïmplementeerd worden. Daarnaast is het raadzaam door feedback van collega's na te gaan of er nog laatste verbeterpunten zijn voor het schema.

7.2 Activiteit stap 7

Verzamelen van feedback en implementeren van verbeterpunten (inhoudelijk & praktisch).

7.3 Werkwijze stap 7

Op advies van de partij die de conceptringlijn van het Rijksvastgoedbedrijf reviewd (Royal Haskoning), is de inhoud van het schema in twee schema's weergegeven. Met het eerste schema wordt bepaald of PV wordt toegepast, hoeveel oppervlak hiervoor beschikbaar is en welke gebouwaanpassingen hiervoor nodig zijn.

Ik heb aan beide schema's argumentaties en achtergrondinformatie per vraag bijgevoegd. Deze argumentatie/achtergrondinformatie moet bijdragen aan het beantwoorden van de vragen en het doorlopen van het schema. Deze argumentaties zijn afkomstig uit informatie uit eerder doorlopen stappen (1-6) en gespreksvoering met genoemde disciplines. Daarnaast heb ik aan het tweede schema specifieke installatie-onderdeelen toegevoegd (m.b.t. paneelspecificatie, omvormerspecificatie, bekabelingseisen etc.).

Doormiddel van diverse feedbacksessies met eerder genoemde deskundigen zijn alle vragen met bijbehorende argumentatie nogmaals bekritiseerd. Daarnaast is, om beter overzicht te creëren, de lay-out van het schema aangepast in een designprogramma.

Na kritisch overleg met Allard Lambers (auteur van het stroomschema 'Groene daken', met de eis m.b.t. minimaal beschikbaar oppervlak) is de vraag m.b.t. het minimaal beschikbaar dakoppervlak geschrapt omdat de argumentatie niet voldoende 'hard te maken' was en te project specifiek was. Het was gebaseerd op aannames dat bij kleinschalige PV-installaties het implementeren en realiseren van installaties niet in verhouding staan met de terugverdientijd. Daarom werd aangenomen dat PV op daken waar minder dan 50m² dakoppervlak beschikbaar is, niet rendabel is. In principe verdient een PV-installatie zichzelf altijd terug; de terugverdientijd is echter afhankelijk van de aanschaf- en realisatiekosten in verhouding tot de energiekosten waarmee bespaard wordt.

Bijlage 3

7.4 Product/resultaat stap 7

- Definitief stroomschema dat beantwoordt of en onder welke omstandigheden PV-panelen in de projectuitvraag 'meegenomen worden'
- Definitief stroomschema voor installatieonderdeel specificatie

7.5 Reflectie stap 7

Op basis van alle eerder uitgevoerde stappen en feedback van deskundigen, heb ik ingezien wat er nog aangepast diende te worden aan inhoud, opzet, volgorde en lay-out van het stroomschema.

Competenties

LU 5 Ontwerpen	Door het schema te splitsen in twee delen is voldaan aan de wens/vraag vanuit Royal Haskoning; dit draagt bij aan de praktische toepasbaarheid in de planvormfase van een (bouw)project. Hierdoor wordt rekening gehouden met de eis en gestelde kaders: het moet een praktisch toepasbaar schema zijn dat bijdraagt aan de besluitvorming over toepassing van PV op daken binnen een (bouw)project uitvraag. Hiermee houd ik rekening met de gestelde doelen.
LU 11 Communiceren en samenwerken	Gedurende deze stap heb ik adequaat gecommuniceerd met collega's en zijn alle mogelijke aandachtspunten/feedback geïnventariseerd en verwerkt in mijn eindproduct.
LU 12 Communiceren en samenwerken	De vernieuwde lay-out van het stroomschema is duidelijker en overzichtelijker. Dit is een vorm van professionele communicatie in tekst/beeld. Doormiddel van het presenteren van mijn eindresultaten in tekst en beeld, laat ik zien dat ik over deze competentie beschik .
LU 15 managen en innoveren	Doormiddel van deze reflectie (en schematische weergave hiervan) kijk ik terug op mijn eigen beroepsmatig handelen en toon ik ontwikkeling m.b.t. de professionalisering van mijn beroepsmatig denken en handelen.



BIPV in de vorm van zonnegevels

Afstudeertraject Built environment

Naam: Casper Scheltes
Studentnummer: 345219

Datum: 14-01-2021
Plaats: Groningen

Bijlage 4

Inhoudsopgave

Inleiding	2
Hoofdstuk 1: Typen zonnegevels	3
1.1 Koude zonnegevel/geventileerde gevel	3
1.2 Warme zonnegevel	3
1.3 Hybride zonnegevels	3
1.4 Conclusie, antwoord deelvraag 1.....	3
Hoofdstuk 2: Typen PV-technieken toepasbaar is gevels.....	4
2.1 Kristallijn	4
2.2 Dunne-film	4
2.3 Multi-junction concentrators	4
2.4 Opkomende technologieën	5
2.4.1 Perovskieten	5
2.4.2 Kleurstofgevoelige zonnecellen	5
2.4.3 Directe plasmonische zonnecellen	5
2.5 Conclusie, antwoord deelvraag 2.....	5
Hoofdstuk 3 Leveranciers zonnegevels	6
3.1 Conclusie, antwoord deelvraag 3.....	6
Hoofdstuk 4: Verwachtingen van zonnegevels	7
4.1 Verwachting 1.....	7
4.2 Verwachting 2.....	7
4.3 Verwachting 3.....	7
4.4 Conclusie, antwoord deelvraag 3.....	7
Hoofdstuk 5: Voorbeelden gerealiseerde zonnegevels	8
5.1 voorbeeld 1	8
5.1.1 Projectinformatie.....	8
5.1.2 Technische informatie	8
5.2 voorbeeld 2	9
5.2.1 Projectinformatie.....	9
5.2.2 Technische informatie	9
.....	9
Hoofdstuk 6 Conclusie	10

Bijlage 4

Inleiding

Naast installatievorm of systeemgebied, is onderscheid te maken tussen PV-installaties als energieopwekkend onderdeel van de installatie (panelen en BIPV-modules). Traditioneel gezien worden seriematige PV-panelen op daken van gebouwen geplaatst.

BIPV (built integrated PV) heeft hier verandering in gebracht door het mogelijk te maken PV-apparatuur te integreren vanaf de ontwerpfase van een gebouw, door het te behandelen als een constructie-element. Hierdoor worden esthetische mogelijkheden en toepassingsplaatsen binnen een gebouw gemaximaliseerd.

Naast daken kunnen ook gevels worden gebruikt voor opwekking van energie. Aangezien BIPV een heel breed onderwerp is, zal de scope worden beperkt tot BIPV in de vorm van geveltechniek, ook wel zonnegevels genoemd.

Vraagstelling:

Hoofdvraag van dit deelonderzoek:

‘Wat is het verschil tussen PV en BIPV?’

Deelvragen:

1. Welke verschillende typen zonnegevels bestaan er?
2. Welke PV-technieken worden toegepast in zonnegevels?
3. Hoe ziet de markt voor zonnegevels eruit?
4. Wat zijn de verwachtingen m.b.t. de gevolgen van zonnegevels?
5. Hoe zien zonnegevels eruit?

Bijlage 4

Hoofdstuk 1: Typen zonnegevels

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de vraag:

Welke verschillende typen zonnegevels bestaan er?

Er zijn drie verschillende typen zonnegevels te onderscheiden (Kuijpers Office, 2020):

Koude zonnegevels, (ook wel geventileerde gevels genoemd)

Warme zonnegevels

Hybride zonnegevels

1.1 Koude zonnegevel/geventileerde gevel

De naam koude zonnegevel/geventileerde gevel komt van het feit dat niet de gehele gevel opwarmt wanneer de PV-component in werking is (doormiddel van opwekken van energie kan warmte ontstaan). Dit type zonnegevel wordt gekenmerkt door zijn ondoorzichtigheid. De gevel is opgebouwd uit de volgende hoofdlagen (van binnen naar buiten):

1. Binnenwand, dragend en weersbestendig (voorbeeld: hout, aluminium of staal)
2. Spouw
3. Buitenmuur met een primair esthetische functie

De energieopwekkende installatie in deze gevel geïntegreerd, bestaat uit de volgende componenten:

Zonnepanelen die tussen lagen van glas geplaatst kunnen worden; deze kunnen worden voorzien van verschillende kleuren, texturen, print of lambriseringstechnieken

Electrische apparatuur, afhankelijk van het type installatie kan dit bestaan uit kabeldozen, omvormers, optimizers, energiemeters en slimme software.

1..2 Warme zonnegevel

De naam warme zonnegevel komt van het feit dat de *gehele* gevel op kan warmen wanneer de PV-component in werking is. Dit type zonnegevel kan transparant zijn, bijvoorbeeld vliesgevels. Een ondoorzichtige variant is de toepassing van borstweringspanelen. Een onderdeel of vorm van een warme gevel is een zogeheten 'smartwindow'. Dit type raam bevat energieopwekkende componenten. Deze componenten kunnen naast energie opwekken, ook schaduw creëren (niet alle slimme ramen kunnen schaduw creëren).

1..3 Hybride zonnegevels

Dit type zonnegevel is een combinatie van zowel een warme als koude zonnegevel. Dit is een veelvoorkomende toepassing.

1.4 Conclusie, antwoord deelvraag 1

Welke verschillende typen zonnegevels bestaan er?

Koude zonnegevels, warme zonnegevels en hybride zonnegevels.

Bijlage 4

Hoofdstuk 2: Typen PV-technieken toepasbaar is gevels

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de vraag:

Welke PV-technieken worden toegepast in zonnegevels?

Er bestaan vier overkoepelende typen van PV-technologieën. Deze vier typen hebben verschillende eigenschappen, voor-en nadelen, en verschillen in staat van ontwikkeling. Alle vier typen kunnen worden toegepast in zowel warme-als koude gevels bij zowel nieuw-als bestaande bouw. (Kuijpers Office, 2020)

Kristallijn
Dunne-film
Multi-junctie
Opkomende technologieën

2.1 Kristallijn

Kristallijne siliciumcellen zijn platte ondoorzichtige broze wafers, bestaande uit het halfgeleidersmateriaal silicium. Kristallijne siliciumcellen zijn het bekendst en is de meest toegepaste zonneceltechnologie in/op daken en bij zonnevelden. Deze technologie is op grote schaal leverbaar en verkrijgbaar tegen een relatief goede prijs.

De garantietermijn van kristallijne cellen is doorgaans minimaal 25 jaar. De productie van deze zonnecellen vindt hoofdzakelijk in China plaats. Dit type cellen kan in een zonnegevel worden toegepast wanneer de cellen in andere gevelcomponenten wordt geplaatst. De montage is veelal handmatig. In Europa zijn veel aanbieders van dit type zonnegevels.

2.2 Dunne-film

Bij dunne-film zonnecellen wordt een dunne laag halfgeleidersmateriaal aangebracht op een oppervlak zoals glas. Het kan op een dun, buigbaar materiaaltype worden aangebracht. Dit biedt meer mogelijkheden en leidt tot esthetische/architectonische vrijheid in vormgeving van een zonnegevel. Daarnaast presteert dit type zonnegevel beter bij diffuus licht.

Verschillende halfgeleidersmaterialen kunnen bij dunne-filmtechniek worden toegepast:

Amorf silicium
Micromorf silicium
Koper-indium diselenide (CIS)
Koper-indium-galliumselenide (CIGS)

Dunne-film zonnecellen hebben slechts een aandeel van 5% in de totale wereldmarkt in zonnepanelen. Toch wordt deze techniek veel gebruikt in BIPV-producten, toegepast in zonnegevels.

In 2017 is onderzoek gedaan dat uitwees dat in 44% van de BIPV-producten dunne-filmtechniek was toegepast. De productie van dunne-filmtechnologie is geautomatiseerd en er wordt minder halfgeleidersmateriaal gebruikt dan bij kristallijne zonnecellen. Deze technologie levert meer rendement en heeft een langere levensduur in vergelijking met kristallijne technologieën. Meestal wordt dunne-filmtechnologie op bestelling gemaakt, maar zou tot een snelle lokale massaproductie kunnen overgaan als de vraag toeneemt.

2.3 Multi-junction concentrators

Deze techniek bestaat uit een combinatie van meerdere halfgeleidende materialen terwijl bij de eerdergenoemde technieken slechts 1 halfgeleidersmateriaal wordt gebruikt. De combinatie van meerdere halfgeleidende materialen biedt op dit moment het hoogste potentieel voor energieproductie van zonnecel technologieën. Dit type zonneceltechnologie wordt hoofdzakelijk in experimentele vorm in de bouwsector toegepast. Momenteel zijn er enkele gecommercialiseerde technologieën beschikbaar en in gebruik.

Bijlage 4

2.4 Opkomende technologieën

De onderstaande technologieën zijn in opkomst. Deze technologieën hebben een hoog potentieel op het gebied van verbeterde efficiëntie, lagere kosten en esthetische mogelijkheden m.b.t. zonnegevels. Er wordt aan gewerkt deze technieken op de markt te brengen.

Perovskieten

Kleurstofgevoelige zonnecellen (DSSC)

Directe plasmonische zonnecellen

2.4.1 Perovskieten

Dit type zonnecel is eenvoudiger en goedkoper te produceren dan andere typen zonnecellen. Het is volledig aanpasbaar in vorm en kleur; in de basis is dit type transparant. Dit type zonnecel functioneert beter bij diffuus licht en is het meest geschikt voor toepassing in gebouwen met veel glazen componenten.

2.4.2. Kleurstofgevoelige zonnecellen

Dit type zonnecel is transparant en functioneert goed in omstandigheden van diffuus licht. Een nadeel is dat deze technologie waarschijnlijk een lagere levensduur heeft dan andere gecommercialiseerde zonnecel technologieën (ongeveer 20 jaar). Het gaat goed samen met andere materialen met een (verwachte) kortere levensduur; echter is dit minder duurzaam.

2.4.3. Directe plasmonische zonnecellen

Bij dit type zonneceltechnologie wordt gebruik gemaakt van plasmonische nano-deeltjes als actief materiaal. Dit is een opkomende technologie die nog niet is gecommercialiseerd.

2.5 Conclusie, antwoord deelvraag 2

Welke PV-technieken worden toegepast in zonnegevels?

Kristallijne-, dunne-film-, multi-junctie-en opkomende technologieën zoals perovskieten, kleurstofgevoelige zonnecellen (DSSC) en directe plasmonische zonnecellen.

Bijlage 4

Hoofdstuk 3 Leveranciers zonnegevels

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de vraag:

Hoe ziet de markt voor zonnegevels eruit?

Aangezien zonnegevels een nieuwe en opkomende ontwikkeling zijn binnen de bouwsector, is de markt (nog) kleiner en minder ontwikkeld. Daarom wordt in deze paragraaf een korte en bondige beschrijving gegeven van marktontwikkelingen op het gebied van zonnegevels. Lighthouse heeft een marktscan uitgevoerd, gericht op leveranciers van zonne-gevels voor de Europese markt. De doelgroep bestond uit vastgoedontwikkelaars, eigenaren en gebouw-exploitanten geïnteresseerd in implementatie van zonnegevels. (Kuijpers Office, 2020)

De implementatie van een zonnegevel is maatwerk. Hiervoor is multidisciplinaire kennis nodig. Projecten vereisen in de meeste gevallen een consortium van partners die samen over de benodigde multidisciplinaire kennis beschikken. Er zijn bedrijven die dit volledige kennispakket aanbieden. Op dit moment zijn er veel innovatieve ontwikkelingen op het gebied van zonnegevelsystemen. Naar verwachting zullen veel componenten komend jaar verbeterd worden. Voorbeelden hiervan zijn:

Ontwerpmogelijkheden: kleur en printtechnieken

Zonnemodules: lange termijn prestaties van opkomende technologieën

Kabeldozen: slimme kabeldozen waarmee hotspots worden geminimaliseerd

Montagesystemen en technieken: de standaardisatie van technieken i.p.v. project-gerelateerd maatwerk

Elektrische distributieapparatuur en software

Systeemduurzaamheid

3.1 Conclusie, antwoord deelvraag 3

Hoe ziet de markt voor zonnegevels eruit?

Er zijn tientallen bedrijven op de Europese markt die componenten van zonnegevelsystemen aanbieden en leveren. Op dit moment zijn er geen dominante spelers aanwezig. Er zit veel beweging in de markt van nieuwe producten.

Bijlage 4

Hoofdstuk 4: Verwachtingen van zonnegevels

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de vraag:

Wat zijn de verwachtingen m.b.t. de gevolgen van zonnegevels?

Zonnegevels kunnen leiden tot positieve milieu-, economische- en sociale effecten. Er zijn door Lighthouse innovation drie verwachtingen geformuleerd met betrekking tot de (milieu)effecten van zonnegevels. Later in deze paragraaf wordt hierop ingegaan. Innovation Lighthouse heeft een aantal case-studies uitgevoerd die deze verwachtingen valideren. Hierbij is onderzocht hoe zonnegevels kunnen bijdragen aan het verminderen van bouwgerelateerde koolstofemissie en de algehele milieu-impact van een gebouw.

4.1 Verwachting 1

‘De verwachting was dat zonnegevels mogelijkheden bieden voor het opwekken van hernieuwbare energie voor eigen gebruik of die teruggeleverd kan worden aan het net.’

Uit onderzoek is gebleken (Kuijpers Office, 2020) dat veel gecommercialiseerde zonnegevel-technologieën in staat zijn te functioneren als betrouwbare bron van hernieuwbare elektriciteit en/of warmte. De mate van zelfvoorziening varieert sterk. Deze is afhankelijk van meerdere factoren, verschillend per project. In combinatie met andere energiebesparende maatregelen, zonnepanelen op daken en de opslag van energie, kunnen zonnegevels in een aanzienlijk deel van de warmte- en elektriciteitsbehoefte van een gebouw voorzien. Met name gebouwen die zich op het Noordelijk halfrond bevinden zijn hiervoor geschikt, doordat de zonnegevels in de wintermaanden tot ongeveer twee keer zo efficiënt kunnen zijn dan zonnepanelen geplaatst op het dak van een gebouw (Kuijpers Office, 2020). Dit komt omdat de zon dan dichterbij de horizon staat (project- en locatie georiënteerd).

Bij gekleurde zonnegevels of zonnegevels waarbij een print is toegepast, varieert het rendement. Hierbij is over het algemeen een afweging gemaakt tussen esthetiek en PV-prestaties van de gevel. Recente ontwikkelingen hebben geresulteerd in meer architectonische vrijheid met betrekking tot vormgeving van zonnegevels, echter genereren deze gevels minder rendement doordat kleur en opdruk de panelen gedeeltelijk bedekt. Het efficiëntieniveau varieert en is afhankelijk van het dekkingsniveau en de kleur van de inkt.

4.2 Verwachting 2

‘Zonnegevels maken het mogelijk dat gebouwen energie besparen doordat er een verminderde koelte- of warmtevraag ontstaat als gevolg van verbeterde thermische isolatie en warmteafbuiging.’

Alle zonnegevels die besproken worden gedurende de case-studies in dit bestand, kunnen dusdanig ontworpen worden dat de isolatiewaarde van een gebouw verbeterd wordt. Een warme zonnegevel kan bijvoorbeeld een glazen vliesgevel zijn met verhoogde warmte-isolatie. Hierin kan driedubbel glas worden toegepast met een verbeterde R-waarde. Koude/geventileerde gevels kunnen met nieuwe isolatievormen bekleed worden. Een nadeel van zonnepanelen kan zijn dat de warmte die ze opwekken een opwarming van het exterieur tot gevolg heeft dat mogelijk bijdraagt aan het “hitte eiland effect” in stedelijk gebied.

4.3 Verwachting 3

‘Zonnegevels hebben een positieve ecologische voetafdruk.’

De levenscyclusimpact van PV-producten wordt bepaald door herkomst van de materialen en methoden van upcycling of downcycling aan het einde van de materiaal-levensduur. Op dit moment zijn er geen zonnegevelsystemen die volledig circulair zijn; er zijn alleen leveranciers die deels recyclebare systemen aanbieden.

4.4 Conclusie, antwoord deelvraag 3

Zonnegevels bieden mogelijkheden tot verduurzaming van de gebouwde omgeving doormiddel van energiebesparing in de vorm van verminderde koelte of warmtevraag. Het is afhankelijk van de leverancier in hoeverre zonnegevels een positieve ecologische voetafdruk hebben.

Bijlage 4

Hoofdstuk 5: Voorbeelden gerealiseerde zonnegevels

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de vraag:

Hoe zien zonnegevels eruit?

5.1 voorbeeld 1

(Kuijpers Office, 2020)

5.1.1 Projectinformatie

Onyx Solar Head Office
Avila, Spain

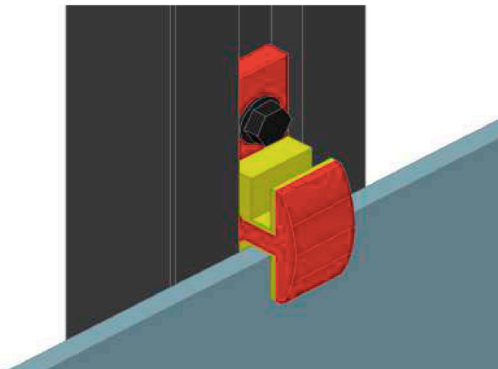
Type gevel: koude zonnegevel
Type cel technologie: thin-film



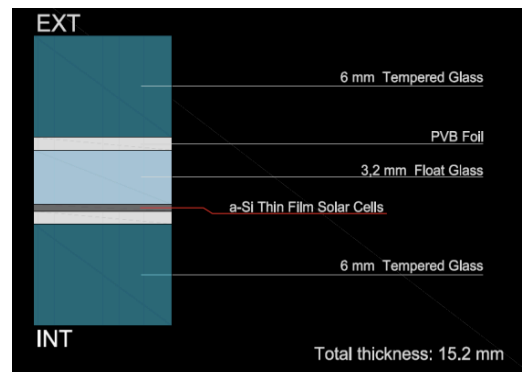
Afbeelding 1 Kantoorgebouw voorzien BIPV-glas

5.1.2 Technische informatie

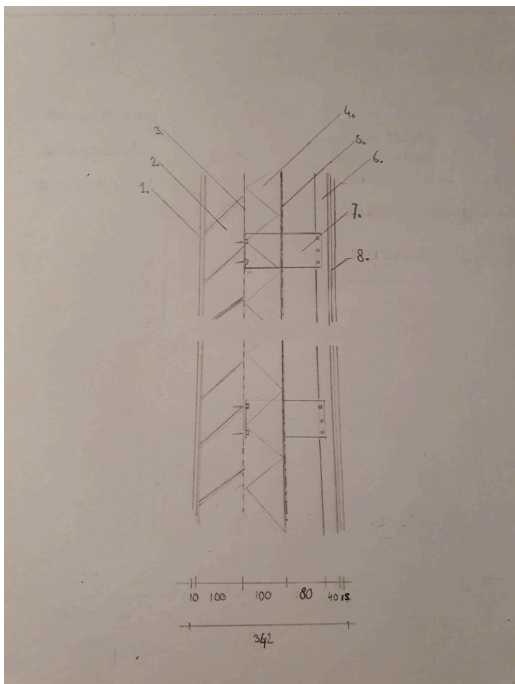
De PV-technologie is verwerkt in glazen BIPV-platen (zie afbeelding 3). Deze zijn als gevelbekleding aangebracht op een dragend (aluminium) geraamte (afbeelding 1 en 2) en doormiddel van stalen hoeklijnen bevestigd aan de dragende gevel. Afbeelding 4 en 5 geeft schetsen weer van de verticale en horizontale doorsnede van de gevel van binnen naar buiten (van links naar rechts). Deze schetsen geven een beeld van de technische opbouw van de gevel en bevestiging van de BIPV-modules.



Afbeelding 2 verbinding BIPV glas/aluminium profiel



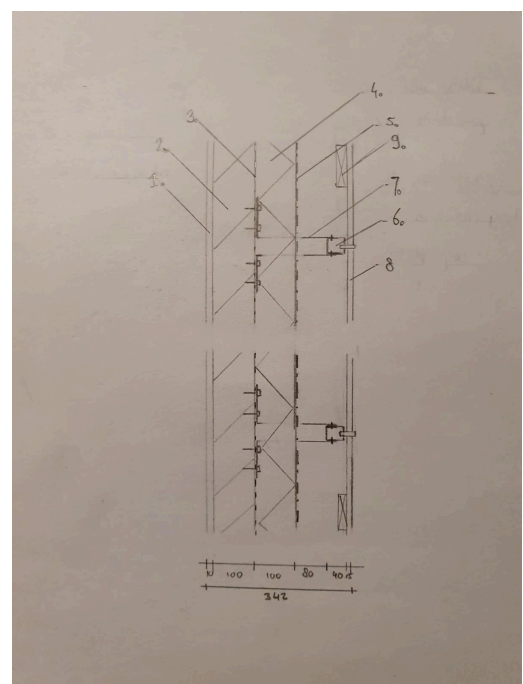
Afbeelding 3 opbouw glazen BIPV platen



Afbeelding 4 verticale doorsnede

Legenda afbeelding 4 & 5

1. Pleisterwerk
2. Gewapend beton
3. Damp remmende laag
4. Steenwol thermische isolatie
5. Waterkerende-en dampopen laag
6. Aluminium profiel
7. Stalen hoeklijn d.m.v. bouten verbonden
8. BIPV glas
9. Aansluitbox



Afbeelding 5 horizontale doorsnede

Bijlage 4

5.2 voorbeeld 2

(Kuijpers Office, 2020)

5.2.1 Projectinformatie

Zurich, Zwitserland

Hofwiesenstrasse

Type gevel: koude zonnegevel

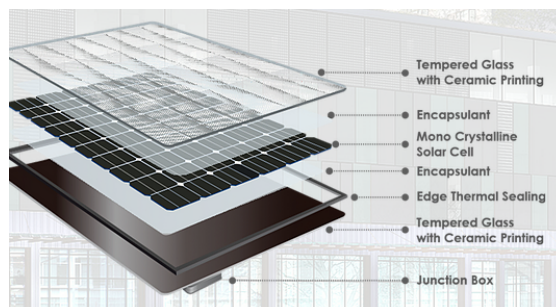
Type cel technologie: monokristallijn



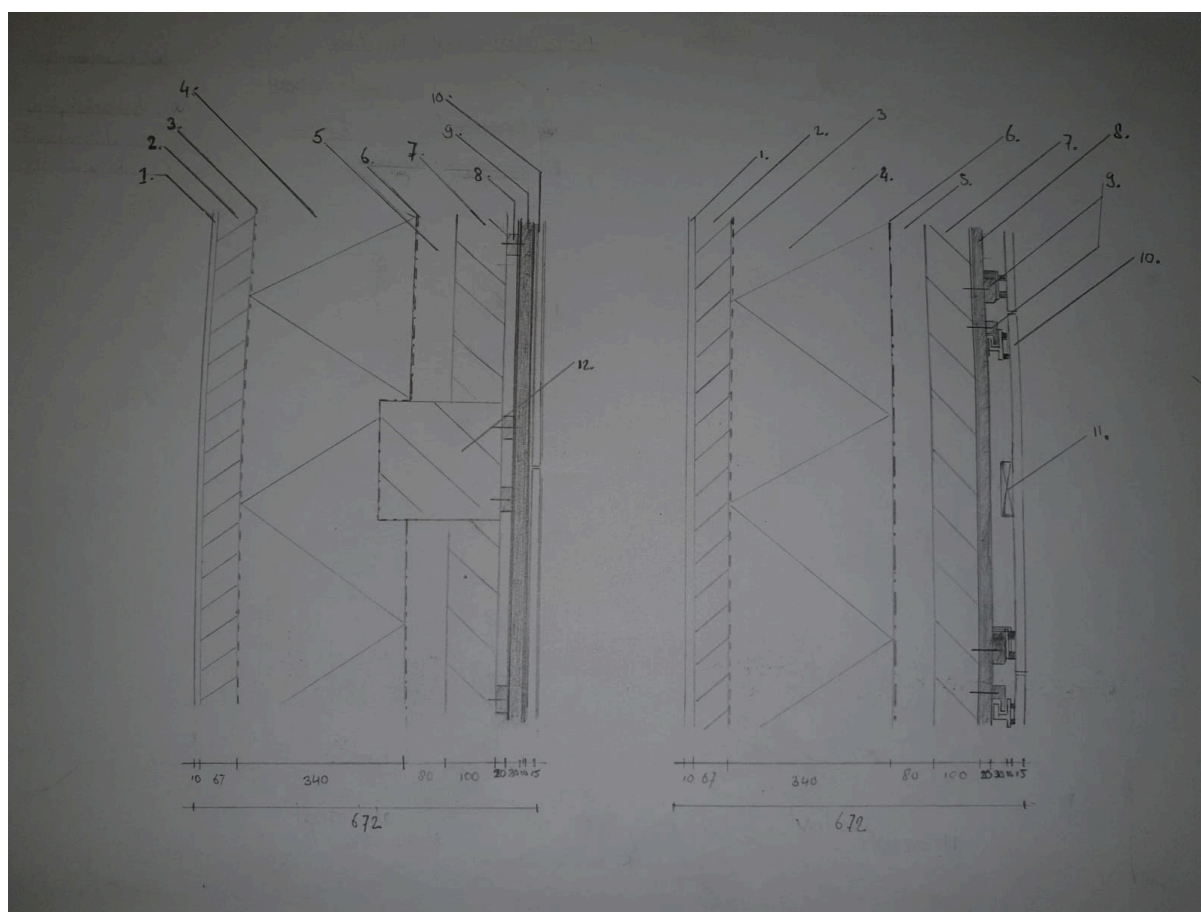
Afbeelding 6 woningcomplex bekleed met BIPV-gevelplaten

5.2.2 Technische informatie

De zonneceltechnologie is verwerkt in gevel-bekledende platen (zie afbeelding 6). Op afbeelding 7 is de opbouw van deze BIPV-gevelplaten weergegeven. Doormiddel van aluminium stijlen en regels zijn deze platen aan de draagstructuur van het gebouw bevestigd. Op afbeelding 8 zijn schetsen weergegeven van een horizontale en verticale doorsnede van de gevelopbouw. Van binnen naar buiten, van links naar rechts.



Afbeelding 7 opbouw BIPV-gevelplaten



Legenda afbeelding 8

1. Pleisterwerk
2. Kalkzandsteen
3. Dampremmende folie
4. Harde thermische isolatie
5. Vochtkerende-en dampopen laag
6. Spouw
7. Baksteen metselwerk
8. Verticaal aluminium profiel
9. Horizontaal aluminium profiel
10. BIPV gevel bekledende platen
11. Aansluitbox
12. Gewapende betonnen kolom

Afbeelding 8 horizontale (links) en verticale (rechts) doorsnede koude zonnegevel

Bijlage 4

Hoofdstuk 6 Conclusie

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de vraag:

‘Wat is het verschil tussen PV en BIPV?’

Er is onderscheid te maken tussen de energieopwekkende componenten van de installatie (panelen en BIPV-modules). Traditionele PV-panelen en BIPV worden op verschillende manieren toegevoegd aan een gebouw. PV-panelen worden aangebracht op een bestaand oppervlak (dak) van een gebouw *nadat* dit voltooid is; hierbij zijn de panelen een externe toevoeging.

Bij BIPV worden traditionele constructie-elementen vervangen door een soortgelijk constructie-element waar PV-cellen in verwerkt zijn (bijvoorbeeld gevelbekleding, ramen, dakpannen of leien). Dit heeft een dubbele functie: naast het opwekken van energie is BIPV een volwaardig constructieonderdeel.

Het is mogelijk PV-panelen te integreren ‘in’ een dak- of gevel. Wanneer hiervoor reguliere PV-panelen kunnen worden toegepast kan dit ook als BIPV worden beschouwd (door de toepassingswijze). De panelen vervangen in dit geval de gevelbekleding/afwerking. De PV-panelen in dit scenario functioneren dan zowel als constructiedeel en als energie-opwekkende component.

Opmerking:

Wanneer er binnen een bouwproject PV in de gevel toegepast gaat worden (zonnegevel) is het noodzakelijk dat de gevel hiervoor ontworpen wordt. Dit betekent dat dit alleen mogelijk is bij nieuwbouw (waar dit in een vroeg ontwerp stadium ‘mee genomen’ kan worden in het ontwerp) of bij bestaande bouw, wanneer een volledige gevel wordt vervangen of een ‘tweede huidgevel’ wordt toegepast. Naast de technische implementatie van PV-componenten in een geveldeel is dit vanuit brandveiligheidsoverwegingen vereist, omdat PV-techniek in de basis brandgevaarlijk is doordat elektrische spanning ontstaat.

Bijlage 5

Bijlage 5 documentatie interviews

In deze bijlage zijn de transcripten van verschillende interviews weergegeven. De interviews hebben plaats gevonden in 'open interview' vorm: hierbij staat het onderwerp centraal, de vragen staan niet vast. Hierdoor kan dieper op het onderwerp worden ingegaan. Alle 5 interviews zijn woordelijk getranscribeerd. Na elk transcript is een samenvatting van de inhoud weergegeven

Geïnterviewde:

1. Dennis Faas
2. Marten de Bruin
3. Marco Jaspers
4. Marc Perin
5. Hans de Haan

1. Interview Dennis Faas, Rijksvastgoedbedrijf

(Vastgoed deskundige en technisch manager):

Datum: 05-10-2020

Transcriptvorm: woordelijk getranscribeerd

Geïnterviewde: Dennis Faas (D), door Casper Scheltes (C)

C: Als je kijkt naar de huidige procesgang, hoe wordt PV hierin verwerkt?

Je hebt beleid, dat is iets dat niet aan onze afdeling besteed is, vervolgens kom je bij de opgave, opdracht, definitie, ontwerp en uitvoering, dat is waar A&T mee bezig gaat. Hoe wordt PV op dit moment meegenomen binnen een project?

D: dat is per project weer verschillend, er zijn een aantal projecten waarvan van tevoren bepaald is: daar willen we PV toepassen zoals die versnelling projecten voor zon op dak. In veel andere projecten is het een van de verduurzamingsopties die mee onderzocht worden zoals bij alle projecten worden duurzaamheidsopties onderzocht en word gekeken wat er mogelijk is om het pand te verduurzamen. PV is daar natuurlijk een van, het is vaak zo dat er dan een soort Quick scan wordt uitgevoerd om te kijken wat er mogelijk is om het pand te verduurzamen en daar zit PV dan altijd wel bij. Als PV dan als een van de meest rendabele en beste oplossingen daaruit komt wordt het vaak wel meegenomen in het verdere ontwerpbudget mochten daar budgetten voor zijn.

C: Dus bij de fase: 'opgave' wordt het al meegenomen?

D: ja

C: Vervolgens wordt het bij opgave en ontwerpdefinitie verder verwerkt?

D: ja precies

C: bij opgave wordt gedurende de quick-scan alleen geanalyseerd of het rendabel zou zijn, niet of het ook echt zou passen binnen het gebouw?

D: Er wordt wel gekeken naar wat het dakoppervlak is en de oriëntatie is, om een zo realistisch mogelijk beeld te krijgen van de opbrengsten en de kosten. Daar moet dus wel een stukje voor ontworpen worden. Maar bij zo'n quick-scan wordt bijvoorbeeld niet helemaal de onderliggende constructie geanalyseerd en de er worden geen constructieberekeningen gemaakt en dat soort zaken. Er wordt meer met algemene kerngetallen gerekend, verder in het ontwerp wordt dit wel gedaan en dan kan dus nog wel blijken dat er nog wat lastige elementen in het ontwerp zitten die het ontwerp wat duurder maken. Dus in de beginfase wordt er een beetje een globaal beeld gemaakt, dit kan later nog veranderen.

Bijlage 5

C: is dat een standaard procesgang voor? Of is dit een bepaalde vorm van improvisatie waarbij wordt gekeken, hoe veel dakoppervlak is er beschikbaar, waar zou eventueel nog meer PV geplaatst kunnen worden en wat zijn de mogelijke kosten en opbrengsten hiervan zijn? Of is hier wel een bepaalde geautomatiseerde procesgang voor.

D: hoe ik het toe nu toe bij mijn projecten heb meegemaakt is dat we zelf inderdaad kijken van waar zouden PV-elementen kunnen komen, en dan zetten we dat als deelopdracht, of als een deel van een verduurzamende opdracht op de markt en dan gaat er een marktpartij mee aan de slag en die gaat dan berekenen wat het mogelijke oppervlakte is, hoe veel PV panelen je daarop kwijt kan en wat hiervan de mogelijke opbrengsten zijn en wat dan de terugverdientijd is.

C: Wie is er verantwoordelijk voor de toepassing van PV en wie heeft er uiteindelijk de beslisbevoegdheid over de toepassing van PV. Is dat de eigenaar van het pand of het Rijksvastgoedbedrijf

D: goede vraag, in veel gevallen zijn wij natuurlijk ook de eigenaar van het pand, in de projecten die ik tot nu toe heb gedaan waren de panden eigendommen van het Rijksvastgoedbedrijf. In dat geval hebben wij daar dan de stem in. In andere projecten moet de gebruiker akkoord gaan. Alle partijen moeten uiteindelijk akkoord gaan.

C: Als je de vraag vertaald naar de rollen binnen het projectteam, wie binnen het projectteam is er verantwoordelijk en heeft uiteindelijk de beslisbevoegdheid om te bepalen of er wel of geen PV binnen het project wordt toegepast?

D: in de basis verzorgt de technisch manager de hele technische kant van PV, of het kan worden toegepast en onder welke voorwaarden. Dus ook de terugverdientijden en dat soort zaken. Dan geeft de technisch manager een advies of hij het wel of niet zou doen. Dat advies wordt dan door de projectleider, de integraal projectverantwoordelijke samen met projectmanager besproken en zij bepalen dan of het word toegepast ja of nee.

C: dus eigenlijk is het een verdeling tussen de projectleider en de technisch manager?

D: ja en de projectmanager

Vraag 5:

C: als je kijkt naar de toepassing waar jij tot op heden tegenaan bent gelopen met de toepassing van PV, is dat dan met name procesmatig geweest of locatie technisch, heeft het meet te maken gehad met het gebruiksdoel of de functie van het gebouw, de vorm van het gebouw, constructief of de constructieve bevestiging de functie of het oppervlak van het dak, de brandveiligheid, wet en regelgeving, de mogelijke zichtbaarheid, bouwvoorschriften, oriëntatie, installatietechnische aspecten of overige zaken? Waar herken jij de grootste problemen in bij de toepassing van PV op of aan gebouwen?

D: dat is een hele lijst, dat is heel project specifiek. Als ik naar mijn projecten kijk dan heb ik veel met monumentale panden te maken. Hierbij is zichtbaarheid een belangrijk punt, dat panelen vanaf het maaiveld niet zichtbaar zijn. Dat je daar omheen moet werken en of er dan nog iets van dakoppervlak overblijft. Nog iets van monumentale panden is brandveiligheid. Dit is hierin een hot item. Die panden hebben vaak een hogen dakbeschot en dan moet je ervoor zorgen dan het allemaal brandveilig aangebracht wordt. Dat is wel een issui en uiteindelijk moet de investering opwegen tegen de besparing die je te weeg brengt. De CO2 besparing, dat moet wel een beetje in evenwicht zijn. Daar moeten we met zijn allen goed over nadenken. Bij monumentale panden is dat een uitdaging. Bij andere projecten kan het zijn dat er een taakstelling is waarbij het gehele project uit een bepaald budget gerealiseerd moet worden. Dan past PV daar soms wel en soms niet in. Het kan ook een reden zijn om het wel of niet te doen. Dat is heel jammer. Maar dat is wel hoe het soms gaat. Je kijkt ook niet naar de "total costs of ownership" maar alleen naar de initiële investering maar dat gebeurt nog wel eens.

C: dus als ik het samenvat den zeg jij: met name en zeker bij monumentale panden esthetiek en brandveiligheid de grootste rol spelen. In het algemeen de investering vs het energetische rendement dat eruit gehaald wordt, dat dat de grootste strugels opleveren.

D: Daar wordt wel naar gekeken inderdaad, het ligt er vooral aan wat voor budget er is. Als dat vrij beperkt is dan wordt daar vaak wel naar gekeken.

Bijlage 5

C: maar dat zijn de grootste problemen dus volgens jou?

D: van de projecten waar ik bij betrokken was wel

Vraag 6:

C: hoe zouden deze problemen volgens jou verholpen of versimpeld kunnen worden?

D: als we naar de monumentale panden kijken dan, ja ik weet het niet. Ik denk dat het altijd zo blijft dat je bepaalde randvoorwaarden hebt. Dus daarin denk ik dat daar niet veel aan zal veranderen en dat het daarom altijd een uitdagende gebouwportefeuille blijft om PV op toe te passen. Niet onmogelijk maar niet de meest eenvoudige panden om PV op toe te passen. Als ik kijk naar de andere projecten, ik denk dat als er verdere ontwikkelingen en dalingen van de PV prijs in combinatie met de stijgende energieprijzen, een gunstigere verhouding tussen deze twee dat dat uiteindelijk leidt tot veranderingen omdat dit leidt tot in switch in terugverdientijden. Uiteindelijk moet het Rijksvastgoedbedrijf minder gaan kijken naar terugverdientijden om aan onze CO2 doelstellingen te voldoen.

C: als ik je vraag wat er moet gebeuren om deze problemen te verhelpen dat zeg jij dat het een besluitvormingskwestie is, er moet minder waarde aan terugverdientijden worden gehecht. En meer aan de duurzaamheidsinvestering en dat dan relateert aan de voorbeeldfunctie van het Rijksvastgoedbedrijf als rijksorgaan.

D: Ja, en de CO2 doelen die wij in onze documenten hebben staan. En daar zit dan ook een algemeen duurzaamheidsonderzoek per project aan vooraf. Want uiteindelijk wil je wel de meest financieel voordelig oplossing, als PV daar heel slecht uitkomt dan wil je wel andere verduurzamingsoplossingen gebruiken. Dan zou het stom zijn als je direct voor PV kiest en die andere oplossingen links laat liggen. Ook gekoppeld aan de CO2 winst, je hebt een algemeen plaatje en daar moet je dan de beste opties uit kiezen.

Bijlage 5

1.1 Samenvatting interview Dennis Faas, Rijksvastgoedbedrijf (Vastgoed deskundige en technisch manager):

Datum: 05-10-2020

Per projectgang is het verschillend wanneer PV wordt toegevoegd aan de (bouw)plannen. Bij de proces fase ‘opgave’ wordt dit toegevoegd en bij de ontwerpdefinitie verder uitgewerkt. Tijdens de fase ‘opgave’ wordt doormiddel van een quick-scan hoofdzakelijk gekeken naar het dakoppervlak en de oriëntatie van potentiële dakoppervlakken van een gebouw. Dit wordt gedaan met algemene kerntallen. Als het vermoeden bestaat dat er pv kan worden toegepast dan wordt dit als deelopdracht of als een deel van een verduurzamende opdracht op de markt gezet. Een marktpartij gaat vervolgens aan de slag met de uitwerking. Als er PV wordt toegepast binnen een project is dit bijna altijd een PV-op-dak constructie.

De verantwoordelijkheid voor, en beslisbevoegdheid over de toepassing van PV binnen een (bouw)project ligt in veel gevallen bij het Rijksvastgoedbedrijf, gezien de panden veelal eigendom zijn van het Rijksvastgoedbedrijf. Alle partijen moeten uiteindelijk akkoord gaan (eigenaar, gebruiker en beheerder).

Binnen het Projectteam dat door het Rijksvastgoedbedrijf wordt samengesteld voor een desbetreffend project is de technisch manager verantwoordelijk voor de hele technische zijde van de toepassing van PV, dit gaat van de mogelijkheid en vorm van toepassing tot de terugverdientijd. De technisch manager adviseert de integraal projectverantwoordelijke en projectmanager. Die beslissen uiteindelijk.

De problemen die zich voordoen bij de toepassing van PV in een (bouw)project zijn vaak heel project specifiek. Bij monumentale panden is de zichtbaarheid vaak een probleem. Daarnaast is brandveiligheid over het algemeen een punt van aandacht bij de toepassing van PV. Bij monumentale panden is het probleem vaak dat de CO2 besparing vaak niet opweegt tegen de kosten.

Vaak moeten er extra gebouwaanpassingen plaatsvinden waardoor de kosten van de toepassing van PV omhooggaan en niet op wegen tegen de CO2 besparing. Vaak wordt de toepassing van PV om kosten gerelateerde afwegingen niet toegepast.

Bijlage 5

2. Interview Marten de Bruin, Rijksvastgoedbedrijf (deelnemer projectteam Zon op Dak en technisch manager)

Datum: 07-10-2020

Transcriptvorm: woordelijk getranscribeerd

Geïnterviewde: Interview Marten de Bruin(M), door Casper Scheltes (C)

C: Als je kijkt naar de fasen waarin een project tot stand komt, in welke fase wordt pv op dit moment toegevoegd aan planen en voor een bouwproject, als je kijkt naar A&T dat begint dat bij opgave en eindigt dit bij gebruik. Hoe en waar wordt pv op dit moment geïmplementeerd in zo'n project uitvraag? Of gebeurt dit bij 'beleid en portefeuille al?

M: dat verschilt een beetje denk ik per opgave, kijk als het gaat om, ik denk dat je onderscheid moet maken tussen de grootschalige renovatie en de reguliere onderhoudsprocessen. Want uit beiden initiatieven kan een zonnepaneel worden toegepast. Bij grootschalige renovatie is de opgave: een verandering van functie, het toekomstbestendig maken van het pand en daarbij behoort het duurzaamheidsambities en als onderdeel daarvan ligt het voor de hand om ook zonnepanelen mee te nemen

C: Dus dat gebeurt eigenlijk bij beleid al?

M: Ja eigenlijk is het verankerd in beleid en word het concreet gemaakt bij de definitie van de opgave. En als het vanuit een onderhoud project gebeurt dat zou eventueel ook kunnen. Als er dak vervanging plaatsvind kan het zo zijn, hier zijn wij niet zo bij betrokken als A&T maar dat is een vastgoedbeheer aangelegenheid, maar ik ken wel voorbeelden van een projectleider die zijn dak vervanging aan het voorbereiden is, die heeft gesprekken met een gebruiker. Stel een gevangenis daar moet en dak vervangen worden, dan heeft hij gesprekken met de dienst Penetiere inrichtingen en ook duurzaamheidsambities in hun beleid. En dan kan in de gesprekken die zij voeren kan naar voren komen dat zij ook PV willen toepassen. Op die manier kan het ook naar voren komen. Het is inderdaad afkomstig van beleid van verduurzaming

C: Als je kijkt, wie is er dan verantwoordelijk voor de toepassing van PV? als je kijkt naar het projectteam dat bij A&T wordt samengesteld

M: Wie is er verantwoordelijk voor PV

C: als je kijkt naar het projectteam dat bij A&T wordt samengesteld.

Ik denk dan het technisch team, het technisch team stelt de uitgangspunten van een renovatieproject vast en als onderdeel van de uitgangspunten kan opgenomen zijn een bepaalde energieprestatie die je wilt behalen. In veel gevallen wordt dan niet concreet voorgeschreven pas zonnepanelen toe, want dat wordt dan een beetje aan de vrijheid van de markt overgelaten. Dan wordt gezegd behaal minimaal een energieprestatie van een bepaalde EPC of bengt eis en dan wordt aan de ontwerppartij of aan de marktpartij die het project uitwerkt de vrijheid gelaten om zonnepanelen toe te passen. Maar vaak wordt er ok wel concreet geëist wek zo veel % van het energieverbruik op middels hernieuwbare energie.

C: Wie heeft er binnen een project de beslisbevoegdheid over de toepassing van PV, is dat dan de projectmanager geadviseerd door de technisch manager?

M: Ja, dat denk ik ook, ja

C: Als je kijkt, zijn er op dit moment procesmatige problemen waar jij tegenaan bent gelopen bij de toepassing van PV panelen binnen een project uitvraag?

M: Procesmatige belemmeringen, echte procesmatige belemmeringen.

C: of dingen waarbij je denkt op dit moment het loopt het gewoon niet zo soepel als het gaat.

Bijlage 5

M: ja, kijk je hebt in het algemeen als je kijkt om verduurzamingsmaatregelen best wel wat hobbels die je moet overwinnen, de financiering is altijd een vraagstuk. Wat kost he, wat levert het op, is het rendabel? En nu is voor zonnepanelen is het gemiddeld genomen is dat niet zo zeer het issue. Er zijn verduurzamingsmaatregelen die een slechter rendement hebben zegmaar. Zonnepanelen zijn ook wel redelijk algemeen geaccepteerd. Iedereen begrijpt wel waarom ze geplaatst worden, dus dat is ook niet echt een belemmering. Het zijn vooral de technische belemmeringen.

C: Dat was ook direct de volgende vraag, welke technische problemen komen voor bij de implementatie van PV in een bouwproject? Ik heb een hele lijst met punten staan ik ben benieuwd welke punten er in jou opkomen als ik jou de vraag stel

M: Ja, dat kan inderdaad een hele lijst zijn, maar de belangrijkste zijn de constructieve geschiktheid van een dak en ook de combinatie met het bestaande dak, de dakafwerking en dan met name gerelateerd aan brandveiligheid. Onze brandveiligheidsadviseurs die zien bepaalde combinaties liever niet. Of eigenlijk zeggen ze: dat moeten we eigenlijk niet willen. Omdat in de basis een zonnepaneel potentieel brandgevaarlijk is. Dan willen ze bijvoorbeeld niet de combinatie met een brandbare dakbedekking of een brandbare isolatie, en dat dan afhankelijk van het type gebouw. Een kantoor, een regulier kantoor wordt dan weer anders bekeken dan een gevangenis of een paleis. Iets met een strategisch belang of een belang voor een gevangenis die geen overlast krijgt. Een paleis of een gevangenis zitten in een zwaardere categorie dan een kantoor. Bij die zwaardere risicoklasse worden er specifieke eisen gesteld aan de opbouw van een dakafwerking. Als je bij een bestaand pand zonnepanelen wil plaatsen en de dakafwerking is niet volgens die eis kan dat een belemmering zijn.

C: Ik heb een hele lijst met mogelijke belemmeringen en dat is inderdaad wat er bij mij ook het meest naar voren kwam. Ook de personen die ik voor jou heb gesproken gaven dit aan. De draagkracht van de onderconstructie en de brandveiligheid die daarbij komt kijken. En ook wat ik nog heb meegekregen: de mogelijkheid tot het veilig werken op hoogte in de huidige situatie: is het dak bereikbaar en zijn er voldoende voorzieningen om te werken aan of het plaatsen van PV-panelen.

M: Ja precies, en je hebt de aansluiting. De elektrotechnische aansluiting. Wat ik daarvan terugkrijg van onze electro-collega's is dat dat vaak aan te passen is. Het kan zo zijn dat de huidige elektrotechnische aansluiting dat dat het niet mogelijk maakt. Maar dat is relatief gezien makkelijker aan te passen dan een dakconstructie of een complete dakafwerking.

2.1 Samenvatting interview Marten de Bruin, Rijksvastgoedbedrijf (deelnemer projectteam Zon op Dak en technisch manager)

Datum: 07-10-2020

De fase waarin PV wordt toegepast verschilt per opgave, je moet onderscheid maken tussen de grootschalige renovatie en reguliere onderhoudsprocessen. Bij grootschalige renovatieprojecten zit het verduurzamen en toekomstbestendig maken van panden (ook de optie voor het toepassen van PV) verankerd in de beleidsfase. Bij reguliere onderhoudsprocessen kan het zo zijn dat er in samenspraak met de gebruiker van het pand direct verduurzamende maatregelen worden toegepast.

Tijdens de uitwerking van (bouw)projectplannen is het technisch team verantwoordelijk voor het opstellen van de uitgangspunten van zo'n project. PV kan hier een onderdeel van zijn. De projectmanager (geadviseerd door de technisch manager) heeft de beslisbevoegdheid binnen een project over de vorm en toepassing van PV. De voornaamste technische belemmeringen zijn de constructieve geschiktheid en de brandveiligheid, dit heeft te maken met de dakopbouw en materialisatie. Dit is ook weer afhankelijk van het soort object. Zo worden er bijvoorbeeld aan een paleis of een gevangenis zwaardere eisen gesteld dan aan een regulier kantoorgebouw.

Bijlage 5

3. Interview Marco Jaspers, Rijksvastgoedbedrijf (brandveiligheidsdeskundige en deelnemer projectteam Zon op Dak)

Datum: 07-10-2020

Transcriptvorm: woordelijk getranscribeerd

Interview Marco Jaspers(M), door Casper Scheltes (C)

C: Waar moet je allemaal rekening mee houden op het moment dat je PV op een dak toe gaat passen? PV in-dak buitenbeschouwing gelaten.

M: Dat hangt ervan af waar uit je paneel bestaat, is dat een glas-glas paneel of een glas-folie paneel. Verder is de dakopbouw natuurlijk van belang, hoe zit de isolatie en de dakbedekking in elkaar. Hoe loopt de bekabeling, die zal ooit een keer het gebouw in moeten.

C: Dan is het antwoord op de vraag eigenlijk: het is in eerste instantie afhankelijk van de opbouw van het paneel, dan is vervolgens de vraag: wat is de dakopbouw en is de dakopbouw geschikt voor de toepassing van PV, zijn er geen materialen die in strijd zijn of brandgevaarlijk zijn of de extra belasting van het belopen of het extra gewicht van de panelen zelf niet aankunnen.

M: Ja, het grootste brandrisico zit erin dat je foute connectoren gebruikt, dat je bijvoorbeeld een siemens stekker gebruikt en een batterij van een andere fabrikant, cross-matching.

C: In principe niet de panelen zelf of de installatie zelf, maar het gebruik van verschillende materialen van verschillende leveranciers door elkaar heen.

M: Ja die niet perfect samenwerken

C: zoals je weet probeer ik in een soort van stroomschema samen te vatten of het mogelijk is om PV wel of niet toe te passen.

Als je de net genoemde punten zou moeten formuleren in een aantal ja nee vragen met als doel ja er zou PV toegepast kunnen worden of nee er zou geen PV toegepast kunnen worden, welke vragen zou jij hiervoor formuleren?

M: Puur even op-dak systeem

- Voldoet je dakisolatie aan brandklasse A?
- Voldoet het aan B?
- Ligt er grind op het dak?
- Worden er glas-glas panelen gebruikt?
- Scheid de brandafscheiding onder het dak aan op de dakconstructie, en als je dan onbrandbaar materiaal gebruikt om dat te realiseren
- Over cross-matching zal ik een vraag stellen?
- Ballast op het dak?
- Staat het op een betonnen dak?

Dat was het eigenlijk

C: Ik zat eraan te denken ergens in het schema een kopje te verwerken dat indien PV wordt toegepast dat er dan ziezo moet worden gekeken naar het acceptabele brandgevaar van het complex, in de memo is een schema weergegeven waarbij alle verschillende typen gebouwen zijn gecategoriseerd tot brandgevaar categorie 1, 2 of 3 met een eisenlijst erbij.

Zouden er andere brandklasse maatregelen van belang zijn bij PVT dit is een combinatie tussen PV en zonnecollectoren. Of hebben deze hetzelfde brandgevaar als PV panelen? gezien deze panelen deels uit minder brandbare delen bestaan, de collectoren en de rest uit normale PV onderdelen

Bijlage 5

M: Dat is in het teken van brand moeilijk te vertellen omdat het geen statisch materiaal is zoals een gevel. Als je een gehele gevel opbouwt uit brandklasse b materiaal hoeft het niet te betekenen dat de gevel brandklasse b heeft. Het ligt in de lijn der verwachting maar kan ik het je garanderen, nee

3.1 Samenvatting interview Marco Jaspers, Rijksvastgoedbedrijf (brandveiligheidsdeskundige en deelnemer projectteam Zon op Dak)

Datum: 07-10-2020

Als wordt gekeken naar brandveiligheid is het van belang wat voor panelen worden toegepast, panelen met een hoger of lager brandgevaar (glas-folie of glas-glas). Daarnaast is de huidige dakopbouw (isolatie en dakbedekking) van belang, bepaalde combinaties zijn brandgevaarlijk of zijn niet beloopbaar. Ook moet rekening worden gehouden met hoe de bekabeling het gebouw in gaat. Het grootste brandgevaar ontstaat door het gebruik van foute connectoren, dit heet cross-matching waarbij meerdere merken kabels batterijen en aansluitingen worden gecombineerd.

Relevante vragen voor een Op-dak systeem

- Welke brandklasse heeft de dakisolatie, en voldoet dit aan de eisen vanuit het RVB (m.b.t. risicocategorie)
- Worden er glas-glas panelen gebruikt?
- Wat is de materialisatie van het dak ?

Het ligt in de lijn der verwachting dat dezelfde brandveiligheid eisen gelden voor PVT (combinatie tussen PV en zonnecollectoren).

Bijlage 5

4. Interview Marc Perin, Rijksvastgoedbedrijf (Constructeur en deelnemer projectteam Zon op Dak)

Datum: 09-10-2020

Transcriptvorm: woordelijk getranscribeerd

Marc Perin (M), door Casper Scheltes (C)

C: met welke constructieve aspecten dient rekening gehouden te worden bij de toepassing van PV of dak? Dus dan heb je het over een op-dakconstructie.

M: met welke constructieve aspecten?

C: ja,

M: Je hebt te maken met een bestaande constructie. Dus waar bestaat die uit, materiaal, de constructie zelf tot aan de verbindingen aan toe waar je ze op berekend. Dus de uitgangspunten van die constructie. Verder het montagesysteem, wat voor montagesysteem gebruik je. Want in de markt zijn er heel veel verschillende montage systemen en vervolgens hoe zijn die bepaald, berekend. Even denken, en wat zijn dan de krachten die daarop spelen op de panelen en in welke dak-zones bevind je je, de krachten bepalen daarop. Vervolgens de richtlijnen die er zijn.

C: dus als ik het goed begrijp, de aspecten die van belang zijn:

- De dakopbouw of die geschikt is
- De dakconstructie en de mogelijk extra draagkracht die het dak heeft
- De onderconstructie van de panelen zelf
- De combinatie daarvan voldoet aan de berekeningen die moeten worden uitgevoerd en daarmee aan de huidige wet en regelgeving.

M: ja, dat klopt ja. Je moet kijken naar de wind en sneeuwbelasting en de eventuele extra zakkingen. Want zo'n dak gaat misschien extra doorbuigen

C: De volgende vraag die ik voor je heb, als je de punten die net genoemd zijn voor de toepassing van PV zou moeten formuleren in een aantal ja en nee vragen die ertoe zouden kunnen leiden of je wel of geen PV zou kunnen toepassen in een project. Wat zouden dan volgens jou de vragen zijn?

M: Ik denk dat je dan onderscheid zou moeten maken tussen nieuwbouw en bestaande bouw, dat dat een eerste in je keuzeschema is. Want bij nieuwbouw kun je er natuurlijk met je ontwerpeisen rekening mee houden. Dus als we kijken naar bestaande bouw dan wordt het meteen wat ingewikkelder. Dan zou je als eerste goed je constructie moeten kennen. Dus wat heb ik voor een dak? Dus dan kom ik terug op dat eerste punt, en daar valt of staat eigenlijk je hele analyse mee, want als je niet weet wat voor een dak je hebt dan wordt het lastig. Tenzij je een constructie bedenkt die dat dak ontziet, van bouwmuur naar bouwmuur ter onderconstructie voor je nieuwe panelen.

C: dus als je de constructie zou proberen te ontleden zou je dat dan kunnen doen door vragen als: is de materialisatie van je constructie staal hout of beton, het huidige dak pakket of eventueel overige zaken.

M: het liefste heb je ontwerpuitgangspunten van de constructie. Dus als je in het archief gaat zoeken en je hebt een mooie berekening van het dak en vervolgens ga je doormiddel van inspectie controleren of dat inderdaad ook nog zo is en het staat. En de staat van onderhoud is daarbij ok belangrijk. Of zijn er wijzigingen geweest aan dat dak en dan kun je soms op basis van die uitgangspunten als je weet dat een dak berekend is op een aantal kg per m² dan kun je dat mooi vergelijken en dan hoeft je niet verder de dakconstructie door te rekenen. Dat wil je eigenlijk voorkomen dat je zo'n hele dakconstructie moet gaan rekenen. Het zou makkelijk zijn als je een vergelijking zou kunnen maken met dit is oud, oude situatie, nieuwe situatie en dat past binnen de marge. Maar goed, materialisatie is daarin heel belangrijk.

Bijlage 5

C: Maar als je dus weet of het dak in goede staat is, dus het nog steeds voldoet aan de ontwerpeisen die er ooit aan zijn gesteld en weet dat het de extra draagkracht wel of niet kan hebben dat weet je in principe voldoende als het om de draagkracht gaat. Dat hoeft je niet verder te gaan op de materialisatie van de constructie als in: staal, beton of hout?

M: nou uiteindelijk zal je wel die vergelijking moeten opstellen, als in wat is de oude situatie en de nieuwe situatie? Omdat je wel wil dat dingen aantoonbaar worden gemaakt. Dat het voldoet in de nieuwe situatie.

C: daarmee bedoelde ik: dat op het moment dat je hebt laten controleren of de constructie nog voldoet aan de ontwerpeisen die ooit zijn gesteld en weet dat het per m² meer draagkracht aankunt dan dat het nu doet, moet je dan alsnog nagaan waaruit de constructie is opgebouwd als in staal beton of hout, of is dat eerste voldoende.

M: nee dan hoeft dat niet, als een dak inderdaad is uitgerekend op een hele hoge belasting doordat er bijvoorbeeld installaties op zouden komen of een hele laag grindpakket wat er uiteindelijk niet op is gekomen. Dan weet je dat er in principe dat er extra capaciteit in zit, als je weet dat het precies zo is uitgevoerd zoals op tekeningen, dan kun je daarmee aantonen, als het binnen de marge valt dat het dan voldoet. Dan hoeft je niet nogal die liggers door te rekenen.

C: de vorige keer dat wij spraken heb je aangegeven dat als een dak per vierkante meter 45 kg extra gewicht aan zou kunnen dan het dan potentieel was voor de toepassing van PV. Dat klopt toch?

M: ja dat is de inschatting. Dat is net als de 1,5 meter afstand houden een algemene regel. Het is natuurlijk heel erg locatie afhankelijk. Als je natuurlijk een dak hebt op hoogbouw. Dan kies je niet voor een systeem met ballast, dus dan kies je voor een systeem met consors, dat je het dus koppelt aan je dak met een door en door constructie. Dus dat zijn dan niet geballaste systemen, dat zij hele lichte systemen doordat je ze eigenlijk gewoon koppelt aan je dak. Zo heb je ze zo geborgd. Dus ja die 45 kilo is eigenlijk gewoon een heel algemeen getal waar wel wat voorwaarden aan zijn verbonden, dus niet plaatsen in de randzones maar midden op je dak, niet op hele hoge daken of daken aan de kust bijvoorbeeld. Of in den helder, je hebt verschillende windzones in Nederland. Dat soort uitgangspunten zijn er dan nog wel aan verbonden.

C: in zijn algemeenheid zou je dus wel kunnen zeggen dat als het dak 45kg per m² extra zou kunnen dragen zou je wel PV kunnen toepassen met de randvoorwaarden die je net noemde.

M: ja met de randvoorwaarden, maar eigenlijk geldt dat niet in zijn algemeenheid. Dus die randvoorwaarden moet je er wel bij meegeven, ik wil er wel aan toevoegen is het issue dat leveranciers van die montagesystemen, dat zij voor hun systemen speciaal windtunnelonderzoek hebben uitgevoerd, waaruit zij veel lagere druk coëfficiënten, dus windbelastingen op hun systemen krijgen. Dan dat wij uit de normen halen. De normen zijn natuurlijk altijd conservatief ingestoken en gealgemeeniseerd. Dat is uit het principe van de norm. De norm loopt ook vaak achter op de huidige marktsituatie, die zijn 10 jaar geleden ook al geschreven. Dus in zoverre moet je wel uitkijken dat 45 kilo is gebaseerd op een algemeenheid. De leveranciers hebben nog niet aantoonbaar kunnen waar ze die getallen vandaan halen. Ze toveren ze uit wind-tunnel-onderzoeken maar is je vraagt mag ik die inzien geven ze daar geen inzage in. Door geheimhouding, daar zitten de grote verschillen in.

C: Zijn er andere constructieve aspecten van belang bij PVT, dat is een combinatie tussen zowel warmte als Electra winnen, zonnecollectoren gecombineerd met PV-panelen.

M: ik ben niet zo bekend met dat systeem, constructief moet je altijd een evenwichtsvergelijking maken, liggen die systemen plat op het dak of staan die schuin?

C: het kan allebei, het is in principe een PV-paneel met zonnecollectoren die erop zijn geplakt.

M: in principe niet, het gaat eigenlijk gewoon op de belastingen die erop komen. Ik weet niet of die dingen zwaarder zijn.

C: ze zijn inderdaad wel iets zwaarder doordat ze zijn gevuld met vloeistoffen.

Bijlage 5

M: ik denk dat je dan alleen minder ballast nodig hebt, voor het systeem maakt het niet uit want het totaalgewicht zal dan hetzelfde blijven. Als je dezelfde randvoorwaarden hebt en dezelfde hellingshoek.

C: Als je kijkt op constructief gebied. Welke (PV)constructief gerelateerde zaken zouden door een projectleider of technisch manager zelf kunnen worden vastgesteld en voor welke zaken zal altijd een constructeur geraadpleegd worden? Dan bedoel ik dit in het opzicht van: algemene beeldvorming, zou er PV kunnen worden toegepast, want wanneer er een definitief plan voor PV ontwikkeld wordt zal er altijd een constructeur aan te pas komen lijkt me?

M: ja, als je het op een gebouw wil plaatsen zal je dat toch eerst bij een constructeur neer moeten liggen want je verandert wat aan je gebouw qua belastingen.

C: als zij bepaalde data hebben, stel dat zij weten het dak kan een X kg gewicht extra dragen zouden zij dan zelf niet de inschatting kunnen maken: dan kunnen we waarschijnlijk PV toepassen?

M: Inderdaad zoals bij het Zon op Dak programma hebben we een 15-tal versnellingsprojecten geselecteerd en na wat archiefonderzoek kwam ik erachter dat er 200 kg de m² was berekend als uitgangspunt voor een dak. Dan zeg ik van ja, dan kun je er heel veel op kwijt. Dat is bijna een 'no brainer' dan. Dan zou je al wat sneller kunnen schakelen. Het valt of staat toch vaak met: wat voor gegevens heb je over dat gebouw. En dat is heel veel werk om zelfs voor die 15 projecten die informatie naar boven te toveren en hoe ziet die constructie eruit. Dat is het begin dat is de basis, dat is nog steeds de uitdaging.

Bijlage 5

4.1 Samenvatting interview Marc Perin, Rijksvastgoedbedrijf

(Constructeur en deelnemer projectteam Zon op Dak)

Datum: 09-10-2020

Constructieve aspecten die van belang zijn bij de toepassing van PV op-dak

- De dakconstructie en de mogelijk extra draagkracht die het dak heeft
- De onderconstructie van de panelen zelf moet voldoen aan de wet en regelgeving (NEN7250)

Constructief gezien belangrijk 'mee te nemen' binnen de besluitvorming over de toepassing van PV of het om een (bouw)project van bestaande of nieuwbouw gaat. Bij nieuwbouw kan het dak ontworpen worden voor de toepassing van PV. Bij bestaande bouw moet het dak geanalyseerd worden en moet worden vastgesteld of het dak het extra gewicht aan kan. Doormiddel van archiefonderzoek moet worden vastgesteld wat de draagkracht van het dak is en of dit voldoende extra capaciteit heeft. Vervolgens moet doormiddel van inspectie de staat van onderhoud gecontroleerd worden en moet worden vastgesteld of het dak in de praktijk nog voldoet aan de oorspronkelijke ontwerpuitgangspunten. Het is hierbij van belang dat je weet hoe veel kg het dak per m2 kan dragen. Indien dit niet bekend is zal het hele dak doorberekend moeten worden (dit wordt uitbesteed aan een constructeur).

Bij de plaatsing van panelen kan worden gesteld dat een op-dak constructie (uitgaande van een plat dak en een ballast systeem ter bevestiging) kan worden toegepast wanneer het dak per m2 45 kg extra kan dragen. De randvoorwaarden zijn hierbij:

- Er wordt rekening gehouden met de windzones in Nederland voor de bevestiging in extremere windzones kan geen ballast systeem worden toegepast om de panelen te bevestigen, wanneer er door-en-door-constructie wordt toegepast mag het dak minderdraagkrachtig zijn (hier kan het mogelijk met een minderdraagkrachtig dak).
- Dit geldt niet voor hoogbouw, hier moeten de panelen met een door-en-door-constructie worden geplaatst hierbij is de constructie veel lichter (hier kan het mogelijk met een minderdraagkrachtig dak).
- De panelen worden niet in de randzones geplaatst maar in het midden van het dak.

Voor PVT gelden dezelfde uitgangspunten als voor PV.

Bijlage 5

5. Interview Hans de Haan, Rijksvastgoedbedrijf (Veiligheidsdeskundige)

Datum: 09-10-2020

Transcriptvorm: woordelijk getranscribeerd

Hans de Haan (H), door Casper Scheltes (C)

C: Welke aspecten van veilig werken op hoogte zijn het meest relevant bij de toepassing van PV op daken? Bij een op of in dakconstructie

Nou als je kijkt vanuit veilig werken op hoogte, nou ja we kijken dan meteen naar onderhoud, of nee, eerst het aanbrengen, of dat op een veilige manier kan en daarna als de zonnepanelen er eenmaal op liggen dat behoeft dat natuurlijk onderhoud of vervanging. Maar in ieder geval dat onderhoud, het schoonmaken dat moet ook op een veilige manier kunnen. Dis op die twee manieren kijken we naar veiligheid op hoogte.

C: dus als ik het goed begrijp dat gaat het met name over de bereikbaarheid en indien het bereikbaar is of het ook op een veilige manier te onderhouden is: aan te raken schoon te maken, te verplaatsen en dergelijke. Aan wat voor maatregelen zou ik dan moeten denken?

H: We gaan uit van de bestaande daken, dan moeten we gaan kijken naar goeie dak toegang. Is dat via een dakopbouw, via een technische ruimte, een dakkapel of via een dakluik. We moeten kijken of ze daar wel op een goeie manier op kunnen. Want die panelen moeten ze er kunnen op leggen, die moeten worden aangevoerd. Dus we moeten ook rekening houden met de ruimte om het gebouw heen, zodat daar een vrachtwagen kan staan met de panelen en een ondersteuning constructie of bevestiging constructie en de kraan. Wellicht ook aan ballast eventueel. Er moet ook een kraan kunnen staan. Dier moet daar ook op een veilige manier kunnen staan. Ook voor de omgeving. En op het dak zelf voor de voorzieningen, dan moet je toch denken aan: of er is een dakopstand, dat is prettig want dan hoef je geen andere voorzieningen aan te brengen. Dat is ook wat wij meegeven in onze nieuwbouwprojecten, dat er altijd een dakopstand wordt gemaakt. Ik heb even gekeken naar de versnellingsprojecten en 9 van de 10 heeft dat niet. Die hebben allemaal aanlijnvoorzieningen, dat zijn een beetje de voorzieningen die er nu zijn en waar een aannemer nu van gebruik moet maken om veilig te kunnen werken.

C: die aanlijnvoorzieningen die zouden ook volstaan? In plaats van een dakopstand.

H: je hebt liever een dakopstand want een dakopstand is persoonsonafhankelijk en aanlijnvoorzieningen zijn persoonsafhankelijk. Wat je krijgt bij persoonsafhankelijke voorzieningen dat mensen dat niet gaan gebruiken omdat dat lastig is en het zit in de weg. Dat weten we daarnaast geeft de Arbowet aan dat je moet beginnen met de bronaanpak, nou hoe kan dat. Door een dakopstand, dat is het meest effectieve. Als het echt niet anders kan aanlijnvoorzieningen.

C: Dus bij voorkeur een dakopstand, maar indien niet anders mogelijk kan een aanlijnvoorziening voldoende zijn?

H: Ja.

C: Dan is mijn volgende vraag: als je de net genoemde punten voor PV moet formuleren in ja en nee vragen, hoe zou je die dan formuleren? Met ja, nee vragen bedoel ik. Is het wel of niet mogelijk PV toe te passen. Ik bedoelde het vanuit de aspecten waar je rekening mee moet houden op het moment dat je PV wil toepassen zoals: is het bijvoorbeeld mogelijk het dak te bereiken via het gebouw zelf of op een andere manier. Is dat ja, is dat niet het geval dan zou het nee zijn. Een tweede vraag zou kunnen zijn: zijn er voldoende veiligheidsaspecten aanwezig om PV te onderhouden, ja of nee. Bij ja kun je PV plaatsen bij nee niet. Zouden er nog meer vragen zijn die je op het gebied van veilig werken op hoogte zou moeten stellen? wat ik nu heb begrepen is dat het belangrijkste is dat het bereikbaar is en dat er voldoende veiligheidsvoorzieningen aanwezig moeten zijn.

H: Ja, eigenlijk zijn dat de vragen.

Bijlage 5

C: indien ze er niet zijn moeten ze aangebracht worden.

H: indien ze er niet zijn zullen ze aangebracht moeten worden, op het dak heb je altijd een veilige zone. Dat is vier meter vanuit de dakrand en dan naar binnen toe. Dat is een veilige zone, maar als wij panelen op het dak willen leggen dan willen we het dak natuurlijk het liefst vol leggen. Want ja hoe meer je er kwijt kan hoe eerder we ze terug kan verdienen. Dan kom je al heel snel tegen die rand aan. Dan ontkom je bijna niet aan een dakopstand of een lijn. Dat vind ik minder wenselijk maar dan kun je rekening houden met twee meter van de dakrand. Daar een lijn aanhouden.

C: indien de dakopstand aanwezig zou zijn is de twee meter dan nog steeds niet wenselijk? Of is het dan wel acceptabel

H: Dan maakt het niet uit, dan mag je tot een meter van de dakrand af leggen. Want je moet wel een pad hebben dat je langs die panelen kunt lopen met een schoonmaakmiddel of een waterspuit.

C: Zijn er andere veiligheidsaspecten van belang voor de toepassing van PVT, dit is een vorm van energieopwekking waar zowel warmte als energie wordt gewonnen?

H: worden die elementen warm?

C: Ze worden wel warm maar het is niet dat je je handen er aan verbrand, ze worden niet warmer dan reguliere panelen

H: dan zie ik daar niet zo'n groot verschil in.

5.1 Samenvatting interview Hans de Haan, Rijksvastgoedbedrijf (Veiligheidsdeskundige)

Datum: 09-10-2020

Bij de toepassing van PV is het vanuit veiligheid perspectief van belang dat er veilig gewerkt kan worden op hoogte. Dit heeft betrekking op het plaatsen en indien nodig onderhouden van de PV installatie, denk hierbij aan het schoonmaken of vervangen van PV-componenten. Hierbij is de toegang tot de plek waar de panelen geplaatst worden van belang. Indien dit op een dak is, dient er rekening mee gehouden te worden hoe het dak bereikbaar is. Bijvoorbeeld via een technische ruimte, een dakluik of alleen via een hoogwerker vanaf de straatzijde. Dit is ook van belang voor de plaatsing van de panelen. Mogelijk is hier een kraan voor nodig. Is hier ruimte voor op de betreffende locatie?

Het is van belang dat er voldoende voorzieningen aanwezig zijn om veilig te werken op hoogte. De meest wenselijke situatie is de aanwezigheid van een dakopstand. Indien dit niet aanwezig is en niet geplaatst kan worden volstaan een aanlijnvoorziening. De situatie van een aanlijnvoorziening is minder wenselijk.

Indien de plaats waar de PV-installatie wordt toegepast goed bereikbaar is en er voldoende voorzieningen aanwezig zijn om veilig te werken op hoogte zijn er vanuit veiligheidsoogpunt verder geen mogelijke belemmeringen.