

Handboek Zonnepanelen Stations

Uitgangspunten ruimtelijke inpassing van
zonne-energiesystemen

Versie 2023

ProRail



Spoorbeeld
door Bureau Spoorbouwmeester

ProRail



Spoorbeeld
door Bureau Spoorbouwmeester

Handboek Zonnepanelen Stations

Uitgangspunten ruimtelijke inpassing van
zonne-energiesystemen

Versie 2023





Inleiding	10
Aanpak en ontwerpprocedurepunten	16
Generieke ontwerpprocedure	22
1. Typen panelen	24
2. Kleur, contrast	32
3. Vlakverdeling en symmetrie	34
4. Integratie met dakbedekking en groendaken	36
5. Legrichting, oriëntatie en dakhelling	38
6. Compositie op een bestaande dak	40
7. Obstakels en schaduwvlakken	42
Specifieke ontwerpprocedure	44
8. Integratie in nieuwbouw en bijzondere architectuur	46
9. Inpassing in bestaande architectuur	48
10. Monumenten en gebouwen uit De Collectie	50
Ontwerpprocedure detail & aansluiting	58
11. Bouwkundige detaillering	58
12. Bekabeling en bijkomende installaties	60
In de praktijk	62
Station Eindhoven	64
Station Zwolle	66
Station Driebergen-Zeist	70
Fietsenstalling station Dordrecht	74
Station Amsterdam Centraal	78
Station Hengelo	84
Colofon	90

Inleiding

Deze publicatie is het resultaat van een samenwerking tussen Bureau Spoorbouwmeester, ProRail en NS en betreft een handboek met ontwerpuitgangspunten voor de ruimtelijke inpassing van zonne-energie systemen op stations. Aanvullend zijn er binnen de organisaties eisen ten aanzien van technische toepasbaarheid, onderhoudbaarheid, en veiligheid. Het is cruciaal om een zonne-energie systeem integraal en projectspecifiek te beschouwen. Ook vanuit eigenaarschap zullen locaties om een maatwerk aanpak vragen.

De uitgangspunten in dit handboek zijn gericht op gebouwen in de stationsdomeinen, zoals perronkappen, stationsgebouwen, inpandige rijwielstallingen, fietsgebouwen (fietsflats), traversen en technische gebouwen.





Duurzaamheid en het spoor

Duurzame mobiliteit levert een belangrijke bijdrage aan het behalen van de internationale klimaatdoelen. Reizen met de trein is een van de meest duurzame vormen van vervoer. Samen met alle partners werken NS en ProRail hard aan het vergroten van het aandeel treinvervoer in de totale mobiliteit.

ProRail en NS spannen zich als organisaties in om bij te dragen aan de duurzaamheidsopgave. Het belangrijk dat de organisaties duurzaam werken. Dat kan door een volledig duurzame energievoorziening met energiezuinige apparaten, duurzame energiebronnen voor elektriciteit en warmte, en eigen energie-opwekking. Door circulair materiaalgebruik wordt de milieu-impact van grondstoffen en materialen die nodig zijn voor het spoor verkleind. De positie van de grootste terreinbeheerder van Nederland wordt aangegrepen om natuurwaarden langs het spoor te versterken en natuurgebieden te verbinden.

Het opwekken van zonne-energie past in de duurzame ambitie. De afgelopen jaren hebben ProRail en NS daarom, samen met andere partijen, op meerdere stations zonne-energiesystemen gerealiseerd. De opgewekte zonne-energie wordt onder andere gebruikt voor verlichting, winkels, liften, roltrappen en reisinformatie.

Duurzame ruimtelijke kwaliteit

De transitie naar energieneutraal is een grote opgave die ook ruimtelijk doorwerkt, vandaar dat er vanuit Spoorbeeld volle aandacht is voor deze nieuwe ontwerpogave. ProRail, NS en Bureau Spoorbouwmeester werken samen aan het realiseren van aantrekkelijke stations met een hoge ruimtelijke kwaliteit. Het ontwerpen en aanbrenge van een zonne-energiesysteem dient daarom zorgvuldig en met oog voor detail, uitstraling en architectuur te worden gedaan. De inpassing van een zonne-energiesysteem vraagt daarbij ook om afstemming met verschillende stakeholders, zoals gemeenten, welstands- en monumentencommissies.

Voorliggend handboek geeft helderheid over de ruimtelijke ontwerpuitgangspunten voor de interne organisaties van ProRail en

NS en biedt houvast aan marktpartijen die met zonne-energie op stations aan de slag gaan.

Doel Handboek

Dit handboek geeft een aanpak en handvatten voor een zorgvuldig ruimtelijk ontwerp en inpassing van zonne-energiesystemen. Op technische-, onderhouds- en veiligheidseisen wordt niet ingegaan, daarvoor is afstemming nodig met de desbetreffende afdelingen. Ze zijn beide nodig om tot een integraal ontwerp te komen en zullen per locatie altijd in samenhang bepalend zijn voor totstandkoming van het ontwerp.

In veel gevallen zullen de zonne-energiesystemen zichtbaar zijn. Ofwel direct vanaf het maaiveld in de omgeving, vanuit het station of vanaf de perrons, dan wel als 'de vijfde gevel' vanuit hogere gebouwen rondom de stations. In alle gevallen zullen de zonne-energiesystemen zodanig geplaatst moeten worden dat ze een esthetisch acceptabel beeld in de stationsomgeving opleveren.

ProRail, NS en Bureau Spoorbouwmeester willen daarom zonne-energiesystemen toepassen op basis van een ontwerp dat hiermee rekening houdt. Een goed ontworpen zonne-energiesysteem kan ook een aanvulling zijn op het beeld en daarmee dienen als visitekaartje voor een duurzaam spoor. Daarom wordt bij het voornemen tot het plaatsen van een zonne-energiesysteem om een ontwerp gevraagd dat gemaakt wordt op basis van deze uitgangspunten.

Voor wie is het handboek

Dit handboek biedt houvast tijdens het ontwerpproces. Het helpt medewerkers van ProRail, NS, Bureau Spoorbouwmeester, omgevings- en marktpartijen die aan de slag gaan met de inpassing van zonne-energiesystemen op stations. De uitgangspunten in deze publicatie zorgen voor inspiratie om met elkaar de stations op een hoogwaardige manier energiezuiniger te maken.

Twee Handboeken voor een opgave van formaat

Door de vele stations en de grote lengte van het spoor is de inpassing van zonne-energiesystemen een ruimtelijke opgave van formaat. Daarbij is er een grote variatie in schaalniveaus. Het inpassen van zonne-energie in het spoorlandschap en een station is maatwerk. Bij elk project moet zorgvuldig worden afgewogen wat de beste plek is voor opwekking van zonne-energie en elke locatie vraagt om een andere ontwerp oplossing.

Eenzijds gaat het om inpassing in de spooromgeving en het spoor zelf en op kleiner schaalniveau om inpassing in het station en directe omgeving.

We maken gebruik van twee handboeken: het ene heeft betrekking op de plaatsingsopgave op en rond het station, het andere gaat over de vormgevingsuitgangspunten voor de plaatsing op assets op en rond het spoor.

Dit Handboek gaat over de ruimtelijk inpassing van zonne-energiesystemen op en rond de stations. Het richt zich op de perronkappen, stationsgebouwen, fietsgebouwen (fietsflats), traversen en technische gebouwen in de stationsdomeinen. In de toekomst worden hier mogelijk ook voorbeelden van zonne-energiesystemen op P&R terreinen, onbewaakte fietsstallingen en vastgoed in het stationsdomein aan toegevoegd.

Het Handboek Zonnepanelen Spoor gaat over de ruimtelijke inpassing van zonne-energiesystemen in het (spoor-)landschap.

Toepassing van de uitgangspunten in het ontwerpproces en afstemming

ProRail, NS en Bureau Spoorbouwmeester hanteren met Spoorbeeld een uitgebreide set ontwerpuitgangspunten, richtlijnen en visies bij het ontwerp van stations. Het inpassen van zonne-energiesystemen dient hiermee niet conflicterend te zijn. Dit handboek is opgesteld om te borgen dat de gegeven uitgangspunten in overeenstemming zijn met de uitgangspunten en ontwerpprincipes in Spoorbeeld.

Daarnaast vraagt inpassing van zonne-energie systemen op bestaande gebouwen met cultuurhistorische waarde extra aandacht. In dergelijke situaties dient naast het toepassen van dit handboek altijd zorgvuldig en vroegtijdig samengewerkt te worden met Bureau Spoorbouwmeester en andere belanghebbende partijen.

Wanneer een zonne-energiesysteem deel uitmaakt van een ontwerp in opdracht van ProRail en/of NS, moet het ontwerp getoetst worden aan de uitgangspunten zoals in deze publicatie beschreven. Daarnaast zal in de opdracht ook worden gevraagd om het ontwerp met tekst en tekeningen toe te lichten. De uitgangspunten in dit handboek kunnen als checklist gebruikt worden bij de ruimtelijke toetsing van het ontwerp. In de meeste gevallen is ProRail de eigenaar van de sporen-, perronkappen en overkappingen van traversen. Dit handboek is echter ook toepasbaar voor daken van stationsgebouwen of bijvoorbeeld fietsstallingen waarvan NS de eigenaar is.

Aanpak en ontwerpuitgangspunten

Dit handboek start met een aanpak voor een zorgvuldige analyse om te komen tot een weloverwogen inpassing van een zonne-energie systeem. De aanpak bestaat uit drie stappen waarin duidelijk wordt welke ruimtelijke inpassingsaspecten van belang zijn op verschillende type stations. Er volgt een samenvatting van de ontwerpprincipes om te voorzien in een compact overzicht van randvoorwaarden.



Almere Centrum 

OLAF

Aanpak

De inpassing van zonnepanelen op stations vraagt om een helder ontwerp op basis van een onderbouwde analyse. Door het station te beschouwen aan de hand van de volgende stappen kan een weloverwogen ontwerp worden gemaakt.

1. Analyse: locatie, context en gebouw
2. Systeem
3. Inpassing

1. Analyse locatie en situatie

Cultuurhistorische waarde

- Bekijk of het station een monumentale status heeft (gemeentelijk, provinciaal of Rijksmonument) en of het onderdeel uitmaakt van De Collectie. Hoofdstuk 10 gaat uitgebreid in op de te doorlopen aanpak bij monumentale stations.

Ruimtelijk en karakter

- Breng de kenmerkende beeldkwaliteit van het station en de verschillende bouwwerken in kaart. Wat is van belang voor de ruimtelijke kwaliteit van het station?
- Bekijk het station als geheel vanuit de omgeving en de verhouding van de verschillende onderdelen tot elkaar.
- Wat is het karakter van de verschillende onderdelen van het station en hoe passen zonnepanelen daarbij?

Zichtbaarheid

- Hoe is het zicht op verschillende gevels vanuit de omgeving?
- Is vanuit de omgeving prominent zicht op het dak? Vanuit de openbare ruimte/ gebouwen of vanuit private gebouwen?
- Moet het dak worden beschouwd als vijfde gevel?

Toekomstige ontwikkelingen

- Zijn er bouwplannen bekend waardoor het dak in de toekomst zichtbaar(der) wordt en/of er meer schaduw op de panelen zal worden geworpen?

2. Systeem

Ruimtelijke kwaliteit van het dak

In de keuze voor zonnepanelen is het van belang te weten wat de levensduur is van het dak/de bedekking en of er plannen voor vervanging zijn.

- Breng de ruimtelijke kwaliteit van de verschillende daken in kaart en kijk welk type zonnepanelen daar bij aansluit. Let daarbij op de kleur, paneelgrootte, legrichting en detaillering.
- Hoe draagt de detaillering maximaal bij aan een zorgvuldige inpassing die de uitstraling en ruimtelijke kwaliteit van de dakbedekking niet aantast?

3. Inpassing

Integraal geheel

- Vanuit de prioritering van gebouwdelen is het logisch eerst naar de oppervlakten te kijken waar het grootste deel van de energie kan worden opgewekt. Wanneer meerdere dakvlakken geschikt zijn voor de inpassing van zonnepanelen is één grote ingreep in veel gevallen het meest wenselijk en logisch maar sluit dit meerdere zorgvuldig ingepaste dakvlakken niet uit.
- Neem in een vroegtijdig stadium de eisen ten aanzien van technische toepasbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid die vanuit beheer en onderhoud gesteld worden mee in het ontwerp.

Zonnepanelen op groendaken

Groendaken kunnen positief bijdragen aan de prestatie van zonnepanelen (temperatuur/opbrengst) en de ruimtelijke kwaliteit van een station (groene uitstraling, waterbuffering, hittestress) en zijn daarom bij inpassing het overwegen waard. Inpassing vergt aandacht voor de integrale uitstraling en detaillering. Stel hierbij de volgende vragen:

- Bekijk of er bij inpassing van een groendak onder het zonne-energie systeem een versnipperd beeld vanwege de verschillen in dakbedekking ontstaat (bestaand dak, zonnepanelen en sedum) Het is van belang de beeldkwaliteit en uitstraling van het station als geheel te beschouwen.
- Het dakpakket wordt door een groendak hoger en heeft een hoger eigen gewicht. Check wat de impact hiervan is op ruimtelijke kwaliteit, detaillering en draagkracht. Dit is in het bijzonder kritisch bij stations met cultuurhistorische waarde.

Algemeen kader

- Een zorgvuldige ruimtelijke inpassing is het uitgangspunt bij alle opgaven.
- ProRail en NS streven ernaar om zoveel mogelijk energie op te wekken op de stations en daarmee hun verbruik te compenseren. Bekijk per locatie wat de mogelijke opwekking en het beste rendement is om te voorzien in de energievraag van het desbetreffende station. Achter de hoofdmeter van het station kan de opgewekte energie verdeeld worden over de verbruikers. ProRail kan dus meer opwekken dan zij zelf nodig heeft.
- Bekijk welk bouwwerk van het station het best benut kan worden voor opwekking van deze energie en maak een integraal ontwerp. Het benutten van één object heeft de voorkeur boven versnippering.
- Er zijn drie veelvoorkomende dakvormen: plat, gebogen en hellend. Ontwerp het zonne-energiesysteem zodanig dat het de vorm van het dak volgt.
- De inpassing van een zonne-energiesysteem op monumentaal stationserfgoed vraagt om bijzondere aandacht en vroegtijdig overleg met Bureau Spoorbouwmeester en (afhankelijk van de cultuurhistorische status) de Rijksdienst voor Cultureel erfgoed of gemeentelijke/provinciale monumentencommissie. Zie daarvoor ook hoofdstuk 10. Monumenten.

Een korte samenvatting van de ontwerpprincipes die in het handboek nader worden toegelicht:

Generieke ontwerpprincipes

1. Typen panelen

Zonnepanelen maken een constante technologische ontwikkeling door. Dit betekent dat er veel verschillende typen panelen op de markt zijn, elk met verschillende ruimtelijke en technische eigenschappen. Kies voor elk project –bestaande bouw of nieuwbouw– een passend type. Pas bij voorkeur één type per station toe. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen dichte, transparante, gebogen en vlakke daken.

2. Kleur en contrast

Stem de kleur van het zonne-energiesysteem en de dakbedekking zoveel mogelijk op elkaar af. Kies er bewust voor om contrast te vermijden of in te zetten in de beeldkwaliteit.

3. Vlakverdeling en symmetrie

Maak samenhangende vlakken met gesloten randen. Een dak hoeft niet altijd symmetrisch voorzien te worden van zonnepanelen vanuit het oogpunt van ruimtelijke kwaliteit. Symmetrie is alleen noodzakelijk als beide zijden van het dakvlak gelijktijdig prominent kunnen worden ervaren vanuit de omgeving.

4. Integratie met dakbedekking en groendaken

Vanuit ruimtelijk perspectief hebben integrale oplossingen de voorkeur. Kies producten die ontwikkeld zijn om de dakbedekking te vervangen (vermindering materiaalgebruik), of producten waarvan de afmetingen aansluiten op die van de dakbedekking of gevelbekleding.

5. Legrichting, oriëntatie en dakhelling

De legrichting van de panelen dient ondersteunend te zijn aan de dakvorm en context. Zorg dat de belijning van de panelen zo goed mogelijk aansluit bij de hoofdrichting van het bouwwerk. Bij lange smalle perronkappen is dit de lengterichting. Bij verlijmd systemen is een haakse oriëntatie ook mogelijk, daarbij aansluitend op de legrichting van de dakbedekking. Gebruik geen diagonale legrichting en zorg dat panelen altijd dezelfde oriëntatie hebben. Vanuit ruimtelijke beleving heeft het de voorkeur om de zonnepanelen de dakhelling te laten volgen.

6. Compositie van het bestaande dak

Voeg de vlakken van het zonne-energiesysteem op een logische manier toe. Lijn ze zoveel mogelijk uit met beeldbepalende architectonische elementen zoals lichtstraten, dakopbouwen en nokken. Probeer het dak daarbij gelijkmatig uit te vullen. Werk waar nodig met dummypanelen.

7. Obstakels en schaduw vlakken

Obstakels of schaduwvlakken kunnen de compositie van het dakvlak verstoren. Zorg ervoor dat bij obstakels geen 'gat' of rafelrand in het zonne-energiesysteem ontstaat. Ontwerp het systeem zo dat het vlak van het zonne-energiesysteem altijd met een rechte lijn onderbroken wordt of kies een oplossing waarbij het vlak ononderbroken kan doorlopen.

Specifieke ontwerpprincipes

8. Integratie in nieuwbouw en bijzondere architectuur

Het zonne-energiesysteem kan leidend zijn bij het ontwerp van een (nieuw) gebouw of overkapping. Ontwerp het bouwwerk zodanig dat het zonne-energiesysteem de architectonische uitstraling en het karakter van het gebouw versterkt.

9. Inpassing in bestaande architectuur

De technische uitstraling van zonne-energiesystemen past beter bij de ene architectuurstijl dan de andere. Ontwerp een zonne-energiesysteem dat zo goed mogelijk past bij het karakter van het bouwwerk.

10. Monumenten en gebouwen uit De Collectie

Bij iconische bouwwerken zoals monumenten of collectiegebouwen is het van belang dat zonnepanelen ingepast worden met inachtneming van de monumentale waarde en respect voor de ruimtelijke kwaliteit van het gebouw en de omgeving. Treed vroegtijdig in overleg met bevoegde instanties, afhankelijk van de status van het bouwwerk.

Ontwerpprincipes detail & aansluiting in het kort:

11. Bouwkundige detaillering

Kies een zonne-energiesysteem met een uiterlijk dat past bij het dak en pas het zorgvuldig in door speciale aandacht te geven aan de bouwkundige detaillering. Besteed aandacht aan (de bevestiging van) de onderconstructie en de randaansluiting van de panelen op omliggende dak- of gevelmaterialen.

12. Bekabeling en bijkomende installaties

Houd rekening met de afmetingen en positionering van omvormers, schakelkasten en bekabeling. Bij voorkeur zijn deze aan het zicht onttrokken. Als dat niet mogelijk is, zorg dan voor een integrale ontwerp oplossing en hoogwaardige vormgeving.

Generieke ontwerpprincipes

Bij inpassing van een zonne-energiesysteem is het van belang te kiezen voor een type dat past bij het bouwwerk en het dak. Aan de hand van ontwerpprincipes worden verschillende ruimtelijke aandachtspunten in kaart gebracht. Deze principes worden verduidelijkt door voorbeeldfoto's en illustraties. Per ontwerpprincipe wordt ook aangegeven welke oplossingen bij voorkeur vermeden moeten worden.



Zonnepanelen op fietsenstalling station Harderwijk: evenwijdig geïmponeerd aan de lengterichting van het dak en losgehouden van de randen. Station Harderwijk



De zonnepanelen maken integraal deel uit van het ontwerp en vormen de dakbedekking, station Delft Campus (ontwerp Benthem Crowell Architects).



De lichtstraat bij de entree zorgt voor een lichte hal waar tegelijkertijd energie wordt opgewekt. De monokristallijne cellen zijn gelijk verdeeld waardoor een egale slagschaduw ontstaat die niet storend is. Het is een verbijzondering van de hal. Station Eindhoven (ontwerp Arcadis)

1. Typen zonnepanelen

Zonnepanelen maken een constante technologische ontwikkeling door. Dit betekent dat er veel verschillende typen panelen op de markt zijn, elk met verschillende ruimtelijke en technische eigenschappen. Kies voor elk project -bestaande bouw of nieuwbouw- een passend type. Pas bij voorkeur één type per station toe. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen dichte, transparante, gebogen en vlakke daken.

Eenduidigheid in het totaal

Het is van belang dat het eindbeeld een eenduidige verschijningsvorm heeft. Verschillende typen op één station kan voorkomen wanneer zowel dichte panelen als transparante panelen benodigd zijn of zowel rechte als gebogen panelen.

Houd rekening met de volgende vuistregels bij de keuze voor het type paneel:

- Kies voor een type paneel dat qua opbrengst past bij de energievraag en qua kleur en uitstraling past bij het beoogde oppervlak.
- Zorg dat het systeem zodanig ontworpen wordt dat het goed onderhouden kan worden en dat het vervangen van eventueel defecte onderdelen of panelen gemakkelijk mogelijk is. Gestandaardiseerde typen en maten hebben daarom de voorkeur.
- Let bij de keuze in het type paneel op dat er geen sprake is van storende slagschaduwen in de onder- of achterliggende ruimte.

Vlakke panelen



Polykristallijn Silicium.



Monokristallijn Silicium - full black.

Gekromde panelen



Flexibele panelen Koepelhal Tilburg

Typeoverzicht niet-transparante panelen

Polykristallijn

Polykristallijne PV-cellen hebben een niet-egaal blauw oppervlak. Deze panelen hebben meestal een kenmerkend, grofmazig, vakjes-patroon. Deze panelen zijn verkrijgbaar in een aantal standaard afmetingen, met of zonder rand.

Monokristallijn

Monokristallijn PV-cellen hebben een egaal zwarte uitstraling. Deze panelen hebben meestal een kenmerkend, fijnmazig, vakjes-patroon. Deze panelen zijn verkrijgbaar in een standaard afmeting of in maatwerk, met of zonder rand en worden gebruikelijk all-black genoemd.

Zowel poly- als monokristallijn zonnepanelen zijn opbouwsystemen die veelal op een vlak dak onder een hellingshoek (10-30 graden) worden geplaatst. Deze zonnepanelen zijn verkrijgbaar met een witte of een zwarte achtergrond/backsheet. En met een aluminium, zwarte of geen rand.

Dunne film

Dunne film is een flexibel systeem dat in verschillende typen en kleuren verkrijgbaar is. Dit maakt toepassing op gekromde oppervlakken mogelijk. Het oppervlak van het paneel heeft geen kenmerkend vakjespatroon en wordt vaak zonder rand uitgevoerd. Kenmerkend voor dunne film is dat het in stroken op een dak verlijmd kan worden. Deze panelen hebben geen standaard afmetingen en zijn in meerdere breedtes verkrijgbaar. Dunne film heeft een lager rendement en een kortere levensduur dan reguliere panelen en wordt daarom minder vaak toegepast.

Flexibele panelen

Voor gekromde daken kunnen ook flexibele panelen worden gebruikt. Deze zijn relatief nieuw in vergelijking met dunne film. Het zijn afzonderlijke panelen (geen stroken) en hebben doorgaans een iets beter rendement dan dunne film. Net als dunne film hebben deze panelen ook een kortere levensduur. Flexibele panelen kunnen op verschillende manieren gemonteerd worden. Zowel verlijmd als door mechanische bevestiging. Het eindbeeld is doorgaans strakker dan bij dunne film. Dit systeem is nog niet toegepast op een station in Nederland. Wel is het toegepast op de Koepelhal in Tilburg.

Transparante panelen



Goede verhouding tussen transparantie en zonnecellen. De daglichttoetreding onder de hoge sporenkap is goed. De slagschaduw diffuus en maakt deel uit van de beleving, station Rotterdam - Monokristallijn Silicium zonnecellen in glas.



Voorbeeld dubbelzijdige uitvoering zonnepaneel in glas (bifacial).



Amorf silicium PV glas. Het glas behoudt transparantie maar oogt donkerder. (in verschillende gradaties verkrijgbaar). Voorbeeld: Onyx Solar.

Typeoverzicht transparante panelen

Zonne-energiesystemen die geïntegreerd zijn in glaspanelen vormen een aparte categorie. Houd er rekening mee dat het zonne-energiesysteem de daglichttoetreding beïnvloedt en dat er in het ontwerp aandacht is voor de slagschaduw die kan optreden.

Monokristallijn

Transparante monokristallijne panelen bestaan uit gesloten vlakjes met daartussen openingen. Dit geeft een sterk grafisch beeld en daardoor een ritmische schaduwwerking. Bij een grotere afstand tussen het paneel en het onderliggende vlak is de schaduwwerking meer diffuus. Door gebruik van gematteerd / getextureerd glas krijg je een hele andere uitstraling en ook een minder blokkerig patroon onder het glas. (En iets meer opbrengst bij getextureerd glas.)

Bifacial

Is de onderzijde van de panelen zichtbaar, dan kan er gekozen worden voor een dubbelzijdig systeem (bifacial). De indirecte lichtinval aan de onderzijde wordt bij deze panelen ook benut voor het opwekken van energie. Dit is interessant wanneer aanvullend rendement wenselijk is én de mogelijkheid voor het toepassen van een dubbelzijdig systeem aanwezig is. Een dubbelzijdig systeem heeft aan beide zijden een gelijkwaardige uitstraling. En kan daarom vanwege ruimtelijke redenen wenselijk zijn.

Amorf silicium PV glas

De verschillende types amorf silicium panelen hebben een zeer fijn grid als structuur (vitrage-achtig) en geven daardoor een egaal schaduwvlak. Panelen met een hoog percentage transparantie zijn bijna volledig doorzichtig en kunnen daardoor als 'onzichtbare' oplossing toegepast worden in bestaande glazen gevels en/of daken. Houdt hierbij wel in gedachten dat hoe transparanter het paneel, hoe lager het rendement is.

- Houd rekening met het effect op de hoeveelheid daglicht onder/achter het glas.
- Kies voor een mate van transparantie die past bij de toepassing, bijvoorbeeld: doorzicht, daglichttoetreding, zon- en/of lichtwering.
- Vermijd hinderlijke slagschaduw. Let daarbij op de hoogte van het dak t.o.v. het onder- of achterliggende vlak en de objecten waar de schaduw op kan vallen.
- Denk hierbij ook aan het gebruik van gematteerd / getextureerd glas (minder blokkerig patroon en iets meer opbrengst).
- Een dubbelzijdig systeem kan uitkomst bieden op zichtlocaties.
- Indien er geen dubbelzijdig paneel gekozen wordt en de achterzijde toch zichtbaar is, houd dan rekening met de afwerking van de achterzijde van het paneel.

Ontwikkelingen



Bedrukt zonnepaneel waardoor het beeld van een textuur ontstaat. Voorbeeld: Solar Visuals



Een zonnepaneel met een baksteenprint. Voorbeeld: Solar Visuals



De zonnepanelen zijn voorzien van een print en zorgen als gevel voor de expressie van het gebouw, ontwerp technisch gebouw Naarden-Bussum (ontwerp UNStudio/Solar Visuals.)

Ontwikkelingen

Er zijn vele ontwikkelingen op het gebied van zonnepanelen. Bij de start van een project is het van belang een korte marktverkenning te doen. Hieronder enkele noemenswaardige voorbeelden.

Gevelpanelen met PV-cellen

Door integratie van PV technologie in gevelmateriaal kunnen PV cellen worden toegepast zonder een verstorend beeld te creëren. Deze toepassing kent vele vormen, denk bijvoorbeeld aan integratie in dakpannen of tegels.

Organische PV-cellen

Deze cellen zijn in beeld en qua toepassing vergelijkbaar met de dunne film panelen, maar kennen een nog grotere flexibiliteit als het gaat om de integratie in andere materialen.

Panelen met opdruk

Panelen met een opdruk komen steeds vaker voor (zie ook het voorbeeld van Naarden-Bussum in dit handboek). Het gebruik van bedrukking kan zonnepanelen op zichtlocaties mogelijk maken.



De zonnepanelen vormen met verschillende blauwtinten een compositie die deel uitmaakt van het gevelontwerp (International school Copenhagen, C.F. Møller)



De combinatie van zonnepanelen en patronen op de glaskap zorgen samen voor een bijzonder dak, kunstwerk op station Rotterdam Centraal.



De bestaande lichte perronkappen zijn voorzien van monokristallijne panelen, station Zwolle.

2. Kleur en contrast

Stem de kleur van het zonne-energiesysteem en de dakbedekking zoveel mogelijk op elkaar af. Kies er bewust voor om contrast te vermijden of in te zetten in de beeldkwaliteit.

Kleur

Als de kleur van het zonne-energiesysteem past bij de kleur van de dakbedekking zal het systeem minder snel in het oog springen. Zonnepanelen zijn in verschillende kleuren verkrijgbaar. De kleur(stelling) van het paneel heeft invloed op het rendement van het systeem. Donkere kleuren zoals zwart of blauw leveren het hoogst mogelijke rendement op, maar niet altijd het gewenste beeld.

- Stem de kleur van de dakbedekking en het zonne-energiesysteem op elkaar af.
- Houd rekening met naastgelegen daken en oppervlaktes.

Contrast

Vermijd een groot kleurcontrast tussen het zonne-energiesysteem en het overige dak of zet het in als ontwerptool. Bij nieuwbouw kan een weloverwogen kleurcontrast onderdeel van het architectonische ontwerp zijn. Zie ook het ontwerp van Rotterdam Centraal. Het gebruikte contrast kan in dat geval voor een verbijzondering van de architectuur zorgen.

- Kies voor een neutrale en abstracte kleurstelling en/of print.
- Het gebruik van stationsnamen, plaatsnamen, drukke of contrasterende prints op zonnepanelen is niet wenselijk.



Een samenhangend vlak met vier gesloten randen, het vlak opknippen in twee of meerdere vlakken vanwege obstakels, station Eindhoven (ontwerp Arcadis)



Maximale benutting van het beschikbare oppervlak, station Driebergen-Zeist (ontwerp Arcadis).



Maak geen rafelrand, bijvoorbeeld op afgeschuinde vlakken.

3. Vlakverdeling en symmetrie

Maak samenhangende vlakken met gesloten randen. Een dak hoeft niet altijd symmetrisch voorzien te worden van zonnepanelen vanuit het oogpunt van ruimtelijke kwaliteit. Symmetrie is alleen noodzakelijk als beide zijden van het dakvlak gelijktijdig prominent kunnen worden ervaren vanuit de omgeving.

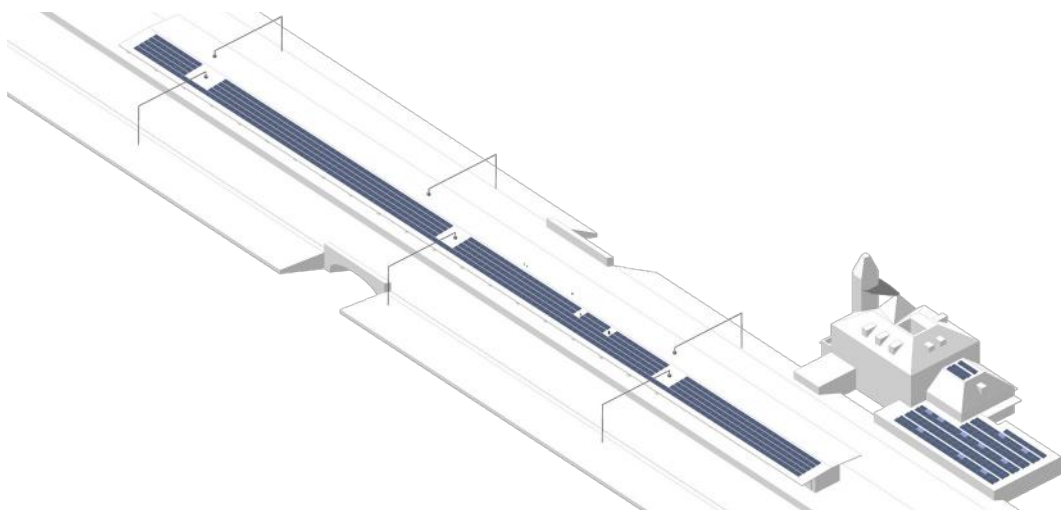
Vlakverdeling

Benut de potentie van een dak zo goed mogelijk. Daarbij is het belangrijk om de rust in het beeld van het gebouw/dak te waarborgen. Dit kan door de volgende vuistregels te hanteren:

- Voeg de zonnepanelen samen tot een samenhangend vlak met gesloten, doorlopende randen.
- Maak geen rafelranden.
- Wanneer de zonnepanelen niet doorgelegd kunnen worden vanwege een obstakel (dakdoorvoer, lichtstraat, valbeveiliging, bovenleidingportaal o.i.d.) knip het vlak met zonnepanelen op in twee, of meerdere, vlakken.
- Werk zo nodig met dummypanelen om nette vlakken te maken.
- Houd er rekening mee dat vanuit beheer en onderhoud van zowel het dakvlak, de elementen op het dak als het zonnenergiesysteem aanvullende eisen zullen worden opgelegd ten behoeve van een veilige bereikbaarheid en onderhoudbaarheid.

Symmetrie

Symmetrische bouwwerken zoals perronkappen worden niet per definitie symmetrisch voorzien van zonnepanelen. Dit is alleen het geval als het dak een prominent aanzicht is van het station. Door een rand vrij te houden op het dak is een assymetrische opstelling vanaf het perron of de omgeving niet zichtbaar. De vuistregel is dat vanaf 100m afstand de panelen zichtbaar mogen zijn, die tekenen dan alleen af als een dunne lijn. Test dit in een 3D programma.



Doorlopende rij zonnepanelen aan rand voor gelijke uitstraling. Panelen losgehouden van koppen zodat tot 100m afstand op het perron geen panelen zichtbaar zijn. (studie station Weert)



Het zonnestelsysteem is een integraal onderdeel van het ontwerp. Het dakvlak is maximaal benut en de panelen lopen door tot de nok. De panelen sluiten netjes aan op de bestaande helling van het dak, de uitstraling van het gebouw en de detaillering, ketelhuis Ulft.



Het zonnestelsysteem vervangt de dakconstructie én de dakbedekking, station Delft Campus (ontwerp Benthem Crouwel Architects).



Station Helmond: De combinatie van zonnepanelen en een groendak heeft, naast een groene en duurzame uitstraling, een gunstig effect op het rendement. Dit effect was het grootst geweest wanneer de panelen verhoogd waren geplaatst en het groendak onder de panelen doorgelegd was (minder warmteontwikkeling)

4. Integratie met dakbedekking en groendaken

Vanuit ruimtelijk perspectief hebben integrale oplossingen de voorkeur. Kies producten die ontwikkeld zijn om de dakbedekking te vervangen (vermindering materiaalgebruik), of producten waarvan de afmetingen aansluiten op die van de dakbedekking of gevelbekleding.

Zonnepanelen als dakbedekking of integratie in dak

Door het zonne-energiesysteem te integreren in de dakbedekking of gevelbekleding springt het minder in het oog. Het zonne-energiesysteem voegt zich in de structuur van de aanwezige gevel- of dakafwerking. Afmeting, legrichting, detaillering en kleur spelen daarbij een belangrijke rol.

Er zijn (nieuwbouw) situaties waarbij de integratie van het zonne-energiesysteem zelfs nog een stap verder kan worden gebracht. De panelen vormen dan tegelijkertijd de afwerking én waterkering van het dak- of gevelvlak.

- Kies een zonne-energiesysteem waarvan de structuur en het uiterlijk vergelijkbaar is met de dakbedekking.
- Stem de maatvoering van het zonne-energiesysteem en de dakbedekking op elkaar af.
- Gebruik het zonne-energiesysteem als afwerking én waterkering van het dak- of gevelvlak wanneer de situatie zich daartoe leent.
- Voer alleen het gehele dak uit met zonnepanelen wanneer deze de dakbedekking (visueel en functioneel) kunnen vervangen. Houd in alle andere gevallen rondom de zonnepanelen een afstand tot de dakrand zodat de dakbedekking ook onderdeel blijft van het stationsaanzicht. De panelen kunnen daarbij wel doorlopen tot aan de nok van het dak. Let in dat geval op de positie van aanlijnbeveiliging.

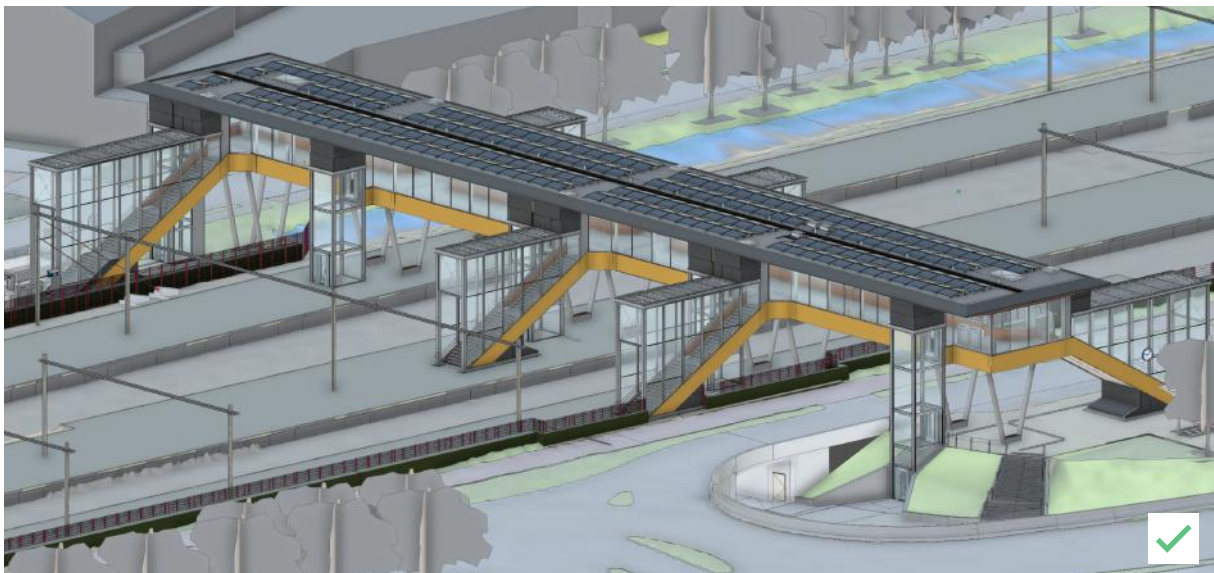
Groendak

De combinatie van zonnepanelen met een sedumdak zorgt voor een natuurlijke uitstraling en draagt positief bij aan klimaatadaptie en biodiversiteit. Ook voor het zonne-energiesysteem levert een onderliggend sedumdak gunstige effecten op. De beplanting op het dak reflecteert meer zonlicht dan standaard dakbedekking. Dit heeft een grotere instraling op de zonnepanelen als gevolg. Bovendien blijven de panelen door de aanwezige beplanting een aantal graden koeler, waardoor zij een hoger rendement leveren. De volgende aandachtspunten zijn van belang:

- Neem een groendak in overweging voor een prettige reizigersbeleving en het positieve effect op biodiversiteit en klimaatadaptie.
- Het dakpakket wordt door een groendak hoger en zwaarder. Check wat de impact hiervan is op de ruimtelijke kwaliteit en draagkracht.
- De beeldkwaliteit van het station als geheel is belangrijk. Om versnippering te voorkomen is het van belang te toetsen of een groendak in combinatie met zonnepanelen een passend totaalbeeld oplevert.



De panelen liggen terug van de rand en volgen de dakhelling. Station Driebergen-Zeist (ontwerp: Arcadis)



De panelen liggen terug van de dakrand en worden opgeknipt rondom obstakels. (ontwerp studioSK/Movares).



Zonnepanelen evenwijdig aan de richting van het dak, vormen samen een rechthoekig vlak met voldoende afstand tot dakrand. Alle panelen hebben gelijke oriëntatie en zijn zodanig gepositioneerd dat deze tot op een afstand van 100m niet zichtbaar zijn vanuit openbaar gebied, station Uitgeest. De doorlopende strakke daklijn is de beelddrager van dit ontwerp. Het is daarom van belang dat zonnepanelen niet aftekenen in het beeld. (ontwerp studioSK/Movares).

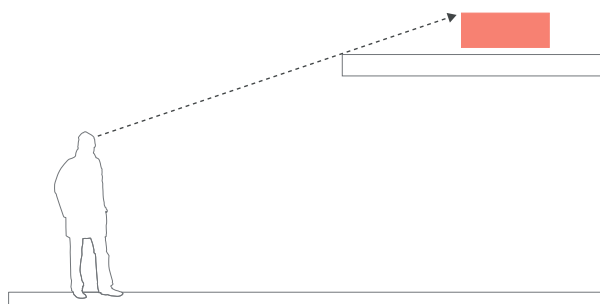
5. Legrichting, oriëntatie en dakhelling

De legrichting van de panelen dient ondersteunend te zijn aan de dakvorm en context. Zorg dat de belijning van de panelen zo goed mogelijk aansluit bij de hoofdrichting van het bouwwerk. Bij lange smalle perronkappen is dit de lengterichting. Bij verlijmde systemen is een haakse oriëntatie ook mogelijk, daarbij aansluitend op de legrichting van de dakbedekking. Gebruik geen diagonale legrichting en zorg dat panelen altijd dezelfde oriëntatie hebben. Vanuit ruimtelijke beleving heeft het de voorkeur om de zonnepanelen de dakhelling te laten volgen.

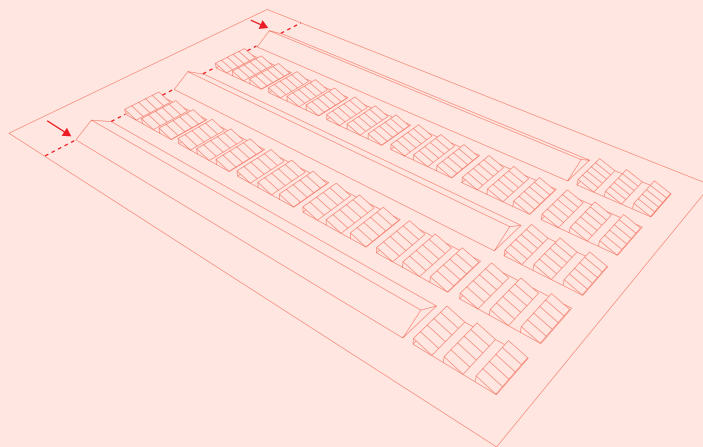
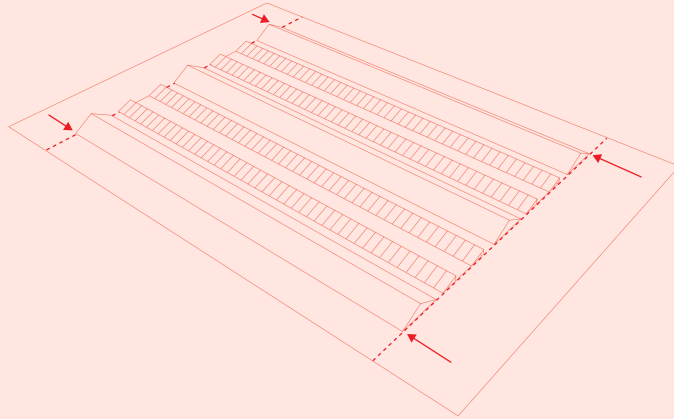
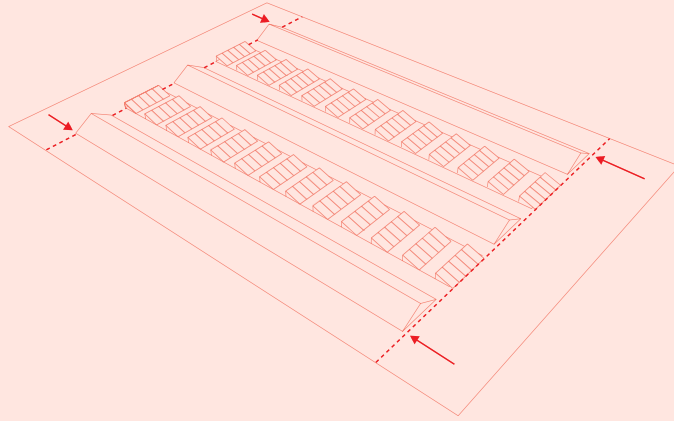
Houd rekening met de volgende uitgangspunten:

- Leg alle panelen in dezelfde richting (horizontaal of verticaal). Zorg dat de belijning van de zonnepanelen aansluit bij de hoofdrichting van het bouwwerk.
- Zorg bij schuine en gebogen daken dat de panelen de helling van het dak volgen. Hoe meer het dak zichtbaar is, hoe belangrijker het is dat de dakhelling gevolgd wordt.
- Probeer waar mogelijk de panelen op hetzelfde dakvlak onder dezelfde hellingshoek te plaatsen.

Sommige van bovenstaande uitgangspunten kunnen in contrast zijn met eisen die worden gesteld vanuit andere vakdisciplines. Bijvoorbeeld vanuit onderhoud en beheer waar een minimale hellingshoek van 10 graden wordt geëist. Per casus moet worden bekeken hoe hiermee het best kan worden omgegaan.



Houd het systeem los van de dakrand, zodat zicht vanaf maaiveld beperkt blijft.

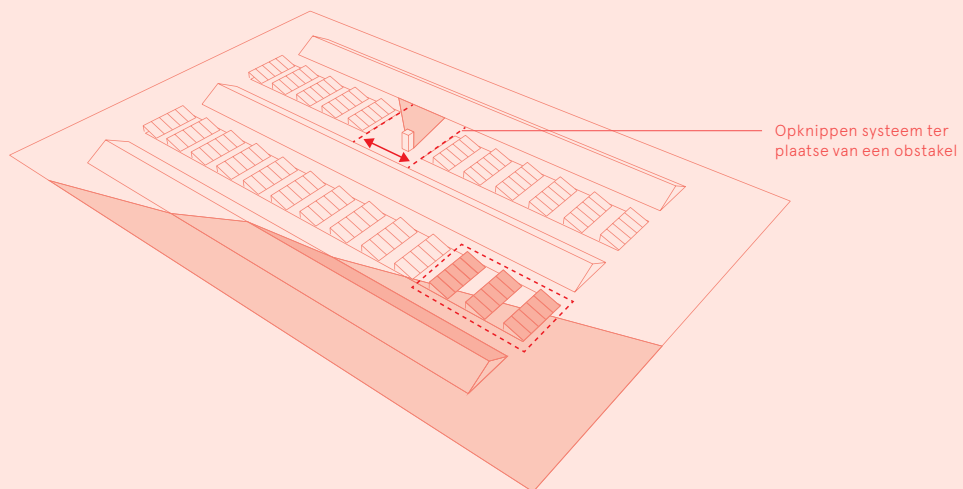


Compositie plat dak, waarbij de lichtstraten het uitgangspunt voor de vlakverdeling vormen.

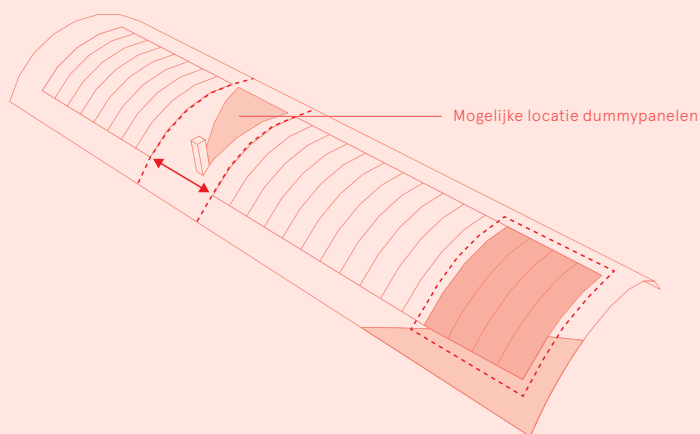
6. Compositie op een bestaand dak

Voeg de vlakken van het zonne-energiesysteem op een logische manier toe. Lijn ze zoveel mogelijk uit met beeldbepalende architectonische elementen zoals lichtstraten, dakopbouwen en nokken. Probeer het dak daarbij gelijkmatig uit te vullen. Werk waar nodig met dummypanelen.

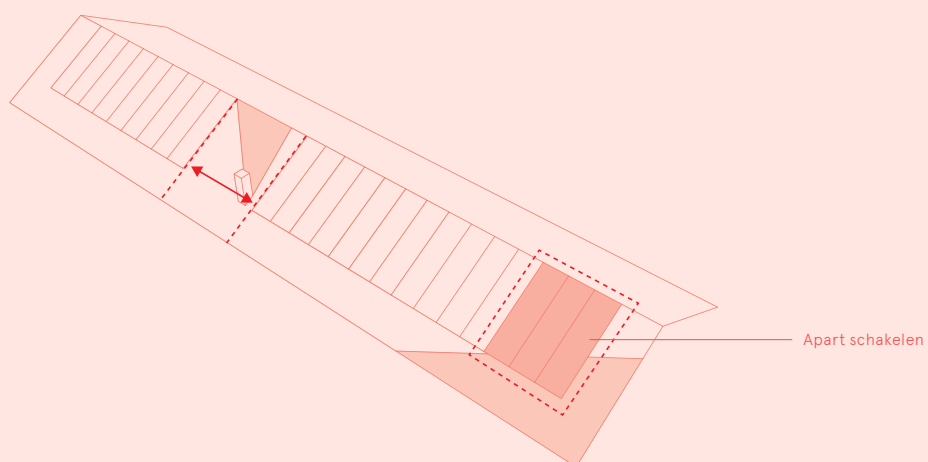
- Lijn het vlak waarop zonnepanelen worden geplaatst uit met bestaande elementen (bijvoorbeeld lichtstraten en rookkappen.)
- Zorg dat het legplan zo veel mogelijk opgeknipt is in rechte vlakken zonder rafelranden (ook in belijning).
- Plaats de zonnepanelen en bijbehorende installaties op zodanige afstand van lichtstraten en daklichten dat deze vanuit de onderliggende ruimte en/of perrons onzichtbaar zijn (voorkeur), of netjes weggewerkt (kabelgoten, omvormers, etc.).
- Houd er rekening mee dat vanuit beheer en onderhoud van zowel het dakvlak, de elementen op het dak, als het zonne-energiesysteem aanvullende eisen worden gesteld t.b.v. een veilige bereikbaarheid en onderhoudbaarheid.



Plat dak:
 Bij de dakdoorvoer is het vlak zonnepanelen in tweeën opgedeeld, zodat er twee rechthoekige vlakken ontstaan.



Gebogen dak:
 Mocht het opknippen van de zonnepanelen in het ontwerp heel storend zijn, kunnen dummypanelen overwogen worden om een doorlopend vlak te suggereren.



Zadelkap:
 Bij het schaduwvlak is gekozen om de betreffende panelen apart te schakelen, zodat zij het rendement van de overige panelen niet nadelig zullen beïnvloeden.

7. Obstakels en schaduwvlakken

Obstakels of schaduwvlakken kunnen de compositie van het dakvlak verstoren. Zorg ervoor dat bij obstakels geen 'gat' of rafelrand in het zonne-energiesysteem ontstaat. Ontwerp het systeem zo dat het vlak van het zonne-energiesysteem altijd met een rechte lijn onderbroken wordt of kies een oplossing waarbij het vlak ononderbroken kan doorlopen.

Obstakels

Als obstakels op het dak het doorleggen van de zonnepanelen belemmeren, dient het vlak met zonnepanelen opgeknipt te worden in twee of meer vlakken.

- Een vlak heeft altijd vier gesloten randen, voorkom rafelranden. Pas afgebakende rechthoekige vlakken toe die onderling uitlijnen.
- Als niet het gehele dak vol gelegd wordt, houd het zonne-energiesysteem dan vrij van de dakranden, zodat de rechthoekige vlakken duidelijk begrensd zijn.

Schaduw

- Als schaduwvlakken van omliggende bebouwing een deel van het dak minder aantrekkelijk maken voor de plaatsing van zonnepanelen, zijn er twee mogelijkheden:
 1. Alleen op het onbelemmerde deel van het dak wordt een aaneengesloten vlak met zonnepanelen toegepast. Let er echter op dat dit geen negatief effect op de kwaliteit van de compositie heeft.
 2. Het effect van schaduwval op het rendement van het systeem kan op diverse manieren worden beperkt zonder daarvoor het vlak met panelen te onderbreken. Denk daarbij aan de toepassing van separate schakeling, optimizers of dummy-panelen.

Zadeldaken

Afhankelijk van de oriëntatie kan een zadeldak geschikt zijn om geheel met een zonne-energiesysteem te bedekken. In dat geval moet extra aandacht worden besteed aan de detaillering van de randen.

- Plaats de panelen onder dezelfde hellingshoek als het dakvlak.
- Het systeem kan eventueel doorgelegd worden tot de nok en/of dakrand. Maak daar een weloverwogen keuze in en let op detaillering van randen.

Gebogen daken

Door de gebogen vorm van het dak en het bijpassende type zonnepaneel (dunne film of flexibele panelen) is het in de meeste gevallen niet rendabel dit volledig met zonnepanelen te beleggen. Er is dan sprake van een verdeling in (gebogen) rechthoekige vlakken aan de zonzijde van het dak. Afhankelijk van de radius van het dak kan de ronding ook gevormd worden door gebruik van reguliere of maatwerkpanelen.

- Pas afgebakende rechthoekige (gebogen) vlakken toe die onderling uitlijnen.
- Voorkom een gesegmenteerd uiterlijk en kies voor een systeem dat de kromming van het dak volgt.

Specifieke ontwerpprincipes

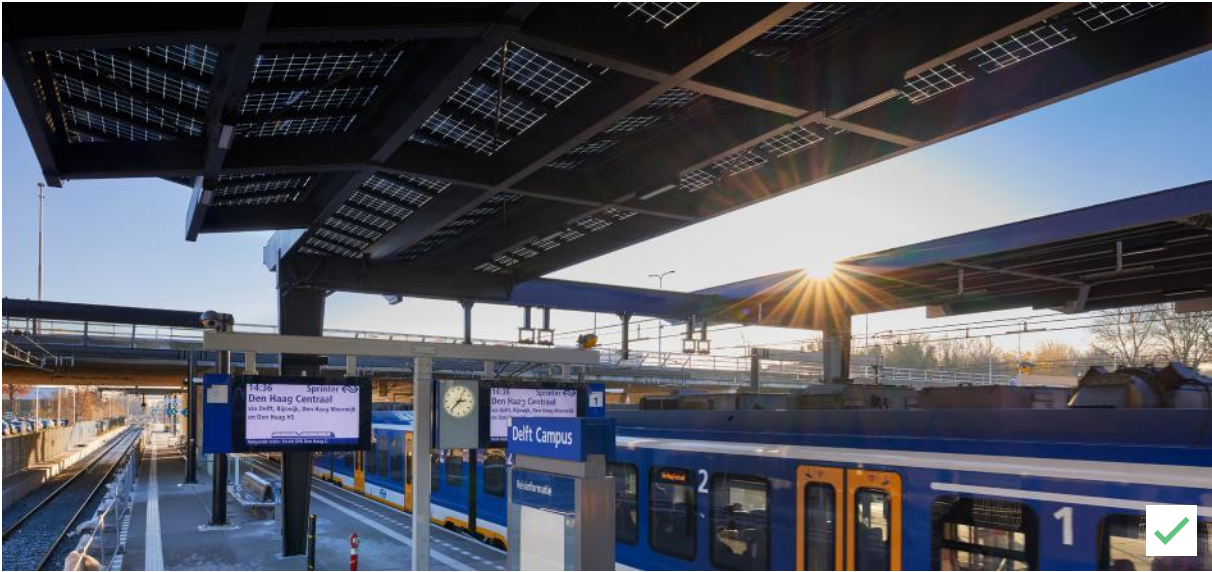
Het is van belang dat een zonne-energiesysteem samenhangend wordt ingepast in de architectuur van het station en de cultuurhistorische waarden worden gerespecteerd. Aan de hand van specifieke ontwerpprincipes worden ruimtelijke aandachtspunten in kaart gebracht en projecten uitgelicht waar een zonne-energiesysteem een prominente rol in de uitstraling speelt. Ook wordt aandacht besteed aan de inpassing van zonne-energiesystemen op stations met cultuurhistorische waarde. De uitstraling van het geheel dient logisch en eenduidig te zijn.



Aan de linkerkzijde bevinden zich hoge bomen die voor schaduw op het dak zorgen. De transparante mono-kristallijn panelen zijn daarom meer naar het noorden gesitueerd in een rechthoekig vlak. fietsenstalling station Dordrecht (ontwerp studioSK/Movares).



Bij het ontwerp van het zonnepaneel is het bovenaanzicht van het dak verbijzonderd, station Rotterdam Centraal.



De sporenkap is een integrale compositie van constructie en een zonnepaneel, station Delft Campus (ontwerp Benthem Crouwel Architects).

8. Integratie in nieuwbouw en bijzondere architectuur

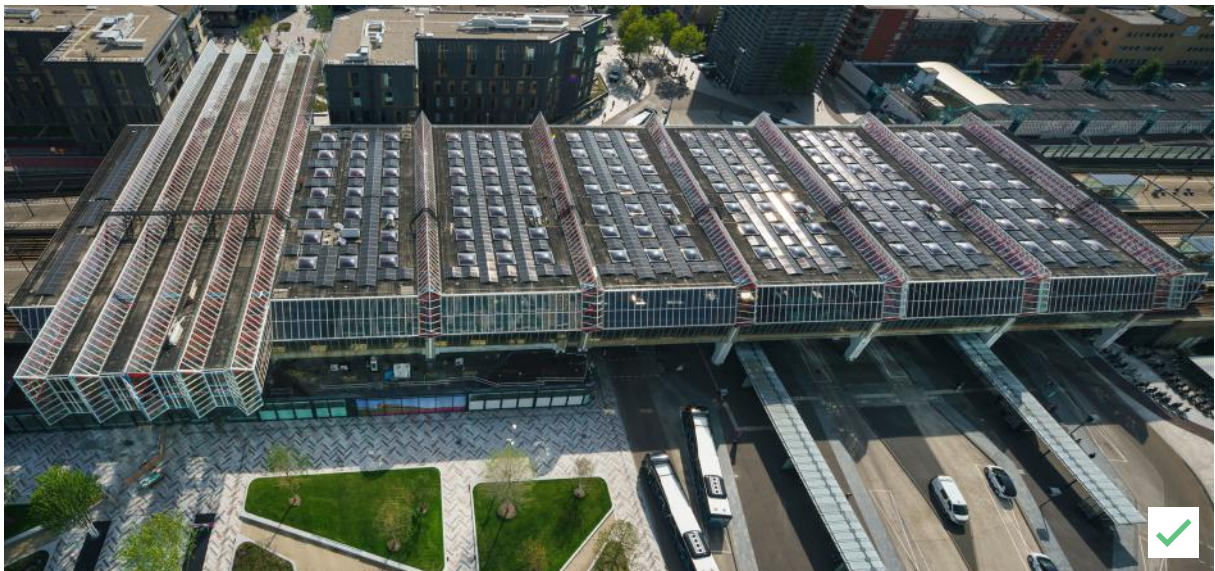
Het zonne-energiesysteem kan leidend zijn bij het ontwerp van een (nieuw) gebouw of overkapping. Ontwerp het bouwwerk zodanig dat het zonne-energiesysteem de architectonische uitstraling en het karakter van het gebouw versterkt.

Bij een nieuw gebouwoontwerp kan het zonne-energiesysteem als integraal onderdeel de architectuur verbijzonderen. De duurzame uitstraling van een zonne-energiesysteem vormt daarbij dan een onlosmakelijk onderdeel van de architectonische vormgeving. Hierdoor kan in sommige situaties meer vrijheid ten opzichte van de richtlijnen toegestaan worden. Bij bestaande gebouwen zal dit minder snel het geval zijn.

- Gebruik bij een nieuwbouwproject het zonne-energiesysteem om de architectuur te versterken.
- Besteed extra aandacht aan vormgeving en detaillering wanneer een zonne-energiesysteem in een (nieuw) gevelvlak wordt toegepast.
- Zonnepanelen inzetten met twee functies
 - energieopwekking en waterdichtheid/ zonwering - kan materiaal besparen omdat dakbedekking overbodig wordt.



Transparante zonnepanelen passen in de High-tech architectuurstijl station Almere Centrum



Delen uit het zicht zijn optimaal en zorgvuldig benut voor het zonne-energiesysteem



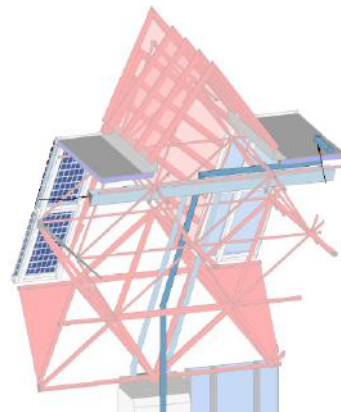
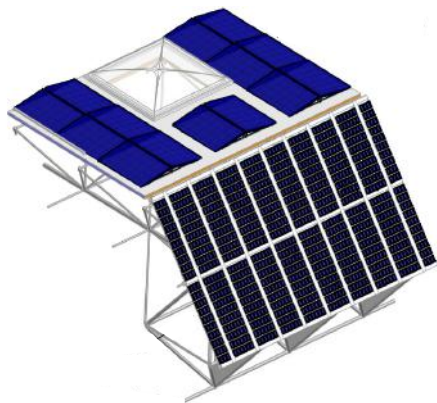
Ontwerp van het zonnensysteem op het dak en de gevels van station Almere (ontwerp studioSK/Movares.)

9. Inpassing in bestaande architectuur

De technische uitstraling van zonne-energiesystemen past beter bij de ene architectuurstijl dan de andere. Ontwerp een zonne-energiesysteem dat zo goed mogelijk past bij het karakter van het bouwwerk.

Bij gebouwen met een hightech of utilitaire uitstraling zal een zonne-energiesysteem beter aansluiten dan bij gebouwen met een klassieke architectuur. De keuze voor contrasterende stijlen kan in sommige gevallen de beste oplossing zijn. Dit vraagt om een intensieve begeleiding door de beoordelende specialisten en Bureau Spoorbouwmeester.

- Houd rekening met de uitstraling van het gebouw. Het zonne-energiesysteem kan een aanvulling zijn op de architectuur, maar kan het beeld ook negatief beïnvloeden.
- Besteed extra aandacht aan vormgeving en detaillering wanneer een zonne-energiesysteem in een (bestaand) gevelvlak wordt toegepast.



Bij de high-tech architectuur van station Almere is het zichtbaar toevoegen van zonnepanelen goed passend. In het ontwerp zijn dichte panelen op het dak toegepast en monokristallijn in glas op de gevel (ontwerp studioSK/Movares)



10. Monumenten en gebouwen uit De Collectie

Bij iconische bouwwerken zoals monumenten of collectiegebouwen gelden eerder genoemde ontwerpprincipes en daarbij is het van belang dat zonnepanelen ingepast worden met respect voor de ruimtelijke en monumentale kwaliteit van het gebouw en de omgeving. Treed vroegtijdig in overleg met bevoegde instanties, afhankelijk van de status van het bouwwerk.

Vaststellen monumentaliteit

Bij aanvang van een aanpassing aan een station met cultuurhistorische waarde is het van belang te achterhalen om welke monumentale status het gaat. We onderscheiden rijksmonumenten, provinciale monumenten, gemeentelijke monumenten en gebouwen uit De Collectie. Deze monumenten en andere niet beschermde gebouwen kunnen gelegen zijn in beschermde stads- en dorpsgezichten. Er zijn verschillende bronnen zoals het Rijksmonumentenregister, monumentenregister en de website van de gemeente of provincie. Het boek "De Collectie: Cultuurhistorische Verkenning Van Stationsgebouwen In Nederland" en de website www.spoorbeeld.nl geven inzicht in de bouwgeschiedenis, betekenis en de monumentale waarde van stationsgebouwen In Nederland. Op www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/duurzaamheid/maatregelen-om-te-verduurzamen/installaties/ elektriciteit-opwekken is het standpunt over zonnepanelen op monumenten van de Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed te vinden.

Afstemming

In de zoektocht naar een passend zonne-energiesysteem op een station met cultuurhistorische waarde is het van belang in een vroeg stadium in gesprek te gaan met betreffende instanties om draagvlak te peilen en betrokkenheid te kweken. Hiermee wordt de kans op succes significant vergroot.

Afstemming over het mogelijk plaatsen van een zonnepanelensysteem op een iconisch gebouw vindt, afhankelijk van de monumentale status, in samenspraak met de monumentencommissie en/of de Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed plaats. Bureau Spoorbouwmeester treedt in dat geval op als adviseur van NS en ProRail. Als een stationsgebouw onderdeel is van De Collectie maar geen monumentale status heeft, adviseert Bureau Spoorbouwmeester binnen welke kaders het installeren van een zonne-energiesysteem mogelijk is.

Afhankelijk van de monumentale status:

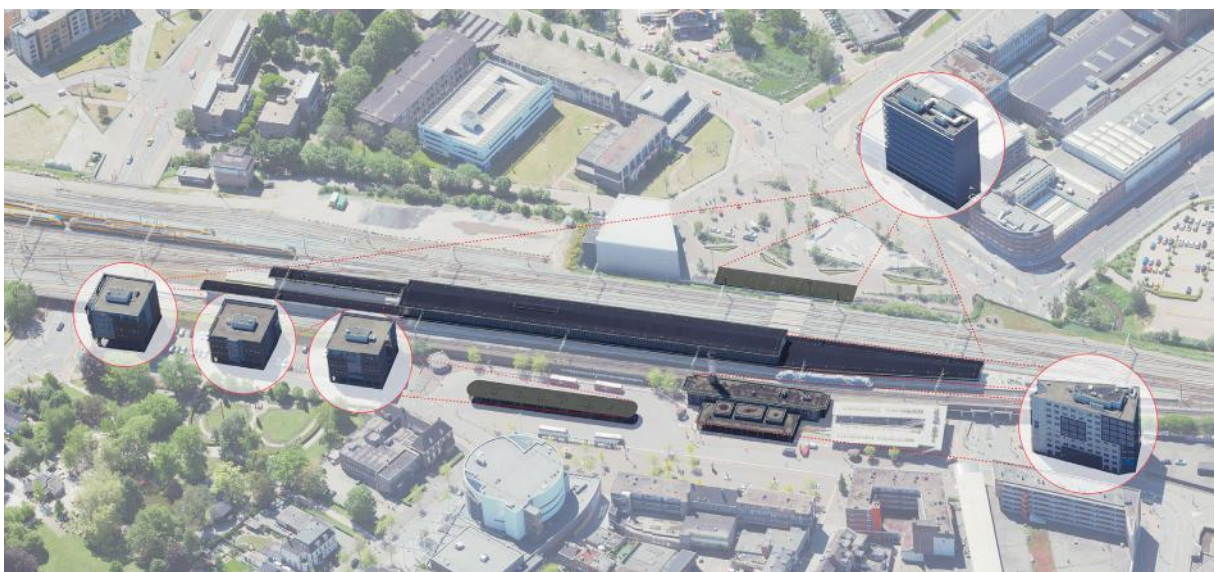
- Zorg dat de betreffende gemeentelijke of provinciale instantie en/of de Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed zo vroeg mogelijk bij de planvorming betrokken wordt.
- Breng gezamenlijk de voor het monument specifieke eisen, wensen en regels in kaart en stem het ontwerp van het zonne-energiesysteem hierop af. Het maken van een zorgvuldige analyse en visie draagt sterk bij aan het vormen van de beslissing over het inpassen van een systeem.



De dakvlakken van de perronoverkapping zijn enkel vanuit omringende woongebouwen waar te nemen. Omdat de kap een dakvorm heeft is altijd maar één zijde vanuit de omgeving goed te zien en is de inpassing van zonnepanelen op enkel de zonzijde mogelijk zonder het aanzicht te verstoren. Station Weert.



Aanzicht perron vanuit omgeving. Vanwege de ligging op een verhoogd spoordijklichaam is het zicht op het dak minimaal vanuit de omgeving op maaiveld. Station Weert.



Enkel een aantal private gebouwen zicht hebben op de perronkap. Het dak is daarmee niet prominent in het zicht vanaf de openbare ruimte en minder van belang voor de monumentale uitstraling. Zonnepanelen kunnen aan één zijde (zonzijde) van het dak worden toegepast. Een nette inpassing is altijd vereist. Station Hengelo.

Aanpak bij stations met cultuurhistorische waarde

De inpassing van zonnepanelen op stations met cultuurhistorische waarde vraagt op verschillende aspecten extra aandacht in de analyse van het bouwwerk om zonnepanelen in te kunnen passen.

1. Locatie

Bekijk welke onderdelen van het bouwwerk een cultuurhistorische waarde hebben en waarom. Bekijk het station ook als geheel vanuit de omgeving en de verhouding van verschillende onderdelen tot elkaar.

Cultuurhistorische waarde:

- Welke gevels of daken zijn gelegen in beschermde stads- of dorpsgezichten en hoe dragen die gebouwdelen bij aan de beschermde status?

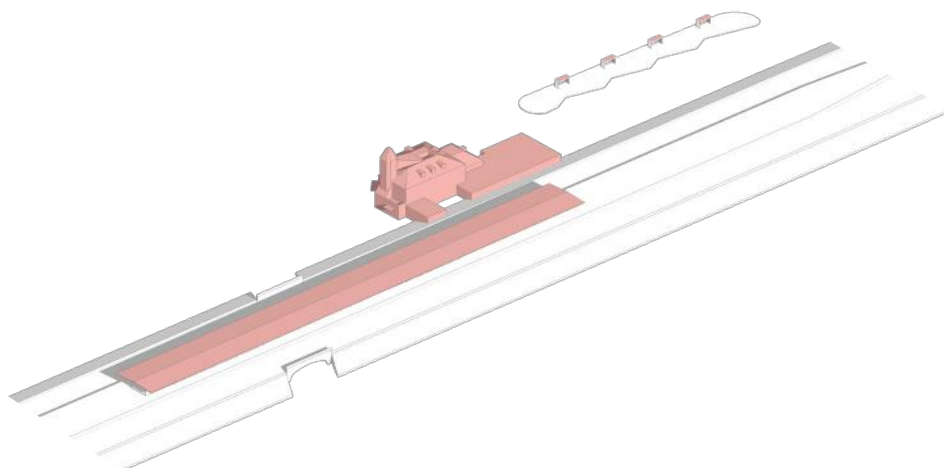
Zichtbaarheid:

- Hoe is het zicht op verschillende cultuurhistorische gevels en daken vanuit de omgeving?
- Is het zicht vanuit openbare of private gebouwen?
- Hoe dragen de aanzichten bij aan de cultuurhistorische waarde?

Karakter:

Wat is het karakter van de verschillende bouwwerken van het cultuurhistorische station en hoe passen zonnepanelen daarbij? Hieronder enkele voorbeelden:

- Stationsgebouw: Een stationsgebouw heeft over het algemeen een representatieve functie. Dit vraagt een goede inpassing van de panelen binnen het historische ontwerp. De voorkeur gaat hierbij uit naar een inpassing die niet zichtbaar is, danwel het historische ontwerp niet verstoort. Een en ander is afhankelijk van het type dak.
- Perronoverkappingen: Dit zijn vaak meer industrieel/functioneel ontworpen gebouwdelen en zonnepanelen kunnen daar door hun technische uitstraling goed bij aansluiten.
- Fietsenstallingen: Dit zijn vaak later bijgebouwde objecten met grote platte doorlopende dakoppervlakken en zijn vaak geen onderdeel van -of van indifferente waarde- voor het monument. Omdat er vaak geen raakvlak met het spoor is en er vaak geen relatie is met monumentale bouwdelen is het inpassen van zonnepanelen hier vaak gemakkelijker. Let wel op bomen in de omgeving vanwege schaduw en vervuiling.
- Bus- of tram overkappingen: Deze zijn vaak goed te benutten voor de integratie van zonnepanelen met dezelfde redenen als bij fietsenstallingen.



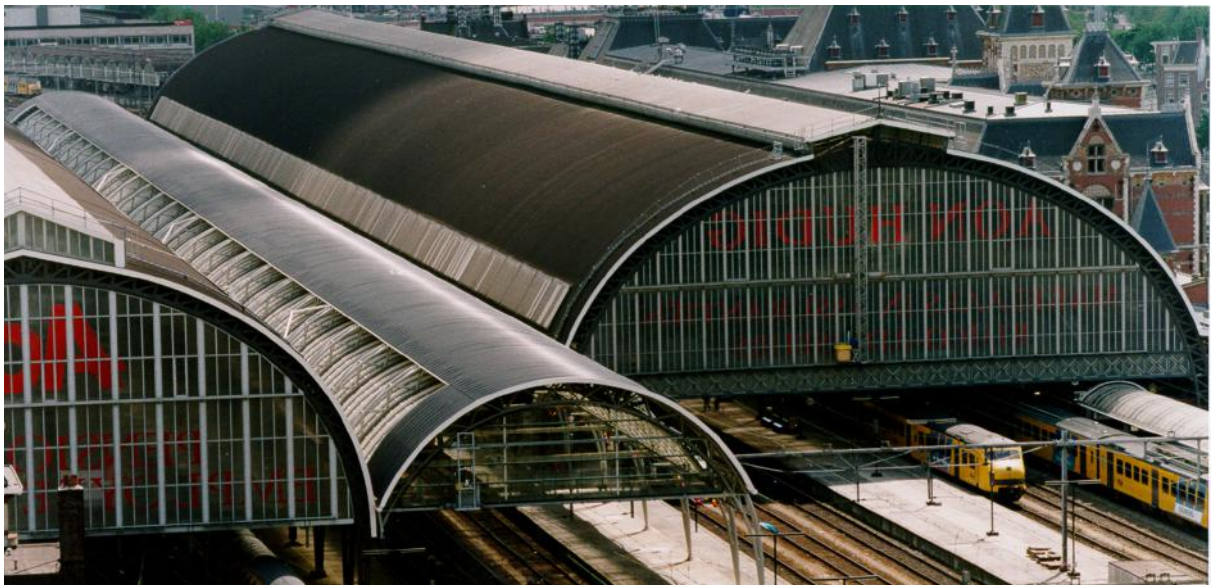
Station Weert en de verschillende beschikbare dakvlakken waar mogelijk panelen kunnen worden ingepast. De perronoverkapping, het stationsgebouw, de fietsenstalling en eventueel een overkapping van het busstation. In de eerste stap van de aanpak wordt in kaart gebracht welke cultuurhistorische waarde per onderdeel is toegekend, wat die waarde kenmerkt en hoe het zicht op dit bouwdeel is vanuit de omgeving.



Zorgvuldig ingepaste flexibele panelen op een gebogen dak. Voorbeeld van Energie.net. Koepelhal Tilburg.



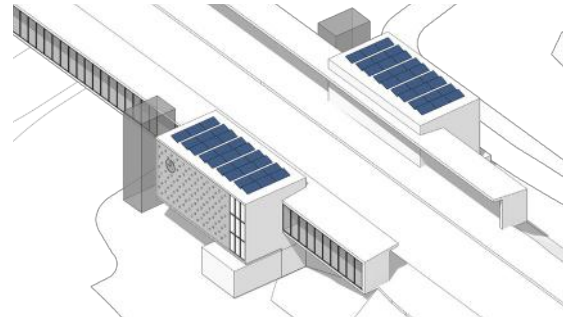
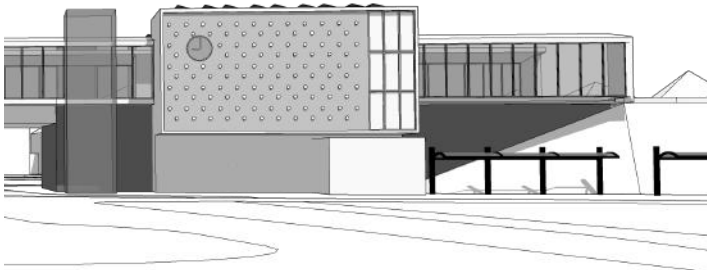
Historisch beeld van de stoomkappen waarin de geleiding duidelijk zichtbaar is die werd veroorzaakt door de zinken stroken. Station Amsterdam Centraal.



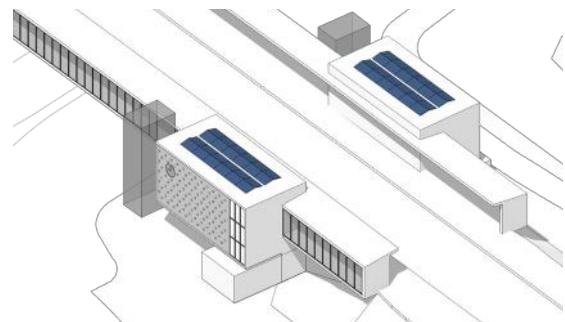
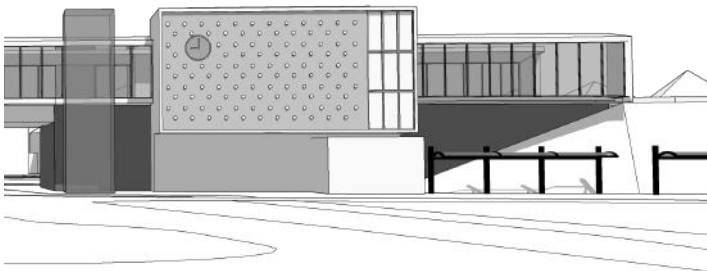
Bitumineuze dakbedekking zorgt voor homogene uitstraling die niet gelijk is aan historische uitstraling waarbij zinken dakbanen beeldbepalend waren. Station Amsterdam Centraal.

2. Systeem

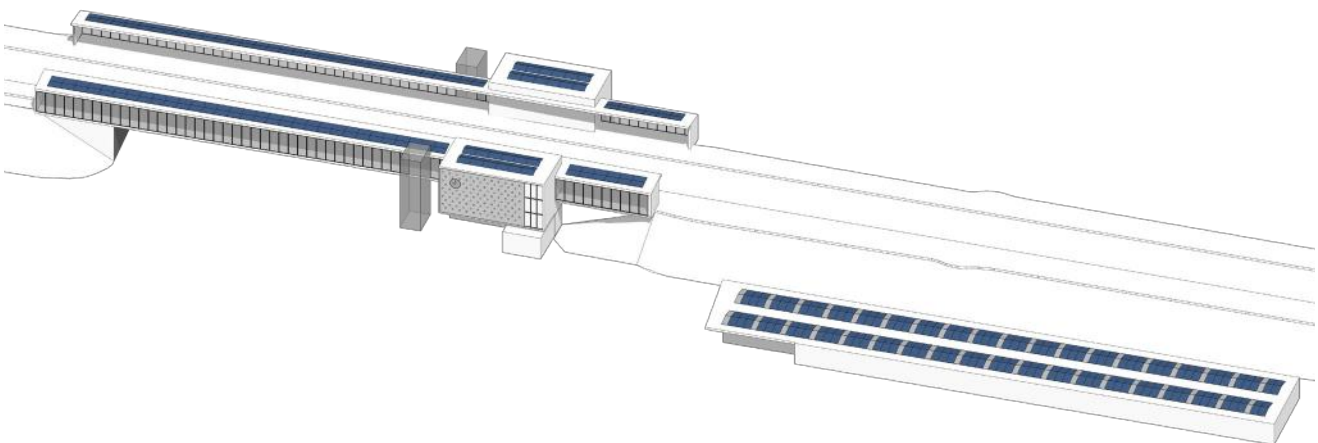
Bij stations met cultuurhistorische waarde is het van belang niet alleen de huidige dakbedekking in kaart te brengen, maar ook te onderzoeken wat oorspronkelijk de dakbedekking was en het originele gevelbeeld. In sommige gevallen kunnen zonnepanelen beter aansluiten bij het historische gevelbeeld dan de huidige dakbedekking. Bijvoorbeeld bij de perronoverkappingen op Amsterdam Centraal kunnen zonnepanelen bijdragen aan het terugbrengen naar het originele uiterlijk van de zinken stroken dakbedekking. Dat kan bijvoorbeeld met flexibele zonnepanelen maar omdat de radius van het dak zo groot is kan dit ook met conventionele all black zonnepanelen. Zie voor een nadere uitleg case studie Amsterdam Centraal.



Door panelen haaks op de lengterichting van het stationsgebouw te plaatsen ontstaat in het aanzicht met shed achtige daken achter de zo kenmerkende strakke dakrand. Dit doet afbreuk aan de beeldkwaliteit en is daarmee ongewenst. Case study station Heemstede-Aerdenhout.



Door de panelen in de lengterichting te plaatsen van het stationsgebouw en de helling zo minimaal mogelijk te maken vanwege het platte dak wordt de daklijn niet verstoord en zijn de panelen vanaf 100m afstand niet te zien op het stationsgebouw.



Een mogelijke inpassing van zonnepanelen op station Heemstede-Aerdenhout. De fietsenstalling en de perronkappen lijken het meest geschikt. De Fietsenstalling heeft geen cultuurhistorische waarde en staat verder van het spoor. De perronkappen hebben (in tegenstelling tot het stationsgebouw) een industrieel karakter waardoor ze beter geschikt zijn voor zonnepanelen. Dit sluit een nette inpassing op het stationsgebouw echter niet uit.

3. Inpassing

Integraal geheel

Vanuit de prioritering van gebouwdelen is het logisch eerst de daken zonder cultuurhistorische waarde te benutten voor de inpassing van zonnepanelen. Wanneer meerdere dakvlakken geschikt zijn voor de inpassing van zonnepanelen is één logische grote ingreep het meest wenselijk maar sluit dit meerdere zorgvuldig ingepaste dakvlakken niet uit. De inpassing dient in lijn te zijn met het volume en belijning van het dak.

Het effect van zonnepanelen op monumentale beeldkwaliteit

Het karakter van het cultuurhistorische bouwwerk bepaalt in grote mate de mogelijkheden voor inpassing. Bij een gebouw(deel) met een industrieel karakter zoals een perronkap passen zonnepanelen beter dan bij een gebouw met een klassiek karakter. Beoordeel de impact op beeldkwaliteit van de zonnepanelen vanuit de omgeving en het perron. Onderstaande inpassingseisen zijn van belang, maar een monumentaal gebouw vergt altijd zorgvuldig maatwerk:

- Zorg bij schuine en gebogen daken dat de panelen de helling van het dak volgen zodat er geen afbreuk wordt gedaan aan de originele beeldkwaliteit.
- Oriënteer de zonnepanelen in de lengterichting zodat de belijning zo goed mogelijk aansluit bij de hoofdrichting van het bouwwerk.
- Let op het vrijhouden van de koppen van perronkappen zodat in het aanzicht van een perronkap vanaf het perron geen zonnepanelen te zien zijn.
- Als het uitvullen van vlakken niet lukt kunnen dummypanelen worden ingepast. Het uitvullen van niet orthogonale dakvlakken d.m.v. dummypanelen moet echter in verhouding staan tot het aantal werkende panelen en het zicht vanuit de omgeving (inzet materiaal versus zichtbaarheid en meerwaarde zuivere vlakverdeling). Een keuze kan ook zijn om zones die lastig in te vullen zijn met rechthoekige panelen bewust vrij te houden.

Materiaalkwaliteit

Bij stations met cultuurhistorische waarde is het van belang dat de originele constructie en materialen zo veel mogelijk in originele staat blijven. Kies daarom bij voorkeur voor systemen die zonder blijvende schade te demonteren zijn.

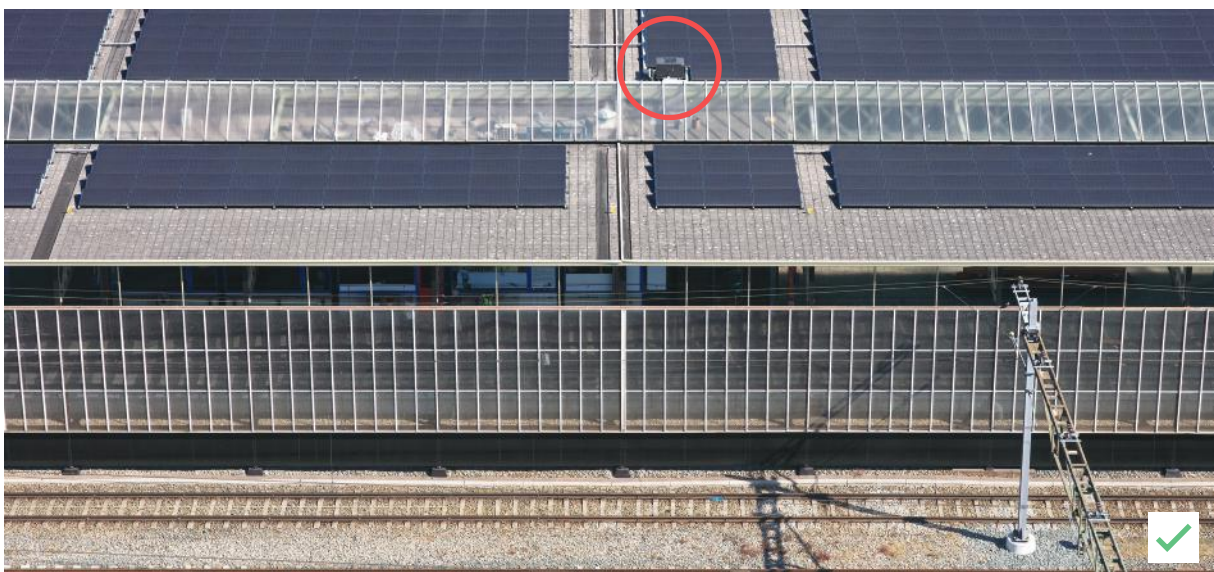
Houd de randen vrij zodat originele dakbedekking zichtbaar blijft en panelen zo weinig mogelijk aftekenen in het aanzicht. Het vervangen van de dakbedekking door zonnepanelen is bij stations met een monumentale status minder wenselijk omdat het oorspronkelijke aanzicht en het oorspronkelijke materiaal dan niet meer afleesbaar is.



Let bij het plaatsen van bouwkundige voorzieningen en bekabeling zowel op de boven- als onderzijde van het dak.
Aan de bovenzijde van de perronkappen op station Utrecht zijn geen bouwkundige voorzieningen of bekabeling te zien.



De omvormers zijn vanaf het perron niet storend zichtbaar door de positionering ter plaatse van twee elkaar kruisende balken, station Rotterdam.



De omvormers staan op het dak in speciaal gemaakte kasten in dezelfde kleur als de zonnepanelen. Alle bekabeling is onder de panelen weggewerkt en de panelen zijn aan de achterzijde dicht gemaakt, station Eindhoven.

Ontwerpprincipes detail & aansluiting

11. Bouwkundige detaillering

Kies een zonne-energiesysteem met een uiterlijk dat past bij het dak en pas het zorgvuldig in door speciale aandacht te geven aan de bouwkundige detaillering. Besteed aandacht aan (de bevestiging van) de onderconstructie en de randaansluiting van de panelen op omliggende dak- of gevelmaterialen.

De bouwkundige detaillering van het zonne-energiesysteem is letterlijk beeldbepalend. Naast de ruimtelijke eigenschappen van het gekozen type zonnepaneel maakt een zorgvuldig plan voor de manier van aanbrengen een groot verschil. Houd bij het uitwerken van de bouwkundige details rekening met de volgende vuistregels:

- Zorg dat er bouwkundige voorzieningen aanwezig zijn om alle bekabeling en randapparatuur uit het zicht weg te werken, zoals: doorvoeren, geïntegreerde kabelgoten, tracé- of koofruimte, omkastingen en aftimmeringen. E.e.a. afhankelijk van wat er in een specifieke situatie mogelijk en noodzakelijk is.
- Zorg, als wegwerken niet mogelijk is, dat bouwkundige voorzieningen logisch worden ingepast en vormgegeven, passend bij het object.
- Vermijd zichtbare hulpconstructies.
- Zorg dat de kleur van de installaties aansluit op die van de onderliggende constructie.
- Houd in het geval van een dakvlakvullend zonne-energiesysteem rekening met de detaillering van de randen.
- Neem aanlijnvoorzieningen mee in het ontwerp van het zonne-energiesysteem. De voorkeur heeft het midden van het dak.
- Kies een systeem waarvan de panelen of elementen geen zichtbare, contrasterende randen hebben.
- Houd er rekening mee dat vanuit beheer en onderhoud van zowel het dakvlak, de elementen op het dak als het zonne-energiesysteem allerlei aanvullende eisen zullen worden gesteld. Denk daarbij aan een veilige bereikbaarheid en onderhoudbaarheid (o.a. loopvlakken en aanlijnvoorzieningen). Breng dit vroegtijdig in beeld en maak een integraal ontwerp.



De schakelkasten en omvormers staan in de weg in het transfergebied. De boodschap op de kast is wel positief door aandacht te vragen voor de duurzame zonnepanelen, station Utrecht.



Deze installatieonderdelen bevinden zich erg in het zicht vanaf het perron. Het was beter geweest deze weg te werken in een nette omkasting of ze op een andere locatie te plaatsen waar ze minder afsteken tegen de achterliggende constructie en het dak, station Zwolle.



Bij inpassing in een bestaande situatie is het niet altijd mogelijk om de installaties uit het zicht te houden. Houd dan rekening met de zichtafstand. In dit voorbeeld zijn de omvormers klein en verstoren ze het beeld van de kap niet doordat ze in een ritme zijn geplaatst, station Utrecht Zuilen.

12. Bekabeling en bijkomende installaties

Houd rekening met de afmetingen en positionering van omvormers, schakelkasten en bekabeling. Bij voorkeur zijn deze aan het zicht onttrokken. Als dat niet mogelijk is, zorg dan voor een integrale ontwerp oplossing en hoogwaardige vormgeving.

De bijkomende installaties kunnen het beeld erg verstoren als deze niet integraal ontworpen worden. De afmetingen kunnen fors zijn. Bovendien is het rendement van het systeem erbij gebaat dat de omvormers dicht bij de panelen gepositioneerd worden. In het ontwerptraject vraagt dit om extra aandacht. Zorg ervoor dat de noodzakelijke kabels en installaties niet zichtbaar zijn, maar worden geïntegreerd binnen de mogelijkheden die een projectlocatie biedt.

Uitgangspunt is dat installaties, zoals omvormers, uit het zicht worden geplaatst. De meest voor de hand liggende plek is bovenop het dak, mits dit niet zichtbaar is vanaf het perron of de openbare ruimte. Als dit niet mogelijk is dan is plaatsing in een gebouw/kast in de buurt van de installatie een optie of als laatste en minst wenselijke plaatsing direct onder de perronkap. Maar dan wel zorgvuldig gedetailleerd.

- Vermijd zichtbaarheid van de bijkomende installaties en bekabeling.
- Maak een integraal ontwerp voor het gehele zonne-energiesysteem inclusief de bijkomende installaties.
- Maak een weloverwogen keuze tussen enkele grote gecentraliseerde installaties of meerdere kleine gedecentraliseerde installaties.
- Als wegwerken niet mogelijk is, positioneer en minimaliseer de zichtbare onderdelen dan zodanig dat ze zo min mogelijk in het oog springen.
- Pas de kleurstelling van zichtbare onderdelen aan de ondergrond aan en volg zoveel mogelijk de aanwezige constructie bij het aanbrengen van bekabeling/tracés.

In de praktijk

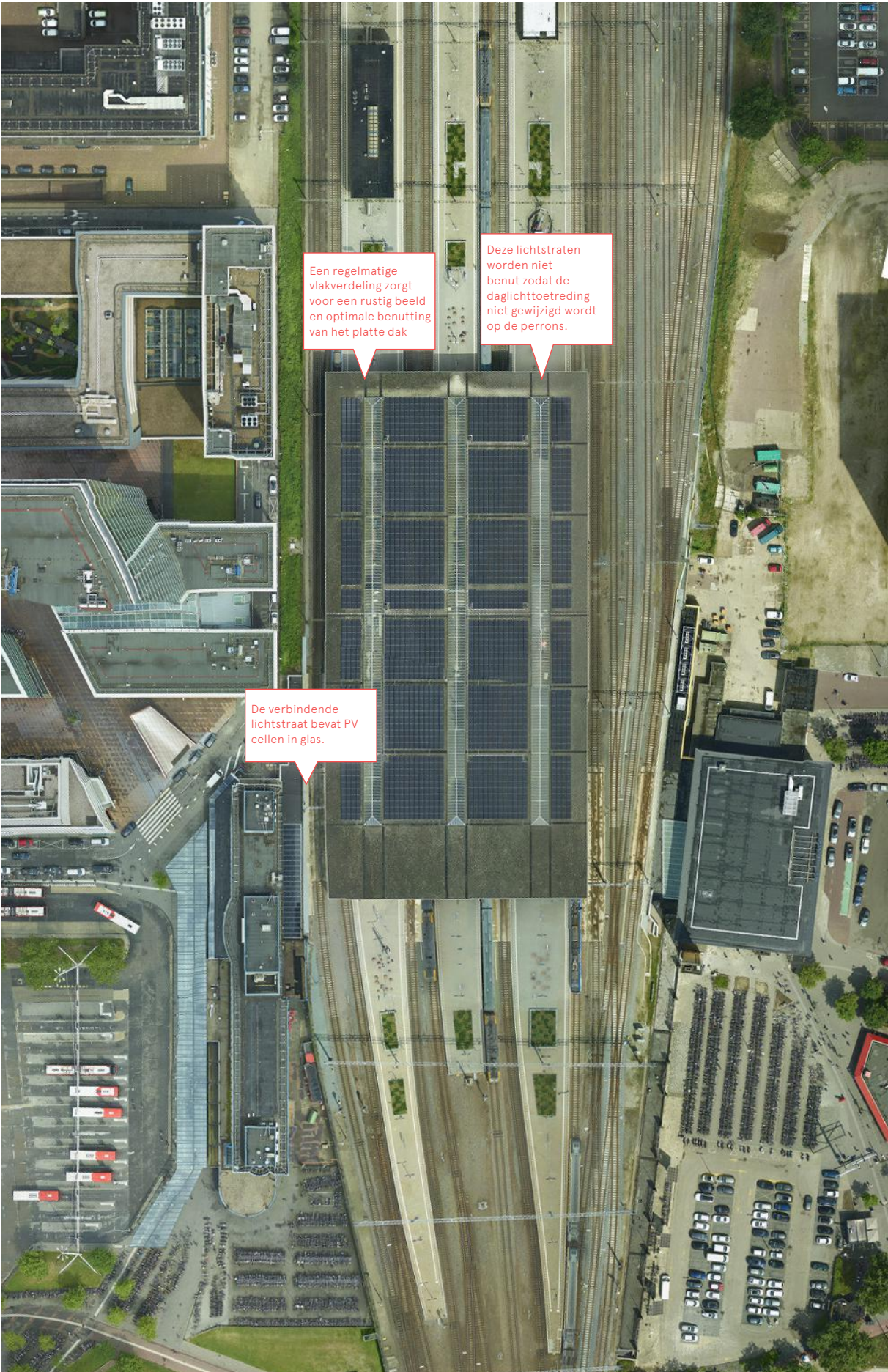
Met zes stations lichten we toe hoe de ontwerpprojecten in de praktijk toepasbaar zijn. Er is een selectie gemaakt van stations met uiteenlopende karakters. Tezamen geven deze een representatief overzicht van praktijksituaties en de daar mogelijke ruimtelijke inpassing van zonne-energiesystemen. Er is gekozen voor voorbeeldstations met verschillende grootte, architectonische stijl, dakvorm en (eventueel) monumentale status. Van de voorbeeldstations zijn er drie gerealiseerd, één ontwerp bevindt zich in de aanbestedingsfase en de overige twee zijn in de vorm van een case study geanalyseerd.

Gerealiseerd:

- Station Eindhoven
- Station Zwolle
- Station Driebergen-Zeist

Ontwerp en case studies:

- Fietsenstalling station Dordrecht
- Station Amsterdam Centraal
- Station Hengelo



Luchtfoto station Eindhoven.

Station Eindhoven Gerealiseerd zonne-energiesysteem Ontwerp: Arcadis

1. Analyse locatie en situatie

Station Eindhoven is een rijksmonument. Het spoorwegstation met colonnade, luifel, voetgangerstunnel, perrons en perronoverkapping is van algemeen belang vanwege de architectuurhistorische, cultuurhistorische en stedenbouwkundige waarden. De sporenkap van het station heeft een plat dak en is vanuit hogere gebouwen in de omgeving goed zichtbaar. Vanaf het maaiveld zijn het dakvlak en de daarop liggende zonnepanelen niet zichtbaar. Op het dak bestaat veel ruimte voor de toepassing van een zonne-energiesysteem met een goede positionering, ritmiek en verhouding volgens de ontwerprichtlijnen van dit handboek. Het glas in de aanwezige lichtstraten speelt een cruciale rol in de daglichttoetreding en sfeer op de perrons.

2. Systeem

Er is voor gekozen de lichtstraten boven de perrons niet te voorzien van cellen in glas omdat dit de daglichttoetreding en sfeer op de perrons onacceptabel wijzigt. De verbindende lichtstraat in de onderdoorgang is wél voorzien van PV cellen in glas. Voor de platte dakdelen is een regulier all-black systeem gekozen omdat dit volledig uit het zicht ligt.

3. Inpassing

Dak

De vlakken van het zonne-energiesysteem op het dak zijn als samenhangende compositie ontworpen en lijnen uit met de lichtstraten op het dak. Bij de plaatsing van het zonne-energiesysteem is afstand gehouden tot de lichtstraten, zodat de panelen vanaf het perron niet zichtbaar zijn. Vanwege de donkere dakbedekking is er weinig contrast met de zonnepanelen. De bijkomende installaties, zoals omvormers, zijn netjes in de vlakverdeling opgenomen en zoveel mogelijk uit het zicht geplaatst.

Lichtstraat

De glazen lichtstraat tussen het stationsgebouw en de onderdoorgang naar de perrons is voorzien van PV panelen in glas. Deze panelen sluiten aan bij de moderne esthetiek van de onderdoorgang.



Zonnepanelen tussen de lichtstraten op station Eindhoven.



Luchtfoto station Zwolle; op de foto zijn de zonnepanelen nog niet geplaatst.

Station Zwolle

Gerealiseerd zonne-energiesysteem

Ontwerp: Arcadis

1. Analyse locatie en situatie

Het historische hoofdgebouw van station Zwolle is een rijksmonument, het is in 1863 gebouwd als Staatsspoorstation Klasse I. De perronkappen zijn niet-monumentaal en van recentere datum, dat geldt ook voor de hoge kap die direct achter het stationsgebouw gelegen is. Vanuit hogere gebouwen in de omgeving is er goed zicht op de gebogen dakvorm van de perronkappen. In de toekomst zijn er ook ontwikkelingen aan de zuidzijde van het station waar hoogbouw gepland is. Vanaf het maaiveld in de omgeving zijn er diverse zichtlijnen van waaruit de daken zichtbaar zijn.

De dakafwerking van de meeste perronkappen heeft een lichte kleurstelling. Uitzondering hierop vormt de hoge kap direct achter het hoofdgebouw, deze is van bitumen en donker van kleur. Op verschillende plaatsen zijn de moderne kappen over de breedte uitgevoerd in semi-transparant glas. De bovenleidingportalen steken door de perrondaken heen en vormen daarmee een obstakel voor het zonne-energiesysteem. De daken zijn gebogen in de noord-zuidrichting, de perrons zijn verspringend ten opzichte van elkaar gesitueerd.



Zonnepanelen tussen de lichtstraten op station Zwolle.



Detailfoto zonnepanelen op een perronkap; station Zwolle.

2. Systeem

De toegepaste panelen zijn vlak. Door het type dakbedekking (golfplaat heeft een gesegmenteerd uiterlijk), de grote radius van het dak en enkel het plaatsen van twee rijen panelen in landscape past dit in het beeld. Er is in overleg gekozen voor het toepassen van een donkere kleurstelling. Dit contrasteert met de lichte kleurstelling van de daken. Vanaf de perrons zijn de panelen niet zichtbaar. In Zwolle past de keuze voor een contrasterend systeem goed bij de op zichzelf al technische uitstraling van de perronkappen.

3. Inpassing

Bij het ontwerp van de compositie is steeds voor een pragmatische oplossing gekozen. De panelen op de perronkappen zijn gebundeld in kleine rechthoekige vlakken tussen de lichtstraten en liggen aan de zuidzijde van de kromming. Ter plaatse van een bovenleidingsportaal wordt het vlak zonnepanelen onderbroken.



Bovenaanzicht zonnepanelen, station Zwolle.



Perronkap vanaf perron; station Driebergen-Zeist.

Station Driebergen-Zeist

Gerealiseerd zonne-energiesysteem

Ontwerp: Arcadis

1. Analyse locatie en situatie

De perronoverkapping op station Driebergen-Zeist is een gemeentelijk monument. De perronkap heeft 11 geklonken gietijzeren spanten en is gebouwd in de periode 1865-1880. De perronkap bevindt zich op een perroneiland en is vanuit de omgeving enkel vanaf onder of op een afstand waarneembaar. Bij de (recente) renovatie van het station is de kap gerestaureerd en herplaatst, waarbij het dak tegelijkertijd is voorzien van een zonne-energiesysteem met niet-transparante panelen. In de directe omgeving bevindt zich één privaat gebouw dat zicht heeft op de bovenzijde van de perronkap en daarmee de zonnepanelen.

Beide (asymmetrische) delen van de vlakke dakvorm hebben een aflopende helling naar het midden van het perron. Op dit lage middelpunt is de kap voorzien van een daklicht. Met uitzondering van de plafonds heeft de gehele perronkap een donkere kleurstelling.



Visualisatie van het nieuwe ontwerp (inmiddels gerealiseerd); station Driebergen-Zeist.



De panelen van het zonne-energiesysteem volgen de vorm van de perronkap, station Driebergen-Zeist.

2. Systeem

Vanwege de donkere dakbedekking en de hellende kapvorm is er gekozen voor reguliere all-black zonnepanelen. Hiermee wordt een groot contrast voorkomen en sluit het paneel in helling aan bij de kap.

3. Inpassing

Het zonne-energiesysteem is als samenhangende compositie ontworpen en lijkt uit met de vorm van het dak en de aanwezige lichtstraat. Het gehele gesloten dakvlak wordt benut, er is rekening gehouden met de helling en detaillering van de panelen en de dakrand zodat de panelen vanuit de omgeving niet zichtbaar zijn. De bijkomende installaties, zoals omvormers, zijn opgenomen in een technische ruimte en daardoor niet zichtbaar in de publieke ruimte.



Vanaf het openbaar terrein is het zonne-energiesysteem op de perronkap niet zichtbaar, station Driebergen-Zeist.



Luchtfoto station Dordrecht; in het rood is de locatie van de fietsenstalling aangegeven.

Fietsenstalling station Dordrecht Te realiseren zonne-energiesysteem Ontwerp: studioSK

1. Analyse locatie en situatie

De nieuw te bouwen fietsenstalling op station Dordrecht wordt zelfvoorzienend op het gebied van energie en functioneert daarmee energieneutraal. Dit uitgangspunt heeft geleid tot een uitgesproken ontwerp met een transparante overkapping die is voorzien van geïntegreerde zonnecellen. De benodigde energie voor de fietsenstalling kan opgewekt worden als ongeveer 40% van het dak voorzien wordt van een zonne-energiesysteem. Het overige deel van het dakvlak wordt (vooral nog) uitgevoerd in transparant glas, de mogelijkheid wordt onderzocht dit deel ook te voorzien van zonnecellen om ook het station van energie te voorzien. De besluitvorming hierover vindt nog plaats.

In de directe omgeving van de fietsenstalling zijn geen hogere gebouwen met zicht op het dak aanwezig. Vanaf het maaiveld is er, vanwege het naastliggende park en het transparante karakter van het gebouw, veel zicht op de onderzijde van de dakconstructie.

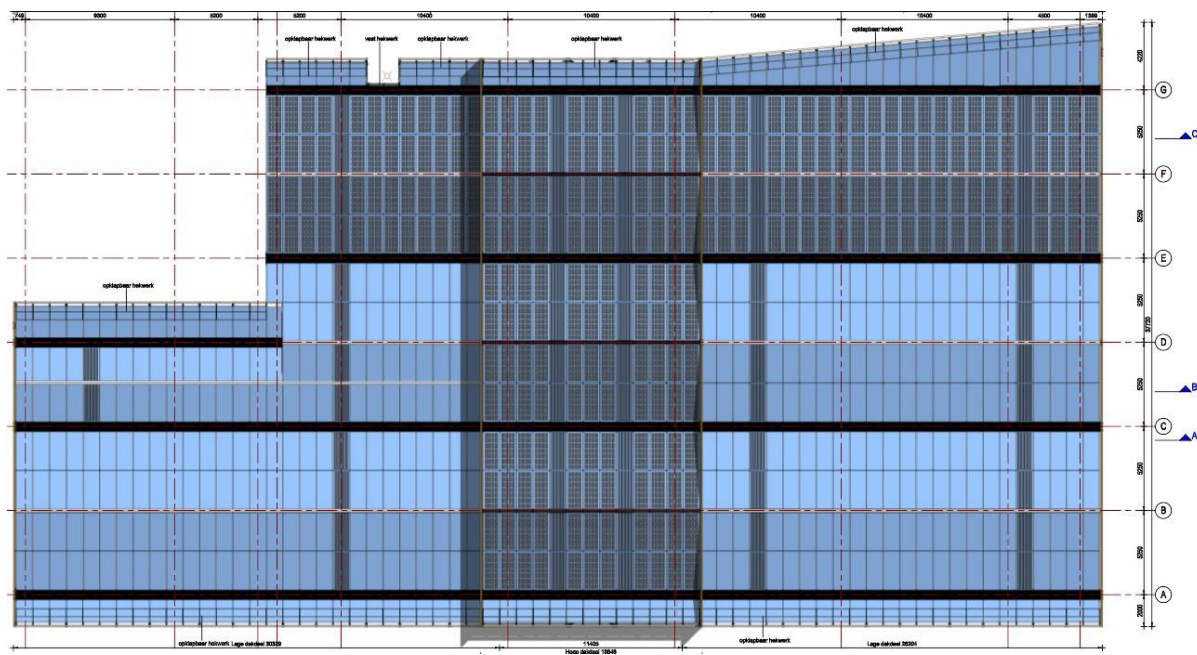
2. Systeem

Het ontwerp biedt de mogelijkheid om in een later stadium nog de keuze te maken tussen de toepassing van monokristallijne of amorf silicium panelen, welke beide kunnen worden geïntegreerd in het glas. Het eerste type kent een iets hogere opbrengst en een lagere kostprijs, maar heeft de duidelijke schaduwwerking als nadeel. Er is niet gekozen voor een bifacial product vanwege de lagere kosten per m² per Wp van niet-bifacial panelen. Aan de onderzijde van het paneel is de onderzijde van de monokristallijne cel zichtbaar.

Het amorf silicium type is (zoals bij vitrage) gelijkmatig lichtdoorlatend, maar kent een hogere kostprijs en een lager rendement dan monokristallijne panelen. Daarbij is dan een groter oppervlakte met panelen noodzakelijk om een gelijkwaardige opbrengst te behalen.



Visualisaties van het verschil tussen monokristallijne panelen in glas en amorf silicium panelen.



Plattegrond dak ontwerp fietsenstalling station Dordrecht (optie monokristallijn in glas).



Visualisatie hoofdentree; fietsenstalling station Dordrecht.

3. Inpassing

Het zonnedak krijgt ten gunste van kostprijs en vervangbaarheid een modulaire opbouw. Daardoor hebben de zonnepanelen en de transparant glazen delen op het gehele dak dezelfde maatvoering. Met het oog op daglichttoetreding en sociale veiligheid wordt de juiste verhouding gezocht tussen genoeg transparantie en rendement.

De zuidkant van de stalling grenst aan een park met hoge bomen. Er is daarom gekozen om voornamelijk het noordelijk deel van het lage dak van zonnepanelen te voorzien. Het hoge deel van het dak heeft minder last van de schaduwval en is volledig voorzien van een zonne-energiesysteem. Schaduwworming leidt tot opbrengstvermindering en eventuele schade aan het zonne-energiesysteem door afbrekende takken wordt zo veel mogelijk vermeden.

Ook vanuit de stalling gezien heeft deze keuze voordelen. Door de schaduwval van de bomen zal in het zuidelijke deel van de stalling per definitie minder daglicht toetreden. Met het integreren van de panelen aan de (onbelemmerde) noordzijde wordt ook daar de toetreding van daglicht enigszins getemperd, met een gelijkmatiger en prettiger lichtbeeld in de gehele stalling als gevolg. Bovendien valt de schaduw van het noordelijke dakvlak dat voorzien is van zonnepanelen deels op de sporen, waar de schaduwwerking minder hinderlijk is.

Op een centrale plek van de stalling steekt een liftschacht deels door de vloer. Dit is de locatie waar de bijkomende installaties, zoals omvormers, geïntegreerd én uit het zicht worden geplaatst.



Visualisatie secundaire entree; fietsenstalling station Dordrecht.
De schaduw van monokristallijne cellen in het glas is duidelijk zichtbaar op de dakconstructie.



Luchtfoto station Amsterdam Centraal.



Locatie: Analyse zicht op stationsgebouw vanuit omgeving.



Locatie: Zuid-westaanzicht, analyse zicht op dakvlakken.

Station Amsterdam Centraal

Case study

Ontwerp: stationsgebouw door Cuypers en Van Gendt, kappen door Eijmer

1. Analyse locatie en situatie

Het centraal station neemt een belangrijke plek in in de geschiedenis van Amsterdam. Het gebouw heeft een registratie als een rijksmonument in het monumentenregister en er is een waardestelling van Bureau Spoorbouwmeester beschikbaar.

Verschillende bronnen bieden verschillende informatie; De inschrijving in het monumentenregister omschrijft welke onderdelen van het gebouw vallen onder de monumentale status; De waardestelling geeft inzicht in het verleden van het gebouw en hoe het huidige complex door verloop van tijd tot stand is gekomen.

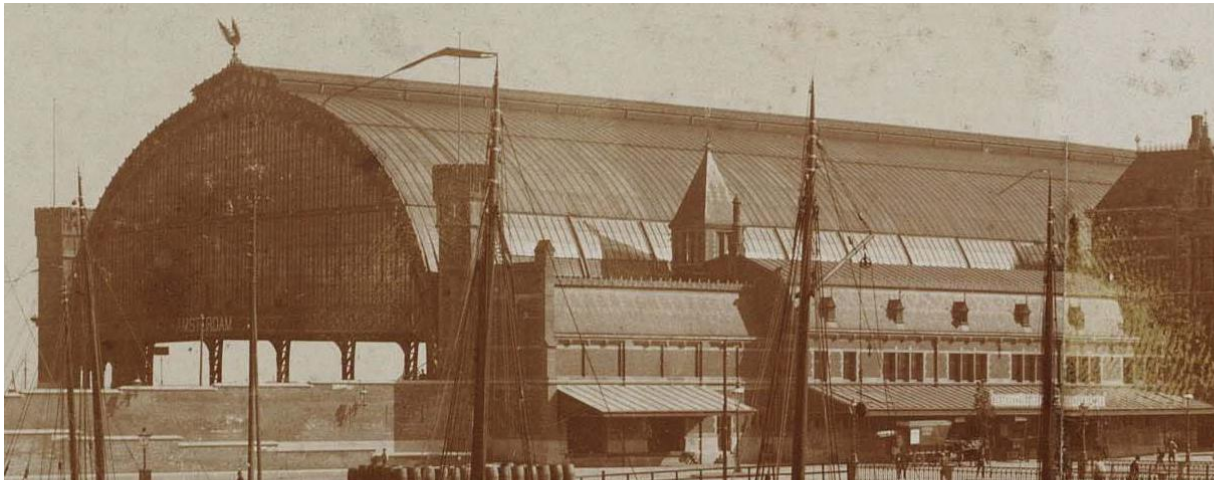
Amsterdam Centraal heeft een ligging aan het IJ, ten noorden van het centrum. Vanwege de ligging van het station aan het water heeft een groot gebied direct uitzicht op de perronkappen, ook vanuit de stad zijn zichtassen gerealiseerd vanwaaruit de kappen en het rijksmonumentale stationsgebouw goed zichtbaar zijn. Het gebouw neemt een centrale plek in en is van belangrijke waarde voor de beeldkwaliteit van de omgeving.

De zichtbaarheid van het station is in kaart gebracht vanuit de nabije en verre omgeving. Er is veel hoogbouw in de directe omgeving met een openbare functie zoals hotels en uitzichtplatforms. Dat betekent dat veel bezoekers zicht hebben op de dakvlakken en dat zonnepanelen extra zorgvuldig worden ingepast. In dit geval moet het dakvlak worden gezien als vijfde gevel.

Het monumentale stationsgebouw heeft steile daken en is met de zuidzijde gericht naar de zichtassen in het centrum. De steile daken zijn te zichtbaar vanaf het maaiveld, panelen inpassen zou de beeldkwaliteit aantasten. De platte dakdelen echter zijn aan het zicht onttrokken mede dankzij de rijk gedetailleerde dakrand. Op deze daken kunnen uitstekend platte panelen ingepast worden.

Het spoordijklichaam maakt dat de noord- en zuidzijde van de daken nooit in één oogopslag zijn waar te nemen. Bovendien liggen het noordelijke en zuidelijke deel van het dak niet aan elkaar maar worden ze gescheiden door een lichtstraat. Dit houdt in dat de dakvlakken aan beide zijden los van elkaar te beschouwen zijn en niet symmetrisch behandeld hoeven te worden. Dit is vanwege de noord/zuid ligging interessant met het oog op rendement.

Station Amsterdam Centraal is in te delen in drie gebouwdelen: Het monumentale stationsgebouw, de stoomkappen en de moderne overkapping van het busstation. De verschillende gebouwdelen van Amsterdam Centraal vereisen een eigen zorgvuldige aanpak voor het inpassen van een zonne-energiesysteem.



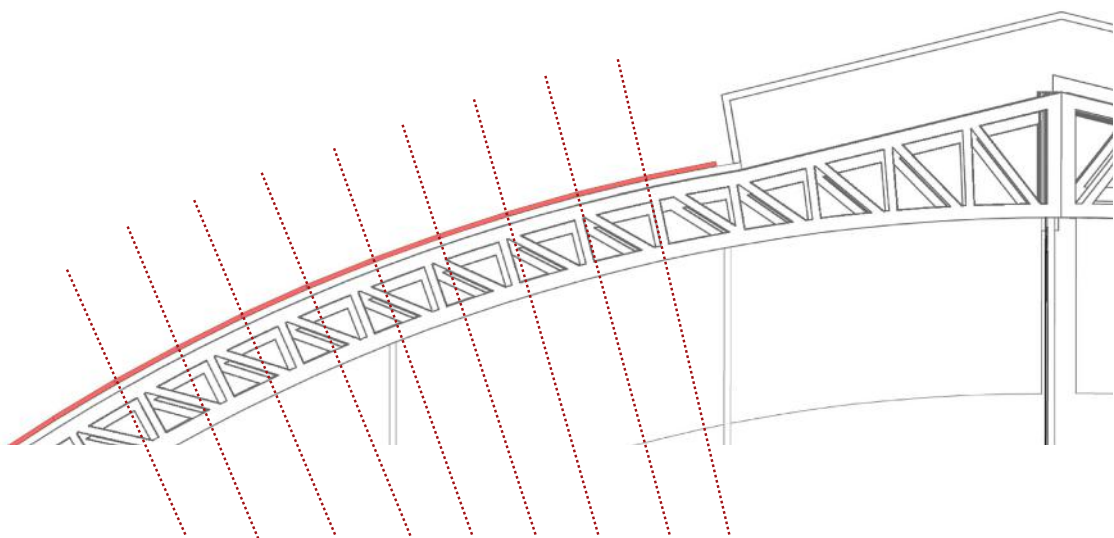
Historisch beeld stoomkappen. Zinken roeven zorgden voor zichtbare banen op het dak.



Flexibele panelen kunnen netjes de dakvorm volgen. Deze panelen hebben minder rendement dan reguliere panelen.



Dunne film dient zorgvuldig ingepast te worden zodat geen slordige afwerking ontstaat dat afbreuk doet aan de kwaliteit en monumentale uitstraling.



De radius van de stoomkappen is zo groot dat er geen segmentatie optreedt bij het gebruik van reguliere panelen. Voordeel; dit systeem is demontabel

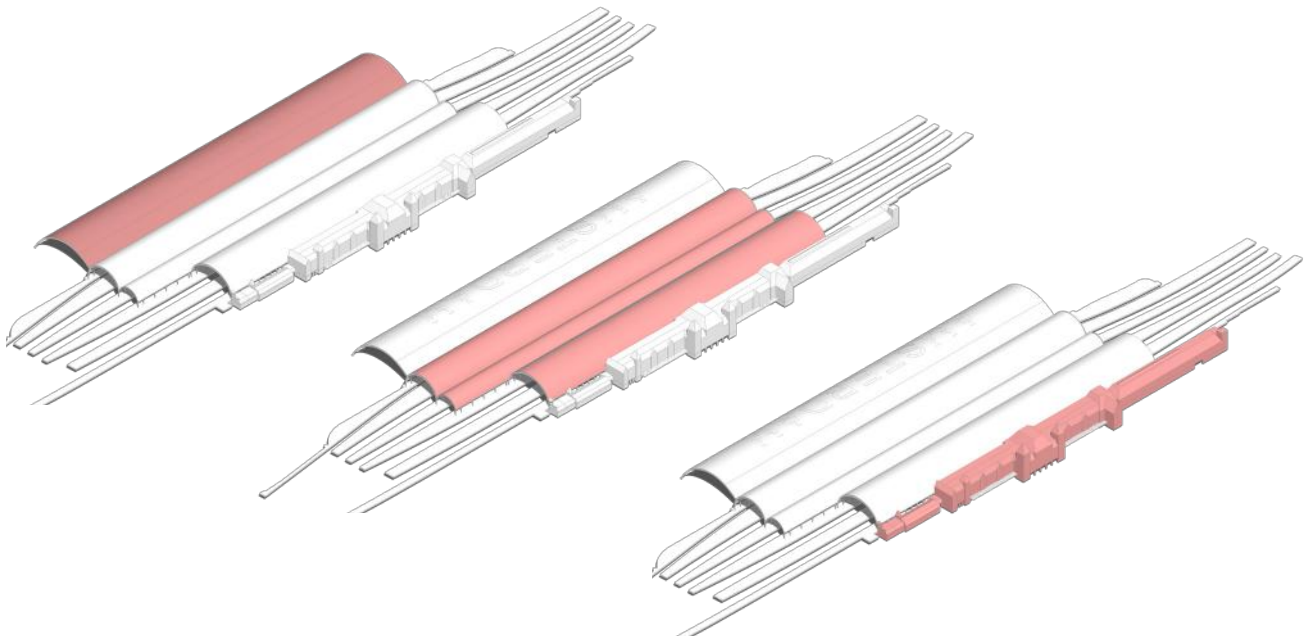
2. Systeem

Door onderzoek naar historisch beeldmateriaal is inzichtelijk geworden dat de oorspronkelijk dakbedekking op de perronkappen een duidelijke vakverdeling vertoonden. In de huidige situatie zijn de dakvlakken homogeen door de bitumineuze dakbedekking. Door het toepassen van zonnepanelen ontstaat de mogelijkheid om op een eigentijdse manier het oorspronkelijke beeld in ritme en belijning te kunnen reconstrueren.

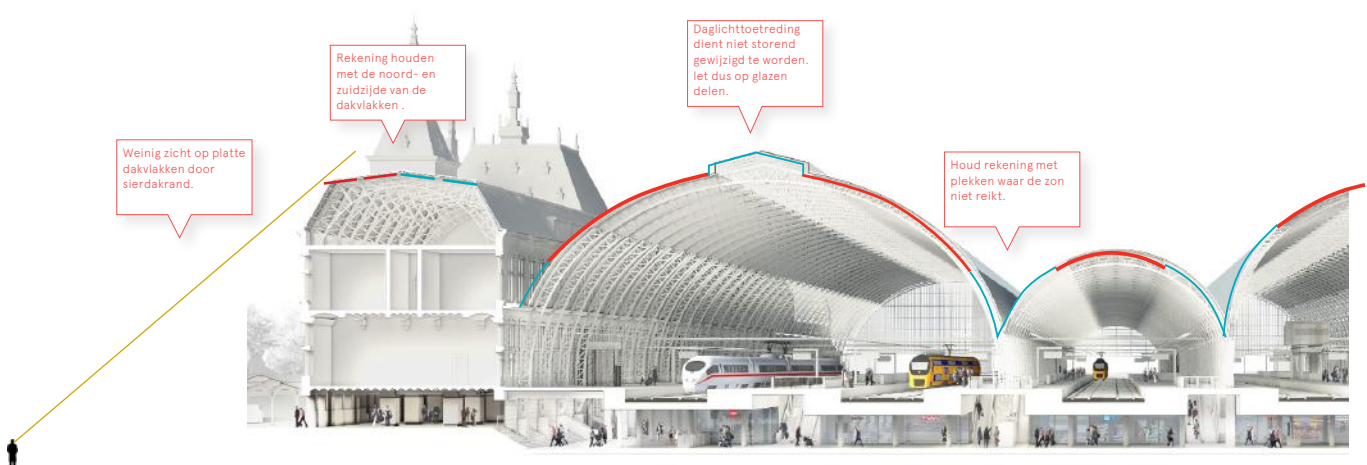
Vanwege de gebogen vorm van de kap is het logisch om te kijken naar dunne film of flexibele panelen. Dunne film geeft vanwege de lagere materiaalkwaliteit de kappen een onrustig en minder strak beeld. Flexibele panelen sluiten aan bij de beeldkwaliteit van de oorspronkelijke bekleding van de kappen. Na verder onderzoek is echter gebleken dat een regulier all-black systeem het gebogen dak goed kan volgen. De grootte van de kappen maakt dat de rechte panelen niet zorgen voor segmentatie. Voor deze opgave kan ook een zeefdruk in kleur die aansluit bij het oorspronkelijke beeld van de zinken kap een mogelijkheid kunnen bieden.

Op het moment van schrijven hebben reguliere all-black panelen vanwege hun hogere rendement de voorkeur. Bijkomend voordeel is dat reguliere panelen gemakkelijk te demonteren zijn van het dak in tegenstelling tot verlijmd systemen. Dat maakt toepassing op cultuurhistorische stations erg interessant zijn om het bouwwerk zo veel mogelijk onaangetast te houden.

In de daken en de kopgevels van de stoomkappen bevinden zich glaspanelen. In deze glazen vlakken kunnen transparante panelen ingepast worden. Het is belangrijk dat door het introduceren van transparante zonnepanelen de lichtopbrengst of beleving van licht op de perrons niet wordt aangepast. Monokristallijne cellen in glas zijn in deze opgave ongeschikt omdat met dit systeem de beleving van daglicht op de perrons aangepast wordt. Daarom is alleen een transparant systeem zonder schaduwwerking toepasbaar. Nader onderzoek zou moeten worden gedaan of deze zonnecellen geschikt zijn om monumentaal glas te vervangen en of de kap dit kan dragen. Daarbij moet de totale inpassing van Amsterdam Centraal een integraal geheel worden.



Locatie: Analyse gebouwvolumes, identificeren van verschillende gebouwelementen.
 Links: Overkapping busstation IJsei, midden; stoomkappen (noord-, midden- en zuidkap) rechts: gebouwen centrumzijde Cuypersgebouw en de Oost.



Inpassing: Analyse impact van het plaatsen van een zonne-energiesysteem op het dak.

3. Inpassing

Station Amsterdam Centraal heeft altijd in dienst gestaan van de reiziger en is meegegroeid met de hedendaagse eisen en wensen. Dit is in de geschiedenis onder andere te zien aan de uitbreiding van de stoomkappen, het toevoegen van bovenleidingen ten tijde van elektrificatie en de uitbreiding van het busstation. Een nette inpassing van zonnepanelen op de industriële onderdelen van dit station is daarom passend.

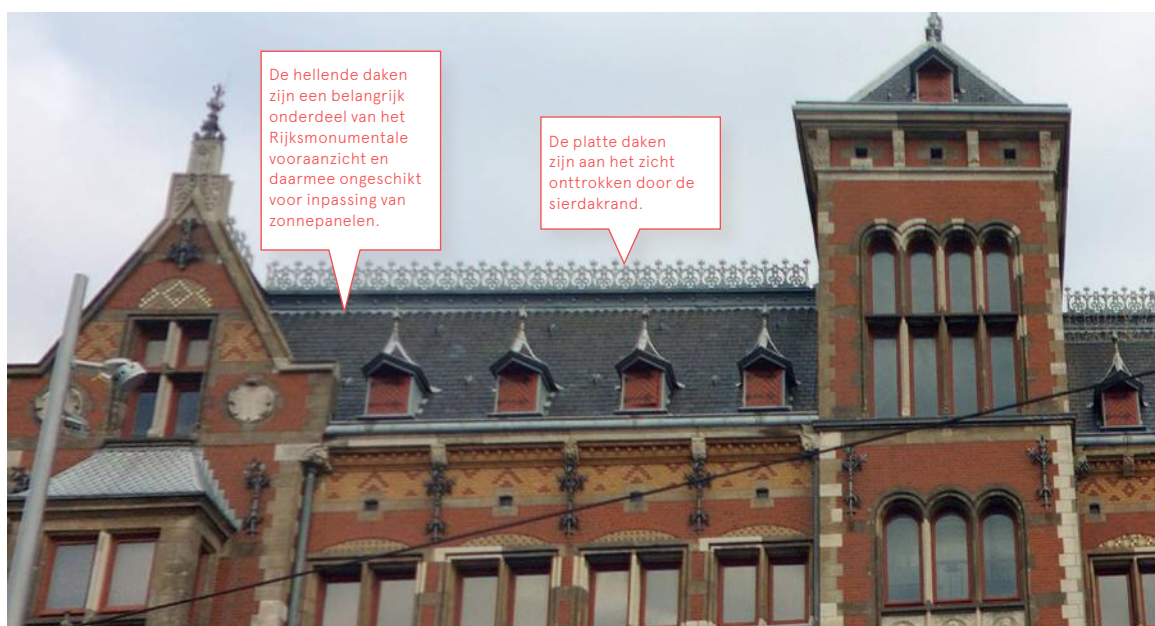
De stoomkappen hebben een zeer grote radius, wat ervoor zorgt dat de boog door reguliere panelen gevormd kan worden zonder dat dat zichtbare segmentatie oplevert. Het terugbrengen van de verdeling van de kap in banen zoals oorspronkelijk het geval was, kan zelfs bijdragen aan de oorspronkelijke monumentale kwaliteit. Kleur, detaillering, onderhoudbaarheid, veiligheid en verdere installatietechnische onderdelen dienen verder onderzocht te worden.

Omdat beide zijden van de overkappingen nooit vanaf de omgeving tegelijk zichtbaar zijn, is het mogelijk om alleen de zuidzijde van de kappen te voorzien van een zonne-energiesysteem.

De moderne kap van het busstation bestaat uit koud gebogen glasplaten. Het inpassen van zonnecellen in deze glasplaten is tot op heden niet mogelijk met het behoud van hetzelfde kleine gewicht. De dichte delen van deze kap kunnen meegenomen worden in dezelfde invulling als de stoomkappen.

Als het station als geheel bekeken wordt is het logisch in een prioritering van bouwdelen te starten met de buskap dan de, dan de stoomkappen en als laatste pas het hoofdgebouw vanwege de monumentale status. Afhankelijk van de energievraag kan er gekozen worden om meer of minder dakvlakken te voorzien van een systeem. Van belang is dat als eerste gebruik wordt gemaakt van de grote aaneengesloten vlakken vóórdát gekeken wordt naar kleinere versnipperde dakvlakken.

Concluderend biedt het rijksmonumentale Amsterdam Centraal veel kansen voor het plaatsen van een zonne-energiesysteem.



Dakrandelementen maken het zicht vanaf maaiveld op een systeem nagenoeg onmogelijk.



Luchtfoto station Hengelo.



Locatie: Analyse zicht op stationsgebouw vanuit omgeving. (Station Hengelo)



Locatie: Analyse zicht op stationsgebouw vanaf perron. (Station Hengelo)



Locatie: Glazen gevels op perron. (Station Hengelo)

Station Hengelo

Case study

Ontwerp: Schelling en Heukelom

1. Analyse locatie en situatie

Station Hengelo heeft één van de twee overgebleven vooroorlogse perronoverkappingen van Van Heukelom. Deze verkeert in gave conditie. Daarnaast bestaat het station uit een stationsgebouw ontworpen door Schelling waarin beeldbepalende monumentale elementen zijn opgenomen.

De hoofdentree aan de noordzijde van station Hengelo bestaat uit twee gebouwvolumes (de stationshal en een lagere voorhal) aan de centrumzijde en de overkapping aan de andere zijde. De perronkappen bestaan uit drie verschillende delen: een hoge kap in het midden, een lagere kap richting het westen en twee lagere kappen richting het oosten. Daarnaast bevinden zich bij het station een busstation en een fietsenstalling.

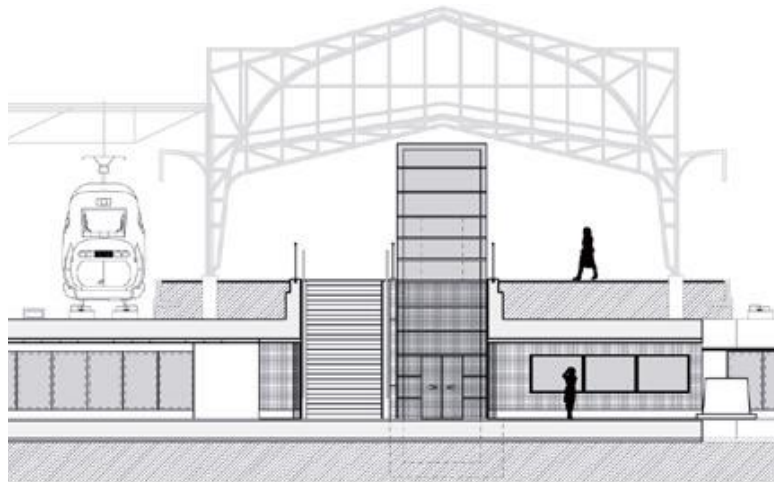
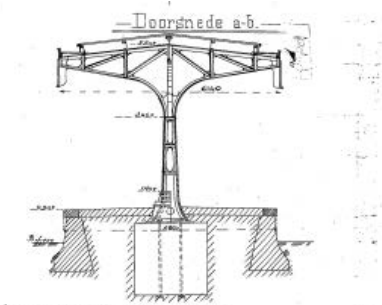
Er is van station Hengelo een waardestelling beschikbaar van Bureau Spoorbouwmeester en een beschrijving in het monumentenregister. Hier wordt de interessante historie van de perronkappen en de architectuur van het later toegevoegde stationsgebouw uitgelegd.

Het station is vanuit de omgeving goed zichtbaar vanuit verschillende standpunten. Het station is vanaf een aantal hogere private gebouwen uit de omgeving vanaf boven te zien. Het dak heeft dus geen prominent aanzicht vanuit de openbare ruimte, maar vraagt desalniettemin om een zorgvuldige inpassing.



Huidige dak van de perrons heeft een bitumen dakbedekking

- Perronkap hoog 15 graden
- Perronkap laag 10 graden
- Perronkappen kopsporen 7 graden



Leg de zonnepanelen zo veel mogelijk onder dezelfde hoek als het dak.

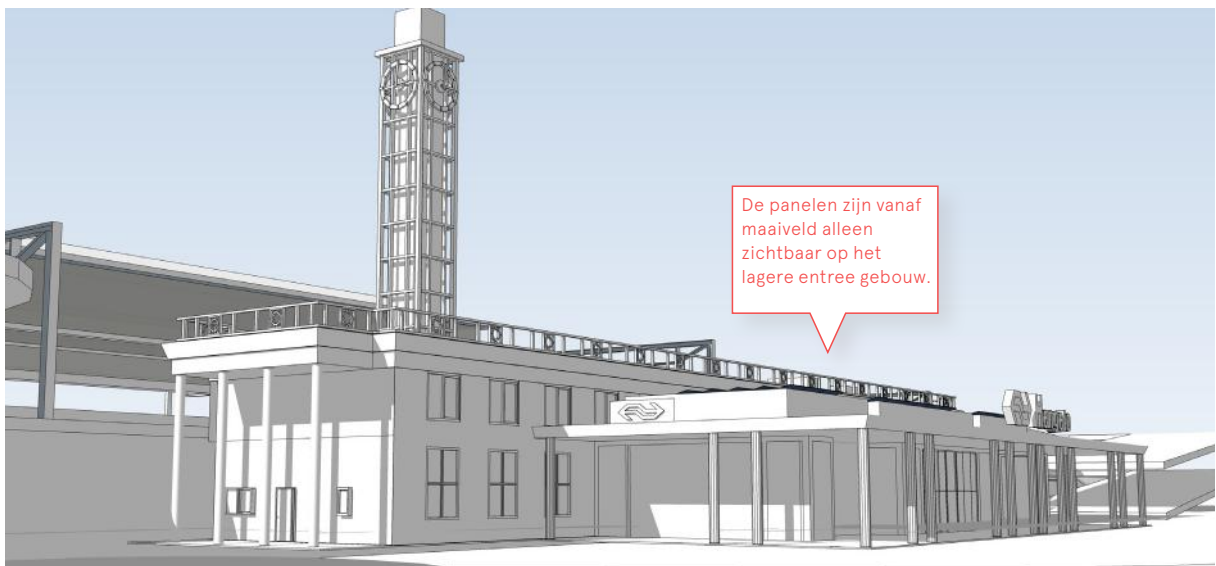
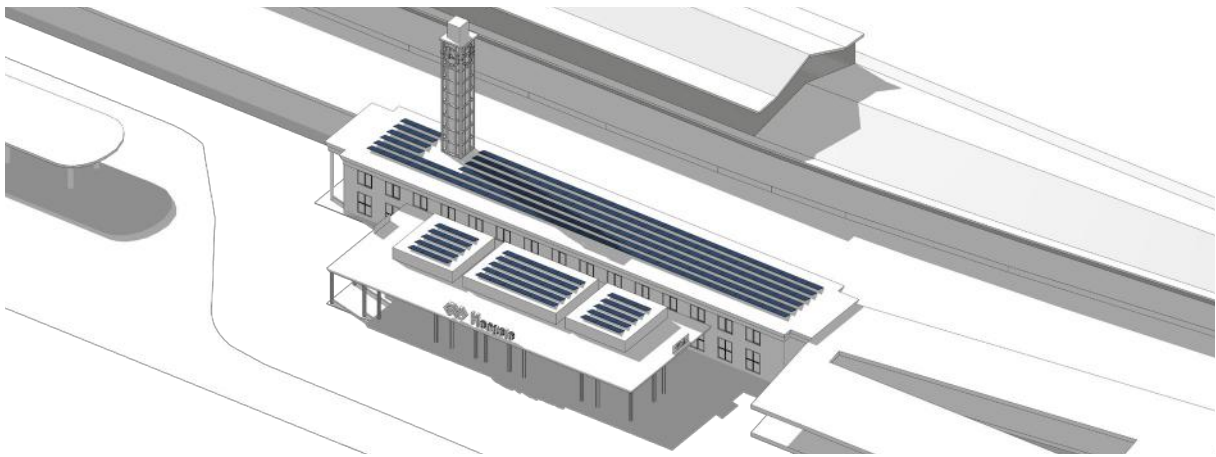
2. Systeem

De daken van het stationsgebouw zijn plat. Ze zijn vanaf het perron goed te zien. Omdat er geen bijzondere dakvorm is, is een regulier all-black monokristallijn systeem hier voor de hand liggend.

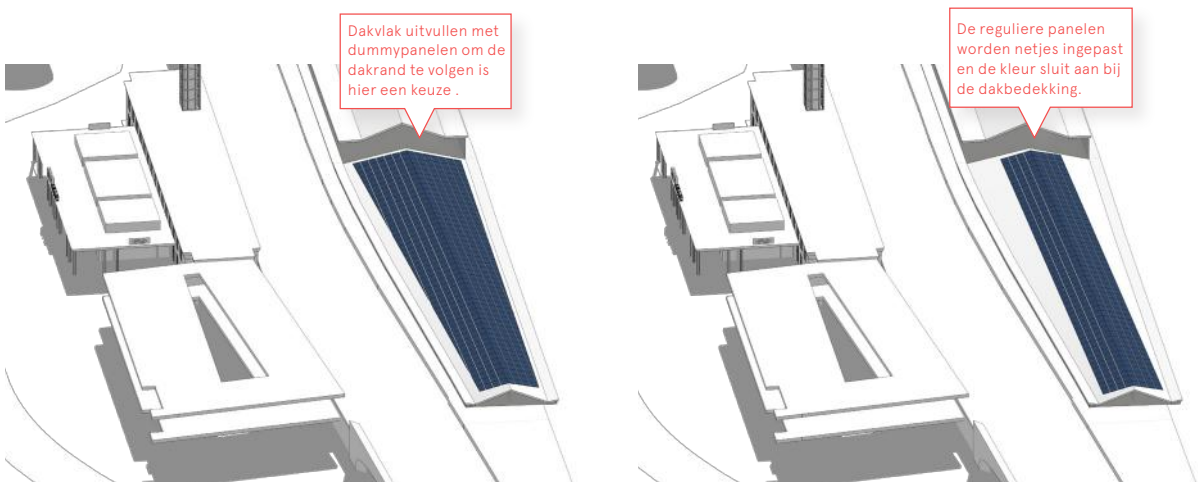
De perronkappen hebben zwarte zadeldaken op verschillende hoogtes. Het hoge deel en de twee kleinere oostelijke daken hebben een rechte vorm en zijn uitermate geschikt voor reguliere all-black monokristallijne panelen.

Het westelijke deel is ook een zadeldak maar loopt in een boog weg. Dit maakt het inpassen van reguliere panelen op dit vak ingewikkelder, maar niet onmogelijk.

In de glazen gevels op de perronkappen kan eventueel een transparant systeem zonder schaduwwerking ingepast worden. Wel dient hierbij rekening gehouden te worden met de lichtinval, de historische gekleurde glaselementen en de inpassing van nieuw glas in de monumentale detaillering.



Inpassingsstudie: Zicht vanuit de omgeving, panelen op het lagere entreegebouw zijn zichtbaar vanuit de omgeving.



Lagere westelijke perronoverkapping, twee opties. De voorkeur gaat hier naar de rechthoekige vlakverdeling, omdat de verhouding dummypanelen niet in verhouding is met aantal reguliere zonnepanelen. Bovendien is het zicht op de kap nihil.

3. Inpassing

De kenmerkende betonnen dakrand op het stationsgebouw maskeert een aantal installaties op het dak, het plaatsen van een aanvullend systeem binnen deze dakrand doet dus geen afbreuk aan de beeldkwaliteit. De lagere daken boven de entree hebben geen dakrand. Vanwege de lagere ligging zijn eventuele panelen op dit dak ook beter zichtbaar vanuit de omgeving. Daarom is het verstandig de lagere dakdelen van het stationsgebouw vrij te houden van een zonne-energiesysteem.

De perronoverkappingen bieden plek aan reguliere all-black panelen. Op alle dakdelen behalve het westelijke deel, kunnen de hellende delen belegd worden in een strak rechthoekig vlak. Deze hellende delen hebben een ideaal hellingspercentage, de buitenranden worden vrijgehouden omdat deze een kleinere helling hebben, maar zo ook direct toegang kunnen bieden aan het dak voor onderhoud. Het westelijke deel van de perronoverkapping volgt een buigend spoor. Hierdoor ontstaat een plek die opgevuld kan worden met dummypanelen die de dakrand volgen om een rafelrand te vermijden. Omdat het lagere deel van dit dak niet zichtbaar is vanuit de omgeving is het advies om deze schuine lijn niet te volgen en de panelen hier ook in een recht vlak op dit dakdeel te plaatsen.

De overkapping van het busstation op het voorplein is zeer slank vormgegeven. Een eventueel systeem op dit dak dient getoetst te worden op het zicht op panelen op 100m afstand, maar is niet onmogelijk. Door afstand te houden van de dakrand kunnen hier reguliere panelen geplaatst worden.

Ook de fietsenstalling op het stationsplein kan ingezet worden voor een zonne-energiesysteem. Door bijvoorbeeld de bovenste etage die momenteel niet benut wordt, te voorzien van panelen, kan zonder bouwkundige ingreep een systeem ingepast worden.

Het hele station dient integraal beschouwd te worden om tot de juiste keuzes te komen. Bij het inpassen van een zonne-energiesysteem is het belangrijk de energievraag in het achterhoofd te houden. De omliggende daken, zoals die van de fietsenstalling bieden hier meer potentie en zijn van lagere monumentale waarde dan de perronkappen en het stationsgebouw.



Kansenkaart voor station Hengelo. Geel: reguliere all-black panelen, Blauw: transparante amorf silicium panelen.

Colofon

*Het Handboek Zonnepanelen is
een uitgave van ProRail, NS
en Bureau Spoorbouwmeester*

Opdrachtgevers

ProRail en NS Stations

Advies

ProRail, Jorien Maltha
NS Stations, Renske Bäckes
Bureau Spoorbouwmeester, Liesbeth Boeter
Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed, Mieke van Bers
Braaksma Roos, Allard de Goeij

Samenstelling en eindredactie

ProRail, Jorien Maltha
Bureau Spoorbouwmeester, Liesbeth Boeter

Opdrachtnemer

Versie 5.0
studioSK, Movares
Iris van Huijstee en Ferry Barnhoorn

Versie 3.0
Sputnik Architecten

Vormgeving

Edhv

Beeldrecht

Foto's en illustraties zijn van genoemde partijen en fotografen, tenzij anders vermeld. Op afbeeldingen berust beeldrecht. Wij zijn ons dit terdege bewust en hebben dit met grote zorg behandeld.

ProRail, Bureau Spoorbouwmeester
p.6-7, 12-13, 18, 24, 26 (midden), 28 (boven), 32 (midden en onder), 34 (boven en midden), 36 (midden en onder), 38 (boven), 46 (midden en onder), 48, 54 (midden), 60 (midden en onder), 65, 68, 70, 71, 72, 73, 80 (boven), 86

Movares, studioSK p. 38 (midden en onder), 46 (boven), 49, 54 (onder), 53, 56, 58 (boven), 60 (boven), 60 (boven), 75, 76, 77, 78, 80 (onder), 82, 88

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
p. 36 (boven)

Energie.net p. 26 (onder), 54 (boven)

Orange Solar Specials p. 80 (midden links)

Onyx Solar p. 28 (onder)

Solar Visuals p. 30

Rechtenvrij p. 28 (midden), 26 (boven), 34 (links- en rechtsonder)

TWIAV, ProRail Luchtfoto's p. 52 (onder), 64, 66, 74, 78 (midden)

Cyclomedia p. 78 (onder), 83, 84, 89

Studio Solarix p. 26 (onder)

SolarLab p.32 (boven)

Fotografie

Jannes Linders
p. 6-7, 12-13, 18, 32 (midden), 46 (midden), 48

Stefan Verkerk
p. 24 (onder), 26 (midden), 32 (onder), 38 (boven), 60 (onder), 68, 72, 80 (rechtsmidden)

Rob van Esch p. 24 (boven), 30 (boven), 58 (onder), 65, 70, 73

Vincent Basler p.24 (midden), 36 (midden), 46 (onder)

Arjan Vlaswinkel p. 28 (boven)

Asia Chang p. 28 (midden)

Visib p. 30 (onder), 67, 69,

Harry van Noord p. 36 (onder)

Kees Stuip p. 46

Paul van der Ree p. 58 (midden)

Iris van Huijstee p. 58 (boven), 60 (boven)

Zbynek Burival p. 26 (boven)

Allard de Goeij p. 50, 52 (boven en midden)

ProRail



Spoorbeeld
door Bureau Spoorbouwmeester