

# Solceller på støjskærme

Gate 21

Forstudie



Udarbejdet af: Frank Ahrens, Jan Christensen  
Kontrolleret af: Jesper Holm, Birgitte A. Madsen, Dennis Huusfelt  
Godkendt af: Kenneth Meilgaard  
Dato: 26.09.2024  
Version: 04  
Projekt nr.: 1021577

**Artelia A/S**  
Buddingevej 272  
DK-2860 Søborg  
+45 4457 6000  
CVR: 64 04 56 28  
[www.arteliagroup.dk](http://www.arteliagroup.dk)

## Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Indledning, formål og afgrænsning .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Opgavebeskrivelse .....</b>	<b>7</b>
2.1	Delopgave 1 - Krav til støjskærme .....	7
2.2	Delopgave 2 - Eksempler på støjafskærmninger med solceller .....	7
2.3	Delopgave 3 - Økonomi .....	7
<b>3</b>	<b>Resume.....</b>	<b>8</b>
3.1	Resume vedr. delopgave 1 - Udfordringer, fordele/ulemper ved støjskærme med solceller	8
3.2	Resume vedr. delopgave 2 - Eksempler på trafikstøjafskærmning med solceller m.m.....	9
3.3	Resume vedr. delopgave 3 - Økonomi.....	9
3.3.1	Business case for integrerede solceller i trafikstøjafskærmninger.....	10
3.3.2	Business case for solceller der er påbygget eller monteret på eksisterende trafikstøjafskærmninger .....	10
3.3.3	Energifællesskab .....	10
3.3.4	Udlejning af areal.....	10
<b>4</b>	<b>Analyse Delopgave 1. - Krav til støjskærme .....</b>	<b>11</b>
4.1	Akustiske forhold og begrænsninger generelt.....	11
4.1.1	Støjskærmens akustiske formål og placering .....	11
4.1.2	Materialevalg .....	12
4.2	Støjafskærmning med integrerede solceller.....	12
4.2.1	Udfordringer .....	12
4.2.2	Fordele .....	14
4.3	Ulemper .....	14
4.4	Ny støjafskærmning med påbyggede solceller .....	14
4.4.1	Udfordringer .....	14
4.4.2	Fordele .....	15
4.4.3	Ulemper .....	15
4.5	Eksisterende støjafskærmning med påbyggede solceller.....	16
4.5.1	Udfordringer .....	16
4.5.2	Fordele .....	18
4.5.3	Ulemper .....	18
4.6	Solpanelers orientering og effektiviteten af solenergiproduktion på støjskærme .....	19
4.6.1	Geografisk placering .....	19
4.7	Placering for minimering af smuds .....	20
4.7.1	Solcellens orientering i forhold til syd .....	20
4.7.2	Solcellens hældning .....	21
4.7.3	Skyggevirkning .....	21
4.7.4	Afkøling .....	22
4.8	Drift og vedligehold.....	23

4.8.1	Solcelle – tilgang til service .....	23
4.8.2	Inverter - tilgang til service .....	23
4.8.3	Solcelle - levetid .....	23
4.8.4	Solcelle - rengøringsbehov.....	23
4.8.5	Udskiftning af paneler.....	23
4.8.6	Hærværksbeskyttelse .....	24
4.8.7	Servicering af elinstallationer .....	24
4.8.8	Serviceomkostninger .....	24
4.9	Særlige krav.....	24
4.10	Bæredygtighed.....	25
4.11	Delkonklusion, Delopgave 1. – Krav til støjskærme.....	26
<b>5</b>	<b>Analyse Delopgave 2. - Eksempler på støjafskærmninger med solceller .....</b>	<b>27</b>
5.1	Rolling Solar rapport .....	27
5.2	Benchmark study fra Solar Highways .....	27
5.3	Internationale eksempler på projekter for støjafskærmning med integrerede solceller.....	29
5.3.1	Referenceprojekt: Holland, A50 Uden – støjafskærmning med solceller.....	29
5.3.2	Referenceprojekt: Schweiz, generelt.....	31
5.3.3	Referenceprojekt: Tyskland, generelt.....	32
5.3.4	Referenceprojekt: Tyskland, Aschaffenburg - Støjafskærmning med solceller.....	33
5.3.5	Referenceprojekt: Tyskland, Neuötting – Støjafskærmning med solceller .....	34
5.3.6	Referenceprojekt: Tyskland, Augsburg .....	35
5.3.7	Referenceprojekt: Tyskland - Solcelle støjskærm Neumarkt in der Oberpfalz.....	36
5.3.8	Referenceprojekt: Tyskland - Pilotprojekt med støjafskærmning med påbyggede solceller.....	37
5.4	Kan de udenlandske erfaringer bruges i for støjafskærmning med solceller i Danmark .....	38
5.5	IEC-standard/CE-mærkning .....	38
5.5.1	IEC-standard.....	38
5.5.2	CE-mærkning.....	39
5.5.3	EU-overensstemmelseserklæring .....	39
5.6	Delkonklusion, Delopgave 2. - Eksempler på støjafskærmninger med solceller .....	40
<b>6</b>	<b>Analyse Delopgave 3. - Økonomi .....</b>	<b>41</b>
6.1	Etableringsomkostninger .....	41
6.2	Integrerede solceller i støjafskærmning .....	41
6.2.1	Business case .....	41
6.3	Regler om eget forbrug af el fra kommunale og regionale solcelleanlæg.....	42
6.3.1	Hvornår må kommuner og regioner opsætte solceller? .....	42
6.3.2	Hvornår er solceller selskabsudskilte? .....	42
6.3.3	På hvilket tidspunkt kan der søges dispensation fra kravet om selskabsudskillelse? .....	42
6.3.4	Kan der gives forhåndsgodkendelse til dispensation fra kravet om selskabsudskillelse? ....	42
6.3.5	Hvordan kan kommunen eller regionen være egen-forbruger via tredje part?.....	43
6.3.6	Hvilke regler gælder for beliggenhed af anlægget?.....	43
6.3.7	Konsekvenser hvis overskudsproduktionen ikke tilføres nettet.....	43
6.3.8	Afregning af overskudsproduktion .....	43

6.3.9	Nødvendige overvejelser om muligheder for salg og afsætning af produceret energi.....	43
6.4	Delkonklusion, Delopgave 3. - Økonomi.....	44
<b>7</b>	<b>Konklusion .....</b>	<b>44</b>
<b>1</b>	<b>Bilag – Tekniske krav .....</b>	<b>46</b>
1.1	Solpaneler - montage og tilkobling til elnettet .....	46
1.2	Overordnede krav .....	46
1.3	Føringsveje .....	46
1.4	DC-kabling .....	47
1.5	Solcelletyper .....	47
1.5.1	Monofacilære solceller .....	47
1.5.2	Bifacilære solceller .....	48
1.6	Montagesystem .....	49
1.7	Inverter .....	49
1.8	Montagemuligheder .....	51
1.9	Tilkobling til elnettet.....	52
1.9.1	AC-nettilslutning .....	52

## **1 Indledning, formål og afgrænsning**

Undersøgelsen er igangsat af Gate 21 og har til formål at redegøre for, om det teknisk og økonomisk er en mulighed at etablere solceller på trafikstøjafskærmninger.

Undersøgelsen har til formål at afdække mulighederne for at kunne anvende solceller på støjskærme, herunder afdækning af tilgængelige skærmløsninger og muligheder for tilkobling til elnettet. Undersøgelsen skal bruges i det videre arbejde i Vejdirektoratet og i kommunerne i forbindelse med nye støjskærmløsninger.

Undersøgelsen skal ligeledes bruges i den offentlige debat, hvor mange politikere og borgere har en forventning om, at solceller vil være en kilde til medfinansiering af en støjskærm, og samtidig bidrage til øget produktion af vedvarende energi. Undersøgelsen skal danne baggrund for den videre drøftelse med Staten omkring regulering af den offentlige sektors etablering af solceller og indeholder derfor både de tekniske aspekter og det nødvendige grundlag til beslutningstagere.

Undersøgelsen omfatter ikke lette motorvejsoverdækninger med solceller eller muligheden for batteriløsninger og tilslutning/opladning af el-biler.

I andet regi igangsættes der en selvstændig opgave, som skal belyse lovgivningen om solceller og hvad man som bygherre skal være opmærksom på. Disse emner er derfor ikke omfattet af denne undersøgelse.

## 2 Opgavebeskrivelse

Gate 21 har defineret tre delopgaver, som hver oplister de emner, der ønskes undersøgt og afklaret for det tekniske aspekt og som kan danne det nødvendige grundlag til beslutningstagerne. Delopgaverne ses nedenfor.

### 2.1 Delopgave 1 - Krav til støjskærme

- Afdækning af udfordringer, fordele og ulemper ved at integrere solceller i støjskærme. Det vil blandt andet omfatte i hvilket omfang integration af solcellepaneler har indflydelse på støjskærmens akustiske egenskaber og om der forudsættes øget vedligehold. Hvordan levetiden på solcellepaneler håndteres i forhold til levetid på støjskærme, og om den enkelte løsning kræver særlige foranstaltninger i forhold til støjskærmens statiske egenskaber.
- Beskrivelse af behov i forhold til orientering mod sol og effektivitet skal ligeledes indgå.
- Beskrivelse af særlige krav til udførelse af drifts- og vedligeholdelsesarbejder på vejareal. Særligt langs motorveje stilles der høje krav til sikkerhed og trafiksikkerhed, som betyder, at al adgang fra vejareal vil være forbundet med ekstraomkostninger og derfor bør holdes på et minimum af hensyn til trafikafvikling og driftsøkonomi.
- Angivelse af de løbende drifts- og vedligeholdelsesbehov, rengøring, udskiftning af paneler, hærværksbeskyttelse, servicering af elinstallationer og lignende og i hvilket omfang det eventuelt kan ske uden adgang fra vejareal.
- Beskrivelsen af de tekniske krav omfatter krav til solcellerne, hvordan de kan tilkobles elnettet og etablering af nødvendige tekniske elinstallationer.

### 2.2 Delopgave 2 - Eksempler på støjskærmninger med solceller

- Indhente konkrete eksempler på løsninger, der anvendes i udlandet sammen med en vurdering af, om det er løsninger, der direkte kan tages i anvendelse i Danmark.
- Angivelse af i hvilket omfang hele eller dele af skærmtypen er CE-mærket eller på anden måde er certificeret og kan opfylde relevante DS-standarder.
- Løsninger der vil kunne anvendes i Danmark vurderes i forhold til de tekniske beskrivelser i delopgave 1.

### 2.3 Delopgave 3 - Økonomi

- Vurdering af den potentielle produktion i forhold til omkostninger. Det kan for eksempel være i form af en business case med estimater af forventet indtægt fra elproduktion sammenholdt med etableringsomkostninger, afsætningsmuligheder, forventet afskrivning og udgifter til løbende drift- og vedligehold.

### 3 Resume

Nedenfor angives et kort resume af de tre delopgaver.

#### 3.1 Resume vedr. delopgave 1 - Udfordringer, fordele/ulemper ved støjskærme med solceller

Det er muligt at indtænke solceller som en del af trafikstøjafskærmning. Enten som en integreret del af trafikstøjafskærmningen eller som en påbygget del på en ny/eksisterende trafikstøjafskærmning.

Trafikstøjafskærmninger med solceller har udfordringer, fordele og ulemper, der skal vurderes og kvalificeres førend det bliver projektanvendeligt, se afsnit 4.1, 4.2, 4.3 og 4.4.

Som noget af det første skal det afklares, om det er muligt i.f.t. lokalplan/rammelokalplan og dernæst om det er muligt elforsyningsmæssigt at få tilsluttet den solproducerede energi til elnettet i lokal nærhed, herunder en afklaring om den producerede energi fra solcellerne kan/må anvendes lokalt hos produktionsejer eller sælges til elnettet. Det skal afklares om det sker i kommunalt/regionalt eller statsligt regi. Denne juridiske afklaring ligger dog ikke i denne undersøgelses regi.

Trafikstøjafskærmningens solproduktion er afhængig af mange faktorer, herunder:

- Geografisk placering af solcellerne
- Placering for minimering af smuds
- Orientering imod syd
- Solcellens hældning
- Skygger
- Omgivelsestemperatur og køling

Det er afgørende for solcellens produktion, at der tages hensyn til ovennævnte faktorer. En solcelle, der placeres lodret på en trafikstøjafskærmning, vil kun have en effektivitet på 56% sammenlignet med et ideelt orienteret solpanel med 100% effektivitet. Når solcellen er monteret på et montagesystem, kan effektiviteten blive reduceret til 40 til 50% afhængig af skygge og afkølingsforhold.

Solceller på støjskærmning - uagtet om solcellerne er integrerede eller påbyggede, vurderes det ikke at give anledning til ekstraordinære krav til drift- og vedligehold. Solcellernes fremtidige servicearbejde skal udføres som natarbejde, alt efter støjskærmens placering og trafikintensiteten på vejen.

Solceller har ikke behov for rengøring. Det er ikke eftervist, at rengøring gør nogen mærkbar forskel i solproduktionen, da solceller vinklet mere end 15 grader er selvrensende og på trafikstøjafskærmningen er solcellen oftest placeret vinklet 90 grader. Solcellen som en integreret del af støjskærmningen vil mindske tyveri og hærværk og erfaringer fra udlandet viser, at det kan være en fordel med en behandling med en anti-graffitti-belægning.

De tekniske krav til solceller m.m. er angivet i *Bilag 1. – Tekniske krav.*

### 3.2 Resume vedr. delopgave 2 - Eksempler på trafikstøjafskærmning med solceller m.m.

Markedet for trafikstøjafskærmning med solceller er - trods de første pilotprojekter startede for snart 20 år siden - fortsat på et tidligt udviklingsmæssigt stade. Trafikafskærmningsprojekter med solceller i udlandet har for langt størstedelen være pilot-, forsknings- og udviklingsprojekter. Det er et marked i sin spæde begyndelse og det er også erfaringen fra udlandet, at der er behov for yderligere forskning, udvikling og evt. standardisering for at trafikstøjafskærmninger kan udrulles på markedet.

I nærværende undersøgelse henvises til afsnit 5.3 Internationale projekter på støjafskærmning med solceller, som alle har været pilotprojekter. Tyskland har lavet en national analyse, der viser at der er et teknisk anvendeligt potentiale for solcelle-støjskærme på 2,8 gigawatt installeret kapacitet. Her vurderer eksperter, at nye pilotprojekter og en justering af de lovgivningsmæssige rammer er nødvendige, for at solcelleanlæg kan blive integreret i støjafskærmning og blive standard på den lange bane.

Alle de angivne referenceprojekter (pilotprojekter) vurderes at kunne anvendes i Danmark. Hvis ønskes, at der arbejdes videre med planen omkring udbredelsen af solceller på trafikstøjafskærmning i Danmark, anbefales det, at der igangsættes et større pilotprojekt, som kan afklare og kvalificere de udfordringer, fordele og ulemper oplyst i undersøgelsen i resume afsnit 3.1.

De mest benyttede standarder omkring solceller er udgivet af den Internationale Elektrotekniske Komité (IEC). IEC 61215 "Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval", IEC 61646 "Thin film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval" og IEC61730 "Photovoltaic (PV) module safety qualification".

EU-overensstemmelseserklæring er et obligatorisk dokument, som fabrikanter skal underskrive for at erklære, at deres produkter overholder EU-kravene og hermed kan produktet CE-mærkes.

Når man kombinerer en støjskærm med solceller, er det vigtigt at tage hensyn til begge komponenters bæredygtighed og klimaaftryk. Dette indebærer analyse af det samlede system og dets produkters CO<sub>2</sub>-aftryk, evaluering af materialernes klimapåvirkning og undersøgelse af muligheden for genanvendelse af komponenter efter endt brug samt ansvarlig anvendelse af naturressourcer.

Det er vigtigt at beregne den tid, det tager for solcellerne at producere nok ren energi til at kompensere for den energi, der blev brugt i produktionen af dem. Dette vil give indsigt i solcelleanlæggets effektivitet og langsigtede miljøpåvirkning. Dette betyder også, at ved at implementere solceller på støjskærmen får man ikke kun fordelene ved ren energiproduktion, men man formår også at reducere den samlede CO<sub>2</sub>-belastning, hvilket er en vigtig miljømæssig fordel ved at kombinere flere funktioner i ét system.

### 3.3 Resume vedr. delopgave 3 - Økonomi

Det har ikke været muligt at indhente konkrete priseksempler på integrerede solceller i støjafskærmning, da referenceprojekterne i undersøgelsen har været trafikstøjafskærmning udført som forsknings- og udviklingsprojekter. Der er ikke en standardvare, som vi har kunne få prisindikering af.

Økonomien/business casen for trafikstøjafskærmninger med solceller afhænger i høj grad af, om det er muligt at forbruge den solproducerede energi - eller om forbruget skal sælges på elnettet.

Det er undersøgelsens vurdering, at det ikke er rentabelt at etablere solceller på trafikstøjafskærmninger alene med det formål at sælge til elnettet.

Den optimale business case vil være, når et solcelleanlæg designes til at skabe en solproduceret energi, der kan anvendes, hvor den forbruges og til eget forbrug i dagtimerne, når solen skinner. Bemærk at et forbrug dermed

er påkrævet for ikke at ende i en overproduktion, som skal sælges. Solcelleanlæg med den bedste business case er designet ud fra en anlægsstørrelse i årlig kWh produktion på maks. 50% af det årlige kWh forbrug på tilslutningsstedet. Alt over 50% vil skabe en overproduktion, som skal sælges til en lav kWh pris, der gør solcelleanlægget mindre rentabelt.

Som tidligere nævnt vil solceller på en trafikstøjafskærmning producere ca. 56% sammenlignet med et ideelt orienteret solpanel med 100% effektivitet. Når monteret på et montagesystem kan det være ned til 40 til 50% afhængig af skygger og afkølingsforhold. Solceller på en trafikstøjafskærmning vil derved udfordre tilbagebetalingstiden uagtet om den solproducerede energi kan forbruges eller om den alene skal sælges til nettet

### 3.3.1 Business case for integrerede solceller i trafikstøjafskærmninger

Hvis der er tale om et solcelleanlæg, som alene producerer til eget forbrug (forbruget kan anvendes lokalt på tilslutningsstedet til solcelleejerens normale/øvrige forbrug) vil solcelleanlægget have en **forventet tilbagebetalingstid på 8-10 år** afhængig af dagsprisen for strøm, som vil være afgørende for tilbagebetalingstiden. Dette skal ses i sammenhæng med solcelleanlæggets samlede levetid på 25-30 år for solceller og 10-15 år for inverter-delen (der omdanner den strøm solcellerne producerer fra jævnstrøm til vekselstrøm).

Hvis der er tale om et solcelleanlæg, som ikke producerer til egen forbrug, men alene sælger strømmen til nettet, vil solcelleanlægget have en **forventet tilbagebetalingstid på 30-40 år** afhængig af spotprisen (variabel el-pris) med fradrag for indfødningsstariffen (afgift som producenterne skal betale af den strøm, der sendes ud i elnettet) som er afgørende for tilbagebetalingstiden. Dette skal ses i sammenhæng med solcelleanlæggets samlede levetid på 25-35 år for solceller og 10-15 år for inverter-delen.

### 3.3.2 Business case for solceller der er påbygget eller monteret på eksisterende trafikstøjafskærmninger

Hvis der er tale om et solcelleanlæg, som alene producerer til eget forbrug, vil solcelleanlægget have en **forventet tilbagebetalingstid på 12-15 år** afhængig af dagsprisen for strøm, som vil være afgørende for tilbagebetalingstiden. Dette skal ses i sammenhæng med solcelleanlæggets samlede levetid på 25-30 år for solceller og 10-15 år for inverter-delen.

Hvis der er tale om et solcelleanlæg, som ikke producerer til eget forbrug, men alene sælger strømmen til nettet, vil solcelleanlægget have en **forventet tilbagebetalingstid på 40-50 år** afhængig af spotprisen med fradrag for indfødningsstariffen, som er afgørende for tilbagebetalingstiden. Dette skal ses i sammenhæng med solcelleanlæggets samlede levetid på 25-30 år for solceller og 10-15 år for inverter-delen.

### 3.3.3 Energifællesskab

Det er en mulighed at skabe et fælles energiselskab, hvor strømmen kan bruges lokalt. Dette vil alene være en god business case, hvis strømmen kan forbruges i energifællesskabet og ikke sælges til elnettet.

### 3.3.4 Udlejning af areal

Det er en mulighed at leje arealet på støjskærmningerne ud eller leje det etablerede solcelleanlæg ud. Her skal man tage i betragtning, at der er andre lokationer og placeringer af solcelleanlæg, som er bedre egnet til produktion af solenergi og dermed vil arealet på en støjskærmning være mindre attraktivt at leje for at skabe solproduceret energi.

## 4 Analyse Delopgave 1. - Krav til støjskærme

I forbindelse med udarbejdelsen af undersøgelsen har Artelia været i kontakt med nogle af de markedsførende nationale leverandører af støjafskærmning. Ingen af disse leverandører har støjafskærmning med integrerede solceller som en del af deres produktsortiment. Der findes kun få internationale leverandører af støjafskærmning med integrerede solceller. Hovedsageligt har disse støjafskærmninger været pilotprojekter, hvortil der har været udviklet prototyper.

I de efterfølgende afsnit redegøres der for udfordringer, fordele og ulemper for støjafskærmning med solceller, for hver af de 3 muligheder:

- Nye støjafskærmning med integrerede solceller
- Nye støjafskærmninger med påbygget solceller
- Eksisterende støjafskærmning med påbygget solceller

Desuden redegøres der for de akustiske, statiske og el-tekniske forhold, herunder udfordringer i forbindelse med drift- og vedligehold.

### 4.1 Akustiske forhold og begrænsninger generelt

I dette afsnit redegøres for generelle akustiske forhold og hensyntagen, der skal tages ved etablering af støjafskærmninger med solceller.

#### 4.1.1 Støjskærmens akustiske formål og placering

Støjskærme langs veje skal først og fremmest opfylde det primære formål: at dæmpe trafikstøjniveauet for de nærmeste beboere langs vejen.

Det er vigtigt at forstå de fysiske forhold, der betyder at en given støjskærm kun er effektiv, hvis den placeres tæt på støjilden (vejbanen), og at den kun hjælper med støjdemping i nærområdet bag støjskærmen.

Den endelige støjdempende effekt er et sammenspil mellem kildeplacering, støjskærmens placering og modtagers placering. At støjskærmen ikke er effektiv langt væk fra vejen, er som oftest ikke et problem, idet trafikstøjniveauet langt fra skærmen som oftest er relativt lavt.

Støjen fra vejen udbreder sig i bløde buer fra den lave position ved det enkelte køretøj, op i en buen, og falder ned igen. Buens højde afgøres af afstanden mellem vejen og modtageren. Det er disse buer af lydbølger, som støjskærmen skal bryde, og derved reducere støjen fra vejen.

Det er placering af støjskærmens top i forhold til vejbanen, der er væsentlig for effektiviteten af skærmen. Jo højere skærmens top er, og jo tættere denne kommer på selve vejbanen, jo højere skærmdæmpning.

Placering af selve støjskærmen skal også udføres med hensyn til bilisternes sikkerhed, så dette er et kompromis der må indgås. Det må forventes, at ved placering tæt på vejen, skal der også være et autoværn som beskyttelse.

For at få støjskærmens top så tæt på bilerne som muligt, findes der en del skærme, hvor toppen er vinklet i retning mod kørebanen, netop for at placere toppen tæt på bilerne. Nogle steder er hele støjskærmen kippet i forhold til lodret, for at opnå samme effekt.



*Eksempel på Motorring 3 ved København. Her er støjskærmen kippet indad mod kørebanen for at skærmtoppen kommer tættere på bilerne. Derved opnås bedre støjdæmpning. Kilde: Vejdirektoratet.*

#### **4.1.2 Materialevalg**

Materialevalget for en støjskærm er ikke så kritisk, når blot et par enkelte råd følges. Dels skal skærmen have en masse på mindst ca. 10-15 kg/m<sup>2</sup>, og så skal den være tæt. Tætheden gælder både for selve skærm materialet, men også for samlinger og tilslutninger.

Støjskærmens flade mod kørebanen udføres ofte af et lydabsorberende materiale for at fjerne akustiske refleksioner. Hvis en støjskærm er udført af akustisk reflekterende materiale, vil støjen blive reflekteret mod den anden side af vejen, og her vil støjen i dette tilfælde stige med op til 3 dB.

Dette behøver i det enkelte tilfælde ikke at være et problem, hvis området på den modsatte side af vejen ikke anvendes til støjfølsomme formål. For at undgå fremtidige udfordringer med refleksioner fra støjskærme, kræver Vejdirektoratet, at alle støjskærme langs motorvejene er lydabsorberende på siden mod vejen.

Ud fra disse principper kan der placeres solceller på skærmenes ydersider, og på indersiderne på kommunale støjskærme, der ikke er lydabsorberende.

### **4.2 Støjafskærmning med integrerede solceller**

#### **4.2.1 Udfordringer**

##### **4.2.1.1 Marked**

Markedet for støjafskærmning med integrerede solceller er meget begrænset til forskel fra traditionel støjafskærmning. Der findes enkelte internationale leverandører af støjafskærmning med integrerede solceller. Hovedsageligt har det været pilotprojekter, hvor der har været udviklet prototyper. De lave antal leverandører sætter nogle begrænsninger for design og løsninger, som styres af udbuddet på det begrænsede marked.

#### 4.2.1.2 Tilslutning af solceller til elnet

Det skal afklares, om det er muligt at få tilsluttet den solproducerede energi til elnettet i lokal nærhed. Desuden skal det afklares, om den producerede energi fra solcellerne kan/må anvendes lokalt hos produktionsejer eller sælges til elnettet. Dette forhold skal afklares, om det sker i kommunalt, regionalt eller statsligt regi. Den juridiske afklaring gennemgås ikke i nærværende rapport.

#### 4.2.1.3 Lokalplan

Det skal afklares, om lokalplanen giver mulighed for etablering af solceller. Der kan være krav til placering, genskin samt synlighed i lokalplaner.

#### 4.2.1.4 Byggetilladelse

Der skal søges om byggetilladelse for implementering af solceller, hvilket dog typisk være en del af byggetilladelsen for den nye støjafskærmning.

#### 4.2.1.5 Brand

De brandmæssige hensyn omkring solceller og batteriløsninger skal afdækkes. Krav skal indarbejdes i projektet.

#### 4.2.1.6 Integrering i omgivelserne

Støjskærme med integrerede solceller vil ikke i samme grad som traditionelle støjskærme uden solceller kunne integreres i omgivelserne med beplantning. De vil fremstå mere synligt, da solceller skal have solbestråling uden begrænsninger/skygger/beplantning.

#### 4.2.1.7 Refleksioner

Solcellers refleksioner skal tages i betragtning ift. solcellens placering og evt. genskin.

#### 4.2.1.8 Opbygning

Opbygning af støjskærmen skal ske, dels under hensyntagen til dens oprindelige tænkte funktioner, og dels under hensyntagen til solindstrålingen på solcellerne.

#### 4.2.1.9 Statiske forhold og hensyntagen

Når der etableres støjafskærmning med integrerede solceller, er solcelleanlæggets påvirkning på det konstruktive system og fundamenter indarbejdet og indtænkt fra leverandørens side. Det samlede system kan bære det samlede system og der er taget hensyn til vind- og snelast.

#### 4.2.1.10 Valg af solceller

Der skal vælges solceller (typer) som kan integreres i støjafskærmningen. Dette bør ske under hensyntagen til solcellens produktion, så den ikke forringes væsentligt. Her tænkes på de faktorer, som er afgørende for solproduktionen, herunder:

- Placering for minimering af smuds
- Solcellens orientering
- Solcellens hældning
- Skygger
- Omgivelsestemperatur
- Køling

#### 4.2.2 Fordele

- Støjafskærmning har dobbelt funktion, da den anvendes dels til støjdæmpning samt til solproduktion.
- Støjafskærmning og solceller er en samlet enhed, hvilket designmæssigt er en fordel.
- Udbudsbudsteknisk enkelt, da det er et og samlet produkt.

#### 4.3 Ulemper

- Støjafskærmning med solceller fremstår mere synlig end traditionelle støjafskærmninger uden solceller, der oftest planlægges med grøn beplantning, som falder bedre ind i naturens omgivelser.
- Udbudsteknisk bliver konkurrenceudsætningen præget af det begrænsede marked af støjafskærmning med integrerede solceller, som er betydeligt mindre end for traditionelle støjafskærmninger, hvor der påmonteres solceller.
- Afhængig af leverandøren og deres tilhørende markedsandel, kan det medføre en risiko i forhold til drift og vedligehold og tilhørende leveringsgaranti på dele ved produktionsophør.
- Udsiftning af solpanel, kan være en mere besværlig og arbejdstung proces end for påbyggede solceller.
- Støjskærmens flade mod vejen er akustisk reflekterende
- Afhængigt af støjskærmens opbygning vil solcellers produktion være reduceret med op til 50% ift. en traditionel solcelles produktion i en normal optimal placering.

#### 4.4 Ny støjafskærmning med påbyggede solceller

##### 4.4.1 Udfordringer

###### 4.4.1.1 Konstruktive forhold

Det skal sikres, at støjafskærmningens konstruktive system er dimensioneret til solcelleanlæggets last og det skal sikres, at der er taget hensyn til øget vind- og snelast, afhængig af om solcellerne monteres vertikalt eller vinklet ud fra støjafskærmningen.

###### 4.4.1.2 Akustiske forhold

Det skal sikres, at støjafskærmningens akustiske egenskaber ikke forringes.

###### 4.4.1.3 Tilslutning af solceller til elnet

Det skal afklares, om det er muligt at få tilsluttet den solproducerede energi til elnettet i lokal nærhed. Desuden skal det afklares, om den producerede energi fra solcellerne kan/må anvendes lokalt hos produktionsejer eller sælges til elnettet. Dette forhold skal afklares, hvad enten det sker i kommunalt, regionalt eller statsligt regi. Denne juridiske afklaring er ikke omfattet af denne undersøgelse.

###### 4.4.1.4 Lokalplan

Det skal afklares, om lokalplanen giver mulighed for etablering af solceller. Der kan være krav om placering, krav til genskin samt synlighed i lokalplaner.

###### 4.4.1.5 Byggetilladelse

Der skal søges om byggetilladelse til montering af solceller. Det vil dog typisk være en del af byggetilladelsen for den nye støjafskærmning.

#### 4.4.1.6 Brand

De brandmæssige hensyn og krav omkring solceller skal afdækkes og indarbejdes i projekt.

#### 4.4.1.7 Integrering i omgivelserne

Støjskærme med integrerede solceller vil ikke i samme grad som traditionelle støjskærme uden solceller kunne integreres i omgivelserne med beplantning, men vil fremstå mere synligt, da solceller skal have solbestråling uden begrænsninger/skygger/beplantning.

#### 4.4.1.8 Opbygning

Opbygning af støjskærmen skal ske dels under hensyntagen til dens oprindelige tænkte funktioner og dels under hensyntagen til de solceller, der påtænkes påmonteret.

#### 4.4.1.9 Refleksioner

Solcellers refleksioner skal tages i betragtning i forhold til solcellens placering og evt. genskin.

#### 4.4.1.10 Statiske forhold og hensyntagen

Når solceller påmonteres en ny støjafskærmning, skal støjafskærmningens konstruktion dimensioneres ud fra den ekstra last, som solcellerne medfører (herunder også den tilhørende vind- og snelast) afhængig af monteringen på støjafskærmningen.

Et påbygget solcelleanlæg vil vægtmæssigt andrage 15-20kg/2 som skal optages i støjafskærmningens konstruktive opbygning og fundamenter.

#### 4.4.1.11 Valg af solceller

Der skal vælges solceller (typer), som kan monteres i støjafskærmningen. Dette skal ske under hensyntagen til solcellens produktion, så den ikke forringes væsentligt. De væsentligste faktorer er:

- Placering for minimering af smuds
- Solcellens orientering
- Solcellens hældning
- Skygger
- Omgivelsestemperatur
- Køling

#### 4.4.2 Fordele

- Der tages afsæt i kendte og traditionelle støjafskærmningsløsninger
- Der tages afsæt i kendte og traditionelle solcelleløsninger
- Muliggør en fleksibel solcelleløsning. Størrelse og omfang kan tilpasses ud fra de lokale krav og behov
- Udbudsteknisk en fordel, da der er mange leverandører af støjafskærmninger
- Udbudsteknisk en fordel, da der er mange leverandører af solceller
- Service og udskiftning af solpaneler er ligetil og i en arbejdsnem proces.

#### 4.4.3 Ulemper

- Solcelle er ikke indbygget, men påbygget
- Støjafskærmningen bliver mere synlig med solceller end hvis støjafskærmning planlægges med grøn beplantning, som falder bedre ind i naturens omgivelser.

- Udbudsteknisk skal der stilles krav til solcellerne
- Udbudsteknisk skal udfaldskrav til støjafskærmning være entydige og præcise så det sikres, at det samlede anlæg overholder designkrav samt overholder de lokale ønsker og krav
- Det er et krav, at støjafskærmningens akustiske egenskaber ikke forringes ved montering af solceller.
- Afhængig af støjskærmens opbygning vil solcellers produktion være reduceret med op til 50% i forhold til en traditionel solcelles produktion i en normal optimal placering.

## 4.5 Eksisterende støjafskærmning med påbyggede solceller

### 4.5.1 Udfordringer

#### 4.5.1.1 Konstruktive forhold

Det skal sikres, at støjafskærmningens konstruktive system er dimensioneret til solcelleanlæggets last og det skal sikres, at der er taget hensyn til øget vind- og snelast, afhængig af om solcellerne monteres vertikalt eller vinklet ud fra støjafskærmningen.

#### 4.5.1.2 Akustiske forhold

Generelt forringes de støjskærmende egenskaber ikke ved montering af solceller på støjskærme, dog med det forbehold at absorptionsevnen på skærmens overflade ikke ændres.

#### Støjskærmens placering

Skærmens placering i forhold til kørebanen er særdeles vigtig ift. dens støjmæssige effektivitet – mere præcist er det placeringen af skærmens toppunkt der er afgørende. Dette er baggrunden for at støjskærme nogle steder knækker mod kørebanen. Toppunktet kommer nærmere bilerne, hvorfor der opnås en mere effektiv skærmning.

Hvis elproduktionen kan forbedres med mindre ændringer på støjskærmens fysiske placering, skal dette ske i nært samarbejde med den projekterende akustiker.

#### Støjskærmens overflade

Skærmens overflade kan i nogle tilfælde have betydning. Nogle støjskærme er akustisk reflekterende, hvor den støj der rammer skærmen reflekteres tilbage igen. Andre støjskærme er akustisk absorberende, hvor støjen ikke reflekteres, men absorberes når den rammer overfladen. Absorberende overflader består normalt af mineraluldspulver, der kan være beklædt med beskyttende/pyntende overflade af trælist eller perforeret plade.

Solceller på støjskærme vil generelt altid være indbygget i et akustisk reflekterende materiale. Dette medfører at støjskærmens egenskaberne ikke ændres, hvis der monteres solceller på en reflekterende støjskærm. Hvis de monteres solceller på en absorberende støjskærm, vil den absorberende evne bortfalde hvor solcellerne monteres. Design af støjskærme bør derfor udføres i samarbejde med en akustiker.

Erfaringsmæssigt har Vejdirektoratet ønske om primært at anvende absorberende støjskærme (på den side der vender mod vejen), for at forebygge eventuelle fremtidige gener med refleksioner fra disse.

#### 4.5.1.3 Tilslutning af solceller til elnet

Det skal afklares, om det er muligt at få tilsluttet den solproducerede energi til elnettet i lokal nærhed. Desuden skal det afklares, om den producerede energi fra solcellerne kan/må anvendes lokalt hos produktionsejer

eller sælges til elnettet. Dette forhold skal afklares hvad enten det sker i kommunalt, regionalt eller statsligt regi. Denne juridiske afklaring ligger dog ikke i denne undersøgelses regi.

#### **4.5.1.4 Lokalplan**

Det skal afklares, om lokalplanen giver mulighed for etablering af solceller. Der kan være krav om placering, krav til genskin samt synlighed i lokalplaner.

#### **4.5.1.5 Byggetilladelse**

Der skal søges om byggetilladelse hertil.

#### **4.5.1.6 Brand**

De brandmæssige hensyn omkring solceller skal afdækkes og krav skal indarbejdes i projektet.

#### **4.5.1.7 Refleksioner**

Solcellers refleksioner skal tages i betragtning i forhold til solcellens placering og evt. genskin.

#### **4.5.1.8 Opbygning**

Opbygningen af støjskærmen skal kontrolleres for hensyntagen til dens oprindelige tænkte funktioner og dels under hensyntagen til solceller.

#### **4.5.1.9 Integrering i omgivelserne**

Støjskærme med påbyggede solceller vil ikke i samme grad som traditionelle støjskærme uden solceller kunne integreres i omgivelserne med beplantning, men vil fremstå mere synligt idet solceller skal have solbestråling uden begrænsninger/skygger/beplantning.

#### **4.5.1.10 Statiske forhold og hensyntagen**

Når solceller påmonteres en eksisterende støjafskærmning, skal støjafskærmningens konstruktion/fundament eftervises for at afdække om det kan bære den ekstra last, som solcellerne medfører herunder også den tilhørende vind- og snelast afhængig af solcellernes montering på støjafskærmningen.

Et påbygget solcelleanlæg vil vægmæssigt andrage 15-20kg/2 som skal optages i støjafskærmningens konstruktive opbygning og fundamenter.

#### **4.5.1.11 Valg af solceller**

Der skal vælges solceller (typer), som kan monteres i støjafskærmningen. Dette skal ske under hensyntagen til solcellens produktion, så den ikke forringes væsentligt. De væsentligste faktorer er:

- Placering for minimering af smuds
- Solcellens orientering
- Solcellens hældning
- Skygger
- Omgivelsestemperatur
- Køling

#### 4.5.2 Fordele

- Der tages afsæt i kendte og traditionelle støjafskærmningsløsninger
- Der tages afsæt i kendte og traditionelle solcelleløsninger
- Muliggør en fleksibel solcelleløsning, størrelse og omfang kan tilpasses ud fra lokale krav og behov
- Udbudsteknisk en fordel, da markedet for leverandører af solceller er stort
- Service og udskiftning af solpaneler er ligetil og i en arbejdsnem proces.

#### 4.5.3 Ulemper

- Solcelle er ikke indbygget, men påbygget
- Støjafskærmningen bliver mere synlig med solceller end hvis støjafskærmninger planlægges med grøn beplantning, som falder bedre ind i naturens omgivelser.
- Udbudsteknisk skal der stilles krav til solcellerne
- Udbudsteknisk skal udfaldskrav til støjafskærmning være entydige og præcise så det sikres, at det samlede anlæg overholder lokale ønsker og krav
- Det er et krav, at støjafskærmningens akustiske egenskaber ikke forringes ved montering af solceller.
- Afhængig af støjskærmens opbygning vil solcellers produktion være reduceret med op til 50% i forhold til en traditionel solcelles produktion i en normal optimal placering.

#### 4.6 Solpanelers orientering og effektiviteten af solenergiproduktion på støjskærme

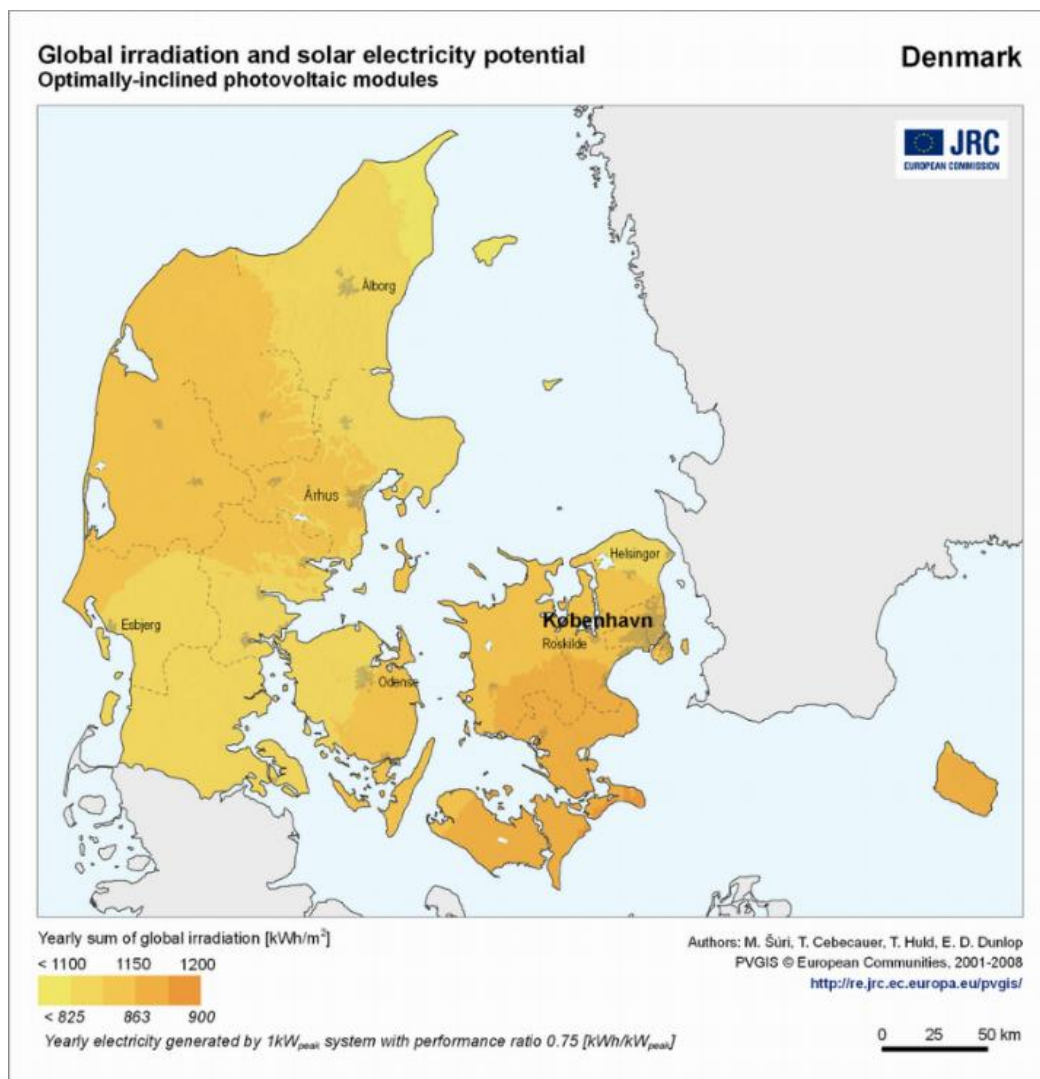
Solcellers produktion - også på støjskærme - er afhængig af følgende faktorer:

- Geografisk placering af solcellerne
- Placering for minimering af smuds
- Orientering mod syd
- Solcellens hældning
- Skygger
- Omgivelsestemperatur og køling

##### 4.6.1 Geografisk placering

Den geografiske placering af solcelleanlægget har betydning for solenergiproduktionen i kWh/m<sup>2</sup>.

Jævnfør skitsen nedenfor varierer solenergiproduktionen mellem 1100-1200kWh/år afhængig af den geografiske placering. Den geografiske placering bestemmes ud fra støjafskærmningens placering, så det ikke er en faktor man kan påvirke, men have fokus på. Den geografiske placering har en mindre betydning i forhold til solcelleanlæggets samlede produktion.



Kilde: <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/tools/en/>

#### 4.7 Placering for minimering af smuds

Studier, herunder fra Solar Highways (LIFE/EU støttet hollandsk projekt <https://www.solarhighways.eu/en/>) viser, at solpaneler bør placeres minimum 1 meter over vejbane for at undgå smuds fra vejbanen.

På Solar Highways projektet blev tilsmudsning og støvophobning på solcellerne og virkning af rengøring undersøgt. Testområde blev efterladt urensset i hele perioden for at kunne sammenlignes med en rensset situation. Det blev konstateret, at ingen af rengøringshændelserne viste en målbar positiv effekt på solcelleanlæggets ydeevne.

Derfor kunne det konkluderes, at solceller ikke er stærkt påvirket af tilsmudsning og ophobning af partikler, sandsynligvis på grund af den næsten lodrette hældning af strukturen, som kan lette selvrensningen på grund af nedbør. Baseret på disse resultater anses rengøringsprocedurer ikke for nødvendige for Solar Highways støjskærm med henblik på øget energiproduktion.

##### 4.7.1 Solcellens orientering i forhold til syd

Solcelleanlæggets orientering i forhold til syd har afgørende betydning for solcelleanlæggets produktion. Skemaet nedenfor angiver produktion i % i forhold til placering i forhold til syd samt hældning.

Produktionen kan variere fra 100% i den mest optimale positionering imod syd med hældning på 40 grader til 77% i den dårligste positionering mod vest i 45 graders hældning.

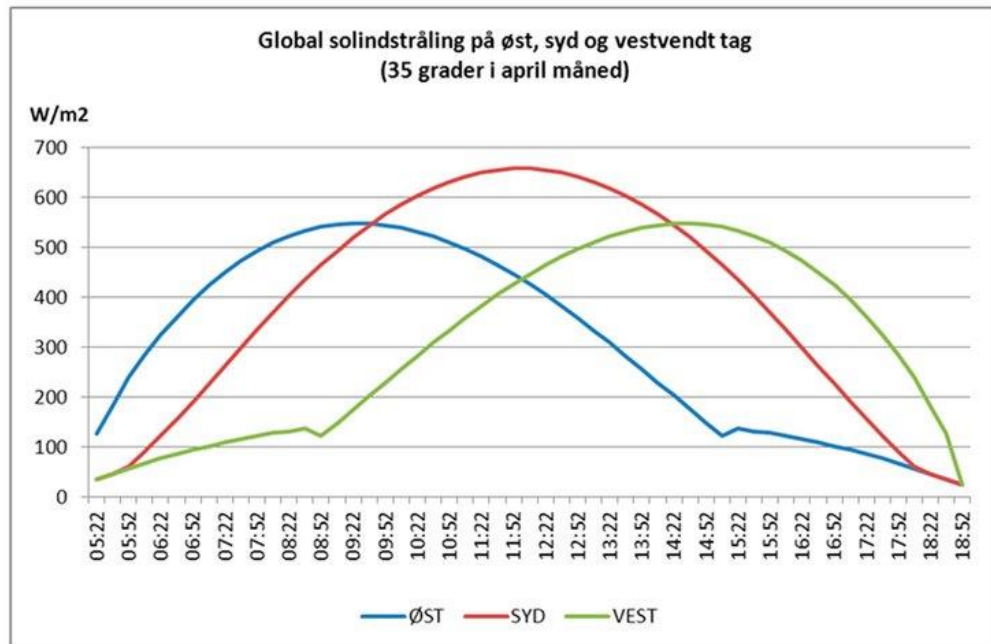
		Orientering [°]												TEKNOLOGISK INSTITUT		
		Øst	SØ				Syd				SV		Vest			
		-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90		
Hældning [°]	0	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85		
	5	85	86	87	88	88	88	89	88	88	87	87	86	84		
	10	84	87	89	90	91	92	92	91	91	90	88	86	84		
	15	84	87	90	92	93	94	94	94	93	91	89	86	83		
	20	83	87	91	93	95	96	97	96	95	93	90	87	82		
	25	82	87	91	94	97	98	98	98	96	94	91	86	81		
	30	81	87	92	95	97	99	99	99	97	94	91	86	80		
	35	80	86	91	95	98	99	100	99	97	94	90	85	79		
	40	79	85	91	95	98	99	100	99	97	94	90	84	77		
	45	77	84	90	94	97	99	99	99	97	93	89	83	76		
	50	76	83	89	93	96	98	99	98	96	92	87	81	74		
	55	74	81	87	91	95	96	97	96	94	90	86	79	72		
	60	72	79	85	89	93	94	95	94	92	88	83	77	70		
	65	69	76	82	87	90	92	92	92	89	86	81	75	67		
	65	69	76	82	87	90	92	92	92	89	86	81	75	67		
	70	67	74	80	84	87	89	89	88	86	83	78	72	65		
	75	64	71	76	81	84	85	86	85	83	80	75	69	62		
80	61	68	73	77	80	81	82	81	79	76	72	66	59			
85	58	64	69	72	75	76	77	76	74	72	68	63	56			
90	55	60	65	68	70	71	72	71	69	67	63	59	53			

Figuren viser solcellernes %-vise årlige energiproduktion ved forskellig hældning og orientering, angivet i forhold til den ideelle placering: stik syd og hældning ca. 37°, som er 100%.

Kilde: Videncenter Bolius

Solcelleanlæggets orientering mod syd vs. øst/vest har afgørende betydning for den producerede energi. Herunder vises et eksempel på global solindstråling på øst, syd, vestvendt tag 35 grader i april.

Rød kurve angiver et sydvendt anlæg, blå angiver et østvendt, og grøn angiver et vestvendt anlæg.



Kilde: Videncenter Bolius

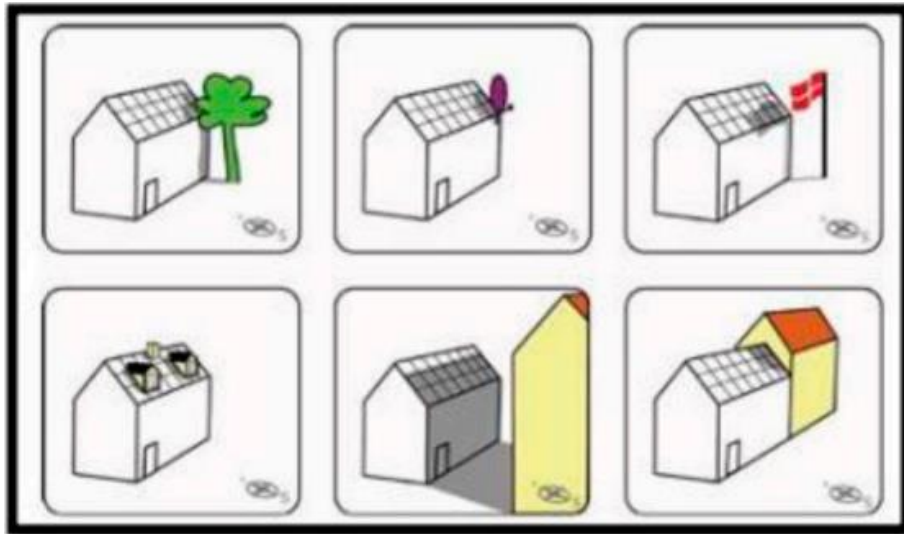
#### 4.7.2 Solcellens hældning

Solcelleanlæggets hældning er ligeledes af afgørende betydning for solcelleanlægget produktion. Skemaet nedenfor viser produktion i % i forhold til solpanelers orientering i forhold til syd samt hældning. Der skal ydermere tages hensyn til solcellens hældning. Her er den optimale hældning på 40 grader mod syd, hvor produktionen er 100% og dårligst når hældningen er 90 grader stik vest, hvor produktionen alene er 53%.

Oftest vil det være således, at solceller på støjskærmninger vil være placeret med 90 grader hældning og produktionen for solceller mod syd vil være 72% effektivitet og solceller mod vest med 90 graders hældning være 53% effektivitet.

#### 4.7.3 Skyggevirkning

Der vigtigt, at der tages hensyn til skyggevirkning fra omgivelserne, men også fra støjskærmens konstruktion, som kan skygge op til 30%.



Kilde: Teknologisk Institut

#### 4.7.4 Afkøling

Afkølingsforholdene er ligeledes af afgørende betydning for solcelleanlægget produktion. Der skal, uanset om solcellen er integreret i en støjskærmning eller om den er påbygget, tilvejebringes den nødvendige luftafkølingsmulighed for solcellen, da produktionen ellers vil falde.

En solcelles evne til optimal elproduktion er ved fuld belysning samt gode afkølingsforhold. Hvis der opstår en øget temperatur i solcellen, vil den blive mindre effektiv og vil påvirke elproduktionen i det tidsrum hvor denne er udsat for en øget temperaturstigning.

En rapport udarbejdet af Det Internationale Energiagentur (International Energy Agency, IEA) og baseret på solcelleanlæg i hele verden viser blandt andet, at solcelleanlæg i det sydlige Italien producerer mindre end beregnet, sammenlignet med solcelleanlæg i det nordlige Italien. Årsagen er højere temperaturer. Anlæggene i syd producerer dog samlet set mere strøm end de nordlige på grund af større solindstråling. Rapporten viser også, at et solcelleanlæg producerer mest optimalt, når omgivelsestemperaturen er  $-5^{\circ}\text{C}$ . Effekten aftager gradvist når omgivelsestemperaturen kommer over  $25^{\circ}\text{C}$ , med helt op til 65% effekttab.

## 4.8 Drift og vedligehold

I afsnittet redegøres for de krav og behov der er til udførelsen af drift- og vedligeholdelsesopgaver ved solceller på trafikstøjafskærmninger.



### 4.8.1 Solcelle – tilgang til service

Ved svigt/udfald af solcelle skal det være muligt at udskifte et panel via en servicevogn med lift fra vejkanthen på samme vis, som var det et vejskilt eller lignende i siden af vejen. En udskiftning og tilhørende servicesituation vil være afhængig af om der er nødspor mellem støjskærmningen og kørebanen.

### 4.8.2 Inverter - tilgang til service

Inverter-delen, som driver solcellens DC-spænding transformeret til AC-spænding ud på nettet, har en typisk levetid på 10 år. Denne inverter skal om muligt placeres hensigtsmæssigt ift. service og vedligeholdelse og gerne på bagsiden af støjskærmen, hvis muligt. Alternativ i indhak i støjskærmen.

### 4.8.3 Solcelle - levetid

Solceller har lang holdbarhed, risiko for udfald eller behov for udskiftning er minimal set over et panels levetid, som anslås til at være 20-25 år.

### 4.8.4 Solcelle - rengøringsbehov

Solceller der har en hældning på mere end 15 grader anses for at være selvrensende gennem naturlige regnskyl, så der vil ikke være behov for at rense solcellerne.

Rengøring af paneler har under normale omstændigheder ingen målbar positiv effekt på solcelleanlæggets ydeevne. Solceller er ikke stærkt påvirket af tilsmudsning og ophobning af partikler, sandsynligvis på grund af den næsten lodrette hældning af strukturen, som letter selvrensningen på grund af nedbør. Det anses derfor ikke nødvendigt at udføre rengøring for at opnå en øget energiproduktion.

### 4.8.5 Udskiftning af paneler

En udskiftning af solceller vil afhænge af det enkelte produkts opbygning. Hvis solceller påmonteres støjskærmen, kan disse relativt nemt udskiftes, da solcellepanelet er påbygget.

#### 4.8.6 Hærværksbeskyttelse

Solceller risikerer at blive udsat for hærværk, herunder tyveri, skade og grafitti. Den største fare anses at være grafitti. Det er undersøgt, om belægninger nedsætter spraymalings vedhæftning til glasset eller forbedrer rengøringen. Kemisk rensning og rensning med vand viser sig at være vanskelig, selvom en rengøringsopløsning indeholdende ethanol (alkohol) fjernede spraymalingen ret nemt. Brugen af ethanol til store overflader langs veje er muligvis ikke egnet.

Testforsøg har vist, at hvis støjskærmen behandles med en anti-graffiti belægning, kan graffiti nemt fjernes med varmt vand under tryk. Erfaring fra udlandet viser, at tidligere projekter led betydeligt af hærværk og tyveri. Hvis der anvendes solceller der integreres i støjskærmen, kan dette være med til at minimere tyveri. Ved at bruge materiale, der er fælles for støjskærme, er de designet til at være modstandsdygtige over for hærværk. Den fulde integration vil desuden beskytte dem mod tyveri.

#### 4.8.7 Servicering af elinstallationer

Med afsæt i solpanelers mangeårige levetid (mere end 20-25 år) og inverterens levetid på mere end 10 år er behovet for service på et minimum. Solcelleanlæggets tilhørende invertere vil blive tilsluttet en overvågningscentral, som overvåger om solcellerne fungerer, producerer den forventede mængde kWh samt får fejlmeldinger.

Det er kun behov for service, hvis et solcelleanlægs inverter melder som fejl, at en DC-streng med x antal paneler falder ud eller producere mindre en forventet. I dette tilfælde vil der for et normal solcelleanlæg blive tilkaldt service indenfor 48 timer. Servicetilkald kan planlægges og evt. udføres som natarbejdet alt efter støjskærmens placering og trafikintensiteten på vejen.

#### 4.8.8 Serviceomkostninger

Omkostningerne til drift og vedligehold kan have indflydelse på business casen. Baseret på erfaringer fra Solar Highways kunne man, efter 18 måneders overvågning, ikke måle en positiv påvirkning af rengøring af modulerne. Rengøring er dermed ikke en del af serviceomkostninger iht. undersøgelsen. De årlige omkostninger estimeres at være €0,083/Wp. Uden at tage hensyn til udskiftning af inverter eller 1,8 % af investeringsomkostningerne.

Disse tal inkluderer sikkerhedstjek, overvågningssoftware, netværksforbindelsesgebyrer, opsparing til udskiftning af inverter (inkl. arbejde) og skadesreparationer.

Derudover vil der være behov for reparationsarbejder som følge af hærværk.

#### 4.9 Særlige krav

Ved opsætning af solcelleanlæg i specielle miljøer og sammenhænge - som i forbindelse med støjskærme - kan det være projektrelateret at stille særlige krav ud over det, der fremgår af standarderne, for eksempel:

- Særlig tykt glas
- Farve
- Udtryk
- Kollisionssikring
- Korrosionssikring
- Vægt

Det skal bemærkes, at kravene kan være stærkt fordyrende for projektet, hvis der ikke findes standardmoduler på markedet, der kan honorere disse krav.

#### 4.10 Bæredygtighed

Når man kombinerer en støjskærm med solceller, er det afgørende at tage hensyn til begge komponenters bæredygtighed og klimaaftryk. Dette indebærer at analysere det samlede system og dets produkters CO<sub>2</sub>-aftryk, evaluere materialernes klimapåvirkning og undersøge muligheden for genbrug af komponenter efter endt brug samt ansvarlig anvendelse af naturressourcer.

Først og fremmest bør en producent-specifik miljøvaredeklaration, eller en så kaldet Environmental Product Declaration (EPD'er) for de solcelletyper, der overvejes, indhentes. EPD'erne giver detaljeret information om solcellernes miljøpåvirkning, herunder data om råmaterialer, energiforbrug, emissioner og affaldshåndtering gennem hele produktets livscyklus.

En sammenligning af CO<sub>2</sub>-udledningen pr. produceret kilowatt-time for de forskellige solcelletyper er afgørende. Dette vil hjælpe med at identificere hvilke solcelleløsninger, der har den laveste klimapåvirkning, og dermed bidrager mest positivt til det samlede system.

Det er vigtigt at beregne den tid, det tager for solcellerne at producere nok ren energi til at kompensere for den energi, der blev brugt i produktionen af dem. Dette vil give indsigt i solcelleanlæggets effektivitet og langsigtede miljøpåvirkning.

Dette betyder også, at ved at implementere solceller på støjskærmen får man ikke kun fordelene ved ren energiproduktion, man formår også at reducere den samlede CO<sub>2</sub>-belastning, da det giver en vigtig miljømæssig fordel at kombinere flere funktioner i ét system.

En bæredygtig tilgang indebærer også overvejelser omkring muligheden for anvendelse af genbrugsmaterialer i både støjskærm og solceller. Ved at integrere genbrugte materialer i konstruktionen kan man reducere behovet for nyproduktion og minimere miljøbelastningen.

Yderligere kan man undersøge muligheden for at bruge alternative materialer og produktionsprocesser til montering af solcellerne på støjskærmen. Dette vil bidrage til at reducere den miljømæssige påvirkning fra monteringsystemerne.

I forbindelse med genanvendelse af udtjente solcellemoduler, tilbyder den internationale non-profit brancheorganisation for genanvendelse af udtjente solcellemoduler PV CYCLE, kollektiv og skræddersyet affaldshåndtering og juridiske overholdelsestjenester til virksomheder og affaldsholdere rundt om i verden. PV CYCLE, blev grundlagt i 2007 af og for PV-industrien og inkluderer i dag en bred vifte af affaldsprodukter i sin portefølje. Ved udvinding af materialer til solcellerne, især silicium, bør der fokuseres på at bruge solceller, der er fremstillet af silicium udvundet i områder med strenge miljøstandarder og kontrolforanstaltninger, som f.eks. EU eller USA. Dette for at minimere miljømæssige og sociale problemer forbundet med siliciumudvinding.

Ved at udføre en grundig analyse af solcellernes miljøpåvirkning, energitilbagebetalingstiden, brug af genbrugsmaterialer og ansvarlig materialeudvinding, samt overveje alternative monteringsystemer, kan man konkretisere og forbedre den samlede miljømæssige bæredygtighed af støjskærm-solcellesystemet.

Dette vil give mulighed for at træffe informerede beslutninger, der fremmer en mere miljøvenlig og bæredygtig tilgang til denne kombination af teknologier.

#### 4.11 Delkonklusion, Delopgave 1. – Krav til støjskærme

Nærværende afsnit har analyseret forskellige tilgange til integration af solceller i støjskærme, herunder både integrerede løsninger og påbyggede løsninger til nye og eksisterende støjskærme.

Støjafskærmning med integrerede solceller er en god løsning, men står overfor en række udfordringer, såsom begrænset marked, da løsningen ikke er hyldevare, komplekse tilladelser og mulige integrerings- og vedligeholdsvanskeligheder af støjskærmen.

Løsning med integrerede solceller er ofte at foretrække iht. æstetik, men vil være mindre effektiv på grund af den reducerede ydeevne fra solcellerne. Brandmæssige hensyn og refleksioner fra solcellerne på nærliggende ejendomme mv. er også væsentlige faktorer der skal tages højde for. Økonomisk vurderes kombinationsløsningen med integration af solceller, som den billigste udformning, da etableringen kun indeholder én arbejdsgang i et samlet produkt.

Ny støjafskærmning med påbyggede solceller kan være en mere fleksibel løsning, da den kombinerer kendte støjafskærmnings- og solcelleteknologier. Påbygning af solceller muliggør tillige lettere service og udskiftning af solcellerne. Løsningen kræver dog beregning og eftervisning af de akustiske- og konstruktive forhold, samt fokus på overholdelse af lokalplaner. Tillige vil effektiviteten af solcellerne blive reduceret i større eller mindre grad, på grund af de dårlige betingelser for solindstråling på panelerne grundet vejens forløb/krumning.

Eksisterende støjafskærmning med påbyggede solceller, drager fordel af etablerede støjafskærmningsløsninger og et bredt marked af solcelleleverandører i Danmark. Dog skal den eksisterende konstruktion kunne bære den ekstra belastning, og der skal tages hensyn til mulige akustiske forringelser af den eksisterende støjafskærmning.

Samlet set er integrationen af solceller i støjafskærmning lovende, men det kræver en grundig vurdering af både tekniske, akustiske og miljømæssige forhold.

## 5 Analyse Delopgave 2. - Eksempler på støjafskærmninger med solceller

Afsnittet belyser konkrete eksempler fra Holland, Schweiz og Tyskland samt angivelse af konkrete løsninger, der kan anvendes i Danmark. Herunder standardiseringer fra International Electrotechnical Commission (IEC) og CE-krav, som skal overholdes i Danmark. CE er en forkortelse for Conformité Européenne (den europæiske konformitetskomite). Bogstaverne CE bruges som mærke i en speciel grafisk udformning. En del elektrisk udstyr, sikkerhedsudstyr og byggeprodukter skal have et sådant certifikat og mærke.

### 5.1 Rolling Solar rapport

I anledning af klimakonference i Paris i 2015 blev der etableret verdens første demovej på 1 km. Rolling Solar var et pilotprojekt med baggrund i at reduceret CO<sub>2</sub>-fodaftryk og ud fra stigende efterspørgsel efter vedvarende energiproduktion omkring veje, jernbaner og vandinfrastruktur. Bag slutrapporten stod et konsortium med mere end 25 partnere fra 3 lande. Rolling Solar projektet blev ledet af "Dutch Organization for Applied Scientific Research" (TNO) som er et uafhængigt forskningsinstitut. TNO spiller en vigtig rolle i at fremme den teknologiske udvikling og bæredygtighed i Holland og internationalt. En del af rapportens konklusioner og erfaringer er anvendt i forbindelse med udarbejdelsen af denne undersøgelse. *Link til rapport:* <https://www.solarhighways.eu/en/document/final-report/>

### 5.2 Benchmark study fra Solar Highways

Benchmark-undersøgelsen fra Solar Highways<sup>1</sup> er udarbejdet for at få et overblik over kendte initiativer for solcelle støjbarrierer (PVNB'er) i Europa, og med det formål at kunne lære af tidligere projekter og give input til udviklingen af disse. En række installationer i hele Europa er blevet undersøgt nærmere gennem dokumentation og ved at besøge installationerne, designeren, bygherren eller ejeren af installationen.

Benchmark-undersøgelsen giver anbefalinger om udformningen af støjskærmene med solcelleanlæg, overvågning, skyggelægning, sikkerhed og sikring, hærværk og tyveri, ejerskab og ansvar, rengøring, indkøbsstrategi og interessenter.

---

<sup>1</sup> Den endelige rapport, Solar Highways Benchmark Study (Ref. 2.), blev afsluttet i oktober 2020 (det står januar 2015 – skal vel ændres?).

Link til rapport: <https://www.solarhighways.eu/en/document/final-report>

Nedenstående tabel angiver oversigt over eksisterende og planlagte støjskærmninger med solceller i Europa, samt specifikationer for solcellepanelerne. Estimer er anført med kursiv.

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

Kilde: <https://www.solarhighways.eu/en/document/final-report>

### 5.3 Internationale eksempler på projekter for støjafskærmning med integrerede solceller

Dette afsnit omhandler referenceprojekter i udlandet med trafikstøjafskærmninger med solceller. I forbindelse med udarbejdelsen af undersøgelsen har vi været i kontakt med nogle af de markedsførende nationale leverandører af støjafskærmning og de har ikke støjafskærmning med integrerede solceller som en del af deres produktsortiment. Det har for størstedelen været pilot- og udviklingsprojekter.

#### 5.3.1 Referenceprojekt: Holland, A50 Uden – støjafskærmning med solceller

Hovedformålet med Solar Highway-projektet var at undersøge og afprøve den tekniske gennemførlighed og de miljømæssige, sociale og økonomiske fordele ved at bruge multifunktionelle konstruktive elementer til bygning af motorvejsstøjskærme med afsæt i at etablere støjafskærmning med dobbeltsidede (bifaciale solceller). Dobbeltsidede solceller er beskrevet nærmere under Bilag – Tekniske krav afsnit 1.5 Solcelletyper.

Link til rapport om reference projektet: <https://www.solarhighways.eu/en/document/final-report/>

Baggrunden for projektet var blandt andet, at ved etablering af solcelleanlæg i kombination med støjafskærmning langs Europas motorveje, kunne man bidrage til EU's mål om klimaændringer, støj og luft.

Solar Highways etablerede en 400 m lang, 5 m høj prototype støjskærm med en 4 m høj med solceller på begge sider langs en nord-syd strækning af motorvej A50 nær Uden. Støjbarrieren omfatter totalt 1600 m<sup>2</sup> solcellemoduler<sup>2</sup> med fuldt integrerede bifaciale solceller .

Den primære funktion af denne barriere var at beskytte mennesker mod støj. Støjskærmen blev placeret i tilknytning til en vej ud til en boligzone. Projektet startede i oktober 2017 og blev idriftsat i december 2018 .

Den årlige mængde produceret elektricitet fra solcellerne på støjvolden var mellem 190 og 215 MWh. Det svarer til elforbruget for 63-72 typiske hollandske husstande. Over den estimerede levetid på 30 år vil den samlede producerede elektricitet være mellem 5,3 og 6,0 GWh, og den undgåede CO<sub>2</sub>-udledning er estimeret mellem 2520 og 2850 ton<sup>2</sup>. Anlægssummen for projektet var omkring 4.7 mio. euro.

Projektet anvendte bifacilære solpaneler som har en højere effektivitet, da de er i stand til at fange sollys på begge sider og har dermed højere energiudbyttet sammenlignet med en standardcelle. Når der anvendes en bifacilær solceller, er solcellen ikke så afhængig af orienteringen imod syd, da disse celler kan følge enhver vejretning.

##### 5.3.1.1 Støjreduktion

Det var umuligt at bestemme effekten af lydbarriererne ved hjælp af målinger. De akustiske effekter af projektet skete derfor ved hjælp af lydberegning. Sammenlignet med en situation uden barrierer er der en betydelig reduktion i støjniveauerne, og de lovmæssige standarder blev opfyldt. Arealet med støjniveauer over 50 dB blev reduceret med 75.000 m<sup>2</sup> fra 425.000 m<sup>2</sup> til 350.000 m<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Der blev udviklet et prototypemodul med solpaneler på 6 gange 2 meter. Hvert panel bestod af to lige store sektioner 3 meter brede og 2 meter høje.

Noise levels	Noise-affected area in m <sup>2</sup>		
	No barrier	With Solar Highways	Effect
<50 dB	1.328.159	1.403.200	+ 75.041
50-55 dB	234.259	196.374	- 37.885
55-60 dB	80.665	57.200	- 23.465
60-65 dB	38.756	28.185	- 10.571
>65 dB	73.386	70.265	- 3.121

### 5.3.1.2 Luftkvalitetsforbedring

Set op imod arealer uden barrieren fik man en reduktion af kvælstof (NO<sub>2</sub>-koncentration) varierende fra 0,01 til 0,15 µg/m<sup>3</sup> (årligt gennemsnit). Reduktioner i partikelforurening er opmålt til 0,00-0,15 mikrogram/m<sup>3</sup> i årligt gennemsnit for PM<sub>10</sub>-koncentrationerne og og fra 0,00-0,07 mikrogram/m<sup>3</sup> årligt gennemsnit af PM<sub>2,5</sub>-koncentrationen.

### 5.3.1.3 Produktion af solenergi

Solar Highways, der i øjeblikket er verdens største bifaciale solcelle-støjbarriere, blev et vellykket eksempel på solcelle-integration i støjskærmning.

Den samlede energiproduktion i en periode på 18 måneder har en samlet ydeevne på 74,5 %. Grundet den lodrette øst-vest-orientering af de bifacilære solceller er det muligt at fange lys og generere elektricitet fra de tidlige morgentimer til de sene timer om eftermiddagen-aften.

Udbyttet afhænger stærkt af konstruktionens skygge. Skyggetabet i prototypen var på 30% på en solskinsdag.

### 5.3.1.4 Rengøring og service

Som tidligere nævnt, blev det undersøgt om rengøring for fjernelse af tilsmudsning og støvophobning på solcellerne havde virkningen på solcellers produktion. Efter en testperiode på 18 måneder, hvor rengjorte området blev holdt op imod ikke rengjorte blev det konstateret, at der ikke kunne måles nogen mærkbar forskel i solcellernes produktion/ydeevne om det var rengjort eller ikke rengjort område. Årsagen skyldes, at solcellens lodrette placering gør den selvrensende på grund af nedbør.

. De årlige omkostninger var estimeret til €20.500, eller €0,083/watt-peak (Wp)<sup>3</sup>. Uden at tage hensyn til udskiftning af inverter udgør dette €18.000, eller 1,8 % af investeringsomkostningerne (uden invertere).

Disse tal inkluderer sikkerhedstjek, overvågningssoftware, netværksforbindelsesgebyrer, opsparing til udskiftning af inverter (inkl. arbejde) og skadesreparationer.

20% blev tilføjet til forudsete omkostninger. Omtrent halvdelen af dette beløb er reserveret til skadesreparationer. Derudover var der behov for reparationsarbejder som følge af hærværk.

### 5.3.1.5 Udfordringer

I forberedelsesfasen var der fokus på udformningen af prototypen og forberedelsen af udbuddet. Indledningsvis fandtes overvejelser om at byggeri og drift blev samlet i én entreprise. Men efter intern høring af markedsparter og energileverandører blev dette opgivet på grund af for mange usikkerhedsmomenter. Udfordringen i implementeringsfasen var at optimere designet og producere de enorme paneler på 2 gange 6 meter med bifacilær moduler lamineret mellem glasplader.

<sup>3</sup> For at kunne sammenligne paneler fra forskellige forhandlere/producenter, oplyser man altid den i watt-peak (Wp). Det er den udgangseffekt, der måles fra solcellepanelet, under en sluttet fra producenten. Slutteten opfylder de internationalt anerkendte kriterier også kaldet STC (Standard Test Conditions). Her udsættes panelet for en indstråling på 1000W/m<sup>2</sup> ved en omgivelsestemperatur på 25 grader og en luft masse på 1,5.

Organisering af driftsfasen var en kompleks udfordring. Der blev indsamlet erfaringer omkring vedligeholdelse af den elektroniske del, omkring graffiti og hærværk mm. Der blev udbudt en vedligeholdelseskontrakt med en varighed på ca. 3 år, eksklusiv større vedligeholdelse.

Da udnyttelsen var udelukket i udbuddet, startede en separat proces for at organisere udnyttelsen, herunder inddragelse af beboere. Målet med denne proces var at stifte et lokalt energiselskab og at udleje anlægget til dette samarbejde.



Kilde: <https://www.solarhighways.eu/en/document/final-report>

### 5.3.2 Referenceprojekt: Schweiz, generelt

I Schweiz har man i en undersøgelse fra 2021 vurderet, at der kan etableres Solcelle-støjskærme med en effekt på ca. 111 MW, som kan levere 101 GWh elektricitet om året langs statsveje og jernbanelinjer. Det svarer til strømforbruget i omkring 22.000 husstande.<sup>4</sup>

På baggrund heraf har Federal Roads Office (FEDRO) planer om at bygge støjskærme udstyret med solcelleanlæg med en produktion på 35 GWh årligt i 2030 og investere 65 millioner CHF i dette.

Kombinationen af solceller og støjbeskyttelse har været brugt i Schweiz i mere end 12 år. Der blev etableret et 100 kW-system på A13 nær Domat/Ems i 1989, verdens første anlæg af sin art. Dette projekt gav nogle gode erfaringer med kvaliteten af komponenterne og udbyttestabiliteten.

Projektet blev udført i fællesskab mellem Schweiz og Tyskland. De tre 10 kWp testsystemer på trafikveje i Schweiz blev bygget nord for Zürich.

---

<sup>4</sup> <https://www.solarhighways.eu/en/document/final-report>



Kilde: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pvwins.html#Zum%20Projekt>

### 5.3.3 Referenceprojekt: Tyskland, generelt

I Tyskland er man i gang med støjafskærmning i kombination med solceller. Det vurderes, at der er et teknisk anvendeligt potentiale for solcelle-støjskærme i Tyskland på 2,8 gigawatt installeret kapacitet.

Hvis der yderligere etableres PV-støjafskærmning langs jernbanespor, vurderes det tekniske potentiale for veje og jernbaner til omkring 5 gigawatt i Tyskland<sup>5</sup>.

Tyske eksperter udtaler, at udviklingen kun lige er begyndt. Udover knapheden på ubebygget jord ses kombinationen af solceller og støjbeskyttelse som en attraktiv mulighed for at bruge egen el, tilstødende bygninger eller til ladestandere til el-biler.

Eksperter vurderer, at nye pilotprojekter og en justering af de lovgivningsmæssige rammer er nødvendige, for at solcelleanlæg kan blive integreret i støjafskærmning og blive standard på den lange bane.

Fokus skal være på udvikling og test af lydabsorberende og lydisolerende modulkoncepter, der er integreret i egnede absorberende støjskærmssystemer.

Der diskuteres koncepter for effektiv og sikker tilslutning af sådanne lineære kraftværker og mulige operatører.

I Tyskland er der udfordringer, som komplicerer konstruktion og eftermontering af støjskærme med solceller.

Især indkøbs-, budget- og bygge Lovgivningen er udfordringer med den nuværende lovgivning.

<sup>5</sup> <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pvwins.html#Zum%20Projekt>



Kilde: <https://www.xn--lrmschutzplaner-0kb.de/photovoltaische-laermschutzwaende/>

#### 5.3.4 Referenceprojekt: Tyskland, Aschaffenburg - Støjafskærmning med solceller

På motorvej A3 nær Aschaffenburg blev der gennem et pilotprojekt af BMVD installeret støjbeskyttelselementer på en 887 m lang støjbeskyttelsesvæg, som er stærkt absorberende på motorvejssiden og integreret solceller på den tilstødende side<sup>6</sup>. Standard-solcelle er opsat lodret og er funderet på borede pæle. Anlægget drives af det kommunale forsyningsselskab Aschaffenburger Versorgungs-GmbH, som har underskrevet en 20-årig kontrakt for det<sup>7</sup>.

##### Tekniske data for solcelleanlægget:

- Samlet højde 3 m over vejhældning
- Areal støjskærm: cirka 3.170 m<sup>2</sup>
- Solcelle-areal: 1.755 m<sup>2</sup>
- Installeret effekt: 150 kWp
- Årligt udbytte: cirka 108.000 kWh
- Strømforbrug: nettilførsel
- CO<sub>2</sub>-besparelse: cirka 180.000 kg/år.

<sup>6</sup> <https://www.xn--lrmschutzplaner-0kb.de/photovoltaische-laermschutzwaende/>

<sup>7</sup> <https://www.solar-log.com/en/news-center/energy-management-blog/references/reference-plant-electricity-from-the-roadside> Reference plant: electricity from the roadside (solar-log.com)



Kilde: <https://www.xn--lrmschutzplaner-0kb.de/photovoltaik/#pv-laermschutzsysteme>

### 5.3.5 Referenceprojekt: Tyskland, Neuötting – Støjafskærmning med solceller

Ved Neuötting blev der etableret en 234 m lang og 4 m høj støjafskærmning med solceller, med afsæt i et ønske om at beskytte mod trafikstøjen fra vej 2550<sup>8</sup>.

Næsten halvdelen af den elektricitet, der produceres i støjbeskyttelsesmuren bruges i skolen bag støjafskærmningen, den anden halvdel føres/sælges til det offentlige forsyningsnet.

#### Tekniske data for solcelleanlægget:

- Længde: 234 m
- Samlet højde: 5 m over vej
- Areal Lsw: 1.170 m<sup>2</sup>
- PV areal: 500 m<sup>2</sup>
- Installeret effekt: 65,4 kWp
- Årligt udbytte 2017: 49.918 kWh
- Elforbrug: ca. 53% eget forbrug i skolen
- Ca. 47% overskudsindføring
- CO<sub>2</sub>-besparelse: cirka 30.000 kg/år.

---

<sup>8</sup> [Lärmschutzwand Neuötting - EGIS Energie Genossenschaft Inn-Salzach \(egis-energie.de\)](http://laermschutzwand-neuoetting-egis-energie-genossenschaft-inn-salzach-egis-energie.de)



Kilde: <https://www.stbaa.bayern.de/service/medien/meldungen/2023/https-www-stbaa-bayern-de-service-medien-meldungen-2023/>

### 5.3.6 Referenceprojekt: Tyskland, Augsburg

Ved Augsburg i Tyskland blev der etableret en 250 m lang og 2,6-3,5 m høj støjafskærmning med solceller<sup>9</sup>. Pilotprojektet blev gennemført på en stærkt benyttet statsvej Støjafskærmningsmuren og blev sat i drift den 2. maj 2023. Den eksisterende støjafskærmning i træ blev erstattet med en støjafskærmning med integrerede solcellemoduler. Det nye støjværn blev dimensioneret efter de gældende retningslinjer for støjbeskyttelse.

Der blev installeret 356 solcelleelementer. Det svarer til knap 800 m<sup>2</sup> solcelleareal. Hvert solcelleelement havde en effekt på 0,340 kWp. Den estimerede nettoforsel er omkring 105.000 kWh om året, hvilket svarer til det årlige forbrug i omkring 25 husstande med hver fire personer. Herved undgås næsten 50.000 kg/år CO<sub>2</sub>-udledning. Orienteringen mod syd garanterer optimal udnyttelse af solcelleanlægget.

Omkostninger: €1,0 mio. samlede omkostninger

Byggeperiode: 1. februar - 2. maj 2023

#### Tekniske data for solcelleanlægget:

- Samlet vægareal: 1046m<sup>2</sup>
- Længde på væg: 248 m
- Gitterafstand mellem stolperne: 4 m
- Støjbeskyttelsesfelter:
- marker med en højde på 2,50 m
- 54 marker med en højde på 3,60 m
- Samlet antal PV-moduler: 356 PV-elementer
- Effekt pr. PV-element: 0,340 kWp
- Samlet effekt: 121,04 kWp
- Udbytteprognose: cirka 105.000 kWh/år
- CO<sub>2</sub>-besparelse: ca. 50.000 kg/år.

<sup>9</sup> <https://www.stbaa.bayern.de/service/medien/meldungen/2023/https-www-stbaa-bayern-de-service-medien-meldungen-2023/>



Kilde: <https://www.xn--lrmschutzplaner-Okb.de/photovoltaische-laermschutzwaende/>

### 5.3.7 Referenceprojekt: Tyskland - Solcelle støjskærm Neumarkt in der Oberpfalz

For at udvikle bygeområdet Pölling II, som ligger direkte på den meget frekventerede jernbanestrækning Nürnberg - Regensburg, blev der etableret en støjafskærmning fra togbanen med en solcelle-støjbeskyttelsesvæg, 744 m lang og 7 m høj.<sup>10</sup>

#### Tekniske data for solcelleanlægget:

- Længde: 744 m
- Sokkelhøjde over jorden: 7 m
- Areal: 8.668 m<sup>2</sup>
- Installeret effekt: 1.258 MWp
- Nettilførsel: 1.221.800 kWh/a
- Svarer til: cirka 270 4-personers husstande
- CO<sub>2</sub>-besparelse: 1.075 t/år.

---

<sup>10</sup> <https://www.xn--lrmschutzplaner-Okb.de/photovoltaische-laermschutzwaende/>



Kilde: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pvwins.html#Zum%20Projekt>

### 5.3.8 Referenceprojekt: Tyskland - Pilotprojekt med støjafskærmning med påbyggede solceller

Fraunhofer-instituttet har gennemført et pilotprojekt PVwins, hvor der blev forsket i blandt andet solceller på støjafskærmninger. Projektet fokuserer på udvikling og test af modulkoncepter, som kan integreres i støjskærme til at absorbere og isolere støj.<sup>11</sup>

Fraunhofer-instituttet vurderer, at støjafskærmning med solceller er nødvendig for at få succes med energiomstillingen i Tyskland. Her anses støjafskærmning med solceller som en æstetisk tiltalende og pladsbesparende måde at etablere solcelleanlæg på, enten integreret i eller påbygget støjafskærmninger.

I PVwins-projektet udvikles specielle PV-modulpaneler til integration i støjskærme på veje og jernbaner, hvor Fraunhofer-instituttet estimerer det tekniske potentiale i Tyskland er omkring 5 GW.

I PVwins-projektet udvikles solcelle-moduler, der kan installeres på nye eller eksisterende støjafskærmninger enten som integreret eller påmonteret. Målet er at udvikle lydabsorberende PV-modulpaneler, der kan bruges uden yderligere støjabsorberende elementer. Et andet mål er at bestemme udbyttepotentialet for solcelle-elektricitet, især for bifacilær-moduler.

Der forskes i en lydabsorberende bifacilær solcelle-modulpaneler, som kan bruges i kombination med støjafskærmning. Den bifacilær solcelle er beregnet til at blokere lyd gennem en høj vægt pr. arealenhed, hvor refleksion spiller en underordnet rolle.

For eksisterende støjskærme udvikles koncepter og systemer til at eftermontere eksisterende støjskærme med solcelle-moduler, så støjbeskyttelsen sikres.

<sup>11</sup> <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pvwins.html#Zum%20Projekt>

#### 5.4 Kan de udenlandske erfaringer bruges i for støjafskærmning med solceller i Danmark

De udenlandske eksempler på støjafskærmning, der er omtalt i afsnit 5.3 skønnes alle at kunne anvendes helt eller delvist i Danmark, uagtet mange er pilotprojekter. Hvis det ønskes, at der arbejdes videre med planen omkring udbredelsen af solceller på trafikstøjafskærmning i Danmark anbefales det, at der igangsættes et større pilotprojekt, der kan afklare og kvalificere de udfordringer, fordele og ulempe oplyst i undersøgelsen i afsnit 2.1

#### 5.5 IEC-standard/CE-mærkning

Herunder redegøres der for de IEC-standarder og CE-mærkning, som anses at være relevante.

##### 5.5.1 IEC-standard

Certifikater for moduler udstedes af flere uafhængige laboratorier, som bevis for at de pågældende moduler lever op til ovennævnte standard(er).

Et certifikat, som er udstedt af et akkrediteret testinstitut, f.eks. TÜV, er gyldigt for en produktserie, hvor et repræsentativt element har været testet, men hvor der kan være tale om et stort antal varianter med tilsvarende opbygning. Når fabrikanterne ændrer på navne og modelbetegnelser kan det være vanskeligt at få verificeret certifikaternes gyldighed.

Nogle af institutterne har på deres hjemmeside lister med de modultyper, hvor der foreligger et gyldigt certifikat. Dette synes p.t. at være den bedste kontrolmulighed. De mest benyttede standarder er udgivet af den Internationale Elektrotekniske Komite IEC og er således globalt gældende. På datablade for (standard) solcellepaneler henvises oftest til en eller flere af nedenstående:

- IEC 61215 "Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules, Design qualification and type approval"
- IEC 61646 "Thin film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval"
- IEC 61730 "Photovoltaic (PV) module safety qualification"

Historisk startede solcelleudviklingen med de stadig markedsførende krystallinske solceller. Først senere kom de konkurrerende tyndfilm-teknologier til. Begge standarder omhandler konstruktionskrav og testmetoder med henblik på at påvise immunitet overfor ydre påvirkninger, såsom mekanisk belastning, hagl, temperatursvingninger, luftfugtighed m.m. Testen går bl.a. ud på at måle den elektriske ydelse før og efter hver deltest, og for at bestå, må der højst være en nedgang i ydelsen på 8% efter den samlede test, ligesom der ikke må være synlige fysiske skader. Praktisk talt alle markedsførte standardmoduler har disse certifikater, men det samme gælder ikke specialfremstillede moduler, da testen er meget dyr.

Den sidste standard, IEC 61730, omhandler kun sikkerhed og er et supplement til de to førstnævnte. Eftersom standarderne gælder internationalt, er der taget højde for holdbarheden i såvel meget varme som kolde klimaer.

Da Danmark har tempereret klima, kan solcellepaneler i Danmark forventes at opnå lange levetider, hvis de er kommet vel gennem testprocedurerne.

For større projekter kan det være relevant at kræve aflevering i henhold til Standard for aflevering og verifikation af ydelse fra komplette anlæg: IEC 62446 "Grid connected photovoltaic systems, Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection". For mindre projekter vil det ofte være tilstrækkeligt at kræve afleveringskontrol i form af leverandørens egen kvalitetssikringssystem og dokumentation.

### **5.5.2 CE-mærkning**

CE-mærkningen viser, at et produkt er blevet vurderet af producenten til at opfylde EU's krav om sikkerhed, sundhed og miljøbeskyttelse. Mærkningen gælder for produkter, som fremstilles hvor som helst i verden, og som markedsføres i EU.

### **5.5.3 EU-overensstemmelseserklæring**

En EU-overensstemmelseserklæring er et obligatorisk dokument, som fabrikanten eller en autoriseret repræsentant skal underskrive for at erklære, at produkterne overholder EU-kravene. Når fabrikanten har underskrevet overensstemmelseserklæringen, kan udstyret CE-mærkes. CE-mærket skal fremtræde i en synlig, letlæselig og uudslettelig form på bl.a. brugsanvisningen og er bevis på, at produktet lever op til lovgivningens krav.

#### **CE-mærkning af solceller**

På EU-niveau er der krav om at solcellemoduler skal CE-mærkes som indikation af at de overholder Europæiske standarder for sikkerhed. Det er her udelukkende den elektriske sikkerhed, der er af interesse, mens ydelsen er ligegyldig i denne sammenhæng.

## 5.6 Delkonklusion, Delopgave 2. - Eksempler på støjafskærmninger med solceller

Nærværende afsnit har undersøgt mulighederne for integration af solceller i støjafskærmninger, med vidensindsamling fra konkrete støjafskærmningsprojekter med solceller i Europa.

Projektet Solar Highway i Holland, viser at støjafskærmning med solceller kan bidrage til energiproduktionen omkring støjafskærmningen, samtidig med at de støjreducerende egenskaber kan bibeholdes. I Schweiz er der planer om at udvide brugen af støjafskærmninger med solceller. Tyskland har igangsat flere pilotprojekter dog med fokus på at der er behov for optimere udformningen af støjafskærmningerne og deres nationale lovgivning.

For Danmark kan det konkluderes, at de udenlandske erfaringer og teknologier kan være relevante. Det anbefales at igangsætte et pilotprojekt i Danmark for at afklare og tilpasse løsningerne til danske forhold.

Sammenfattende må det konkluderes, at Støjafskærmninger med solceller har potentiale til at være en bæredygtig løsning for både energi- og støjproblematikker, det kræver dog yderligere tilpasning og afprøvning i Danmark samt tilpasningen af lovgivningen.

## 6 Analyse Delopgave 3. - Økonomi

Vurdering af solcelleanlægs produktion i forhold til etableringsomkostninger, herunder overordnet redegørelse omkring den nuværende lovgivnings mulighed for regionale og statslige solcelleanlæg.

### 6.1 Etableringsomkostninger

Etableringsomkostninger afhænger af hvorvidt der tages afsæt i solceller, som er en integreret del af støjafskærmningen eller om der tages afsæt i påbyggede solceller monteret på støjafskærmning.

Det har ikke været muligt at indhente konkrete priseksempler på integrerede solceller i støjafskærmning, da referenceprojekterne i undersøgelsen har været trafikstøjafskærmningens udført som forsknings- og udviklingsprojekter. Det er ikke en standardvare, som vi har kunne få prisindikering af. Der er i de følgende afsnit angivet vurderingspriser og anslået tilbagebetalingstider for de respektive løsninger

### 6.2 Integrerede solceller i støjafskærmning

Fuld integration af solcellemoduler i støjafskærmninger skønnes at være billigere end sammenlignet med solceller påbygget støjafskærmninger. Dette med forbehold for om de internationale udbydere af støjskærmene med integrerede solceller kan levere et produkt, der overholder danske krav og normer samt ønsker til støjafskærmningen ud fra projektets kravspecifikationer. Der vil være en besparelse i valg af en integreret løsning, da materiale- og produktionsomkostningerne er mindre og man undgår materialernes dobbelte funktion, idet støjskærmen og solcellerne installeres som en samlet enhed. Se afsnit 4.2 Støjafskærmning med integrerede solceller.

Integrerede solceller i støjafskærmning er opbygget med et konstruktionsprincip for integreret føring af kablerne. Kombinationsløsningen skønnes at gives en gunstig prissætning i forhold til støjafskærmninger med påbyggede solceller og åbne op for yderligere kommercialisering og eskalering.

#### 6.2.1 Business case

Solceller på støjafskærmninger lægger i prisniveau kr. 6.000-8.000 + moms/kWp afhængigt af ønsket design og aktuelt projekt.

1 kWp solcelleanlæg på en støjafskærmning vil skønsmæssigt producere ca. 500-700 kWh pr. år.

##### 6.2.1.1 Stor andel egetforbrug – intet salg til nettet

Herunder angives et eksempel på solcelleanlægs tilbagebetalingstid, når den solproducerede energi kan forbruges:

##### Forudsætninger:

- Solcelles gennemsnits etableringsomkostning kr. 7.000 pr. kWp
- Solcelles gennemsnitsproduktion på 600 kWh pr. år pr. 1 kWp solcelle areal
- Gennemsnits kWh pris i dagtimer kr. 1,50
- Serviceomkostninger 5% årligt.

Hvis der er tale om et solcelleanlæg, som alene producerer til eget forbrug, altså hvor forbruget kan anvendes lokalt af solcelleejeren, vil solcelleanlægget have en **forventelig tilbagebetalingstid på 8-10 år** alt afhængigt af dagsprisen for strøm, som vil være afgørende for tilbagebetalingstiden. Dette skal ses i sammenhæng med solcelleanlæggets samlede levetid på 25-30 år for solceller og 10-15 år for inverter-delen.

### 6.2.1.2 Uden eget forbrug – kun salg til nettet

#### Forudsætninger:

- Solcelles gennemsnits etableringsomkostning kr. 7.000 pr. kWp
- Solcelles gennemsnitsproduktion på 600 kWh pr. år pr. 1 kWp solcelle areal
- Gennemsnits spotpris i dagtimer kr. 0,40
- Serviceomkostninger 5% årligt.

Hvis der er tale om et solcelleanlæg, som ikke producerer til eget forbrug, men alene sælger strømmen til nettet, vil solcelleanlægget have **en forventet tilbagebetalingstid på 35-45 år** afhængig af spotprisen med fradrag for indfødningsstariffen, som vil være afgørende for tilbagebetalingstiden. Dette skal ses i sammenhæng med solcelleanlæggets samlede levetid på 25-35 år for solceller og 10-15 år for inverter-delen. Indfødningsstariffen er 0,9 øre/kWh ekskl. moms iht. Energinets 2024 pristabel.

## 6.3 Regler om eget forbrug af el fra kommunale og regionale solcelleanlæg

### 6.3.1 Hvornår må kommuner og regioner opsætte solceller?

Kommunerne og regioner kan som alle andre opsætte solcelleanlæg. Aktiviteterne skal dog udskilles i et særskilt selskab. Ved nybyg og renovering har kommuner og regioner mulighed for at søge og modtage dispensation fra kravet om selskabsudskillelse, hvis de opfylder betingelserne i bekendtgørelse om undtagelse af visse kommunale og regionale solcelleanlæg fra kravet om selskabsmæssig udskillelse.

Kommuner og regioner kan også være egen-forbrugere af solceller via tredje part, hvis et eksternt selskab opsætter og driver det solcelleanlæg, som kommunen eller regionen benytter.

### 6.3.2 Hvornår er solceller selskabsudskilte?

Solcellerne er selskabsudskilte, når de opsættes og drives af et selskab, som kommunen eller regionen kun har begrænset hæftelse for. Det er op til den enkelte kommune eller region at beslutte, hvilken selskabskonstruktion, der anvendes til formålet, så længe kommunen ikke hæfter for selskabet.

Selskabet vil fx kunne være kommunens allerede eksisterende forsyningsselskab med begrænset ansvar eller et nyoprettet aktieselskab (A/S) eller anpartsselskab (ApS), som ejes enten helt eller delvist af kommunen.

Det vil omvendt ikke kunne være et interessentskab (I/S) da ejerne hæfter direkte for et I/S. Kommuner og regioner vil også kunne gå sammen om et enkelt fællesejet selskab til opsætning og drift af solcelleanlæg i flere kommuner eller regioner.

### 6.3.3 På hvilket tidspunkt kan der søges dispensation fra kravet om selskabsudskillelse?

Der kan søges dispensation efter, at anlægget er blevet nettilsluttet og anmeldt til stamdataregisteret. Ansøgningsskemaet findes på Energistyrelsens hjemmeside, og ansøgningen sendes til Energistyrelsen via e-mail, e-boks eller pr. post.

### 6.3.4 Kan der gives forhåndsgodkendelse til dispensation fra kravet om selskabsudskillelse?

Der kan ikke gives forhåndsgodkendelse. Dispensationen kan først søges efter anlægget er blevet nettilsluttet og anmeldt til stamdataregistret.

### 6.3.5 Hvordan kan kommunen eller regionen være egen-forbruger via tredje part?

Kommunen eller regionen kan være egen-forbruger via tredje part, hvis et eksternt selskab opsætter og driver det solcelleanlæg, der stilles til rådighed for kommunen eller regionen.

### 6.3.6 Hvilke regler gælder for beliggenhed af anlægget?

Der er stor frihed i relation til hvor solcelleanlæg og vedvarende energianlæg (VE-anlæg) kan placeres, og der findes vejledning om relevante regler på Energistyrelsens hjemmesider, veprojekter.dk og spareenergi.dk.

Hvis kommunen eller regionen ønsker selv at forbruge den producerede elektricitet, skal anlægget imidlertid net-tilsluttes i tilknytning til et konkret forbrugssted. Forbrugssted er defineret i elforsyningslovens som et punkt, hvorfra der aftages elektricitet til ét samlet matrikelnummer eller til sammenhængende bygninger fordelt på flere matrikelnumre med kun én forbruger af elektricitet.

Således skal anlæg til eget forbrug være placeret enten på det område, der svarer til et konkret forbrugssted eller på et område umiddelbart tilstødende dette forbrugssted - forudsat, at kommunen/regionen har råderet over det samlede område.

### 6.3.7 Konsekvenser hvis overskudsproduktionen ikke tilføres nettet

Så længe anlægget er tilsluttet det kollektive net, vil den eneste umiddelbare konsekvens af at al el forbruges eller lagres på forbrugsstedet være, at der ikke er nogen overskudsproduktion som sælges. Det vil ikke påvirke kravet om selskabsudskillelse.

### 6.3.8 Afregning af overskudsproduktion

Når et solcelleanlæg er blevet godkendt til pristillæg af Energistyrelsen, vil man modtage et pristillæg for overskudsproduktionen af Energistyrelsen. Strømproduktion og strømforbrug bliver gjort op af elselskabet.

Kilde: <https://ens.dk/ansvarsomraader/solenergi/offentlig-solenergi-spoerqsmaal-oq-svar>

### 6.3.9 Nødvendige overvejelser om muligheder for salg og afsætning af produceret energi

Indledningsvis skal det overvejes, om det er helt eller delvist muligt for kommunen/regionen at forbruge den producerede energi, eller om den skal sælges til elnettet.

Desuden skal det overvejes, om solenergiproduktionen alene skal ske ud fra et økonomisk perspektiv eller ud fra et samfundsmæssigt hensyn, hvor produktion/salg af strøm ikke nødvendigvis skal være rentabelt.

Solcelleanlæg med den bedste business case er designet ud fra en anlægsstørrelse i årlig kWh produktion på maks. 50% af det årlige kWh forbrug på tilslutningsstedet. Alt over 50% vil skabe en overproduktion, som skal sælges til en lav kWh pris hvilket gør solcelleanlægget mindre rentabelt.

Det skal også indgå i overvejelserne i en business case, at et solcelleanlæg på en støjafskærmning ikke har den optimale solcelleplacering i forhold til syd og hældning, hvilket medfører, at virkningsgraden bliver lav (65-75%) i forhold til optimalt placeret solcelleanlæg, som ligger over 90%. Dette medfører, at den solproducerede energi i en støjafskærmning vil ligge 15-20% lavere end fra optimalt placeret solcelleanlæg.

Ud fra de gældende takster for "udbetaling af pristillæg" som afspejles af spotprisen med fradrag for indfødningsstariffen giver dette ikke - under nuværende lovgivning og prisstruktur - anledning til at skabe en rentabel

business case for et solcelleanlæg. Ydermere kan Energinets varslings om stigning af eltariffer (indfødningsstarif og balancetarif) pr. 1. januar 2025 for elproducenter, have stor indvirkning på tilbagebetalingstiden for el-producerende VE-anlæg.

Den optimale business case er, når solcelleanlæg designes til at skabe en solproduceret energi, som kan anvendes, hvor den forbruges og til egetforbrug i dagtimerne, når solen skinner. Og det er vigtigt at understrege, at et forbrug dermed er påkrævet for ikke at ende i en overproduktion, der skal sælges.

#### 6.4 Delkonklusion, Delopgave 3. - Økonomi

Rapporten har analyseret økonomien i solcelleanlæg integreret i støjafskærmninger sammenlignet med traditionelle løsninger, samt de relevante lovgivningsmæssige rammer for kommunale og regionale anlæg. Den økonomiske vurdering viser, at integrerede solceller generelt er mere omkostningseffektive end påbyggede solceller på støjafskærmninger, hovedsageligt fordi de kombinerer støjreduktion og energiproduktion i én enhed. Integrerede løsninger reducerer materialer og arbejdsomkostninger, hvilket fører til en lavere pris pr. installeret kWp.

For anlæg, der anvender den producerede elektricitet selv, er tilbagebetalingstiden for en integreret løsning estimeret til 8-10 år, baseret på en gennemsnitspris for elektricitet på 1,50 kr./kWh. I kontrast hertil, hvis elektriciteten udelukkende sælges til nettet, vil tilbagebetalingstiden være markant længere, mellem 35-45 år, hvilket er en direkte konsekvens af de lave spotpriser og den lille indfødningsstarif. Energinets varsel om tariffstigninger pr. 1. januar 2025, kan også have negativ konsekvens for tilbagebetalingstiden.

Når det kommer til lovgivningen, kan kommuner og regioner opsætte solcelleanlæg, men skal overholde krav om selskabsdannelse. Reglerne tillader også, at solceller kan anvendes af eksterne selskaber til fordel for kommunerne eller regionerne, hvilket kan være en fleksibel løsning. Desuden er der særskilte regler for anvendelse af batterier og ladestandere, som kan optimere egetforbruget.

For at opnå den mest fordelagtige økonomiske situation er det vigtigt, at solcelleanlægget designes til at maksimere egetforbruget og minimere overskudsproduktion. Dette kan være en udfordring, da integrerede solceller på støjafskærmninger ikke har den optimale solcelleplacering, hvilket påvirker effektiviteten. Det anbefales derfor, at kommuner og regioner nøje overvejer, hvordan de vil anvende den producerede energi og justerer deres solcelleanlæg tilsvarende for at undgå økonomiske tab og sikre maksimal rentabilitet.

## 7 Konklusion

Denne rapport har analyseret integrationen af solceller i støjafskærmninger med fokus på tekniske, akustiske, miljømæssige og økonomiske aspekter samt lovgivningsmæssige rammer. Samlet set viser analysen, at integration af solceller i støjafskærmninger har potentialet til at være en innovativ og bæredygtig løsning, der kombinerer støjdæmpning og vedvarende energiproduktion. Dog kræver det en grundig vurdering af de specifikke udfordringer og muligheder for at maksimere effektiviteten og sikre en bæredygtig implementering.

### Tekniske- og akustiske forhold

Rapporten har identificeret forskellige tilgange til integration af solceller i støjafskærmninger, herunder integrerede løsninger og påbyggede løsninger, både for nye og eksisterende støjskærme. Hver udformning har sine fordele og udfordringer. Integrerede solceller i støjskærme tilbyder en funktionelt sammenhængende løsning, men står over for markante udfordringer såsom komplekse tilladelser, begrænset dansk marked og

designmæssige udfordringer for integration af solcellerne. Påbyggede løsninger på nye støjskærme er mere fleksible og tillader lettere service og udskiftning, men kræver nøje overvejelse af de akustiske og konstruktive forhold. Eksisterende støjskærme med påbyggede solceller muliggør forbedring af den eksisterende infrastruktur uden behov for nye konstruktioner, men kræver en vurdering af solafskærmningens bæreevne og mulige akustiske forringelser.

### Internationale erfaringer og Standarder

Erfaringer fra projekter i Holland, Schweiz og Tyskland viser, at Støjafskærmninger med solceller kan være effektive både til støjafskærmning og energiproduktion. Projekter som Solar Highway i Holland demonstrerer potentialet i bifacilære solceller, mens Schweiz og Tyskland fokuserer mere på langsigtet integration og optimering af design og lovgivning. Det anbefales at igangsætte et pilotprojekt i Danmark for at tilpasse løsningerne til danske forhold.

### Økonomiske overvejelser

Integrerede solceller i støjafskærmninger er mere omkostningseffektive end påbyggede løsninger, da de kombinerer solcelle- og støjreduktionen i en enhed, samt reducerer materialer og arbejdsomkostninger. Tilbagebetalingstiden for integrerede løsninger er estimeret til 8-10 år ved egenforbrug af elektriciteten, men betydeligt længere ved salg til elnettet. Lovgivningsmæssigt kan kommuner og regioner opsætte solcelleanlæg med visse krav om selskabdannelse. Design af solcelleanlæg bør fokusere på at maksimere egetforbruget for at opnå økonomisk rentabilitet. Energinets varsling om stigning af eltariffer pr. 1. januar 2025 for elproducenter, kan ydermere have stor negativ indvirkning på tilbagebetalingstiden.

### Anbefalinger

For at opnå en succesfuld integration af solceller i støjafskærmninger i Danmark, bør der foretages en omfattende vurdering af tekniske, akustiske, miljømæssige og økonomiske forhold. Pilotprojekter er essentielle for at tilpasse internationale erfaringer til danske forhold og identificere udfordringer og muligheder. Det vurderes derved at Støjafskærmninger med solceller kan blive en effektiv og bæredygtig løsning for både energi- og støjproblematikker i Danmark.

## 1 Bilag – Tekniske krav

### 1.1 Solpaneler - montage og tilkobling til elnettet

I de efterfølgende afsnit redegøres for de tekniske krav til solcellesystemer relateret til følgende emner:

- Overordnede krav
- Føringsveje
- DC-kabling
- Solceller
- Montagesystem
- Inverter
- Montagemuligheder

### 1.2 Overordnede krav

Ved design af solcelleanlægget skal det være et krav, at ydelsen af det samlede anlæg skal beregnes i programmet PVSol, PVsyst eller lignende program. Dokumentation for dette skal udleveres. Den beregnede maksimale solindstråling skal også oplyses. Derudover bør stilles følgende krav:

- Anlæggets samlede virkningsgrad min 0.9
- Solpanelers effektivitet, minimumskrav til solpanels effekt  $>215\text{w}/\text{m}^2$ .
- Inverterdelens virkningsgrad, min 0.95
- Spændingsfald i DC-kablingen
- Aktuell solindstråling
- 2% smuds
- 25 års garanti på en maksimal nedgang i ydelsen på 15%
- Solcelleanlægget skal projekteres, så det har en minimum anlægsstørrelse/elproduktion, som er tilsvarende om 15 år.

### 1.3 Føringsveje

Der skal etableres et føringsvejssystem for fremføring af DC-kabling fra solpaneler til Inverter. Det skal afklares hvordan det kan implementeres og der skal stilles tekniske krav hertil. Føringsvejssystemet skal være et komplet system, som sikrer, at der kan føres DC-kabler til og imellem solpaneler og frem inverter.

Følgende normer og standarder er oftest gældende:

- DS-håndbog 183, gældende udgave, 7. udgave
- Bekendtgørelse nr. 1082 af 2016, udførsel og drift af installationer
- El-arbejder – Illustrationer og vejledninger, 2019-05-31.

Der stilles krav til følgende:

- Udvendige føringsveje skal være korrosionsklasse C3
- Farve på føringsveje: en given farve eller galvaniseret
- DC-kabler skal som minimum fastgøres til undersiden af solpaneler
- Stiksamlinger skal minimeres og skal placeres fastgjort i føringsvej.

## 1.4 DC-kabling

Der skal etableres DC kabling fra solpaneler til Inverter. Kablerne skal som minimum fastgøres til undersiden af solpaneler og skal ellers føres i et føringsvejssystem, som skal være et komplet system, der sikrer, at der kan føres DC-kabler til og imellem solpaneler og frem til inverter.

Følgende normer og standarder er oftest gældende:

- DS-håndbog 183, gældende udgave, 7. udgave.
- Bekendtgørelse nr. 1082 af 2016, udførelse og drift af installationer
- El-arbejder – Illustrationer og vejledninger, 2019-05-31.

Typiske materialekrav:

- DC-kabler type mærket iht. H1Z272-K
- EN 50618:2014
- DC-kabling skal være halogenfrit og UV-bestandigt.

DC-kabling skal dimensioneres med et spændingsfald på maks. 1%.

## 1.5 Solcelletyper

Der skelnes mellem to typer solceller, mono- eller bifacilære solceller. Typerne beskrives nærmere nedenfor. Solcellernes effekt angives i Kilo Watt peak (kWp). kWp er solpanelets produktion under fuldstændigt optimale forhold, altså uden at vind- og vejrforhold er taget i betragtning.

### 1.5.1 Monofacilære solceller

Monofacilære solcelle er enkelt-sidede og indfanger kun sol på den ene side/overflade af solcellen. Det er den traditionelle solcelle og kan opdeles i tre typer. Den monofacilære vil på f.eks. en støjskærm kun producere halvt så meget energi som en bifacilær solcelle.

#### 1) Monokrystallinske celler, PERC:

En monokrystallinsk solcelle består af ét siliciumkrystal. Cellerne er opdelt i kvadrater med mindre afstand for at få en højere effekt og dermed større virkningsgrad. Monokrystallinsk solcelle er ofte monteret på hvid baggrund, der reflekterer det lys, der trænger igennem cellerne således, at cellerne bedre kan holdes afkølet. Ved højere temperatur falder virkningsgraden og dermed effekten af solcellerne.

Monokrystallinske PERC-solceller opnår højere effektivitetsniveauer sammenlignet med konventionelle krystallinske siliciumsolceller. Den øgede effektivitet betyder, at de kan producere mere strøm med samme mængde sollys.

Monokrystallinske PERC-solceller kan fremstilles ved hjælp af eksisterende produktionslinjer til krystallinske siliciumsolceller. Hvilket medfører gunstige priser.

Paneleffektiviteten er på ca. 20-22%.

#### 2) Polykrystallinske celler, PERC:

Polykrystallinske solceller indeholder flere siliciumkrystaller, og de er ofte i blå nuancer og firkantede. De dannes ved afstøbning i en form. De enkelte krystaller i solcellen kaster lyset forskelligt tilbage, hvilket giver en 'levende' overflade. Polykrystallinske solceller kan indfarves til den farve, som man ønsker, men på bekostning af effekt. Virkningsgraden bliver lavere og solcellerne bliver dyrere.

Polykrystallinske celler har en lidt lavere virkningsgrad pr. kvadratmeter end monokrystallinske. Paneleffektiviteten er på ca. 14-16%.

### 3) Tyndfilmssolcelle, CdTe:

Tyndfilmssolceller er lavet af meget tynde lag af halvledende materialer. De kan fremstilles ved at påføre disse materialer i form af en tynd film på et substrat som glas, plastik eller metal. De først udviklede tyndfilmssolceller var baseret på amorft silicium (a-Si), og senest er der kommet solceller af bl.a. kobber-indium-selen (CIS) og cadmium-tellurid (CdTe). De har et lavt materiale- og energiforbrug i fremstillingen. De bruges i ofte til bygningsintegrerede solceller.

Tyndfilmssolceller fungerer bedre i gråvejr end de krystallinske, hvilket er en fordel på vores breddegrader, hvor det ofte er skyet vejr. Cellerne har potentiale til at opnå højere konverteringseffektivitet (omdannelse af sollys til elektricitet) sammenlignet med nogle andre typer tyndfilmssolceller.

Tyndfilmssolceller anvender mindre sjældne og dyre materialer som indium og gallium sammenlignet med nogle andre solcelleteknologier som f.eks. siliciumbaserede solceller.

Tyndfilmssolceller har brug for yderligere forskning og udvikling for at forbedre deres effektivitet og reducere omkostningerne, før de kan konkurrere bredt med de mest udbredte solcelleteknologier i dag.

Paneleffektiviteten er på ca. 7-12%.

## 1.5.2 Bifacilære solceller

Den bifacilær solcelle er dobbeltsidig og har den fordel at den kan optage energi fra begge sider af panelet hvori mod det traditionelle ensidige panel kun kan optage energi fra den ene side af panelet. Den bifacilære solcelle kan producere 100% i forhold til monofacilære moduler med en optimal orientering.

Bifacilær solcelle, type Csi er et tosidet krystallinsk silicium solpanel.

Bifacilær solcelle, type CIGS er dobbeltsidede tynd-film solpaneler.

Størstedelen af bifacilær solpaneler er med monokrystallinske celler. Monokrystallinske celler er mere effektive Solceller i bifacilære solpaneler er de samme som i monofacilære solpaneler. Den eneste reelle forskel er, hvordan panelet er lavet. Mens traditionelle monofacilære solpaneler har et uigennemsigtigt bagsideark, har bifacilær solpaneler en reflekterende bagside eller to ruder af glas, der holder solcellerne på plads. Udsættelse af solcellerne for sollys på bagsiden såvel som foran.

Bifacilær solpaneler har en højere effektivitet, da de er i stand til at fange sollys på begge sider. Da de er lavet til at være helt gennemsigtige, er de normalt rammeløse uden metalgitterlinjer.

Fordelen ved bifacilære solar-støjskærme er, at de kan bruges langs enhver vej, uanset dens retning. Ved at bruge bifacilær celler vil outputtet blive øget ved at fange lys om morgenen fra østsiden og opfange lys om eftermiddagen ved at bruge den anden side af barrieren.

Den bifacilære solcelle producerer mere energi end traditionelle solcellepaneler.

Bifacilære solcelle type CIGS kan håndtere skygge bedre end krystallinske silicium solpaneler.

Tyndfilms solpaneler, hvor alle celler er forbundet i serie, kan være meget mere følsomme over for skyggeeffekter end standard krystallinske silicium solpaneler med strenge af solceller begrænset af det svageste led i modulet.

Den bifacilær solceller er under forsat udvikling for at forbedre effektiviteten.

Paneleffektiviteten er på ca. 25-30%

Andre forhold, der ligeledes skal tages stilling til, når der vælges solceller:

- Farve på solcellen, blå, grå eller sort look
- Krav om maks. genskinsfaktor
- Farve på solcellens ramme
- Krav om effektivitet og produktion w/m<sup>2</sup>

Typiske krav for solceller:

- Hærdet antirefleks glas med minimal refleksion.
- CE-mærkede, jf. EU's byggevaredirektiv.
- Anerkendt europæisk fabrikat.
- Højeffektive solpanel min. krav 215w/m<sup>2</sup>.
- Ydelse på min. 85% ydelser efter 25 års produktion
- 10 års garanti på en maksimal nedgang i ydelsen på 5 %
- Min. 20 års produktionsgaranti
- Blyindhold må maksimalt indeholde 8mg bly pr kWp.
- Test efter retningslinjerne i IEC 904.
- Fremstillet i henhold til IEC 61215, IEC 61730.
- Produktspecifik EPD, der må ikke anvendes solpaneler som anvender en branchespecifik EPD.

## 1.6 Montagesystem

Montagesystem til solceller som påbygges nye/eksisterende støjafskærmninger:

- Solpaneler skal monteres på et montagesystem, såfremt de ikke monteres direkte på støjskærmens konstruktion med beslag, eller er en integreret del af støjafskærmningen.
- Der skal tages stilling til om montagesystem skal være en ønsket farve eller galvaniseret.
- Montagesystems funktion er grundlæggende for fastgørelse af solcellen.
- Montagesystemet skal kunne bære solcellens last og optage/modstå vind og evt. snelast.
- Montagesystem skal tilmed kunne modstå turbulensvinde fra forbigørende køretøjer.

Typiske materiale krav:

- Montagesystemet skal dimensioneres for terrænkategori x (grundet turbulensvinde).
- Montagesystem skal dimensioneres ud fra vindpåvirkning afhængig af lokale forhold ellers normalt 24m/sek.
- Montagesystemet skal dimensioneres for en snelast jævnfør EN 1991-1-3:2007 + AC:2009
- Der skal beregnes i forhold til vind og snelast.
- Systemet inkl. ballast vejer generelt ca. 20kg/m<sup>2</sup>
- Konstruktionen skal være tilstrækkeligt fastgjort/fastholdt og i enhver henseende bestandig over for de på den pågældende lokalitet forekommende vindpåvirkninger.
- Montagesystemet skal være så enkelt og usynligt som muligt.

## 1.7 Inverter

Invertere til solcelleanlægget vælges efter størrelsen på solcelleanlægget. Invertere skal beskyttes med overspændingsbeskyttelse SPC på DC samt AC siden jævnfør DS/HD 60364-7-712.

For Invertere med høj lækstrøm (mere end 3,5 mA) skal der etableres en hovedudligningsforbindelse via 1 stk. 1G25 mm<sup>2</sup> Cu jf. DS/HD 60364. Invertere skal have indbygget transientbeskyttelse på såvel AC og DC-siden.

Der skal planlægges type-B fejlstrømsafbryder foran elforsyningen i tavlernes tilslutningspunkt.

Styring, regulering og central tilstands-/produktionsovervågning skal defineres.

Behovet skal indskrives. F.eks. kræves det, at inverteren bestykses med GSM-kort for fjernstyring og overvågning f.eks. med Evishine eller lignende produkt.

Typiske krav:

- Invertere skal være godkendte efter danske forhold, jf. Green Power Denmark.dk positivliste.
- Invertere skal være godkendt af et Energy Management System (EMS)
- Kapslingsklasse IP4X
- Max DC-input spænding 1000V
- AC-spænding 400V – 3 faser
- Frekvens 50Hz
- Maksimalt støjniveau 50 Db
- total harmoniske forstyrrelser (Thd) <3%
- Minimum MPP-trackere (MPPT) - 2
- Vægtet effektivitet (EURO/CEC) – 98%

Følgende to standarder beskriver kravene til invertere/omformere til solcelleanlæg:

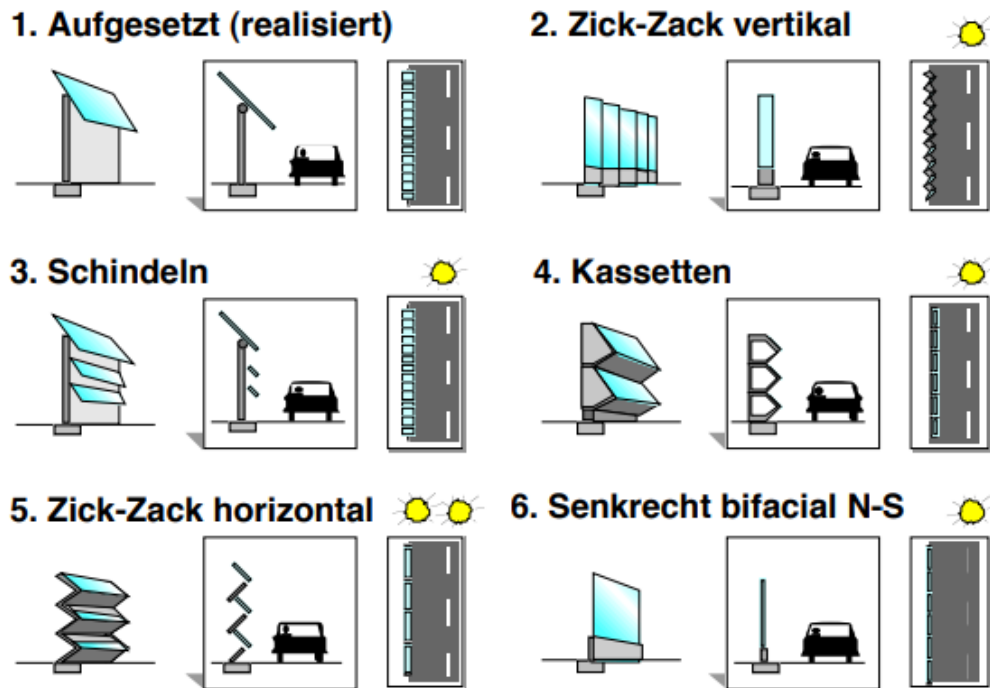
- DS/EN 62109-1 Omformere til brug i solcelleanlæg, Sikkerhed. Del 1: Generelle krav
- DS/EN 62109-2 Omformere til brug i solcelleanlæg, Sikkerhed. Del 2: Særlige krav til invertere

Endvidere skal der stilles krav til:

- Farve
- Synlighed
- Tilgængelighed
- Nærhed i.f.t. solceller
- Centralt nødstop for solcelleanlæg.

## 1.8 Montagemuligheder

Støjskærme kan have mange udformninger og det samme gælder placering af solceller herpå. Herunder en skitse fra en tysk hjemmeside som angiver de forskellige måder:



Grafik © 2002 TNC Consulting AG, Erlenbach

Kilde: <https://trimis.ec.europa.eu>

## 1.9 Tilkobling til elnettet

I dette afsnit redegøres der for tilkobling til elnettet:

- AC nettilslutning
- Batteriløsning
- Nettilslutningsprocedure – Energinet

### 1.9.1 AC-nettilslutning

Solcellers producerede DC-energi (jævnstrøm) skal via en inverter transformeres til AC-energi (vekselstrøm) som kan tilsluttes elnettet. Det skal undersøges, hvordan solcelleanlægget tilsluttes elnettet.

Der skal være et net tilslutningssted, som ikke ligger langt fra solcelleanlægget grundet spændingsfald i forsyningskablet.

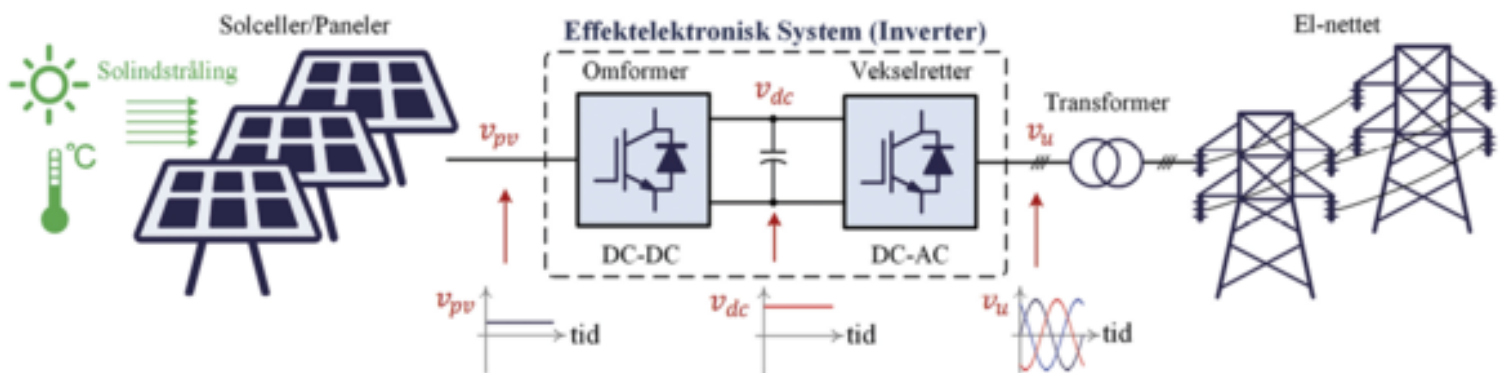
Som påpeget tidligere i denne undersøgelse, er det vigtigt at få afklaret, om det er muligt at få tilsluttet den solproducerede energi til elnettet i lokal nærhed.

Solcelleanlæg med en installeret kapacitet på over 50 kW skal bestykes med en produktionsmåler for registrering af den solproducerede energi, dette er påkrævet i.h.t. bekendtgørelse om stamdataregistret for elproducerende anlæg m.v. Denne produktionsmåler er en ekstra måler, ud over installationens hovedafregningsmåler, medmindre det er et solcelleanlæg, hvor der ikke bruges af solenergi-produktionen, men alene sælges strømmen til nettet.

#### 1.9.1.1 Fejlstrømsafbryder

Der skal planlægges den rigtige type RCD/ fejlstrømsafbryder foran elforsyningen i tavlernes tilslutningspunkt. Det er oftest påkrævet at det er en type B.

Grafisk visualisering af solcellers produktion tilsluttet til elnettet



Kilde: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)