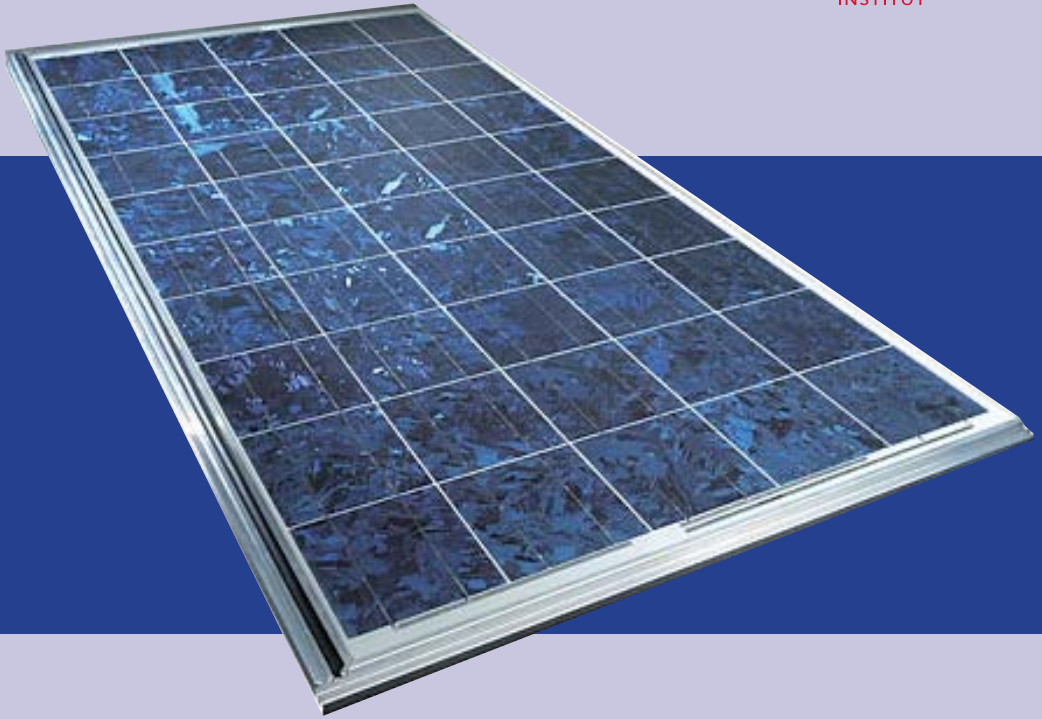




**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**



# **NETTILSLUTTEDE SOLCELLE ANLÆG**

**- EN LILLE HÅNDBOG FOR PROJEKTUDVIKLERE**

PUBLIKATION I EU-PROJEKT  
"RES-E FOR REGIONS"  
TIL FREMME AF GRØN STRØM

Udarbejdet af Søren Poulsen, Teknologisk Institut, maj 2006



# INDHOLD

<b>FORORD</b>	<b>3</b>
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>4</b>
1.1 Introduktion	4
1.2 Formål	4
1.3 Metode og afgrænsning	4
<b>2 PLANLÆGNINGSPROCES</b>	<b>6</b>
2.1 Flowchart	6
2.2 Lokalplanforhold	7
2.3 Hældning og orientering	7
2.4 Skygger	8
2.5 Bygningsintegration og æstetik	8
2.6 El-projektering	9
2.7 Ydelse	10
2.8 Økonomi	11
<b>3 OFTE STILLEDE SPØRGSMÅL</b>	<b>13</b>
<b>4 LISTE OVER FIRMAER</b>	<b>14</b>
<b>5 NYTTIGE LINKS</b>	<b>15</b>



# FORORD



EU har igangsat en række projekter, der skal medvirke til at fremme elektricitet fra vedvarende energikilder.

Projektet "RES-e for Regions" søger at nå dette mål blandt andet gennem informationsaktiviteter i et antal regioner i EU-landene. I Danmark er hovedstadsregionen udvalgt som fokusområde.

Nærværende hæfte skal ses i denne sammenhæng. Det tilbyder information, som kan være nyttig i en bred offentlighed, men vil primært rette sig mod hovedstadsregionen hvad angår referencer til firmaer og institutioner.

# 1 INDLEDNING

## 1.1 Introduktion

Nettilsluttede solcelleanlæg opfattes som regel som en nemt håndterlig teknologi, der kan introduceres i et byggeri på et vilkårligt tidspunkt – lige fra starten på planlægningen af byggeriet til længe efter byggeriets færdiggørelse.

Normalt volder solcelleanlæg heller ikke mange problemer i forhold til mange andre bygningslementer.

Alligevel kan der være god grund til at iagttage nogle forholdsregler så tidligt som muligt og gennemføre en grundig planlægning af solcelleanlægget. Adskillige solcelleanlæg fungerer alt for ringe eller slet ikke på grund af manglende omtanke eller viden hos den projekterende.

## 1.2 Formål

Formålet med hæftet er at give en lille overskuelig vejledning, som kan hjælpe projektudvikleren – hvad enten det er en privat person eller en større organisation – til at få en god start på sit projekt om integration af et nettilsluttet solcelleanlæg i en bygning i Danmark og undgå de værste faldgruber.

## 1.3 Metode og afgrænsning

Vejledningen er bygget op om et flowchart for udvikling af et solcelleprojekt. En del af udviklingsforløbet foregår i en iterativ proces.

De enkelte punkter i flowchartet omtales i nærværende skrift, men i øvrigt indgår de også i et integreret PC-værktøj, som består af en samling små regneark, tekstdokumenter og billeder, der er udviklet over en længere periode og til sammen kommer rundt om alle væsentlige aspekter ved projektering af et solcelleanlæg. Værktøjet ligger i en pakket fil, "PVprojekteringsvejledning.zip", som kan downloades fra hjemmesiden [www.solenergi.dk](http://www.solenergi.dk). Det tilbyder i et vist omfang indføring i solcelleteknik, mens nærværende skrift mere er afgrænset til kvalitative overvejelser og tjeklister.

Både teknologi, priser og energipolitik ændrer sig hen ad vejen, og det kan stærkt anbefales at søge den nyeste information inden beslutning om etablering af et solcelleanlæg tages.

Kilder til information er mange: leverandører, elinstallatører, bygningsrådgivere, energikontorer m.fl. Og ikke at forglemme internettet, der formelig bugner!



Bagerst i hæftet er lister over sådanne kilder. Kildelisterne gør ikke krav på at være komplette, men skulle være så omfangsrige og præcise, at projektudvikleren kan komme målrettet i gang.

Har man ingen erfaring i solceller må det særligt anbefales at søge råd hos en af de uafhængige rådgivere, af

hvilke der findes flere, som yder gratis rådgivning i begrænset omfang.

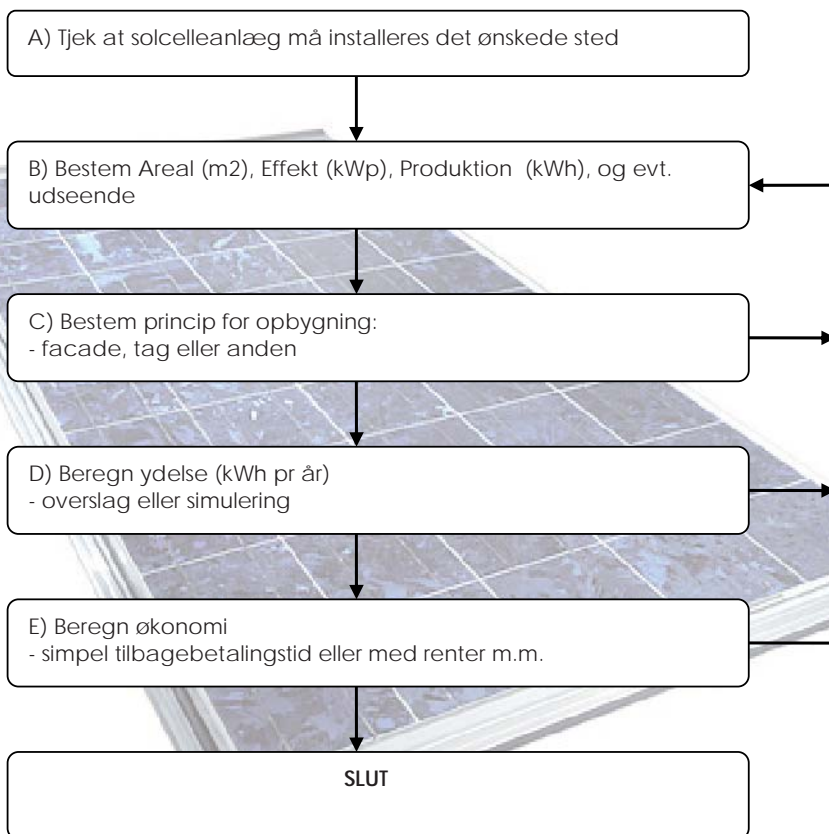
Hvis det besluttes at etablere et solcelleanlæg, er det god praksis at indhente tilbud fra 2 til 3 forskellige leverandører og få garantier for komponenter og den årlige elproduktion.

# 2 PLANLÆGNINGSPROCES

## 2.1 Flowchart

Solcelleanlæg i Danmark er normalt forholdsvis små, og myndighedsbehandling er som regel yderst beskednen, hvis overhovedet påkræ-

vet. Nedenstående flowdiagram for planlægning afspejler dette forhold. Flowchartet genfindes i det ovenfor omtalte PC-værktøj.





## 2.2 Lokalplanforhold

Planlægningsforløbet bør starte med en undersøgelse af, om der overhovedet kan opnås tilladelse til installation af et solcelleanlæg det ønskede sted.

- Hvad siger lokalplanen – specielt hvis det er i et sommerhusområde?
- Er bygningen fredet?
- Er der facadecensur eller anden bygningsrestriktion, fx i vedtægter for grundejerforening?
- Hvad siger (Småhus)reglementet mht. højdegrænseplan?

- Er bygningen lejet?
- I tvivlstilfælde, spørg relevante myndigheder som fx kommune, grundejerforening og boligforening.

## 2.3 Hældning og orientering

Vender den påtænkte flade for solcellerne fornuftigt i forhold til solindfald? For en god ydelse kan det anbefales at placere anlægget mellem sydøst og sydvest med en hældning mellem 15 og 60°, se tabellen:

<b>Solcellernes %-vise ydelse ved forskellig hældning og orientering, angivet i forhold til den ideelle placering: 45° Syd, som er 100%</b>							
Orientering	Vest	V-SV	S-SV	Syd	S-SØ	Ø-SØ	Øst
Hældning							
0 °	86	86	86	86	86	86	86
15 °	84	89	93	94	93	90	85
30 °	81	90	97	99	97	91	82
45 °	77	89	97	100	98	90	79
60 °	72	85	93	97	94	86	73
75 °	65	77	86	89	86	78	66
90 °	57	67	75	77	75	68	58

En hældning under 15 ° er u hensigtsmæssig af hensyn til selvafrensningen i regnvejr.

## 2.4 Skygger

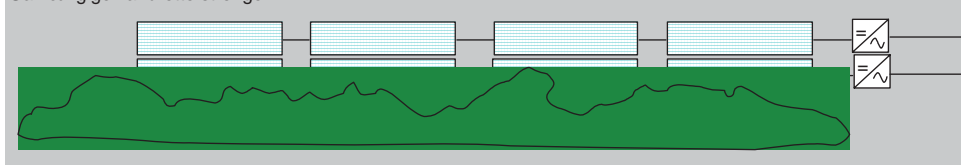
Den påtænkte flade for solcellerne skal være ensartet belyst. Selv små delskygger sænker elproduktionen fra hele arealet drastisk. Et solcellemodul, der ligger helt eller delvist i skygge, kan i værste fald give anledning til en reduceret strøm gennem samtlige andre

helt nære skyggegivere på bygningen, fx antenner og ventilationshætter? Disse overses nemt, og det kan få alvorlige følger for elproduktionen.

## 2.5 Bygningsintegration og æstetik

Bygherren kan have forskellige krav til integration og synlighed af sit solcel-

Minimering af virkning af vandrette skygger:  
Uafhængige vandrette strenger



moduler i den elektriske forbindelse, svarende til en ventil, der lukkes midt på et langt vand-rør. Flader med uensartet belysning bør derfor opdeles i separate anlæg.

Som tommelfingerregel bør ingen dele af et anlæg overhovedet rammes af skygger i sommermånederne i tidsrummet fra midt formiddag til midt eftermiddag, da en meget væsentlig del af årets solindfald sker her.

Vær særligt opmærksom på fjerne skyggegivere, der ikke syner af meget, fx skorstene, træer og flagstænger og overvej, om det er muligt eller værd at flytte eventuelle sådanne. Og hvad med

leanlæg. Det skal måske have en signalværdi og være meget synligt. Eller måske ønskes en 'usynlig' integration i arkitekturen.

Store regulære flader uden forstyrrende elementer er generelt at foretrække, både af hensyn til æstetik og ensartet belysning. Ved mindre anlæg kan dog ofte opnås et fint visuelt samspil mellem et eller to solcellemoduler og fx et vindueselement eller en kvist.

Billede 1 viser et traditionelt add-on anlæg oven på tagsten, hvor "stilbrud-det" er søgt minimeret ved placering i midten af husets længderetning og symmetrisk omkring havedøre.



**Billede 1 Traditionelt add-on anlæg oven på tagsten.**

Frie gavle med en vis afstand til nabobebyggelse er en oplagt placering for solceller. Der findes mange sådanne gavle, men den nødvendige orientering i sydlig retning begrænser naturligvis mulighederne. Udformningen kan have karakter af beklædning, hvor solcellevæggen er-

statter en normal efterisolering. Solcellerne kan også placeres som baldakiner, hvorved den energimæssigt mere optimale hældning kan udnyttes. Billede 2 viser krystallinske celler integreret i taget og tyndfilmsceller i skydedøre.

Tagflader er en anden placeringsmu-



**Billede 2 Integration af solceller. Krystallinske celler i taget og tyndfilmsceller i skydedøre**

lighed, hvor hældningen umiddelbart vil øge solcellernes ydelse, hvis orienteringen ellers er i orden. Ved flade tage kan solcellerne monteres på en stenfyldt



**Billede 3 På fladt tag kan solcellerne monteres på en ballast kasse med god hældning**

kasse for at give en god hældning, som vist på billede 3. Tagflader i den ældre boligmasse, dvs. op til omkring århundredeskiftet, er imidlertid ofte opdelt i små arealer som følge af kviste og køkentrappetårne, og det vanskeliggør en

enkel integration, med mindre der er tale om et lille anlæg.

Solcellemoduler, der af æstetiske hensyn nedfældes i bygningsfacaden, så bagsiden ikke ventileres, får en højere driftstemperatur, hvilket giver anledning til et lille fald i den årlige elproduktion.

Solceller er dækket af glas, der under uheldige omstændigheder kan give generende refleksioner, så sørg for at undgå dette – også for naboens skyld!

## 2.6 El-projektering

Anlægget opbygges normalt af et antal solcellemoduler koblet i serie. Modulernes effekt anføres i enheden kWp (p = peak), som er målt under nogle givne standardbetingelser.

Sørg altid for, at modulerne i serien har fuldstændig ens elektriske egenskaber, da den samlede ydelse bestemmes af "svageste fællesnævner".

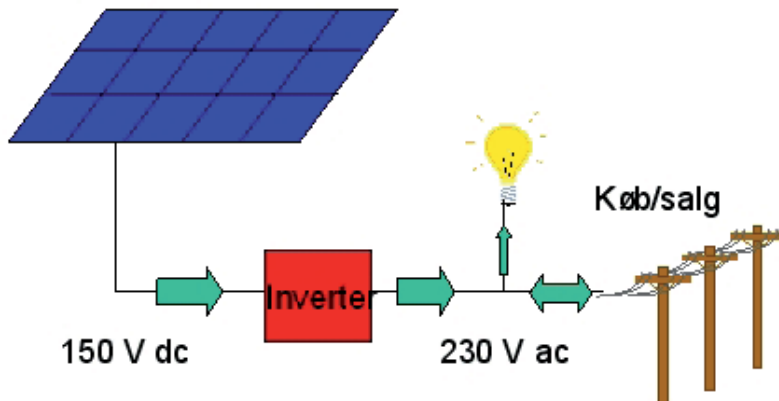
Serieforbindelsens spænding, som er summen af modulernes spændinger, må ikke overstige den af modulfabri-

**Med hensyn til æstetik og synlighed kontra effektivitet kan følgende oversigt over de vigtigste solcelletyper være nyttig:**

Type	Monokrystallinsk	Polykrystallinsk	Amorft/tyndfilm
Farve	Sort/mørkegrå/blålig	Blålig, changerende	Sort/mørkebrun
Udbytte	Ca. 120 kWh/m <sup>2</sup> /år	Ca. 100 kWh/m <sup>2</sup> /år	Ca. 50 kWh/m <sup>2</sup> /år



# Anlæg til netforsyning



kanten anførte systemspænding, typisk 600 til 1000 Vdc (jævnspænding).

Jævnstrømmen fra de serieforbundne moduler omsættes til vekselstrøm i en inverter (også kaldet vekselretter).

Med kendskab til samlet moduleffekt og spænding vælges en inverter. Inverterens nominelle effekt vælges typisk som 75 til 100 % af modulernes samlede nominelle effekt for at få det bedste pris-/ydelsesforhold.

Hver type inverter har et arbejdsvindue for den tilførte jævnspænding fra serieforbindelsen af moduler. Antallet af en given type solcellemoduler bestemmes derfor i nogen udstrækning af den valgte type inverter.

Som det ses er der tale om en iterativ proces, hvor man må prøve at få moduleometri og elteknik til at gå op i en højere enhed under hensyntagen til de givne belysningsforhold.

## 2.7 Ydelse

Ønsker man en bestemt del af sit årlige elforbrug dækket med solceller kan arealet tilpasses ved at vælge mere eller

mindre effektive celler. Prisen pr Wp er næsten uafhængig af effektiviteten.

Som tommelfingerregel kan et veldimensioneret dansk nettilsluttet solcelleanlæg installeret under optimale forhold (mod syd, hældning ca. 45 grader, uden skygger, fri luft omkring modulerne) producere ca. 850 kWh pr kWp. Dette afhænger kun i mindre grad af den valgte solcelleteknologi. Afviger hældning eller orientering fra det ideelle, kan tabellen i afsn. 2.3 anvendes til overslagsmæssig justering.

Hvis anlægget er ukompliceret (ensartet belysning), kan et lidt mere præcist overslag udføres med regnearket PVydelse, som er integreret i det tidligere omtalte PC-værktøj. Heraf fremgår de faktorer, som giver sammenhængen mellem areal, installeret effekt (kWpeak) og resulterende elproduktion.

Hvis anlægget rammes af skygger, og der er behov for et præcist estimat af ydelsen, må et avanceret simuleringsprogram anvendes, og dette kræver normalt ekspertviden.

## 2.8 Økonomi

Økonomien i et solcelleanlæg er karakteriseret ved en meget høj investering og efterfølgende meget små løbende udgifter, eftersom der ikke forbruges materialer eller slides dele i driftsfasen.

Der regnes normalt med en levetid på 20 år og evt. et beskedent årligt fald i elproduktionen fra anlægget. Seriøse modulproducenter garanterer typisk, at anlægget efter 20 år producerer mindst 80 % af ydelsen ved leveringstidspunktet.

Modulprisen udgør i størrelsesorden typisk 70 % af den samlede anlægspris.

Staten yder p.t. (2006) ikke anlægstilskud, så en solcelleinvestering er stadig forholdsvis dyr.

For private solcelleanlæg op til 6 kWp kan anvendes den såkaldte nettoafregningsordning ved den økonomiske opgørelse mellem anlægsejer og elsel-

skab. En sommerdag producerer et typisk villaanlæg mere end dagsforbruget af el. Overskuddet sendes ud på elnettet, idet elmåleren løber baglæns. Om natten og om vinteren hentes strømmen hjem igen, mens elmåleren løber den normale vej. På årsbasis afregnes kun den nettoforbrugte strøm. Ordningen tillader ikke årlig nettoeksport til elnettet, så man kan ikke ligefrem tjene penge hos elskabet.

Eksemplets D&V på 0 kr/år er måske ikke helt realistisk. Men til gengæld er en elprisstigning højere end stigningen i det almindelige prisindeks absolut sandsynlig, og det virker jo til fordel for anlægsøkonomien.

Hvis der ønskes gennemført en mere detaljeret og professionel vurdering af økonomien, kan man anvende regnearket PVøkonomi, som er integreret i det omtalte PC-værktøj.

### Eksempel på privat anlæg med nettoafregning:

Anlægsinvestering uden tilskud for et anlæg på 1 kWp (ca. 10 m <sup>2</sup> ):	50.000 kr
Årlig elproduktion:	850 kWh
Værdi af strøm:	1,5 kr/kWh
Drift og vedligehold:	0 kr/år
=> simpel tilbagebetalingstid:	$50.000 / (850 * 1,5) = 39,2$ år

# 3 OFTE STILLEDE SPØRGSMÅL

## 3.1 Belaster solceller på nogen måde miljøet?

Gængse typer solcellemoduler (krystallinsk og amorf silicium) består af materialer, der kun i meget ringe grad kan skade miljøet. Sjældent benyttede typer solceller kan indeholde en smule tungmetaller. Fremstillingen af solceller er kompliceret og indebærer anvendelse af giftige stoffer i processen, men dette sker i lukkede kredsløb under kontrollede forhold. Da solceller desuden ikke forbruger stoffer i driftsfasen, regnes de for en særdeles miljøvenlig teknologi til elproduktion.

## 3.2 Hvad er levetiden på solceller og falder ydelsen med tiden?

Solceller har ingen bevægelige dele og indbygges i moduler bestående af meget vejrbestandige materialer, så levetiden er sammenlignelig med de øvrige bygningskomponenters. Moduler med krystallinske celler sælges i dag ofte med 5 års garanti mod produktfejl og 25 års garanti på ydelsen (fx maks. 20 % fald i den garanterede ydelse på leveringstidspunkt). Selve de krystallinske celler ældes stort set ikke, men indkapslingsmaterialerne nedbrydes langsomt af solen. Moduler med tyndfilmsceller

har en højere degradering af ydelsen, men ikke mere, end at levetiden stadig er meget lang.

## 3.3 Hvad er energitilbagebetalingstiden på solceller ?

Det koster energi at spare på energien! Under danske forhold skal man regne med, at et optimalt installeret solcelleanlæg skal være i drift op til 3-4 år for at genvinde den primære energi – og den dertil knyttede forurening med CO<sub>2</sub> og andre stoffer – som medgik til fremstillingen af systemet. I takt med udviklingen af mere rationelle produktionsprocesser forventes dette tal at falde meget, især når nye typer celler bliver kommercielt modne.

## 3.4 Kan det betale sig at lave en mekanik, så solcellerne følger solens gang over himlen?

Sollyset fordeles sig på direkte og diffus (dvs. ikke-retningsbestemt) stråling. En stor del af sollyset i Danmark er diffust, nemlig ca. halvdelen. Da en solfølgemechanisme kun vil forøge elproduktionen på dage med klart solskin, og da mekanikken både er dyr og vedligeholdelseskrævende, giver det ingen mening at anvende dette princip i Danmark.

# 4 LISTE OVER FIRMAER

Firma	Profil	Website
<b>Producenter / leverandører</b>		
Gaia Solar	Solcellemodulbygger og systemleverandør	<a href="http://www.gaiasolar.dk">www.gaiasolar.dk</a>
Racell	Solcellemodulbygger og systemleverandør	<a href="http://www.racell.dk">www.racell.dk</a>
Powerlynx	Producent af invertere til nettilslutning	<a href="http://www.powerlynx.dk">www.powerlynx.dk</a>
Dansk Solenergi RI	Rådgivende ingeniør og leverandør af solceller og andre VE-komponenter	<a href="http://www.dansksolenergi.dk">www.dansksolenergi.dk</a>
Grenaa Marine	Leverandør af solceller og systemer	<a href="http://www.grenaa-marine.dk">www.grenaa-marine.dk</a>
<b>Installatører</b>		
Københavns Energi	Elselskab og KSOinstallatør	<a href="http://www.ke.dk">www.ke.dk</a>
Avedøre Holmes El A/S	KSO-installatør	<a href="http://www.ah-el.dk">www.ah-el.dk</a>
N.H. Installation A/S	KSO-installatør	<a href="http://www.nh.dk">www.nh.dk</a>
<b>Konsulenter</b>		
Teknologisk Institut / SolenergiCentret	Prøvestation for solceller. Rådgiver gratis i mindre omfang	<a href="http://www.solenergi.dk">www.solenergi.dk</a>
Energitjenesten	Rådgiver gratis i mindre omfang	<a href="http://www.energitjenesten.dk">www.energitjenesten.dk</a>
Københavns Energi- og Miljøkontor	Rådgiver gratis i mindre omfang	<a href="http://www.kmek.dk">www.kmek.dk</a>
Esbensen	Rådgivende ingeniør	<a href="http://www.esbensen.dk">www.esbensen.dk</a>
Cenergia	Rådgivende ingeniør	<a href="http://www.cenergia.dk">www.cenergia.dk</a>



# 5 NYTTIGE LINKS

<a href="http://www.solenergi.dk">www.solenergi.dk</a>	Dansk solenergiportal vedligeholdt af Teknologisk Institut. Indeholder bl.a. en database over alle danske nettilsluttede solcelleanlæg
<a href="http://www.sol1000.dk">www.sol1000.dk</a>	Dansk projekt for udbredelse af solceller gennem opsætning af 1000 anlæg primært på boliger
<a href="http://www.solarCity.dk">www.solarCity.dk</a>	Solar City Copenhagen arbejder for, at København bliver demonstrationsområde for solenergianlæg og energioptimeret byggeri
<a href="http://www.solstroem.dk">www.solstroem.dk</a>	Portal for solceller, hvor private anlægsejere kan udveksle erfaringer og lægge data ind
<a href="http://www.kmek.dk">www.kmek.dk</a>	Københavns Miljø- og Energikontor, KMEK, er en selvstændig forening hvis formål er at fremme en bæredygtig udvikling i hovedstadsregionen
<a href="http://www.kso-ordning.dk">www.kso-ordning.dk</a>	Portal for kvalitetssikringsordning vedrørende installation og service indenfor områderne biobrændselsanlæg, solvarme og solcelleanlæg
<a href="http://www.energitjenesten.dk">www.energitjenesten.dk</a>	Yder uvildig og gratis energirådgivning, primært energibesparelser og vedvarende energi. Finansieret af elselskabernes brancheorganisation, ELFOR
<a href="http://www.solarintegration.de">www.solarintegration.de</a>	Tysk solcelleportal med masser af nyttig information om solceller i byggeri
<a href="http://www.pvportal.com">www.pvportal.com</a>	Hollandsk solcelleportal
<a href="http://www.solarbuzz.com">www.solarbuzz.com</a>	Solenergiportal drevet af en amerikansk forsknings- og konsulentvirksomhed.

Projektets hovedhjemmeside, [www.res-regions.info](http://www.res-regions.info)  
Projektets danske hjemmeside, [www.solenergi.dk/cph-rese](http://www.solenergi.dk/cph-rese)



**STØTTET AF**

**Intelligent Energy**  **Europe**

*Ansvaret for indholdet af denne publikation påhviler alene forfatteren. Det udtrykker ikke Den Europæiske Kommissions holdning, og den er uden ansvar for enhver anvendelse af de heri indeholdte informationer.*





**TEKNOLOGISK**  
**INSTITUT**

[www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk)