

Solceller – energibesparelse og samfundsøkonomi

Dansk Solcelleforening
TEKNIQ
VEbyg
DS Håndværk & Industri

Indholdsfortegnelse

1. Introduktion og kort sammenfatning	2
2. Energibesparelser ved solcelleanlæg	4
2.1. Decentrale solcelleanlæg kan betragtes som energisparetiltag	4
2.2. Fremtidigt udbygningsscenarie for solcelleanlæg i Danmark	7
2.3. Estimering af bidraget fra solcelleanlæg til Danmarks forpligtelser under energisparedirektivet	10
2.3.1. Fortrængning af marginal el-produktion ved eget forbrug	10
2.3.2. Fortrængning af marginal el-produktion ved el leveret til nettet	12
2.3.3. Ændret energiadfærd og additional spare-effekt	12
2.3.4. Estimering af samlet besparelse i primærenergiforbruget i 2020	13
3. Samfundsøkonomisk vurdering af solcelleanlæg	15
3.1. Omkostningerne ved solceller	15
3.1.1. Review af Klimakommissionens vurdering af solcelleanlæg	15
3.1.2. Sammenligning med omkostninger ved andre el-produktionsteknologier	18
3.1.3. Omkostninger ved CO ₂ -reduktion for solcelleanlæg	19
3.2. Værdiskabelse ved solcelleanlæg	20
3.2.1. Værdien af opnåede CO ₂ -reduktioner og andre miljøfordele	20
3.2.2. Markedsværdien af den producerede el fra solcelleanlæg	21
3.2.3. Mere energibevidst forbrugsadfærd	22
3.2.4. Værdien af et mere balanceret energisystem	22
3.2.5. Oversigt over omkostninger og gevinster ved solcelleanlæg	23
3.2.6. Beskæftigelseseffekter forbundet med solcelleanlæg	24
Bilag A – Økonomiske forudsætninger i tidligere undersøgelser	28
Bilag B – Anvendte økonomiske forudsætninger for solcelleanlæg	28
Bilag C – Sammenligning af LCOE for forskellige vedvarende el-produktionsformer	31
Bilag D – Beskæftigelse i den tyske solcelleindustri	32

1. Introduktion og kort sammenfatning

Deloitte har af Dansk Solcelleforening, TEKNIQ, VEbyg og DS Håndværk & Industri fået til opdrag at gennemføre en analyse af, om solcelleanlæg i private husholdninger kan betragtes som energibesparelser, og i givet fald hvor store energibesparelser, de medfører for samfundet. Deloitte har desuden fået til opdrag at foretage en samfundsøkonomisk vurdering af solceller sammenlignet med alternative marginale indsatser til reduktion af CO₂ udslippet.

Den gennemførte analyse af solcelleanlæg er afgrænset til små solcelleanlæg i husholdningssektoren, der er dimensioneret med henblik på husholdningernes eget elforbrug.

Analysen, der afrapporteres i nærværende notat er baseret på dokumentationsindsamling fra en lang række kilder, herunder lovgivning, administrationspraksis, sekundære kilder i form af tidligere analyser af problemstillingerne fra toneangivende internationale og nationale organisationer samt primære datakilder vedr. energifremskrivninger, omkostninger og afledte effekter i forbindelse med solcelleanlæg.

Der er tale om en analyse gennemført efter Deloitte's sædvanlige uafhængighedsstandarder. Deloitte er, under forbehold for eventuelle fejl og mangler i de anvendte datakilder, ansvarlig for rapportens analyser og konklusioner. Tidligere rapportudkast har været gennem kommenteringsrunder hos en række personer i solcellebranchen, energiforsyningsbranchen, byggebranchen samt energisystemeksperter.

I kapitel 2 argumenteres for, hvorfor små solcelleanlæg som husholdningerne selv investerer i til at dække deres eget elforbrug også er et energisparetiltag, og det opgøres hvor store de opnåede energibesparelser har været i 2012 og hvordan de forventes at udvikle sig frem mod 2020. Energibesparelserne sættes i forhold til Danmarks forpligtelser under energisparedirektivet.

I Kapitel 3 opgøres de samfundsøkonomiske omkostninger ved solcelleanlæg og omkostningseffektiviteten sammenlignes med andre alternativer til CO₂-reduktioner. I den første del af kapitlet gennemføres en analyse af omkostningerne opgjort i kr./kWh ved solcelleanlæg nu og frem mod 2050. I den anden halvdel af kapitlet belyses den afledte værdiskabelse ved solcelleanlæg, herunder de miljømæssige værdier, værdien af el-produktionen og den mere energibevindte adfærd, samt værdien af et mere balanceret energisystem. Disse afledte værdier forsøges så vidt muligt kvantificeret i kr./kWh og

der foretages en samlet opgørelse af de omkostninger og gevinster, der kan måles i kr./kWh. Endelig foretages en vurdering af den afledte beskæftigelseseffekt ved udbygning med solceller.

Bilag A-D indeholder supplerende dokumentation og uddybninger

Deloitte fremlægger i rapporten dokumentation for, at investeringer i decentrale solcelleanlæg kan betragtes som energisparetiltag, der i betydelig grad bidrager til Danmarks forpligtelser om at spare på primærenergiforbruget som led i EU's nye Energisparedirektiv. Samtidig er private solcelleanlæg selvfølgelig også en VE-produktionsform, der bidrager til den kollektive elforsyning i de perioder, hvor husholdningerne ikke selv forbruger hele produktionen. Den periodevis overskydende el-produktion fra husholdningernes solcelleanlæg er imidlertid nyttig for samfundet, fordi den typisk falder i de perioder af dagen, hvor elforbruget er højt, og den del af året, hvor der går meget kondensproduktion til spilde ved marginal elforsyning fra de centrale værker.

Deloitte når frem til, at der ved en udbygning af solcellekapaciteten i Danmark til ca. 1500 MW i 2020 (svarende til ca. 4 pct. elforbruget til den tid) vil kunne opnås en besparelse på 12-13 PJ i primærenergiforbruget i den centrale el-produktion. Besparelsen vil udgøre 7 PJ i Danmarks nettoforbrug af primærenergi, når solcellernes egen energiværdi er fratrukket. Dette vil være et betydeligt bidrag til Danmarks målsætninger under Energisparedirektivet.

Deloitte viser endvidere, at Klimakommissionens rapport og tilhørende scenarieberegninger ikke giver et retvisende billede af den forventede fremadrettede omkostningseffektivitet af solceller set i forhold til, hvad de toneangivende internationale kilder på området forventer, og henset til de senere års udvikling i prisen på solceller.

Den gennemførte samfundsøkonomiske analyse viser således, at solcelleanlæg indenfor en overskuelig tidshorisont på under 10 år må forventes at blive konkurrencedygtig med alternative VE-teknologier til opnåelse af Danmarks klimamålsætninger. Der fremlægges endvidere dokumentation for, at de afledte samfundsmæssige værdier af solcelleanlæg er betydelige, og formentlig allerede i 2020 overstiger de samfundsmæssige omkostninger ved produktion af solceller.

Udover de gavnlige samfundsmæssige effekter mht. reduceret miljøbelastning, mere energibevidst adfærd og højere marginalværdi af den producerede el pga. den gunstige periodiske fordeling af el-produktionen fra solceller, omfatter fordelene også solcellernes bidrag til et mere balanceret energisystem med mindre overproduktion af el i peak perioder, og omvendt højere forsyningssikkerhed i vindstille perioder, end hvis VE-el-produktionen næsten alene var baseret på vind.

Endelig er der en betydelig beskæftigelseseffekt forbundet med udbygning med solceller, der på basis af de tyske erfaringer kan opgøres til mellem 5 og 12 fuldtidsjob pr. MW i udbygningsintervallet 200 – 1500 MW. Den aktuelle solcelle-relaterede beskæftigelse i Danmark estimeres til ca. 4.000 jobs.

2. Energibesparelser ved solcelleanlæg

Er små solcelleanlæg i husholdningssektoren en energibesparelsesforanstaltning, en decentral form for vedvarende energiproduktion, eller eventuelt begge dele? Spørgsmålet er vigtigt for hvordan vi anskuer det fremadrettede behov for små solcelleanlæg som husholdningerne selv investerer i til at dække deres eget elforbrug, og de støtteordninger, der anvendes til at fremme denne form for vedvarende energi.

Deloitte fremlægger i nedenstående afsnit dokumentation for, at investeringer i decentrale solcelleanlæg kan betragtes som energisparetiltag, der i betydelig grad bidrager til Danmarks forpligtelser om at spare på primærenergiforbruget som led i EU's nye Energisparedirektiv. Samtidig er private solcelleanlæg selvfølgelig også en VE-produktionsform, der bidrager til den kollektive elforsyning i de perioder, hvor husholdningerne ikke selv forbruger hele produktionen. Den periodevis overskydende el-produktion fra husholdningernes solcelleanlæg er imidlertid nyttig for samfundet, fordi den typisk falder i de perioder af dagen, hvor elforbruget er højt, og den del af året, hvor der går meget kondensproduktion til spilde ved marginal elforsyning fra de centrale værker.

2.1. Decentrale solcelleanlæg kan betragtes som energisparetiltag

Når det skal vurderes om små solcelleanlæg i husholdningssektoren kan betragtes som energisparetiltag, decentral vedvarende energiproduktion, eller eventuelt begge dele, må der først ses på, hvilken status de har i den gældende lovgivning.

Det centrale retsgrundlag vedr. energibesparelser i Danmark er *Lov om fremme af besparelser i energiforbruget*, som for en stor dels vedkommende er baseret på loven fra 31. maj, 2000 – dog med senere ændringer i lovens omfang og indhold.¹

¹ Den aktuelt gældende lov på området, der blev introduceret i 2005 er benævnt *Lov om statsstilskud til produktrettede energibesparelser og lov om afgift af elektricitet og om ophævelse af lov om Elsparefonden*.

Ifølge dette regelsæt omfatter energibesparelser også reduktion i energianvendelsen som følge af VE-anlæg til bygningers egen forsyning med energi. I lovens § 2 står således at: "Loven finder anvendelse på effektivisering og reduktion af energianvendelsen i produkter, anlæg, processer og bygninger, herunder anlæg til bygningers egen forsyning med energi..."

I bemærkningerne til lovforslaget er det imidlertid præciseret at: "Energieffektivisering i bygninger vil især rette sig mod isolering og anlæg til bygningens egen opvarmning og forsyning med varmt brugsvand, dvs. fjernvarmevekslere, centralfyr m.v. Loven omfatter tillige lokale vedvarende energianlæg (solfangere, biobrændselsanlæg), som alene forsyner den enkelte bygning, men ikke anlæg, der leverer deres produktion eller en overskudsproduktion af elektricitet eller fjernvarme til kollektive forsyningssystemer."

Det følger heraf, at solenergi-anlæg udgør et grænsetilfælde, hvor solfangeranlæg til opvarmningsformål falder indenfor loven, og dermed er klassificeret som et energisparetiltag, mens solcelleanlæg, der er koblet op på el-nettet ikke falder indenfor loven (selvom de for en stor dels vedkommende forsyner den bygning, de er integreret med).

Det forhold, at solcelleanlæg ikke falder indenfor loven om fremme af besparelser i energiforbruget, fordi de leverer en del el-produktionen til kollektive forsyningssystemer, har imidlertid ikke været noget hindring for, at de i administrationsgrundlag indenfor en række forvaltningsområder, har status af energisparetiltag.

Et eksempel herpå er, at solcelleanlæg i følge de gældende retningslinjer for energiselskabernes energispareindsats – der udgør et af de centrale indsatsområder i Danmarks samlede strategi for energibesparelser – godskrives som energibesparelser. Hvis energiselskaberne kan dokumentere, at de gennem tilskudsordninger, oplysningskampagner o.l. har haft indflydelse på installeringen af solcelleanlæg, kan de således medregne det til deres opnåede energibesparelser ud fra standardværdier for den samlede besparelse i bruttoenergiforbruget, der opnås ved solcelleanlæg.

Et andet eksempel herpå er bygningsreglementet og de gældende vejledninger i anvendelsen af dette samt reglerne om energimærkning. Det følger af bygningsreglementets Kap. 7.2.1, Stk. 2. "Bygninger skal udformes, så energibehovet efter stk. 1 ikke overstiger energirammen i kap. 7.2.2 og 7.2.3.". Energirammen omfatter bygningens samlede behov for tilført energi, inklusive elektricitet til opvarmning, belysning mv. Det fremgår endvidere af vejledningen til stk. 2, at der ved beregning af energibehovet kan tages højde for de besparelser i behovet for tilført energi i form af brændsler og elektricitet, der følger af "anvendelse af solvarme, solceller, varmepumper, minikraftvarme-anlæg, kondenserende kedler, fjernvarme, fjernkøling, grundvandskøling, anvendelse af varmegenvinding samt køling med ventilation om natten.

Solcelleanlæg bidrager således efter de gældende regler til, at bygninger bliver bedre i stand til at overholde bygningsreglementets krav om energieffektivitet og dermed til en mere favorabel energimærkning.

Et tredje eksempel på at solcelleanlæg ansues som energibesparelser er den administrative udformning af nettomålerordningen, hvorefter den del af

husholdningens samlede elforbrug, der ikke overstiger produktionen fra solcelleanlægget fritages for elafgifter. Ordningen er således baseret på en anskuelse om, at solcelleanlæg indebærer en nettobesparelse i forhold til den centrale el-produktion og det dertil knyttede primære energiforbrug.

Der er således en række eksempler på, at solcelleanlæg i dansk administrationspraksis har status af energibesparelser, mens de i modsætning til solvarmeanlæg ikke har status som sådan i den grundlæggende lov på området. Af hensyn til at skabe et fælles udgangspunkt og klare retningslinjer for den fremadrettede regulering og administrationspraksis på området ville det efter Deloitte's vurdering være oplagt at få præciseret lovgivningen. Det bør således afklares hvor vidt, og under hvilke kriterier, solcelleanlæg og andre VE-anlæg, hvis primære formål er, at producere el, der dækker husholdningens eget forbrug, men som i nogle perioder leverer overskydende el-produktion til nettet, og som i andre perioder ikke dækker husholdningens eget elforbrug, kan betragtes som energisparetiltag.

Der er efter Deloitte's vurdering flere grunde til at betragte solcelleanlæg, hvis kapacitet er dimensioneret til husholdningernes eget forbrug, som energisparetiltag:

- Sådanne solcelleanlæg indebærer en reel og betydelig besparelse i Danmarks bruttoenergiforbrug, idet de fortrænger produktion fra de danske kondens- og udtagsværker, og dermed reducerer forbruget af primære brændsler såsom kul, naturgas og olie. Som følge af den begrænsede energieffektivitet i den centrale el-produktion (ca. 45 pct. i den marginale kondensdrift), og tabet i el-nettet, opnås der således en stor reduktion i det primære energiforbrug, og dermed bruttoenergiforbruget, når en del af el-behovet i stedet leveres af solcelleanlæg. Dermed bidrager de positivt til Danmarks EU-forpligtelser, herunder ift. det nye energisparedirektiv (jf. beregningerne i afsnit 2.3)
- Når private husholdninger investerer i egne solcelleanlæg under nettomålerordningen har det desuden en additional effekt i form af en reduktion, der har været estimeret til i størrelsesorden 7-18 pct. af deres samlede elforbrug (uddybes i afsnit 2.3). Forklaringen er, at ejerskabet til og driften af det el-producerende solcelleanlæg øger bevidstheden om værdien af at holde elforbruget nede. Nettomålerordningen giver desuden et særligt incitament til at undgå, at forbruget overstiger egen produktion med deraf følgende højere priser inklusive elafgifter på den del, der overstiger eget forbrug.

Hvis der skal sikres besparelser i husholdningernes elforbrug, forstået som deres træk på den energitunge centrale el-produktion, er private solcelleanlæg, således et reelt alternativ til andre elforbrugsreducerende foranstaltninger såsom mere energieffektive husholdningsapparater, renovering med henblik på reduceret forbrug af elvarme, varmepumper, mv.

Det forhold, at solcelleanlæg dimensioneret til husholdningens eget forbrug altid i perioder om sommeren vil indebære overskydende el-produktion, som udnyttes ved at forsyne det kollektive forsyningsnet, ændrer efter Deloitte's vurdering ikke på det faktum, at solcelleanlæg bidrager med reelle energibesparelser, jf. ovenstående, og derfor bør betragtes som energisparetiltag.

På den anden side bidrager solcelleanlæg selvfølgelig også til den samlede produktion af vedvarende energi i Danmark, og solcelleanlæg må derfor anses som en speciel kategori af VE-energisparetiltag i husholdningerne.

Deloitte har foretaget en overordnet gennemgang af EU-lovgivningen og finder ikke, at der i de centrale direktiver på området – fx om energieffektivitet og energimærkning på bygningsområdet, vedvarende energi og udkastet til lovtæksten til det nye energisparedirektiv – er noget til hinder for, at betragte små VE-anlæg som energisparetiltag. Faktisk er EU-lovgivningen, inklusive det nye energisparedirektiv, kendetegnet ved mangelen på en klar definition af energibesparelser, samt hvilke tiltag, der er omfattet heraf.

2.2. Fremtidigt udbygningsscenarie for solcelleanlæg i Danmark

Nedenfor fremlægges forudsigelser og antagelser vedrørende udbygningen med solcelleanlæg i Danmark, der anvendes i forbindelse med beregningerne af potentielle energibesparelser i afsnit 2.3 og de samfundsøkonomiske beregninger i kapitel 3.

Udbygningen med private solcelleanlæg afhænger i høj grad af økonomien i et solcelleanlæg. I Kapitel 3 samt bilag A og B er der foretaget en nøje gennemgang af grundlaget for opgørelsen af de totale omkostninger pr. kWh for solcelleanlæg fra nu og frem mod 2050.

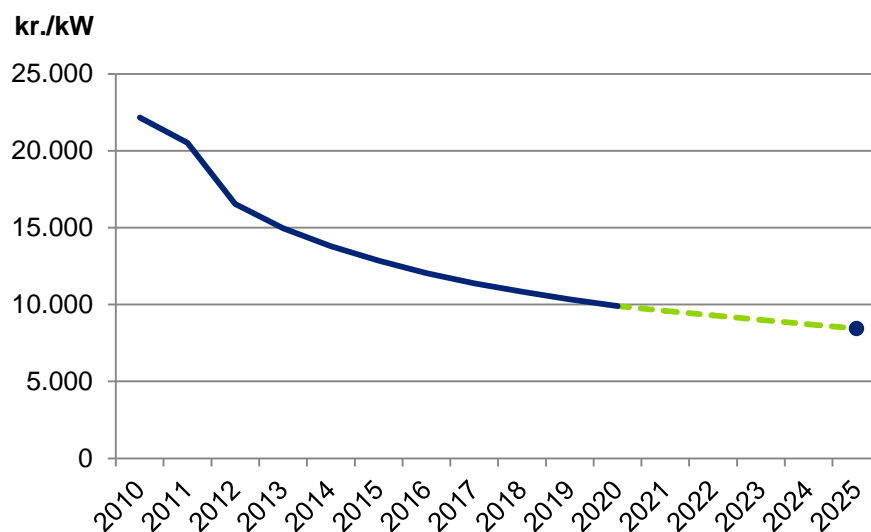
Der har været meget kraftige fald i omkostningerne til solcelleanlæg over de sidste 10 år. Flere analyser rapporterer om læringskurver på 20 pct., hvilket betyder, at prisen falder med 20 pct. hver gang produktionen fordobles.² I Figur 1 er udviklingen i anlægsprisen for solceller fra 2010 frem til 2025 angivet. Fremskrivningen er foretaget i 2012 af Bloomberg New Energy Finance (BNEF) på basis af aktuelle erfaringsdata og antagelser om udviklingen.

I 2012 var der tale om en meget kraftig stigning i den installerede kapacitet for solcelleanlæg i Danmark. Fra en kapacitet på ca. 17 MW ved udgangen af 2011 blev der ifølge tal fra energinet.dk i løbet af de første otte måneder af 2012 installeret yderligere 100 MW, hvilket betød at den samlede kapacitet nåede op på 117 MW. Den kraftige stigning er fortsat i september og oktober og det forventes på baggrund heraf, at den samlede installerede kapacitet i 2012 når op på mindst 200 MW.³

² Se blandt andet IEA (2010), *Technology roadmap* og EPIA (2011), *Photo Voltaics competing in the energy sector*.

³ Energinetdk's seneste prognose.

Figur 1. Fremskrivning af anlægsprisen på solceller til husholdninger frem til 2025.



Note: Den stiplede linie mellem 2020 og 2025 indikerer, at der ikke er estimater for de mellemliggende år, altså for 2021-2024.

Kilde: BNEF (2012) Global trends in clean energy investment

Den fremadrettede private udbygning med solceller afhænger af en lang række faktorer, herunder udviklingen i markedsprisen på solcelleanlæg, støtteordninger og andre politiske indgreb samt udviklingen i forbrugernes præferencer sammenholdt med designmæssig udvikling af solcellemodulerne. Afhængigheden af disse markeds- og politiske udviklingsfaktorer gør det vanskeligt at forudsige udbygningstakten for solcelleanlæg i Danmark.

Med henblik på at beregne solcellers potentiale i forhold til energisparedirektivet og de samfundsøkonomiske omkostninger ved solcelle-el, er det dog nødvendigt at opstille et begrundet scenarie for den fremtidige udvikling i solcellekapaciteten i Danmark.

Deloitte har valgt at tage udgangspunkt i en mellemting mellem basisscenariet og det høje scenarie fra Dansk Energis analyse fra juni 2012 af mulige scenarier for udbygningen af solceller i Danmark frem til 2030⁴, som til dels er baseret på den ovenfor viste prisudvikling for solcelleanlæg fra Bloomberg New Energy Finance.

Deloitte vurderer dog i lyset af den voldsomme vækst der har været i anden halvdel af 2012, hvor den faktiske udvikling allerede har overgået det høje scenarie samt de seneste års tendenser til hastige reduktioner i prisen for solceller, at væksten de nærmeste år frem mod 2020 vil blive kraftigere end Dansk Energi har antaget i såvel basisscenariet som det høje scenarie.

Deloitte antager således, at den installerede solcellekapacitet uden problemer vil kunne nå op på 1500 MW, hvilket er højere end de ca. 1.300 hhw.

⁴ Dansk Energi, Energinet.dk og Dong Energy (2012) Scenarier for solcelle udrulning i Danmark

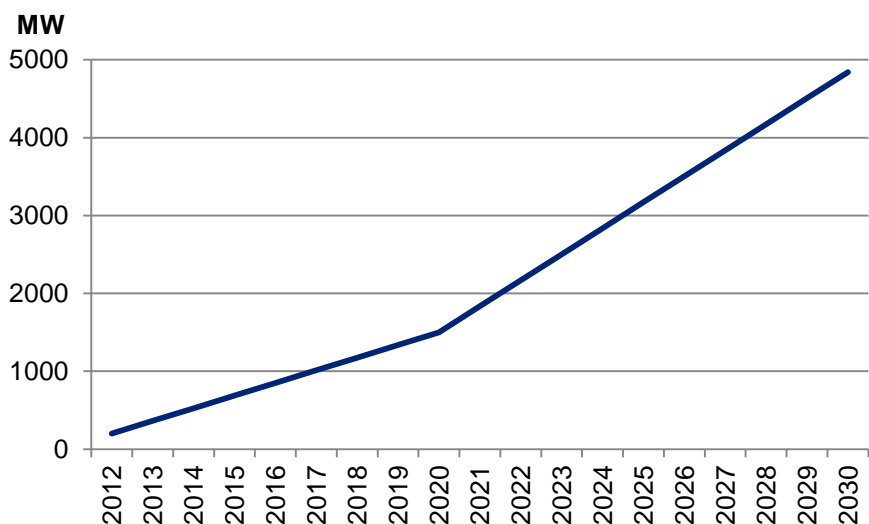
1.000 MW i Dansk Energis scenarier. De 1500 MW svarer til ca. 4 pct. af Danmarks traditionelle elforbrug i 2020, jf. *Danmarks Energifremskrivning* fra Energistyrelsen. Ud fra en energisystembetragtning vurderes der ikke at være nogen problemer med en sådan vækst i solceller frem mod 2020; tværtimod er det teknisk bæredygtige niveau langt højere (se afsnit 3.2.4 for nærmere overvejelser om den hensigtsmæssige andel af solceller).

I fastlæggelsen af det videre udbygningsscenarie frem mod 2030 har Deloitte i endnu højere grad taget hensyn til, hvor stor en andel solceller *bør* udgøre af den samlede danske elforsyning fra vedvarende energikilder ud fra et teknisk-økonomisk hensyn om at begrænse spild fra overproduktion af vedvarende energi. Energisystemeksperter har således vurderet, at solceller med fordel kan levere mindst 20 pct. af den samlede el-produktion fra VE-kilder og dermed føre til væsentligt bedre energiudnyttelse end hvis VE-elproduktionen var baseret næste udelukkende på vindenergi. Set i forhold til regeringens VE-målsætninger, herunder at vindkraft skal levere 2/3 af det traditionelle elforbrug i 2030, svarer deres argument til, at der med den forventede udvikling i anlægseffektiviteten bør være installeret ca. 4.800 MW solceller i 2030.

Deloitte foreslår på denne baggrund et videre udbygningsscenarie, der går fra 1500 MW i 2020 til 4800 MW i 2030. Resultatet på 4800 MW i 2030 ligger mellem basisscenariet og det høje scenarie i Dansk Energis fremskrivning i af solcellekapaciteten. Det resulterende udbygningsscenarie fremgår af

Figur 2 nedenfor.

Figur 2. Scenarie for udbygning af solcellekapaciteten



Kilde: Deloitte's vurderinger i forlængelse af Dansk Energi, Energinetdk og Dong Energy (2012) "Scenarier for solcelle udrulning i Danmark"

Det bemærkes, at figuren er udtryk for den samlede udvikling i solcellekapaciteten, dvs. fra både små solcelleanlæg i husholdningerne og større fælles eller industrielle solcelleanlæg

Ovenstående skal ses i lyset af, at der er plads til, at en meget en betydelig andel af de danske boliger kan tilsluttes private solcelleanlæg uden at 0,4 kV-

nettet bliver udfordret med hensyn til at overholde spændingskriterierne. En rapport fra Dansk Energi fra juli 2012 viser således, at selv ved en meget høj solcellepenetration på 50 pct. af boligerne (hvilket ligger langt over ovenstående udbygningsscenarie, hvor solcellepenetrationen ikke når over 20 pct. i 2030) vil det kun være en meget lille del af 0,4 kV udføringerne, hvor der kræves en indsats for at overholde grænsen for spændingsvariation.⁵

2.3. Estimering af bidraget fra solcelleanlæg til Danmarks forpligtelser under energisparedirektivet

I dette afsnit opgøres den samlede produktion af solcelle-el ud fra den forventede kapacitet ved udgangen af 2012, samt hvilken energibesparelse denne produktion resulterer i. For at simplificere beregningerne og fokusere på det mulige bidrag fra solcelleanlæg i husholdningerne antages det, at det ovenfor skitserede udbygningsscenarie for solceller udelukkende er udtryk for udbygning med små solcelleanlæg mhp. husholdningernes eget elforbrug (selvom disse i realiteten kun vil udgøre en del af den samlede udbygning).

Medlemslandene er fornyligt blevet enige om hovedindholdet i EU's Energisparedirektiv, der forpligter landene til en gennemsnitlig besparelse på 17 pct. af primærenergiforbruget frem mod 2020, hvilket skal udmøntes i konkrete nationale målsætninger for det enkelte medlemsland. Dette er en krævende opgave, idet EU med de iværksatte og planlagte indsatser kun forventes at opnå en besparelse på 12 pct. og dermed vil ligge et stykke fra den strategiske 20 pct. målsætning for forbedring af energieffektiviteten, der er et vigtigt led i EU's samlede energi- og klimapolitik.

Eftersom solceller fortrænger central elproduktion med et stort forbrug af primær energi til konvertering, vil udbredelsen af solcelleanlæg kunne levere et vægtigt bidrag til Danmarks målsætninger ift. energisparedirektivet. Nedenfor opstilles beregninger, som forsøger at kvantificere bidraget under antagelserne om det foreslåede udbygningsscenarie.

2.3.1. Fortrængning af marginal el-produktion ved solcelle-el til eget forbrug

En del af den producerede el fra solcelleanlæg bruges direkte af den producerende husstand og kommer aldrig i kontakt med el-nettet. Andelen af el-produktionen fra solceller, som forbruges inden for husstanden er i en rapport af Energi Midt opgjort til 45 pct.⁶

⁵ Dansk Energi (2012) *Solceller og spændingsvariationer i 0,4 kV net*. Derudover kan solcelleanlæg kan have en gunstig indvirkning ift. det kommende smart grid, da inverterne kan være med til at styre spændingen om natten (og andre tidspunkter), når alle elbilerne og varmepumperne belaster nettet

⁶ Energi Midt (2007), *Solbyen opfølgning*

Den el der forbruges i huset fortrænger den marginale el-produktion i forholdet 1 til 1. Hvis der produceres 1 kWh på et solcelleanlæg, som forbruges i huset, så er der behov for 1 mindre kWh leveret fra el-nettet. Konsekvensen er, at der kan skrues ned for den marginale el-produktion, der i dag enten kommer fra traditionelle kulkraftbaserede kondenskraftværker, eller fra udtagstværker med fjernvarmeproduktion, der i perioder kører i kondensdrift med ren el-produktion.⁷

Dette kaldes korttidsmarginalbetragtningen⁸, og den indebærer, at der for hver sparet kWh i forbrugsledet kan skrues ned for kondensdriften på elværkerne, og dermed undgås et spild på ca. 60 pct. af det primære energiforbrug, der ellers ville forsvinde som kølevand. Det modsvarer en besparelse på 2,5 Joule primære brændsler for hver Joule, der i stedet forsynes fra de centrale solcelleanlæg. Hertil kommer tabet i el-nettet på i størrelsesorden 7 pct. af den centrale el-produktion, dvs. der spares samlet set knap 2,7 Joule. Den marginale nettobesparelse i Danmarks primære energiregnskab er således ca. 1,7 Joule for hver 1 Joule solcelle-el, der produceres og forbruges.

Spørgsmålet er dog, om det også i fremtiden – ved stigende udbredelse af solceller og mindre kondensdrift i den fremadrettede energiproduktion – vil være den kondensbaserede produktion, der fortrænges. Ifølge den seneste energifremskrivning⁹ forventes kondensdrift stadig at udgøre ca. 5 TWh af den samlede el-produktion i 2020 mod ca. 7 TWh i dag. For 2020 må derfor ligeledes forventes, at produktion af solcelle-el til eget forbrug i høj grad vil erstatte el fra kondensdrift, især fordi solcelle-el overvejende produceres i perioder af året, hvor der ikke foregår ret meget kraftvarmeproduktion.

På længere sigt, og allerede omkring 2020, hvor VE kommer til at udgøre en meget stor del af el-produktionen vil der dog være perioder, hvor solcelle-el ikke erstatter kondensdrift, men derimod varmeproducerende spidsbelastningsenheder, der har den fordel, at udnyttelsen af den primære energi er væsentlige bedre end for kondensdriften. Når der bliver færre muligheder for kondensdrift efterhånden som de traditionelle værker udfases, vil det således i noget højere grad være anden VE-produktion og varmeproducerende spidsbelastningsværker, der fortrænges.¹⁰

I den anden retning trækker Danmarks stigende muligheder for at eksportere el til det internationale marked efterhånden som der lægges flere transnationale søkabler til eksport af elproduktion fra vindmøller mv. Danmarks nabolande er således ikke lige så langt fremme som Danmark mht. vedvarende

⁷ Thomas Astrup (DTU Miljø), Ole Dall (SDU) og Henrik Wenzel (SDU) (2011), *Fastlæggelse af energidata til brug for CO₂-opgørelser*

⁸ Energistyrelsen (2011), *Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*.

⁹ Energistyrelsen (2012), *Danmarks Energifremskrivning 2012*

¹⁰ Henrik Lund, Brian Mathiesen, Per Christensen & Jannick Schmidt (2010), Energy system analysis of marginal electricity supply in consequential LCA, *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 15, pp.260-271

energi, og når de i fremtiden køber mere el af Danmark, vil det i høj grad fortrænge kondensværker (i fx Tyskland).

Det vurderes derfor rimeligt at antage, at der i 2020 i gennemsnit undgås et efficienstab på knap 50 pct., dvs. 2 Joule primære brændsler for hver Joule, der i stedet forsynes fra decentrale solcelleanlæg.¹¹

Det svarer til en marginal nettobesparelse i det primære energiregnskab på 1 Joule per Joule solcelle-el, der produceres og forbruges. Den marginale besparelse i primærenergi bliver således noget mindre frem mod 2020, men den er stadig betydelig.

2.3.2. Fortrængning af marginal el-produktion ved solcelle-el leveret til nettet

Solcelle-el der sendes ud på nettet har grundlæggende de samme marginale effekter som solcelle-el, der forbruges direkte af husholdningerne. Der vil dog være tale om en fortrængningsgrad på mindre end 1, hvis forsyningen af solcelle-el til nettet er så stor, at der opstår overproduktion af el i systemet.

Beregninger foretaget af energisystemeksperter (jf. afsnit 3.2.4) viser imidlertid, at hvis solceller når op på en væsentligt højere andel den samlede VE-el-produktion, end det er tilfældet i dag, vil det mindske snarere end øge risikoen for periodevis overproduktion.

Alligevel kan det ikke udelukkes, at der vil være kortvarige perioder med en samlet VE-elforsyning (fx hvor der er meget blæst og sol på samme tid), der overstiger elforbruget. Det antages derfor, at fortrængningsgraden for den el-produktion fra solceller, der sendes ud på nettet, er 0,95 svarende til, at 5 pct. af den solcelle-el der sendes ud på nettet, sker på tidspunkter med overproduktion i systemet.

2.3.3. Ændret energiadfærd og additional spareeffekt ved installation af solcelleanlæg

Erfaringer har vist, at installation af et solcelleanlæg giver anledning til en reduktion af elforbruget, der overstiger den mængde el, der forbruges direkte fra solcellerne. Installation af et solcelleanlæg medfører altså en adfærdsendring sandsynligvis fordi husholdningerne bliver mere bevidste om deres energiforbrug. I en rapport af Energi Midt, som følger 28 boliger med solcelleanlæg, fremgår det at der har været en reduktion på mellem 12 og 18 pct. af energiforbruget efter installation af et solcelleanlæg, og at denne effekt er varig.¹² Internationale undersøgelser har dog indikeret en lidt lavere energispareeffekt på i størrelsesordenen 7 til 10 pct.

¹¹ Dette understøttes også af artiklen omtalt i note 10.

¹² Energi Midt (2007), Solbyen opfølgning

Denne yderligere energisparende effekt ved de små solcelleanlæg indregnes derfor i det samlede regnestykke for primærenergiforbruget som en additional besparelseeffekt på 10 pct. af det gennemsnitlige elforbrug for husholdninger med solcelleanlæg.

2.3.4. Estimering af samlet besparelse i primærenergiforbruget i 2020 pga. solcelleanlæg

I Tabel 1. El-produktion fra solceller og deraf følgende energibesparelser, 2012, 2020 er energibesparelserne beregnet for 2012 og 2020. I 2012 produceres i alt 190 GWh, hvor 86 ud af 190 GWh forbruges af de producerende husholdninger. Derudover er der en additional effekt pga. ændret brugeradfærd, som giver en ekstra besparelse på 20 GWh. Bruttobesparelsen i de primære brændsler udgør 2,0 PJ. Herfra skal der modregnes energien i den ekstra producerede solcelle-el, selvom denne produktion sker med vedvarende energikilder. Resultatet er en nettobesparelse på 1,3 PJ i 2012.

I 2020 producerer den installerede solcellekapacitet på 1,5 GW i alt 1.500 GWh per år. Hertil kommer den additionalle spareeffekt, som udgør 150 GWh i 2020. Den samlede energibesparelse i primære brændsler fra de centrale værker udgør 12,5 PJ, mens nettobesparelsen udgør 7,1 PJ i 2020 efter modregning af anvendelsen af primær solenergi.

Beregningerne i tabellen nedenfor viser, at der i 2020 kan realiseres en meget betydelig nettobesparelse på ca. 7 PJ i primærenergiforbruget til nationale formål og dermed også en besparelse i Danmarks bruttoenergiforbrug, såfremt der udbygges med solcelleanlæg i husholdningerne i henhold til ovenstående udbygnings-scenarie. Besparelsen vil være noget mindre, hvis en del af udbygningen sker ved centrale solcelleanlæg, der overvejende leverer el til det kollektive forsyningsnet, men den vil stadig være betydelig.

Tabel 1. El-produktion fra solceller og deraf følgende energibesparelser, 2012, 2020

	Enhed	2012	2020
Samlet solcellekapacitet i DK	kW	200.000	1.500.000
Antal solceller i DK	Anlæg	39.343	300.000
Gennemsnitlig størrelse	kW/anlæg	5	5
Årsproduktion per enhed	kWh/kW/år	950	1.000
Samlet el-produktion fra solceller	GWh/år	190	1.500
Andel af el-produktionen, der sendes videre i el-nettet		55 %	55 %
El-produktion fra solceller, der sendes ud i nettet	GWh/år	105	825
El-produktion fra solceller, der forbruges i de producerende husholdninger	GWh/år	86	675
Forbrug af el for gennemsnitlig familie i parcelhus	kWh/år/anlæg	5.000	5.000
Reduktion i elforbruget efter installation af solceller		10 %	10 %
Additional effekt (ændring i forbrugeradfærd)	GWh/år	22	150
Virkningsgrad i den marginale centrale el-produktion mht., primært energiforbrug		40 %	50 %
Fortrængningsgraden for solcelle-el, der sendes ud i nettet		95 %	95 %
Nettab ved el-distribution fra centrale kraftvarmeværker		7 %	7 %
Samlet besparelse i primært energiforbrug på centrale værker ved solcelle-el til eget forbrug	PJ/år	1,0	6,4
Samlet besparelse i primært energiforbrug på centrale værker ved solcelle-el sendt ud i nettet	PJ/år	1,0	6,1
Primært VE-forbrug ved solcelle-el til modregning	PJ/år	0,7	5,4
Nettobesparelse i det primære energiforbrug	PJ/år	1,3	7,1

Den potentielle primære energibesparelse på ca. 7 PJ ved solcelleanlæg i 2020 skal ses i forhold til, at det største særskilte initiativ til ekstra energibesparelser i Energiaftalen af 22. marts, 2012 er, at energiselskabernes samlede energispareindsats forøges med 12,2 PJ i perioden 2015-2020. Udbredelsen af solcelleanlæg vil således kunne dække mere end halvdelen af dette ekstra energibesparemål.

3. Samfundsøkonomisk vurdering af solcelleanlæg

Deloitte har gennemført en samfundsøkonomisk vurdering af solcelleanlæg, der viser, at solcelleanlæg i Danmark allerede nu, og ikke mindst på sigt, vil have væsentligt højere omkostningseffektivitet end estimeret af Klimakommissionen. Der fremlægges endvidere dokumentation for, at de afledte samfundsmæssige værdier af solcelleanlæg er betydelige, og formentlig allerede i 2020 overstiger de samfundsmæssige omkostninger ved produktion af solceller.

I den første del af kapitlet gennemføres en analyse af omkostningerne opgjort i kr./kWh ved solcelleanlæg nu og frem mod 2050. I den anden halvdel af kapitlet belyses den afledte værdiskabelse ved solcelleanlæg, herunder de miljømæssige værdier, værdien af el-produktionen og den mere energibevidste adfærd, samt værdien af et mere balanceret energisystem. Disse afledte værdier forsøges så vidt muligt kvantificeret i kr./kWh og der foretages en samlet opgørelse af de omkostninger og gevinster, der kan måles i kr./kWh. Endelig foretages en vurdering af den positive afledte beskæftigelseseffekt ved udbygning med solceller.

3.1. Omkostningerne ved solceller

3.1.1. Review af Klimakommissionens estimering af omkostningerne for solcelleanlæg

Klimakommissionens vurderinger, analyser og baggrundscenarier fra 2009-10 har været, og er stadig, af afgørende betydning for fastlæggelse af Danmarks fremadrettede klima- og energistrategi. En væsentlig grund til at, der indtil videre ikke er fastlagt konkrete danske målsætninger for VE-udbygning med solceller er formentlig Klimakommissionens vurdering af, at solceller for Danmarks vedkommende ikke er en omkostningseffektiv VE-teknologi sammenlignet med alternativerne, hverken på kort eller længere sigt, dvs. helt frem til 2050, som er horisonten for Klimakommissionens arbejde.

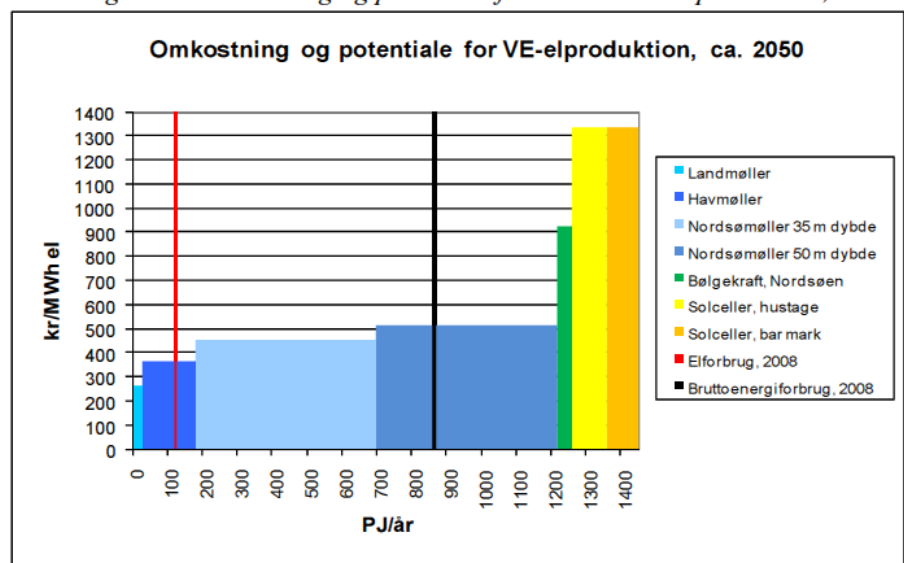
Energistyrelsens tidligere fremskrivning fra 2011 af en solcelleudbygning på 200 MW frem til 2020, svarer til lidt over 0,2 TWh (eller 0,6 pct. af det samle-

de elforbrug) sammenlignet med en officiel målsætning på 18,6 TWh for vindenergi (svarende 52 pct. pct. af det samlede elforbrug).¹³

Klimakommissionens anbefalinger til udbygning med vedvarende energi frem mod hhv. 2020 og 2050, og de efterfølgende politiske strategier for de forskellige VE-former, er blandt andet fastlagt på basis af følgende centrale beregning af omkostningseffektiviteten for de forskellige energiteknologier, jf. Figur 1, der er en gengivelse af figur 2.1 fra dokumentationsdelen til Klimakommissionens rapport.¹⁴

Figur 3, Omkostning og potentiale for vedvarende el-produktion, 2050

Figur 2.1 Omkostning og potentiale for vedvarende elproduktion, 2050



Kilde: Figur 2.1 fra Klimakommissionen (2010).

Ifølge estimaterne i Klimakommissionens rapport vil omkostningerne (LCOE) for solcelle-el således være over 1,3 kr./kWh selv i 2050, og dermed ligge langt over tilsvarende omkostninger for landbaserede vindmøller, havvindmøller og bølgekraft, ligesom det også forventes at blive væsentligt dyrere end biogas, central biokraftvarme, affaldsforbrænding samt traditionel kraftvarme med alle miljøomkostninger medregnet.¹⁵

Der er hverken i dokumentationsdelen til Klimakommissionens rapport eller baggrundsnotaterne vedrørende de forskellige referenceforløb/scenarier

¹³ Energistyrelsen (2011), Notat af 9. december, 2011 om vindandelen i det samlede energiforbrug.

¹⁴ Klimakommissionen (2010), Dokumentationsdelen til Klimakommissionens samlede rapport: GRØN ENERGI - vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler, s. 37

¹⁵ Risø, DTU og Ea Energianalyse (2010), Baggrundsnotat om referenceforløb A og fremtidsforløb A: Ambitiøst fremtidsforløb uden mulighed for nettoimport af biomasse, Baggrundsnotat udarbejdet af RISØ DTU og Ea Energianalyse, Figur 35, s. 44.

foretaget en nærmere angivelse af, hvilke antagelser, der ligger til grund for dette høje tal på 1,3 kr./kWh for omkostningerne ved solceller.

Til gengæld findes der på Klimakommissionens hjemmeside en anden baggrundrapport udarbejdet af specialistfirmaet PA Energy Ltd., der på basis af internationale kilder forudser væsentligt lavere produktionspriser på solceller i 2020 og 2050. Baggrundrapporten udarbejdet af PA er imidlertid ikke blevet anvendt i de estimeringer, der er foretaget af primært Ea Energianalyse som grundlag for Klimakommissionens rapport.

Deloitte har fået oplyst, at der i Klimakommissionens økonomiske vurdering af solceller, der baseres på Ea Energianalyse, er blevet taget udgangspunkt i Energistyrelsens Teknologikatalog mht. anlægs- og driftsomkostninger, mv. Teknologikatalogets vurderinger er mere pessimistiske end de toneangivende internationale kilder mht. vurdering af udviklingen i produktionsomkostninger. Deloitte kan dog heller ikke på basis af Teknologikatalogets antagelser, hvad enten der tages udgangspunkt i Teknologikataloget for 2005, 2010, eller 2012, genskabe den foretagne beregning på 1,3 kr./kWh i 2050, idet der ikke opnås en pris på over 1 kr./kWh med de antagelser, der umiddelbart fremgår for 2050 af de nævnte Teknologikataloger.

Deloitte har fortaget en gennemgang af de toneangivende internationale og nationale kilder på området, herunder kilderne omtalt i baggrundrapporten fra PA Energy Ltd. samt en række yderligere kilder, først og fremmest IEA's Technology Roadmap for solceller i regi af OECD, Ingeniørforeningens Klimaplan 2050 og Bloomberg New Energy Finance. De fleste af disse kilder er nogenlunde samtidige med Klimakommissionens rapporter, og for dem alle gælder, at de estimerer omkostninger for solceller frem mod 2050, der er flere gange lavere end det estimat på 1,30 kr./kWh fra Ea Energianalyse mfl. som Klimakommissionen har lagt til grund.

Tabel 2. Opgørelse af konsensusestimater for omkostningen pr. kWh (LCOE) for solceller i 2012, 2020 og 2050

	2012	2020	2050
LCOE (kr./kWh)	1,33	0,82	0,46
Økonomiske forudsætninger			
Anlægsinvesteringer (kr./kW)	16.500	10.000	6.600
Årlige driftsomkostninger (i pct. af anlægsinvestering)	1 %	1 %	1 %
Levetid (år)	30	30	30
Årlig forringelse	0,7 %	0,7 %	0,7 %
Ydelse (kWh/kW)	950	1.000	1.100
Diskontering	5 %	5 %	5 %

Note: Kilder og anvendte økonomiske forudsætninger er gennemgået i Bilag A og B.

I Bilag A er der opstillet en oversigt over de antagelser for anlægsomkostninger, driftsomkostninger, levetid, ydelse og diskontering som er lagt til grund for et udvalg af de toneangivende kilder. Deloitte har på baggrund heraf udarbejdet et nyt "konsensusestimater" for udviklingen i omkostningerne til solceller frem mod 2050, jf. Tabel 2 og Bilag A.

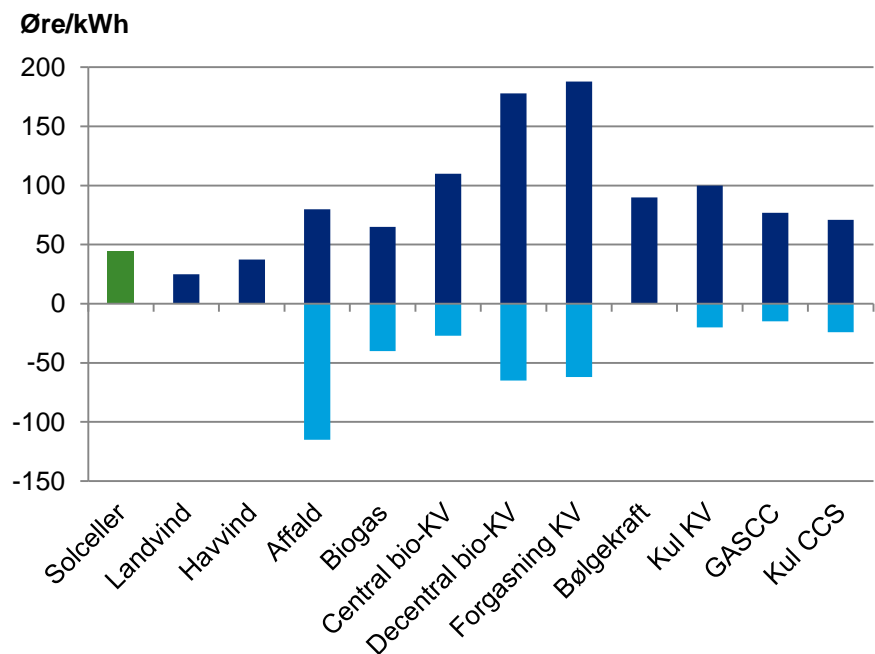
Konklusionen på dette er, at omkostningerne for solceller allerede i dag er kommet ned på 1,33 kr./kWh og dermed er nået ned på det niveau, Klimakommissionen forventede først ville indtræffe i 2050! Det betyder, at solceller allerede i dag er ved at være konkurrencedygtige med andre støttede VE-teknologier, ikke mindst i lande, hvor solindstrålingen er højere end i Danmark (se Bilag C). "Konsensusestimater" for solceller i 2020 er en reduktion på ca. 40 pct. af den nuværende pris, til 0,82 kr./kWh, og en yderligere reduktion af prisen til 0,46 kr./kWh i 2050, dvs. en pris der er ca. 3 gange lavere end Klimakommissionens i 2050, og en pris som vil gøre solceller til et attraktivt alternativ i den fremtidige energiforsyning.

På baggrund af ovenstående må det konkluderes, at Klimakommissionens analyser til dato ikke giver et retvisende billede af hverken de aktuelle eller fremadrettede omkostninger til solcelleanlæg, og at der således ikke kan konkluderes om samfundsøkonomien i solceller på baggrund heraf.

3.1.2. Sammenligning med omkostninger ved andre el-produktionsteknologier

I nedenstående Figur 4 er Klimakommissionens omkostningsestimater ifølge scenarieberegninger for 2050 i referenceforløb A gengivet for alle elproduktionsteknologier bortset fra solceller. For solceller er det mere retvisende konsensusestimater på 0,46 kr./kWh anvendt.

Figur 4. LCOE ved solceller og alternative el-produktionsteknologier



Kilde: Risø, DTU og Ea Energianalyse (2010), *Baggrundsnotat om referenceforløb A og fremtidsforløb A*, samt Deloitte's egne beregninger for solceller.

Note: De mørkeblå kasser angiver samlede anlægs-, drift-, og CO₂-omkostninger. De lyseblå kasser angiver værdien af indtægter fra salg af afledt varmeproduktion.

Der ikke opgjort tilsvarende tal for 2020 i Klimakommissionens baggrundsrapport. Såfremt estimaterne i figuren holder stik, vil solceller være blandt de samfundsøkonomisk mest attraktive alternativer i 2050.

3.1.3. Omkostninger ved CO₂-reduktion for solcelleanlæg

Når der produceres en ekstra kWh fra en solcelle, vil produktion til eget forbrug have en fortrængningsgrad på 1, mens det antages, at el sendt ud i nettet vil have en fortrængningsgrad på 0,95. I gennemsnit vil en kWh solcelle-el fortrænge 0,97 kWh fra det marginale elproducerende værk.¹⁶ Hertil kommer den additionelle spareeffekt, som udgør 0,10 kWh for hver produceret kWh i 2012 og i 2020.

CO₂-besparelsen ved reduktion af elproduktion fra det marginale kondensværk kan opgøres til 993 gram CO₂-ækvivalenter per kWh i 2012 når alle miljøomkostninger i livscyklusprocessen er medregnet.¹⁷ I 2020 vil solcelle-el i mindre grad fortrænge varmeproducerende spidsbelastningsenheder eller anden VE-elproduktion som beskrevet i afsnit 2.3.1, hvorfor besparelsen i 2020 nedskrives til 795 gram CO₂-ækvivalenter per kWh.¹⁸ Tilsvarende kan CO₂-udslippet fra solceller opgøres til mellem 15 og 28 g CO₂/kWh afhængig af solcelleteknologi.¹⁹ Denne udledning stammer primært fra fremstilling og transport af solcelleanlæg

Tabel 3. Beregnede priser for CO₂-reduktioner ved solceller

	2012	2020
LCOE for solceller (kr./kWh)	1,33	0,82
Vægtet fortrængningsgrad	0,97	0,97
Additional besparelse fra mere energibevidst adfærd per produceret kWh (kWh)	0,10	0,10
Pris for at fortrænge en kWh (kr./kWh)	1,23	0,76
CO ₂ -udledning fra solceller (g CO ₂ /kWh)	28	28
CO ₂ -udledning fra kraftværker (g CO ₂ /kWh)	993	795
Pris per CO₂-reduktion (kr./Ton CO₂)	1.278	992

I Tabel 3. Beregnede priser for CO₂-reduktioner ved solceller er prisen for CO₂-reduktioner beregnet for el-produktion via solceller i 2012 og 2020. Prisen er baseret på de fulde produktionsomkostninger for solceller (ekskl. afgif-

¹⁶ For de 45 % af elproduktionen som husholdningerne selv forbruger er fortrængningsgraden 100 %, mens den for de 55 %, der forsynes til det kollektive net, antages at være 95 % pga. enkelte perioder med el-overløb, hvilket i gennemsnit giver 97 %.

¹⁷ Thomas Astrup (DTU Miljø), Ole Dall (SDU) og Henrik Wenzel (SDU) (2011), *Fastlæggelse af energidata til brug for CO₂-opgørelser*

¹⁸ De 795 gram CO₂-ækvivalenter per kWh fremkommer ved at gange med en faktor 0,8, som er forholdet mellem virkningsgraden på 40 pct. i 2012 og 50 pct. i 2020.

¹⁹ Fraunhofer (2010) Photovoltaik aus Sicht der Ökobilanz

ter og tilskud) og kan opgøres til 1.278 kr. per ton CO₂ i 2012, mens den i 2020 er faldet til 992 kr. per ton.

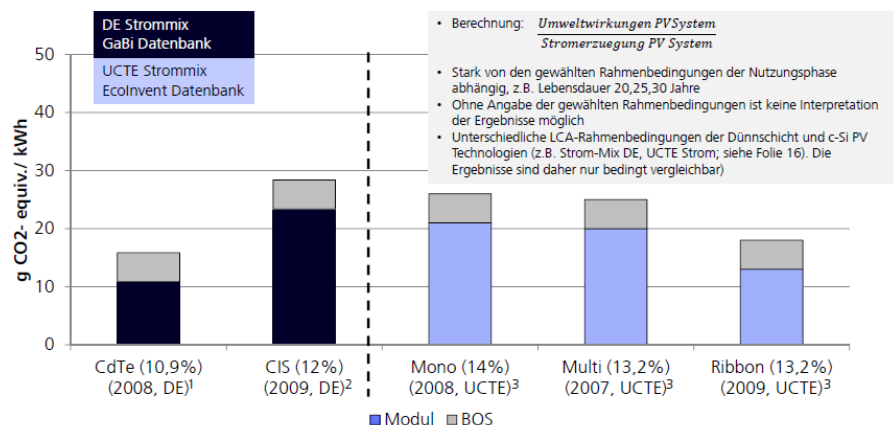
3.2. Værdiskabelse ved solcelleanlæg

Solcelleanlæg skaber en række fordele og værdier for samfundet, der skal ses i forhold til de omkostninger de indebærer. Omkostningerne inkluderer foruden produktionsomkostninger også mindre ekstraomkostninger til håndtering af solcelle-el i lavspændingsnettet, hvilket af Norenergi anslås til at udgøre ca. 2 øre per kWh. Nedenfor gennemgås fire forskellige former for afledte værdiskabende effekter.

3.2.1. Værdien af opnåede CO₂-reduktioner og andre miljøfordele

Den store miljømæssige fordel ved solcelleanlæg er, at de ikke udleder CO₂ eller andre drivhusgasser eller forurenende emissioner. Selv ud fra en livscyklusbetragtning, hvor energiforbruget og de forurenende emissioner ved fremstilling og transport af solcelleanlæg er medtaget, er der kun tale om en meget lille miljøbelastning, som er beregnet til mellem 15 og 28 g. CO₂-ækvivalenter pr. kWh, jf. nedenstående figur.

Figur 5. Miljøbelastning ved forskellige solcelleteknologier



Kilde: Fraunhofer (2010) Photovoltaik aus Sicht der Ökobilanz

Dette står i modsætning til den marginale el-produktion på de centrale værker, der fortrænges af solcelleanlæg. Her er der tale om et relativt højt udslip af CO₂ og andre forurenende stoffer såsom SO₂, NO_x, partikler, tungmetaller fra såvel forbrænding som udvinding og transport af brændsler på i størrelsesorden op til 1000 g. CO₂-ækvivalenter pr. kWh. Samlet set er der således en stor miljømæssig nettofordel ved solcelleanlæg, jf. den tidligere Tabel 3.

Ideelt set bør værdien af de opnåede reduktioner i udslippet af forurenende stoffer opgøres gennem værdisætning af de skadesomkostninger som de respektive stoffer medfører. Dette findes metoder til dette (fx ExternE), men forureningsomkostningerne fra SO₂, NO_x, partikler, tungmetaller er stedsspecifikke og dermed vanskelige at opgøre. For danske kraftværker er det i en

række sammenhænge estimeret, at de marginale skadesomkostninger fra kraftværker inklusive klimabelastning ligger på i størrelsesorden 30-50 øre/kWh, alt efter værkernes beliggenhed ift. større byer og vindretningen.²⁰ Dette beløb er således et bud på de marginale miljømæssige fordele ved at erstatte marginal el-produktion fra de centrale værker med solcelle-el.

Hvis der omregnes til CO₂-ækvivalenter og beregningen i stedet foretages ud fra den forventede pris på CO₂-kvoter i EU-ETS systemet, der fx i 2020 er estimeret til 160 kr./ton CO₂ i Danmarks Energifremskrivning for 2012, vil der være tale om en værdi på ca. 15 øre/kWh, der kan omsættes på kvotemarkedet. Dette udtrykker som sagt langt fra den fulde værdi af miljøforbedringerne, idet der er tale om et ufuldstændigt kvotemarked, der ikke fuldt ud internaliserer de eksterne omkostninger ved forureningen (problemet er først og fremmest, at der er for mange kvoter i omløb set i forhold til det samfundsøkonomisk optimale niveau).

Det vurderes derfor, at de 30-50 øre pr kWh er en mere retvisende beløb for de faktiske miljømæssige fordele, der opnås ved at undgå marginal el-produktion fra centrale kondensdrevne værker.

3.2.2. Markedsværdien af den producerede el fra solcelleanlæg

Elprisen i 2020 er en vigtig parameter for at bestemme værdien af solcelleproduktionen, da elprisen afspejler markedet vurdering og dermed den samfundsmæssige værdi af el. I en rapport udarbejdet af Ea energianalyse for Århus Kommune i 2012 er elprisen for 2020 simuleret time for time via Balmorel-modellen. Simuleringen viser, at elprisen i gennemsnit vil lægge på mellem 35 og 40 øre per kWh.

Der er samtidig indikationer af, at solcelle-el bliver produceret på tidspunkter, hvor elprisen ligger over gennemsnittet. I en publiceret artikel af energiforskeren Henrik Lund sammenlignes værdien af den solcelle-el, som eksporteres fra *zero energy buildings*, med værdien af den el de importerer, hvilket resulterer i et overskud, fordi markedsværdien af den eksporterede el er større end markedsværdien af den importerede el.²¹ Samme resultat genfindes i et projekt på Fyn, hvor der blev foretaget timemålinger på 28 solcelleanlæg.²² En af konklusionerne fra rapporten er, at hvis de 28 husstande og boligforeninger fik lavet en timeafregning i stedet for en årsafregning for deres producerede el ville det øge deres indtægt med 6 øre/kWh i gennemsnit. Den større værdi af solcelle-el skyldes, at produktionen primært finder sted mens prisen er høj, hvilket afspejler en større samfundsmæssig værdi af solcelle-el

²⁰ Se fx. Mikael Skou Andersen og Lise Marie Frohm, De eksterne omkostninger ved energiproduktion, *Naturlig Energi*, Måj 2007.

²¹ H. Lund, A. Marszal og P. Heiselberg (2011) Zero energy buildings and mismatch compensation factors, *Energy and Buildings* Vol. 43

²² Energifyn, Blusolar og Omada (2012) Intelligente markedssystemer for tilskudsfri PV produktion, under "ForskVE" programmet administreret af Energinet.dk

end de 35-40 øre per kWh, der blev simuleret i rapporten fra Ea energianalyse. Det kan derfor antages, at værdien af solcelle-el i 2020 vil udgøre mellem 40 og 45 øre per kWh.

3.2.3. Mere energibevidst forbrugsadfærd

Som omtalt i afsnit 2.3.3 er der dokumentation for, at installation af et solcelleanlæg fører til en varig reduktion i elforbruget på mindst 10 pct. af husstandens elforbrug. En typisk parcelhusfamilie bruger ca. 5000 kWh per år, hvilket giver en besparelse på 500 kWh. I 2020, hvor et typisk anlæg antages at producere knap 5700 kWh per år, svarer det til 0,9 kWh sparet el per produceret kWh. 9 pct. af den af den miljømæssige og den markedsmæssige værdi af el svarer til mellem 6 og 8 øre per kWh.

3.2.4. Værdien af et mere balanceret energisystem

Energisystemekspertter vurderer, at en øget udbredelse af solceller op til et vist niveau vil have en gunstig samfundsmæssig effekt, da solceller primært producerer el om dagen og sommeren og dermed udgør et godt supplement til vindenergi. I en endnu ikke publiceret forskningsartikel viser Gorm Andresen, at der ud fra et teknisk hensyn om at undgå overproduktion af el fremadrettet vil være fordelene ved at supplere et VE-system baseret på vindkraft med en andel svarende til 20 pct. solcelle-el.²³

Lignende resultater dokumenteres i en artikel af professor Henrik Lund, der viser, at den optimale andel af sol udgør mellem 20 og 40 pct. alt efter hvor stor en andel VE udgør af den samlede el-produktion.²⁴

Gorm Andresen estimerer på basis af simuleringer ud fra 8 års data, at der i 2020 vil kunne ske en reduktion af overproduktionen af el med 0,5 TWh, hvis vindenergiandelen reduceres fra 50 til 40 pct. af den samlede el-produktion, og de 10 pct.point erstattes med solceller, jf. Tabel 4

Tabel 4. Optimering af VE-energimix mellem vind og sol gennem forøgelse af solcelleandel til 20 pct.

	2020 Kun vind	2020 80 % vind og 20 % sol
Total VE-el-produktion	17,3	17,3
Forbrugt	16,5	17,0
Overproduktion	0,8	0,3

Kilde: Gorm Andresen (2012), *Energy Mix – hvor godt passer vind- og solel med det danske forbrug?*

²³ Se omtale i Mandag Morgen <https://www.mm.dk/solenergi-kan-blive-en-vigtig-brik-i-danmarks-gr%C3%B8nne-omstilling> eller i Ingeniøren <http://ing.dk/artikel/132744-solceller-mindsker-behov-for-energilagring>

²⁴ Henrik Lund (2006) Large-scale integration of optimal combinations of PV, wind and wave power into the electricity supply, *Renewable Energy* 31

For at realisere denne formindskelse af overproduktion kræves en solcelleproduktion på ca. 1/5 af de forudsatte 17,5 TWh VE-el i 2020, dvs. 3,5 TWh solcelle-el, dvs. for hver kWh forsynet med solceller reduceres spildproduktionen i gennemsnit med 0,14 kWh. Hvis det antages, at der i 2020 kan realiseres en markedspris på 20-30 øre/kWh i stedet for nulpriser på den undgåede overproduktion, har solcellerne dermed i gennemsnit bidraget med en yderligere samfundsmæssig gevinst på 3-4 øre/kWh solcelle-el.

Solcellerne bidrager således til et mere balanceret energisystem med mindre overproduktion af el, og dermed en besparelse for samfundet. Samtidig vil de øge forsyningssikkerheden i perioder med vindstille vejr.

3.2.5. Oversigt over omkostninger og gevinster ved solcelleanlæg opgjort i kr./kWh

I Tabel 5 er de samfundsmæssige omkostninger og gevinster ved el fra solceller opgjort for 2020 i kr./kWh ved beregninger med en diskonteringsfaktor på henholdsvis 5 og 3 pct.

Når der anvendes en diskonteringsfaktor på 5 pct. udgør værdien af den rene el-produktion ca. halvdelen af produktionsomkostningerne. Hertil kommer miljøværdien, den additionelle spareeffekt samt værdien af et mere balanceret energisystem, som betyder at den samlede gevinst ved en produceret kWh udgør mellem 79 og 107 øre. Til sammenligning er produktionsomkostninger og nethåndteringsomkostninger 84 øre per kWh, hvilket betyder, at nettoværdien for 2020 ligger i intervallet mellem et tab på 5 øre og en gevinst på 23 øre per produceret kWh.

Ved anvendelse af en diskonteringsfaktor på 3 pct., som findes mere retvisende i klimasammenhæng (jf. Bilag C), falder omkostningerne til 70 øre per kWh, hvilket øger den samlede nettoværdi for samfundet til mellem 9 øre og 37 øre per kWh.

Tabel 5. Oversigt over omkostninger og gevinster ved solcelleanlæg

		2020 Ved diskontering på 5 %	2020 Ved diskontering på 3 %
Omkostninger	LCOE (kr./kWh)	0,82	0,68
	Håndtering af solcelle-el i nettet	0,02	0,02
	Samlede omkostninger	0,84	0,70
Værdi	Miljøværdi (kr./kWh)	0,30-0,50	0,30-0,50
	El-værdi (kr./kWh)	0,40-0,45	0,40-0,45
	Additional spareeffekt (kr./kWh)	0,06-0,08	0,06-0,08
	Mere balanceret energisystem (kr./kWh)	0,03-0,04	0,03-0,04
	Samlet værdi (kr./kWh)	0,79-1,07	0,79-1,07
Resultat	Samlet nettoværdi for samfundet (kr./kWh)	(0,05)-0,23	0,09-0,37

Ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv vil investeringer i solcelleanlæg således være fordelagtige fra 2020. I vurderingen af om det er mest fordelagtigt at satse på solceller eller andre VE-teknologier, der også udviser samfundsøkonomiske nettofordele, som alternativ eller supplement skal der na-

turligvis tages hensyn til VE-teknologiernes relative omkostningseffektivitet. Denne er ikke endnu opgjort systematisk for 2020, men den tidligere Figur 3, der viser estimater for den forventede omkostningseffektivitet i 2050, indikerer at solceller på sigt vil blive et de mest attraktive alternativer.

3.2.6. Beskæftigelseeffekter forbundet med solcelleanlæg

Udbygning af solceller i Danmark skaber jobs indenfor følgende sektorer:

- Produktion og transport af moduler og komponenter
- Installation og montering af anlæg
- Engros- og detailhandel
- Rådgivende ingeniører
- Forskning og udvikling

I Danmark foregår der ingen national produktion af solceller, men en vis produktion af komponenter og moduler. Montering, installation og engroshandel er således indtil videre de vigtigste drivkræfter bag beskæftigelsen. I takt med, at der bliver etableret et stærkere hjemmemarked kan flere af de øvrige sektorer forventes at få en mere betydende effekt på beskæftigelsen. Der er endnu ikke lavet nogen egentlige opgørelser over, hvad beskæftigelseeffekten for solceller er i Danmark.

Der findes imidlertid årlige undersøgelser af udviklingen i beskæftigelsen i den tyske solcelleindustri, der kan medvirke til at kaste lys over, hvad de tilsvarende effekter vil blive i Danmark efterhånden som industrien opbygges.²⁵ I 2011 var bruttobeskæftigelsen nået op på ca. 111.000 solcelle-relaterede fuldtidsjobs i Tyskland, hvilket skal ses i forhold til en samlet installeret kapacitet i Tyskland på ca. 25 GW. Der henvises til bilag D for en opdeling på underbrancher.

Når erfaringerne fra Tyskland overføres bør der især tages højde for to forhold. For det første er der ingen solcelleproduktion i Danmark, mens denne industri udgør ca. 17 pct. af det samlede antal fuldtidsjob i Tyskland. For det andet har Tyskland som pioner på solcelleområdet skabt en betydelig eksportindustri, idet den samlede eksportandel er nået op på ca. 55 pct. i 2011 fra ca. 14 pct. i 2004, dvs. der eksporteres mere end blot celler. Der importeres dog også både moduler og celler i Tyskland.

²⁵ Se Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: http://www.erneuerbareenergien.de/erneuerbare_energien/arbeit/arbeitsplaetze/doc/40289.php

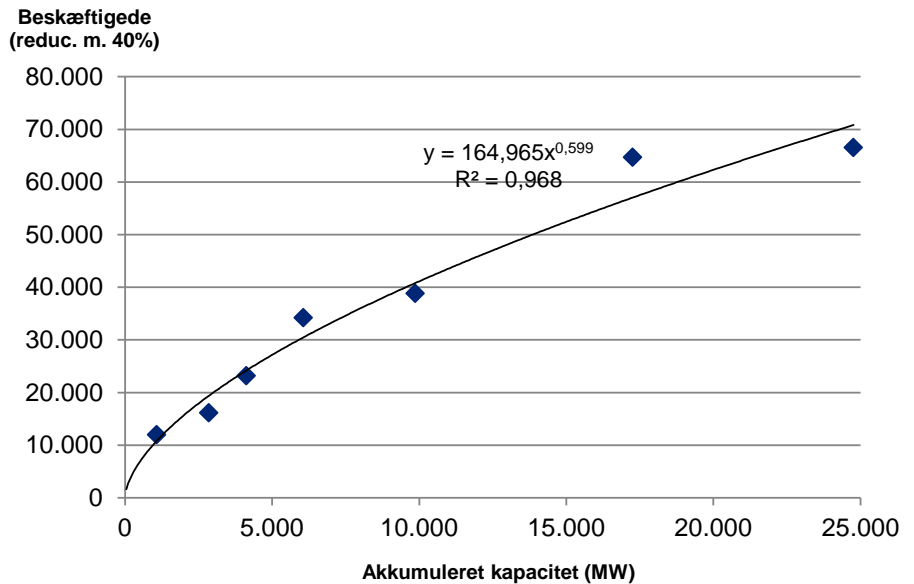
Der henvises til de årlige beretninger vedr. *Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland*

Eftersom det ikke er realistisk at Danmark opnår samme høje eksportandel som Tyskland, bla. fordi Danmark ikke har produktion af solceller er der anlagt den meget konservative antagelse, at Danmark for hver MW der udbygges med kun vil kunne opnå ca. 60 pct. af den marginale beskæftigelseseffekt som historisk er opnået i Tyskland. Antagelsen er konservativ eftersom det ikke er umuligt, at Danmark vil kunne opbygge en voksende eksportindustri i takt med udbygningen af hjemmemarkedet.

På baggrund af data for udviklingen i samlet installeret kapacitet og antal beskæftigede i solcellebranchen Tyskland er der opstillet en korrigeret sammenhæng i

, hvor de faktiske tyske beskæftigelsestal er reduceret med 40 pct. jf. ovenstående antagelse mhp. bedre at kunne overføre erfaringerne til Danmark.

Figur 6. Akkumuleret solcellekapacitet og korrigeret antal beskæftigede i solcellebranchen baseret på erfaringer fra Tyskland



Note: Beskæftigelsestallene for Tyskland er reduceret med 40 pct. mhp. at isolere hjemmemarkedseffekten for bedre at kunne overføre erfaringerne til Danmark. Der er medtaget data for årene 2004 og 2006-11.

Kilde: Se note 25 samt BSW Solar (2012), *Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche*.

Figuren er baseret på data for perioden 2000-2011 mht. akkumuleret kapacitet og data for perioden 2004 og 2006-11 mht. antal beskæftigede, som derefter er reduceret med 40 pct. Hældningen på kurven indikerer noget om, hvor meget den samlede beskæftigelse vil stige i et udbygningsforløb for solcelleanlæg, hver gang den samlede installerede kapacitet øges med 1 MW, hvilket kan tolkes som den marginale beskæftigelseseffekt under forudsætning af, at andre faktorer ikke spiller ind, og under forudsætning af, at beskæftigelseseffekten forbundet med alle tidligere installerede (ikke-nedtagne) MW er varig.

I lyset af, at der er foretaget korrektion for ingen celleproduktion og beskeden eksport forventer Deloitte, at ovenstående figur giver et konservativt bud på beskæftigelseseffekten ved udbygning med solceller i Danmark:

- Den samlede aktuelle beskæftigelse ved 200 MW-niveauet må ud fra ovenstående sammenhæng forventes at være ca. 4.000 solcelle-relaterede fuldtidsjob i Danmark.
- Den marginale beskæftigelseseffekt ved 200 MW total kapacitet (dvs. 2012-niveauet i Danmark) er ca. 12 fuldtidsjob pr. ekstra MW.
- De marginale beskæftigelseseffekt er aftagende, jf. kurvens form, og må forventes at være lidt over 5 fuldtidsjob pr. ekstra MW ved 1500 MW total kapacitet (svarende til 2020-niveauet i Danmark jf. det foreslåede udbygningsscenarie)
- Det samlede estimerede beskæftigelsesniveau ved 1.500 MW er ca. 13.000 fuldtidsjob.

Et vigtigt forbehold i forbindelse med ovenstående er, at estimerne for den marginale beskæftigelse er mere sikre ved de højere niveauer for installeret kapacitet (fra ca. 3 GW og opefter) end ved de lavere (som Danmark aktuelt befinder sig på), idet der kun er få data for Tyskland i den indledende opbygningsfase fra før 2005.

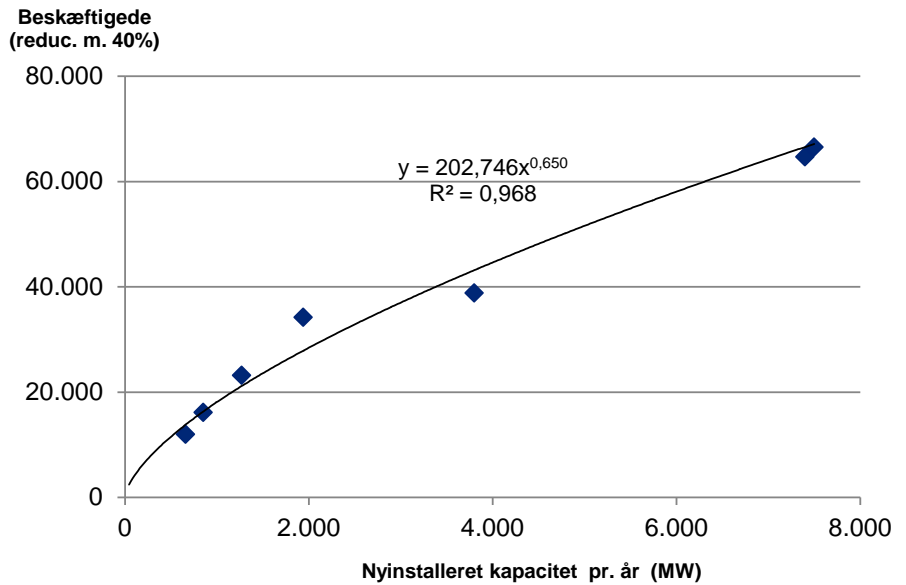
Den marginale effekt på 5-12 fuldtidsjob per MW i intervallet 200-1500 MW er sandsynlig, så længe udbygningen vokser, dvs. så længe aktiviteten i form af nyinstalleret kapacitet ligger på et højere niveau end i de forudgående år, som det stort set har været tilfældet i Tyskland siden år 2000.

Det er dog ikke realistisk, at udbygningstakten kan blive med at vokse. I Danmark har udbygningen været meget kraftig i 2012, og den vil ikke kunne vedblive med at accelerere i samme takt. Ved i stedet at analysere sammenhængen mellem den nyinstallerede kapacitet pr. år og den samlede beskæftigelse i Tyskland fås et indblik i, hvad accelerationen i udbygningen betyder for beskæftigelsen, herunder hvilke negative konsekvenser det vil have, hvis udbygningstakten falder.

Figur 7 nedenfor viser, at en acceleration i udbygningen svarende til en forøgelse af den nyinstallerede kapacitet på 1 MW udover det gældende niveau for ny installeret kapacitet giver anledning til en vækst i beskæftigelsen på ca. 22 fuldtidsjob ved et udbygningsniveau på 170 MW pr. år svarende til udbygningen i Danmark i 2012. Det betyder, at en reduktion i udbygningstakten fra 170 MW til 169 MW pr. år vil indebære et fald i beskæftigelsen med 22 jobs fra det nuværende niveau på ca. 4000 jobs og omvendt hvis udbygningstakten øges med 1 MW

Såfremt der sker et betydeligt fald i aktiviteten fra fx 170 MW til 70 MW pr. år vil det jf. ovenstående sammenhæng kunne betyde en reduktion i arbejdstyrken på ca. 45 pct. fra et estimeret udgangsniveau på ca. 4.000 fuldtidsjob, dvs. en nedgang på 1.800 fuldtidsjob i de solcelle-relaterede brancher.

Figur 7. Nyinstalleret kapacitet af solceller og korrigeret antal beskæftigede i solcellebranchen baseret på erfaringer fra Tyskland



Note: Beskæftigelsestallene for Tyskland er reduceret med 40 pct. mhp. at isolere hjemmemarkedseffekten for bedre at kunne overføre erfaringerne til Danmark. Der er medtaget data for årene 2004 og 2006-11.

Kilde: Se note 25 samt BSW Solar (2012), *Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche*.

Givet den store beskæftigelseselasticitet i fx håndværks- og installationsbranchen anser Deloitte det for realistisk, at en nedsættelse hhv. forøgelse af udbygningstakten for solcelleanlæg vil få en umiddelbar kortsigtet effekt på den solcellerelaterede beskæftigelse i Danmark i stil med den ovenfor angivne sammenhæng.

Ovenstående estimater for de marginale beskæftigelseseffekter er dog forbundet med usikkerheder. Det skyldes først og fremmest, at det er vanskeligt at overføre erfaringerne fra Tyskland til Danmark (jf. de angivne forskelle i eksportvilkår), men også, at datagrundlaget er relativt spinkelt fsva. den indledende opbygningsfase, og at der kan være mange andre indvirkende faktorer på beskæftigelsen end den installerede nationale kapacitet.

Det bemærkes, at der ikke er foretaget en generel ligevægtsvurdering af nettobeskæftigelseseffekten, og at der ikke er foretaget sammenligninger med, hvad der ville have været konsekvensen, hvis ressourcerne i stedet havde været anvendt til andre formål end solcelleanlæg.

Bilag

Bilag A – Oversigt over økonomiske forudsætninger i udvalgte rapporter

		Deloitte (2012)	BNEF (2012)	IEA 1 (2010) 5 % rente	IEA 2 (2010) 5 % rente	IDA (2009)	PA Energy (2009)	ECF (2011)	EPIA (2011)	Klima- kommis- sionen (2010)	Energi- styrelsen (2012)	Energi- styrelsen (2010)
LCOE (kr./kWh)	2012	1,33	1,71	2,64*	1,76*				1,50			
	2020	0,72	0,99	1,10	0,74							
	2050	0,39		0,45	0,30					1,30		
Anlægsomkostninger (kr./kW)	2012	16.500		33.000*	33.000*			19.125			18.750**	25.875
	2020	10.000	9.900	14.850	14.850	12.900		14.063			9.750	19.500
	2050	6600		6.600	6.600	7.500		7.500			6.750	7.125
Drift (% af anlægsomkostning)	2012	1%	1%	1%*	1%*	0,25%		1%			1%	1%
	2020	1%	1%	1%	1%	0,25%		1%			1%	1%
	2050	1%		1%	1%	0,25%		1%			1%	1%
Omregnet til ydelse (kWh/kW)	2012	950	900	1000*	1500*	876	900	870			800	800
	2020	1000	900	1000	1500	1051	1300	870			800	800
	2050	1140	-	1000	1500	1314	1500	870			800	800
Modul nedbrydelse (nedgang i produktion per år)	2012	0,67%	0,70%						0,90%			
	2020	0,67%	0,70%						0,60%			
	2050	0,67%										
Levetid (år)	2012	30		25*	25*	25	>30	25	25		30	
	2020	30		30	30	25	>40	25	35		30	
	2050	30		40	40	25	>50	25			30	
Diskontering	2012	5%	6%	5%	5%	3%		7%	5%			
	2020	5%	6%	5%	5%	3%		7%	5%			
	2050	5%		5%	5%	3%		7%	5%			

*: Tal for 2008

** : Tal for 2015

Note: LCOE for de to IEA 1 og IEA 2 er beregnet med en diskonteringsfaktor på 5 pct. i modsætning til i den originale rapport, hvor der regnes med en diskonteringsfaktor på 10 pct..

Bilag B – Diskussion af de økonomiske forudsætninger for solcelleanlæg

Levelised cost of energy

Når omkostningerne til at producere el fra forskellige kilder sammenlignes, anvendes omkostningsbegrebet levelised cost of energy (LCOE). LCOE er et udtryk for nutidsværdien af anlæggets omkostninger i forhold til nutidsværdien af produktionen. LCOE udtrykkes i kroner per kWh. Der inkluderes omkostninger fra hele anlæggets levetid og metoden giver dermed et mere præ-

cist billede af de reelle omkostninger forbundet med forskellige produktionsmetoder end en simpel sammenligning af omkostninger per watt.²⁶

Formlen for udregning af LCOE er angivet nedenfor, hvor NPV angiver nutidsværdien:²⁷

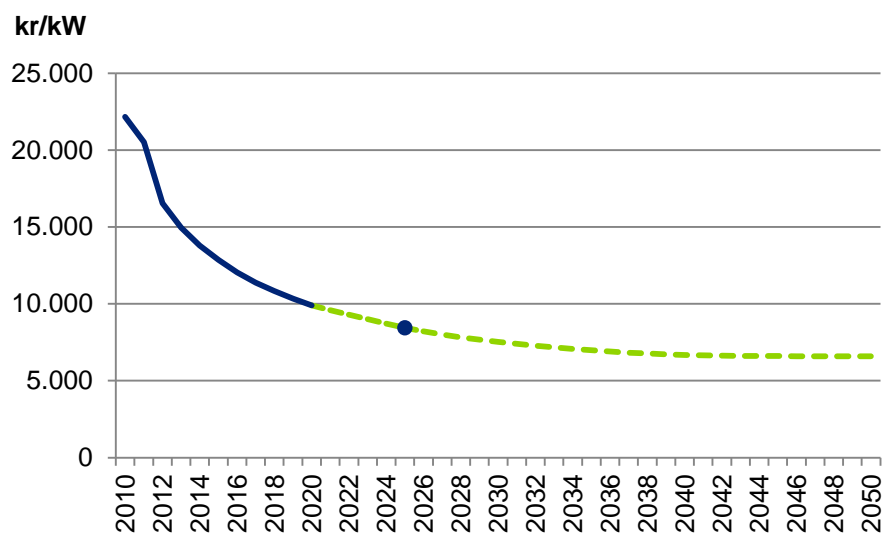
$$LCOE \text{ (kr./kWh)} = \frac{\text{Anlægsinvestering} + NPV(\text{drift og vedligehold})}{NPV(\text{El} - \text{produktion i kWh})}$$

Anlægsinvesteringer

Anlægsinvesteringerne varierer for de forskellige typer af solcelleteknologi, men disse forskelle mindskes når man betragter systemets samlede leveomkostninger. På lang sigt forventes det, at systemomkostningerne konvergerer for de forskellige typer anlæg.²⁸ Der er dog også en del variation i prisen på solceller på tværs af Europa som følge af forskellige priser på solcellemoduler og pga. forskelle i installationsomkostninger.²⁹

Som nævnt i afsnit 2.2 har prisen på solcellemoduler oplevet meget kraftige fald i de sidste 10 år. Flere rapporter rapporterer om læringskurver på 20 pct., hvilket betyder, at prisen falder med 20 pct. hver gang produktionen fordobles.³⁰

Figur 8, udviklingen i anlægsomkostninger for solceller, 2012-2050



Note: den blå del af kurven er baseret på oplysninger fra BNEF (2012), mens den grønne del er en fremskrivning i overensstemmelse med IEA's estimat for 2050.

Kilde: BNEF (2012), IEA (2010) og egne beregninger

²⁶ BNEF med flere (2012) Re-considering the Economics of Photovoltaic Power

²⁷ EPIA (2011), *Photo Voltaics competing in the energy sector*.

²⁸ IEA (2010), Technology Roadmap

²⁹ EC PV Technology Platform (2011), A strategic research agenda

³⁰ Se blandt andet IEA (2010), Technology Roadmap og EPIA (2011), *Photo Voltaics competing in the energy sector*.

I figuren ovenfor er prisudviklingen for solcellemoduler frem til 2050 angivet. Den blå del af kurven stammer fra estimater fra BNEF fra 2012, mens den grønne del er en fremskrivning af udviklingen, som ender med en pris på 6600 kr./kW i 2050, hvilket stemmer overens med IEA's fremskrivning for 2050 fra 2010.³¹

Driftsomkostninger

Ingeniørforeningen IDA antager i deres klimaplan for 2050, at drift og vedligehold udgør 0,25 pct., mens flere internationale kilder antager, at drift og vedligeholdelsesomkostninger udgør 1 pct. af anlægsinvesteringen.³² I begge tilfælde er drift og vedligehold dog meget begrænset sammenlignet med anlægsinvesteringen. I beregningerne i denne rapport benyttes 1 pct..

Ydelse fra solcelleanlæg

En solcelleanlægs ydelse angiver, hvor godt anlægget er til at producere el fra den givne kapacitet. Ydelsen afhænger af solindstrålingen, hvorfor man oplever højere ydelser i Sydeuropa, men kan også forbedres ved udvikling af anlæggene. I Energistyrelsens teknologikatalog er ydelsen på solceller opgivet til 850 kWh/kW. Resultater fra Projekt Fyn viser dog, at den gennemsnitlige ydelse var nået op på 950 kWh/kW for de anlæg der var med i projektet og at flere anlæg installeret i 2011 havde en ydelse på mere end 1000 kWh/kW.³³ I beregningerne for 2012 anvendes en ydelse på 950 kWh/kW.

Det antages, at der vil være en mindre fremgang i effektiviteten, således at der i 2020 er en ydelse på 1.000 kWh/kW og i 2050 er en ydelse på 1.140 kWh/kW. Ingeniørforeningen antager i deres klimaplan for 2050, at der vil komme en udvikling i effekten frem mod 2030.

Antagelser om diskontering

I beregningerne af LCOE har Deloitte valgt at anvende en diskonteringsats på 5 pct. af hensyn til sammenlignelighed med de gængse studier af området. De 5 pct. svarer til den anvendte diskonteringsats i Klimakommissionens hovedscenarie, men er lavere end de 10 pct. som fx IEA benytter, eller de 6,5 pct., som EC PV Technology Platform anvender.

Det kan dog ikke forsvares at anvende en diskonteringsats på højere end 5 pct. når der er tale om en samfundsøkonomisk betragtning af en miljømæssigt begrundet investering, hvor diskonteringen ikke bør afspejle private investorerers høje afkastkrav, men snarere noget i retning af de rentebærende obligationer på statens langfristede gæld. Ud fra dette er det faktisk mere relevant at argumentere for anvendelse af en diskonteringsats på 3 pct., hvilket er den fremherskende praksis i mange lande ved denne type investe-

³¹ IEA (2010) Technology Roadmap

³² IDA (2009) Klimaplan 2050 og IEA (2010) Technology Roadmap.

³³ Energi Fyn med flere (2012) Intelligente markedssystemer for tilskudsfri PV produktion

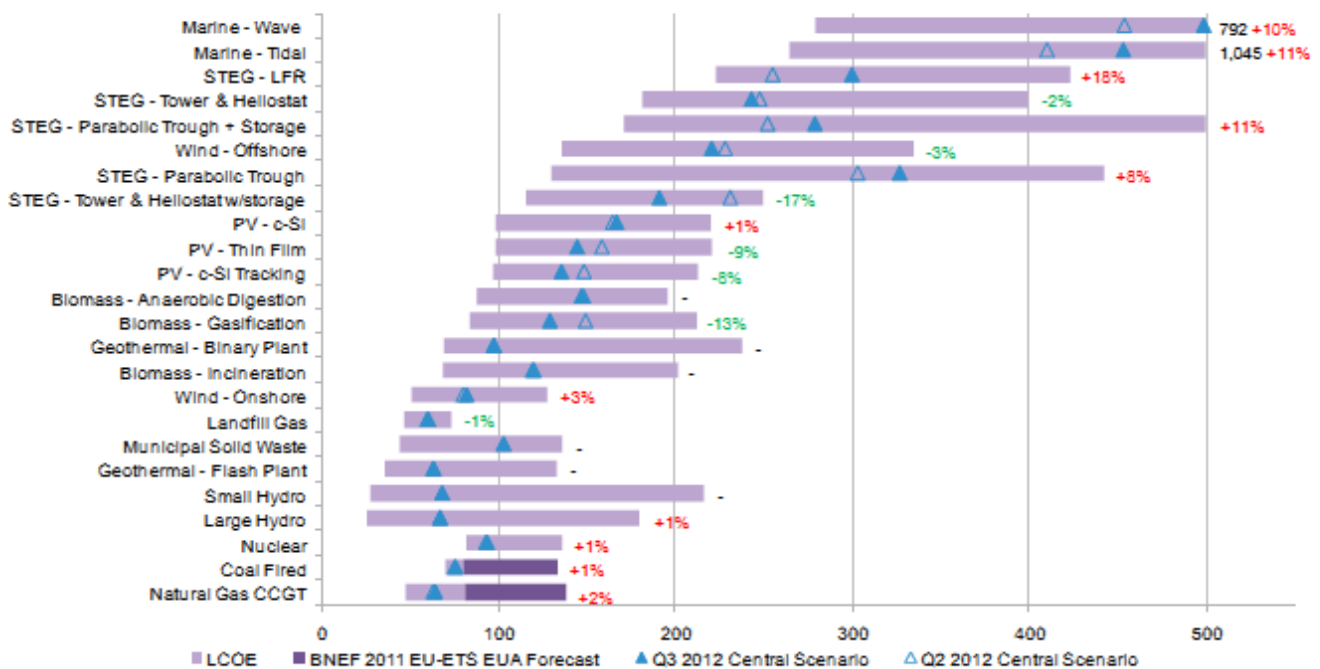
ringer. I de videre samfundsøkonomiske analyser i Kapitel 3 foretages således en følsomhedsanalyse ved brug af en diskonteringsrate på 3 pct.

Bilag C – Sammenligning af LCOE for forskellige vedvarende el-produktionsformer

I Figur 9. LCOE for forskellige el-produktionsteknologier, som stammer fra BNEF Clean Energy Policy & Market Briefing fra andet kvartal i 2012, er LCOE angivet for en række forskellige el-produktionsteknologier.

Figur 9. LCOE for forskellige el-produktionsteknologier

Figure 9: Levelised cost of energy, Q3 2012 (\$/MWh)



Source: Bloomberg New Energy Finance. Note: Carbon forecasts from the Bloomberg New Energy Finance European Carbon Model with an average price to 2020 of \$30/mt. Coal and natural gas prices from the US Department of Energy EIA Annual Energy Outlook 2012. Percentage change represents change from Q2 2012.

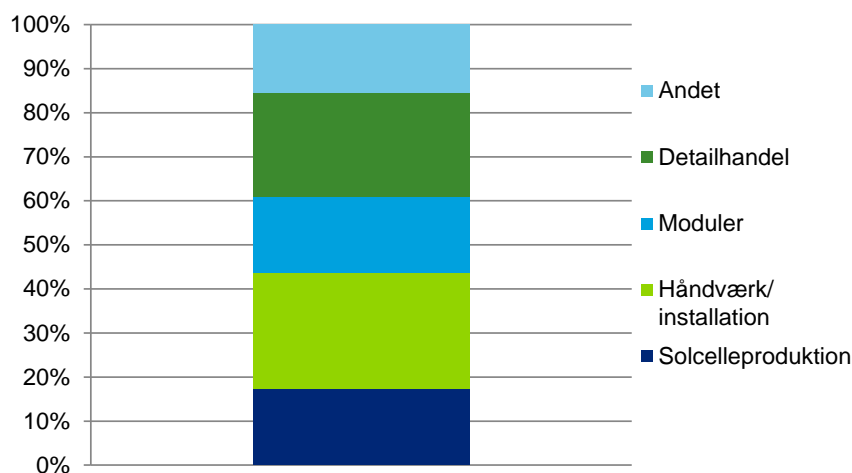
Kilde: Figur 9 i BNEF (2012) Q2 2012 Clean Energy Policy & Market Briefing

Bilag D – Beskæftigelse i den tyske solcelleindustri

Tyskland vurderes at være 10 år længere fremme med solceller sammenlignet med Danmark, hvorfor flere processer er automatiserede og der udnyttes stordriftsfordele, hvilket reducerer arbejdskraftintensiteten. Desuden opstilles der relativt flere store solcelleanlæg i Tyskland, som er mindre arbejdskraftintensive end de små anlæg. Begge disse forhold er med til at forklare hvorfor beskæftigelseseffekten er højere i starten af udbygningsprocessen, som Danmark befinder sig i og aftagende ved højere niveauer.

I Figur 10 er fordelingen af beskæftigede på indenfor produktion af solceller, moduler, håndværk/installation og detailhandel

Figur 10. beskæftigede i solcellebranchen i Tyskland fordelt efter område, 2011



Kilde: BSW Solar (2012) Infografiken
<http://www.solarwirtschaft.de/pressegrafiken.html>

17 pct. af de beskæftigede i solcellebranchen i Tyskland arbejder således i 2011 indenfor produktion af celler.

Om Deloitte

Deloitte leverer ydelser inden for Revision, Skat, Consulting og Financial Advisory til både offentlige og private virksomheder i en lang række brancher. Vores globale netværk med medlemsfirmaer i mere end 150 lande sikrer, at vi kan stille stærke kompetencer til rådighed og yde service af højeste kvalitet, når vi skal hjælpe vores kunder med at løse deres mest komplekse forretningsmæssige udfordringer. Deloitte's ca. 182.000 medarbejdere arbejder målrettet efter at sætte den højeste standard.

Deloitte Touche Tohmatsu Limited

Deloitte er en betegnelse for Deloitte Touche Tohmatsu Limited, der er et britisk selskab med begrænset ansvar, og dets netværk af medlemsfirmaer. Hvert medlemsfirma udgør en separat og uafhængig juridisk enhed. Vi henviser til www.deloitte.com/about for en udførlig beskrivelse af den juridiske struktur i Deloitte Touche Tohmatsu Limited og dets medlemsfirmaer.