

# Den CO2 neutrale arbejdsplads

## Hovedprojekt

PSO projekt nr. 341-009

1. januar 2009 – 31. marts 2010



# Indholdsfortegnelse

## Forord

## English summary

### Sammenfatning af projektet

- Projektets formål
- Hovedresultater
- Konklusion

### Baggrund for hovedprojektet

”Den CO2 neutrale arbejdsplads – forprojekt” PSO projekt nr. 340-047

### Teknisk baggrund for projektet: Udvikling og målinger

- Lysmålinger
- Udvikling af LED Solen
- Solcellemålinger

### Hæve-sænkebord med solceller

Refleksioner fra udviklingsprocessen

### Resultater: Den tekniske del af produktet

- LINAK’s styrebox
- Solcelle-elektronik

### Designresultater

- Brugerundersøgelser
- Montanas hæve-sænkeborde
- Design med solceller

### De 3 endelige designs

- Den transparente skærm
- Fuld bordintegration
- Den fleksible løsning

### iPV TOOL

- Præsentation af værktøjet
- Forklaring af modellen

### Formidling af projektet: Nationalt og internationalt

- Konferencer, messer og udstillinger
- Artikler og anden presseomtale
- Foredrag

### Perspektivering

- Potentielle iPV applikationer
- Markedspotentiale

## Forord

Idéen bag dette projekt udsprang fra en samtale imellem Henriette Lundquist fra LINAK og Joakim Lassen fra Montana, som var nysgerrige efter at finde ud af, om man kunne bruge solceller indendørs - i et hæve-sænkebord. De kendte til solceller i lommeregnerne, men ikke umiddelbart til andre indendørs anvendelser af solceller.

På baggrund af denne innovative og udfordrende idé blev der samlet en projektgruppe og ansøgt om PSO-udviklingsmidler i ELFORSK programmet hos Dansk Energi. Projektet betragtedes som meget interessant, men også som en risikabel investering, hvilket resulterede i, at der i slutningen af 2007 blev bevilget penge til et forprojekt, som havde til formål at bevise om et videre forløb ville kunne betale sig.

Denne rapport beskriver de samlede opnåede resultater i hovedprojektet (samt dele af forprojektet), som blev bevilget umiddelbart efter afrapporteringen af forprojektet. Det samlede projekt har løbet fra starten af 2008 (forprojektet) og igennem 2009 med afslutning primo 2010 (hovedprojektet) som et samarbejde mellem LINAK, Montana, DTU Fotonik, Gaia Solar og Faktor 3.

Forfattere af denne rapport: Peter Poulsen, DTU Fotonik, Barbara Bentzen, Faktor 3, Kristian Bartholin Holm, Faktor 3, Rikke Køhler, Faktor 3, René Kirstein Harboe, Faktor 3.



## English summary

As the world develops, the requirement for more electrical equipment in everyday life is increasing rapidly. The power consumption of electrical appliances both in operation and in standby mode therefore greatly contributes to our total energy consumption. When regarding the energy lifetime of an electrical product, the amount of energy used for standby cannot be neglected and will in many cases exceed the power used in operation. The potential of PVs used indoor to supply the standby power is a fairly unexploited field, but can have a revolutionary effect on the total energy consumption worldwide.

This paper presents the results gained in the ongoing project 'The CO<sub>2</sub> neutral work space', which was started up in 2008. The objective of the project is focused on elucidating and uncovering the great potential for usage of PVs in indoor applications to power the standby electricity consumption.

To integrate solar cells into a design object has proved to be challenging. Throughout the development process it has been extremely important with the coherence between technology and design in a close dialogue between all parties.

The project team has made three distinctive designs, where design solutions are created in cooperation between the PV-technology and a user-friendly approach based on the observations of the secretaries have shown that the desk is often covered by electronic devices and paper material. The final three design concepts adapt to Montanas existing aesthetics and design as a transparent screen, a desk integration and a flexible solution. All three design concepts are displayed in either 1:1 or functioning prototypes, depending on allowance and performance in the chosen PV-technologies. The prototypes have been shown at various design shows and scientific conferences internationally and nationally.

Peter – inspiration til UK resume:

(jeg mener, at det ovenstående er dækkende nok til "min del" af rapporten).

A technical survey of different PV technologies has been carried out with the aim to identify strengths and weaknesses with regards to electrical performance under lowlight, indoor conditions in a typical office. Experimental measurements have been carried out at a selected office site in summer 2008, to identify the light level as function of room depth and orientation. Further experiments with the aim to link total irradiance measurements [ $\text{W/m}^2$ ] with spectral distribution of light and daylight factor will be performed in the spring 2009, which will serve as information to the creation of a design tool. The design tool is seen as a needed aid for designers and engineers in order to choose and dimension the right PV technology in their product, depending on power consumption and the surrounding environment (light quality and intensity). In order to characterize different solar cell technologies and gain knowledge about electrical performance under various conditions, a LED-based sun simulator will be developed in the project. The LED Sun is specially designed for testing of PVs under lowlight conditions ( $0\text{-}200 \text{ W/m}^2$ ) and has the great advantage that the spectral distribution of light can be varied. Hereby the spectral response of the PV can be determined and used in the decision of PV technology suited for the specific application.

The work performed in the project evolves on a specific electrical product used in a work space, where the result will be 3 showcases of the product with PVs implemented to power the standby consumption, which in this case is estimated to be 15 times greater than in operation. The work carried out involves redesign of the electrical configuration in order to reduce the standby consumption as well as consideration of materials and integration of the PVs. The product is still confidential, but would be presented in a poster/paper at the 24<sup>th</sup> European PV conference.

The work carried out in the project is not bound to the specific product, but is seen as a platform to showcase the enormous potential for usage of PV indoor.

The present paper provides an overview of the work performed in the project, the results gained with respect to characterization of PVs and the experimental measurements of light in a typical office as well as the build-up of the design tool aimed at easing the dimensioning and evaluation of PV technologies for use under specific conditions. The LED Sun is described in separate papers.

## Sammenfatning af projektet

### Projektets formål

Projektgruppen startede forprojektet ved at afholde en workshop, som havde til formål at kortlægge projektets formål og succeskriterier, så det kunne sikres, at alle deltagere i projektet havde samme ambitioner med projektet, og ville gå samme vej i udviklingsprocessen.

Vi blev enige om følgende:

*At vise perspektiverne i at benytte solceller i lowlight conditions med henblik på at spare betydelige mængder strøm, primært på arbejdspladsen, ved at:*

- 1. Energieffektivisere de elektroniske komponenter mod et minimalt energiforbrug.*
- 2. Tilføje det resterende energiforbrug via et specialdesignet indendørs solcellemodul.*

*Projektet skal dokumentere solcellers evne som indendørs strømproducent og vise dette i forskellige 1:1 modeller, som integreres i et antal hæve-sænkeborde med fokus på energiproduktion, brugervenlighed og markedspotentiale.*

Disse mål og succeskriterier er alle opnået i løbet af for- og hovedprojektet.

### Hovedresultater

Igennem et godt tværfagligt samarbejdende projektteam med markedsføringsfolk, ingeniører, udviklere, designere og kommunikationsfolk i de involverede virksomheder; udviklings- og producerende virksomheder samt en forskningsinstitution, er det lykkedes at opnå en række unikke resultater og nyskabende produkter. Der er, som et produkt af dette samarbejde, udviklet en lang række nye kompetencer indenfor brugen af solceller på nye måder i indendørs anvendelser.

Projektet har en række tekniske og designmæssige hovedresultater, som kan opsummeres således:

- Øget apparatproducenternes muligheder for valg af en integreret løsning af standby-problematikken.
- Der er etableret nye laboratoriefaciliteter hos DTU Fotonik til måling af solceller i low-light conditions. Denne målestand er bygget specielt til tests og karakterisering, som ikke er tilgængelige fra solcelle-producenternes side. Dvs. det er et afgørende apparat at have tilgang til, hvis man vil

designe fremtidens velfungerende produkter med solceller. Denne målestand er, efter projektgruppens kendskab den eneste af sin slags på verdensplan.

- Der er lavet dagslysmålinger mod alle 4 verdenshjørner hos Teknik- og Miljøforvaltningen i København over sommeren 2008.
- Der er etableret et samarbejde med SBI, som har stillet deres dagslyslaboratorie til rådighed til flere målinger.
- På baggrund af disse målinger er der lavet beregninger, som påviser, at solceller kan bruges til at dække standbyforbruget af et hæve-sænkebord.
- Der er lavet en række målinger af solceller i low-light conditions, som imiterer indendørs lysbetingelser.
- En række forskellige brugerundersøgelser er foretaget for at kortlægge hæve-sænkebordsbrugernes adfærd.
- Der er blevet udarbejdet en lang række designforslag – i form af mock-up modeller og prototyper - for at komme frem til velfungerende måder at integrere solceller i indendørs produkter.
- Der er blevet afholdt mini-workshops, som har haft til formål at ”uddanne” de projektdeltagere, som kun kendte til solceller på et overfladisk plan.
- Der er udarbejdet 3 endelige designs med solceller, som kan dække hæve-sænkebordets standbyforbrug. Disse 3 designs er vidt forskellige og har til formål at vise omverdenen de mangfoldige muligheder, der er for integration af solceller i godt design:
  - o Der er designet en skillevæg til hæve-sænkeborde med solceller i.
  - o Der er designet et hæve-sænkebord med fuld integration af solcellen i bordfladen.
  - o RISØ’s polymersolceller er anvendt i en af disse designs, for at understøtte en af de store danske satsninger indenfor dansk forskning på RISØ DTU. Og for at understøtte et 100% dansk og nyskabende produkt.
- LINAK er blevet så inspireret af projektet, at de har lanceret en strømfrikobling, som de kalder ”Zero”, der har et meget lavt eget-energi-forbrug set i forhold til deres tidligere produkter.
- Der er skabt grobund for videreudvikling og produktion af verdens første hæve-sænkebord med solceller. Dette er en first-mover-advantage, som udelukkende ligger hos de deltagende virksomheder.
- Alle generelle perspektiver af projektet er blevet stillet til rådighed for offentligheden. Denne formidling er sket både internationalt og nationalt på designmesser, solcellekonferencer, udstillinger samt i pressen.

- Der er udviklet et værktøj "iPV TOOL", som har til formål at vejlede andre udviklere eller producerende virksomheder, som vil integrere solceller i deres indendørs strømforbrugende produkter.
- Der er bidraget til initiativet angående reduktion af CO<sub>2</sub> udledningen jf. Regeringens miljømålsætning. Samt vist disse muligheder frem under COP15.
- Igennem offentlig præsentation af produkter fra projektet, påvist at der blandt forbrugerne er stor interesse for teknologien i kombination med gennemført integreret dansk design.
- En række virksomheder, bl.a. DONG og COWI har vist interesse for projektet og de muligheder, som ligger i det.
- Der er skabt resultater, som på kort sigt kan komme forbrugerne til gode i form af reduktion af elforbrug og med reduktion af CO<sub>2</sub> udledningen til følge.

## Konklusion

Både for- og hovedprojektet navngivet "Den CO<sub>2</sub> neutrale arbejdsplads" har været et udfordrende projekt, for de involverede parter. Samtidig har vi alle haft en stor drivkraft i at arbejde med så uopdyrket land, som det har været tilfældet, og det har været spændende at være med til at skabe helt nye teknologianvendelser.

De samlede resultater i både for- og hovedprojektet "Den CO<sub>2</sub> neutrale arbejdsplads" er vi derfor stolte af, og vi tror på, at der via dette projekt er udviklet en lang række kompetencer indenfor nye anvendelser af solceller i indendørs produkter som kan komme offentligheden til gode.

Standby forbruget vokser dag for dag i verden, da vi integrerer flere og flere elektroniske apparater på arbejdspladserne og i hjemmene. Alle disse apparater kræver et stort forbrug af strøm, som koster mange penge hver dag, og et øget CO<sub>2</sub> udslip, som koster dyrt i klimaregnskabet.

Vi har med dette projekt gerne villet vise vejen frem til "Den CO<sub>2</sub> neutrale arbejdsplads" i Danmark og udlandet. Det har vi gjort ved at undersøge solcellers evne som strømproducent indendørs i danske kontormiljøer. Et elektronisk hæve-sænkebord står standby dagen lang for at kunne betjene brugeren i det øjeblik, han/hun vil køre sit bord op eller ned. Derfor har det et stort standby-forbrug set relativt i forhold til dets drift-forbrug, som ikke er så højt, da den gennemsnitlige bruger ikke kører sit bord op og ned mere end en gang om ugen. Hæve-sænkebordet går fra at være et luksusprodukt, som forbruger unødvendig strøm til at være et klimavenligt produkt, hvor strømforbruget dækkes af grøn strøm.

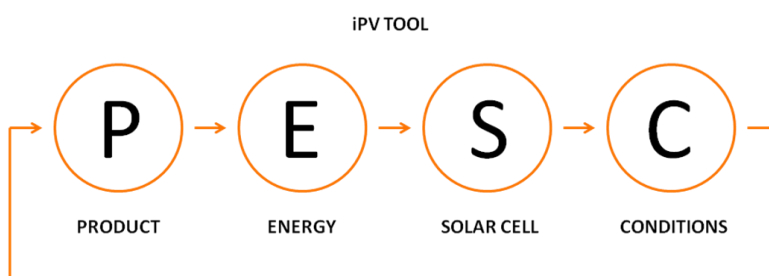
Hæve-sænkebordet med solcellerne skal ses som et eksempel på, hvor stort et potentiale, der ligger i at bruge solceller i indendørs applikationer i langt flere strømforbrugende produkter, end det ses i dag. Eksemplet viser, hvordan vi kan transformere vestlige luksusprodukter til grønne produkter, som har en berettigelse i verden.

Med dette PSO-projekt har ELFORSK programmet været med til at skabe basis for at Danmark kan vise vejen frem til en CO<sub>2</sub> neutral arbejdsplads. Efter et stort fokus på ergonomisk korrekte arbejdsstillinger i slut '90erne, har en stor del af arbejdspladserne indkøbt elektroniske hæve-sænkeborde til deres kontomedarbejdere. Vælges disse gamle hæve-sænkeborde at blive udskiftet over tid med nye CO<sub>2</sub> neutrale borde, ville Danmark kunne reducere energiforbruget med 10.500.000 kWh pr. år, hvilket svarer til ca. 6000 ton CO<sub>2</sub> pr. år.

Med de produkter, som er udviklet i projektet, dels hæve-sænkeborde, relaterede produkter og DTU Fotoniks målestand er der skabt en unik first-mover-advantage på verdensplan, der vil være interessant at forfølge i den kommende tid. Denne mulighed kan meget vel være med til at skabe nye arbejdspladser og dansk eksport.

Projektet har skabt international interesse, og det vurderes, at resultaterne er set af ca. 3.000 - 4.000 mennesker i Danmark og af ca. 3.000 mennesker i udlandet.

På baggrund af hele projektet er der udviklet et værktøj, som gør det muligt for producenter og udviklere at designe produkter med solceller i indendørs sammenhænge:



## Baggrund for hovedprojektet

**”Den CO<sub>2</sub> neutrale arbejdsplads – forprojekt” PSO projekt nr. 340-047**

Konklusioner fra forprojektet:

- Lysmålinger foretaget.
- Solcellemålinger foretaget.
- Vurdering af at solceller kan dække standby-forbruget på et hæve-sænkebord. Det vurderes, at det ikke er interessant at kigge på drifts-situationen.
- 3 solceller udvalgt til videreudvikling.
- Opstart på udvikling af solcelle-elektronik.





# Teknisk baggrund for projektet: Udvikling og målinger

## Lysmålinger

Ved hovedprojektets start var det ambitionen, at lave en række supplerende lysmålinger til forprojektets målinger. Dette har vist sig irrelevant, idet vi har valgt at gå ud fra en fast dagslysfaktor på 2%. På baggrund af det krav, er der blevet udarbejdet et simpelt værktøj for solcelleanvendelse indendørs "iPV TOOL".

## Udvikling af LED Solen

Videreudvikling af LED sol – en ny type solcellemålestand.

Arbejdet med opbygning af den kunstige solsimulator, LED Sun, er fortsat i denne periode, men der er opstået uforudsete forhindringer. Dette omhandler styringen af LED'erne samt lysspredningen. For at opnå en homogen lysspredning sendes lyset ind i en reflekterende kugle, der har til formål at sprede og fordele lyset homogent. For at undgå tab ved refleksion af lyset, har det været nødvendigt at benytte en reflekterende maling med mere end 98% Lambertiansk reflektans indenfor lyssprektret: 400 – 1000 nm.

En kommerciel maling fra Labsphere baseret på Barium Sulfat har en pris på mere end 30.000 kr/malet m<sup>2</sup>. For at undgå denne enorme udgift i projektet er der eksperimenteret med forskellige alternativer til reflekterende maling:

### 1. Egen fremstilling af BaSO<sub>4</sub> opløsning

Det lykkedes at lave en opløsning med mere end 99%'s reflektans til en pris på mindre en 100 kr/m<sup>2</sup>. Homogeniteten og påførsel af opløsningen på en overflade var dog svær, og ikke tilfredsstillende.

### 2. Alternative materialer

Polymeren PTFE har gode egenskaber mht. reflektans, men leveres i enten folier eller pressede blokke. Prisen for produktet Spectralon<sup>®</sup> er 2,20 kr/cm<sup>3</sup>, og den mekaniske proces dette kræver, vil skabe stort materialespild. En løsning kunne være at få formstøbt et lag PTFE til den ønskede geometri.

### 3. Lav-pris BaSO<sub>4</sub> opløsninger

Et kommercielt produkt fra det østrigske firma IPAC anses som bedste alternativ mht. egenskaber og pris. Prisen opgives til 100 kr/L, men det vides ikke hvor meget materiale der er behov for, for at dække 1m<sup>2</sup>.

Ved videreudviklingen arbejdedes der derfor videre med løsning 3).

Den elektriske styring af det kommercielle LED modul fra Fietje har vist sig at være problematisk at opskalere, og derfor arbejdedes der i stedet videre med et simplere setup af fler-farvede moduler af LED's.

For at kunne karakterisere solcellerne er det nødvendigt med en software og en belastning af solcellen til bestemmelse af UI-karakteristikken. For at gøre enheden mobil og nedsætte prisen er der blevet arbejdet på at skabe et PCB (print circuit board), der kan foretage den elektroniske belastning i stedet for instrumenter fra fx Keithley eller National Instruments. Det kan betyde en prisnedsættelse med en faktor 50. PCB layoutet er blevet færdiggjort, men en testfase samt opbygning af et brugervenligt interface skal fortsat udarbejdes.

Målestanden er stadig en vigtig del af projektet, men vi har sørget for at kunne komme videre i projektet, uden at være afhængig af at LED solen bliver færdig inden. Dog har vi netop fundet ud af, at et værktøj, som den ville vise sig meget brugbar for solcellebranchen. Den skal tilpasses IEC kravene for en klasse A solsimulator. Den naturlige følge af dette vil også være, at andre relevante spektralfordelinger kan frembringes ved varierende lysintensitet med samme udstyr i området 0-1000 W/m<sup>2</sup>. Dette vil være et stærkt karakteriseringsværktøj for vurdering af de forskellige solcellers anvendelse til indendørs PV applikationer, hvor lysspektret er meget varierende. Der udmåles efter opbygningen et repræsentativt udsnit af kommercielle PV teknologier og deres potentiale vurderes i forhold til resultaterne af lysstudierne. Denne LED sol, forestiller vi os, måske kan danne baggrund for en spin-off mulighed, da den ikke findes på markedet.

## **Solcellemålinger**

Målinger af solceller i low-light conditions.

På baggrund af fastsættelsen af et krav på 2% dagslysfaktor på en kontorarbejdsplads, er der blevet lavet en række karakteriseringer af solceller på Statens Byggeforskningsinstitut. Lokaliteten er valgt, da testrummet bruges som reference af SBI, der i høj grad arbejder med dagslys og indeklimakomfort. En korrelation mellem dagslysfaktoren, der afhænger af placering i rummet samt omgivelserne, samt solcellens elektriske ydelse bruges til at dimensionere solcellearealerne til dækning af hæve-sænkebordets standby-forbrug.

Der er undersøgt 3 forskellige solcelleteknologier under både dagslys- og kunstlyspåvirkning, og resultatet har været meget vigtigt for at dimensionere solcellerne korrekt til de 3 prototyper af hæve/sænkebordet. Målingerne blev foretaget på en overskyet dag, så resultaterne angiver worst case – i mange tilfælde vil solcellerne yde højere end målt på den specifikke dag. I og med at målingerne er foretaget under disse forhold anses resultaterne at være repræsentative til dimensionering i kontormiljøer uafhængig af årstid, men med opfyldelse af Bygningsreglementets krav på en 2%'s dagslysfaktor.

Resultaterne, der angives i [Appendix A](#), illustrerer at solcellens placering i rummet, teknologien og lyskvaliteten influerer på den elektriske ydelse, der alle er faktorer der skal overvejes ved integration.

Som forventet i vores ansøgningsmateriale, viste det sig, at RISØ's polymersolceller kan danne baggrund for en spændende og anderledes designløsning med danskproduceret solcelleteknologi.

## Hæve-sænkebord med solceller

### Refleksioner fra udviklingsprocessen

Første del af projektet omfattede primært en række dagslysmålinger, solcelleopkøb og –målinger. Derfor gik forprojektet primært med forberedelserne, før vi kunne komme i gang med den egentlige produktudvikling. Det var lidt frustrerende for projektdeltagerne. Men da der blev givet grønt lys til at gå videre med hovedprojektet i 2009, tog udviklingen hurtigt fart, og der skulle afholdes dels en stor designmesse CODE09 i BellaCentret i august 2009 og COP15 i december 2009. Derfor blev det i projektgruppen besluttet, at der skulle stå en række prototyper klar til at blive vist frem i sommeren 2009.

Der er blevet arbejdet effektivt i to spor: Teknik-gruppen arbejdede på udviklingen af den tekniske del af produktet sideløbende med design-gruppen, som stod for de konkrete designs, materialevalg og brugervenligheden. Grupperne mødtes dels selvstændigt, men også samlet, så der kunne deles erfaringer og tage beslutninger i fællesskab.

## Resultater: Den tekniske del af produktet

### LINAK's styrebox



*LINAKs styrebox samt en stribe solceller, som her bliver testet sammen.*

Der er blevet udviklet en ny aktuator med en strømfrikobling, som har gået fra at bruge 2W til 0W, når der bliver koblet solceller på. Derfor er selve standby-situationen med solceller i et hæve-sænkebord nu løst. Selve elektronikken er blevet udviklet og der er produceret 5 test-solcelleprint og 7 test-strømfrikoblere.

Samtidig er det blevet undersøgt, hvad der skal til for at lave et bord, som i en driftssituation kan køre udelukkende på solceller. Dette kræver betydeligt mere energi end solcellerne kan levere, når de sidder indendørs. Derudover fandt man ud af, at strømforbruget til standby langt overstiger driftsforbruget. Projektgruppen besluttede derfor kun at arbejde med standby-situationen, som til gengæld giver en stor el-besparelse.

### Solcelle-elektronik



*Målinger af solceller, til brug i elektronikudviklingen.*



*De første prototype-forsøg med solcelle-elektronikken.*

Der er blevet udviklet en ny styreenhed/strømforsyning med en strømfrikobling, som har gået fra at bruge 2W til 0W fra elnettet, når der bliver koblet solceller på. For at der kan kobles solceller på den nye styreenhed har det været nødvendigt at udvikle et elektronisk kredsløb, som konverterer energien fra solcellerne til en brugbar spænding for styreenheden.

Samtidig er det blevet undersøgt, hvad der skal til for at lave et bord, som i en driftssituation kan køre udelukkende på solceller. Driftssituationen kræver en meget stor mængde energi på kort tid, og giver derfor ikke mening med solceller, da dette kræver meget stort solcelleareal og urealistisk høj indendørs lysintensitet. Endvidere vil der skulle være et stort energilager i bordet, i form af et batteri eller anden teknologi, som vil være en unødigt stor belastning på miljø samt gøre ekstraomkostningerne på et bord urimelig høj.

Projektgruppen har derfor besluttet at arbejde kun med standby-situationen, som til gengæld giver en større el-besparelse, end ved driftssituationen.

Vurdering af potentiale samt fravalg af MPPT:

Det er blevet undersøgt om der burde udvikles en MPPT (Maximum Power Point Tracker) til produktet, for at få solcelleanlægget til at yde i sit optimale arbejds punkt. Ved anvendelse i bygningsintegration anvendes en MPPT, for at få solcelleanlægget til at yde sit optimale arbejds punkt. Denne type komponent er umiddelbar ikke tilgængelig til anvendelse i laveffektsapplikationer af solceller, og potentialet for frembringelse og anvendelse af en sådan enhed er blevet vurderet. En oplagt risiko ved brug af en MPPT er, at den forbruger mere energi end den tilfører. Dette skyldes den meget lave generede energi som er en følge af at benytte solceller indendørs, og at en MPPT har et endnu ukendt energiforbrug. Der udførtes en række eksperimenter, for at kunne konkludere hvilken løsning der er mest optimal. Der var en vis forventning om at optimering af konverteringskredsløb og energilager ville være en bedre metode til optimal energiudnyttelse end MPPT.

Efter undersøgelserne har det dog vist sig, at det ikke kan betale sig at implementere en Maximum Power Point Tracker, da en sådan enhed bruger mere energi end den generer.

Solcelle-elektronikken er blevet udviklet som en separat enhed, som sættes i et stik på LINAK's styrebox igennem et specielt stik. Det er dog højst sandsynligt, at selve solcelle-elektronikken vil blive implementeret direkte ind i LINAK's box, hvis systemet bliver sat i produktion.



*Endeligt design af solcelle-elektronikken ved siden af solceller og LINAK's styrebox CBD5.*

## Designresultater

### Brugerundersøgelser

Indledningsvis er der foretaget en række forskellige brugerundersøgelser, som havde til hensigt at kortlægge, hvor meget eller lidt man bruger et hæve-sænkebord dagligt.

Den ene undersøgelse var et simpelt spørgeskema, som dag for dag bad brugeren om at sætte en streg, hver gang, man havde kørt bordet op eller ned. Der kom ca. 40 skemaer tilbage, og et gennemsnit på baggrund af disse viste, at en typisk bruger kun kører sin bordflade op en gang om ugen og ned en gang om ugen.

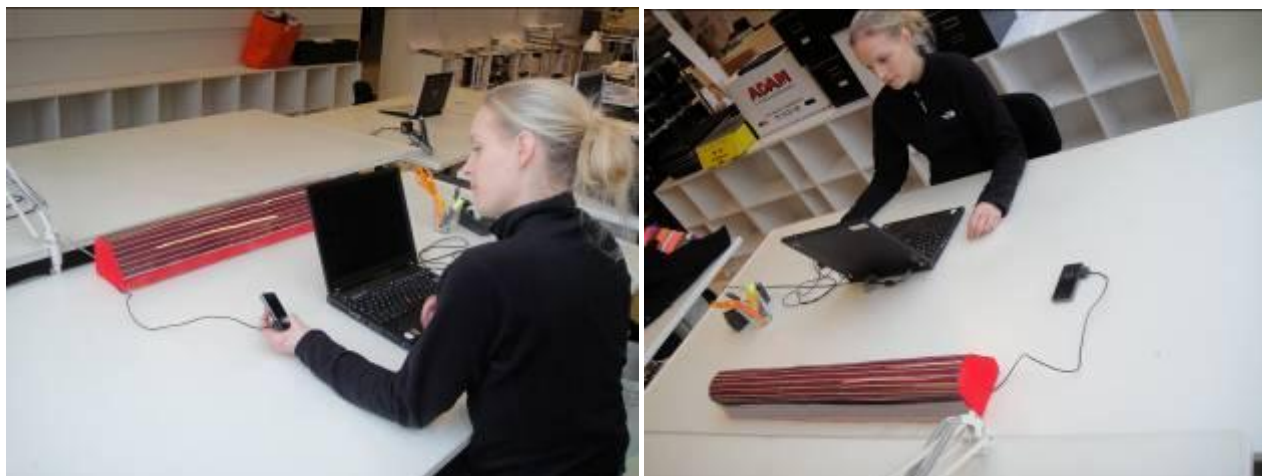
Det overraskede os en del at få det svar tilbage, men vi blev enige om, at det afspejlede vores egen brug af hæve-sænkebordet set over længere tid ganske godt.

Derved konkluderes det, at der bruges langt mere strøm på at have et hæve-sænkebord stående på standby, end på at have det i drift.

Sideløbende blev der i projektgruppen kigget meget på vores egne arbejdsborde og reflekteret over, hvordan man hver især forestillede os et hæve-sænkebord med solcelleintegration.

En anden form for brugerundersøgelse tog udgangspunkt i en række visualiseringer og 1:1 modeller, som kunne afprøves ved et arbejdsbord. Sammen kommenterede man på, om det skabte nogle spændende og inspirerende bordflader, og om brugervenligheden var god. Ved god brugervenlighed menes, at brugeren *ikke* skal ændre adfærd i retning af det mere besværlige, ved brug af det nye produkt.

I projektgruppen var der stor begejstring over alle de muligheder, der ligger i solcelleteknologien, og solcellerne blev opfattet som tilførende arbejdsbordet en æstetisk kvalitet. Brugernes feedback reflekteres i modelprocessen, idet de erfaringer, der blev gjort, igennem hele forløbet har været en del af en naturlig udvikling af designet og funktionaliteten. Alle vores modeller er blevet afprøvet hos en række forskellige brugere i projektgruppen:



*Brugerundersøgelser med RISØ's polymersolceller integreret i et løst produkt, som f.eks. kan oplade mobiltelefonen. Her er idéen vist i en mock-up model. Produktet opfattes her som et løsrevet apparat på arbejdspladsen, som også ville kunne dække standbyforbruget i hæve-sænkebordet.*



*Brugerundersøgelse, som viser en anden mulig retning, vi kunne bevæge os i: Solcellen som "skriveunderlag". Her er det vist som en mock-up model med RISØ's polymersolceller, som udmærker sig ved at være flade, lette og nemme at integrere.*

Til slut har projektgruppen udført en række empiriske undersøgelser, hvor to prototyper af hævesænkebordet blev opsat på en rigtig arbejdsplads. De blev taget i brug i det nyetablerede lavenergihus "Green Light House" på KU's campus i receptionen i november 2009 og står der endnu. De bruges begge dagligt af sekretærene, som ikke har skullet ændre deres adfærd og daglige rutiner for at bruge bordene efter hensigten.

Iagttagelser af sekretærene har vist, at bordene tit er dækket af kontorartikler, og periodevis har solcellepanelet sågar været halvt tildækket. Vores undersøgelser har vist, at de begge fungerer optimalt, og helt uden nogle former for "børnesygdomme", der måske ville have indebåret, at bordet af uforudsigelige grunde kørte langsomt eller stoppede helt. Det ser projektgruppen som det endelige "proof of concept", som beviser, at produktet virker i en reel arbejdsituation:





*Her ses de to hæve-sænkeborde med fuld solcelleintegration i bordfladen i receptionen i Green Light House. Som det tydeligt observeres på billedet bliver bordene brugt som ethvert andet bord, uden skelen til solcellerne. Og bordene virker alligevel.*

## **Montanas hæve-sænkeborde**

At arbejde med et integrere solceller i et designobjekt har været udfordrende. Under hele udviklingsforløbet har det været enormt vigtigt, at afstemme teknologi med design i en tæt dialog alle parterne imellem.

Montana har en stærk designprofil, hvor det generiske grundkoncept med geometrien skal implementeres i alle deres produktlinjer. Montanas designprofil har været dikterende for udvælgelsen af de forslag og ideer som projektgruppen har fremlagt. Det var meget vigtigt, at godt dansk design var i højsædet, og der ikke gik "smarte teknologi-løsninger" i udformningen af det endelige produkt.

Dialogen med Montanas egen udviklingsafdeling har derfor været meget tæt, og man har forsøgt ikke at lægge flere arbejdsprocesser ind i Montanas produktion. Det har været essentielt med et dynamisk samarbejde, og der har hele tiden været en gensidig forståelse for projektdeltagernes forskellige fagligheder.

De solcellemoduler, som gik videre i udvælgelsesprocessen (se næste afsnit) kan alle tilpasses eksisterende komponenter i Montanas sortiment, og der er derfor i designet taget højde for både de montage- og produktionsmæssige begrænsninger og muligheder.

Det har været ambitionen at skabe nye designvisioner, og for at dette har kunnet lade sig gøre, har det krævet talrige afprøvninger for at få funktionaliteten til at komplementere det valgte design. Mange af vores funktionsmodeller er tænkt integreret direkte i bordet, enten som stikbrønd eller bordskærm med Montanas eksisterende monteringsbeslag, men der er også tænkt mere radikalt og ukonventionelt med løsrevne produkter, som ikke nødvendigvis har noget med Montanas borde at gøre, f.eks. "skriveunderlaget" (jf. afsnit om brugerundersøgelser).

## **Design med solceller**

I forprojektet blev 3 solcelleteknologier udvalgt til den videre proces. Vi har arbejdet med at få dem til hver især at tilpasse sig bordet og dets bruger. Der har været fokus på et tæt samarbejde imellem teknologigruppen og designgruppen, for at alle beslutninger har høj kvalitet både design- og funktionalitetsmæssigt.



*De 3 udvalgte teknologier: Japanske Kyosemi-celler, SunPower celler og RISØ's polymerceller*

De 3 udvalgte teknologier repræsenterer 3 forskellige retninger indenfor solcelleteknologi og spænder derfor bredt:

- De innovative, nytænkende og med æstetisk kvalitet (Kyosemi)
- De konventionelle, højeffektive og billigste, set i forhold til ydelse (SunPower)
- De danske og billige i R2R produktion (RISØ's polymersolceller)

Det har givet 3 karakteristiske design, hvor designløsningerne er skabt i balance mellem den benyttede teknologi og hensynet til brugervenlighed.

Der arbejdes for øjeblikket på 3 forskellige bordtyper med solceller, som modulært kan indbygges i et hæve-sænkebord på en designmæssig og produktionsmæssig forsvarlig måde.

## **De 3 endelige designs**

Efter adskillige designmodeller og forsøg er der blev udvalgt 3 endelige designs, som hver repræsenterer 3 vidt forskellige måder at integrere solceller i indendørs applikationer.

Vi har kaldt dem følgende:

- Den transparente skærm
- Fuld bordintegration
- Den fleksible løsning

Alle designs er vist i enten designmodeller 1:1 eller som velfungerende prototyper, alt efter hvad teknologien tillod på det givne tidspunkt. Energipotentiale, brugervenlighed og markedspotentiale er undersøgt på baggrund af modellerne.

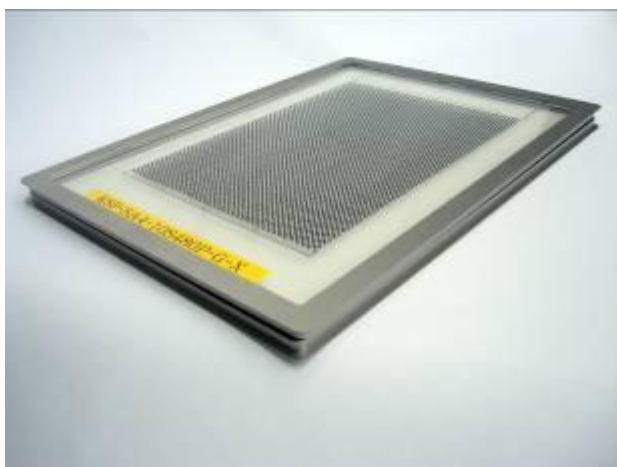
### Den transparente skærm

Det er fascinerende at holde Kyosemi cellerne op imod lyset og kigge igennem det finmaskede net af silicium perler. Denne æstetik er blevet brugt som integration i en bagskærm, som kan sættes på som tillæg på Montanas borde.

De transparente "vinduer" skaber en visuel forbindelse mellem hæve-sænkebordets bruger og resten af kontoret. Rammen til "Den transparente skærm" er af samme materiale og form som de eksisterende beslag på bordet, og fandtes til dels i Montanas sortiment allerede. Årsagen til vi valgte at arbejde med skærmen og en lodret placering, kom af fascinationen af at holde solcellerne op foran lyset.

Kyosemi panelet nedfræses i MDF skærmen, og ligger helt i plan med resten af pladen. De holdes på plads af 2 alu-rammer, som spænder omkring pladen. Strømuttaget føres ned til undersiden af skærmen igennem én usynlig ledningskanal og trækkes hen til styringen. Kyosemi-panelerne havde dimensioner svarende til A4 format, og to paneler er placeret centeret i hver sin halvdel af skærmen. Det skaber en visuel kontakt til kontoret og et indirekte smukt lys igennem perlerne.

Med "Den transparente skærm" får brugeren en spændende og anderledes visuel kontakt med sin kollega overfor igennem de vinduesagtige paneler, og med denne fascinerende teknologi vil man dagligt blive mindet om fremtidens teknologi og det bæredygtige tiltag. Det vil være et godt valg, hvis en virksomhed vil skabe et stærkt visuelt budskab, som skaber nysgerrighed omkring en unik løsning til nedsættelse af energiforbruget. På den måde kan en virksomhed sende et budskab om, at vægt på æstetik og stil sagtens kan gå hånd i hånd med en reduktion af strøm- og CO<sub>2</sub> forbruget.



*Her ses Kyosemi panelet i A4 format, samt en visualisering af panelet i en Montana skærm.*



*En visualisering af "Den transparente skærm" integreret i et sort Montana bord.*



*Det endelige design af "Den Transparente skærm". Bordet står i Montanas show room i Pakhus 48.*

### **Fuld bordintegration**

SunPower cellerne blev valgt på grund af deres høje effektivitet, og nemme tilgængelighed rent markeds-mæssigt. De kunne derfor være en del af det design, som vil kunne være tættest på en markedsintroduktion. Derudover spillede deres designmæssige høje kvalitet med et mørkt uniformt udtryk en stor rolle.

SunPower cellerne er integreret i de allerede eksisterende stikbrønde, som de fleste Montana borde leveres med. Deres enkelthed og mørke nuance lamineret i glas skaber et simpelt panel, der kan vippes op, og samtidig fungere som stikbrønd til kabler. Med SunPower har vi den højeste effektivitet set i forhold til arealet. Stikbrøndens areal og cellerne effektivitet passede sammen således, at der var behov for 4 stk. third cut celler. Cellerne er lamineret i hærdet glas-glas eller glas-tedlar for at skabe et udtryk, der passer til

alu-rammen. Glasset kan derudover fungere som en hængslet plade, der kan åbnes og lukkes. Det giver mulighed for at vinkle solcellepanelet, så det orienteres optimalt i forhold til lysindfaldet.

Kontaktingen imellem cellerne viste sig at blive meget klodsede, hvis de blev udført med konventionelle tykke lederbaner til bygningsintegration. Derfor blev der lavet en række forsøg med tynd metaltråde, som bibringer til det simple udtryk. Det lykkedes at finde frem til en næsten usynlig kontraktering af cellerne med en minimal diameter på lederbanerne, og det har krævet nye beregninger af modstanden i lederbanerne for at bevise at dette kunne lade sig gøre. Disse designresultater har kun været mulige i et godt samarbejde med Montana omkring deres krav til designet og projektgruppens erfaring med solcelleteknologier.

Strømuttaget er placeret skjult under hængselprofilet. Ved strømuttaget har vi arbejdet med en løsning, som tillader bevægelse, uden at skabe løs forbindelse i de tynde lederbaner, som er sårbare overfor gentagne bevægelser.

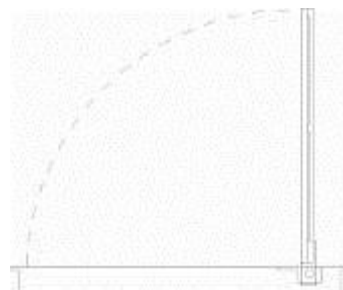
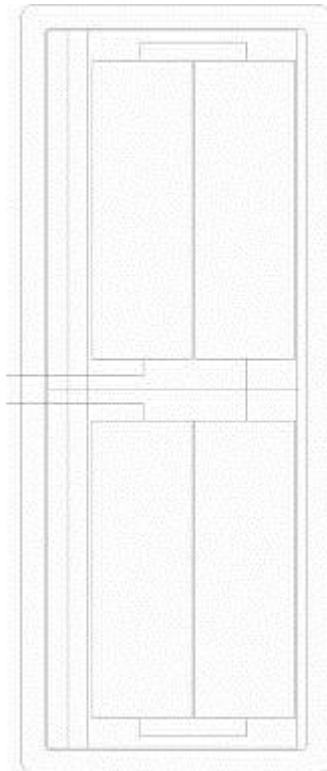
Ud fra undersøgelser og de erfaringer, man gjorde i tidligere faser og med de produktionsbegrænsninger, vi har skullet overholde, er det endelige design en transparent glas-tedlar løsning, som monteres i eksisterende ramme fra en stikbrønd. Rammen nedfræses i bordpladen og ligger plant med bordpladen uden anden fastmontering. Det gør montering enkelt og kan sågar foretages efter hæve-sænkebordet er opstillet i kontoret.



*Forsøg med laminering af SunPower cellen, samt forsøg med forskellige tynde metaltråde, som lederbaner.*



*Her ses vippefunktionen i en af prototyperne. Til højre ses det meget transparente look, som tilstræbtes i designprocessen.*



*Tekniske tegninger af solcellemodulerne til integration i bordfladen.*

Med den fuldt bordintegrerede løsning, har vi skabt en funktionsdygtig løsning, som også har en pris, som ligger i et område, som gør den tilgængelig rent kommercielt, da solcellen ikke vil kræve den store merudgift til bordets samlede pris.

Derfor besluttede projektgruppen at opsætte denne version af hæve-sænkebordet, dels i Montanas show room, hvor det står i dag, samt i Green Light House og på LINAKs stand i BellaCentret.



*Her ses det endelige design af det bord, som har det største kommercielle potentiale.*

### **Den fleksible løsning**

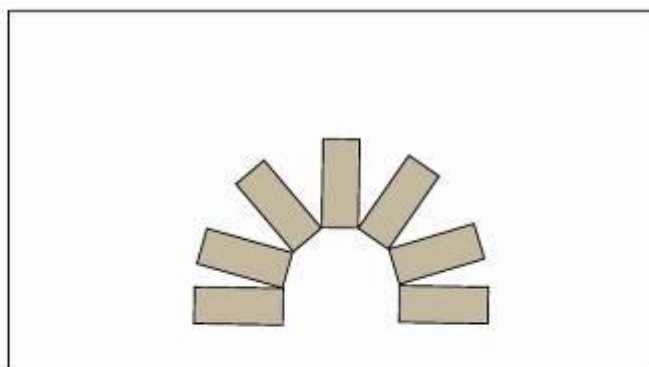
RISØ's polymerceller er karakteristiske pga. deres tynde plastik-laminering og bøjelige materiale, der minder om et stykke papir. De er meget lette og billige i R2R produktion. For øjeblikket forskes der i at få opskaleret solcellen til masseproduktion, hvorfor det var naturligt at bruge disse solceller i det sidste designforslag, da det giver muligheden for et 100% dansk produkt.

Der er arbejdet med at skabe et underlag som er fladt og kan rulles ud, som en dug, der placeres øverst på bordet eller et "skriveunderlag". Det skaber en sammenhæng mellem papirsager og andre dokumenter som ligger fladt på bordet. Med disse celler har arealet været styrende for designet, da arealet stadig kunne levere den nødvendige strøm. Derfor er arealet forholdsvis stort på nuværende tidspunkt, dog er det et parameter, som kan ændres hurtigt, i takt med at RISØ udvikler en mere effektiv celle. Derfor er



designarbejdet tænkt generisk og med mulighed for at variere solcellearealet, så det leverer strøm nok til et givent standby-forbrug, som kan variere, ligeså vel som cellens størrelse. I forbindelse med teknologiens potentiale som billig solcelle, er det oplagt, at se det som et fremtidigt produkt, der købes separat. I dette design er cellerne monteret med en elektronisk ledende tekstilsyning på en gummimembran, der ligesom en musemåtte ligger sig fladt på bordet, og giver en fleksibel og billig fremstillingsproces.

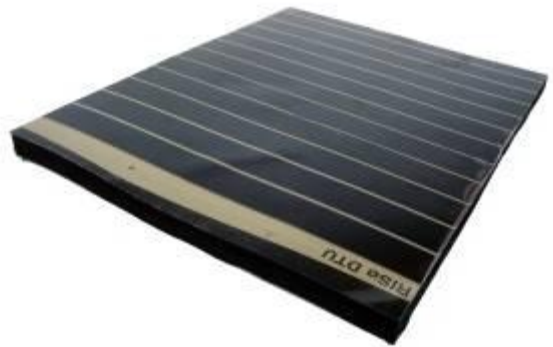
Det er vigtigt at brugeren kan identificere sig med produktet, da det skal være en del af personens hverdag, og vedkommende skal se og bruge det hver dag. Ud fra beregningerne kalkuleres der med, hvor mange celler der skal bruges til at dække et hæve-sænkebords standbyforbrug eller f.eks. oplade en mobiltelefon. Ud fra disse beregninger, er der foretaget en idégenerering på forskellige "mønstre". På baggrund af disse er der udformet 3 funktionsmodeller. De 3 modeller er vidt forskellige, og der prøves herigennem at ramme 3 forskellige målgrupper. Robotten er til personen, der vil udstråle teknisk snilde. "Øjet" er til den mere filosofisk anlagte person, der gerne vil udstråle at livet kan anskues fra mange forskellige vinkler. Den sidste model er en tredimensionel model, der er meget markant på skrivebordet. Denne er udført til brugeren, der gerne vil udstråle at hun/han fokuserer på miljøet og være lidt anderledes.



Inspiration: solopgang. Solens står op, energien er på vej. Solens stråler rammer solcellerne og mobilen kan nu lades. Computeren er placeret i midten af solopgangen. Udformningen gør at man kan have mobilen lige ved hånden.

	dato : 18.02.10	tegning nr. :
	initiale : RRR	scale : 1:10
subjekt : Solopgang		
projekt : CO2 neutralitet		
<small>Faktor 3 A/S CVR. Nr. 28.61.62.65</small>	<small>Arbejdsvejlede 10 Ind/S Ole 8520 Copenhagen V</small>	<small>T : (+45) 88 22 02 22 Y : (+45) 33 22 31 56</small>
		<small>www.faktor3.dk Arbejdsvejlede 3.48</small>

Se flere designforslag i Bilag H.

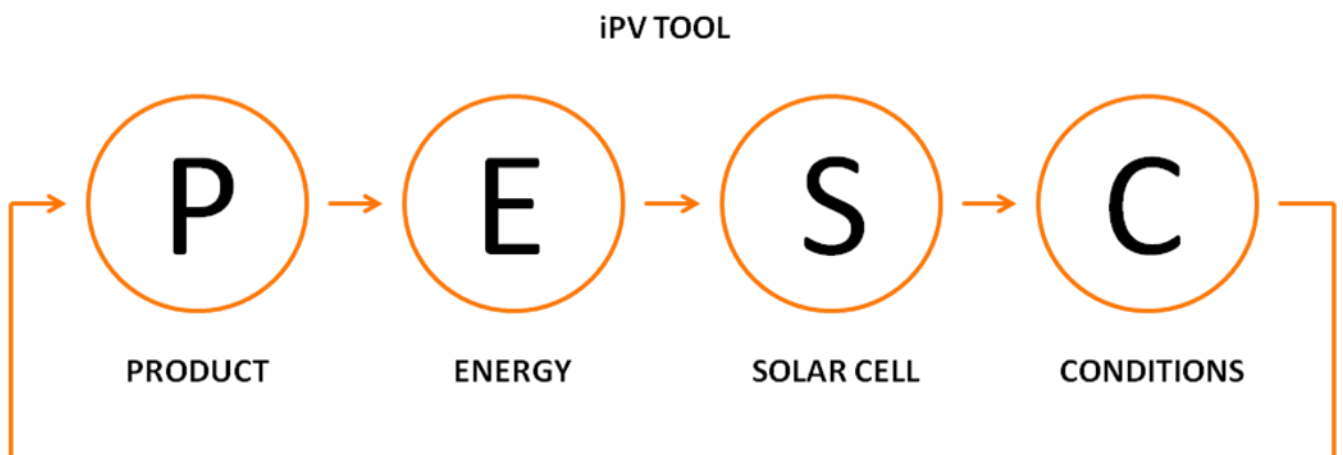


*RISØ's polymersolceller er oplagte til fleksible designløsninger.*

## iPV TOOL

### Præsentation af værktøjet

Projektet har dannet basis for at skabe et nyt værktøj "iPV TOOL", som er et redskab, som skal gøre det tilgængeligt for producenter og udviklere at integrere solceller i deres produkter med henblik på at nedsætte standby-forbruget i morgendagens strømforbrugende apparater:



**PRODUCT:** What product are we working with?

**ENERGY:** How much energy does the product consume?

**SOLAR CELL:** Can a solar cell produce that amount of energy?

**CONDITIONS:** In what surrounding conditions is the product typically placed?

### Præsentation af modellen

**PRODUCT:** Modellen skal forstås sådan, at det er vigtigt altid at tage udgangspunkt i produktet: Finde ud af, hvad det er for et produkt, vi gerne vil integrere solceller i. Hvordan ser det ud? Hvad bruges det til? Hvilket design har det?

**ENERGY:** Derefter er det vigtigt, at se på, hvor meget energi produktet bruger, som det ser ud nu. Hvor meget bruger det, når det står standby og hvor meget bruger det i drift? I hvilken situation spares der mest strøm? Dernæst skal der kigges på om det er muligt at reducere energiforbruget, dvs. elektronikken skal modificeres. Underleverandøren af komponenterne eller producenten skal derfor i spil (i dette tilfælde: LINAK) eller en ekstern udviklingsinstans (i dette tilfælde: Faktor 3), for at der bliver optimeret på elektronikdesignet.

*(Det er vores erfaring, at det i 99% af nutidens produkter vil være nødvendigt at reducere strømforbruget, da man tidligere har været vant til at strøm ikke kostede noget, og bare kunne hives ud af stikkontakten i lange baner. I dag er der helt andre krav til elektronikprodukter, men det lave strøm- og standby-forbrug er i langt de fleste tilfælde ikke implementeret endnu på markedet).*

**SOLAR CELL:** Nu skal der vælges solcelleteknologi. De data angivelser, man typisk får fra producenterne kan desværre meget sjældent bruges, da de kun giver information om solcellens maksimale effektivitet ved 1000 W/m<sup>2</sup>. Derfor er det vigtigt at få tal, som viser, hvad solcellen kan yde i lowlight conditions, f.eks. ved 200 W/m<sup>2</sup>. I dette projekt er der netop blevet udviklet en LED sol, som nu står hos DTU Fotonik, som kan levere disse målinger.

På baggrund af målingerne skal solcellen dimensioneres, så den har det rette areal i forhold til ydeevne og brugervenlighed. Dette er en kompetence, som i dette projekt, har ligget hos Faktor 3 og DTU Fotonik.

Designet af solcellen har stor betydning for, hvor vellykket den bliver integreret i produktet, og her spiller både laminering og materiale-overgange en meget vigtig rolle. Dette arbejde er blevet udført af Faktor 3 og Montana i dette PSO projekt.

**CONDITIONS:** Når produktet er blevet designet, skal specifikationerne fastsættes for, hvor og hvordan produktet kan tages i brug for at fungere, som det skal. Når der er tale om produkter med solceller, handler det om at vide, hvor meget lys, der er i et givent rum eller område, hvor produktet skal tages i brug.

I dette projekt har det handlet om at lave lysmålinger i almindelige kontorer (f.eks. ved DTU Fotonik) samt i SBI's dagslyslaboratorium. En anden måde at definere specifikationer, kan være via lovgivningen. F.eks. viste det sig i forbindelse med hæve-sænkebordet, at det fungerer, når dagslysfaktoren overholdes i forhold til den danske lovgivning.

**PRODUCT** (igen): Når alle 4 punkter er gennemarbejdet, og de forskellige dele er færdigudviklet, skal de samles til et nyt produkt. Her er design og brugervenlighed af yderste vigtighed for at få en vellykket integration i produktet. I projektet har det primært været Montanas, LINAKs og Faktor 3s rolle.

"iPV TOOL" blev første gang defineret i udgivelsen "*The Carbon Neutral Workspace – a Platform for Reducing the Standby Consumption*", som vakte international interesse på EUPVSEC 2009. Da vi formulerede værktøjet første gang, tænkte vi det omvendt:

*"A general approach for integrating PV (in indoor appliances) is set up:*

- a) Definition of surrounding conditions (light quality and intensity)*
- b) Energy consumption of appliance determined*
- c) Can the energy consumption be reduced?*
- d) Type of PV chosen on basis of a) and b)*
- e) Dimensioning of PV*
- f) Modification of electrical circuit*
- g) Integration in product"*

Som det ses har vi vendt rækkefølgen om i dag. Den ovenstående rækkefølge afspejler den kronologiske udviklingsproces, vi gennemgik på det tidspunkt. I dag kan vi se, at det giver mere mening, at arbejde med solcelleintegration ved at tage udgangspunkt i selve produktet, samt reducere energiforbruget tidligt i processen.

## **Formidling af projektet: Nationalt og internationalt**

### **Udstillinger, konferencer og messer**

#### **InterSolar 2009**

München, Tyskland. Maj 2009.



*Faktor 3s stand på verdens største kommercielle solcellemesse InterSolar 2009. Her præsenteres en række innovative solcelleprodukter fra Faktor 3s portefølje, hvoriblandt hæve-sænkebordet især vakte interesse.*

## **CODE09**

København, BellaCentret & Montana, Pakhus 48, Nordhavnen. August 2009.



*På CODE09 viste nogle af Danmarks mest toneangivende indretningsvirksomheder deres nyeste produkter og møbler frem. Derudover fremvistes midlertidige prototyper ved CODE09 i BellaCentret på LINAK's stand.*

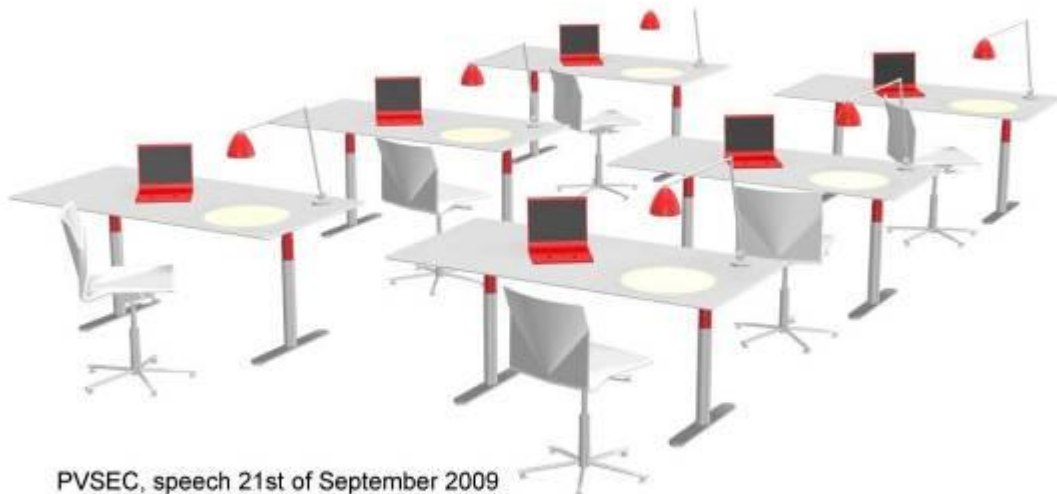
Montanas showroom ligger i den nyetablerede designzone i Københavns Frihavn ved siden af firmaer som Kvadrat, Erik Jørgensen, VOLA og Luceplan. På udstillingen blandede de første prototyper af hæve-sænkebordet sig med andre international kendte designprodukter. For mange besøgende havde det stor interesse, at høre hvordan hæve-sænkebordet kunne køre på solceller. To af prototyperne udstilles nu permanent i Montanas show room som bl.a. besøges af mange turister, der kommer til København med krydstogtskib, og derved opnås en international eksponering, som kan skabe endnu mere udenlandsk interesse for projektet.

### **EUPVSEC 2009**

Hamborg, Tyskland. September 2009.

## THE CARBON NEUTRAL WORKSPACE

- A platform for reducing the standby consumption



PVSEC, speech 21st of September 2009



Verdens største videnskabelige solcellekonference og –messe. På baggrund af det EUPVSEC "paper", som omtales forinden, blev vi inviteret til at præsentere "The Carbon Neutral Workspace" i september 2009 i Hamborg.

Verdens største videnskabelige solcellekonference og –messe. På baggrund af det EUPVSEC paper, som omtales forinden, blev vi inviteret til at præsentere "The Carbon Neutral Workspace" i september 2009 i Hamborg.

Peter Poulsen fra DTU Fotonik holdt oplægget, som blev set af 2.000 publikummer. Det blev meget velmodtaget....

Se præsentationen i Bilag x.

### COP 15

Ørestaden ved BellaCentret, København.

Montana, Pakhus 48, Københavns Nordhavn.

Green Light House, KU's campus, København.

December 2009 og frem:

ELFORSK udstillingen "Better Living with Efficient Energy", Ørestad ved BellaCentret. 23. november 2009 – 18. december 2009:



*ELFORSK udstillingen ved BellaCentret: På billedet til venstre ses hæve-sænkebordet, og to simple foranstaltninger, som gav kommende brugere mulighed for intuitivt at undersøge, hvordan solceller fungerer i indendørs omgivelser.*

Hæve-sænkebordet blev udstillet på ELFORSK udstillingen sammen med en række komponenter, som viste udviklingstrinene på vejen til et færdigt produkt. Der blev opstillet en velfungerende prototype af hæve-sænkebordet med solcellen fuldt integreret i bordfladen med SunPower celler. De besøgende kunne afprøve bordet, og derved forstå funktionaliteten og solcelleteknologien. Derudover havde projektgruppen fundet på to enkle foranstaltninger, som på en pædagogisk måde skulle visualisere, hvad der sker i bordet. Dels et multimeter, der viste hvor meget strøm solcellen i bordet generede "lige nu", når man bevægede hånden henover solcellen. Dels en LED-lampe, der lyste kraftigt eller svagt for at visualisere besparelsen i elforbruget – dvs. forskellen fra elforbruget før vores løsning og efter integrationen af solcellen.

**Green Light House**, Københavns Universitets campus. Fra November 2009 og frem.





*I Green Light House står to velfungerende hæve-sænkeborde med solceller integreret i bordfladen. De blev stillet op lige inden COP 15, hvor Green Light House nød stor presseomtale. De står der til stadighed, og bliver brugt hver dag af de to sekretærer, som fortæller, at de virker fint.*

### **Artikler og anden presseomtale**

August 2009:

Paper til EUPVSEC 2009. På baggrund af denne artikel blev projektet udtaget til præsentation på verdens største videnskabelige solcellekonference i Hamborg i september 2009, EUPVSEC:

*"The Carbon Neutral Workspace – a platform for reducing the standby consumption"* af Katrine Flarup Jensen, Barbara Bentzen, Faktor 3 og Peter Poulsen, Carsten Dam-Hansen, DTU Fotonik.

Læs artiklen i Bilag A.

August 2009:

*"Nyt kontormøbel med solceller"* og *"Ny messe kom godt fra start"*. Wood Supply.

Se Bilag B.

September 2009:

*"The Carbon Neutral Workspace"* af Katrine Flarup Jensen, Faktor 3.

Intelligent Glass Solutions (iGS), engelsk magasin, den 25. september 2009, England.

Læs artiklen i Bilag C.

# The carbon neutral workspace

Katrine Flarup Jensen, Faktor 3 Aps, MSC in Engineering



The new workspace

**Abstract**  
This article presents the process and results of the workspace design. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

Project goals and the design process are presented. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

conducted. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

increasing energy. The power consumption of the building is a key factor in the design process. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

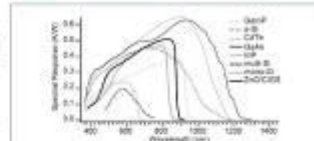


Figure 1: Power consumption of different lighting systems over time.



Measurement of electrical performance of different office furniture

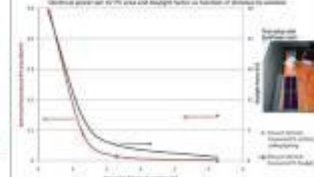


Figure 2: Measurement of electrical performance of different office furniture.

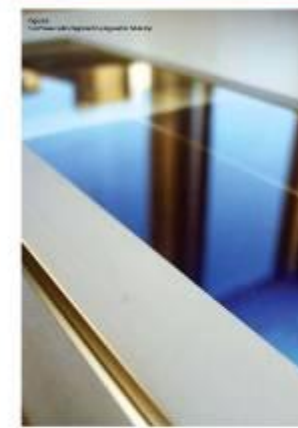


Figure 3: Close-up of the lighting fixture.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.



Figure 4: Adjusting the lighting fixture.

The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace. The design process was based on a series of workshops and a focus on reducing the energy consumption of the workspace.

November 2009 og frem:  
Montana folder til præsentation af projektet under COP15 og i øvrigt i deres show room.  
Se Bilag D.

## making room for development



**Montana**  
www.montana.dk

CO<sub>2</sub>-fri arbejdsplads  
**Montana**

## Montana lancerer nyt hæve-sænke-bord - med solceller



I august 09 præsenterede Montana en verdensnyhed med prototypen på det nye H82 hæve-sænke-bord, der med indbyggede solceller er et ledtæg af den CO<sub>2</sub>- og energieffektive arbejdsplads. Per Jørgen Lassen, Design & Kommunikation hos Montana, der var med til at sætte projektet i gang for et år siden, er det nye H82 solcellebord resultatet af en idé, som han har haft siden han fandt ud af hvor meget strøm, der bruges på elektriske standby-funktioner.

"Den strøm, der anvendes til standby på enhver arbejdsplads i form af computere, diverse opladere og fra vores særlige hæve-sænke-borde, er et overbetydligt forbrug. Hæve-sænke-borde har en positiv ergonomisk effekt på brugeren, og navnlig et stort salg af hæve-sænke-borde følte vi os i Montana habilit til også at sikre et positivt bidrag til klimastyringen. Derfor gik vi i 2008 i partnerskab med LINAK, Faktor 3, Gas Solar og DTU Fotonik, der er hns. leverandører af hæve-sænke-mekanismer og akseptor inden for næst af alle arbejdspladser. Næst med projektet var at reducere den CO<sub>2</sub>-relaterede strømforbrug, hvilket er EPCORs udgangspunkt under Dansk Energi, og fordi ud af, om solceller kan løse nok store til et hæve-sænke-bord," fortæller Jørgen Lassen.

H82 solcellebordet er et smart bord på, at akseptor nu kan køre standby-funktionen i hæve-sænke-borde. Det over succeserne fik det nye arbejdsbord også en ny styringselektronik, som bruger halvt så meget strøm end almindelige hæve-sænke-borde.

Resultatet er så overbevisende, at det er blevet solgt fra H82-borde med solcellepaneler, der adskilt af sig i to innovative energiproduktionsstillinger: 2-borde i Green Light mode og Kobber-havne Universitet, 1 bord i Energy Recovery ved "Vejen" og 1 bord i bord på LMA's stand 04-121 på Skandinavisk Træcenter i Bella Center.

"Vi arbejder videre med projekter og forventer, at bordet vil være færdigudviklet og i salg i starten af 2010. Med denne type borde er vi et stort nært samarbejde om klimavenlige arbejdspladser," siger Jørgen Lassen.

### Spør CO<sub>2</sub> udledning

Det nye solcellede hæve-sænke-bord til reducerer en reduktion af energiforbrug i kontorarbejde. Det ved optimering af elektriske komponenter og dels ved at standby-fordraget lever på 300W. Projektet vurderer, at der findes ca. 500.000 hæve-sænke-borde i Danmark. Standby-forbrug var ved projektets start i 2008 ca. 2,4 kWh, hvilket svarer til 17,5 kWh pr. bord pr. år. Dette betyder, at der bruges ca. 8.750.000 kWh pr. år i Danmark. Dette kWh-forbrug kan omregnes til 4300 ton CO<sub>2</sub>, som akseptor anvend til standby-funktionen på de antagelige 500.000 standard hæve-sænke-borde ville kunne spars vedes til:

### Samarbejdspartnere

Samarbejdspartneren i udviklingen af solcellerne og det nye hæve-sænke-mekanisme i Montana H82 solcellebord er LINAK hæve-sænke-mekanisme, Faktor 3 design og udvikling af akseptor og styringselektronik, Gas Solar (solcellekomponenter) og DTU Fotonik (LED teknologi og forskning indenfor lysledning) og Montana endeproducent.



December 2009:

Inform 0409 - temanummer om bæredygtighed:

"Smart teknologi og godt design kombineres med bæredygtighed" af Helle Lorenzen.

AF HENRIK LARSEN, KONTAKTSALINGSANSVÆRSELSESDIRIGENT (U)

Faktor 3 har i stor mere og mere miljøbevidste verden fundet sig til rette i en god niche. Designeren, civilingeniøren, teknologudvikleren og arkitekten er nemlig udelukkende involveret i projekter, der har vækster som teknologisk omdrejningspunkt.

# Smart teknologi og godt design kombineres med bæredygtighed

Faktor 3 har lige dele afpasselse af design, teknologi og bæredygtighed og arbejder på at få de tre faktorer til at hænge sammen – med særligt fokus på integrering af solceller i deres produkter og projekter. Blev virksomheden stiftet for otte år siden har både bæredygtighed og design været et af de vigtigste elementer i arbejdet med solcelle integration.

"I vores vision er det klart, at solceller skal være et af de vigtigste elementer i vores perspektiv," siger direktør for design og IT Morten Bentzen, som var med til at starte Faktor 3. Han uddyber:

"Vi tænker på de mennesker, der skal bruge produktet, hvad det er, og i hvilken sammenhæng skal produktet bruges. På arbejdet vil vi opbygge med en lang række af forskellige løsninger, så det bliver muligt at løse alle typer af problemer. Det betyder, at vi skal være fleksible og kunne tilpasse os til de forskellige behov, der kommer på vejen. Vi tænker på bæredygtighed, og vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt. Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt. Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt."

**Penge til research og udvikling**

For virksomheden er det vigtigt at investere i research og udvikling. Morten Bentzen og Linné, som er ansvarlig for teknologien i virksomheden, uddyber:

"Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt. Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt. Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt."

**Standby-forbrug er det største**

Morten Bentzen har undersøgt, at det største standby-forbrug er det største standby-forbrug. Morten Bentzen og Linné, som er ansvarlig for teknologien i virksomheden, uddyber:

"Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt. Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt. Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt."

Fortsættes i bilaget.

August 2009:  
 Stor annonce i Information, udarbejdet af Montana.  
 Se annoncen i Bilag F.

Forsvulst – nogle personer står op flere gange om dagen, så de kan stå på arbejde. Når de trykker på en knop, så kan det være interessant at vide, at det er en standby-forbrug, som faktisk også kan være et stort problem. Og der er ingen af os, der har tænkt på at sætte kvalitetsstandarder i solceller. Når vi har brug for et produkt, så er det vigtigt at have et godt design og et godt design. Det vil sige, at vi skal have et godt design og et godt design. Derfor er det vigtigt at have et godt design og et godt design.

Et Linné-system bruger 2 W i standby. Faktisk så meget, at solceller ikke kan dække behovet. Linné koncentrerer sig derfor om at udvikle en ny styringsenhed, og det betyder, at produktet bliver brugt til 1,4 W. Solceller kan nu opbygge et energiforbrug på 1,4 W, der er for stort til at dække behovet. Derfor er det vigtigt at have et godt design og et godt design.

**En solcelle er ikke bare en solcelle**

Projektets startpunkt havde nu været, at der var brug for at lave solceller, der kunne bruges til standby-funktionen i hvidevarer. Morten Bentzen og Linné, som er ansvarlig for teknologien i virksomheden, uddyber:

"Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt. Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt. Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt."



Montana hører solceller med solceller integreret i bordfladen



Clear up af solceller med integreret i bordfladen

Derfor er et eksempel fra vores solceller er et eksempel fra vores solceller. Morten Bentzen og Linné, som er ansvarlig for teknologien i virksomheden, uddyber:

"Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt. Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt. Vi tænker på, hvordan vi kan gøre det mest bæredygtigt muligt."



2009:  
ELFORSK Nyt nr. 8.  
Bilag G.

**Den klimaverdige familie**

"Der er tale om et helt nyt projekt, der går ud på at vise - selv i DR - og andre populære medier, at den grønne familie i Danmark, hvordan en helt almindelig dansk familie kan leve af sine klimaverdige og gode."

Der skal bl.a. udsendes et webbaseret katalog med klimaverdige ting, der er relevante for en almindelig dansk familie, som så gennemføres i 100 almindelige familier - og der er også en scenarionovelle om et blive bedst. Men det andet er DTU indtaget i projektet og vil producere tv-indslag, som sætter fokus på familiens tilgang, som deres vinding på familiens frisure, økonomi, søvnrutiner og søvnrutiner.

Lid over **teknologisk institut**, som er projektleder, **Lokal energi, Statens Byggeteknologisk Institut, Danmarks Hødd og de udsatte familier, anlæg og anlægspersoner, Christian Felthaus**, fastslår derfor som i henhold til, og på alle i henhold til projekten. Christian Felthaus er - som med alle i projekten. Felthaus skriver med DTU-bogen om at gøre på miljøet plus familiens erfaringer som mangfoldig produkt i relationen her - at være med til at sikre, at budskabet om det klimaverdige familie bliver overbragt på tværet af alle mulige og målt i de forskellige medier.

**Mere solcelledriven udvikling til belysning m.v.**

"To projekter har fået midler til at videreudvikle allerede eksisterende projekter. Det er **Finland OUTSOLAR**, som i samarbejde med **ELFA**, **ELFA**, **Karlsruhe Institute of Technology** og **DONG Energy** vil udvikle og designe nye produkter, der lever på 100% grøn energi på basis af en kombination af solcelle, LED-lyskilde, intelligent elektronik og en nyudviklet smart net tilknytning.

**ELFA** 3 kan desuden gå videre med at udvikle indendørs løsninger til Den COP Noulux Akademiets - også brug af solceller i lofterne, som f.eks. andre projekter er **ELFA**, **DONG Energy Group**, **DTU Fotonik** og **Solar Sense**. Det er et forsøgsarbejde af konceptet, som kan på

**Første skridt mod hybrid fiber belysning**

DTU Fotonik arbejder nu på at udvikle de mest moderne teknologier og har som projektleder fået støtte til at undersøge mulighederne for hybrid belysning - altså kombinationen af fiber og solceller til indendørs belysning.

Der er tale om et projekt, som både vil forsøge at integrere de teknologier og teknologier, f.eks. hvad angår fibre - og dermed udvikle og afprøve de mest brugervenlige løsninger, bl.a. samarbejde med **ELFA** og **DONG Energy i Kolding**.

**WWW.ELFORSK.DK**

**Foredrag**

4. december 2009: IDA under konferencen "LED – fremtidens belysning 2009":

"Fremtidens bæredygtige designprodukter" af Barbara Bentzen.

27. januar 2010: Copenhagen Business School:

"Fremtidens bæredygtige designprodukter" af Barbara Bentzen.

19. september 2009: Domeas årsmøde:

"Visioner om solceller" af Barbara Bentzen.

April 2009: Kunstakademiets Arkitektskole i København:

"Solceller og design" af Kristian Bartholin Holm og Barbara Bentzen.

31. januar 2009: Boligselskabernes Landsforening årsmøde:

"Solceller i nye anvendelser" af Katrine Flarup Jensen og Barbara Bentzen.

## Perspektivering

### Potentielle iPV applikationer



Solceller i indendørs applikationer er endnu et fuldstændigt uberørt marked. Projektgruppen har kun kunnet finde frem til ét andet (forsknings)projekt i Europa, som beskæftiger sig med noget lignende. iPv (indoor Photo Voltaics) er derfor meget interessant at kigge på i forbindelse med nye markedsområder.

Mange små apparater har et lille, men konstant elforbrug. Det gælder f.eks. antenneforstærkere, telefonsvarere, transformere til halogenlampe, bevægelsesmeldere, trådløse telefoner, opladere til diverse små-apparater (som mobiltelefoner, ministøvsugere, barbermaskiner, boremaskiner, elektrisk tandbørste, m.v.). Enhver husstand i Danmark og lande som Danmark har som minimum en medieafspiller. Der ses derfor et enormt stort marked for at nedsætte standby-forbruget, ikke mindst i kontorer, i disse apparater på en simpelt og fuldt integreret måde, og dermed have markedsfordele, da der kan reklameres med produkter, som har et lavere strømforbrug og kan spare slutbrugeren mange penge.



Sensorer og integrerede solceller har også et stort markedspotentiale. Der findes bl.a. lyssensorer, lydssensor, varmesensorer, elektricitet sensorer, mekaniske sensorer, RFID sensorer, hastighedsmålings-sensorer osv.

I vores markedsundersøgelser har vi ikke fundet mange velfungerende produkter med solceller. Vi ser derfor et stort uudnyttet potentiale for at bruge solceller i alverdens (design)produkter med iPV-løsninger i fremtidens kontormiljøer og hjem. Elektronikkomponenter bliver i dag mere og mere energieffektive, og forprojektet har vist, hvordan en nytænkning af energigivejere og anvendelse af solcelleteknologi kunne bringe en markant energibesparelse med sig. Fra et standby-forbrug for et hæve-sænkebord på 1,5-2W til 350µW, hvilket reelt er 0W i bygningens energiregnskab, da det kommer fra solcellerne.

Lignende besparelser i andre produkter er nærliggende at forestille sig. Udover alle disse tekniske potentielle iPV perspektiver, som kan ligge i forlængelse af dette PSO-projekt, ser projektgruppen mange muligheder i integration af solceller i designprodukter, hvor solcellen kan bidrage med et mindsket CO<sub>2</sub> udslip, og en øget æstetik i produktet. En fremtidens æstetik, som viser vejen for morgendagens bæredygtige løsninger.

### Markedspotentiale

Standby forbruget vokser dag for dag i verden, i takt med at der kommer flere og flere strømforbrugende apparater til. Det er uundgåeligt i en verden i udvikling, men det er ikke nødvendigvis ensbetydende med, at fremtidens produkter skal være uintelligente produkter, som bare bidrager til forbruget. Vi har med dette projekt vist vejen frem imod mere intelligente og grønne produkter.

Der er blevet udarbejdet en simpel SWOT analyse, for at visualisere mulighederne for en videre proces efter PSO projektet er fuldendt:

### SWOT analyse

<p><b>Strengths</b></p> <p>Innovativ nedsættelse af standby-forbruget</p> <p>God brug af solceller som energiproducent</p> <p>Nedsættelse af omkostninger og CO<sub>2</sub></p> <p>Fungerer uden oplæring af brugeren</p> <p>Der skal ikke slukkes på stikkontakten for at spare strøm – høj brugervenlighed</p>	<p><b>Weaknesses</b></p> <p>Merpris på solceller må ikke overstige prisen for elforbruget (el er stadig billigt)</p> <p>Måske for tidligt ude</p> <p>Det er ikke velkendt at anvende solceller fuldt integreret produkter, oven i købet indendørs</p>
<p><b>Opportunities</b></p> <p>First-mover advantage</p>	<p><b>Threats</b></p>



<p>Elegant løsning af et problem</p> <p>Kilowatt-prisen er stigende</p> <p>Solcelle-prisen er faldende</p>	 <p>El-spaeskinne</p> <p>Andre produkter, som nemt og billigt kan nedsætte standby-forbruget i apparater</p>
--	--

Analysen har vist os, at der er mange faktorer, som er på plads allerede i dag, for at en produktion ville kunne give mening, og antallet af udfordringer måske ikke overstiger antallet af muligheder.

Derudover har vi foretaget nogle simple beregninger på, hvor meget der kan spares:

Et typisk hæve-sænkebords standby-forbrug er 17,5 kWh. Hvilket svarer til 10 kg CO<sub>2</sub> udslip om året pr. bord. På baggrund af et estimat ud fra Danmarks statistik findes der 650.000 elektroniske hæve-sænkeborde. Dette betyder, hvis alle arbejdspladser skifter deres nuværende borde ud med et nyt solcelledrevent bord, at der på årsbasis i Danmark vil reduceres med 5.659.500 kg CO<sub>2</sub> udslip.

På baggrund af det store besparelspotentiale og den drivkraft, der ligger i forhold til at kunne blive "first-mover" på et ellers konservativt marked, diskuteres der på nuværende tidspunkt på ledelsesplan i LINAK og Montana, hvorvidt man skal gå videre med at sætte et hæve-sænkebordet med solceller i produktion. De ønsker begge at styrke deres grønne profil som to ansvarlige og trendsettende virksomheder. Især Montana og LINAK anser det for af stor værdi at kunne tilbyde deres kunder et flot designprodukt, som har en flot grøn profil på en anderledes måde. Markedspotentialet er stort!