

# HYBRID FIBER BELYSNING

- RETTET MOD ET MINDRE ØKOLOGISK FODAFTRYK



ELFORSK- PSO projekt 341-043  
2010 Belysning (styring og regulering)

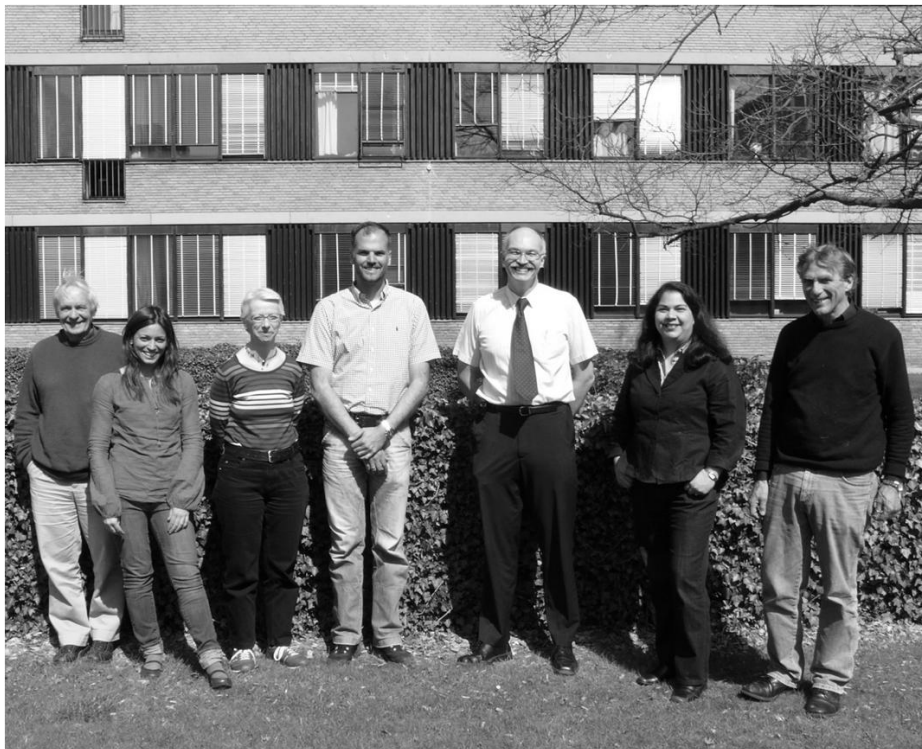


SVEA-NVE



## Projekt deltagere:

<b>Anders Bjarklev</b>	<b>DTU Fotonik</b>
<b>Lara Scolari</b>	DTU Fotonik
<b>Araceli Bjarklev</b>	RUC- ENSPAC
<b>Tyge Kjær</b>	RUC- ENSPAC
<b>Jan Andersen</b>	RUC- ENSPAC
<b>Helle Trolle</b>	Designskolen Kolding
<b>Kent Laursen</b>	Designskolen Kolding
<b>Vibeke Riisberg</b>	Designskolen Kolding
<b>Poul Ibsen</b>	IBSEN El-anlæg ApS



**PSO projekt nr. 341-043**  
**September 2010**

## **Forord**

Projektgruppen vil gerne indledningsvis rette en stor tak til ELFORSK for at støtte arbejdet med hybride fiber belysningsystemer med finansiering samt med værdifuld information i forbindelse med projektopstart, generelt materiale om projektafvikling og kvalificerede råd i projektperioden.

Vi vil desuden gerne sige tak til SEAS-NVE for at deltage i følgegruppen og at medvirke ved møder i forbindelse med afholdelsen af konferencen SUNRICE på RUC i april 2010.

En stor tak skal ligeledes udtrykkes i forhold til studerende ved Designskolen Kolding for deres store arbejde i forbindelse med udvikling af innovative lampe prototyper, og for velvilligt at udlåne disse i forbindelse med projektudstillingen ved SUNRISE konferencen.

**Note:** Den nuværende projekt startede som en forslag som stammer fra Araceli Bjarklev's aktuelle PhD projekt. Hovedreferencen er derfor: *Bjarklev A.,(2011) draft of the PhD Thesis "Design of low carbon technologies – a feasibility innovation study for office illumination" som bliver publiceret i December 2011. Roskilde Universitet, ENSPAC Institut; med mindre andet er indikeret i rapporten.*



# Hovedresumé

---

Forbedret belysningsteknologi er et af de væsentligste redskaber til reduktion af el-forbrug og dermed CO<sub>2</sub> belastningen i det danske samfund. Dette er idag i kraftig udvikling med lovgivningsmæssige initiativer rettet imod udfasning af glødepærer og hastigt voksende aktivitet indenfor LED belysning. Med udgangspunkt i en af verdens førende teknologier indenfor lysledere afdækker dette projekt, hvorvidt det er energimæssigt, økonomisk, socialt og teknologisk realistisk under danske forhold at udnytte mulighederne indenfor hybrid fiberbelysning - altså systemer, der direkte flytter solens lys indendørs via lysledere.

Hybrid belysning er en kombination af fire teknologier: samling af sollys (dagslys), generering af kunstigt lys, samling-transport og distribution af lys, hvor det er nødvendigt, og driftsregulering af både naturligt og kunstigt lys. Herigennem nedbringes energitab, som normalt er uløseligt bundet til solceller. Projektets mål var at sammensætte regionale institutioner, andre sektoraktører, designere og industri kompetencer med henblik på at reducere det lys teknologiske fodaftryk med kommercielt potentiale både i Danmark og på et globalt marked.

En af grundtankerne i projektet er, at selvom man effektiviserer lampen, så vil dette ikke betyde så meget, hvis el-forbruget forsættes med at stige. Derfor handler det om at integrere vedvarende energi og belysningsteknologier i kombination med den bedst tilgængelige teknologi inden for dagslys og kunstigt lys med det største teknologiske potentiale til videre at hente energi effektivisering. Dette gøres under teoretiske overvejelse med hensyn til energi definition inden for effektivitets principper med relation til den bedste udnyttelse af synlige lys. Vores overvejelser i forbindelse med at forudse potentialer og opnå en effektiv implementering er baserede på definitionen af belysning som en produkt-service med et systemisk perspektiv som tager hensyn til obligatoriske og positioneringsmæssige egenskaber fra den service, som vi vil gerne levere, nemlig en bedre belysningsservice til kontor brugere. Inden for de aspekter, som vil påvirke en effektiv implementering, som f.eks. pris og lys kvalitet overvejer vi servicen under et totalt omkostnings-livscyklus perspektiv i sammensætning med Eco-design teorier, hvor man tager brugernes præference som udgangspunkt med særlig fokus på kontor sektoren. Dette gøres ved at teste vores hybrid belysning system hvor vi inddrager brugere ved hjælp af kvalitative og kvantitative interviews og med et stærkt samarbejdet mellem Roskilde Universitet, DTU-Fotonik, Designskolen Kolding og IBSEN el-installatør projekt partner.

Nogle af de væsentlige resultater fra dette projekt er en konstruktion af et hybrid system baseret på et solar optiske system og LED teknologi samt design og udvikling af armaturer som kunne sammensætte både dagslys og kunstig lys.

Vores analyse viste, at et system kun baseret på LEDs kunne spare 36% energi sammenlignet med et system baseret på T5 (Fluorescerende lamper), som i dag betragtes som den bedste tilgængelige teknologi. Analysen peger yderligere på en energi besparelse på **59%**, når man kombinerer et solar optisk system med LED teknologi i et hybrid system. Vi fik konstateret, at der er meget stort potentiale for videre design og applikationer, som kan være baserede på en hybrid belysning med kombination af de to nævnte teknologier (optiske fibre og LEDer).

Vi konstaterede også, at Hybrid belysningssystemer er i en meget tidligt fase af innovations livs cyklus, og at en af den væsentlige barriere for en succesfuld implementering er den betydeligt høje pris. Dette er dog et typisk problem, der opstår med nye teknologier, og derfor vil en videre udvikling fulgt op af pilot test projekter kunne bringe dette teknologi hurtig til en mere konkurrencedygtig plads, selv om man som basis vælger systemer baseret på T5 teknologi.

Vi konstaterede, at der er bred accept af det nuværende system fra kontor brugerne i mange områder, hvor ikke er det mulig at have vinduer, men for at gøre systemet bedre til at dække andre sektor er det nødvendigt, at fortsæt med at forske inden for design, som kan levere en større lys intensitet og bedre farve, mens man passer på at opnå en bedre lys fordeling. Dette gør sig gældende både ved samling af dagslys, fibre og LED teknologier samt armatur design.

## Indholdsfortegnelse

Hovedresumé .....	5
1 Indledning .....	9
1.1 Projekts målsætningerne.....	11
1.2 Teknologi beskrivelse .....	11
1.2.1Fiberbelysning .....	12
1.2.2 Solare belysningsystemer .....	12
1.2.3 Hybride fiberbelysningsystemer .....	13
2 Generelle metoder .....	14
2.1 Primære teoretiske overvejelser .....	14
2.2 Fremgangsmåde .....	17
2.2.1 Sammensætning af faglige kompetencer .....	17
2.2.2 Definition af base line og alternative teknologier .....	17
2.2.3 System afgrænsning .....	19
3 Teknologisk vurdering .....	20
3.1Fiberteknologi.....	20
3.1.1 Farvegengivelse .....	23
3.1.2 Solfanger teknologi.....	24
3.1.3 Egenskaber af plast fibre anvendt til indkoblingskarakterisering .....	27
3.2 LED'er eller CFL'er i kombination med solar optiske fibersystemer?.....	29
3.2.1 Belysningens effektivitet .....	30
3.2.2 Levetid og lumen bevarelses factor.....	31
3.3 Sammenfattende teknologi vurdering: .....	32
4 Energi Analyse .....	33
4.1 Udregning af energi besparelsespotentialt .....	34
4.1.1System grænser .....	35
4.2 Energi input vs. lumen output i et solar fiber optisk system.....	35
4.3 Produkt-service vurdering .....	39
5 Livs cyklus omkostningerne – vurdering .....	40
5.1 Omkostninger relateret til belysningsystemer .....	40
5.2 Vurdering af brugsfase udgifter for tre sammenlignende tilfælde .....	41
5.3 Sensitivitets analyse .....	45
5.3.1 Scenario 2 .....	46
5.3.2 Scenarie 3 .....	47
5.4 Sammenfatning .....	48
6 Installations vurdering .....	49
6.1 Fordele.....	49
6.2 Forslag .....	50

6.3 Sammenfatning .....	50
7 Design vurdering.....	51
7.1 Installation af solar optisk system på Designskolen Kolding: .....	51
7.2 Udviklingen af Hybrid Systemet .....	53
7.3 Designudvikling af hybrid armaturer .....	55
7.4 Designudviklingsforløb med udgangspunkt i hybrid fiber lys teknologien .....	57
7.5 Design applikationers muligheder .....	60
7.5.1 Fra optiske fibre til lysende udsmykning .....	60
7.5.2 Lysende vægpanel .....	63
Sammenfatning .....	65
8 Forbrugs undersøgelse .....	66
8.1 Hovedresultater fra den kvalitative undersøgelse: .....	67
8.2 Hovedresultater fra de kvantitative interviews.....	67
8.2.1 Lysets dynamik .....	69
8.2.2 Lys temperatur, lys farve og andre lys kvalitet parameter.....	70
8.2.3 Lys kvalitet med hensyn til lys fordeling.....	71
8.2.4 Påvirkning af armatur design med hensyn til belsnings accept.....	71
8.2.5 Potentielle markeder ifølge testpersoner .....	72
8.3 Sammenfatning .....	73
9 Formidling.....	74
10 Konklusion og hovedresultater.....	78
References .....	80



# 1 Indledning

---

Med et hastigt stigende og stærkt politisk ønske om at Danmark skal bidrage til reduktion af verdens samlede CO<sub>2</sub> belastning og gøre sig energimæssigt uafhængig af fossile brændstoffer, er belysningssektoren et af de mest strategisk vigtige områder, hvor man kan hente energi besparelser og dermed CO<sub>2</sub> reduktioner. Dette reflekteres i den Europæiske Kommissions beslutningsproces med at udfase gløde lamper. Ikke desto mindre er der andre miljøproblematikker, som også gør sig gældende - for eksempel giftstoffer og især produktion af kviksølv i hele belysningssystemets livs cyklus og dermed den nuværende europæisk diskussion om udfasning af fluorescerende lamper (konventionelle sparepærer). Vores projekt fokuserer på belysning i service sektoren og mere specifikt på kontor belysning. Denne sektor er valgt på grund af, at netop kontor belysning er ansvarlig for det største forbrug af elektricitet med hensyn til belysning i Danmark (Bjarklev, et al., 2010).

Når vi refererer til fodaftryk, så refererer vi også til en holistisk tankegang, hvor vi, i vores ønske om at bidrage til at løse dette problem tager hensyn til CO<sub>2</sub> reduktioner, besparelse af energi baseret på fossile brændstoffer, mens vi tænker på netto reduktion af kviksølv i hele belysningservice livs cyklus og mindre forbrug af materialer.

Den Europæiske Union har taget hensyn til denne problematik med sine retningslinjer med hensyn til "ECO-design" direktiverne. I denne relation findes allerede forskellige Forberedende Studier, som identificerer de mest betydelige miljøaspekter, som gør sig gældende, når man skal designe fremtidens løsninger til at leverer belysnings servicen i fremtiden. Nogle af de mest relevante konklusioner fra de Europæiske studier med hensyn til kontorbelysning er, at selv om man implementerer de bedst tilgængelige teknologier, så kommer kontor belysningssektoren til at forøge sit elektricitetsforbrug i 2010 i relation til forbruget i 1990 og med det vil sektoren:

- Bruge 25 % mere energi
- Undslippe 66 % flere giftige stoffer
- Undslippe 30 % mere CO<sub>2</sub>

Andre af de vigtige konklusioner fra de ECO-design forbedrende studier er at, en mere intelligent integration og udstyring af dagslys i sammensætning med kunstigt lys er en af vejene til at bedre opnå de overordnede miljø og energi målsætninger.

Problematikken er ikke enkel, da der på den ene side kommer strengere restriktioner med hensyn til hvor meget areal vinduerne skal bruge i nye bygninger med hensyn til isolering og det total energi forbrug inde i

bygningerne, og på den anden side, nye Danske belysningsstandarder til kontorer kræver en forhøjelse fra 200 til 500 lumens på arbejdsborde. Hvilket vil betyde en begrænsning til inddragelse af dagslys og vil forhøje Danmarks elektricitet forbrug endnu mere i belysningssektoren.

Problematikkerne har på den anden side åbnet for en række innovationsinitiativer, som kan bidrage regionalt til nye produktionsaktiviteter og skabelse af nye arbejdspladser. På nationalt såvel som internationalt plan arbejdes der i dag allerede med spændende og lovende teknologier, hvortil hører effektiv udnyttelse af solceller, batteriteknologi og LED belysning.

Så, spørgsmålet er hvilke muligheder eller barrierer kan et solaroptisk system bidrage med til at reducere kontoret belysnings økologiske fodaftryk på en mere effektiv måde?

Vores hypotese i begyndelsen af dette projekt var, at i dag kunne Danmark bidrage med en meget mere direkte løsning til opnåelse af en energieffektiv belysning, med at føre sollyset ind i bygninger direkte gennem lysledere (også kaldet optiske fibre) og ved at kigge på hybride belysningssystemer.

Hybrid belysning er en kombination af fire teknologier: samling af sollys (dagslys), generering af kunstigt lys, samling-transport og distribution af lys, hvor det er nødvendigt og driftsregulering af både naturligt og kunstigt lys.

Grundtankerne er, at selvom man effektiviserer lampen, så vil dette ikke betyde så meget, hvis el-forbruget forsættes med at stige. Derfor handler det om at integrere vedvarende energi og belysningsteknologier i kombination med den bedste tilgængelige teknologi inden for kunstigt lys med det største teknologiske potentiale til videre at hente energi effektivisering.

Dette er relevant i alle de lokaler, som ligger langt fra vinduer eller i rum, hvor der slet ingen vinduer er, og en af de umiddelbare fordele er den, at det energitab som man vil have f.eks. ved kombinationen solcelle-batteri-lyskilde vil kunne mindskes betydeligt ved direkte transmission af sollys.

Udnyttelse af fiberbelysning er relativt ny, idet man igennem det sidste årti har udviklet muligheden for at kunne placere en central lyskilde og fordele lyset rundt til forskellige punkter. Denne teknologi udnytter, at lyset undergår meget små tab (en halvering af intensiteten over en afstand af ca. 15 meter ved anvendelse af plast baserede fibre) og dermed kan flyttes til de ønskede steder. Eksempler herpå er f.eks. lys i bygninger og veje og ikke mindst svømmehaller (hvor fugt kan være et problem), på steder hvor lysgiverne er anbragt på svært tilgængelige steder som i teatre og biografteatre, eller ved udstillinger af f.eks. museumsgenstande, der ikke tåler varmeafgivelsen fra kraftige lyskilder.

Med Danmarks førende position som producent af høj kvalitets optiske fibre, var det målsætningen med dette projekt at tage denne udvikling til et punkt, hvor det er et reelt alternativ til andre

belysningsystemer. Kompleksitet af sådan en udfordring krævede et førende internationalt udgangspunkt indenfor lyslederteknologien, adgang til state-of-the-art modeller, viden indenfor social videnskab, førende designviden, samt en tæt dialog og samarbejde med fagligt relevant aktører inden for el-installation som erhvervsgren.

Projektet indeholder syv hovedelementer: Kapitel 2 redegør for vores metoder og præsenterer de teknologier, som er behandlet i vores projekt, kapitel 3 argumenterer for de bedst tilgængelige teknologier indenfor kunstig og dagslys belysning under en livscyklus vurdering. I kapitel 4 identificerer vi den bedst tilgængelige teknologi, der teknologisk og designmæssigt kan bidrage til at designe et hybrid lys system, der både integrerer kunstig og dagslys. I kapitel 5 vurderer vi omkostningerne forbundet med det hybride lys systems totale livs cyklus forbrugs fase. I kapitel 6 undersøger vi forbrugermæssige potentialer. Vi afslutter denne rapport med vores konklusioner og perspektiver til fremtidens forskning samt vore anbefalinger til fremtidig produkt udvikling.

## **1.1 Projekts målsætningerne**

Med udgangspunkt i en af verdens førende teknologier indenfor lysledere vil dette projekt afdække, hvorvidt det er energimæssigt, økonomisk, socialt og teknologisk realistisk under danske forhold at udnytte mulighederne indenfor hybrid fiberbelysning - altså systemer, der direkte flytter solens lys indendørs via lysledere. Dette kombineres med udnyttelse af centralt placerede lyskilder, der træder i funktion ved fravær af en tilstrækkelig mængde sollys. Herigennem nedbringes energitab, som normalt er uløseligt bundet til solceller, og sollysets naturlige farvesammensætning udnyttes optimalt. Projektets mål er at sammensætte regionale institutioner, andre sektoraktører, designere og industri kompetencer med henblik på at reducere det lys teknologiske fodaftryk med kommercielt potentiale både i Danmark og på et globalt marked.

## **1.2 Teknologi beskrivelse**

På nationalt såvel som internationalt plan arbejdes der i dag allerede med spændende og lovende teknologier, hvortil hører effektiv udnyttelse af solceller, batteriteknologi og LED belysning. Overordnet var dette projekts målsætning at belyse, at man i dag i Danmark kan bidrage med en meget mere direkte løsning til opnåelse af en energieffektiv belysning, og det er at føre sollyset ind i bygninger direkte gennem lysledere (også kaldet optiske fibre). Dette er relevant i alle de lokaler, som ligger langt fra vinduer eller i rum, hvor der slet ingen vinduer er, og en af de umiddelbare fordele er den, at det energitab som man vil

have f.eks. ved kombinationen solcelle-batteri-lyskilde vil kunne mindske betydeligt ved direkte transmission af sollys.

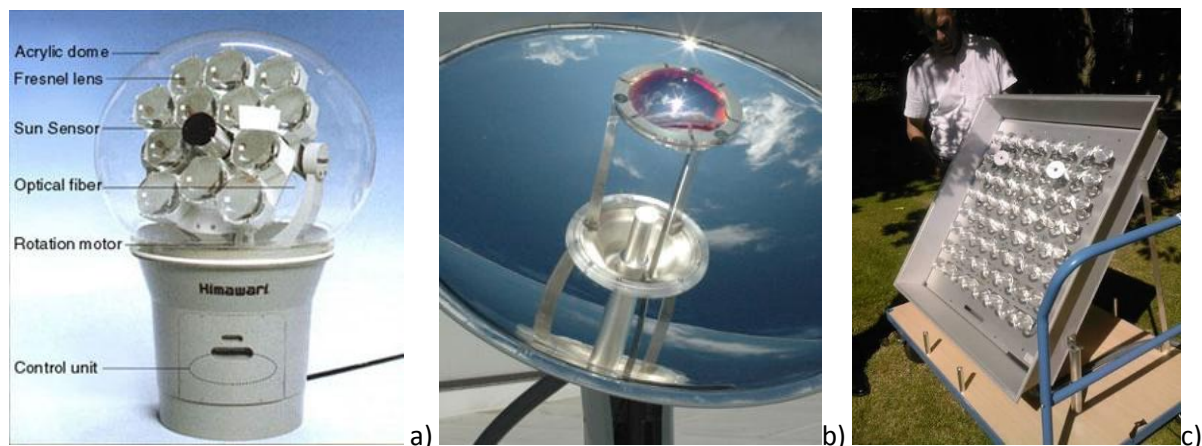
### 1.2.1 Fiberbelysning

Udnyttelse af fiberbelysning er relativt ny, idet man gennem i det sidste årti har udviklet muligheden for at kunne placere en lyskilde centralt. Denne teknologi udnytter, at lyset med meget små tab (en halvering af intensiteten over en afstand af ca. 15 meter ved anvendelse af plast baserede fibre) kan flyttes til de ønskede steder. Eksempler herpå er f.eks. lys i bygninger og veje og ikke mindst svømmehaller (hvor fugt kan være et problem), på steder hvor lysgiverne er anbragt på svært tilgængelige steder som i teatre og biografteater, eller ved udstillinger af f.eks. museumsgenstande, der ikke tåler varmeafgivelsen fra kraftige lyskilder. I Danmark er det især virksomheden Roblon A/S ([www.roblon.dk/](http://www.roblon.dk/)), der som en væsentlig del af deres virke udvikler fiberbelysningssystemer, hvor man fra central lyskilder via optiske fibre fordeler lys til en række belysningspunkter. En afgørende fordel herved er, at afgivelse af varme umiddelbart blive betydeligt mindre end andre nuværende alternativer til glødepærer. Dette kan bidrage til at minimere det energiforbrug, som ellers er nødvendigt for at nedkøle f.eks. forretningslokaler om sommeren, eller til at minimere opvarmning f.eks. af udstillede museumsgenstande. Det skal således fremhæves, at disse fiberbelysningssystemer ikke udnytter transmission af sollys.

### 1.2.2 Solare belysningssystemer

Overordnet set kan man dernæst betragte systemer, hvor man direkte "flytter sollyset indenfor" i husene gennem optiske fibre – her kaldet "solare belysningssystemer" (se Figur 1.1). Sådanne systemer blev først udviklet kommercielt af den japanske virksomhed Himawari solar lighting systems (<http://www.himawari-net.co.jp>). Disse systemer behøver fundamentalt set ikke at inkludere kunstlys, men kan udelukkende være udviklet til at flytte sollyset indenfor, når solen skinner. Senere har andre internationale virksomheder også udviklet solare illuminationssystemer, og blandt disse forskningscentre er Oak Ridge National Laboratory i USA. Deres aktiviteter med udvikling af avancerede systemer har først frem til dannelsen af virksomheden Sunlight Direct Inc. (<http://www.sunlight-direct.com/>), hvis systemer udnytter parabolformede spejle til at fokusere sollys, og som følger solens bevægelse mhp. maksimal indkobling af sollys. Det skal understreges, at virksomheden Sunlight Direct Inc. ved dette projekts start ikke solgte systemer, men at deres aktiviteter indenfor de seneste måneder synes genoptagne, med den tilføjelse at de i dag markedsfører hybride belysningssystemer (beskrevet nedenfor). Endelig kan man på den internationale scene finde virksomheden Parans Solar Lighting AB i Sverige (<http://www.parans.com/>), der udelukkende udvikler og sælger systemer til direkte flytning af sollys indenfor, men som endnu ikke kombinerer dette med kunstlys. Samlet skal det fremhæves, at de omtalte solare illuminationssystemer ikke kan "stå alene", idet de kun kan levere

belysning, når det er klart solskin, og at de således må suppleres med traditionelle belysningsystemer. Energi- og CO2-besparelspotentialet ligger således i, at man skal tænde det elektriske lys i færre timer end ellers, der hvor man har installeret solar fiber illumination.



**Figur 1.1:** Overordnede klasser af fiber illuminations systemer

a) Daylight Collector – Himawari (<http://www.arch.hku.hk/~kpcheung/daylight/day-4.htm>)

b) Daylight collector - Sunlightdirect (<http://www.sunlight-direct.com/sample-installations.php>)

c) Sun light collector - Parans (<http://www.parans.com/Products/tabid/892/language/en-US/Default.aspx>)

### 1.2.3 Hybride fiberbelysningsystemer

Et mere komplet belysningsystem, der kombinerer fordelene ved begge de ovennævnte systemer er hybride fiberbelysningsystemer, hvor man indsamler og fordeler sollys gennem optiske fibre, men hvor man lader kunstlys (f.eks. i form af effektiv LED belysning) tage over, når solen ikke skinner, eller når det er overskyet. Det er sådanne systemer, der er blevet opbygget i dette projekt.

Et af de positive aspekter ved anvendelse af direkte transmitteret sollys er den naturlige farvesammensætning af lyset (under den korrekte forudsætning at lyslederne ikke forvrænger farverne). Årsagen til at dette fremhæves er at videnskabelige undersøgelser peger på, at sollysets naturlige farvesammensætning vil være afgørende for brugernes velbefindende. Det er således af betydning, at også kunstlyskilderne i kombination med fibrenes dæmpning tilpasses således, at forbrugeren opnår den ønskede farvesammensætning af belysningen, der hvor man skal opholde sig.

## 2 Generelle metoder

### 2.1 Primære teoretiske overvejelser

Nogle af vores første overvejelser er rettet mod at reducere energi forbruget og samtidigt opnå en reduktion af CO<sub>2</sub> emissioner. Årsagen er den, at både vores forbrug af energi stoffer og de ressourcer det kræver at omsatte vores CO<sub>2</sub> emissioner i EU og især i Danmark allerede overgår den geografisk tilgængelige kapacitet.

Når vi refererer til det bæredygtige økologiske fodaftryk, gør vi det ifølge Verdensnaturfondens definition, som tager nationers forbrug af naturens ressourcer og naturens evne til at genskabe ressourcerne i betragtning. Dette må inkludere alle energi kilder samt materialer, og kemikalier, som er nødvendige for at levere en bestemt produkt-service (Wackernagel. M., 2005).

Vores målsætning med dette projekt er at reducere CO<sub>2</sub> emissioner inden for kontorbelysnings sektoren. For at nå vores mål, må vi tage hensyn til et stigende el-forbrug som er hovedsagelig baseret på fossile stoffer og på det samme tidspunkt levere bedre belysnings-service til forbrugeren som vil kræve en højere lysintensitet (flere lumens). Hoved problematikken ligger i, hvordan vi til den danske forbruger leverer en *tilsvarende eller bedre* belysnings-service med et mindre økologiske fodaftryk med særlig fokus på et *mindre* fossilt brændstofforbrug.

Miljøproblematikken analyseres i dette projekt under et Livs Cyklus perspektiv hvor vi identificerer de faser i belysnings-service, hvor de største miljøbelastninger sker og identificerer de processer, der kræver ændringer.

Her betragter vi hele belysnings-serviceens livscyklus og ikke kun lampens livs cyklus. Dette gøres under en systemisk tankegang for at finde teknologiske alternativer, som kan hjælpe os med at nå vores målsætning.

#### **Effektivitet**

Effektivitet med hensyn til belysning baseres på analyser med basis i Shubert's definitioner (see Boks 2.1)

*Box 2.1 The internal quantum efficiency* refers mainly to the input of electrons compared to the number of photons produced in a given area

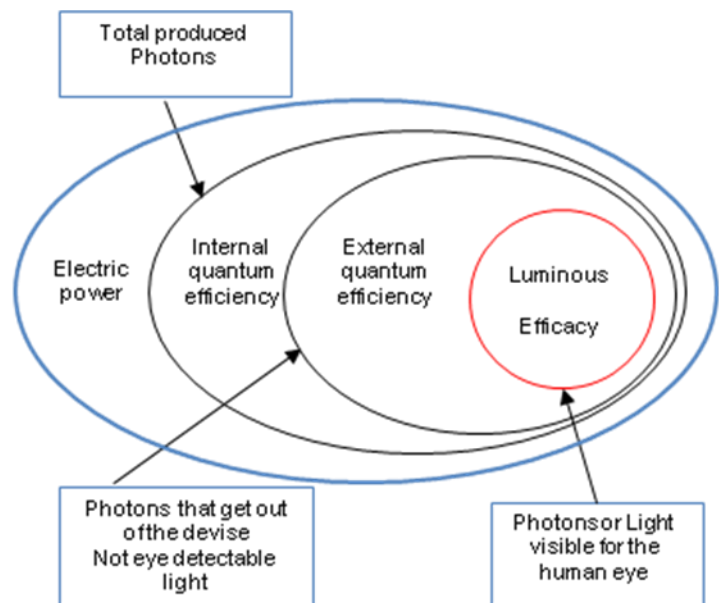
*The external quantum efficiency*, measures how effective the process is, for example comparing the number of electrons that come into the system and the number of photons that one actually gets out of the device.

*Power efficiency* tells us how much electric power was needed to produce a given amount of optical power.

*The luminous efficacy* measures how efficient a given source is to produce light that the human eye can see

Schubert F., 2007

Det der er interessant for dette projekt (se Figur 2.1) , er således at analysere, hvor meget elektricitet vi forbruger for at opnå en vis lysintensitet (et antal fotoner). Dette mål betegnes ofte indenfor beskrivelsen af nye lyskilder, som den eksterne kvanteeffektivitet, og det som bliver yderligere væsentligt er ikke alene at se på hvor mange fotoner der frembringes med en given mængde elektricitet, men yderligere hvilken farvesammensætning dette lys har. Det væsentlige er at forbrugeren får det bedst mulige lys til en given anvendelse Dette er hvad Schubert (2007:284-285) (på engelsk) betegner som *Luminous efficacy*. Vores målsætning er således at opnå systemer, der optimerer denne størrelse – eller med andre ord – med et mindst muligt energiforbrug sikrer den bedst mulige lyskvalitet.



**Figure 2.1** De forskellige typer effektivitet som skal betragtes for en belysningservice.

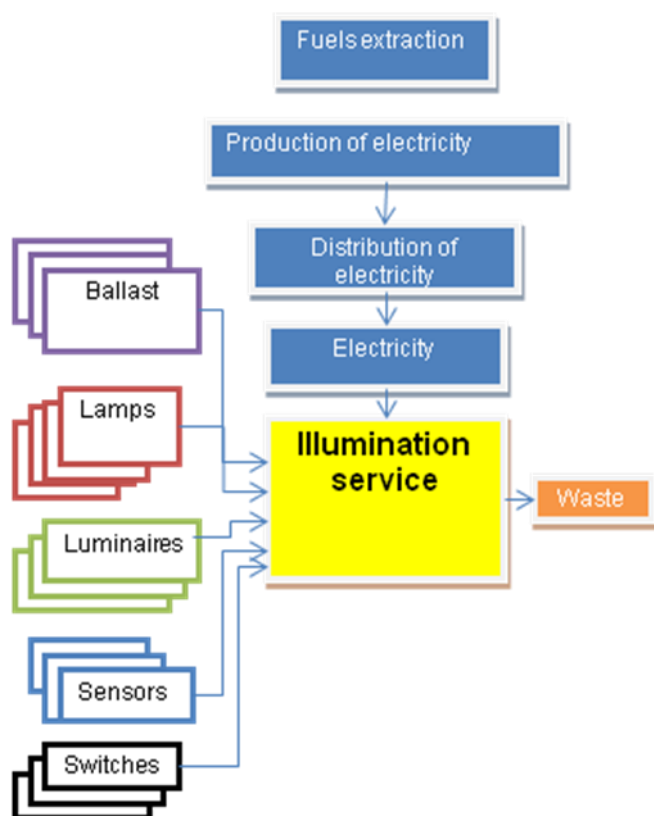
### Muligheder

De interessante muligheder for dette projekt er indenfor miljø, teknologi, samfund, økonomi og design områderne. Miljø området: forbedring med hensyn til materialer (f.eks.. mindre kvikksølv forbrug) og mindre forbrug af fossile stoffer. Fra den teknologiske side: at finde teknologier eller nye teknologiske processer, der kan forbedre belysningseffektiviteten (luminous efficacy) og inden for dette område at reducere energi forbruget baseret på fossile stoffer, mens man leverer flere lumen.

Samfundsmæssige, økonomiske og designmæssige muligheder analyseres her med hensyn til forbrugernes accept af de innovationer, som resulterer fra dette projekt inden for miljø og teknologiudvikling. Her overvejer vi pris, forbrugeres og beslutningstageres kvalitetskrav og vaner samt æstetiske krav. For at dække de tre områder, betragter vi belysning som en service mere end et produkt. Dette gør vi ved med lige vægt at betragte de obligatoriske karakteristikker som kontor belysningservice skal præstere (lumens, Wats/km<sup>2</sup> og CO<sub>2</sub> emissioner) og de karakteristikker, som forbrugerne vil betale for udover de obligatoriske karakteristikker. Dette kræver, at man kikker på de *subjektive ønsker* i relation til servicefunktioner (for eksempel: farve, lystemperatur, og spektral sammensætning) (Shostack, L., 1977)

For at nå dette formål, tager vi definitionen fra UNEP med hensyn til Produkt-service: Et Produkt-Service system kan defineres som resultatet af en innovations strategi, hvor man skifter fokus fra design og salg af fysiske produkter alene til at sælge et system af produkter og service (see Figure 2.2), som tilsammen er i stand til at opfylde specifikke krav hos forbrugeren (UNEP, 2000:4). Under et livscyklus perspektiv er det ikke tilstrækkeligt enten at fokusere på design fasen eller på produktionsfasen, men i produkt-service systemets perspektiver må vi i stedet belyse, hvorledes man inddrager forbrugsfasen med lige så stor vægt som design og produktionsfasen. Hermed bliver fokus ikke blot på at sælge enkelte produkter, men snarere at sælge en funktionalitet gennem en blanding mellem produkt og service, mens forbrugers krav

samtidigt opfyldes med mindst mulig miljømæssig påvirkning (UNEP, 2000: 3).



**Figure 2.2:** Belysningsystemer.

Denne definition er nyttig når vi sammenligner vores udgangspunkt med de teknologiske muligheder, der er til stede. Med denne overvejelse analyserer vi de objektive samt subjektive parametre, der kan støtte den nye teknologi med at blive et produkt og vurderer dennes markedspotential i fremtiden.

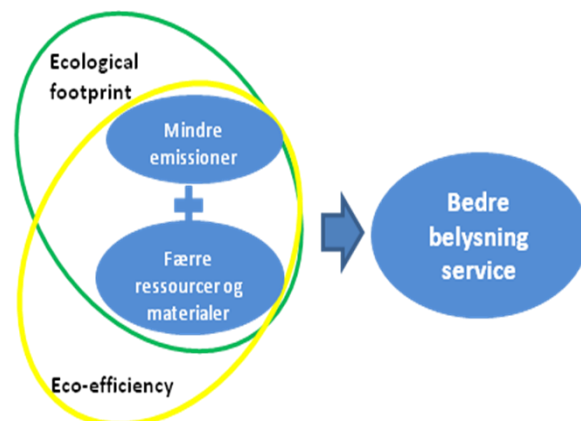
### *Effektiv reduktion af det økologiske fodaftryk*

Vi bruger dette begreb ud fra to perspektiver: en er under øko-effektivitets tankegangen, hvor et mindre forbrug af ressourcer resulterer i færre omkostninger og derfor giver det en større konkurrencemæssig frihed for det nye produkt (Lovins, 2008), (se Figur 2.3). Det anden perspektiv er, at mens man benytter systemet, så, reducerer man miljøbelastningerne såsom CO<sub>2</sub> emissioner eller skadelige stoffer (det økologisk fodaftryk) i produktionsprocessen, mens man leverer et bedre produkt eller service.



Prisen vurderes herudover under en livs cyklus omkostninger (Life cycle costs - LCC,) hvor vi tager hensyn ikke kun til den initiale investering men også materialer og forbrugsudgifter

**Figur 2.3:** Effektiv reduktion af CO2 emissioner må tage hensyn til det økologiske fodaftryk perspektiv og reducere omkostninger mens der etableres en bedre service.



Med hensyn til forbrugernes præferencer og vores funktionelle enhed, tager vi udgangspunkt i Rogers (2003), som lægger vægt på forbrugernes reaktioner på modtagelse af innovationer. Her er det vigtige, at undersøge de faktorer som gør sig gældende for et specifikt produkt, at identificere hvem fokus gruppen er, og hvem beslutningstagerne er i det pågældende område.

## 2.2 Fremgangsmåde

### 2.2.1 Sammensætning af faglige kompetencer

Problematikken som ovenfor beskrevet gå på tværs af forskellige discipliner og derfor var vigtige at samle de kompetencer som var relevant til sådan en projekt. Projektet hold var således integrerede af Ibsen- El installatør, 2 Fotonik ingeniør (DTU), 3 TekSame'r (Samfund - Miljøplanlæger fra RUC), 1 industriel designer, og 2 tekstil designer (Designskole Kolding). I projektets første fase sat vi speciel fokus på at få samarbejdet mellem projektets parter igangsat og at få dannet en fælles forståelse for projektets indhold og mål. Vi har derfor på dette grundlag afholdt såvel fællesmøder som møder på to- og tre-parts hånd.

### 2.2.2 Definition af base line og alternative teknologier

Vi tog udgangspunkt i De Forberedende Studier for Eco-design direktivet i EU (Van ticheling B., et al, 2007), som allerede har lavet en miljøvurdering af teknologier inden for kontorbelysnings-systemer. I dette studie konkluderes det, at trifosfate fluorescerende lamper er den bedst tilgængelig teknologi, som har den mindste miljø belastning i sammenligning med andre type fluorescerende lamper. I det samme studie peges på LED lamper, som den bedste ikke endnu tilgængelige teknologi og det understreges, at i det tilfælde at LED bliver bedre mht. pris og lys kvalitet, vil det være den teknologi, som har størst potentiale for udvikling i teknologisk perspektiv. Studiet anbefaler også at udnytte dagslys så meget som muligt til at levere belysnings-service i kontorsektoren. Dette støtter også vores interesse med hensyn til at vurdere hybride belysnings systemer baseret på optiske fibre systemer.

Den hastige udvikling af LED lyskilder har vist at både pris (selv om den stadig er højere end prisen for lineære fluorescende lamper - LFL) og lys kvalitet har haft en meget positiv udvikling. Derfor har vi valgt at definere som vores "base-line teknologi" for belysning systemer til kontor belysning baseret på trifosfate Liner fluorescerende lamper (T5 LFLs). Vi har konsekvent valgt et system baseret på LEDs og en hybrid belysning system som alternativer til LFLs Vi ville gerne have haft adgang til et allerede eksisterende kommerciel hybrid system, med det var ikke muligt. I begyndelse af vores projekt havde vi identificerede to firmer der kunne levere sådan nogle systemer. Da vi ved projektstarten kontaktede Sunlight Direct Inc. igen for at forespørge om specifikke data, priser etc. Blev vi informerede om, at de ikke kunne levere systemer før i 2010. Efter en nøjere analyse af det detaljerede rapportmateriale, som vi har kunnet fremskaffe fra virksomhedens samarbejdspartner, Oak Ridge National Laboratory, måtte vi konkludere, at der formentligt var tale om betydelige vanskeligheder med hensyn til opvarmning og komponentnedbrud (problemet med at komme af med varmen fra et meget stort brændglas). Dette udgjorde naturligt nok en vanskelighed mht. at komme hurtigt i gang med projektet, men påpegede samtidigt en væsentlig udfordring for samtlige fiberbelysningssystemer, der benytter indfangning af sollys.

En anden mulig leverandør af systemer til indfangning og transport af sollys var den japanske leverandør Himawari. Gennem kontakter formidlet af Designskolen Kolding fik vi kontakt til denne leverandør, men en meget høj leveringspris og en betydelig fragtafstand fik os finde på andre muligheder. I begyndelse af dette projekt havde vi som målsætningen at kunne bruge dette til at fremvise hybridbelysningssystemets muligheder overfor en bredere kreds af potentielle brugere og herunder skoler/undervisningsinstitutioner. I relation til opbygning og arbejde med etablering af et demonstrationssystem havde projektgruppen ved periodens start planer om at etablere et system på en vogn, med et lille "Showroom". Vi konstaterede at selvom hybrid belysning systemer i teori kunne bidrage med en stor besparelse potentialer, var der meget vanskelig at finde på marked hybrid systemer baserede på optiske fibre. Vi fandt dog alligevel et firma der handler med solar optiske systemer (ikke hybrid systemer) Parans (Göteborg, Sweden).

Efter besøg og møder hos Parans blev det besluttet, at tage udgangspunkt i deres system. Uden adgang til en rigtigt *hybrid* system, besluttede vi at selv at sammensatte en hybrid belysning system. Dette gjorde vi ved brug af PARANS SYTEM og ved at udvikle armatur som kunne kombiner dagslyset fra det optiske system plus en sensor og en LED.

Med hensyn til vores livs cyklus vurdering har vi defineret en funktionel enhed. Med hensyn til at definere en funktionel enhed udarbejdet vi en liste over de primære funktioner, som kontor belysning service skal opfylde. Obligatoriske egenskaber kan ses i Tabel 2.1. Tabellen er en resultat af en iterative diskussion

mellem alle projekts partner og samtlige tage basis i de positionering egenskaber (positioning properties) ud fra 10 kvalitative interviews med kontor forbruger (sekreter, forsker, teknikker samarbejder, og PhD studerende) som blevet levet i relation af vores forbrugsundersøgelse.

Obligatorisk egenskaber	Positionerings egenskaber
<ul style="list-style-type: none"> <li>Levering af 500 lumens over en arbejdsbord plus general belysning (200 lumens) i en danske kontor (6.5 m<sup>2</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>lyset skal gøre mulig at man kan læse, skrive og se menneskernes ansigter mens man holder møder</li> <li>Lyset skal efterligne som meget som muligt dagslys (intensitets variation og farvemæssige)</li> <li>Godt at vide når man bruger dagslys (miljø rigtigt indikator)</li> <li>Lyset skal være behagelig (ikke blende)</li> <li>Lampen skal være pen (æstetik)</li> <li>miljø venlige (ikke kviksølv og mindre CO<sub>2</sub>)</li> </ul>

**Tabel 2.1:** Obligatorisk og positionering egenskaber

Livs tid for en LED er beregnet på ca. 20 år mens livs tid for en LFL er beregnede for ca. 6-7 år mens vi regner med, at et hybridsystems levetid vil være 25 år.

Herfra har vi defineret vores **funktionelle enhed** som: Belysning af en arbejdsoverflade (1.5m<sup>2</sup>) med 500 Lumen plus general belysning (200 lumen) i et dansk kontor (min 6,4 m<sup>2</sup>) over en periode på 25 år.

### 2.2.3 System afgrænsning

Ved basis a EU- ECO-directiv forberedende undersøgelse i kontor belysning og OSRAM rapport (OSRAM 2009) om LCA mellem CFLs og LEDs begrænsede vi vores analyse til forbrugsfase. Dette gjorde vi på grund at det er i forbrugsfasen hvor det største miljø belastning sker. Dette skyldes nemlig på grund af energi forbrug og fordi el-produktion er baserede hovedsagelig på fossilstoffer. Derfor det primære mål med vores undersøgelse vil være at sammenligne energiforbrug i forbrugsfasen mellem vores base line vs. en system baserede på LEDs og en hybrid system

Vores objektive med dette var at undersøge hvis en hybrid system kunne levere en højere luminous efficacy med en mindre elektriske effekt. For at opnå vores objektive lavede vi en komparativ analyse om energi inputs/outputs med basis på LEDer og CFL lamper. Vi beregnede således en proportionel energi besparelse potentiale som blevet brugt til at beregne energi, CO<sub>2</sub> emissioner og en livs cyklus omkostnings vurdering af tre installation systemer i 100 m<sup>2</sup> kontor rum beskrevet af vores projekt partner IBSEN El-installatør. Her brugte vi DEEPs Life Cycle Cost tool" ([htt://deep.iclei-europe.or](http://deep.iclei-europe.or)). Vi valgte dette værktøj for at opnå omkostnings vurdering af den initiale investering og omkostningerne i løben a hele systemer livscyklus. I dette afsnit tager vi i betragtning omkostningerne med hensyn til materialer, installation, udskifte af lamperne og energi.

# 3 Teknologisk vurdering

---

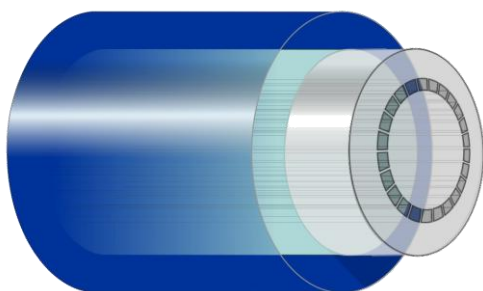
Overordnet kan man inddele elementerne i den teknologiske vurdering, der er udført i det her beskrevne projekt, i eksperimenter med nye fibertyper, i måling og karakterisering af farvegengivelse, og i arbejde med solfangerteknologi. Derudover er der i det konkrete projekt blevet udført et stort arbejde med optimal luminaire design, hvori der bestemt også indgår et betydeligt teknologielement. Da sidstnævnte er tæt knyttet til designprocessen er disse aspekter beskrevet i sammenhæng hermed. På punktform vil vi således beskrive resultater indenfor følgende emner:

- Fiberteknologi (Mikrostrukturerede fibre)
- Farvegengivelse (fiberdæmpning og farveforvrængning)
- Solfangerteknologi (herunder Fresnel linse karakterisering)
- Luminaire teknologi

## 3.1 Fiberteknologi

Med Danmarks førende position som producent af høj kvalitets optiske fibre, var det målsætningen med dette projekt at undersøge potentialet for at udskifte mere traditionelle optiske fibre med en ny (og i høj grad dansk) fibertype, de såkaldte mikrostrukturerede fibre. Disse optiske fibre er typisk fremstillet af enten glas eller polymerer, og udmærker sig ved at fibre indeholder en række mikroskopiske huller, der løber i fiberens længderetning. I kontrast til en standard fiber, der ikke indeholder huller og således er opbygget af en kompakt kerne omgivet af et fast kappemateriale, har de mikrostrukturerede således en mere kompleks opbygning. Disse nye fibertyper er dog potentielt meget interessante, fordi den store kontrast mellem tætheden af fibermaterialet og luften i hullerne, som illustreret på Figur 3.1 betydeligt øger den centrale egenskab, som man normalt betegner som fiberens Numeriske Apertur (NA). Den numeriske apertur kan man mere populært beskrive som et tal, der angiver den maksimale åbningsvinkel af det lys man kan indkoble i fiberen – eller med andre ord kan en fiber med høj numerisk apertur indfange lys, der rammer

fiberenden i meget skrå vinkler, hvorimod en fiber med lille numerisk apertur næsten kun kan indfange lys der rammer vinkelret ind på fiberenden.



**Figur 3.1:** Skematisk illustration af en mikrostruktureret optisk fiber, hvor ringen af luftfyldte huller sikrer en stor

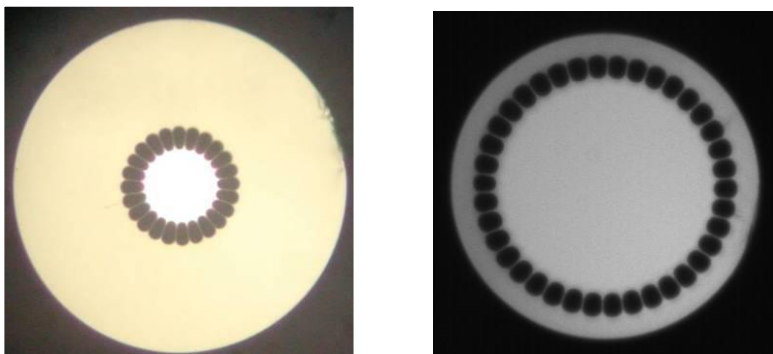
indkoblingsvinkel for det indfaldende lys.

Hvis man betragter illustrationen på Figur 3.1, så ser man at de angivne mikrostrukturer er illustreret som værende næsten firkantede huller, hvilket ikke er muligt at fremstille i praktiske designs. Hullerne i fibrene vil snarere have former, som de to praktiske realiseringer på Figur 3.2 viser. De to fibre er af høj-NA typen, og er fremstillet af glas. Den venstre illustration viser en fiber med en kernediameter på 25 mikrometer, og fiberen til højre har en større kernediameter på 150 mikrometer (0,15 millimeter). Der er således for disse tidligere realiseringer stadigvæk tale om relativt tynde fibre – og i hvert fald betydeligt tyndere end de ca. 1 millimeter tykke fibre, som normalt indgår i fiberbelysningsystemer.

Sammenhængen mellem den maksimale indkoblingsvinkel og fiberens numeriske apertur kan udtrykkes ved følgende sammenhæng:

$$NA = n \cdot \sin(\vartheta_{\max}) \quad (1)$$

Hvor  $n$  angiver brydningsindeks af fiberens kernemateriale (for glas er  $n = 1,5$  og for en række plasttyper er  $n = 1,3-1,4$ ). Parameteren  $\vartheta_{\max}$  angiver den maksimale vinkel, hvorunder lys kan indkobles i fiberen. Denne sammenhæng betyder, at for en høj-NA fiber med  $NA = 0,5$  og et kerne brydningsindeks på  $1,5$  vil den maksimale indkoblingsvinkel være ca.  $20^\circ$ . Den primære styrke ved at overveje udnyttelsen af høj-NA fibre er, at den ovennævnte sammenhæng kun gælder, fordi kernen er omgivet af luft, hvorimod indkoblingsvinklen reduceres kraftigt, hvis det materiale, der omgiver fiberkernen nærmer sig kernematerialets optiske egenskaber (sådan som det er tilfældet for standard fibre).



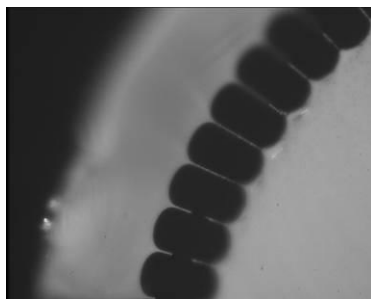
**Figur 3.2:** Viser mikroskop billeder af fibertværsnit for to mikrostrukturerede glasfibre af typen med høj numerisk apertur. Fiberen til venstre har en kernediameter på 25 mikrometer (0,025 millimeter), og fiberen til højre har en kernediameter på 150 mikrometer (0,150 millimeter). Den numeriske apertur er større end  $NA=0,55$ . Foto venligst udlånt af Crystal Fibre A/S.

Når man skal indkoble lys i en optisk fiber er det ikke alene et spørgsmål om indkoblingsvinkel, men også hvor stort et areal fiberkernen har, da det sætter krav til nøjagtig montage af fiberen i forhold til den

indkoblende optik. Desuden vil der af hensyn til at begrænse den opvarmning, som der kan ske i fiberkernen pga. materialetab være en interesse i ikke at have en for høj lokal lysintensitet, hvilket igen peger på at en lidt tykkere fiber vil være at foretrække. Endelig vil det rent håndteringsmæssigt være vanskeligere at arbejde med meget tynde fibre som dem der anvendes til telekommunikationsformål. Vi har af disse årsager sigtet mod anvendelse af optiske fibre med en diameter på 0,5-1,0 millimeter, hvilket atter peger i retning af anvendelse af plastmaterialer, da meget tykke glasfibre vil være vanskeligere at bøje.

I forbindelse med dette projekt blev der fremstillet et antal mikrostrukturerede fibre med høj numerisk apertur. Disse fibre blev fremstillet i PMMA, der ofte anvendes til optiske fibre af plast, og fibre havde en struktur svarende til billederne vist på Figur 3.2 – altså fibre med en stor kerne omgivet af en ring af lufthuller. En lang række forsøg viste sig dog desværre ufrugtbare, således forstået at de resulterende fibre havde et betydeligt højere tab end standardfibre af tilsvarende materialer. Det der viste sig at være den begrænsende faktor er det faktum, at det transmitterede sollys indeholder spektrale komponenter med meget kortere bølgelængde end man normalt designer mikrostrukturerede fibre til. Hvis vi betragter billedet af en høj-NA fiber på Figur 3.3, så ser man, at kernen er "ophængt" i en række tynde broer af fibermaterialet. Det viser sig, at det faktisk er disse broers bredde (målt i lysbølglængder) der afgør mængden af lys der lækker ud af fiberen, og da lyset indeholder mange kortbølglængde komponenter, vil fibertabet være meget betydeligt. Løsningen kunne være en reduktion af broernes bredde, men dette viste sig meget vanskeligt, da det samtidigt nedsatte styrken af fiberen betydeligt (der skal noget materiale til at holde kernen på plads).

Der har ligeledes været foretaget forsøg med mikrostrukturerede glasfibre af kommerciel kvalitet fra virksomheden Crystal Fibre A/S, men disse forsøg pegede desværre heller ikke på en løsning af problemet



med den relativt høje dæmpning af lys med korte bølgelængder. Grundet meget store udgifter i forbindelse med fremstilling af særlige glasfibre af denne type, kunne denne mulighed ikke forfølges yderligere.

**Figur 3.3:** Billede af udsnit af en høj-NA fiber. Det er bredden af de tynde broer, som fastholder kernen, der afgør størrelsen af fibertabet.

Vi måtte således desværre konkludere, at den oprindeligt forventede løsning med anvendelse af mikrostrukturerede høj-NA fibre ikke kunne tilvejebringe den fornødne tabsreduktion, og vi valgte derfor at fokusere på andre teknologiske elementer af fiberbelysningsystemerne.

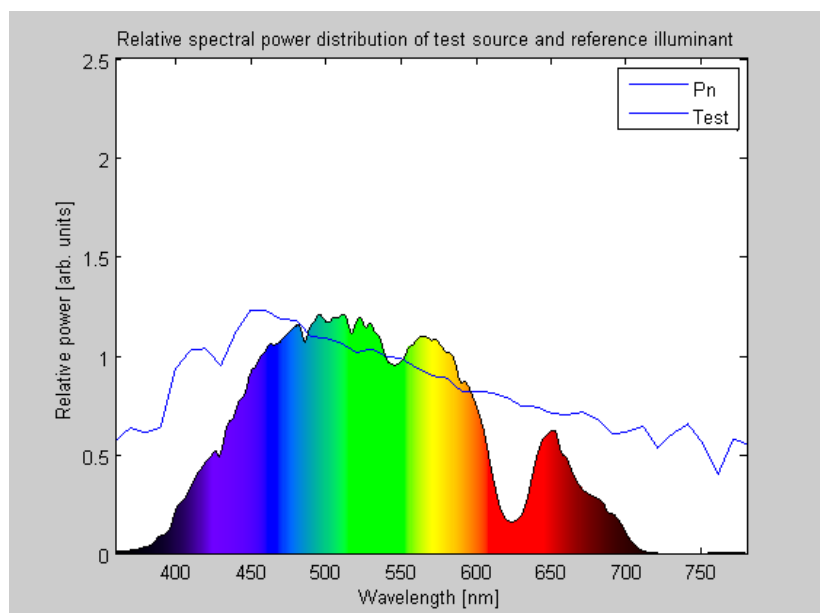
### 3.1.2 Farvegengivelse

Det system, som vi i sammenhæng med dette projekt valgte at tage udgangspunkt i, er fremstillet af virksomheden Parans. Parans systemet er i projektperioden blevet karakteriseret på DTU Fotonik ved gennemførelse af en række forskellige eksperimenter som vi kort vil redegøre for i det følgende.

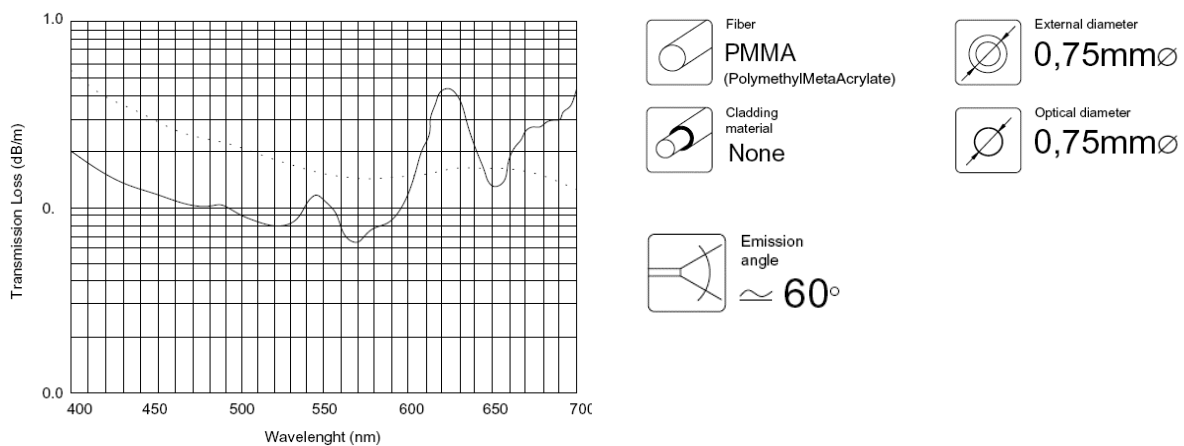
Først og fremmest har vi målt spektret af det lys, der er transmitteret gennem fibersystemet og sammenlignet dette med spektret af sollys. Disse analyser viste, at det transmitterede lys er "koldt" (dvs. at det har stærkere blå farvekomponenter end røde). En åbenlys konsekvens heraf er den, at lyset ved anvendelsespunktet ikke som udgangspunkt udgør en behagelig arbejdsbelysning, og såfremt dette er et krav (hvad klart fremgår af brugerundersøgelserne foretaget på RUC), så vil det være nødvendigt at kombinere med andre løsninger, der kan medvirke til at det resulterende spektrum bliver tættere på dagslysets spektrum.

Målingerne blev gennemført udendørs på DTU området på solrige dage. Det foregik mere specifikt ved at irradiansen blev målt med et spektrometer med en fiberkoblet 2-tommers integrerende kugle med en 10 mm åbning. De spektrale målinger blev foretaget i bølglængdeområdet mellem 200nm og 1100nm. Solens spektrum (bestemt ved at den integrerende kugles åbning blev rettet direkte mod solen) blev målt først, hvorefter lyset som var transmitteret gennem Parans systemet blev bestemt. En sammenligning mellem de to spektre er vist på Figur 3.4.

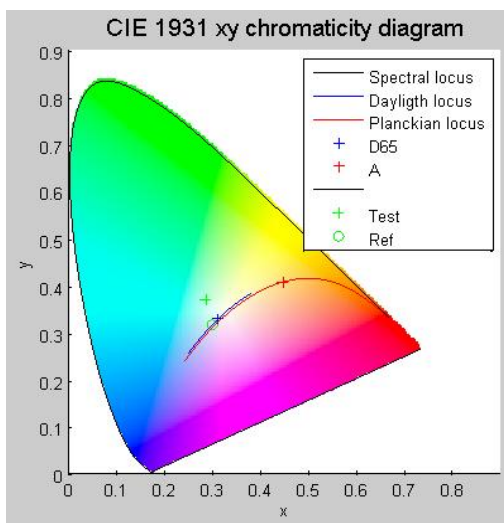
**Figur 3.4:** Transmissions spektrum fra Parans systemet målt på en solrig dag i Danmark (vist i farver). Den blå linie er det spektrum som måles direkte fra sollyset uden et mellemliggende indfangnings- og fibertransmissionssystem. Man skal ikke benytte amplituden af disse spektre som grundlag for sammenligning, eftersom effektniveauet af lyset, der kommer fra fibrene var så højt, at det mættede spektrometeret, og det derfor blev besluttet at introducere en afstand mellem fiberudgangsenden og den integrerende kugle. Det er således kun den spektrale form (farvesammensætningen), der skal betragtes.



Som det fremgår af figur 3.4, så absorberer Parans systemet det røde lys omkring 630 nm. Hvis man studerer et datablad (Figur 3.5) for materialet PMMA (PolymethylMetaAcrylate), som systemets fibre er fremstillet af, så er det klart at netop de røde komponenter må forventes at blive dæmpet af de optiske fibre. Det er simpelthen et spørgsmål om at materialet i sig selv virker absorberende.



**Figur 3.5:** Transmissionstab for en PMMA fiber af den type, der benyttes i Parans systemet.



Vi når frem til den samme konklusion ved bestemmelse af det nedenfor viste chromacitets diagram (Figur 3.6), hvor reference punktet (Ref) svarer til sollys, og testpunktet (Test) svarer til lys der kommer ud af fiberbundet. Den chromatiske distance (DC) til lyset fra fibrene er  $31 \cdot 10^{-3}$ , hvilket er langt over den "dagslysacceptable" grænse på  $5.4 \cdot 10^{-3}$  der er angivet af International Commission on Illumination (CIE).

**Figur 3.6:** Chromacitets diagram for lys transmitteret gennem Parans systemet.

### 3.1.2 Solfanger teknologi

Et af de afgørende elementer i fremstilling af et kommercielt lettere tilgængeligt fiberbelysningsystem er en effektiv indkobling af sollys i de optiske fibre. For at belyse dette aspekt i detaljer, blev der på DTU Fotonik foretaget en nøjere karakterisering af de linser, der benyttes i det anskaffede system fra Parans A/S i Sverige.

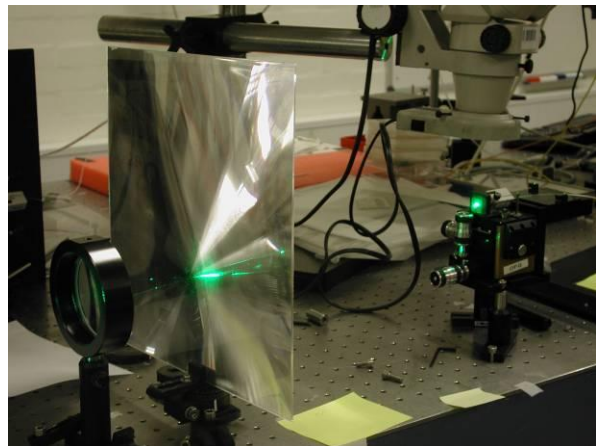


De indledende tests blev gennemført på de følgende linser, der svarer til dem der benyttes i Parans solfangeren:

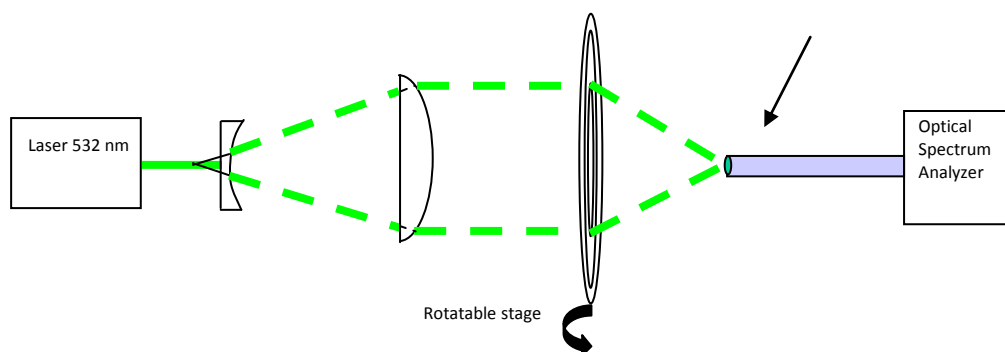
Fresnel linser fra AWI-Industries, USA

Product: Fresnel lens for solar energy collector application  
Focal length: 381 mm +/- 5 % with plano surface facing infinity, Fresnel side facing focal point.  
Pitch of facet: 0.5 mm  
Size of Fresnel lens: Diameter: 75 mm +/-0.5 mm Thickness: 2 mm +/-0.5 thick  
Material: Acrylic  
Coating: None  
Unit price: US\$1.15/pc from CA, USA for order quantities of 1,000 pcs.  
Tooling charge: US\$ 500.00 one time fees.  
Tooling time: 2 ~ 4 weeks.  
Delivery: 4 weeks ex CA, USA.

Med henblik på at simulere indkoblingen af sollys opbyggede Lara Scolari en opstilling som illustreret på Figur 3.7 i laboratorierne på DTU Fotonik.



**Figur 3.7:** Måleopstilling til bestemmelse af effektindkoblingen i en optisk fiber som funktion af Fresnel linsens vinkel.



Power into the fiber as a function of the angle of the Fresnel lens with respect to the fiber axis

**Figur 3.8:** Opstilling til måling af coma for Fresnel linser og til bestemmelse af variationer i effect indkoblet i fiberen som function af den vinkel som Fresnel linsen roteres.

En laser, der udsender lys i den synlige del af det optiske spektrum (med en bølgelængde på 532 nm) blev benyttet, og koblet gennem luften først til en plan-konkav linse og dernæst til en plan-konvex linse. Dette gøres med henblik på "at skabe" en plan lysbølge, som kan simulere solens stråling.

De benyttede plan-konkave og plan konvekse linser har følgende specifikationer:

**Plano-Concave Lens 12.0mm Dia. x -15 FL, Uncoated NT48-679**

Diameter (mm)	12.00
Diameter Tolerance (mm)	+0.0/-0.10
Clear Aperture CA (mm)	11.00
Effective Focal Length EFL (mm)	-15.00
Back Focal Length BFL (mm)	-16.68
Focal Length Tolerance (%)	±1
Radius R <sub>1</sub> (mm)	-11.77
Edge Thickness ET (mm)	4.47
Center Thickness CT (mm)	3.00
Center Thickness Tolerance (mm)	±0.1
Centering (arcminutes)	3 - 5
Surface Quality	40-20
Bevel	Max = 0.25mm x 45°
Substrate	N-SF11
Coating	Uncoated

**Plano-Convex Lens 75mm Diameter x 500mm FL, Uncoated NT63-483**

Diameter (mm)	75.00
Diameter Tolerance (mm)	+0.0/-0.10
Clear Aperture CA (mm)	73.50
Effective Focal Length EFL (mm)	500.00
Back Focal Length BFL (mm)	494.73
Focal Length Tolerance (%)	±1
Radius R <sub>1</sub> (mm)	258.40
Edge Thickness ET (mm)	5.26
Center Thickness CT (mm)	8.00
Center Thickness Tolerance (mm)	±0.1
Centering (arcminutes)	3 - 5
Surface Quality	60-40
Bevel	0.4mm x 45°
Substrate	N-BK7
Coating	Uncoated

Fresnel linsen placeredes efter den plan-konvekse linse, og en optisk fiber med plastic kerne blev placeret i Fresnel linsens fokuspunkt. Fiberens egenskaber svarer til den type transmissionsfibre, der benyttes i Parans systemet og er vist i nedenstående dataark:

<b>ORDERING DATA</b>	<b>HBF 301</b>		
<b>PRODUCT RANGE</b>	LIGHT CONDUCTORS & ACCESSORIES		
<b>SERIES</b>	HIGH PERFORMANCE BARE FIBER		
<b>ORDER CODE</b>	31 00 002 07 21 01	<b>LAST REVISION</b>	01/09/2005

**SPECIFICATION AND SUBMITAL SHEET DETAILS**  
 HBF 301, 0,75mm diameter high performance, bulk solid core bare optical monofiber, manufactured from high quality PMMA polymer core, with 0,20 dB/m spot attenuation and optimized for white light transmission.

**PHYSICAL DIMENSIONS AND TRANSMISSION DATA**

Core PMMA (Polymethyl MethAcrylate)	Core Diameter 0,75mm	Operating Temp. 70°C	Loss 0,20 dB/m	Cladding 1 x 0,75	Strain 60%
Cladding None	Outer Diameter 0,75mm	Min. Bending Radius -55 °C	Splice Loss 35cl/6x37 cm	Core Area 0,443mm <sup>2</sup>	Minimum Bendy Radius 4,5mm

Transmission (dB/km)

Wavelength (nm)

Ø 0.75 mm

SCALE 2:1

Loss (dB/km)

Length (m)

**OPTIONS**  
 Available in bulk spools and a wide range of diameters, for site or production applications. Also available in cut lengths and tailor made harnesses of single or mixed lengths and diameters for custom applications and uses.

**APPLICATIONS AND USES**  
 Bare, solid core PMMA fibers are extremely delicate and uses should be restricted to areas where there is no danger of mechanical damage. PMMA fiber harnesses and assembly termination with epoxy or other adhesive encapsulation may cause irreparable damage to the common end and should never be contemplated. Correct termination for optimum performance must include fusing into an optical block and polishing to a high finish. Principal application include starry skies and cosmic scenery, decorative effects, signs, logotypes, backdrops, feature panels, illuminated drawings and designs and uses involving a large number of individual points.

**SINGLE END TERMINATIONS**

Barrels	none
Barrels, Washers and Nuts	none
Fiber Crimps	none

**PACKING DETAILS**

<b>PACKING</b>	<b>MEASUREMENTS</b>	<b>WEIGHT</b>	<b>VOLUME</b>
2.700M SPOOL	∅28,5 x 10 CM	2,1 KG	0,0064 M <sup>3</sup>

ADVANCED FIBER OPTICS, S.L. O/DORTILLES 427 08024 BARCELONA SPAIN EO  
 TEL +34 934557800 FAX +34 934462328 WWW.ADVANCEDFIBEROPTICS.NET

CE

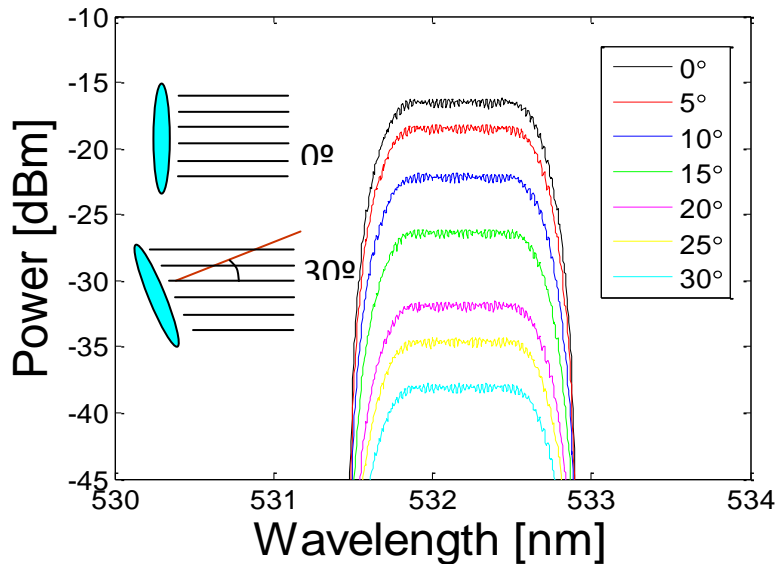
### 3.1.3 Egenskaber af plast fibre anvendt til indkoblingskarakterisering

Der blev udført to testserier i laboratoriet mhp. karakterisering af Fresnel linserne:

- 1) Den optiske effekt af lyset indkoblet i plastfiberen blev målt som funktion af Fresnel lensens vinkel.
- 2) Der blev gennemført målinger af lensens koma (eller med andre ord flytningen af fokal punkter som funktion af Fresnel lensens vinkel).

Disse to målinger er kritiske, fordi man i det tilfælde hvor linsen ikke er placeret nøjagtigt vinkelret på retningen af det indfaldende sollys vil opleve en reduktion i den indkoblede effekt.

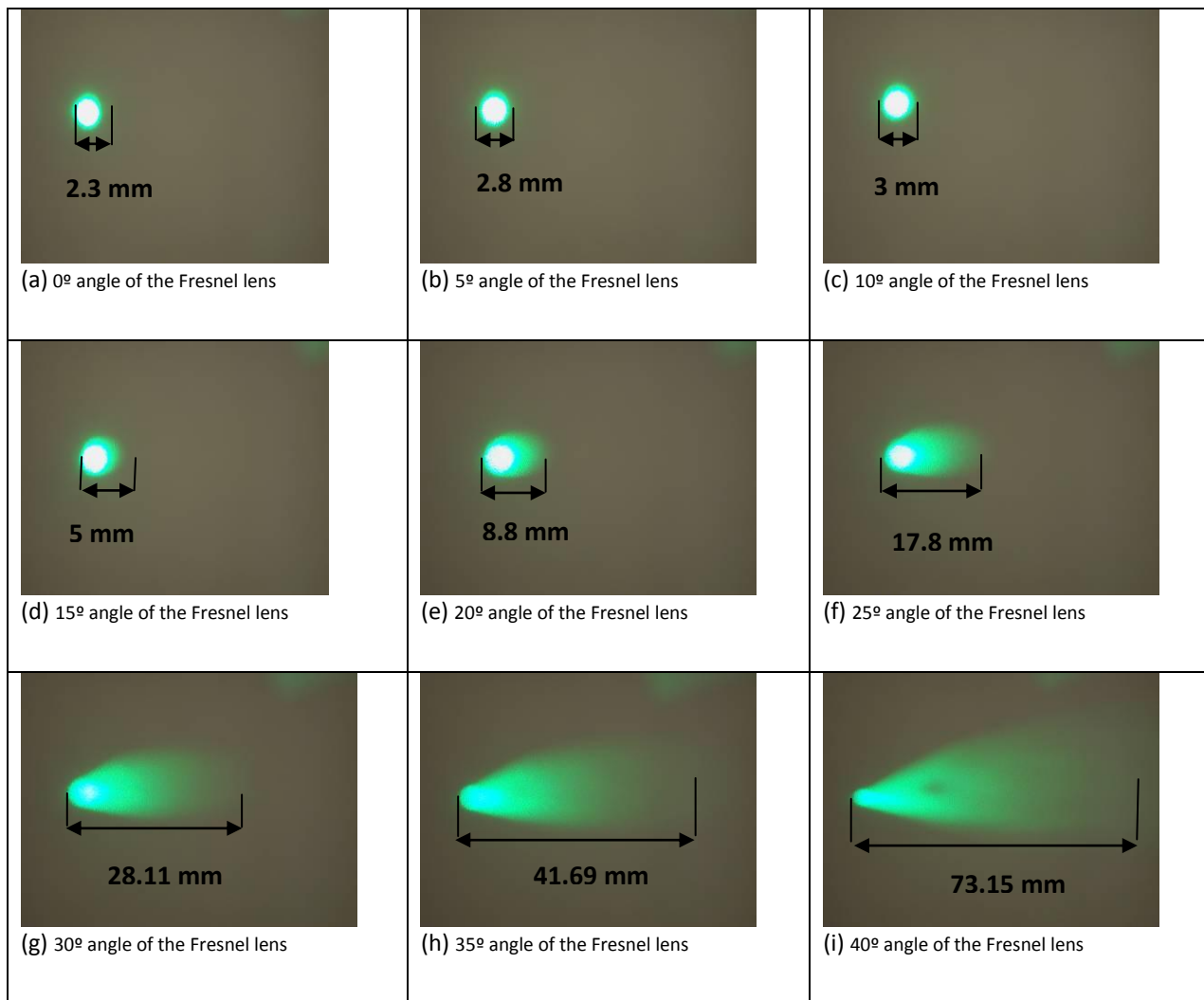
Resultatet af indkoblingseksperimentet er vist på Figur 3.9.



**Figur 3.9:** Den optiske effekt indkoblet i plastfiberen som funktion af Fresnel linsens vinkel i forhold til det indfaldende lys retning.

Figur 3.9 viser, at en vinkling af linsen på  $10^\circ$  således medfører et tab i den indkoblede effekt på 6 dB. En vinkling af linsen på  $30^\circ$  fører til et relativt indkoblingstab på 22 dB.

I den anden måleserie blev linsernes koma bestemt – altså variationen af linsens fokuspunkt, når lyskilden er placeret væk fra linsens optiske akse (svarende til skråt indfald af lys på linsen). Mere specifikt blev linsen roteret og der blev taget billeder af strålebundet nær fokuspunktet i skridt på  $5^\circ$  rotation af Fresnel linsen. Figur 3.10 viser en serie af billeder af laser lyset nær fokuspunktet af den plan konvekse linse.



**Figur 3.10:** Variation af strålebundets størrelse nær Fresnel linsens fokuspunktet for forskellige vinkler af Fresnel linsen.

Denne defokusering af lyset, når indfaldsvinklen af sollyset afviger fra den vinkelrette position viser tydeligt behovet for enten at benytte et system, hvor linsernes retning styres direkte mod sollyset (som i Parans systemet), eller at man må benytte en kombination af forskelligt rettede linser.

### 3.2 LED'er eller CFL'er i kombination med solar optiske fibersystemer?

Fremstilling af et hybrid system med den højeste energi effektivitet kræver udover anvendelsen af et optimalt solindfangningssystem ligeledes valget af den lampe, der kan leve op til fremtidige krav om lavt energiforbrug og leverance af høj lyskvalitet.

De forberedende studier for Øko-design krav til energi forbrugende produkter, der benytter livs cyklus vurderinger, anbefaler at man substituere halogenforsat lamper med tilhørende elektronik med dæmpningskontrol (dagslys afhængigt). Ifølge en AEA artikel (2009) vil fremtidige illuminationssystem design være nødt til at tage et økomærkningskriterie i betragtning, og fokusere på følgende emner:

- Lampernes energi effektivitet i brugsfasen
- lampernes livstid
- vedligeholdelse af lys output
- lampernes kviksølv indhold

### 3.2.1 Belysningens effektivitet

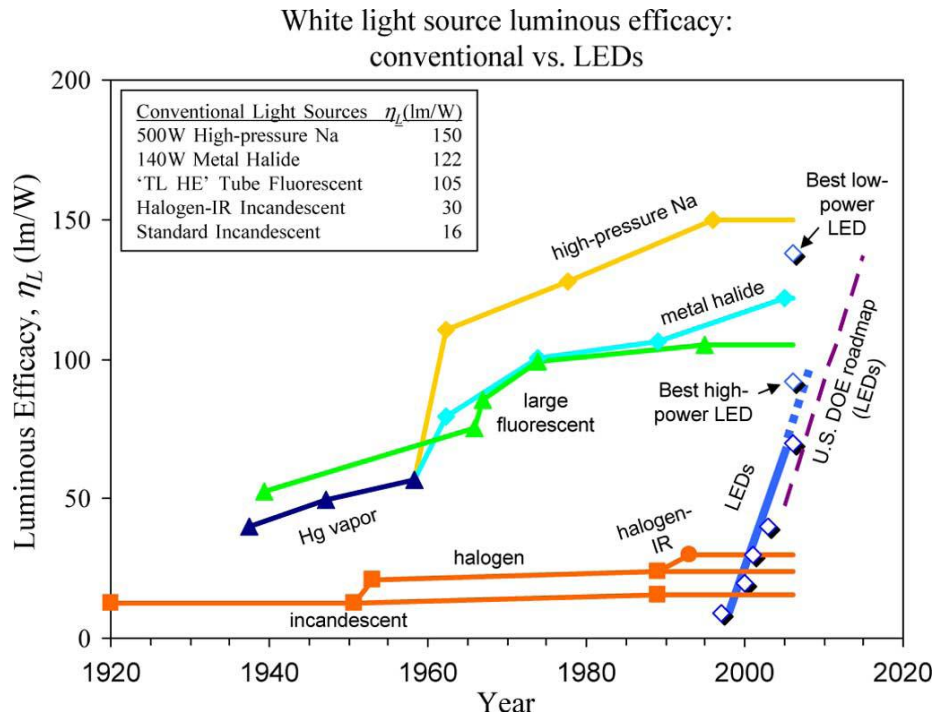
På det tidspunkt, hvor EUs forberedende øko-design studier blev gennemført, var LED kildernes belysningseffektivitet så lav, at denne teknologi ikke blev taget i betragtning som et reelt alternativ (man havde i 2006 LED lyskilder med god farvegengivelse med effektivitet på 30 lm/W i forhold til 90 lm/W for fluorescenede lamper).

Den begrænsede effektivitet har været en ulempe for LED belysning for at blive et reelt alternativ indenfor kontorbelysning. Dette ændrede sig imidlertid i september 2007, hvor virksomheden CREE offentliggjorde deres nye pære "Cree's XLamp" med en konverteringseffektivitet for en hvid LED på 72 lm/W og 52 lm/W for en varm hvid farve (Lovig., D., September 7- 2007). I maj 2009 fortalte en pressemeddelelse fra OSRAM at den såkaldte "Golden Dragon oval Plus" kunne opnå en typisk effektivitet på 90 lm/W i kold hvid farve (en farvetemperatur på 6500 K) og omkring 80 lm/W for den neutrale hvide version (med en farvetemperatur på 5000 K) og for den varme hvide på 65 lm/W (4500 K). OSRAM berettede yderligere at op til 160 lm/W allerede var opnået i laboratorietests (OSRAM, 2009).

LED'er blev på baggrund af disse forbedrede resultater dernæst betegnet bedste endnu ikke tilgængelige teknologi (Best Not yet Available Technology (BNAT)), men det blev samtidigt foreslået, at LED teknologien forventes at være den førende teknologi i fremtiden – især hvis LED prisen falder.. EuPs forberedende studier "Lote 8 for office lighting" anbefalede yderligere studier med henblik på at reducere den miljømæssige påvirkning, f.eks. ved at øge brugen af dagslys, og ved at øge opmærksomheden på energi forbrug (Van Tichelen, et al., 2007).

Ifølge Krames., et al (2007) er der forskellige egenskaber ved LEDer, som gør denne teknologi en af de mest lovende belysningsteknologier i fremtiden. To af disse er LEDernes størrelse og deres evne til at rette et udsendt lys i en bestemt retning. Dette forventes at kunne øge effektiviteten med en factor to eller endda mere i tilfældet af kontorbelysning (Krames., et al 2007: 171). I tilfældet af den lineære fluorescerende lampe udsendes lyset i alle retninger, og derfor er reflekterende elementer nødvendige inde i lamperne. Ifølge Krames (2008), forventes det at belysningseffektiviteten for LEDer vil nå 137 lm/W i 2015

(se Figur 3.11), mens det ifølge Paul Michael Petersen fra DTU Fotonik (der er den førende forskningsinstitution indenfor belysning i Danmark) kun kan forventes at de lineære fluorescerende kilder vil nå en værdi på 120 lm/W.



Figur 3.11 Udvikling af belysningseffektiviteten for forskellige hvidlys kilder. Kommercielt tilgængelige høj-effekt LEDer er indikeret med punkter langs den ubrudte blå kurve. U.S. Department of Energy forventer at kommercielt tilgængelige hvide LEDer vil udvikle sig som indikeret med den punkterede linie, Krames et al., 2008.

### 3.2.2 Levetid og lumen bevarelses factor

Udover behovet for at have en høj effektivitet er det væsentligt at belysningssystemerne er længst muligt holdbare og at de udsender en høj lysintensitet gennem hele deres levetid.

Ifølge Van Tichelen (2007) og AEA (2009) så kan belysningssystemernes virkningsgrad i denne sammenhæng beskrives ved de følgende to faktorer:

- Lampens lumen bevarelses factor "the Lamp Lumen Maintenance Factor", LLMF, angiver hvor klar lampens lys forbliver efter et givet tidsrum – beregnet som en procentdel af den originale lysstyrke.

- Lyskildens overlevelsesfaktor "The Lamp Survival Factor", LSF, angiver hvor lang tid en lampe holder før den ophører med at virke og dermed må udskiftes. Denne størrelse angives i procent af antallet af lamper, der stadigvæk virker efter et givet tidsrum.

Der er en generel forståelse af at LEDers levetid kan forventes at være 3 eller 4 gange længere end levetiden af de lineære fluorescerende lyskilder (OSRAM November 2009, Paul Michael Petersen, og Carsten Dam-Hansen 2009, Poul Erik Pedersen, 2009), og derfor har LEDerne i denne sammenhæng et større potentiale for fremtidig udvikling.

I forhold til forbruger præferencer, så tilbyder LED teknologien flere potentielle fordele end LFL teknologien. Blandt de væsentligste grunde hertil kan anføres:

- LEDernes robuste form gør det sikrere at transportere og håndtere LEDer end LFLer.
- UV stråling fra LEDer elimineres, således at de er sikre for både mennesker og produkter
- LED kilderne er potentielt lettere at styre lysstyrken af og lysets retning kan styres
- Farven af lyset fra LEDer kan justeres mhp. at opfylde forbruger krav og ønsker (Holm J.S., 2005 og LED-til belysning-nu og fremtiden - konference 2009)

### 3.3 Sammenfattende teknologi vurdering:

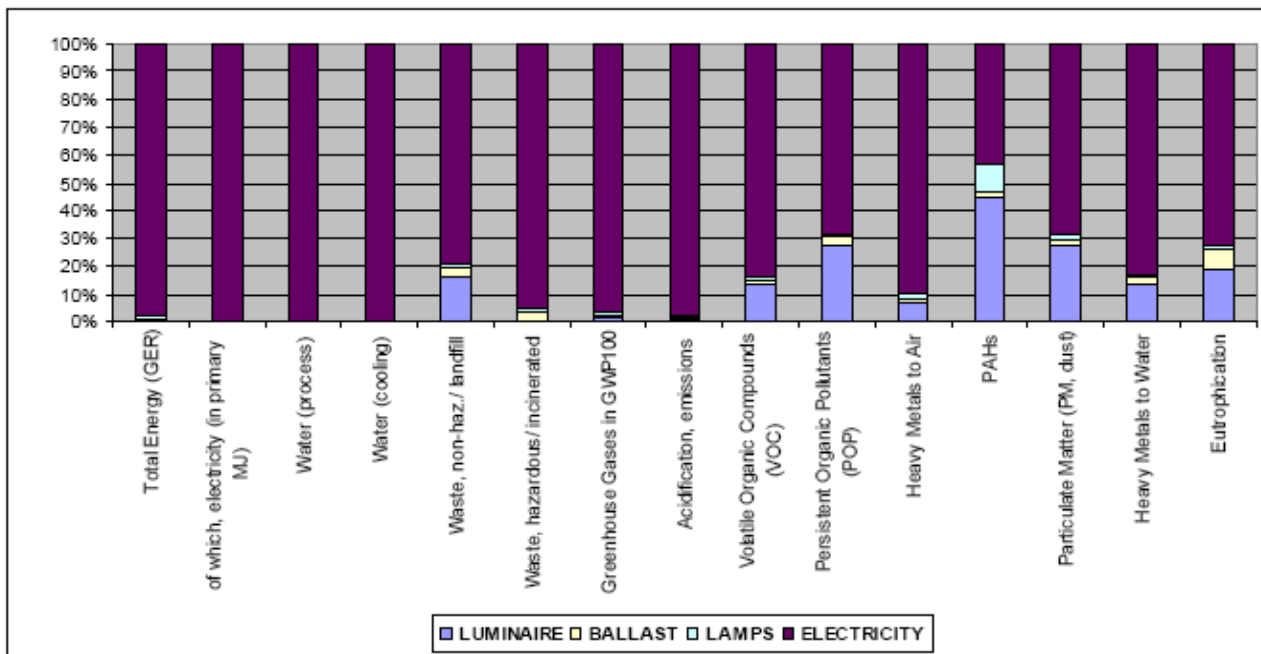
Dette projekts undersøgelser peger på, at det er væsentligt vanskeligere at udnytte potentielle fordele ved mikrostrukturerede optiske fibre til belysningssystemer end først antaget – primært pga. vanskelighederne med at fremstille fibre med meget små mikrostrukturer. Vores anbefaling er derfor at fortsætte det videre arbejde med fiberbelysningssystemer ved at udnytte polymer fibre af standard typen. Den dæmpning som lyset udsættes for ved transmission gennem disse fibre betyder imidlertid, at der sker en misfavnning i forhold til det indfangne sollys. Endelig er der gennemført en kvantisering af indkoblingstab som følge af skrå indkobling af sollys i forhold til den vinkelrette retning på indfangningslinserne.

Fordelene ved produkt-service systemer baseret på LEDer er overlegne i forhold til systemer, der benytter lineært fluorescerende lyskilder, og tilbyder flere muligheder for udvikling. Derfor anbefaler dette studie, at der fremover fokuseres på LED belysning i hybride belysningssystemer.



## 4 Energi Analyse

Lige som det blev nævnt i vores teoretiske overvejelse, så er elektricitetsforbruget det input i et belysningsystem, der har den største miljø belastning (Van Tichelen, P. et al, 2007 and OSRAM 2009) (se Figur 4.1).



**Figur 4.1:** Distribution af miljøbelastningerne med hensyn til armatur, ballast, lamper og el-forbrug i et Belysningsystems Livs Cyklus Vurdering (LCA). (Van Tichelen, et al April 2007: 149).

Således, fokuserede vi på at se, hvor meget netto energi man kunne spare, hvis vi lavede et hybridt belysningsystem. Det vil sige, ved at integrere et solar fiber optisk system med vores base-line case og til et system baseret på LEDer. Som vi også nævnte, for at opnå en reduktion af energiforbruget, er det vigtigt at forøge belysningsystemernes omsætning af elektrisk energi til lysenergi. Dette har per tradition været knyttet til lampens effektivitet for man har kun fokuseret på kunstig belysning. Hvis man tager hensyn til dagslys og den mængde lumens man kan opnå ved at integrere dagslyset i systemet, kunne vi forudsige at man kunne få et højere antal lumens, men under brug af en mindre mængde elektriske strøm.

Man skal selvfølgelig have i tankerne, at dagslys belysning kun er til rådighed på bestemte tider om dagen, og mange gange er det ikke mulige at have dagslyset, der hvor det ønskes. Derfor er det nødvendigt at forsætte med at gøre kunstigt lys mere effektivt på samme tidspunkt som vi finder veje til at flytte dagslyset ind i boliger og på arbejdspladser.

Vores analyse her sigtede derfor imod, at tage udgangspunkt i de lamper, som i dag kan levere den højeste lys effektivitet, og som i fremtiden kan forsætte med at forbedre disse egenskaber. Således, baseret på resultater fra OSRAM (2009), beregnede vi hvor mange lumens, som man i procent kunne spare, hvis vi brugte den mest effektive sparepære (CFL) og det mest effektive LED sparepære. Vi valgte at gøre således, siden vi kunne konstatere, at der findes mange producenter af LED armatur og informationerne vedrørende lys intensitet i relation til el-forbrug er ikke altid de samme eller er ikke specificerede. Fordi sparepære teknologien er en mere moden teknologi og der også er konstant fokus på lampens effektivitetsudvikling var det også nemmere at finde informationer for disse pærere.

Analysen byggede også på en sammenligning af energi –inputs/ outputs med hensyn til et belysningsystem set i relation til vores funktionelle enhed og med hensyn til et belysningsystem baseret på CFL, et andet system baseret alene på LEDer, og det tredje system baseret på LEDer med et tilføjet solar optiske fiber system. Resultater fra denne beregning blev bagefter anvendt som et proportionalt besparelsespotentiale eller faktor for at beregne energi besparelsen, CO<sub>2</sub> emissioner og totale omkostninger af tre belysningsystemer beskrevet af IBSEN el-installatør.

#### 4.1 Udregning af energi besparelsespotentialet

Mål: Formålet med denne analyse var at undersøge, hvor meget netto energi, man kunne spare, hvis man konstruerede et hybrid belysningsystem med enten CFLer eller med LEDer.

-Betragte levetid for hvert system:

T5 LFL lamper 6 år, LEDer 20 år, mens et hybrid system kan virke i 25 år (vi forventer, at LEDers levetid i sammensætning med et solar optisk system forlænges 5 år eftersom forbruget af dagslys vil reducere forbrug af kunstigt lys). I overensstemmelse med dette kaldte vi vores funktionelle enhed følgende:

Levering af belysningservice til en arbejdsplads (bord på 1.5 m<sup>2</sup>) i et dansk kontor (6.5 m<sup>2</sup>) over en periode på 25 år.

Vi overvejede to slags kontorer: Et enkelt bruger kontor og et multi- bruger kontor.

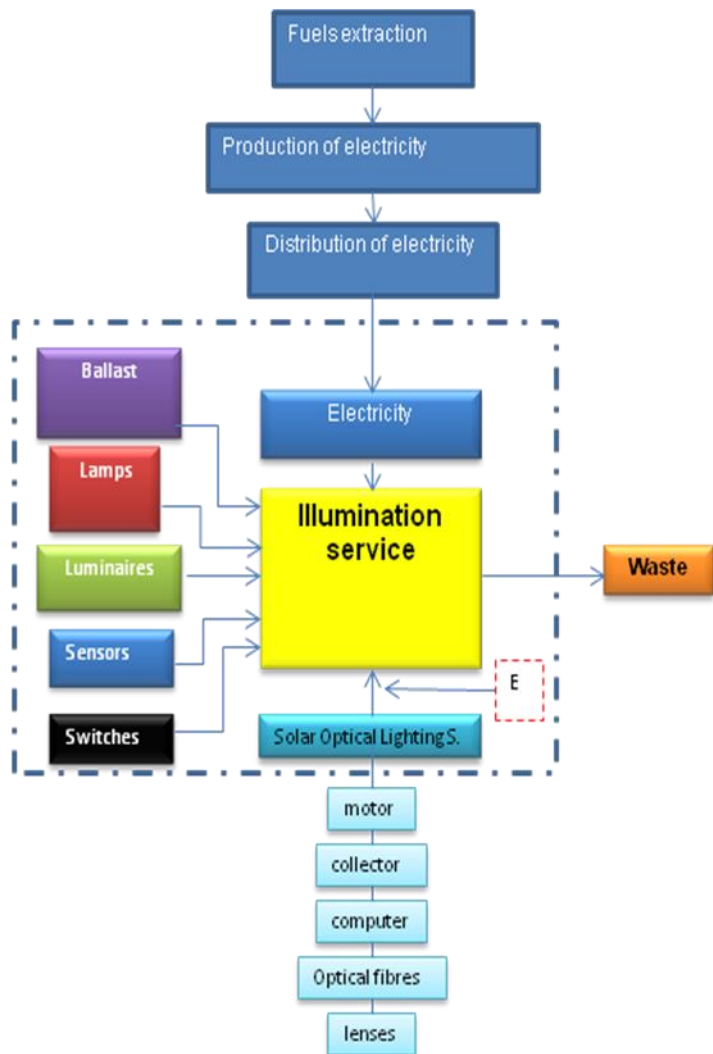
Funktionel tid til enkelt bruger kontor: 7.30 timer (arbejdstid) +0.30 (rengøring)= 8 timer

Funktionel tid til multi - bruger kontor: 10 (arbejdstid) +1(rengøring)= 11 timer

220 arbejdsdage

### 4.1.1 System grænser

Fordi vores primære mål med vores undersøgelse er at sammenligne energiforbruget i forbrugsfasen mellem vores base line vs. et system baseret på LEDer og et hybridsystem, så begrænsede vi vores analyse til forbrugsfasen som illustreret på Figuren 4.2.



**Figur 4.2:** Skematisk præsentation af livs cyklus for et hybrid fiber belysningsystem (optisk fiber/LED) og begrænsning af vores analyse.

### 4.2 Energi input vs. lumen output i et solar fiber optisk system

Fra february til oktober er de normale arbejdstimer placeret i et tidsrum, hvor der er fuldt dagslys. Af denne årsag estimerer vi antallet af timer med direkte sollys som et enkelt forhold mellem antal arbejdstimer med dagslys og det samlede antal dagslys timer. For enkelt-bruger tilfældet laves der en korrektion af antallet af arbejdstimer med dagslys for månederne november, december og januar ved at man reducerer antallet af timer svarende til antallet af arbejdstimer uden dagslys. I multi-bruger tilfældet foretages korrektionen for månederne januar, februar, marts, oktober, november og december (se Tabel 4.1 and Figur 4.2)).

<i>Month</i>	<i>Sunrise*</i>	<i>Sunset*</i>	<i>No. of daylight hrs.</i>	<i>No. of minuts with daylight</i>	<i>No. of days</i>	<i>Appr. Daylight hours</i>	<i>No. of working days</i>
January	08:31	16:10	07:39	459	31	237	20
February	07:36	17:15	09:39	579	28	270	20
March	06:27	18:14	11:47	707	31	365	23
April	06:06	20:17	14:11	851	30	426	18
May	05:00	21:16	16:16	976	31	504	19
June	04:26	21:57	17:31	1051	30	526	22
July	04:47	21:45	16:58	1018	31	526	22
August	05:42	20:47	15:05	905	31	468	22
September	06:42	19:29	12:47	767	30	384	22
October	07:41	18:11	10:30	630	31	326	21
November	07:46	16:04	08:18	498	30	249	22
December	08:34	15:38	07:04	424	31	219	23
<b>Total numbers</b>				8865	365	4499	254

<i>Month</i>	<i>Work daylight hrs. (single-user case)</i>	<i>Hrs. of bright sunshine**</i>	<i>Estimated office functional working hours with bright sunshine (single-user)</i>	<i>Work daylight hrs. (multi-user case)</i>	<i>Estimated office functional working hours with bright sunshine (multi-user case)</i>
January	143	43	26	183	33
February	160	68	40	206	52
March	184	117	59	247	79
April	144	185	63	198	86
May	152	249	75	209	103
June	176	259	87	242	119
July	176	244	82	242	112
August	176	233	88	242	121
September	176	158	73	242	100
October	168	103	53	223	71
November	156	57	36	219	50
December	153	38	27	222	39
<b>Total numbers</b>	1964	1754	707	2675	964

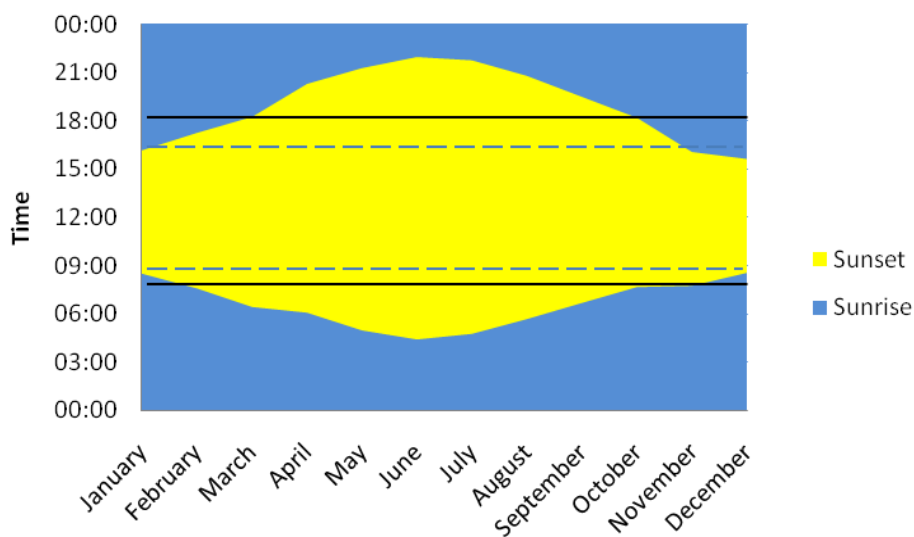
**Table 4.1 og 4.2:** Kontor arbejdstimer med direkte sollys i Danmark.

I enkelt-bruger tilfældet beregnede vi det samlede antal kontor arbejdstimer med direkte solskin til **707** (kontortid mellem 9.00 og 17.00). I multi-bruger tilfældet blev det samlede antal kontor arbejdstimer med direkte solskin beregnet til **964** (kontortid mellem 8.00 og 19.00).

(All sunrise and sunsets are registered for the 15th of the month.

\*Almanak for Denmark, source: <http://www.nakskov-gym.dk/almadk/almadk.aspx>

\*\* Cappelen, J., and Jørgensen, B.V. (1998).



**Figur 4.3:** Fordelingen af dagslystimer gennem året i Danmark. Det gule område viser hvor mange timer der er dagslys, og det skraverede område angiver kontortid for enkeltbruger tilfældet. De fuldt optrukne linier angiver kontortiden for multi-bruger tilfældet.

Et af vores synspunkter er, at vi skal levere en vis mængde lys under brugen af så lille en mængde fossilt brændstof som muligt. Det er derfor væsentligt at undersøge hvor stor en lysmængde det eksisterende optiske system kan levere.

Med henblik på at forstå mulighederne for hybride belysningsystemer i Danmark, er det væsentligt af se på antallet af estimerede arbejdstimer over et helt år. Figur 4.3 viser at vi i løbet af vinteren ikke kan forvente mere end 25 timers klart solskin over en hel måned, hvorimod antallet af timer en næsten 4 gange så stort om sommeren.

Vores antagelser er følgende:

1. Det antages, at der er et gennemsnit på 1.754 solskins timer per år i Danmark (men ikke all evil være sammenfaldende med arbejdstid).
2. De optiske fibersystemer analyseret her har et output i lumen på 3,300 lm (målt under danske forhold) i klart solskin (producenten oplyser 3000 +/- 300 lm)
3. Vi ønsker at forsyne en arbejdsplads med 500 Lux , hvilket bevirker at et arbejdsbord på 1.5 m<sup>2</sup> vil kræve 750 lm.
4. Hvis vi antager at et kontor har et samlet areal på 6.5 m<sup>2</sup> og vi fradrager bordarealet, skal der leveres 200 Lux til et areal på 5 m<sup>2</sup> hvilket betyder at der samlet kræves 1,000 Lumens.

5. I enkelt-bruger tilfældet estimeres at der er 707 timers solskin I løbet af arbejdstiden på et år, og I multi-bruger tilfældet antages dette tal at være 964 timer.
6. Det antages, at det gennemsnitlige antal arbejdsdage på et år er 220.

Eftersom det varierer ganske betydeligt, hvordan et kontor benyttes, så blev de følgende scenarier konstrueret:

### *Enkelt-bruger kontorer*

- I denne kategori antager vi at lyset er tændt, når kontoret er I brug, og at rengøring også foretages indenfor kontortiden.
- I den situation, hvor kontoret benyttes i kun 8 timer på en arbejdsdag, antager vi at der er ialt 707 timers solskin per år i Danmark.
- Når vi betragter dette tilfælde er der et samlet årligt antal arbejdstimer på 1.964 timer.
- Hvis vi antager, at al det indsamlede sollys udnyttes (og fordeles til to kontorer) så kan de 3.300 lm fra systemet til kontorer der behøver 1.750 lm hver føre til en relativ energi reduktion på  $707/1964 = 36\%$

### *Multi-bruger kontorer*

- I dette tilfælde antager vi, at lyset er tændt selv om nogle af brugerne er på ferie, og kontoret vil derfor bruge mere lys end i enkelt-bruger tilfældet. Her antages det, at der udnyttes 964 timers solskin.
- Det antages at kontoret benyttes 10 timer + 1 time til rengøring – ialt 11 timer.
- I dette tilfælde estimeres ialt 2.675 arbejdstimer med dagslys.
- Det antages, at al det indfangede sollys udnyttes i 1.500 timer (og fordeles til to kontorer) så kan de 3.300 lm fra systemet til kontorer, der hver behøver 1.750 lm, føre til en relativ energi reduktion på  $964/2.675 = 36\%$
- Grunden til at besparelserne I de to scenarier er proportionale skyldes at enkelt-bruger kontorer sparer energi, mens brugerne ikke benytter kontorerne, men at man ikke samtidigt udnytter alle solskinstimer. I relation til multi-bruger kontorer, så bruges der Ganske rigtigt mere energi, men dette kompenseres relativt gennem en udnyttelse af flere solskinstimer.

### 4.3 Produkt-service vurdering

Vi har ovenfor vist, at introduktion af fiber belysningsystemer kan medføre en besparelse på 36 % i forhold til vores funktionelle enhed.

Udefra positionerings egenskaber eller udefra et produkt-service perspektiv kan fiber belysningssystemerne bidrage med følgende:

- Reduktion af opvarmning og dermed reduktion af behovet for air-conditioning om sommeren,
- Reduktion af CO<sub>2</sub> emissioner, eftersom der er tale om primær energi reduktion.

# 5 Livs cyklus omkostningerne – vurdering

---

Den ovenfor vurderede besparelse på 36% skal videre benyttes til at beregne livs cyklus omkostningen for hybride belysningssystemer. Yderligere vil vi præsentere resultater fra en sammenligning mellem tre systemer set i relation til energiforbruget og CO<sub>2</sub> emissioner opnået ved anvendelse af DEEP's LCC værktøj (<http://deep.iclei-europe.org>). Værktøjet tager udgifter, materialer, og installationsomkostninger i betragtning.

Målsætningen er her at sammenligne den samlede udgift for forbrugsfasen for forskellige systemer med reference til hybride fiberbelysningsystemer. Det afgørende er at tage i betragtning, at selvom et givet system kan opnå en energimæssig besparelse, så bliver det først for alvor attraktivt at implementere dette, når der samtidigt kan konkurrere med konventionelle teknologiers total omkostningerne.

## 5.1 Omkostninger relateret til belysningssystemer

De data der benyttes i denne vurdering er blevet indsamlet i en iterative kommunikationsproces med Poul Ibsen, IBSEN EL-ANLÆG A/S, og Lara Scolari og Anders Bjarklev fra DTU-Fotonik i perioden maj til juli 2010). Yderligere benytter vi de priser, som vi har fra Parans A/S .

Priserne blev specificeret i relation til en illuminationservice, der skal forsyne et 100m<sup>2</sup> stort areal over en periode på 220 dage om året. Der antages en 8 timers arbejdsdag for enkelt-bruger kontorer og en 11 timers dag for multi-bruger tilfældet. Udfra disse data bestemmer vi den samlede udgift i forbindelse med at sikre den nødvendige belysningsservice i de to brugstilfælde. Det antages, at der skal leveres en given belysningsservice over en periode på 25 år, hvilket svarer til den forventede levetid for hybridsystemet.

Udtrykker vi det samlet i relation til den funktionelle enhed, så kan det beskrives som følger: Den totale udgift i forbindelse med at forsyne et kontor på 6.5m<sup>2</sup> med et arbejdsbord på 1.5 m<sup>2</sup> med belysningsservice over 25 år,



Detaljer om de betragtede systemer er vist i nedenstående tabel 5.1 .

Systems Material list to provide illumination to a 100m2 office area	Standard Fagerhult Loop Light T5 CFLs	Fagerhult gaudi LED	Hybrid system with (Fagerhult gaudi LED and Parans solar optical system)
<b>Lamps (general illumination), life time and price per lamp including the labour replacement price</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 (35W) lamps for each luminaire</li> <li>• (6 years)</li> <li>• Price per lamp: 69 DKK</li> <li>• Inst. Price: 800 DKK inclusive moms</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 7 stk 3w LEDs for each luminaire</li> <li>• (20 years)</li> <li>• Price is included in the luminaire</li> <li>• It is not possible to replace the LEDs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 7 stk 3w LEDs for each luminaire (<i>minus 36%</i> of energy reduction)</li> <li>• (25 years)</li> <li>• Price is included in the luminaire</li> <li>• It is not possible to replace the LEDs</li> </ul>
<b>Number of general lighting luminaires and price including installation price</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 16 luminaires</li> <li>• 900 DKK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 35 luminaires</li> <li>• 3500 DKK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 35 luminaires</li> <li>• 7500 DKK</li> </ul>
<b>Lamps (task area), life time and price of the replacement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 (18W) lamp per luminaire</li> <li>• 15-20.000 hours (ca 6 years)</li> <li>• 69 DKK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 (10W) LEDs</li> <li>• Price is included in the luminaire</li> <li>• It is not possible to replace the LEDs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 (10W) LEDs (<i>minus 36%</i> of energy reduction)</li> <li>• Price is included in the luminaire</li> <li>• It is not possible to replace the LEDs</li> </ul>
<b>Number of task area luminaires and price</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 luminaires</li> <li>• 700 DKK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 Luminaires</li> <li>• 4,100 DKK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 Luminaires</li> <li>• 4,100 DKK</li> </ul>
<b>Other material</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 7 Parans systems (54,208 DDK per unit)</li> <li>• 7 Parans systems installation price(6,859 DKK per unit)</li> </ul>

**Tabel 5.1** Pris liste over omkostningerne gennem forbrugs fase i systemet livscyklus

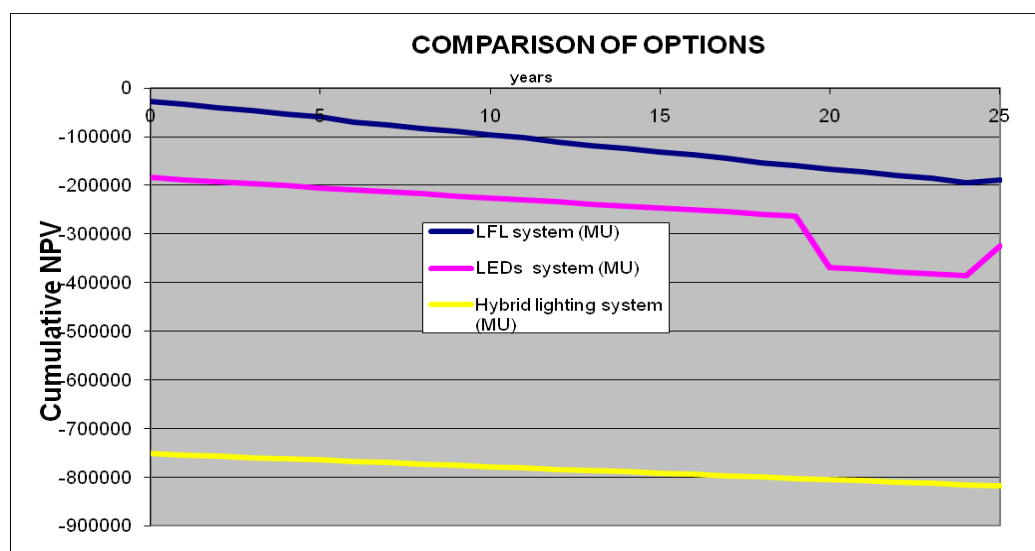
## 5.2 Vurdering af brugsfase udgifter for tre sammenlignende tilfælde

De tre systemscenarier er på tabelform beskrevet i nedenstående oversigt, hvor det bemærkes at udgifterne er anført i danske kroner i 2010 værdi (se tabel 5.2).

Kind of technology	LFL BAT based system		LEDs BAT based system		Hybrid illumination system	
	Multiple user office	Single user office	Multiple user office	Single user office	Multiple user office	Single user office
General lighting electricity	135.500,00	98.550,00	88.925,00	64.675,00	56.992,00	41.392,00
General lighting luminaires + inst. cost	14.400,00	14.400,00	122.500,00	122.500,00	689.969,00	689.969,00
General lamps	8.832,00	8.832,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Labour replacement for general lighting	3.000,00	3.000,00	122.500,00	122.500,00	0,00	0,00
Task luminaire electricity consumption	32.675,00	23.625,00	18.000,00	13.200,00	11.616,00	8.448,00
Task (lamp) luminaire	10.500,00	10.500,00	61.500,00	61.500,00	61.500,00	61.500,00
Task luminaires replacement	3.600,00	3.600,00	61.500,00	61.500,00	0,00	0,00
<b>Total cost 100m2</b>	<b>208.507,00</b>	<b>162.507,00</b>	<b>474.925,00</b>	<b>445.875,00</b>	<b>820.077,00</b>	<b>801.309,00</b>
<b>Total cost per functional unit</b>	<b>13.553,00</b>	<b>10.563,00</b>	<b>308.701,25</b>	<b>289.818,75</b>	<b>533.050,05</b>	<b>520.850,85</b>

**Tabel 5.2:** Udgifts vurdering for belysningssystemers forbrugsfase I tre tilfælde: LFLs, LEDs og Hybride illuminationssystemer.

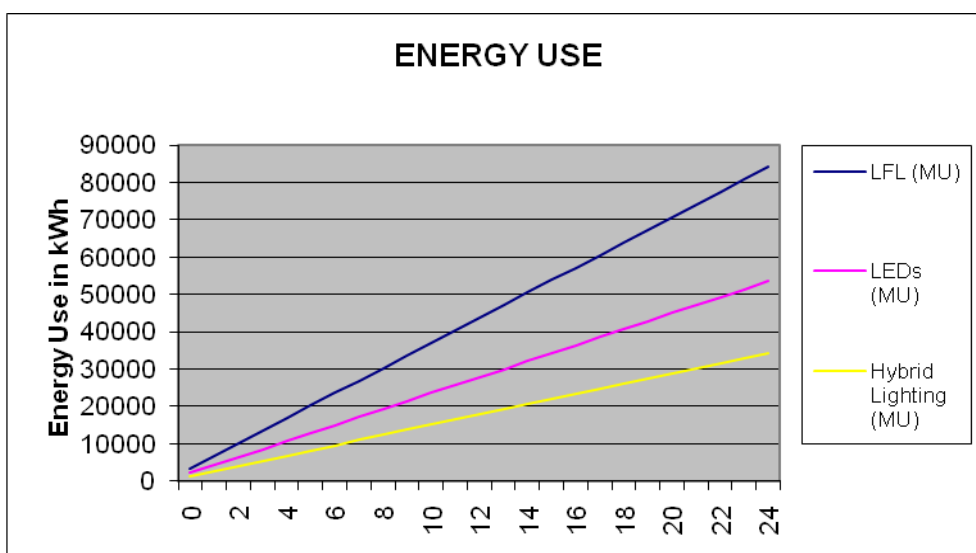
Den totale udgift for den samlede forbrugsfase for de tre systemer er vist på Figur 5.1. Som eksempel benytter vi her multi-bruger tilfældet, og i vurderingen benyttes "the Energy Efficient Procurement (LCC) DEEP Tool kit" ([www.procuraplus.org/index.php?id=4614](http://www.procuraplus.org/index.php?id=4614)).



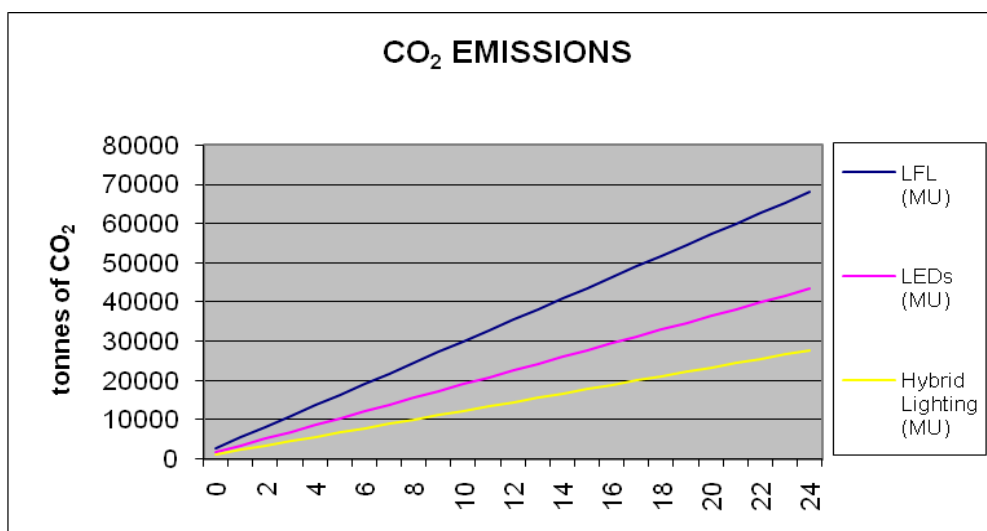
**Figur 5.1:** sammenligning af tre systemers samlede udgifter. Der antages en årlig rente på 3% (Danmarks National bank, 25. marts 2010, ref 2010-14E), en "On - peak electric tariff price escalator" på 3% som en gennemsnitsværdi for forskellige energikilder (Bolt J., 2009, "Fremtidige priser på biomasse til

energiformål”) og en carbon factor på 0.8011 kgCO<sub>2</sub>/kWh (DONG energy., 2008, ASNÆSVÆRKET- Grønt Regnskab 2008). Det hybride fiberbelysningsystem antages at have en levetid på 25 år.

Det fremgår af Figur 5.1, at den mest omkostningstunge løsning i dag er det hybride belysningsystem – også selvom Figurene 5.2 og 5.3 viser at dette system bruger mindre energi og producerer mindre CO<sub>2</sub> emissioner.



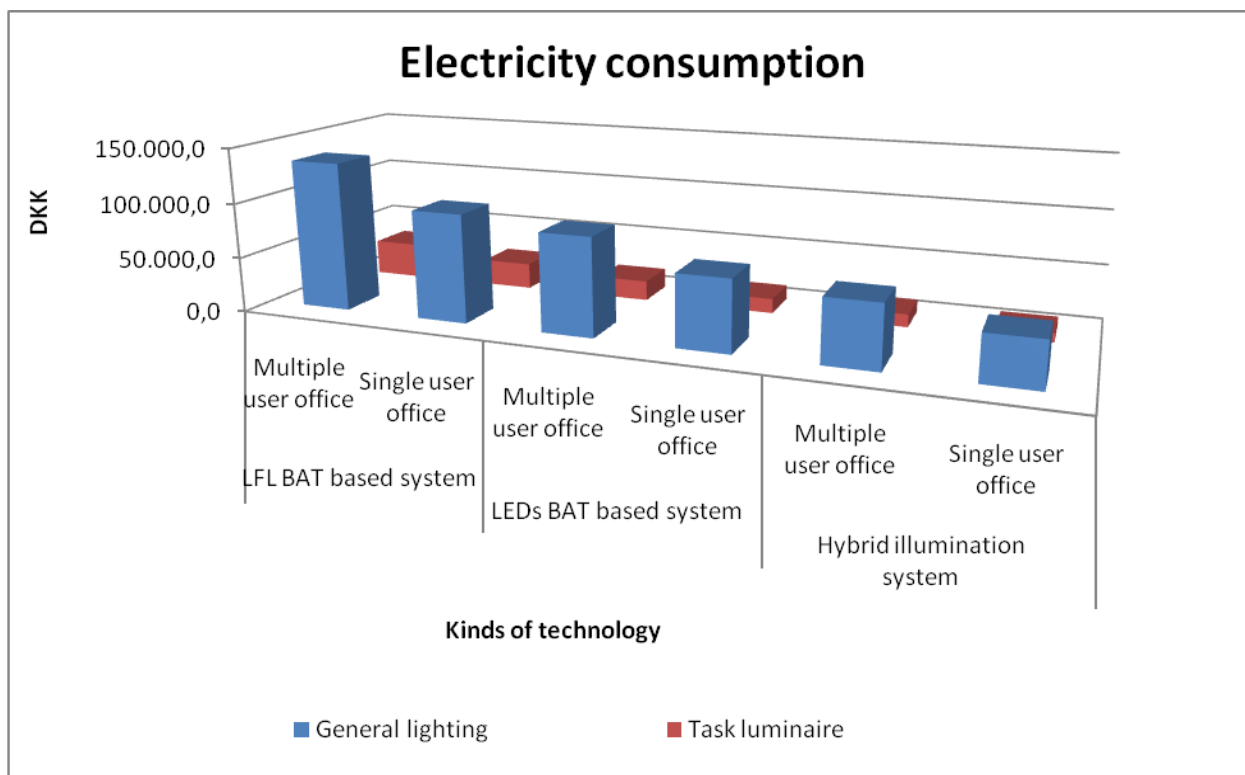
Figur 5.2 Energiforbrug for de tre systemer i tilfælde af multi-bruger kontorer.



Figur 5.3: CO<sub>2</sub> emissioner over en periode på 25 år for de tre systemer i tilfælde af multi-bruger kontorer.

<sup>1</sup> Emissions faktoren rapporteret af EU kommissionen er 0.041 kgCO<sub>2</sub>/kWh. Imidlertid betragter vi ikke denne værdi som værende typisk som et gennemsnit af alle energikilder. Vi vælger i stedet at benytte værdien 0.801<sup>1</sup> kgCO<sub>2</sub>/kWh, da dette tal svarer bedre til den marginal energi produceret ved konventionelle energikilder.

En af de mest bemærkelsesværdige besparelsesmuligheder er at finde i det samlede energiforbrug i forbrugsfasen (se Figur 5.4). Hybride systemer har her et særligt fortrin – især hvis energipriserne fortsat stiger.



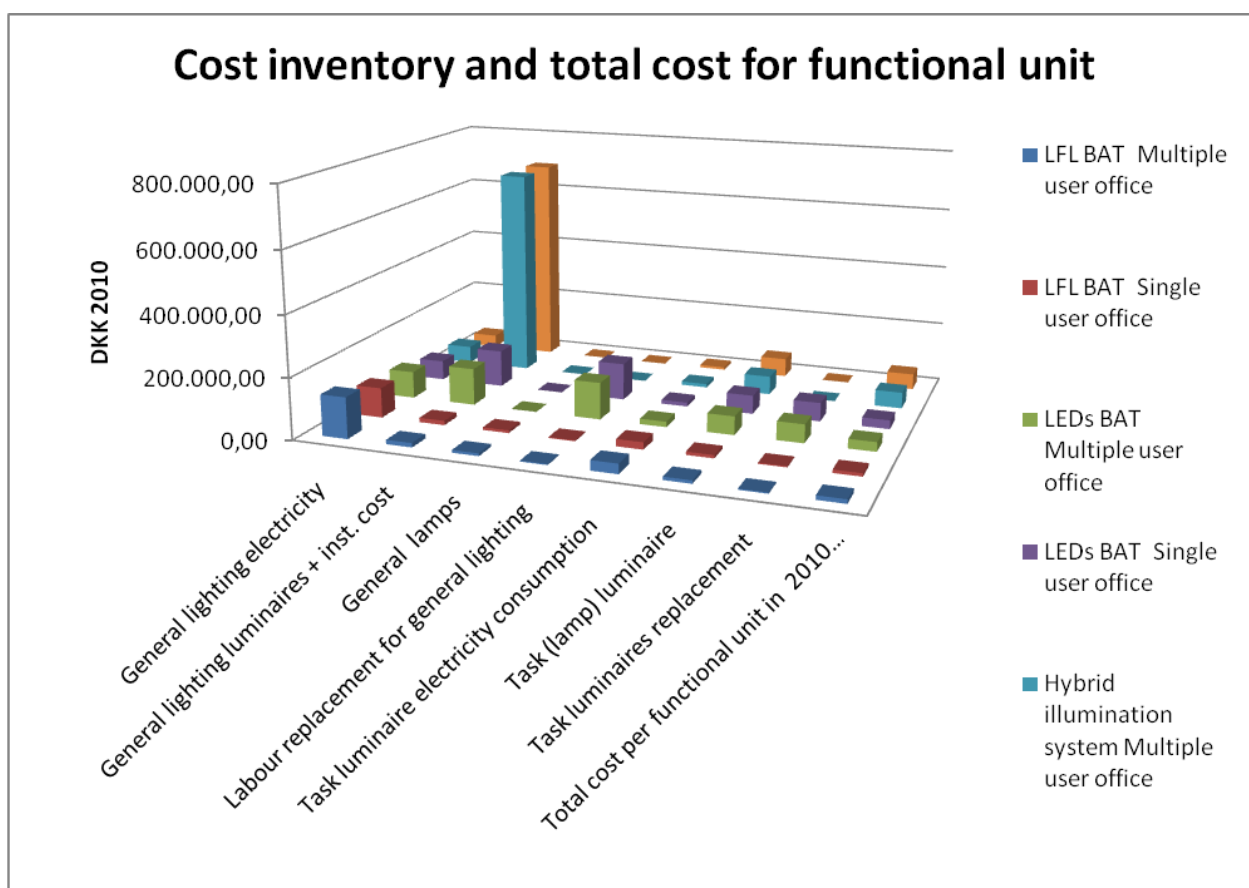
**Figur 5.4:** Total udgift ved elektricitetsforbrug pr. Funktionel enhed under betragtning af tre belysningsystemer: LFLs; LEDs og hybride fiber systemer. Priserne er angivet i 2010 kroner.

En anden af de væsentlige parametre i relation til energi priserne, er at udgiften forbundet med produktion og forbrug af elektricitet baseret på fossile brændstoffer indtil nu ikke har afspejlet den sande miljømæssige effekt repræsenteret ved den såkaldte CO<sub>2</sub>-afgift. Hvis denne afgift blev øget svarende til den reelle miljøpåvirkning, ville energipriserne øges betragteligt.

	LFLs	LEDs	Hybrid lighting
Total un-discounted cost over life cycle	-262415 DKR	-386191 DKR	-851440 DKR
NPV at end of life	-188336 DKR	-323947 DKR	-818022 DKR
Total energy use over life cycle	84100 kWh	53550 kWh	34275 kWh
Total CO <sub>2</sub> emissions over life cycle	68,121 t CO <sub>2</sub>	43,376 t CO <sub>2</sub>	27,763 t CO <sub>2</sub>

**Tabel 5.3:** Total udgift over forskellige systemers livscyklus scenarier

Som det fremgår af Figur 5.5, så udgør udgiften til materialer (dvs. lamper + heliostat) og installationen i sig selv den væsentligste udgiftsbarrierer for hybrid illuminationssystemer. Dette skyldes delvis en høj pris for systemet fra Parans, og at det nuværende prisleje for LED lamper er ganske højt. For at blive et reelt alternativ til andre belysningsystemer, er det derfor afgørende at finde løsninger til at bringe disse udgifter ned.



**Figur 5.5:** Grafisk illustration af fordelingen af de samlede udgifter per funktionel enhed for belysningservice i forbrugsfasen. Priserne er anført i 2010 kroner.

### 5.3 Sensitivitets analyse

Department of Energy (DOE) i USA har peget på, at et af de væsentligste problemer i relation til Oak Ridge Laboratory's fiberbelysningsystem er dets høje pris, og at denne er direkte sammenhængende med det system der sikrer at kollektoren rettes mod solen og følger dennes retning over himlen (DOE., June 2004). Vi formoder at dette ligeledes er den afgørende faktor for den høje pris på Parans systemet benyttet i vores studier.

Det forventes at priserne på hybride belysningsystemer vil reduceres med tiden, og mere specifikt så siger udgifts projektioner fra the USA FEDERAL ENERGY MANAGEMENT PROGRAM at den kommercielle pris i år 2006 (den var 20,000 USD) forventeligt kan reduceres med 85% i 2012.

Cost element	2006	2007 (product launch)	2012
System cost	\$20,000	\$16,000	\$3,000
Installation cost	\$4,000	\$3,000	\$1,000

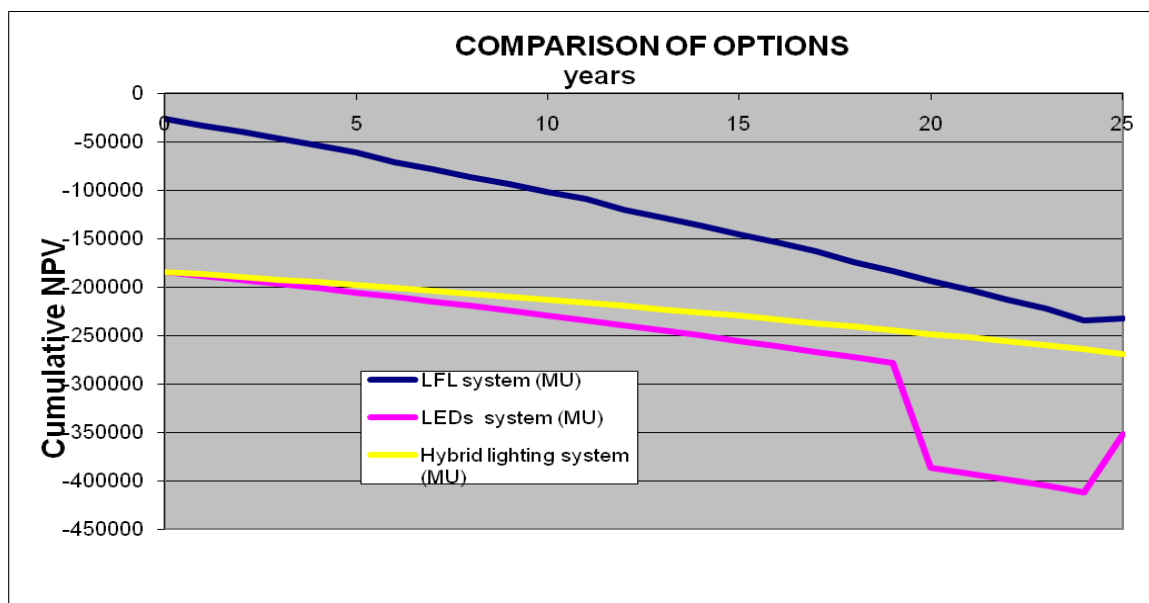
**Tabel 5.4:** Forventet udvikling af pris reduktioner for hybride fiberbelysningsystemer (Kintner-Meyer , M., 2007)

Det tidlige stadi på innovationskurven, som denne teknologi befinder sig på i dag, peger på det betydelige potentiale, der er mht. Produkt udvikling, og dermed mulighederne for at forbedre denne teknologi både mht. pris og energieffektivitet.

Med henblik på at lave en sensitivets analyse, så har vi atter benyttet "the Energy Efficient Procurement (LCCC) DEEP Tool kit" ([www.procuraplus.org/index.php?id=4614](http://www.procuraplus.org/index.php?id=4614)). I denne sammenhæng antager vi, at elektricitetsprisen vil stige med 5% per år, ud fra en antagelse om at de hastigt svindende reserver af fossilt brændstof vil presse priserne i vejret.

### 5.3.1 Scenario 2

Her antager vi at hybrid systemet har same pris som LED systemer har idag. Det ville være 24% billigere end idag (se Figur 5.6). I dette tilfælde vil det hybride system være en bedre mulighed end LED systemer allerede fra år 2 eller 3.



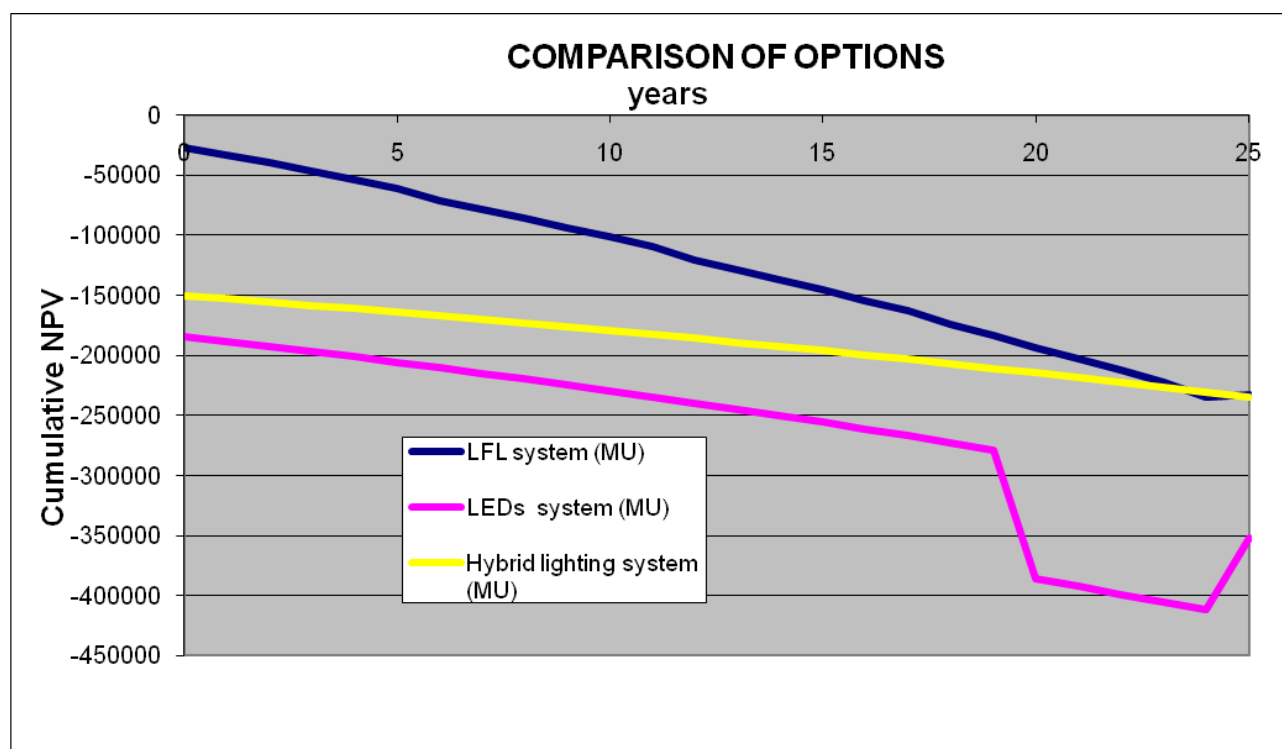
**Figur 5.6:** Scenario 2 Der antages en stigning i el-priser på 5% per år og at system og installationspris kan reduceres med 24%.

<b>Total un-discounted cost over life cycle</b>	<b>-338225 DKR</b>	<b>-434463 DKR</b>	<b>-314868 DKR</b>
<b>NPV at end of life</b>	<b>-232708 DKR</b>	<b>-352201 DKR</b>	<b>-268638 DKR</b>
<b>Total energy use over life cycle</b>	<b>84100 kWh</b>	<b>53550 kWh</b>	<b>34275 kWh</b>
<b>Total CO2 emissions over life cycle</b>	<b>68,121 t CO2</b>	<b>43,376 t CO2</b>	<b>27,763 t CO2</b>

**Tabel 5.5:** Total udgift over den samlede livscyklus i scenarie 2.

### 5.3.2 Scenarie 3

Vi antager her, at vi kan reducere materialeprisen og installationsprisen med omkring 80% i Danmark, og i dette tilfælde opnås resultaterne som vist i Figur 5.6.



**Figur 5.7:** Sammenligning af forskellige teknologier i scenarie 3. Vi benytter en 5% årlig elektricitets pris stigning og antager at system og installationsprisen kan reduceres med 80%. De voksende kurver til højre på figuren svarer til, at man ved afslutningen af projektets levetid sælger materialet. Dette forventes imidlertid ikke at blive tilfældet, da disse systemer blot skrottes. Knækkene på kurverne hænger sammen med tidspunkter i løbet af systemernes levetid, hvor der er betydelige udgifter f.eks. til erstatning af dele af systemet eller lamper mv

Som det fremgår af Figur 5.7, så vil en reduction af prisen med 80% for hybrid systemet gøre dette sammenligneligt (i relation til udgifter) med systemer, der benytter lineære fluorescerende lyskilder. Ved

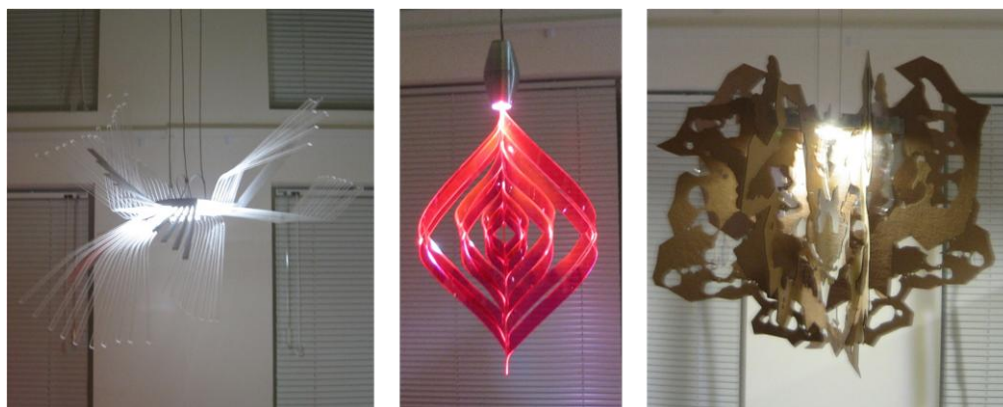
afslutningen af systemernes livscyklus, vil dette repræsentere den samme samlede udgift, men en besparelse på **59% CO<sub>2</sub>** - se tabel 5.4.

<b>Total un-discounted cost over life cycle</b>	<b>-338225DKR</b>	<b>-434463 DKR</b>	<b>-281162 DKR</b>
<b>NPV at end of life</b>	-232708	-352201	-234932
<b>Total energy use over life cycle</b>	84100kWh	53550kWh	34275kWh
<b>Total CO2 emissions over life cycle</b>	68,121t CO2	43,376t CO2	27,763t CO2

**Tabel 5.4:** Total omkostning over hele livscyklussen i scenarie 3.

En reduktion af prisen af det hybride system med 80% er ikke urealistisk. For eksempel peger LED roadmaps på at en mulig reduktion på 99% af LEDernes introduktionspris. (OptoIQ, 2003).

I relation til dette projekt finansieret af Elforsk, har vi designet adskillige lamper med fokus på anvendelse af materialer, der kan genbruges. Dette projekt har vist, at når dette kriterier er i fokus, så kan materialeudgifterne reduceres betragteligt uden at den æstetiske side af produkt-servicen formindskes.



## 5.4 Sammenfatning

Potentialet i forbindelse med at gøre hybride belysningsystemer mere attractive for forbrugerne ligger i at identificere metoder til at reducere prisen på materialer og system, samt ved at udvikle systemer, der er enklere og dermed mere økonomiske at installere. Der skal her sættes en særlig fokus på udviklingen af solindfangningsdelen, hvor det vil være en meget stor fordel at mindske brugen af kompliceret styreelektronik, der endda kan reducere den samlede levetid for systemer, ved at indeholde flere skrøbelige elementer. Tænker vi atter på systemet som et hele, så vil en simplifikation af installationsprocessen kunne opnås gennem metoder til at reducere antallet af optiske fibre, ligesom dette også vil reducere materialeforbrug og systempris. Med hensyn til luminaire delen, så vil det være nødvendigt at redesigne disse med sigte på at den samlede systempris kan begrænses og være attraktiv for forbrugeren.



## 6 Installations vurdering

I vores projekt havde vi lejligheden til, at montere og opstille belysningssystemet på RUC i Roskilde dels i forbindelse med formidling af projektets resultater ved den internationale Sunrise konference og dels for at teste systemet hos kontorbrugere på Universitet. Dette montagearbejde blev lavet af IBSEN El-Installatør. Hans vurdering tages her i betragtning for at undersøge potentialer og begrænsningerne med hensyn til installation af systemet, idet dette er en meget vigtig element i relation til system implementering og udbredelse af teknologien.

IBSEN El -installatør monterede og opstillede anlægget, der er baseret på det svenske Parens kollektor system, og dermed et tagmonteret panel, der selv "tracker" mod solen for at opnå størst mulig virkningsgrad. Vurderingen af installationsprocessen er som følger:

Installationsmæssigt byder hybrid systemet på visse udfordringer i forhold til et konventionelt belysningsanlæg. Disse forhold er oplyst i vilkårlig rækkefølge i det følgende:

1. Der skal etableres føringsveje fra rummene, der skal belyses til det tagmonterede system og denne føringsvej skal være af en anselig dimension.
2. Det er alligevel nødvendigt at udføre komplet el-installation for at kunne opretholde lysniveau ved skyet vejr og efter mørkets frembrud
3. Bøjningsradius på fiberkabler er pladskrævende, da tabet vil blive for stort hvis en minimum bøjningsradius overskrides.
4. Det er nødvendigt at gennembryde klimaskærm/tagflade med risiko for vand/fugtindtrængen til fiberledere.
5. Anlægget vil efter min opfattelse ikke kunne udbredes i den private boligmasse, da det er sjældent, at der anvendes kunstigt lys i dagtimerne
6. Derimod vil der være optimal til gange, steder på arbejdspladser hvor vinduerne ikke er tilgængelige, toiletter hvor lyset er tændt hele tiden, selvom der ikke er nogle brugere, kældere på offentlige institutioner , trapper, etc.

### 6.1 Fordele

Fordele ved anlægget er:

1. "gratis" belysning i alle dagtimer
2. minimal varmeafgivelse ved kombinationen af Hybrid fiber/LED

## 6.2 Forslag

Forslag til forbedringer:

1. Det ville være optimalt, hvis en centralt placeret lyskilde kunne overtage i forbindelse med at kollektoren på taget ikke ydede nok, dette ville kræve et tabs frit "Y-led" på fiberdelen, derefter kunne anlægget installeres af alle (ikke autorisationspligtigt)
2. Et planforsænket armatur til gangarealer, da det efter vores opfattelse især være her, at der ville kunne høstes fordele af teknologien, da forbindels gange og fællesarealer i virksomheder ofte er placeret midt i bygninger uden dagslysindfald.
3. Anlægget bør styres over en i hvert rum central lux sensor, der supplerer lyset til det lovbefalede niveau, hvis solindfaldet "dykker" eller helt forsvinder

## 6.3 Sammenfatning

Anlægget vil i sin nuværende form mest kunne betragtes som en del af en bygnings arkitektur og en evt. grøn profil i en bygning/virksomhed.

Vi er dog overbeviste om, at hvis teknologien simplificeres og dermed billiggøres (især gældende for det komplicerede kollektorsystem) så vil systemet kunne udbredes i kontorer i virksomheder, institutioner, skoler mv .

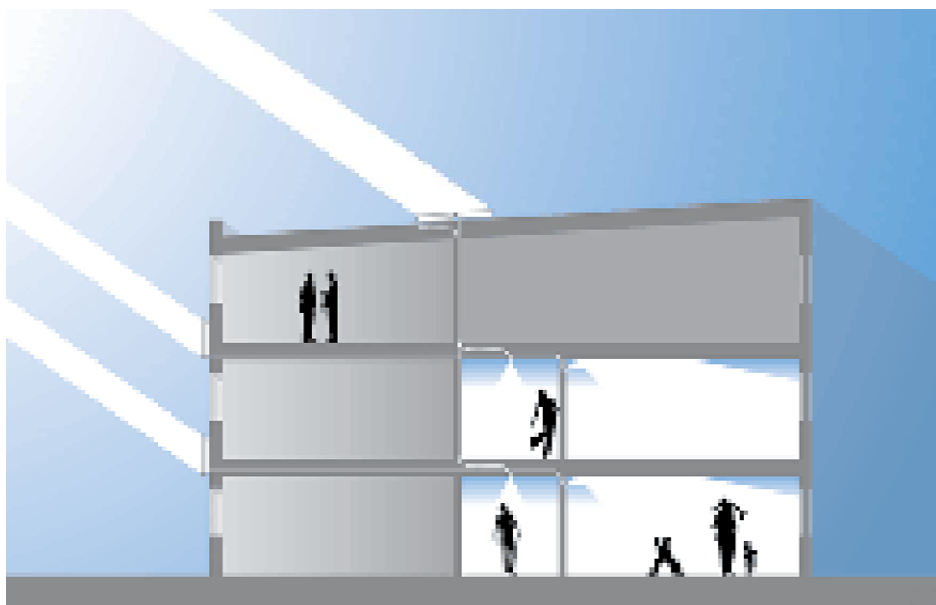
# 7 Design vurdering

---

## 7.1 Installation af solar optisk system på Designskolen Kolding:

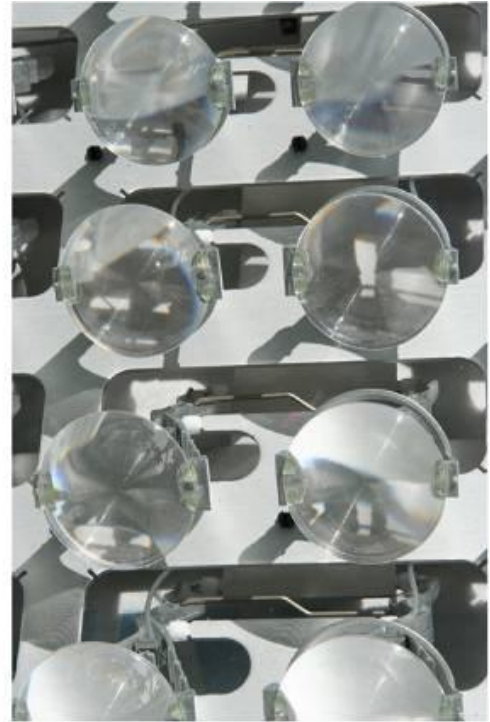
Da Parans solar optisk systemet ankom til Designskolen Kolding, var den største udfordring at finde en placering til den. Vores første tanke var at stille den på en vogn, så vi kunne have en form for mobilitet, men det var ikke muligt at finde en optimalt placering, hvor systemets linser både kunne fange solen og lede lyset ind på skolen gennem de kun 20 meter lange lysledere.

Løsningen blev en placering på taget af Designskolen. Solar optik systemet var for stort til loftslemmen og måtte i stedet op ved hjælp af en lift. Vi borede et hul i taget og førte lyslederne ned gennem en elevatorskakt. For at enderne af de 20 meter lange lysledere kunne nå ud, hvor lyset skulle demonstreres, førte vi en kabelbakke tværs hen over rummet. Et af problemerne under monteringen var, at fibrene ikke måtte bøjes, hvis lystransporten skulle fungere optimalt. Da der ikke var et eludtag til systemets styring på taget, var det lettest at forlænge elledningen til 20 meter, så den også kunne tilsluttes i det rum, hvor lyslederne kom ud af elevatorskakten.



**Figur 7.1:** Parans solar optiske belysning system med optiske fibre. Kilde: <http://www.parans.com/>

Parans systemet har monteret i alt 64 lysledere. De er delt i portioner af 16 styk. Til demonstration og tests, fremstillede vi et simpelt armatur som benytter de tre af lyslederbundterne og anvender den fjerde lys leder, til at belyse en installation af reflekterende materialer, hængt op i en uro, der bevæger sig i luftstrømmen i rummet.



**Figur 7.2:** Montage af Parans systemet på Designskolen Kolding

Vi har, i dette første prøvearmatur, ladet de tre lyslederbundter (med hver 16 fibre i) gå ind i hver sin sandblæste akrylkegle, som vist i figurerne 7.3, 7.4 og 7.5



**Figurer 7.3, 7.4 og 7.5:** første prøvearmaturer

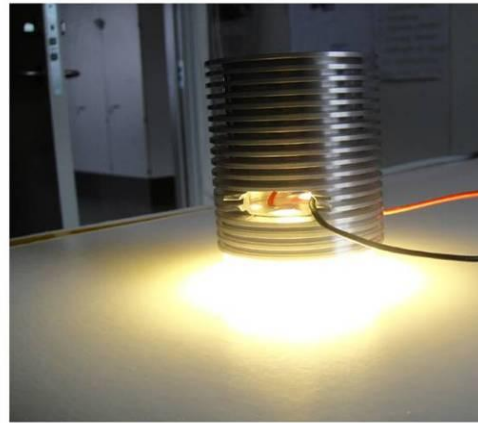
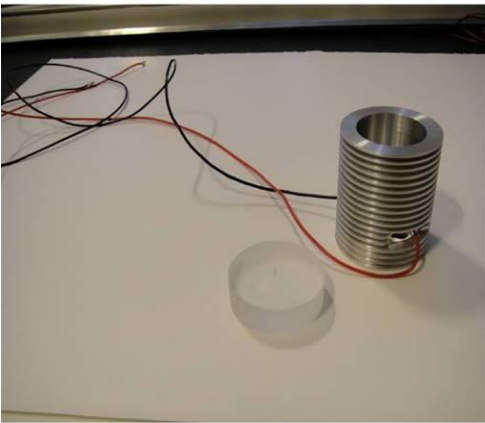
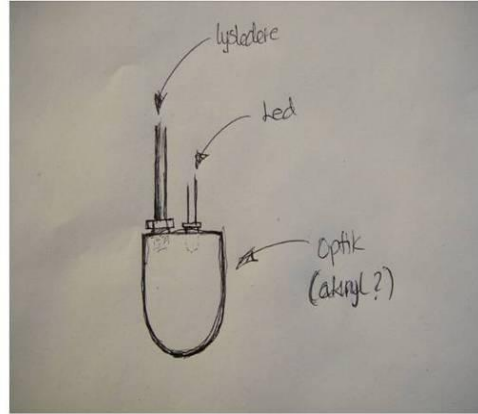
Opstillingen var monteret gennem vinteren 2009/10. Der var til tider en euforisk stemning, når sollyset strømmede ud af armaturet - "se nu skinner solen". Men vi undrede os også ofte over, hvor sjældent der kom lys ud af armaturet *i vinterens løb*.

De primære grunde til, at der ikke kom lys ud af armaturet var

- At der ikke var sol på systemet.
- At systemet var helt eller delvist til sneet (sol kollektor står dog i en opretstående vinkel, der besværliggør tilsnening).
- At systemets linser frøs fast (vi konstaterede mindst et tilfælde).

## 7.2 Udviklingen af Hybrid Systemet

I løbet af projektperioden er der fremstillet to forskellige hybrid armaturer, der virker efter samme princip. Princippet er, at lyslederne fra heliostaten er ført ind til en, på ydersiden matteret, optik af akryl. Ved siden af lysledernes ender sidder LED lyskilden og en sensor, der registrerer, hvornår solen skinner. Når solens lys reduceres i styrke, tænder den, gradvist op for LED lyskilden/lyskilderne. Tanken er at optikken skal fordele lyset, og samtidig forhindre, at det kan ses, når lyskilden skifter fra sol til LED. Normalt ses det på skygger, når en lyskilde skifter position (eks. skyggen fra en hånd på en bordplade vil flytte sig, hvis LED og lysleder sidder for langt fra hinanden, når LED lyskilden tænder og lyslederen slukker). Det er lykkedes at løse hybridproblematikken og udvikle et system, der fungerer tilfredsstillende og brugbart.

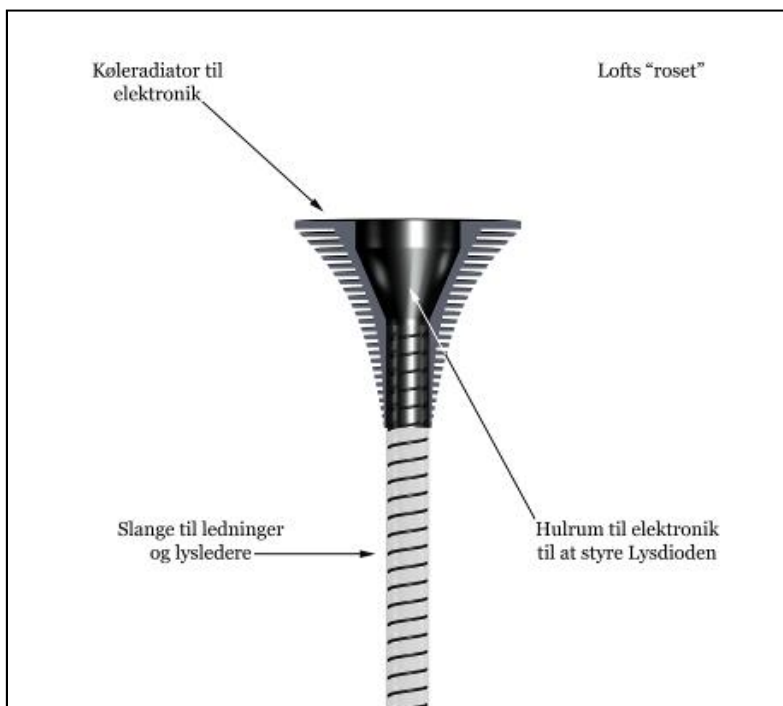


**Figur 7.6:** Design af en hybrid pære

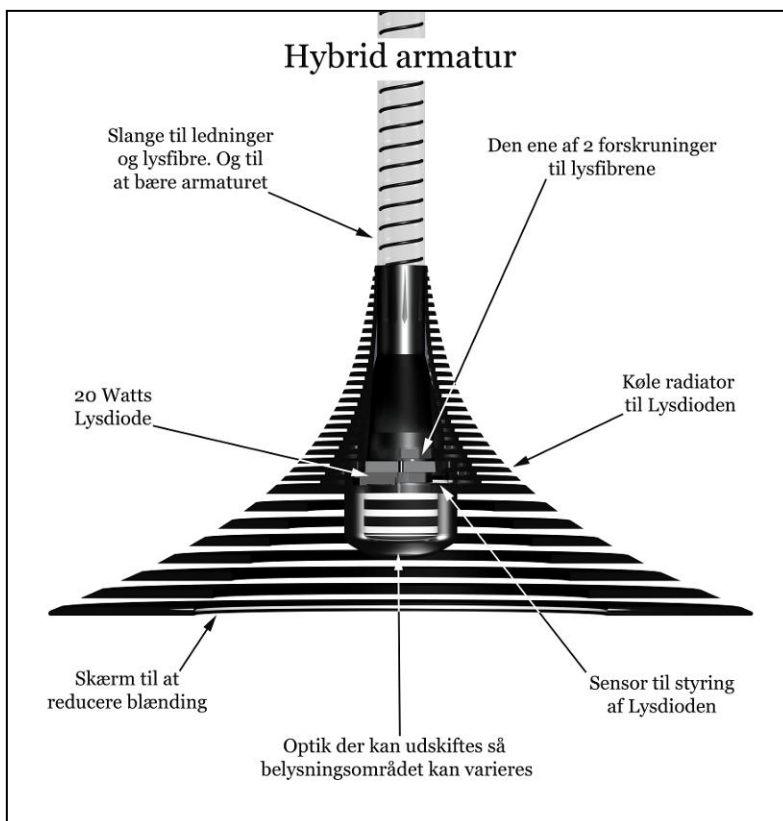
### 7.3 Designudvikling af hybrid armaturer

Begge armaturer kan anvendes til arbejdsbelysning, efter videreudvikling og optimering.

Det ene armatur er beregnet til at lyse, som det er konstrueret, nemlig som en hængelampe som vist i Figurerne 7.7 og 7.8



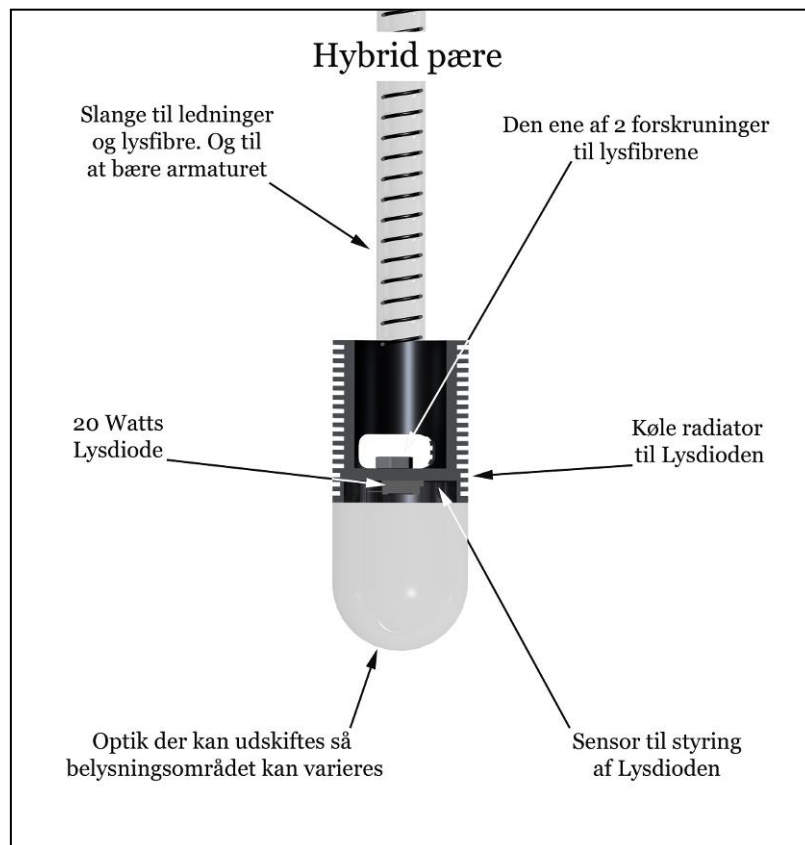
**Figur 7.7:** Hængelampe



**Figur 7.8:** Hængelampe



Det andet er konstrueret til at erstatte en elpære og derved kunne gøre eksempelvis en PH lampe til et hybridarmatur, se figur 7.9



**Figur 7.9:** Hybrid pære

Begge armaturer kræver, at luft kan strømme forbi. LED lyskilderne skal køles, derfor er en køleradiator en del af konstruktionerne.

Formgivningsmæssigt påvirkes armaturerne af den påkrævede køleradiators udformning og dimensionering.

Til hængelampen er fremstillet en skærm, hvor radiatorens ribbestruktur er brugt som inspiration, skærmen har til formål at reducere blænding fra optikken men samtidigt sprede lyset i rummet i alle retninger, dog med arbejdsområdet som det primære. Optikken kan udskiftes for at ændre lysstyrken/ arbejdsområdets størrelse.

Denne skærm kan også fremstilles i en glat og måske billigere version.

I loftsrosetten, som er formgivet med ribbestruktur, er elektronikken til lysstyringen placeret.



Radiatoren nede ved lyskilden kan blive mere end håndvarm (afhængigt af hvor meget lys, man vil have ud af en LED), derfor er elektronikken placeret for sig selv med sin egen køleradiator i loftsrosetten og påvirkes derved ikke af varmen fra LED lyskilden.

Den nødvendige ribbekonstruktion har ikke den store, visuelle betydning for sidstnævnte armatur, der kan anvendes i stedet for én elpære, da den jo ikke ses fuldstændigt i de fleste lampe konstruktioner, hvor der er taget højde for, at der ikke må forekomme blænding.

## 7.4 Designudviklingsforløb med udgangspunkt i hybrid fiber lys teknologien

I et undervisningsforløb på Institut for Produkt, har 3. års studerende fremstillet et antal armaturer, hvor kombinationen lysledere og LED er brugt som lyskilde i samme armatur. De studerende blev introduceret til et livs cyklus perspektiv med hensyn til de nyeste teknologier indenfor belysningssektor. Som en del af undervisningsforløbet blev de studerende introduceret til projektets hovedelementer via vores samarbejdspartnere fra henholdsvis RUC og DTU. Den stillede opgave var at designe en lampe, som kunne anvendes som arbejds-belysning men også åbnede muligheder for, at de studerende kunne udfolde deres kreativitet.

Fra dette kunne vi observere to vigtige resultater. På den ene side kunne vi konstatere, at studerende så potentialet i hybrid belysnings teknologien til det primære formål, at påvirke beskueren terapeutisk eller at give en æstetisk visuel, oplevelse. På den anden side har vi konstateret, at lys intensitet og lysfordelingen er meget forskellig afhængigt af det formål .armaturerne er designede til. En god belysning til hjemme forbrug lyser ikke nok, når det drejer sig om arbejdsbelysning. Og omvendt, en god arbejdslampe kan ikke altid virke behagelig nok til at være anvendt derhjemme.

Med hensyn til elektronik var det nødvendigt at arbejde med en sensor og elektronik, således at når solen går ned i lysstyrke om aftenen eller på grund af skyer, så vil LED lyskilden kunne "tage over", uden at man kunne se en forskel eller flakken i lyset. Dette var i sig selv en stor udfordring for os, men de lykkedes til sidst, selvom vi kunne gøre os flere erfaringer med det for at gøre overgangen mere optimal og helt eliminere farveskift ved overgang fra sollys til kunstlys.



**Figur 7.10:** Armaturer udviklet af Ann Sloth, Carl Emil Jakobsen, Anne Danielsen, Nina Guldager Larsen, Troels Christian Hansen.

Gennem arbejdet og udviklingen af dette projekt er der opstået mange spørgsmål. Vi har løst mange, men der opstår tilsvarende nye og interessante problemstillinger.

### **Montering og installation af solar optiske fibre system:**

Man skal gøre det lettere at transportere en solar optisk kollektor op på et byggeri, hvor adgangsvejen normalt kun er beregnet til en menneskekrop. Som det er i dag, skal man medregne kranomkostninger i monteringsfasen.

Det skal være nemmere at føre lyslederne gennem etagebyggeri. Der er forskellige muligheder; for eksempel udenpå, langs faldstammer, i luftkanaler, eller gennem borede huller i byggeriet. En god vejledning kunne gøre det nemmere

Mange ledninger kan virke uæstetisk, når man føre lyslederne til et lampested, for eksempel midt i loftet. Med mindre der er et loft, der i er undersænket. Det sker i en etage, der ikke ligger direkte under den etage, hvor sol kollektoren er monteret.

I nogle tilfælde kunne det være praktisk at afkorte lyslederne. Hvordan kan man gøre det muligt at afkorte lyslederne, så de lyser lige så godt, som de gør, når de kommer fra fabrikken, hvor de er slebet og monteret med et lille glas legeme i enderne?

Hvad sker der, hvis man ikke afkorter lyslederne til samme længde, f.eks. i en konstruktion hvor der er 2 lamper tilsluttet et optisk belysningsystem med dens 4 lysledere? Vil det påvirke lysets farve i de enkelte lysledere?

### **Belysningsområde:**

Med hensyn til at belyse et bestemt område havde vi følgende spørgsmål:

Hvis man skal følge gældende standarder for belysningsstyrke, hvilken størrelse af system var da tilstrækkelig?

Hvilken rumstørrelse, var det optimale at dimensionere designet efter? Eller hvor mange lux kommer ud af systemet, og hvor meget areal kunne sådan et system levere?

Med en forholdsvis begrænset lys mængde, afhængig af systemstørrelse og fibrenes kvalitet, vil det da, være en fordel at kunne variere eller indstille optikken, så den kan belyse forskellige størrelser af flader.

### **Lysets kvalitet:**

Hvordan kunne man konstruere systemet, så farvetemperaturen er den samme, når det er solen, der skinner gennem fibrene, og når det er LED, der lyser (når det er mørkt eller overskyet udenfor og LED lyskilderne tager over). Skulle det være det samme, eller måske var variationer ok?

Hvilke typer LED var økonomisk optimale for et armatur, der skal kunne markedsføres?

Hvordan forsikrer man de optimale konditioner, hvad angår LEDs levetid?

Hvordan finder vi frem til, hvilken farvetemperatur der er den optimale i forhold til det, der kommer ud af lyslederne? Hvilke lysledere skal vi bruge, for at farvetemperatur og lys gennemstrømning kontra lyslederens længde er optimal?

#### **Formgivning:**

Armaturet kan formgives med aktiv eller passiv køling. Ved aktiv køling skal der bruges energi på en elektrisk ventilator, og der er risiko for støj fra denne. Men kølefladen kan reduceres.

Ved passiv køling er man afhængig af at lave en radiator eller flade, der er stor nok til at køle LED lyskilden. I mange tilfælde kan man ikke finde information om, hvor stor denne flade skal være. Det er primært de store kendte mærker, der har denne information til rådighed (Luxeon – Osram mfl. )

Spørgsmålet om kølefladens størrelse er af altafgørende betydning for LED lyskildens levetid og den lysmængde, den udstråler, da LEDen er den eneste lyskilde i verden, der lyser mindre, jo varmere den bliver. Man ser det også tydeligt på farvetemperaturen eller lysfarven, der bliver mere blålig, hvis LED lyskilden bliver overophedet.

## **7.5 Design applikationers muligheder**

### **7.5.1 Fra optiske fibre til lysende udsmykning**

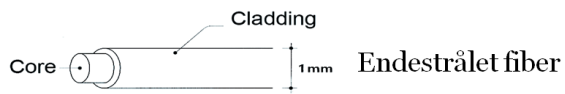
Dette afsnit viser nogle af de applikationer som kunne konstrueres ved hjælp af tekstile teknikker. Designskolen Kolding bidrager med et designfagligt udviklingsarbejde, der fokuserer på undersøgelser og udformningen af de æstetiske potentialer i hybrid belysning. Den æstetiske oplevelse er vigtig i forhold til arkitektens, byherrens og brugerens oplevelse af teknologien.

Undersøgelsen af den æstetiske oplevelse af hybrid belysning vil derfor fokusere dels på lysets kvalitet og intensitet i løbet af dagen, dels omkring den fysiske udformning af de armaturer, der bringer lyset ind i rummet og integreres i indretningen. Dette kan f. eks også ske gennem anvendelse af optiske fibre i tekstile konstruktioner, både 2- og 3-dimensionelle.

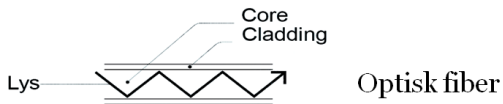
Oplægget er at "flytte solen ind" ved at udnytte de optiske fibres egenskaber til at transportere solens lys til enden af fiberen, hvor det udsendes. Her benyttes et såkaldt endestrålet fiber se Figur 7.11.

For tekstildesignere er fibre det primære arbejdsmateriale, og designeren er meget optaget af muligheden for at fremstille et produkt, hvori de optiske fibre optræder som selvstændigt lysende aktører, enten forarbejdede, så de danner en lysende flade eller i en tredimensionel form.

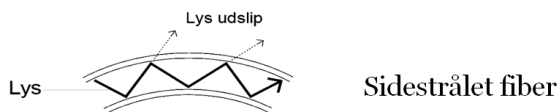
Der er behov for en fiber, hvor lyset også transmitteres ud gennem siderne i hele fiberens længde - en



sidestrålede fiber. Flertallet af de sidestrålede fibre, der findes i handlen, er fremstillet ved at sno fibre omkring hinanden. Snoningen bevirker, at lyset udsendes jævnt gennem hele længden. Snoningen fastholdes af en plasticke. Hvis hver enkelt fiber tages ud af plasticke opløses snoningen og sidelyset forsvinder.



Derfor har en stor del af dette projekt og de gennemførte undersøgelser koncentreret sig om at finde den teknik/proces, der kan gøre fibre sidestrålede.



**Figur 7.11** Fiber egenskaber

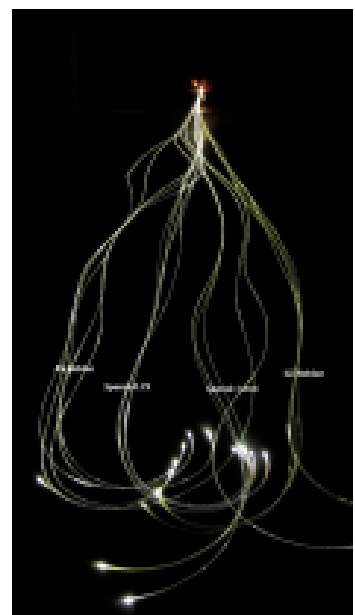
I udviklingsprocessen er der lagt vægt på, at tekstilerne udsender så meget lys som muligt, men de vil aldrig kunne betegnes som lamper. De skal snarere ses som lysende dekorative flader og former, der kan fremstå som en integreret del af et rums lysforhold. I kombination med kraftigere lyskilder kan de oplyse dunkle rum eller fungere som orienteringslys og æstetiske pejlemærker.

## 7.5.2. Proces

I det samlede designudviklingsforløb har vi været omkring:

1. Undersøgelser af fibre bearbejdet gennem tekstile teknikker
2. Teknikker med fokus på optimering af de optiske fibers sidestrålede evne
3. Udarbejdelse af de endelige produkter
4. Evaluering af de endelige produkter
5. Konklusion - Funktion og potentiale

Der er arbejdet med bøjelige endestrålede PMMA (PolyMethylMethAcrylate) fibre med en diameter på 0.75 mm. Glasfibre er fravalgt, fordi de er for sårbare til bearbejdning og derfor ikke optræder i dette projekt.



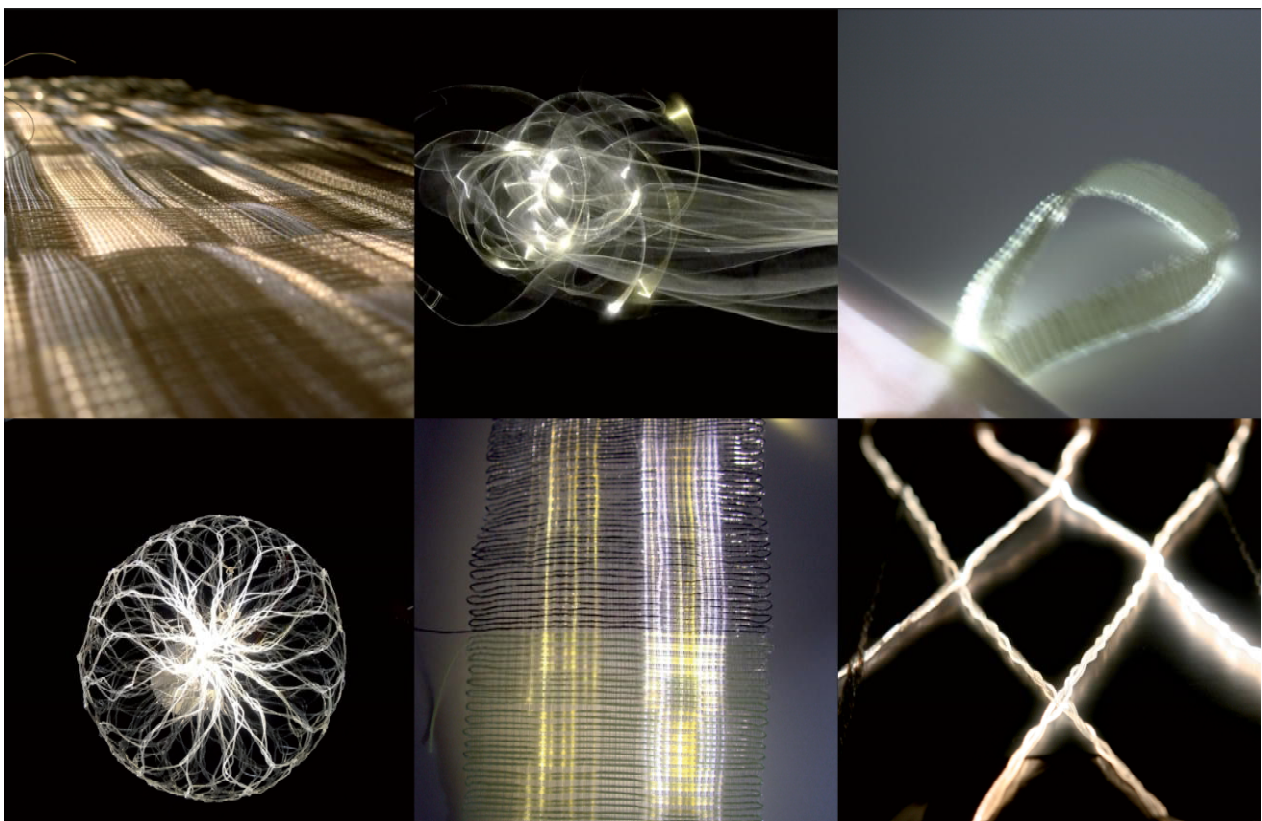
Der er eksperimenteret med fibre fra forskellige firmaer: Mikrostrukturerede fibre fra DTU, fibre fra Roblon a/s, Viborg Lysleder og det spanske firma Advanced Fiber Optics. Fibrene transporterede lyset uden synlig forskel. Den forskel der bemærkes i lysintensiteten, hænger sammen med den måde, lysgiveren sender lyset ind i fibrene på og ikke af produkternes evne til at udsende lyset.

Det er af stor vigtighed, at den optiske fibers endeflade står vinkelret på lysgiverens lysstråle for en optimal lysudsendelse.

Fibrene skal være skåret plane, limes med epoxy og slibes inden de monteres i lysgiveren.

Undersøgelsen af fibrenes muligheder viste hurtigt, at bøjes fiberen for brat, vil alt lyset kun udsendes fra dette ene punkt, og der vil ikke være lys tilbage i resten af fiberen. Dette faktum viste sig også at være problematisk ved transporten af lyset fra projektets Parans solar optiske system på taget ind i bygningen til de monterede armaturer.

Ved at arbejde med små kontrollerede bugtninger på fiberen, viste det sig, at det var muligt at beholde en vis lys intensitet gennem hele fiberens længde.



I de første prøver undersøgte velkendte tekstile teknikkers potentialer.

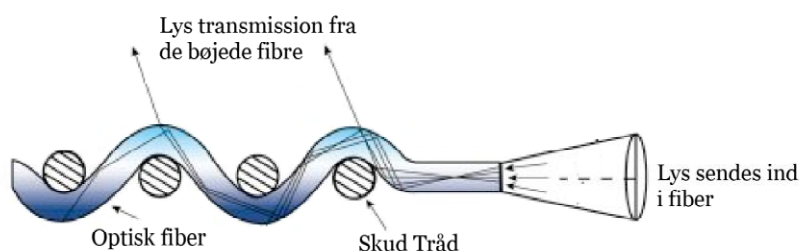
Der er udarbejdet forsøg i følgende teknikker: Broderi, strik, hækling, macremé, flette teknik og vævning. Men især flette- og væveteknikker viste sig at være udmærkede til at frembringe og fastholde de



eftertragtede små bugtninger. Disse to teknikker valgtes til de videre eksperimenter. Fletteteknik: I princippet snoes fibre omkring hinanden og fastholdes, når trådene skifter plads. Der opnås interessante forskelle i lys intensiteten. Knipling, en mere avanceret fletteteknik, giver en mere nuanceret mønsterdannelse.

**Vævning:** Princippet i vævning er to tråd systemer, der går vinkelret på hinanden og danner en stabil flade. De benævnes henholdsvis kæde og skud. I eksperimenterne har vi undersøgt, hvordan lysfibre optræder, når de indsættes i henholdsvis den lodrette og tværgående retning.

Aktivering af lyset i fiberen kan afhænge af den måde, trådene krydser hinanden på (bindingen), men det har vist sig at tykkelsen og fastheden på den fiber, der krydser de optiske fibre, er den vigtigste faktor.



Fibren/tråden skal have en vis hårdhed og må gerne være rund. Med disse egenskaber kan den skabe og fastholde de eftertragtede lysende bugtninger.

## 7.5.2 Lysende vægpanel



Vægpanelet er 2,40 m x 0,53 m monteret i en træramme. Kæden (fibre i den længdegående retning) består af 16 monofil fibre og 4 lysfibre pr. cm - alle 4 meter lange.

Skuddet er skiftevis monofil og "Glow in the Dark" nr. 0,382 Hårdheden aktiverer fiberens lys, når den benyttes som skud (tværgående retning) i tekstilet.



Skudmaterialet er selvlysende, og aktiveres for en kort stund af lys fibreens eget lys, når det slukkes. Den tekstile konstruktion er en såkaldt dobbeltvæv. Den gør det muligt for lysfibre at skifte plads og bevæge

sig over, under og imellem grundtekstilets lag. Den partielle vævning skaber variation i overfladen og viser lysintensitetens forskellige udtryk i vævningens partier.

Panelets 200 optiske fibre belyses fra bunden af en kunstig lyskilde, i dette tilfælde en 100 watt lysgiver. Lyset er konstant.

Når solens lys hentes ind – her illustreret ved LED monteret øverst på panelet - er ideen, at fibre aktiveres i de forskellige partier af solens skiftende lysintensitet og tilstedeværelse, hvilket giver det færdige værk et dynamisk udtryk. Mønstret er konstrueret, så tekstilet er aktivt, foranderligt og kan fortælle historien om vejret udenfor.

### **Fibre gør det muligt at skabe 3-dimensionale objekter**

De optiske fibre er knipt i en fast cirkel, som senere er foldet rundt om sig selv. Fibrene udsender lyset fra de punkter, hvor de flettes omkring hinanden. Foldningen af lampen aktiverer yderlige lyset, men der



sker desværre det, at en del af det forsvinder permanent, når lampen bøjes omkring sig selv. Fibrene belyses af en lysgiver, som kunne være styret af sollyset.

Billede til venstre viser den kniptede lampe

Resultatet af undersøgelserne har nogle gange været skuffende. Der skal sendes rigtig mange watt ind i de optiske fibre, før det afgiver synligt lys. Hvis panelet står i direkte dagslys ses

lyset slet ikke. Tekstilet udsender dog så mange lumen, at værket er synligt i områder oplyst af kunstlys og selvfølgelig opleves det helt optimalt i mørke omgivelser.

Med designet af det lysende panel, har vi i dette projekt haft de mange mørke vinduesløse gange i tankerne. Selv med maksimum sollys udenfor tændes lyset i disse gange, hvor vi kun bevæger os i korte øjeblikke, inden vi forsvinder ind på vore kontorer eller går til mødelokaler. Med et lysende tekstil monteret på væggen - gerne en endevæg - udsendes en slags orienteringslys, som ikke alene opfylder sin funktionen som guide men også giver en æstetisk oplevelse i form af et dynamiske/vekslende værk, der reflekterer sollysets tilstedeværelse og intensitet udenfor.



## Sammenfatning

### I relation til et hybrid system:

**Montering :** En simplificering af monteringsprocessen kunne reducere tid og forskellige problematikker, der rejses med sådan et komplekst system. Test af systemet hjalp os alligevel med at forstå det bedre. Med denne viden kan vi simplificere systemet yderligere og lave nogle klare vejledninger af montering.

**Elektronik:** Der mangler mere viden om, hvordan man kan optimere sensorer og elektronik for at levere en service, der er mere behagelig, når der er et skift af lyskilde.

**Optik:** Der er stadig meget, vi skal prøve at teste for at få en optimal spredning af lyset til forskellige formål med hensyn til optikken i armaturet. Dette har specielt fokus på den specifikke problematik, der handler om to lyskilder (fibre og LED) med forskellige lyssprednings vinkler.

**Belysningsområde:** Der ønskes et system, hvor optikken kunne variere, så den kan belyse forskellige størrelser af flader.

**Lysets kvalitet:** At arbejde med to forskellige "lyskilder" gør designet af lyskvalitet mere komplekst, derfor kunne en store fordel være at have et system, der allerede kunne give muligheder for at sammensætte de to typer lys i et, og man kunne regulere lysintensitet, farve og temperatur efter behov eller formål.

**Formgivning:** Varme fra LEDer er en problematik, der kræver mere forbrug af metal eller andre overflader for at afgive den varme. Kunne man flytte denne varme til andre dele af systemet, hvor varme kunne være udnyttet til andre formål?

**Markedsføring:** Trods alle de spændende problematikker, kan vores studerende på ID og vi selv se mange andre designmuligheder end arbejdsbelysning, for eksempel: bolig, terapeutisk, kunstnerisk. Der kunne klare markeder udover kontorer som: kirke, skole, firma, sundhedssektor, museum, teater, etc.

### I relation til udnyttelse af optiske fibre som design materiale:

Dette projekt har identificeret spændende muligheder for at udnytte vævede lysledere i helt nye designmæssige sammenhænge, hvor sidelysende fibre ganske vist ikke vil udgøre den primære lyskilde i f.eks. kontormiljøer, men hvor der kan skabes æstetisk smukke løsninger som dekorations- og ledelys f.eks. i indre gangarealer. Der er stadig mange flere forsøg at gøre i forhold til en optimering af den "lysende udsmykning". En måde kunne være at udnytte det endestrålede lys som en del af værkets kompositionen. Der findes andre interessante metoder til at gøre fibrene sidestrålede, som kan udvikles gennem yderligere eksperimenter med materialet.

# 8 Forbrugs undersøgelse

---

Vores hovedspørgsmål til dette kapitel er om hybrid belysning systemet udviklet til dette projekt kan levere det belysningsniveau, som er det forventede for kontorbrugerne.

Selvom der ikke er universale regler om hvad lyskvalitet er, har vi tidligere snakket om, at det er de subjektive elementer, der bestemmer om brugerne vil modtage en ny service eller en ny teknologi. Dette kaldte vi positioneringsegenskaber. Dette er vigtigt fordi, selvom at der er teknologier som har stort potentiale for at opnå en gigantisk el-besparelse, så ved vi, at hvis teknologien ikke købes fordi den ikke opfylder forbrugers kvalitets krav, så vil dette potentiale de ikke blive implementeret.

For at skræddersy løsninger, der svarer til forbrugernes krav til belysning i handel & service sektoren, så valgte vi at lave 10 kvalitative interviews med henblik på at identificere hvilken krav der var hos kontorbrugerne. Derefter designede vi en kvantitativ test til at vurdere, hvordan vores hybrid system svarede præcis til denne bestemte sektors serviceniveau (se bilag 1).

## **Kvalitativ undersøgelse:**

Inden for denne sektor er der relevant, at man kan udføre arbejdsopgaver som at læse, at skrive, at læse/skrive på computer, og at man holder møder. Vi interviewede 10 personer som arbejder i Roskilde Universitet (Roskilde, Denmark). De interviewede personer var sekretærer, PhD studerende, forskningsstab. Interviewet blev lavet på brugerens egne kontorer og mellem kl. 10.00 – 15.00, mellem den 12.- 15. april 2010. Vi besøgte dem uden forvarsel midt i deres arbejdsopgaver. Dette gav os en bedre ide om, hvordan man faktisk bruger belysnings servicen før man bevist har mulighed til at reflektere over dette. Vi brugte åbne spørgsmål for at finde de udsagn, som kunne bruges som vigtige variable med hensyn til at definere belysningskvaliteten til arbejdsformål.

Interviewede personer var:

- 2 teknikere (en kvindelig sekretær og en IT administrator, 32 år gammel og 60 år gammel)
- 8 forskningsstab (4 kvinder og 4 mand, og aldersgruppen var mellem 30 til 60 år gammel)

De hovedstrukturerende spørgsmål var:

- Hvad synes du en god kvalitetsbelysning er på dit arbejde, når du udfører dit job?
- Hvad betragter du som en god belysning, når du skal skrive/læse fra et notat eller en bog?
- Hvad betragter du som en god belysning, når du skal skrive/læse fra en computer?
- Hvad betragter du som en god belysning, når du skal holde et møde?

Transskriptioner af interviews kan man se i bilag 1

### **Kvantitativ undersøgelse**

Vores projektpartner, IBSEN El-installatør, monterede systemet på bygning 01.0 i Roskilde Universitet for at teste vores hybrid belysning system. Testpersonerne blev valgt vilkårligt fra forbipasserende af systemets udstillingsrum. Til denne del af undersøgelsen fik vi 32 frivillige testpersoner, som hver svarede på et spørgeskema. Interviewerne blev lavet i perioden fra den 28. april til den 4. maj, 2010.

I alt fik vi 42 deltagende til vores brugsundersøgelse.

### **8.1 Hovedresultater fra den kvalitative undersøgelse:**

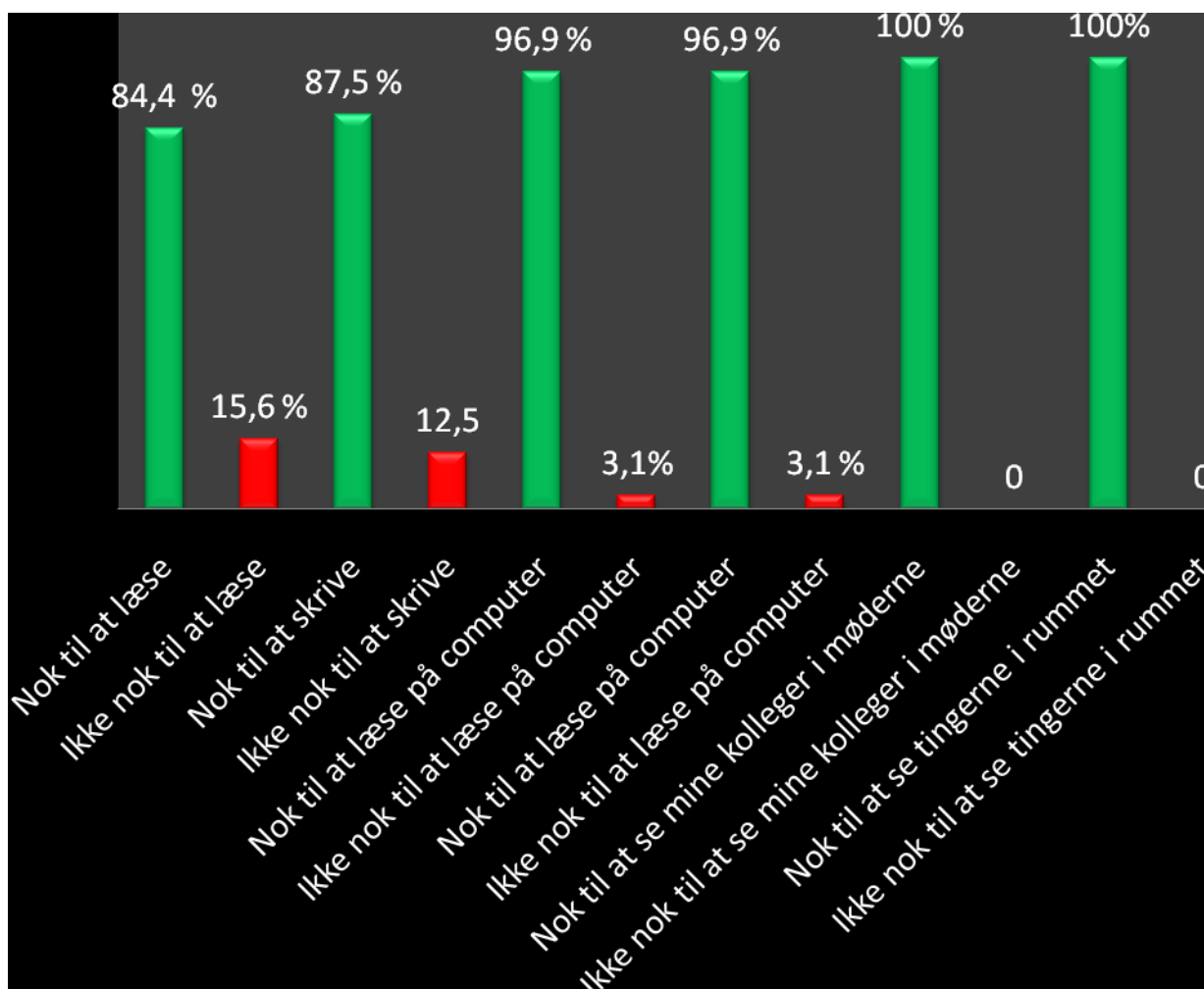
De fleste af de interviewede udtalte, at de aldrig havde tænkt på de stillede spørgsmål før. Alligevel, udtrykte de, at man forventer en større intensitet end den man plejer at have derhjemme. De 10 respondenter udtrykte præference for dagslys lignede lys, men ikke direkte lys. Det vil sige: den slags lys som man kan få ca. midt på dagen men i skygge. Dette er imod den konventionelle ide om, at lys skal være indenfor det varme spektrum, gerne med gul farve. Lyset skulle være lige så tæt på det naturlige som muligt. Derfor skulle lys ikke være søvndyssende. Det viste sig faktisk at mange af de fleste interviewede gerne vil have så meget dagslys som muligt, men selvom der er variationer slukker de aldrig det kunstige lys. Årsagerne til dette er variable; en af de mest udtalt er, at hvis man slukker for lyset så indikerer man, at man ikke er på arbejde. De andet er, at man glemmer det. Hvis der er for meget lys lukker brugerne persienner eller gardinerne, men man slukker "aldrig" for kunstigt lys. Det er vigtigt for brugerne at have mulighed for at variere dagslysets styrke (intensitet) og retning, og derfor lukker man for gardinerne, hvis lyset kommer i den forkerte retning. Lyset skal gerne komme ovenfra og ikke give skygger eller refleksioner. Udover at konstatere at mulighed for at udføre arbejdsopgaver, var det vigtigt:

- At have variationer
- At lyset ikke blænder
- At have et behageligt lys
- At lyset ser naturligt ud
- At bruge dagslys
- At have en passende lys fordeling.

### **8.2 Hovedresultater fra de kvantitative interviews**

Kvalitet til at udføre arbejdsopgaver:

Ud fra figuren 8.1 kan vi konkludere at selvom 84 til 87% af brugerne syntes at systemet leverede det nødvendige lys intensitets niveau stadig 12- 15 % af dem synes ikke at lys intensitet var nok.



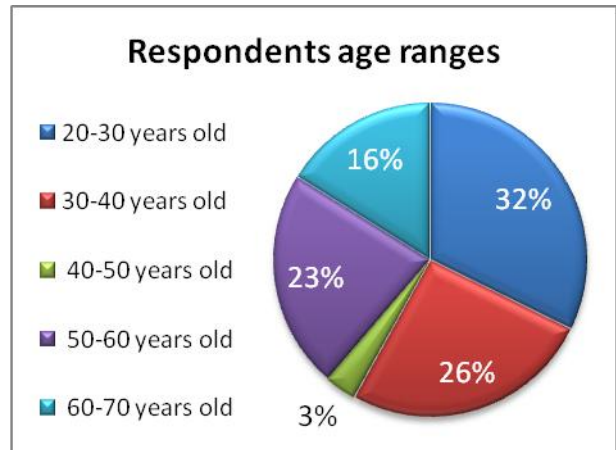
**Figure 8.1:** Lys kvalitet til at udføre arbejdsudgaver

Grunden til at det var nogle forbrugere, som ikke var tilfredse med den givne intensitet kan være at lys intensitet er aldersbestemt. Som man kan se i Tabellen 8.1 så kunne 2 ud af 20 brugere mellem 20-40 år ikke læse, mens 3 ud af 13 bruger mellem 41-70 år ikke kunne læse.

Age of respondents	The light is enough to read		
	Yes	No	Total
20-30 years old	9	1	10
30-40 years old	8	1	9
40-50 years old	0	1	1
50-60 years old	7	1	8
60-70 years old	3	1	4
Total	27	5	32

**Table 8.1:** Brugernes evne til at læse med et hybrid belysningsystem

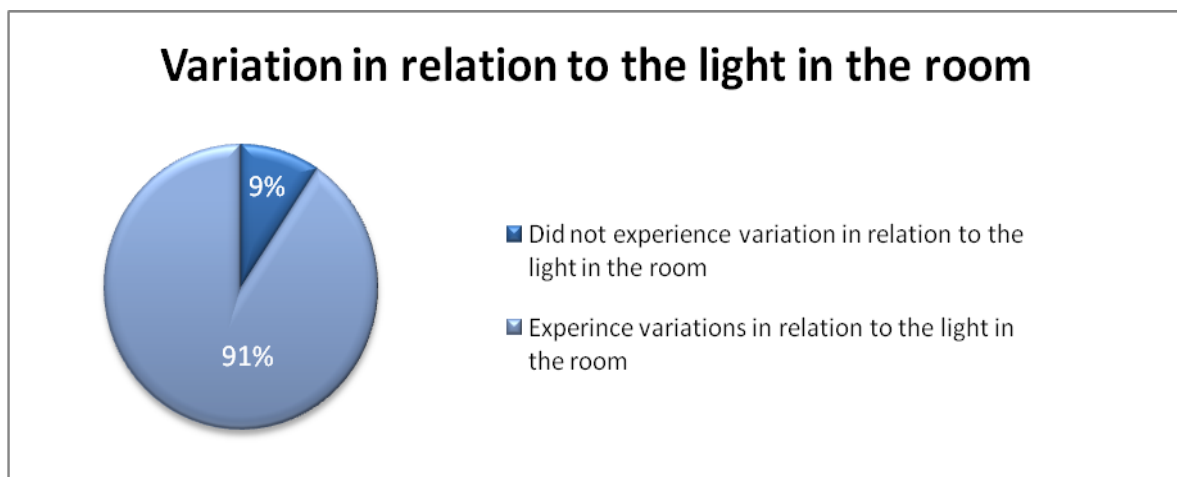
I Figuren 8.2 kan man se aldersfordeling. Selvom den største gruppe er fra 20-40 år gammel er der relativt flere fra den ældre gruppe, som ikke kan udføre læse/skrive opgaver.



**Figur 8.2:** Gruppens aldersfordeling

### 8.2.1 Lysets dynamik

Fordi vi har et system som både integrerer dagslys og kunstig lys har vi spurgt om man kunne lide lys variationer. Man skal huske, at vi designede vores system sådan at når solen var væk så kunne det elektriske system tage over. Vi skal også gøre opmærksom på, at vores designere brugte nogle af de mest moderne LEDer med "varmt lys" der findes på marked. Således fandt vi, at 91 % af vores test personer kunne opleve lys variationer men 9 % ikke kunne lide disse - se Figur 8.3. Dette var i sig selv ikke nogen overraskelse, fordi lysets farve fra fibrene og LEDerne er meget forskelligt. Vi fik den ide fra vores kvalitative interviews, at variationer var vigtige, og derfor var de følgende spørgsmål meget relevante. Kan forbrugerne lide eller ikke lide disse variationer?



**Figur 8.3:** Variationer med hensyn til lys i rummet

Til vores overraskelse kunne forbrugerne lide lys dynamikken fra vores hybrid system. Ud fra vores forbrugerundersøgelse kunne vi konstatere, at

- Variationer syntes naturlige
- Variationer følte behagelige
- Variationer indikerede dagslys forbrug (grønt forbrug) - se Tabellen 8.2.

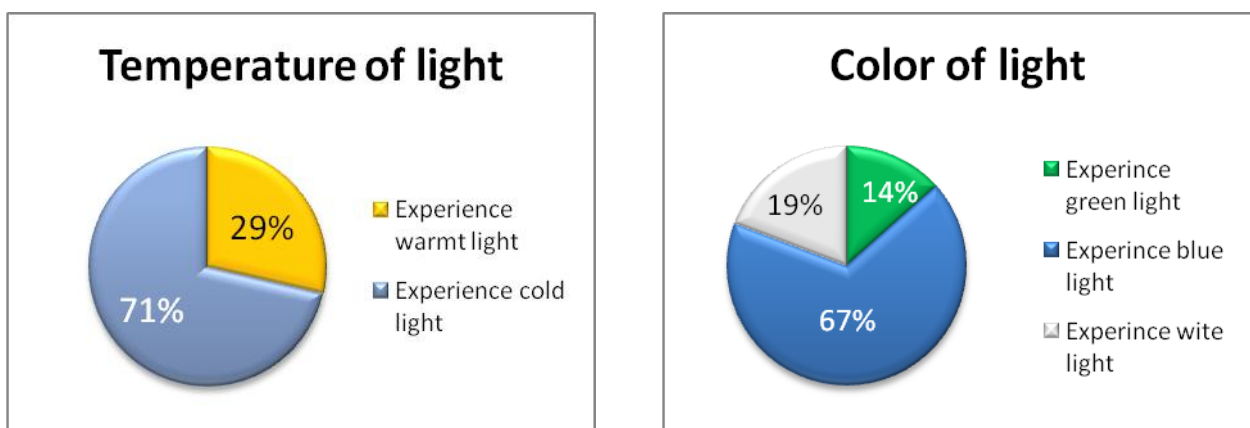
Age of respondents	Did you like light dynamics						Total
	No, unpleasant	No, ugly	No, unusual	Yes, natural	Yes, pleasant	Yes, indicates day light	
20 - 30 years old	0	0	1	1	4,5	2,5	9
30- 40 years old	1		0,5	2	2,5	2	8
40 - 50 years old	0	0	0	1	0	1	2
50 - 60 years old	0	2	0	1	1	3	7
60 - 70 years old	0	0	1	1	0	3	5
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>11,5</b>	<b>31</b>

**Tabel 8.2:** Lys dynamik accept i relation til alder. En af respondenterne besvarede ikke dette spørgsmål. Når en respondent markerede mere end et svar så opdelte vi svaret i tilsvarende store brøkdeler af værdien.

### 8.2.2 Lys temperatur, lys farve og andre lys kvalitet parametre

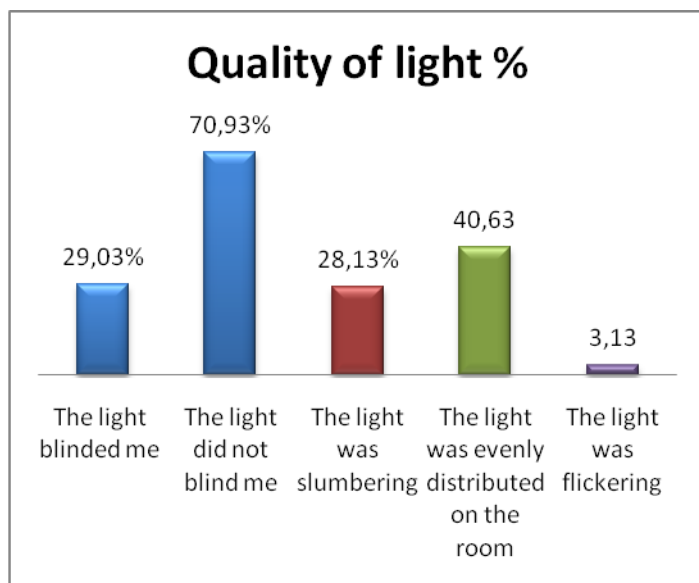
Man må understrege, at forbrugerne kunne lide lysets dynamik på trods af, at de syntes at lysets farve var dominerende kold. Dette kunne skyldes, at de fleste af timerne, hvor det hybride system opererede, var med solskin og LEDerne var derfor ikke tændt, se Figur 8.4.

Vi spurgte forbrugerne om det kolde lys var blå, grønt eller hvid. Selvom vi havde målt at lyset fra fibrene var meget tæt på grøn farve, så var det faktisk kun 14 % af forbrugerne som kunne se dette - se Figur 8.4 til højre.



**Figur 8.4:** Lys temperatur (til venstre) og Farve (til højre) oplevet for vores testpersoner

### 8.2.3 Lys kvalitet med hensyn til lys fordeling



Lys fordelingen er af faktorene, som vi skal arbejde videre med for at man kan implementere denne teknologi. Ifølge vores analyse, så syntes 30 % af brugerne at lyset blændede dem. Dette skyldes dels af lamperne, som blev udstillet, var designet af studerende som havde kun 5 ugers kursus og dels fordi selvom vi havde bedt dem at lave lamperne til kontorforbrug, så insisterede de studerende på at lave lamperne, som kunne bruges der hjemme.

**Figuren8.5:** Lyskvalitet

Kun en af lamperne var designet som kontor lampe, se Billede 8.6. Den korte varighed af kurset gjorde på samme tidspunkt, at lamperne kun var lavet som prototype. Det vil sige kun for at give en ide om former og materialer osv. Den korte varighed af kurset resulterede i at lamperne ikke var så robuste, som en kommerciel udgave kunne have været. Dette medførte at nogle af lampernes elektriske egenskaber hurtigt gik i stykker efter brugerne havde rørt ved dem. Så da solen ikke var tilstede var lyset ikke tændt i alle lamperne. Dette kunne have været årsagen til, at brugeren syntes at lyset ikke altid var fordelt lige i hele rummet. Som vist i Figur 8.5. Kun 40 % syntes at lyset var god fordelt i rummet.



**Figur 8.6:** Hybrid kontor lampe

### 8.2.4 Påvirkning af armatur design med hensyn til belysnings accept

Formål med dette spørgsmål var at undersøge til hvilken grad armatur design påvirker belysningsystemets forbrugeraccept. Det vil sige, hvordan de æstetiske aspekter påvirkede forbrugernes præference. Denne information blev korreleret med de besvarende aldersgruppe. Som man kan se i tabel 8.3, så er armatur

design mellem de vigtige eller de vigtigste faktorer for kvinder mens for mandsgruppen er det kun et "vigtigt" element.

Gender	How much does the lamp design influence the user?				Total
	0 - 25%	25 - 50%	50 - 75%	75 - 100%	
Female	3	1	3	5	12
Male	2	3	11	3	19
Total	5	4	14	8	31

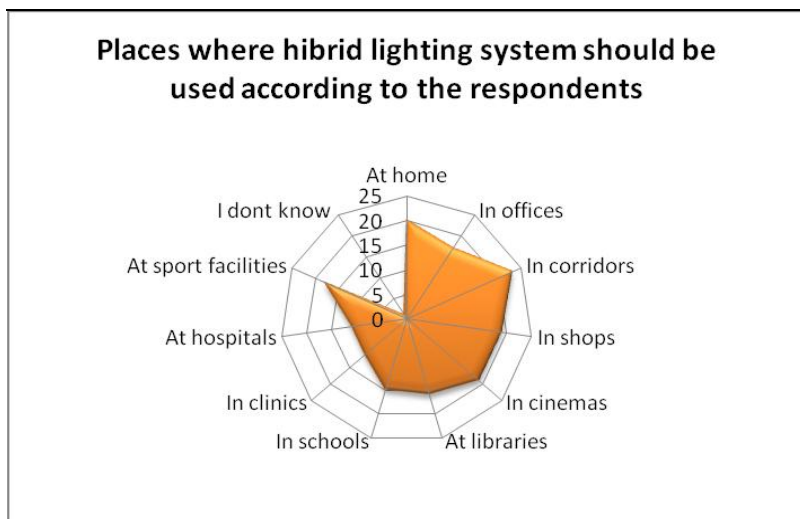
**Table 8.3:** Indflydelse af lampe design på accepten af hybride lys systemer. En af testpersonerne besvarede ikke spørgsmål 14.

### 8.2.5 Potentielle markeder ifølge testpersoner

Gennem hele projektet har vi fokuseret på kontor belysning, fordi den er en vigtig sektor indenfor service og handel sektoren, og fordi det er denne sektor, som bruger mest el til belysning i Danmark. Formålet med dette spørgsmål var først at se om forbrugerne kunne tænke sig dette system på kontoret og i hvilken andre steder de kunne forestille sig et hybrid system.

Hvis man ser figur 8.7 kan man se, at brugerne giver hybride systemer til brug på kontor en lavere prioritet end de giver til at bruge hybrid belysning system der hjemme. Faktisk har hjemmet, gange og sportsbygningerne den højeste accept efterfulgt af biografer og forretninger. Man kan sige, at alle de nævnte bygninger har tilfælles, at det ikke er nødvendigt at have fokus belysning. Det vil sige, at man ikke behøver at kunne læse tekster på sådan nogle områder. Mens for eksempel hospitaler, klinikker, skoler, og biblioteker har en lav stilling mellem brugerens præferencer. Fra dette konkluder vi, at det største potentiale lige nu ligger på områder, hvor generel belysning (ca. 200 lumens) er nødvendig. Denne konklusion passede lige til hvad IBSENS firmarepræsentant udtalte i sine konklusioner. Hybride belysningssystemer har et stort potentiale til at blive modtaget af brugeren i steder med begrænset tilgængelighed til vinduer.





**Figur 8.7:** Steder hvor brugerne kunne tænke sig at have et hybrid belysningsystem.

For at opnå en bredere accept mellem brugere skal man videreudvikle og forbedre fokusbelysning, det vil sige, at udvide hybrid belysning systemers intensitetsgengivelse og farvegengivelse.

### 8.3 Sammenfatning

En af hovedbarriererne for en bredere accept fra brugerne inden for kontor belysning er stadig en lav intensitet fra hybrid systemer (både fra optiske fibre og LEDer). Variationer mellem de to lyskilder (fibre og LED) synes faktisk positive, siden brugerne kan lide at se, hvornår de bruger dagslys, og hvornår de bruger kunstig lys, hvilken giver en fornemmelse af et grønt forbrug.

Hybride belysningsystemer blev vurderet af brugerne, som en behagelig belysningservice, hvilket opfylder et af den væsentlige kvalitetskriterier fra forbrugerne. Design af armatur har en høj til meget høj påvirkningen af brugerne for at de oplever en god belysningservice, og derfor må teknologi og design udvikling følge hånd med hånd for at opnå en succesfuld implementering og spredning af teknologi på markedet.

# 9 Formidling

---

Projektet er blevet formidlet ved mange lejligheder og ved adskillige anledninger.

Her skal nævnes de arrangementer, hvor vi har haft mulighed for at præsentere projektet "Hybrid fiber belysning – rettet mod et mindre økologisk fodaftryk".

## D. 1. oktober 2010 – 4. april 2011

Projektet og dets resultater sendes på en præsentations tur rundt i Danmark.

Der er udarbejdet en rapport, flere hybridarmaturer, fiberprøver i tekstile teknikker og et lysende væg panel, som den praktiske del af projektet. Disse elementer udstilles på 5 displays, som i løbet af vinteren transporteres til de involverede uddannelsesinstitutioner: RUC, DTU, Elforsk, Økolariet i Vejle og DSKD.

I opstillingsperioden præsenterer institutionerne selv projektet for relevante interessenter og samarbejdspartnere.



## D. 8 oktober 2010

Projektet og dets resultater bliver formidlet i "Grønt Teknologi Tour DUP" som et af de 10 tv-programmer

til DR. Dette sker i samarbejdet med Roskilde Kommune, Danskernes Akademi og DR TV.

#### D. 7. juni 2010

Designskolen Kolding har besøg af Dronning Margrethe II.

Den tekniske, miljømæssige og den designudviklende del af projektet "Hybrid Fiber Belysning – rettet mod et mindre økologisk fodaftryk" blev ved den lejlighed præsenteret for dronningen.



#### D. 4. Maj 2010

Designskolens del af projektet præsenteres for Kulturministeriet, som et eksempel på et Designfagligt udviklingsarbejde.

#### D.20. - 22. April 2010.

I forbindelse med den Internationale Konference "Sunrise" på RUC, udstilles Hybridlamper designet af studerende på Industrielt Design på Designskolen Kolding. De udstillede prototyper er udarbejdet i et undervisningsforløb, der som udgangspunkt har haft udviklingsprojektet og dets teknologi som et samlet udgangspunkt.

I undervisningsforløbet har der været oplæg fra alle samarbejdspartnere.



#### D. 11. Marts 2010

Projektet præsenteres af Lektor Vibeke Riisberg og tekstildesigner Helle Trolle på "After hours Seminar: LED vejen for lyset" på Designskolen Kolding.

*Den 04-01-2010 hos Designskolen Kolding*

*Ved forelæsningserne af Araceli Bjarklev og Lara Scolari*

*D. 14-17. Marts, Vienna, Østrig 2010,*

*I samarbejde med DTU-Fotonik og RUC skrev vi et abstract og en artikel til konferencen Lighting Quality & Energy Efficiency (CIE) Med titel: "Future illumination Systems and the Climate Change Challenge- The case of Danish office lighting"*

25. februar 2010

udgives artiklen "Og der bliver lys..." på Designskolens hjemmeside.

Her er projektet nævnt, som et eksempel på designskolens engagement i fremtidens lysdesign med fokus på bæredygtighed.

D. 1. februar 2010

Projektet modtager pris fra Kolding Grønne Fond 2010.

Prisen begrundes og gives, fordi der arbejdes med udviklingen af armaturer og designs der kan bruge til den CO<sub>2</sub> besparende hybrid teknologi, som er projektets grund ide.

D. 13. Januar 2010

*Ved et seminar i LysNet gruppen organiseret af RUC*

D. 7. – 18. December 2009

Under Cop15 tages der i Kolding initiativ til Udstillingen "Klima i Kolding". En udstilling i Kolding Midtby, der viser eksempler på bæredygtig teknologi og design. Her præsenteres Hybrid fiber belynings projektet og dets overordnede tanker gennem en dias præsentation, som vi kalder " Kan du se Lyset. ?"

D. 3. og 4. december 2009

Konference/workshop. (DTU-Fotonik, IDA, Ingeniørhuset,). Araceli Bjarklev deltog i ekspertpanelet ved paneldebatten den 4. december 2009.



D. 9. november 2009

Præsenteres projektet på Designskolen hjemmeside under overskriften: "Designskolen lukker solen ind"

D. 3. november 2009.

Vores project var nevnt i DialoK-møde 5 (DMU) se: <http://www.klima.au.dk/dk/om-klimaau.dk/kft/produkter/arrangementer/dialok-moeder/> Presentaterede af EVA Bøgh

D. 13-15<sup>th</sup> October, 2009, Ringsted, Denmark

I BSSSC (Baltic Sea States Subregional co-operation) "Regions Taking the Challenge- between the EU Baltic Sea Strategy and the UN Climate Summit" (Ringsted 13-15<sup>th</sup> of October, 2009, Denmark). Med planchen: "Hybrid systemer - fremtidens belysning". Oktober 2009

Oktober 2009

Projektet har været præsenteret på designskolens hjemmeside

Projektet har været præsenteret i den informativ artikel om hybrid fiber belysning i ELFORSK NYT okt. 2009

Den 15. juni 2009

Projektet blevet registeret i RUCs (ENSPAC) website under projekter om klima forskning.

# 10 Konklusion og hovedresultater

---

Formålet med projektet var at undersøge mulighederne og potentialet for at reducere kontor belysnings økologiske fodaftryk. Vores hoved hypotese var, at en forbedring af optiske fibre inden for solar optiske systemer kunne gøre en stor forskel. Et af de positive aspekter ved anvendelse af direkte transmitteret sollys er den naturlige farvesammensætning af lyset (under den korrekte forudsætning, at lyslederne ikke forvrænger farverne), derfor fokuserede vi i projektets indledende faser på de mulige anvendelser af mikrostrukturerede fibre.

*Vi kunne konstatere, at Hybride fiberbelysningssystemer er i en meget tidlig teknologiudviklingsfase inden for innovations livscyklus. Optiske fibre er en væsentlig del af de forskellige teknologier, der indgår i sådan et system. Vores systemiske analyse viste dog, at der er andre aspekter, der er mere relevante for at videreudvikle denne teknologi. Som den mest lovende fremtidige teknologi for energieffektiv kunstbelysning, fremtræder LED lamper som det absolut førende valg.* Efterfølgende undersøgte vi optiske fibres muligheder indenfor kontorbelysning, og resultanterne viste, at et mere komplet belysningssystem, der kombinerer fordelene ved begge de ovennævnte systemer er *hybride fiberbelysningssystemer*, hvor man indsamler og fordeler sollys gennem optiske fibre, men hvor man lader kunstlys (f.eks. i form af effektiv LED belysning) tage over, når solen ikke skinner, eller når det er overskyet. Det er sådanne systemer, der er blevet opbygget i dette projekt.

Vores resultater viste, at energi og miljømæssigt har hybride fiberbelysningssystemer stort energi og CO<sub>2</sub> besparelsespotentiale (59% energi besparelse, og mindskede CO<sub>2</sub> emissioner).

Den største barriere til en effektiv implementering og dermed indhentelse af besparelsespotentialet er den nuværende systempris. Hvis man kikker på LEDers tidlige "road maps" kan man se, at man forudså en 90% billiggørelse af LEDer i året 2015. Man kunne også forvente, at den hybride belysningsteknologiske udvikling havde de samme muligheder for videre udvikling og effektivisering (her kan det forventes, at systemet bliver 80 til 90% billigere). Energi priser og politiske beslutninger kan herudover medføre, at konkurrerende teknologier under et livs cyklus perspektiv bliver lige så dyre, og derfor vil hybride fiber belysningssystemer udefra en "cost-benefit" tankegang være den bedste teknologi til at levere belysningsservicen med lavere miljø belastning.

Fra vores forbrugsundersøgelse med fokus på kontor belysning og i overensstemmelse med branche repræsentanter (IBSEN) kan man konkludere, at de nuværende hybride belysningssystem har et stort potentiale for forbrugernes accept især til områder som gange, steder som er langt væk fra vinduer og alle de steder i offentlige bygninger, hvor der er ikke muligheder for at have vinduer (trapper, toiletter etc.) som de er lige nu. Selvom de fleste forbrugere i testen syntes, at lysets kvalitet med hensyn til at udføre

arbejdsopgaver var godt nok, så kunne vi kunne konstatere, at jo ældre man bliver, jo mere lys intensitet ønskes, og derfor er det vigtigt at forbedre mulighederne for at regulere intensitet efter personlige forbruger ønsker især over arbejdsbordet. Mens variationer mht. skift mellem kunstbelysning og naturlig belysning syntes behagelige og giver en indikation af, hvornår man bruger sollys, skal man arbejde for at den naturlige belysning bliver tættere på dagslysets spektrum. Mht. lys kvalitet fra armaturerne skal man forbedre designet for at undgå, at lyset ikke blænder forbrugeren, og på samme tidspunkt undgå at nedsætte intensiteten fra lampen. Sammenarbejdet med designere fra Designskolen Kolding viste, at der er rige muligheder for design og applikationer af hybrid belysningsteknologi i fremtiden og for alle slags belysnings markeder. Den tidlige teknologistatus og den potentielle udvikling åbner for en fremragende mulighed indenfor innovations området for Danmark til at reducere CO<sub>2</sub>, mens vi udnytter Danmarks kompetencer inden for miljø, ingeniørvidenskab og designkundskaber, som fagområder rettet mod at reducere vores økologiske fodaftryk.

## References

- AEA, (2009): EU Ecolabel for fluorescent lamps without integrated ballast, for high intensity discharge lamps, and for ballasts and luminaires able to operate such lamps. Discussion Paper. Criteria Proposals The Gemini Building, Fermi Avenue, Harwell International Business Centre, Didcot, Oxfordshire. Accessed the 16-02-2010 at: <http://www.endseurope.com/docs/90514b.pdf>
- Almanak for Denmark, source: <http://www.nakskov-gym.dk/almadk/almadk.aspx>
- Cappelen, J., and Jørgensen, B.V. (1998). "Observed Hours of Bright Sunshine in Denmark - with Climatological Standard Normals, 1961-90. TECHNICAL REPORT :98-4. DANISH METEOROLOGICAL INSTITUTE. MINISTRY OF TRANSPORT. Accessed the 3rd of Maj 2010 at: <http://www.dmi.dk/dmi/tr98-4.pdf>
- DOE., (June 2004), "Solar FAQs- Hybrid Solar Lighting" U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Washington, DOE/GO-102004-xxxx. June 2004, The National Renewable Energy Laboratory, a DOE national laboratory .accessed the 28th February, 2010, at <http://www..ornl.gov/sci/solar/pdfs/SolarFAQsHybridLight.pdf>
- Kintner-Meyer M. (2007), "Hybrid Solar Lighting Illuminates Energy Savings for Government Facilities" in New Technology Demonstration. Program Manager Federal Energy Management Program U,S. Department of Energy ,Washington)
- Krames M.R., Shchekin O. B., Mueller-Mach, R., Zhou L., Harbers G., and Craford M., (2007) "Status and Future of High-Power Light-Emitting Dodes for Solid-State Lighting". Journal of Display Technology, Vol. 3, No 2, June 2007.
- Lovig., D., (September 7- 2007) Press release. Cree Achieves 1,000 Lumens from a Single LED. Consulted the 21-10-09 at: ([http://www.cree.com/press/press\\_detail.asp?i=1189169857943](http://www.cree.com/press/press_detail.asp?i=1189169857943))
- Lovins, L. H. (2008), Rethinking production. In State of the World 2008. WWF
- OptoIQ, (2003) "Roadmap projects significant LED penetration of lighting market by 2010" consulted at <http://www.optoiq.com/index/photronics-technologies-applications/lfw-display/lfw-articledisplay/177632/articles/laser-focus-world/volume-39/issue-5/optoelectronics-world/roadmap-projects-significant-led-penetration-of-lighting-market-by-2010.html>.
- OSRAM, (2009). "Life Cycle Assessment of Illuminants- A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps. OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Innovations Management. Regensburg, Germany. Accessed the 20-05-10 at: [www.osram-os.com/life-cycle-assessment](http://www.osram-os.com/life-cycle-assessment)
- Schubert E.F., (2007). *Light Emitting diodes*. Second edition, Cambridge University Press. Pp. 422 ISBN 978-0-521-86538-8
- Shostack, L., (1977), "Breaking free from Product Marketing". American Marketing Association. The Journal of Marketing, Vol.41, N2 (Apr. 1997), pp. 73-80. Acceded the 25/01/2010 at: <http://www.jstor.org/stable/1250637>
- UNEP (July, 2002). Product –Service Systems and Sustainability – Opportunities for sustainable solutions. Pp. 31. United Nations Environment Programme , Division of technologicay Industry and Economics. Production and Consumption branch. Consulted the 19-02-2010 at: <http://www.unep.fr/scp/design/pdf/pss-imp-7.pdf>



Van Tichelen, P., Jensen, B., Geerken, T., Vanden Bosh, M., Vanhoof, L., Vanhooydonck, L., and Vercauteren, A., (April 2007). Preparatory Studies for Eco-design requirements of EuPs –Final Report Lot 8:Office lighting. Vito. April 2007. Pp. 266. Consulted several times in 2009 at: [www.eup4light.net](http://www.eup4light.net)

Wackernagel, M., 2005, *Europe 2005- The ecological footprint*. June 2005, WWF European Policy Office Brussels Belgium. 23 pp.