HISTORIE OG FREMTID

Forventningerne til LED'er er store, fordi udviklingen siden 1996 nærmest er eksploderet, men anskaffelsesprisen er stadig meget høj i forhold til lysdiodernes begrænsede lysmængde.

LED'ENS HISTORIE – FRA INDIKATOR TIL ILLUMINATOR

LED - LIGHT-EMITTING DIODE

LED-teknologien har en række fordele, som gør den interessant i bestræbelserne på at sikre et lavt ressourceforbrug og dermed en bæredygtig fremtid.

De nye muligheder, som LED-teknologien tilbyder, kræver ny viden for at kunne udnyttes optimalt. Udstillingen berører de områder, der er væsentlige at kende til, når der skal arbejdes, designes og nytænkes på områder inden for belysning med LED.

NYE MULIGHEDER

LED'ens åbenlyse og helt store fordel er dens meget høje effektivitet og dens lange levetid.

LED har også mange andre fordele, der løser nogle væsentlige problemer samtidig med, at der skabes nye muligheder inden for belysning:

- Hvidtlysende LED'er kan fås med forskellige farvetemperaturer. der er ingen infrarød stråling (føles som varme) eller ultraviolet stråling (der bleger) fra hvidtlysende LED'er
- Robusthed over for rystelser og tryk
- Beskedne dimensioner giver mulighed for omfattende designmæssig nytænkning

LEDENS BARNDOM

Teknologien er baseret på elektroluminescens, som man har kendt til siden begyndelsen af 1900-tallet. Op igennem det 20'ende århundrede blev teknologien primært udviklet og anvendt til indikatorlamper, displays i lommeregnere, mobiltelefoner samt til effekt-belysning. Lyskilden er således baseret på en elektronisk teknologi, hvilket på mange områder adskiller den fra de lyskilder vi ellers anvender i dag.

I midten af 1990'erne blev man i stand til at producere blå og dermed hvide dioder, og først her blev udviklingen til egentlig belysning en realitet.

Efter gennembruddet af den første hvide LED i 1995 har udviklingen frembragt resultater med en hastighed, som ingen havde forudset.

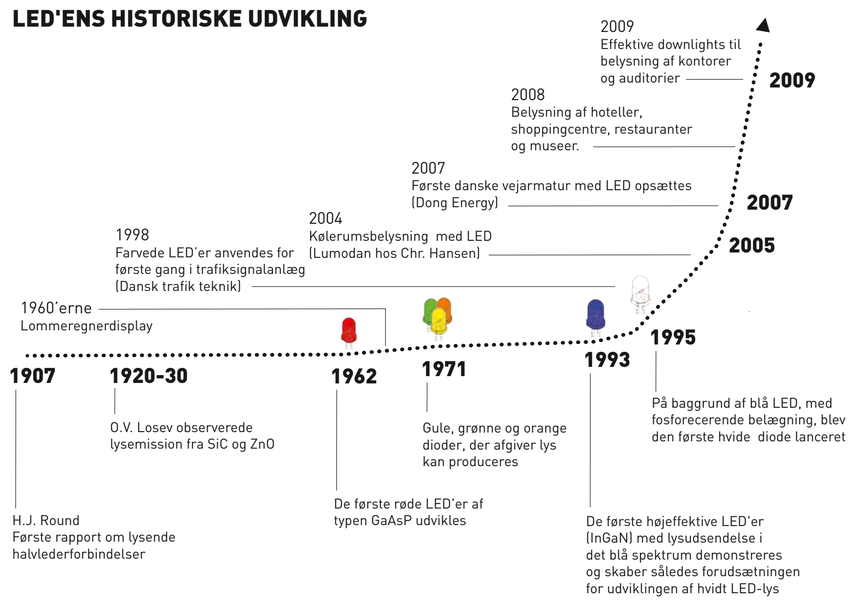
LED I DAG

Der udvikles massivt på armaturer og lyskilder med LED, og der findes efterhånden mange eksempler på belysning, hvor LED udgør en stor del, eller i nogle tilfælde 100 %, af belysningen. Typiske anvendelsesområder er indkøbscentre, kontorer, hoteller samt eksteriør anlæg som sti-og vejbelysning.

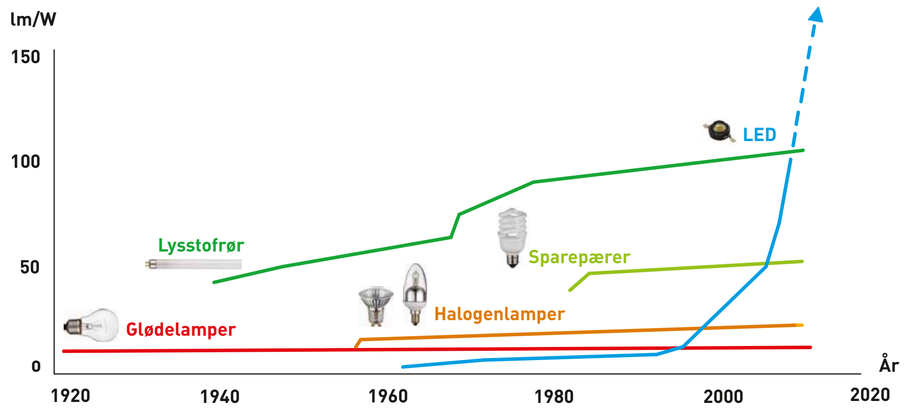
LED til belysning er de seneste år blevet tilgængelige og attraktive for en langt større målgruppe end tidligere. Dette skyldes i høj grad øget lysmængde, bedre farvegengivelse, attraktive farvetemperaturer og ikke mindst lavere pris.

Der er stadig udfordringer, men Lys Emitterende Dioder er fremtidens belysning.

LED'ENS HISTORISKE UDVIKLING



LYSKILDERS UDVIKLING I EFFEKTIVITET



FREMTID

"Om 5 år forventes 50 % af alle lyskilder at være LED'er" Derek Tibbitts, CREE, dec. 2009

"Tænk hvis vi en dag kun anvender lyskilder med lysudbytte større end 50 lumen pr. Watt ? Elforbrug på højst 300-500 GWh til belysning i boligen og besparelse på elregningen til belysning på mindst 2 mia. kr. årligt" Poul Erik Pedersen, Elsparefonden, dec. 2009

"Livscyklusanalysen beviser, at LED'er er blandt de mest miljøvenlige lyskilder" Osram, nov. 2009 (konklusion af dybdegående rapport om lyskilders miljøforhold)

FREMTID – EGENSKABER

- De bedste LED'er øger effektiviteten med en faktor 20 over en periode på 10 år jf. Haitz lov
- Anskaffelsesprisen af selve LED'en målt i kr. pr. lumen falder ca. med en faktor 10 over 10 år jf. Haitz lov.
- Den øverst opnåelige grænse forventes at være 150 lm/W for LED'er med Ra-værdi over 90.
- LED med Ra-værdi over 90 har i øjeblikket (jan. 2010) en effektivitet på 60-70 lm/W
- Lang levetid (20.000 - 50.000 timer af LED-pærer tilgængelige på markedet). Levetiden afhænger af temperaturen. En fordobling af temperaturen halverer levetiden.
- God køling opnås ved benyttelse af LED'er med lav termisk modstand. Modstanden sænkes for hver ny generation af LED. Desuden forhøjes den temperatur, som LED'er kan tåle. Det nedsætter behovet for store køleplader.

OLED (PRIMO 2010)

- OLED er fladebelysning i modsætning til traditionelle punktformede LED'er
- Tykkelse under 2 mm.
- Begrænset effektivitet (ca. 23 lm/W af OLED tilgængelige på markedet)
- Begrænset farvegengivelse (Ra-værdi 80 af OLED tilgængelige på markedet)
- Kort levetid (under 10.000 timer af OLED tilgængelige på markedet)
- Høj pris
- Følsomhed for fugt og ilt, hvad der stiller store krav til indkapslingen.
- Gennemsigtighed åbner mulighed for fremstilling af et vindue, som om dagen lukker lys ind og om aftenen selv lyser
- Gennembruddet forventes at komme tidligst i 2016

HVORNÅR KAN LED BETALE SIG?

I det øjeblik, at LED'ers driftsomkostninger er lavere end for andre lyskilder, kan LED med fordel erstatte disse. Der kan dog være andre årsager til at skifte til LED end blot lave driftsomkostninger, f.eks. CO_2-belastning, der afhænger af lyskildens effektivitet målt i lm/W. En anden grund til at skifte til LED kunne være ønske om en højere farvegengivelse (Ra værdi) eller en bestemt farvetemperatur.

Driftsomkostninger (kr. pr. megalumentime) afhænger af elprisen, pris pr. udskiftning samt lyskildens levetid, lysmængde og effektforbrug inkl. forkobling og anskaffelsespris (beregnet primo 2010).

Tabellen herunder er kun baseret på beregning af driftsomkostninger jf. data fra Osram samt fremskrivning jf. Haitz lov. Desuden er der forudsat en elpris på 1,1 kr/kWt samt en pris på 70 kr for udskiftning af en lyskilde. Der er ikke taget hensyn til evt. forøgelse af armaturvirkningsgrader som følge af benyttelse af LED.

Det ses, at et T5 lysstofrør ikke vil blive erstattet foreløbig. Det skyldes en lav anskaffelsespris (ca. 50 kr.) kombineret med højt lysudbytte (3650 lumen for 35 W) og lang levetid (20.000 timer). En 8 W erstatningslyskilde med LED koster ca. 400 kr., levetiden er under 50.000 timer og lysudbyttet er ca. 350 lumen.

Type af lyskilde	Årrække før LED bliver et økonomisk alternativ
12 V halogen, Ra 99, 5000 timer levetid	0 år
Sparepærer, Ra 80	5-7 år
Metalhalogen, Ra 95	5-7 år
T8 lysstofrør, Ra 80	6-7 år
T5 lysstofrør, Ra 80	8-10 år

Projektet (PSO 340-044) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU- Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, NRGi Rådgivning A/S og Kunstakademiets Arkitektskole.

TIDSLINJE FOR LED-BRUG

2003

TRAFIKLYS
Danmark
Foto: DCL

OLED INSTRUMENTBRÆT
Tyskland
Foto: Osram

2004

GANGBRO
Steinhausen, Schweitz
Foto: Osram

KØLERUM
Chr. Hansen
København, Danmark
Foto: Lumodan

Q8 TANKSTATION SKILTNING
Danmark
Foto: Osram

ENERGI OG MILJØ

LED'er bruger mindre energi end for eksempel halogenpærer. Inden for de næste 5-7 år vil sparepærer også med fordel kunne erstattes af LED-løsninger.

LED-BELYSNING FOR ENERGIENS OG MILJØETS SKYLD

LED-BELYSNING FOR FREMTIDEN

Hensynet til energiforbrug og miljøbelastning er vigtige parametre, der skal tilgodeses ved enhver renovering og installation af nye belysningsanlæg.

Valg af lyskilde har stor indflydelse på investering, energiforbrug og miljøbelastning. I det følgende regneeksempel med tre forskellige lyskilder, der tilnærmelsesvis afgiver samme mængde lys, ca. 700 lumen, har en farvetemperatur på ca. 2800 K og et Ra-indeks > 80. LED-pæren har en effektivitet > 60 lm/W.

REGNEEKSEMPEL

I regneeksemplet benyttes til sammenligning en 42 W halogenpære, en sparepære 13 W og en ny LED-baseret erstatningspære på 12 W. Der er ikke medtaget udgifter til udskiftning af lyskilder.

Tabel 1 viser beregningsforudsætningerne:

TABEL 1. BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER:

Energipris, kr./kWh	2,1131
Brugstid, timer pr. dag	8
Antal dage pr. år	365
Brugstimer pr. år	2920
CO_2 udledning, kg/kWh	0,6

TABEL 1. BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER, FORTSAT

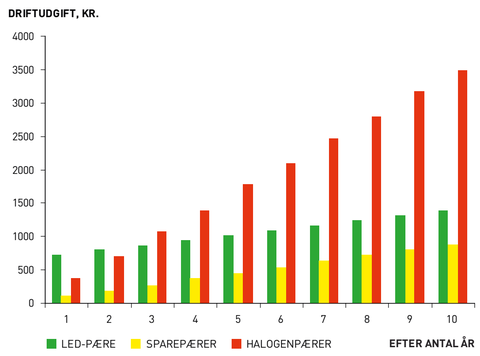
Lyskilde	Forbrug, Watt	Pris inkl. moms, kr.	Levetid, timer	Brugstid, antal år
LED-pære	12	649	50000	17,12
Sparepære	13	27	10000	3,42
Halogenpære	42	60	2000	0,68

DRIFT OG UDSKIFTNING AF LYSKILDER

I løbet af 10 år vil man skulle bruge følgende antal pærer:

LED-pærer: 1
Sparepærer: 3
Halogenpærer: 15

Nedenstående diagram viser driftsudgifterne over 10 år. Når driften af LED-pæren er dyrere end sparepæren skyldes det den nuværende høje pris for LED-pæren.



Udgifter til el og anskaffelse over 10 år

UNDER FORUDSÆTNING AF ENS LYSSTRØM FRA LED, SPAREPÆRE OG HALOGENPÆRE BLIVER DRIFTSUDGIFTERNE:

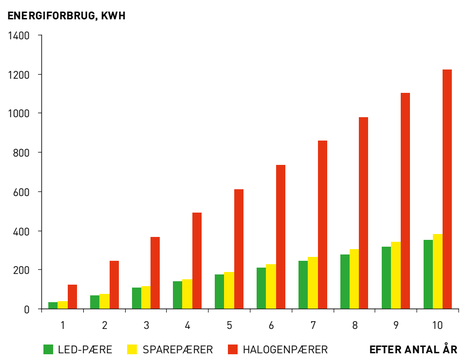
Lyskilde	Driftsudgift, kr.
LED-pære til 649 kr.	1389
LED-komponent til 20 kr.	760
Sparepærer 3 stk	883
Halogenpærer 15 stk	3492

ELFORBRUG

Da energiforbruget til belysning udgør 15 % af det samlede energiforbrug, er det vigtigt at nedbringe dette mest muligt. Over 10 år ser vores eksempel således ud:

LYSKILDE ENERGIFORBRUG, KWH

Lyskilde	Elforbrug, kWh
LED-pære	350
Sparepære	380
Halogenpære	1226



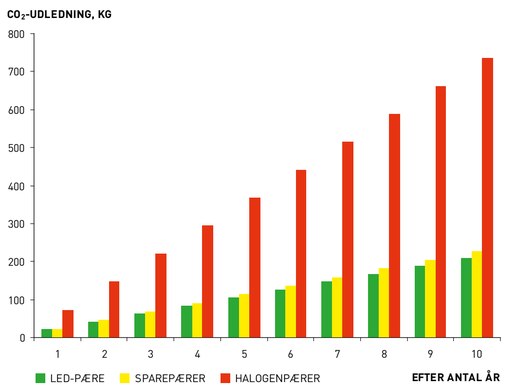
Samlet energiforbrug over 10 år

MILJØBELASTNING

Når man sparer på el-forbruget, sparer man CO_2. I Danmark står elektricitetsproduktionen for 40 % af landets samlede CO_2-udslip. Der er derfor god grund til at spare på el-forbruget.

CO_2-udledningen i eksemplet kommer da til at se sådan ud:

Lyskilde	CO_2-udledning, kg
LED-pære	210
Sparepære	228
Halogenpære	736



Samlet CO_2-udledning over 10 år

Kilder: *Elsparefondens hjemmeside: www.elsparefonden.dk Lysdioder til belysning, status for fremtidens lyskilde, Elsparefonden, 2010, Prolys: www.prolys.dk, Solid State Lighting Research and Development: Manufactoring Roadmap. U.S.Department of Energy. Sept. 2009*

EKSEMPLER MED LED-BELYSNING

DAM AUDITORIET PÅ PANUM INSTITUTTET

Dam auditoriet med den nye LED-belysning.

Panum Instituttet har erstattet de eksisterende downlights med 86 stk. energieffektive BaseLED fra Thorn. De eksisterende downlights var bestykket med 60 W glødepærer. De nye armaturer bruger kun 12 W og kan dæmpes ned til 25 %. Lyset tændes og slukkes automatisk, når der er personer til stede. Det forventes at halvere den daglige brændetid. Sammenlagt er forbruget nedsat med en faktor 10. Besparelsen er 15.000 kr. om året.

LED-belysningen er også kendetegnet ved en længere levetid og mindre vedligehold. Levetiden for BaseLED er på 50.000 timer, mens glødepærerne kun kunne klare 2.000 timer. Det er dyrt og tidskrævende at skifte lyskilder i auditoriet, så Panum Instituttet forventer at spare 13.500 kr. om året til materialer og arbejdsløn.

Belysningsniveauet er samtidig næsten fordoblet og blændingen minimeret, uden at være gået på kompromis med farvegengivelsen, der har et Ra-indeks på 94.

Kilde: www.thornlighting.dk

ROSKILDE MUSEUM

Ny indretning af Roskilde Museum med LED-belysning.

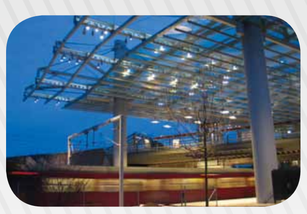
Roskilde Museum har erstattet alle tidligere halogenlamper i udstillingsmontrerne med LED-baserede spots. Denne udskiftning har medført store el-besparelser og en væsentlig reduktion af varmepåvirkningen af de udstillede genstande. Ca. 850 halogenlamper er udskiftet med LED-spots. Dertil kommer udskiftning af enkelte glødepærer samt flere jernkerne- og elektroniske transformatorer. Ved en drifttid på ca. 3000 timer årligt har det hidtidige elforbrug til belysning været ca. 42.000 kWh/år. Ved udskiftningen er elforbruget til belysning nu reduceret til ca. 9.000 kWh/år, en besparelse på ca. 78 %. Dette svarer til en økonomisk besparelse på ca. 62.000 kr pr år.

De gamle 10 W MR11 halogenspots er skiftet ud til LED-spots af typen BLT1140N80-CWW1L, og de gamle 20 W MR16 halogenspots er skiftet ud til LED-spots af typen BLT1653N40-CWW31L. LED-lyskilderne har en farvetemperatur på 3000 K og et Ra-indeks bedre end 85.

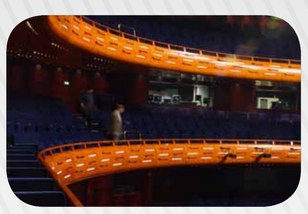
Kilde: www.lumodan.dk

Demonstration og undervisning i brug af armaturer med LED-lyskilder. Projektet er støttet af ELFORSK og gennemføres af Dansk Center for LYS, DTU-Fotonik, Risø og Statens Byggeforskningsinstitut SBi, AAU

2005



FLINTHOLM STATION
København, Danmark
Foto: Osram



LED-BELYSNING I OPERAEN
København, Danmark
Foto: DCL

KASTRUP SØBAD
Kastrup, Danmark
Foto: Erco Lighting

THEATER ZAGREB
Zagreb, Kroatien
Foto: Osram

2006

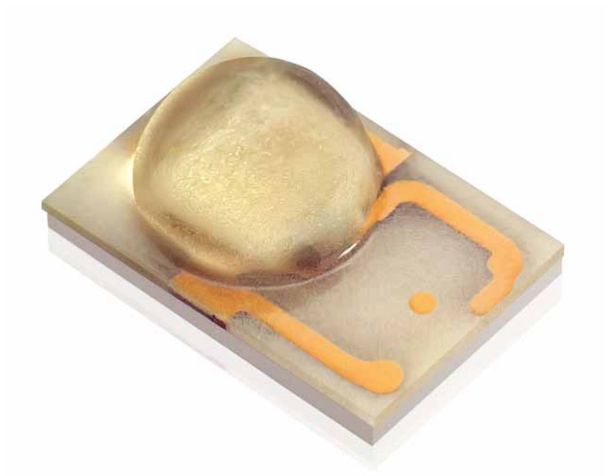
BAR I FODBOLDKLUBBEN PSV
Eindhoven, Holland
Foto: Philips

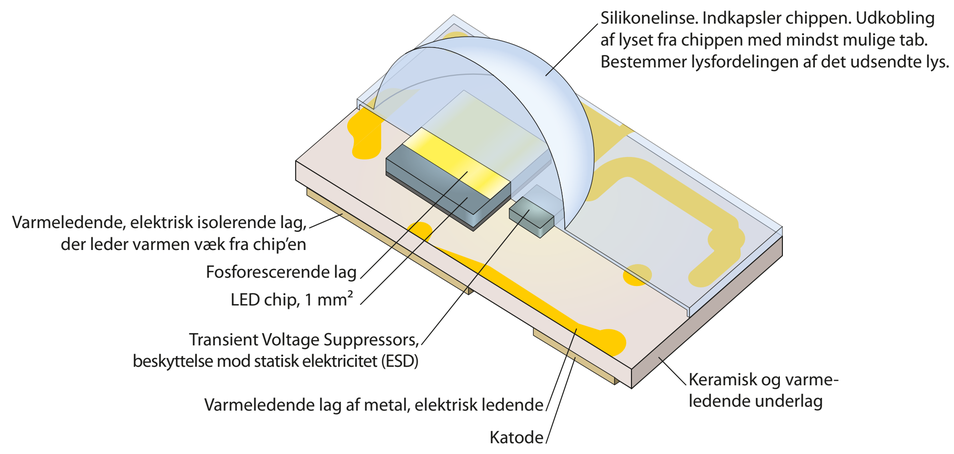
LED-TEKNOLOGI

En LED er en lyskilde, der er baseret på et halvledermateriale. LED står for Lys Emitterende Diode. Når der sendes en strøm igennem halvledermaterialet, vil elektroner kunne give anledning til udsendelse af lys. Lysets farve er bestemt af halvledermaterialets sammensætning.

EKSEMPEL PÅ EN LED

Halvledermaterialet, som udsender lys, skal pakkes ind for at kunne fungere. Herunder er vist den hvide LED Rebel fra Philips.

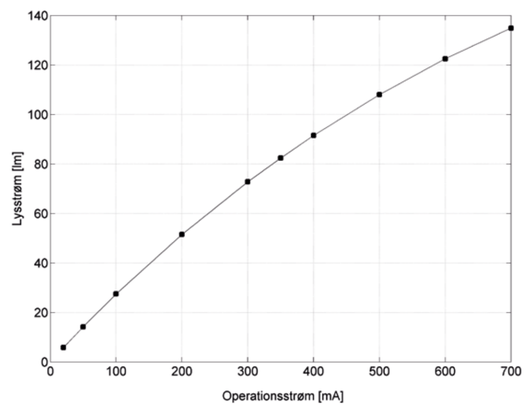


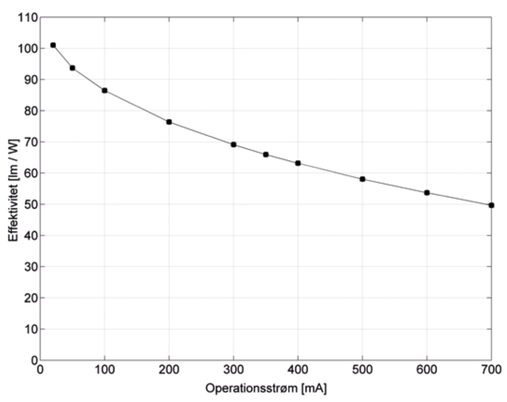


En LED-chip kan maks. tåle en driftstemperatur i området 120-180 °C. Halvledermaterialet ødelægges ved højere temperaturer og pakningen vil samtidig udsættes for store mekaniske spændinger. En høj driftstemperatur reducerer lysstrømmen og LED'ens levetid. En effektiv varmetransport væk fra halvlederchippen er derfor nødvendig for at sikre en acceptabel driftstemperatur og dermed lysstrøm og levetid.

STRØMSTYRING

En LED styres ved at sende en konstant strøm igennem halvlederchippen. På grafen til venstre er vist en måling af, hvor meget lys en LED udsender målt i lumen som funktion af strømmen. Det ses at jo højere strøm jo mere lys. Imidlertid falder effektiviteten (lm/W) ved høj strøm (graf til højre).

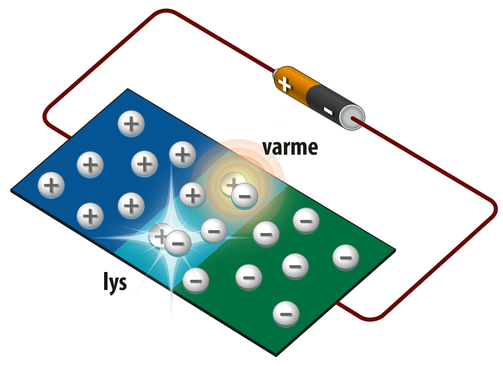




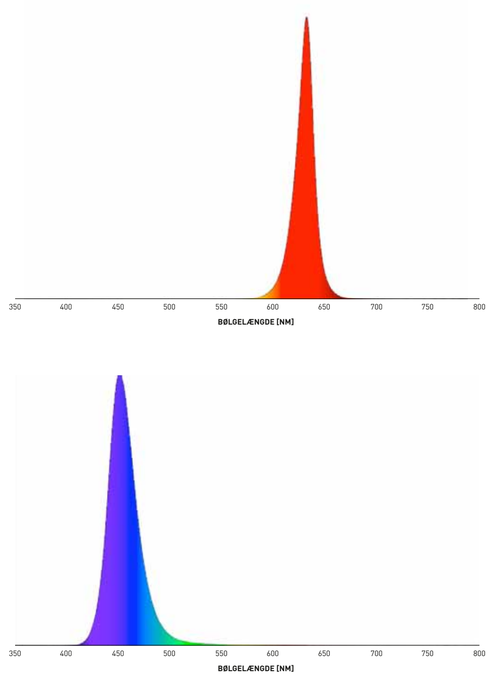
LYSUDSENDELSE

Lysudsendelsen i en LED sker via en mekanisme, der kaldes elektroluminescens. Det betyder, at tilført elektrisk effekt omsættes direkte til lys. Der er en overvægt af elektroner i den ene del af chippen (grønt område) og en overvægt af huller eller ledige pladser til elektroner i den anden del af chippen (blåt område). Når der sættes spænding på, vil elektroner og huller kunne mødes i overgangsområdet (turkis område). Derved sker en rekombination, hvor elektronens overskydende energi kan udsendes som ensfarvet lys.

Det er ikke alle rekombinationer, der giver anledning til udsendelse af lys. En del heraf giver anledning til vibrationer i krystalgitteret og dermed udvikling af varme. Der finder også andre tab sted, og resultatet er, at det normalt er under 50 % af den tilførte elektriske effekt, der omsættes til lys.



MATERIALER OG FARVER



Farven af det udsendte lys afhænger af elektronernes overskydende energi, og den kan kontrolleres igennem materialesammensætningen af halvlederchippen. Der benyttes to forskellige materialegrupper til hhv. fremstilling af gule, orange og røde LED'er og til fremstilling af blå og grønne LED'er.

Her ses målt lysudsendelse fra en rød og en blå LED som funktion af bølgelængden (farven).

Der findes også LED'er, som udsender ultraviolet lys og infrarødt lys, men disse bruges ikke til belysning.

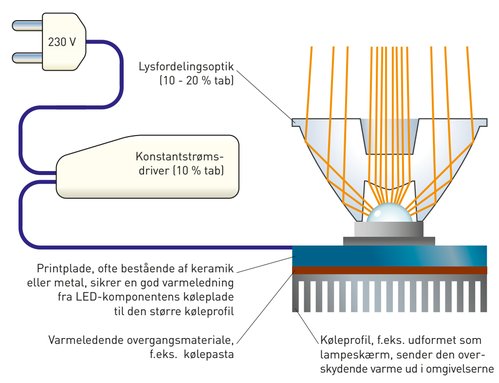
En hvid LED er faktisk en blå LED, som sender lyset igennem et fosforescerende materiale. Herved omdannes en del af det blå lys til lys i det grønne, gule og røde spektralområde og det samlede lys bliver hvidt.

LED SYSTEM

Komponenterne i et LED-armatur består af en driver, LED komponenter monteret på en printplade, optik og køleprofil.

I datablade angives LED'ers egenskaber ved 25°C. Driftstemperaturen vil dog altid være højere, afhængig af køleprofilens størrelse og omgivelsestemperaturen. Dette bevirker et tab i lysudbytte i forhold til databladsværdien.

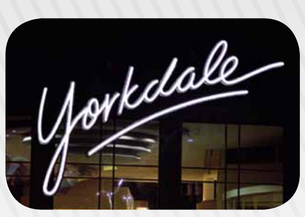
LED-systemets samlede effektivitet vil derfor være bestemt af LED'ens databladsværdi, tab pga. driftstemperatur, tab i optik samt tab i driveren, der leverer strøm til LED'en. Det er ikke usædvanligt, at LED-systemets samlede effektivitet kun bliver halvt så stort som angivet i databladet for LED'en.



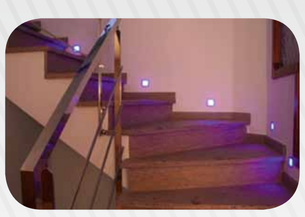
Projektet (PSO 340-044) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU- Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, NRGi Rådgivning A/S og Kunstakademiets Arkitektskole.

2007

TORONTOBLINK
Danmark
Foto: Dansk Trafik Teknik



SKILTNING
England
Foto: Osram



LED-LYS PÅ TRAPPE
Foto: Osram

LYSREKLAME
Frankrig
Foto: Osram

MUSEUM ZEUGHAUS
Mannheim, Tyskland
Foto: Zumtobel

LYSLØJPE I MØLLEPARKEN
Aalborg, Danmark
Foto: Gunver Hansen/Philips

LINSER OG REFLEKTORER

Linser designes specifikt til en bestemt diode. Linserne findes ofte i flere varianter med forskellige spredningsvinkler

DER FINDES TO LED-HOVEDTYPER

Lav effekt LED (Low Power), eller radial dioder, som de også kaldes, har generelt en snæver lysudstråling. De fås med udstrålingvinkler på f.eks. 15°, 30°, 60° og 120°. For disse diodetyper udgør indstøbningen af chippen hele linsen, og det er derfor ikke nødvendigt at tilføje ekstra optik.

Karakteriseres ved: Lysstyrke (lumininous intensity) [lm/sr] = [cd] og udstrålingsvinkel [°]

Eksempler på lysspredning fra lav effekt LED

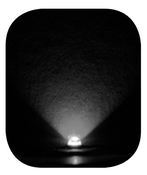
Spredningsvinkel 30°

Spredningsvinkel 80°

Høj effekt LED (High Power), har generelt en bred udstrålingsvinkel på 90° - 140°. Disse LED-typer tilføjes oftest ekstra optik for at indsnævre lyskeglen.

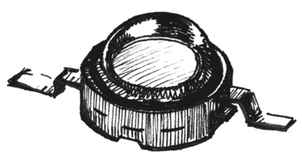
Karakteriseres ved: Lysstrøm (lumininous power, flux) [lm/sr] = [cd] og udstrålingsvinkel [°]

Eksempler på lysudstråling fra høj effekt LED



Udstrålingsvinkel: 90°

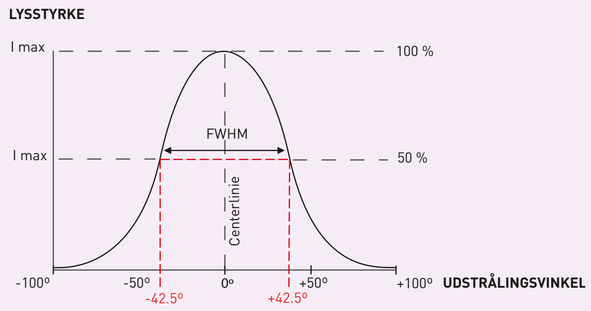
Udstrålingsvinkel: 140°



BESTEMMELSE AF EN DIODES SPREDNINGSGRAD

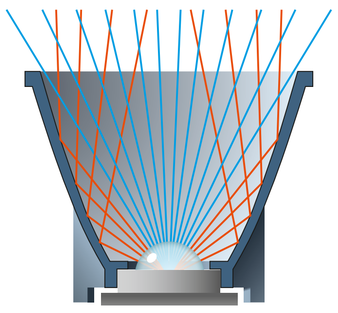
Alle lyskilder kan karakteriseres ved deres spredningsvinkel, som tager udgangspunkt i lysstyrken (Cd) ved forskellige vinkler. Sammenhængen mellem lysstyrke og vinkel er angivet ved en kurve. Lysstyrken er 100 % langs centerlinjen og aftager med forøget vinkelafstand fra denne. Ved 50 % lysstyrke aflæses de tilhørende vinkler. Stykket mellem disse vinkler betegner lyskildens spredningsgrad, også kaldet udstrålingsvinkel, halvværdivinkel, viewing angle eller vinkelen ved FWHM – **F**ull **W**idth **H**alf **M**aximum.

Eksempel: Θ_{FWHM} = 85°



REFLEKTORER

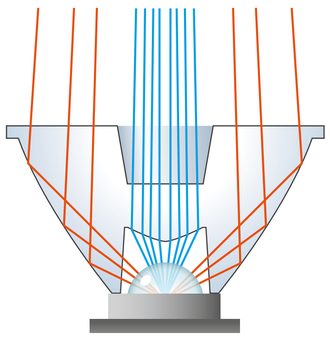
- Lys langs den optiske centerlinje eller i umiddelbar nærhed udsendes direkte uden at blive reflekteret. Derfor vil den resulterende belysning bestå af et bidrag direkte fra LED'en samt et bidrag fra den del af lyset, som har ramt de spejlende flader.
- Kanten af reflektoren afskærer lyset, og det viser sig som en skarp afslutning af lyset på den belyste flade.
- Reflektorer kan sprede lyset i vinkler fra 1° til 180° fra bredstrålende LED'er.
- Reflektorer kan opfange ca. 90 % af det udsendte lys og videresende det med en veldefineret spredning.
- Der er et yderst begrænset lystab i reflektoren, fordi der tabes mindre lys i den spejlende flade end ved lys' passage gennem en linse.
- Der er ingen farveforskelle af lyset på den belyste flade, fordi lyset ikke gennemlyser et gennemsigtigt materiale som ved linser.
- En reflektor med en konventionel samlelinse inden i kan give samme udstråling af lyset som en LED-linse. Det kan være et alternativ, hvis der er behov for en LED linse med en diameter over 35 mm.
- Materialetypen bestemmer temperaturbestandigheden. Spejlbelagt PC (polycarbonat) kan holde til 110°C, termoplastisk polyetherimide (PEI) som f.eks. Ultem kan holde til 150°C og SBS (styrene butadiene styrene) kan holde til ca. 80°C.



Diode med påmonteret reflektor. Tegningen viser, hvordan lys langs den optiske centerlinje udsendes direkte uden at blive reflekteret. Lyset fra denne diode vil således både bestå af reflekteret lys og direkte lys.

LINSER

- LED-linser gør brug af fænomenet TIR – total indre refleksion, hvor fuldstændig klare materialer kan virke spejlende. Det sker, hvis vinklen mellem lysstrålen og materialeovergangen fra plast til luft er tilpas lille. Lyset udsendt langs den optiske centerlinje eller i umiddelbar nærhed brydes af en konventionel linse. Se tegning.
- Hvis den konventionelle linse ikke er del af LED-linsen, vil det optiske system opføre sig som en reflektor. Et sådant system finder f.eks. anvendelse til cykellygter, hvor det erstatter en sædvanlig reflektor med påsat afdækning.
- Smalstrålende linser er i stand til at opsamle op til 90 % af det udsendte lys fra LED'en og videresende det med en veldefinerede spredning.
- Linserne kan sprede lyset i vinkler fra 1° til ca. 45° og fra ca. 70° til ca. 90°. Typiske betegnelser er: narrow (under ca. 20°), medium (ca. 20° - 45°), wide (70°-90°).
- Fordelingen af det udsendte lys afhænger også af overfladens eventuelle tekstur. Ved hjælp af teksturen kan der opnås en højere ensartethed af lysfordelingen på den belyste flade eller evt. en elliptisk fordeling af det udsendte lys.
- En linse samler lyset mere præcist end en reflektor og kan derfor opnå en væsentlig højere lysstyrke i centeret af lyskeglen, end hvad der er muligt med en reflektor.
- Lyset samles i cirkulære eller elliptiske stråler med en høj grad af ensartethed i centeret.
- Alle gennemsigtige materialer reagerer lidt forskelligt for hver farve i lyset ved at brydningsindekset ændres. Det kan vise sig som en svag farvet rand langs lyskeglen eller farveforskelle i lyset på den belyste flade. Farvespredningen angives ved Abbetallet, som afhænger af det anvendte materiale.
- Lystabet for gennemsigtige materialer er ca. 4 % for hver flade, lyset passerer samt 2 % tab ved passage gennem materialet. Medmindre fladerne har en særlig coatning, er det samlede tab derfor ca. 10 %. Lystabet for hver flade afhænger af lysets indfaldsvinkel og materialets brydningsindeks, og kan beregnes præcis vha. Fresnels formler.
- Materialetypen bestemmer temperaturbestandigheden. PMMA (akryl) kan holde til 90°C, polycarbonat kan holde til 120°C og PMMI (variant af akryl, polymethyl methacrylimide) kan holde til 140°C.



Diode forsynet med linse. I dette eksempel brydes al lyset, der udsendes af dioden. Lysstyringen bliver mere præcis og mere jævnt fordelt.

SAMMENLIGNING AF LINSER OG REFLEKTORER

Til højre ses lysudsendelsen sammenlignet fra hhv. en reflektor og fra en linse, som er påsat samme diode.

Linsen og reflektoren har samme diameter og er specificeret til at give samme spredningsvinkel af lyset. Lysstyrken i centerpletten (målt i Cd) er ca. 60 % større ved brug af linsen.

Belysning fra linse med 8° spredningsvinkel. Foto: Fraen

Belysning fra reflektor med 7° spredningsvinkel. Foto: Fraen

Projektet (PSO 340-044) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU- Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, NRGi Rådgivning A/S og Kunstakademiets Arkitektskole.

2008

GADEBELYSNING
Horsens, Danmark
Foto: LedTraffic og Energi Horsens

ALMENBELYSNING
Paris, Frankrig
Foto: Philips

GLOBE PÅ TAGET AF HOTEL
Hamburg, Tyskland
Foto: Osram

ADELIE
Danmark
Design: Morten Lyhne
Foto: Thorn Lighting

NYBORBROERNE
Danmark
Lysdesign: ÅF - Hansen & Henneberg.
Foto: Lars Bahl.

LINSER OG REFLEKTORER

Linser designes specifikt til en bestemt diode. Linserne findes ofte i flere varianter med forskellige spredningsvinkler.

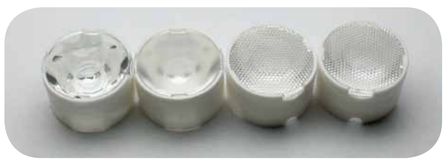
ÉN LED OG MANGE LINSER

Linserne fås i forskellige størrelser og udformninger, og udvalget på markedet er stort. Linser designes og udvikles specifikt til hver enkelt type diode og findes i varianter til både en enkel diode og grupper på 3, 4 eller flere samlet i en klynge.

Ud over de forskellige udformninger eksisterer den enkelte linse ofte i flere varianter med hver sin spredning af lyset. Linser til high power LEDs samler lyset fra en bredt strålende LED (90°-140°) til forskellige spredningsvinkler.

Den specifikke betegnelse kan variere fra produkt til produkt, men typisk bruges betegnelser som: spot, narrow, medium, diffuser, elliptical, flare og wide. Som eksempel vises nedenfor Titanum linse serien, bestående af 4 gængse typer.

Eksemplerne viser, et udsnit af de variationer der findes inden for linser.



Tinat linse serie fra Ledil

Cutet linse serie fra Ledil

Evat linse serie fra Ledil

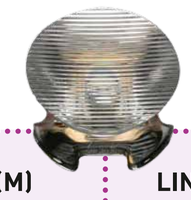
LED DATA UDEN LINSE

De viste linser er designet til Golden Dragon LED fra Osram.

GOLDEN DRAGON®PLUS WARM WHITE

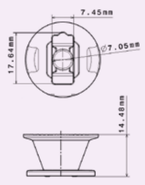
Lysstrøm: 57 lm ved 350mA (3500K)
Spredningsvinkel: 120°
Farvetemperatur: 2500 - 4800K
Farvegengivelse: Ra 80

EN DIODE MED FIRE FORSKELLIGE LINSER



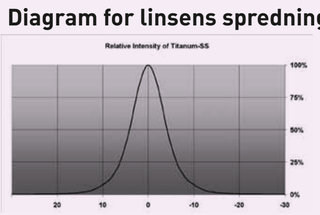
LINSE MED SMOOTH SPOT SPREDNING (SS)

TITANUM SS
Spredningsvinkel
FWHM = 14°



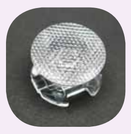
Linsens fladedækkende sekskant tekstur spreder lyset ligeligt i alle retninger.

Diagram for linsens spredningsgrad

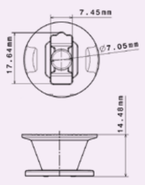


Linsen samler lyset til en cirkulær spot

LINSE MED MEDIUM SPREDNING (M)

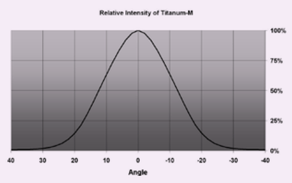


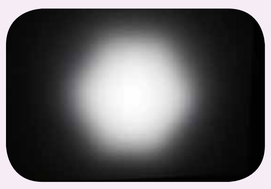
TITANUM M
Spredningsvinkel
FWHM = 26°



Linsens fladedækkende sekskant tekstur spreder lyset ligeligt i alle retninger.

Diagram for linsens spredningsgrad

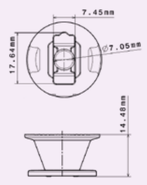




Linsen spreder/samler lyset til en jævn cirkulær form

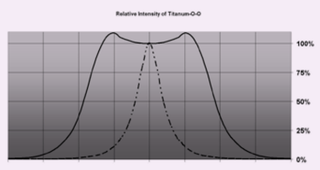
LINSE MED OVAL SPREDNING (O)

TITANUM OVAL
Spredningsvinkel
FWHM = 6° x 36°



Linsens tekstur udgøres af en retningsorienteret rillet overflade. Vender rillerne vertikalt spredes lyset horisontalt.

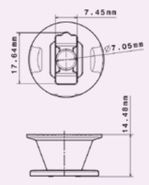
Diagram for linsens spredningsgrad



Linsen spreder / samler lyset til en horisontal ellipse

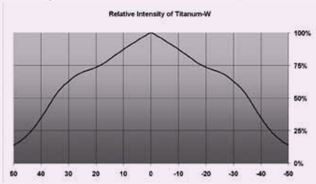
LINSE MED WIDE SPREDNING (W)

TITANUM W
Spredningsvinkel
FWHM = 70°



Linsens overflade udgøres af en jævn og center orienteret matteret struktur der spreder lyset ligeligt i alle retninger.

Diagram for linsens spredningsgrad



Linsen spreder lysets i et stort jævnt oplyst felt. Lysstrømmen er den samme som i de øvrige eksempler, men falder på et større område. Derfor er lysstyrken svagere.

LYSTAB

Man skal være opmærksom på lystab ved enhver refleksion eller transmission af lyset.

Hver gang lys passerer en materialeovergang (f.eks. fra luft til akryl eller omvendt) er der et refleksionstab på mindst 4-5 %. Lystabet ved transmission afhænger af den længde, som lyset tilbagelægger i materialet, klarheden af det optiske materiale og lysets indfaldsvinkel. De fleste linser til LED'er består af enten akryl (PMMA) eller polycarbonat (PC). Tabet i en typisk linse er ca. 10 % fordi lyset passerer 2 materialeovergange. Det præcise tab kan beregnes vha. Fresnels formler.

Ved brug af reflektorer afhænger lystabet af det materiale, reflektoren består af. Eksempelvis vil en blank aluminiumsreflektor have et tab på ca. 10 %.

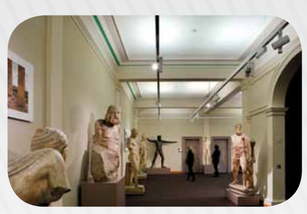
Projektet (PSO 340-044) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU- Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, NRGi Rådgivning A/S og Kunstakademiets Arkitektskole.

MELIA GRAND PALACIO DE ISORA
Tenerife, Spanien
Foto: Philips

HEINEKEN STORE
Amsterdam, Holland
Foto: Philips

PARKLED
Albertslund, Danmark
Design: Mads Odgård
Foto: Philips

LIGHT FIELD
København, Danmark
Foto: Zumtobel



ARCHAEOLOGICAL INSTITUTE
Zurich, Sweitz
Foto: Zumtobel

GRUNDBEGREBER

Optimal anvendelse af LED kræver kendskab til de fire grundbegreber, som beskriver lys. Det drejer sig om: lysstrøm, lysstyrke, belysningstyrke og luminans.

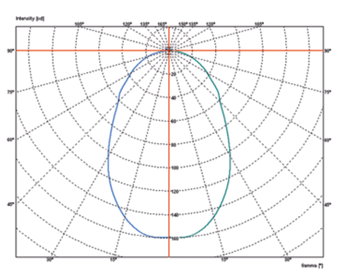
LYSSTYRKE – CANDELA

Lysstyrke er et udtryk for, hvor meget lys der udsendes i en bestemt retning fra en lyskilde eller et armatur. Lysstyrke beskriver udelukkende lysets intensitet og styrke i én given retning.

Lysstyrke er defineret som lysstrømmen (lumen) pr. rumvinkel (steradian). Rumvinkelen angiver det belyste areal (m^2) på en kugleskal med 1 m radius og lyskilden i centrum af kuglen. Enheden for rumvinkler er steradian (sr) og symbolet omega (Ω).

I formler og beregninger betegnes lysstyrke med bogstavet I. Måleenheden for lysstyrke er candela (cd).

Retningsbestemte lyskilder (reflektorlamper) karakteriseres sædvanligvis ved deres spredningsvinkel og ved deres lysstyrke i hovedretningen, dvs. direkte under lyskilden. Lysstyrke anvendes også i lysfordelingskurver. Lysfordelingskurver viser, hvor meget lys der udsendes i forskellige retninger og har således betydning for, hvordan lyskilden eller armaturet fordeler lyset i et rum.



Lysfordelingkurver viser lysets fordeling fra lamper og dermed lysets fordeling i et rum. Her vist i lodret plan. Enheden er cd/klm Eksemplet viser lysfordelingen fra et PH 5 Armatur. Foto: Louis Poulsen A/S

Lyskildens effekt	Lysstyrke
Stearinlys	1 cd
40 W glødepærer	35 cd
35 W stifthalogen	50 cd
35 W metalhalogen	260 cd

Der er stor forskel på lysstyrken fra forskellige lyskilder, selvom de har samme effekt (W).

LYSSTRØM – LUMEN

Lysstrøm angiver den samlede mængde af synligt lys, der udsendes fra en lyskilde eller et armatur. Enheden for lysstrøm er lumen (lm), og den er afpasset efter, hvor følsomt det menneskelige øje er for de forskellige farver af lyset. F.eks. er 1 lumen af rødt lys udtryk for en meget større udsendelse af lys end 1 lumen af grønt lys, fordi et øje er væsentlig mere følsomt for grønt end for rødt lys.

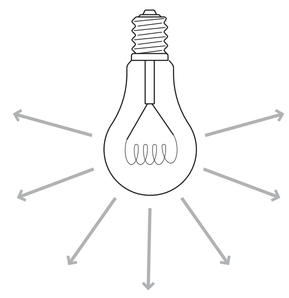
I formler og beregninger betegnes lysstrømmen med det græske bogstav Φ (phi).

Ved udskiftning af f.eks. en glødepære til en sparepære eller LED-erstatningspære skal lysstrømmen være ens for bevarelse at niveauet af belysning.

Lysstrømmen indgår i beregning af armaturers og lyskilders effektivitet. Denne størrelse kaldes også lysudbytte og betegnes med det græske bogstav η (eta).

Lysudbyttet bestemmes som forholdet mellem lysstrøm (lumen) og effekt (Watt). Enheden for lysudbytte er derfor lumen pr. watt (lm/W).

Ud fra oplysninger om lyskildens effektforbrug (W) og lysstrøm (lm) kan lysudbyttet beregnes ved hjælp af formlen:
$\eta = \Phi / P$
Φ = lysstrømmen i lumen
P = er lyskildens samlede effektoptag i Watt inkl. evt. forkobling eller transformer.

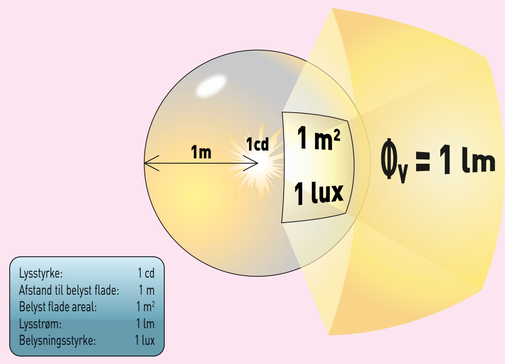


Lysstrøm er et mål for den samlede mængde lys, der udsendes fra et lysende emne. Gengivet fra Sbi-anvisning 219: Dagslys i rum og bygninger. (2008)

Lyskildens effekt	Lysmængde	Effektivitet
40 W glødelampe	420 lm	10,5 lm/W
35 W stifthalogen	600 lm	17,1 lm/W
35 W lysstofrør	3.300 lm	94,2 lm/W
35 W metalhalogen	3.300 lm	94,2 lm/W

Lyskildens effekt (W) angiver kun energiforbruget men ikke hvor meget lys den udsender. Lysmængden afhænger både af lyskildens effekt og type. F.eks. er lysstrømmen fra en 35 W metalhalogen mere end fem gang større end lysstrømmen fra en 35 W stifthalogen.

SAMMENHÆNG MELLEM ENHEDER



BELYSNINGSSTYRKE – LUX

Belysningsstyrken eller illuminansen måles i lux og angiver lysstrømmen (lumen) pr. areal belyst flade.

Lysstrømmen fra en punktformet lyskilde vil dække et større og større areal efterhånden som afstanden øges mellem lyskilde og belyst flade. Derfor falder belysningsstyrken kraftigt med forøget afstand. I denne situation kan afstandsloven benyttes. I følge afstandsloven falder lysstyrken med kvadratet på afstanden, f.eks. falder belysningsstyrken til ¼ ved fordobling af afstanden.

Belysningsstyrke måles med et luxmeter på den flade, der rammes af lyset.

Lysstyrken i forskellige afstande kan beskrives ved keglediagrammer. Et eksempel er vist her. Keglediagrammer viser også størrelsen af det belyste areal bestemt af udstrålingsvinkelen.

I formler og beregninger betegnes belysningsstyrken med bogstavet E.

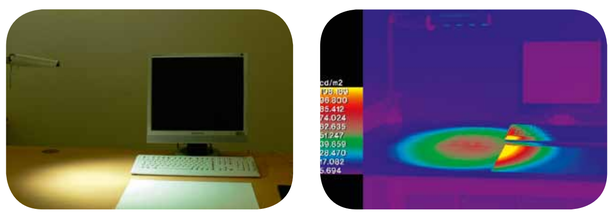
Belysningsstyrken er afgørende for beregning af belysningsanlæg. I standarder for belysning (DS 700) stilles specifikke krav til belysningsniveauer alt efter, hvilke arbejdsopgaver, der er tale om. F.eks. stilles der krav om 500 lux i arbejdsfeltet på en kontorplads, hvorimod der i gangarealer kun stilles krav om 50 - 100 lux.

LUMINANS CD/M²

Luminansen er et mål for, hvor kraftigt en flade lyser. Der kan både være tale om direkte lysende flader fra lyskilder (f.eks. LED og fladskærme) eller indirekte lysende flader (f.eks. arbejdsborde og vejbelægninger). Luminansen er defineret som lysstyrken (Cd) i forhold til arealet (m^2) af den lysende flade.

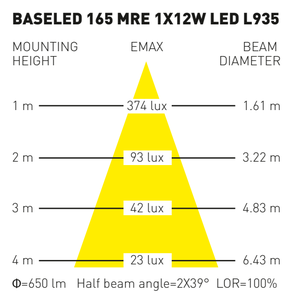
Luminansen af belyste flader afhænger af belysningsstyrken, reflektansen og matheden af den belyste flade. Den beregnes ganske enkelt som lysstyrken målt vinkelret på den lysende flade divideret med fladens areal. Luminansen kan også beregnes for andre vinkler. I så fald vil den lysende flade "ses" under en skrå vinkel og således forekomme at have et andet areal. I den situation vil det være dette areal, som lysstyrken skal divideres med.

Lysets blænding afhænger af luminansen af det lysende objekt og luminansen af objektets omgivelser. Store spring i luminans opleves ubehageligt. Derfor bør forholdet mellem luminanserne på et arbejdsfelt (f.eks. en fladskærm), de nærmeste omgivelser (f.eks. en bordflade) og de fjernere omgivelser (f.eks. vægge, gulve, loft) ikke overstige 10:3:1 Lyset fra en LED udsendes fra et ganske lille areal, der typisk er ca. 1 mm^2. Det giver en høj luminans, der kan virke meget blændende.



Eksempel på luminans-fordeling under en LED-arbejdslampe. Foto: Steen Traberg-Borup.

Lyskilde	Typiske luminanser
Solen	1.600.000.000 cd/m^2
Månen	2.500 cd/m^2
Klar blå himmel	8.000 cd/m^2
PC monitor	150 cd/m^2
TV fladskærm	350 cd/m^2
Hvidt papir ved ca. 300 lux	100 cd/m^2
Lysstofrør T8, 58 W	15.000 cd/m^2
Halogenpære	13.000.000 cd/m^2
LED 1000 mA	50.000.000 cd/m^2



Eksempel på keglediagram med angivelse af belysningsstyrker i forskellige afstande fra armaturet BaseLED. Illustration: Thorn

	Belysningsstyrke
Solskin	100.000 lux
Overskyet	10.000 lux
Kontor	200-500 lux
Fuldmåne	0,25 lux

Eksempler på typiske belysningsniveauer ude og inde.

Projektet (PSO 340-044) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU- Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, NRGi Rådgivning A/S og Kunstakademiets Arkitektskole.

2009

GREGGS
London, England
Foto: Philips

F+P 550
Design: Foster & Partners
Foto: Louis Poulsen

GRASS
Christianshavns Torv, Danmark
Design: Christian Christensen / Foto: Philips

UDENDØRSBELYSNING
Stockholm, Sverige
Foto: Fagerhult

SCANDIC PALACE HOTEL
København, Danmark
Foto: Philips

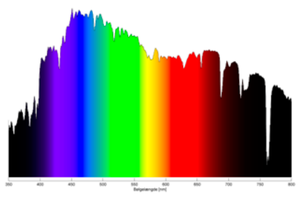
LYS OG FARVER

Vores øjne er igennem tiderne tilpasset lyset fra solen. De er følsomme overfor lys i det synlige spektralområde fra det blå til det røde område, og er mest følsomme for grønt-gulligt lys, netop hvor lyset fra solen er kraftigst.

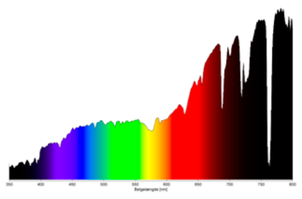
DAGSLYS

Dagslys består næsten ligeligt af alle farver i det synlige spektralområde, men farvesammensætningen varierer dog meget i løbet af en dag. Midt på dagen er der mere blåt lys og ved solopgang/solnedgang er der en overvægt af rødlige farver.

Farvetonen midt på dagen kan beskrives med en farvetemperatur på ca. 6600K, mens solopgangen har en farvetemperatur på ca. 4100K.



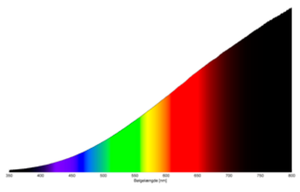
Dagslys klar blå himmel. Ca. 6600 K.



Dagslys ved solopgang ca. 4100 K.

GLØDEPÆRER

Lyset fra glødepærer indeholder alle farver i det synlige spektralområde men med en overvægt af rødlige farver og tillige meget infrarødt lys. Dette giver varmestråling og er grunden til at glødepærer har en meget lav energieffektivitet i forhold til frembringelse af synligt lys. En glødepære har en farvetemperatur på ca. 2700K.

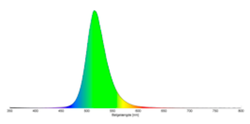


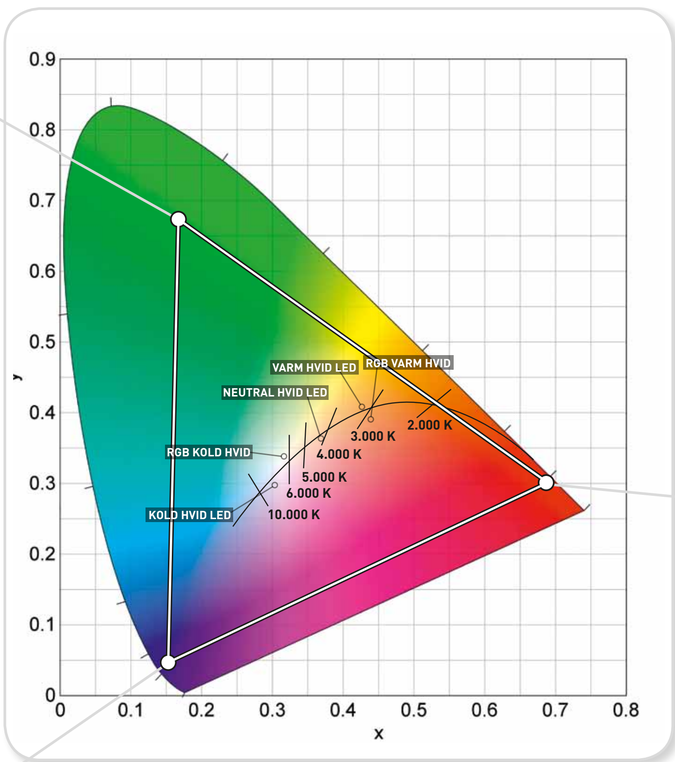
40 W glødepære, 2650 K. Ra 99.

FARVETREKANTEN

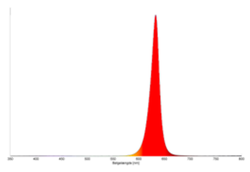
Farvediagrammet beskriver, hvordan øjnene opfatter de farver af lys, som vi kan se. De klare spektralfarver ligger langs randen af farvetrekanten og blandingsfarver som hvidt lys ligger inden i trekanten. Mange forskellige farvesammensætninger af lys kan give det samme farveindtryk og dermed samme position i farvediagrammet, men de har ikke samme farvegengivelse. Du har sikkert selv oplevet, at farverne af et stykke tøj i et prøverum ser ud på én måde, men fremtræder helt anderledes i dagslys.

GRØN LED

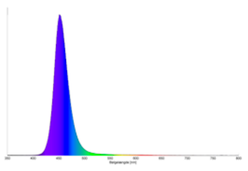




RØD LED



BLÅ LED



FARVETEMPERATUR

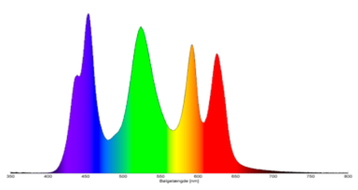
Farvetemperaturen benyttes til at beskrive farvetonen af hvidt lys. Hvis man opvarmer en glødetråd, vil den først lyse rødligt for derefter at blive hvidlig og sluttelig blålig hvid ved høje temperaturer. Farveindtrykket af lyset fra et opvarmet legeme følger kurven, der er tegnet i farvediagrammet med de angivne temperaturer.

Hvidt lys fremkommer ikke altid ved opvarmning af et legeme, og i de tilfælde tildeles lyset en korreleret farvetemperatur, som er den temperatur et opvarmet legeme skal have for at give samme farveindtryk.

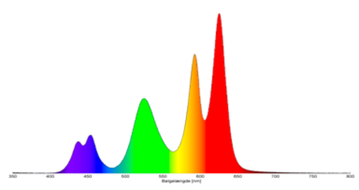
Vær opmærksom på modsætningsforholdet i at: det lys som vi opfatter og beskriver som værende varmt (f.eks. lys fra en glødepære), har en lav farvetemperatur, medens det lys, vi opfatter og beskriver som værende koldt (f.eks. dagslys),har en høj farvetemperatur.

RGB-TEKNOLOGI

Ved at blande lys fra LED'er med farverne rød, grøn og blå er det ved at justere styrken af disse muligt at generere lys med farver, der ligger indenfor den hvidt markerede trekant i diagrammet og dermed også hvidt lys. Dette kaldes RGB-teknologi. Normalt benytter man dog flere farver for at opnå en bedre farvegengivelse. Herunder er vist to farvesammensætninger, hvor der er benyttet 6 forskelligt farvede LED'er til at opnå koldt og varmt hvidt lys med en god farvegengivelse.



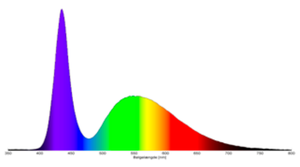
RGB kold hvid, 6300K, Ra 92.



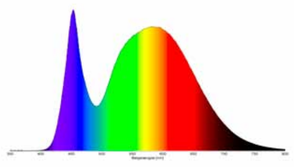
RGB varm hvid 2900K, Ra 87.

HVIDE LED'ER

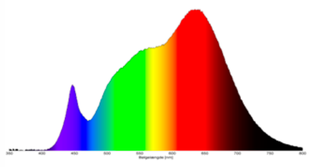
En hvid LED er faktisk en blå LED, som sender lyset igennem et fosforescerende materiale. I dette materiale sker en konvertering af noget af det blå lys, som omdannes til lys i det grønne, gule og røde spektralområde. En hvid LED har således altid en peak i det blå spektralområde, samt mere eller mindre af hhv. grønt og rødt lys. Herunder ses nogle forskellige farvesammensætninger for hvide LEDer svarende til vidt forskellige farvetemperaturer.



Kold hvid LED. 7800K, Ra 71.



Neutral hvid LED 4300K, Ra 84.



Varm hvid LED, 3200K, Ra 96.

FARVEGENGIVELSE

Farveindtrykket eller fremtoningen af et farvet objekt vil afhænge af farvesammensætningen af lyskilden, der belyser objektet. Du har sikkert selv oplevet, at farverne af et stykke tøj i et prøverum ser ud på én måde, men fremtræder helt anderledes i dagslys. Man benytter Ra-indekset til at beskrive en hvid lyskildes farvegengivelsesegenskaber. Dette indeks beskriver forskellen i farveindtryk af et farvet objekt belyst hhv. med den hvide lyskilde og en referencelyskilde. Som referencelyskilde benyttes dagslys eller lys fra en glødetråd med den samme farvetemperatur. Otte standardfarver benyttes til bestemmelsen af Ra-indekset.

Lys fra glødepærer og dagslys har pr. definition en perfekt farvegengivelse og et Ra-indeks på 99-100, idet de har næsten samme farvesammensætning som referencelyskilderne. Jo større forskel i farveindtryk af farveobjekterne jo mindre Ra-indeks og dårligere farvegengivelse. I Danmark har vi et krav om et Ra-indeks på minimum 80 til arbejdspladsbelysning.

Disse otte standardfarver benyttes til bestemmelse af Ra-indekset.

Projektet (PSO 340-044) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU- Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, NRGi Rådgivning A/S og Kunstakademiets Arkitektskole.

2010

RANDERS BIO
Randers, Danmark
Foto: Light Makers

KØLEMONTRE HOS SHELL
Danmark
Foto: Philips

DAM AUDITORIET, PANUM INSTITUTET
København, Danmark
Foto: Thorn Lighting

NORDWESTHAUS
Bodensøen, Østrig
Foto: Zumtobel

TRAPPEBELYSNING
Foto: Fagerhult

LYSFORDELING FRA LED ARMATURER

Lyset fra LED-armaturer kan have en markant skyggedannelse samt være blændende. Begge dele kan dog minimeres med det rette design.

DESIGN
LED'er giver armaturdesigneren helt nye muligheder i kraft af LED'ens begrænsede dimensioner, indbygningsmuligheder, gode farveegenskaber og lille energiforbrug. Der vil dog også være nye begrænsninger, især i forbindelse med at aflede varmen fra LED'en samt finde plads til strømforsyningen.

LYSFORDELING
Det lille lyspunkt fra en LED muliggør nøjagtig styring af lysets fordeling vha. enten linser eller reflektorer. Til gengæld kan det være vanskeligt at belyse et større område.

Lyspunktets lille størrelse kan give anledning til blænding, og derfor kan afskærmning være nødvendig. En måde at mindske blænding på er ved at diffusere lyset.

Den nemmeste måde at opnå diffust lys på er at placere LED'en bag en matteret plade. Denne vil dog normalt give anledning til stort lystab i størrelsesordenen 35 % - 40 %. En stor afstand mellem LED og matteret plade vil give en jævn lysfordeling på den matterede plade. I modsat fald vil de enkelte LEDer fremtræde som tydeligt lysende punkter.

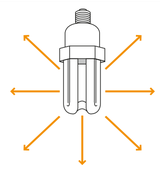
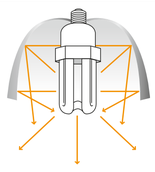
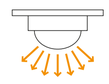
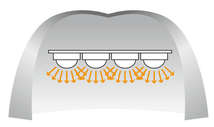
SKYGGER
Høj kontrast- og enkel skyggedannelse er væsentlige parametre, når der arbejdes med lys.

Hver LED kaster en skygge. To LED'er giver 2 skygger, osv. Et armatur med mange LED'er vil give lige så mange skygger som der er LEDer. Som effektbelysning kan det være interessant, men i forbindelse med arbejdsbelysning kan det være generende med så mange skygger.

I forbindelse med skrivning, håndtering af værktøj m.m. er det vigtigt kun at have én hovedskygge som vist på billedet. En enkel skyggedannelse er med til at "lokalisere" genstande. Mange skygger vil derimod sløre opfattelsen af f.eks. papirer eller arbejdsemner.

ARMATURERS EFFEKTIVITET
Et armatur har flere opgaver som f.eks. at fastholde lyskilderne og fordele lyset bedst muligt ved hjælp af reflektorer og gitre. En sædvanlig downligt med rundstrålende kompaktlysstofrør vil give anledning til tab af lyset i form af refleksionstab fra reflektorens overflade. Lyskilden vil tilmed skygge for sine egne stråler og en del af lyset vil ramme ved siden af reflektoren.

LED'er er retningsbestemte lyskilder og lyset herfra kan derfor dirigeres direkte mod målet uden væsentlige tab.

LYSKILDE	LYSKILDE EFFEKTIVITET	ARMATUR VIRKNINGSGRAD	SYSTEMETS SAMLEDE EFFEKTIVITET
KOMPAKT-LYSSTOFRØR	 65 LM/W	 54%	35 LM/W
LED	 58 LM/W	 77%	44 LM/W

LYSFORDELING MED LED-DOWNLIGHTS
Eksemplerne viser en simuleret lysfordeling i et kontor på 6x9x3 m ved brug af LED-downlights med forskellige lysfordelingskurver.

PHILIPS LUXSPACE BBS481

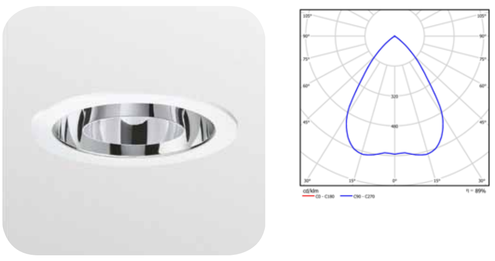


Foto og lysfordelingskurve for LuxSpace BBS481.

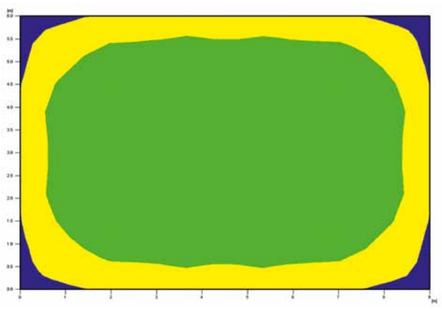
PHILIPS SPOTLED 3 25D BBG490

Foto og lysfordelingskurver for Philips SpotLED 3 med 25° spredningsvinkel.

I eksemplerne er armaturerne arrangeret i tre rækker med fem armaturer i hver række. Til sammenligning er lysfordeling – og mønster vist på gulvfladen og i isolux-diagrammer.

PHILIPS LUXSPACE BBS481

Radiance-simulering af lysfordeling på gulvet med LuxSpace armaturet.

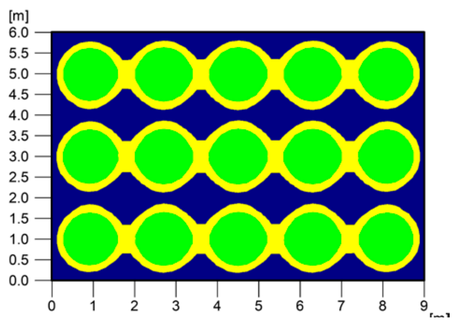


Isolux-diagram. Diagrammet viser, at der kan opnås en meget jævn lysfordeling med de valgte armaturer.

Der er et installeret forbrug på 276 W svarende til 5,11 W/m². Det samlede lysudbytte er på 16500 lumen. Den maximale belysningsstyrke på gulvet er 211 lux.

PHILIPS SPOTLED 3 25D

Radiance-simulering af lysfordeling på gulvet med SpotLED 3 25D armaturet.



Isolux-diagram. Diagrammet viser, at der med en spredningsvinkel på 25° er en koncentreret lysfordeling direkte under hver spot.

Der er installeret forbrug på 150 W svarende til 2,78 W/m². Den samlede lysstrøm er 6450 lumen. Den maximale belysningsstyrke på gulvet er 141 lux.

KONTRASTER
Et motiv eller en genstand kan opleves med en stor eller lille kontrast, alt efter hvilken lyskilde der anvendes. Kontrastens omfang afhænger af, om lyset kan tilskrives en punktformig lyskilde. Solen er en sådan lyskilde, og genstande i klart solskin vil fremstå med stor kontrast og med en hård og præcis skygge-tegning.

Objekterne opleves her med en stærk kontrast. Mange detaljer kan ses.

Modsat vil en genstand belyst af en grå eller hvid himmel fremstå med en blød og diffus skyggetegning, da lyset kommer fra alle sider. Kontrasten er tilsvarende lille. Himlen kan betragtes som en uendelig udstrakt lyskilde. Diffus belysning fra en enkelt LED vil også give anledning til en svag kontrast.

Objekterne opleves her med en svag kontrast. Færre detaljer kan ses.

Projektet (PSO 340-044) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU- Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, NRGi Rådgivning A/S og Kunstakademiets Arkitektskole.

TIDSLINJE FOR LED-BRUG

2003

TRAFIKLYS
Danmark
Foto: DCL

OLED INSTRUMENTBRÆT
Tyskland
Foto: Osram

2004

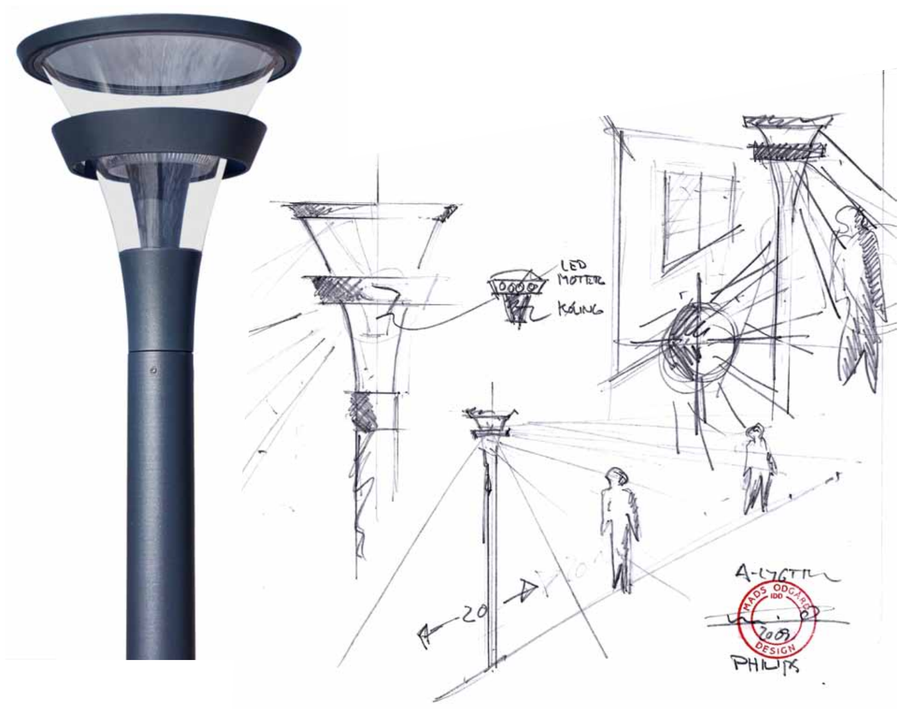
GANGBRO
Steinhausen, Schweitz
Foto: Osram

KØLERUM
Chr. Hansen
København, Danmark
Foto: Lumodan

Q8 TANKSTATION SKILTNING
Danmark
Foto: Osram

ARMATURDESIGN MED LED

Det optimale LED-armatur giver en god lyskvalitet og beskytter LED'erne mod overophedning.



ParkLED. Fra skitse til færdigt produkt (Philips). Design og foto: Mads Odgård.

DESIGN

Mulighed for et nyt og anderledes formsprog, som følge af LEDens lille størrelse.

Muligt at vælge mange forskellige farvetemperaturer og mulighed for farvet lys.

Husk dog, at en LED kræver køling, og at der derfor skal være plads til en køleflade. Varmeafgivelsen fra en LED svarer til den påtrykte elektriske effekt. Kølefladen skal sikre, at LEDens "junction" temperatur ikke overskrider den maksimalt tilladte værdi. Kølingen bestemmer levetiden. Jo lavere temperatur desto længere levetid.

LYSTEKNIK

LED'er sender fortrinsvis lyset ud i en halvværdivinkel (fwhm) på max 140°. Lyset er altså som udgangspunkt retningsbestemt. Det giver mulighed for en høj armaturvirkningsgrad.

Lyset fra en diode kan styres ved hjælp af reflektorer og linser, som sidder direkte på den enkelte diode. Det optiske system giver anledning til et tab af lysmængden på minimum 10%.

LYSKVALITET

Da lyset kommer fra små punkter, er der risiko for blænding. Armaturet bør derfor udformes og afskærmes, således at blænding undgås.

Skyggetegningen afhænger af, hvor diffust eller præcist lyset er. Anvendelse af mange LEDer i samme armatur vil give mange skygger.

Lysets farvetemperatur og farvegengivelse er desuden afgørende for lysets komfort. De bedste LEDer har en farvegengivelse (Ra værdi) på over 90 ved en farvetemperatur på ca. 3000 K.

Dioderne forsynes med strøm fra af en strømforsyning. Der er øjeblikkelig tænding.

LYSUDBYTTE

Tjek hvilke dioder, der findes på markedet. Lysmængden (lumen) varierer meget afhængig af LEDens temperatur. Lysstrømmen pr. LED er stadig meget begrænset, og der skal adskillige LEDer til at give samme lys som f.eks. en gammeldags 60 W glødepære. Husk at medregne effekttabet i driveren, når det samlede effektforbrug for armaturet skal gøres op.

KOMPONENTKVALITET/LEVETID

Dioder trives bedst i kolde miljøer. Kølige omgivelser forlænger levetiden. P.t. går udviklingen så stærkt, at LED-komponenterne afløses af nye og bedre efter ganske kort tid. Så selv om dioderne har en lang levetid, bør man i sit design overveje, hvordan LED-enheden kan skiftes. Det vil ofte kunne betale sig, når LED'en kommer i en ny og mere effektiv generation.

DRIFT OG VEDLIGEHOLD

System/moduler: ikke hensigtsmæssigt med udskiftning af enkelte LED'er. Hele den optiske enhed bør kunne skiftes ud.

Varmeafledning: har stor indvirkning på levetiden og lysudbyttet.

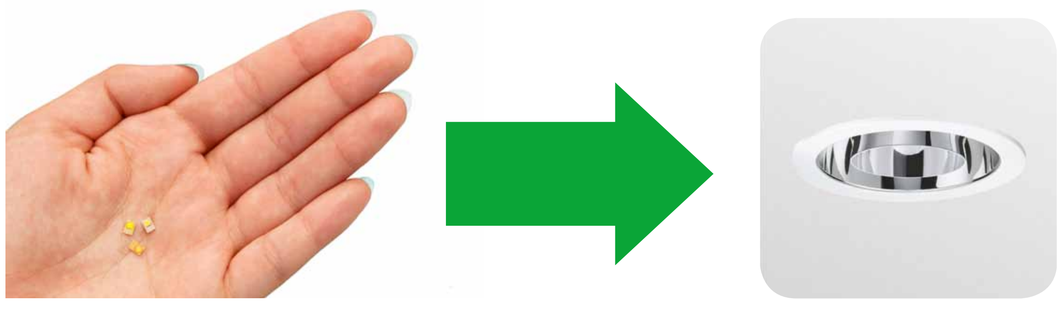
KLASSIFIKATIONER OG MÆRKING

Der findes følgende mærkninger for armaturer:

1. **IP-klassifikation / kapslingsklasser:** Tætheden af armaturet. Eksempelvis stilles der krav til tætheden af indkapslingen på armaturer, der benyttes udendørs og i vådrum. Det er meget vigtigt at fugtbeskytte LEDer, men beskyttelsen må ikke hindre LEDens afkøling, da dette vil gå ud over levetiden
2. **F-mærkning:** F-mærket betyder, at armaturet kan monteres på et almindeligt brændbart materiale, som kan være et træbaseret materiale på mere end 2 mm og som iht. produktstandarden er prøvet uden isolering omkring prøvekassen
3. **Elektrisk isolation:** Klasse I, klasse II eller klasse III. Angiver, hvor godt armaturet er isoleret mod elektriske stød
4. **IK mærkning:** Vandalklasse. Angiver hvor stort et mekanisk stød, som armaturet kan tåle
5. **Strømforsyning:** Elektrisk sikkerhed, virkemåde for opnåelse af optimal funktion mellem LED og forsyning samt EMC (elektromagnetisk kompatibilitet). EMC vedrører radiostøj og sikrer, at armaturet hverken forstyrrer andre armaturer eller selv er påvirkelig
6. **Personsikkerhed:** ENEC bestemmelserne
7. **CE mærkning:** Armaturet skal overholde Sikkerhedsstyrelsens gældende standarder.

PATENTER

Husk at tjekke, om systemet er i konflikt med gældende patenter, f.eks. via www.google.com/patents. Hvis systemet er omfattet af et patent, skal patentindehaveren have royalties af salget.

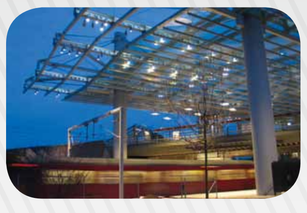


SAMARBEJDSPARTNERE

Projektet er støttet af ELFORSK og gennemføres af Dansk Center for Lys, DTU-Fotonik, Risø og Statens Byggeforskningsinstitut SBi, AAU med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, NRGi Rådgivning A/S og Kunstvakademiets Arkitektskole

Projektet (PSO 340-044) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU- Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, NRGi Rådgivning A/S og Kunstakademiets Arkitektskole.

2005 — **2006**



FLINTHOLM STATION
København, Danmark
Foto: Osram

LED-BELYSNING I OPERAEN
København, Danmark
Foto: DCL

KASTRUP SØBAD
Kastrup, Danmark
Foto: Erco Lighting

THEATER ZAGREB
Zagreb, Kroatien
Foto: Osram

BAR I FODBOLDKLUBBEN PSV
Eindhoven, Holland
Foto: Philips

KVALITETSVURDERING AF ARMATURER MED LED-LYSKILDER

INTRODUKTION

For at støtte udviklingen og udbredelsen af LED er der i Elforsk-regi gennemført en kvalitetsvurdering af udvalgte LED-produkter og belysningsanlæg.

FORMÅL

Projektet har haft to formål: Udvikling af vurderingskriterier for LED-baserede produkter og kvalitetsvurdering af udvalgte LED-produkter.

Dette Elforsk støttede PSO-projekt (339-040) er udført i perioden 2007-2009 af Dansk Center for Lys som projektleder i samarbejde med DTU-Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU. Desuden deltog en række virksomheder og undervisningsinstitutioner: Kunstakademiets Arkitektskole, Eksperimentarium, Louis Poulsen Lighting, Light Makers, Dong Energy samt Philips Lys og Osram.

Tunnelbelysning Albertslund. Bemærk lysets skarpe afsgrænsning. Foto: Steen Traberg-Borup.

På de to billeder ses ,hvor forskelligt hhv. væg- og loft-belysningen i et af de undersøgte LED-udelysanlæg gengiver den samme violette farve. Foto: Steen Traberg-Borup.

BAGGRUND

Baggrunden for projektet var, på trods af lysdiodernes hastige udvikling, at tage et øjebliksbillede af de visuelle forhold omkring LED og sammenholde disse med en række lystekniske parametre. Tekniske forhold har tidligere været målt i en række undersøgelser, men få havde fokuseret på lysdiodernes visuelle egenskaber.

Projektet er 1. del af et projekt med formål at udbrede kendskabet og mulighederne i LED-teknologien.
2. del fokuserer på formidling og undervisning i teknologien, energibesparelsesmulighederne og de nye design- og arkitektoniske muligheder, som teknologien giver.
2. del består af en række undervisningsplancher og demonstrationsmontrer.

VURDERINGSKRITERIER

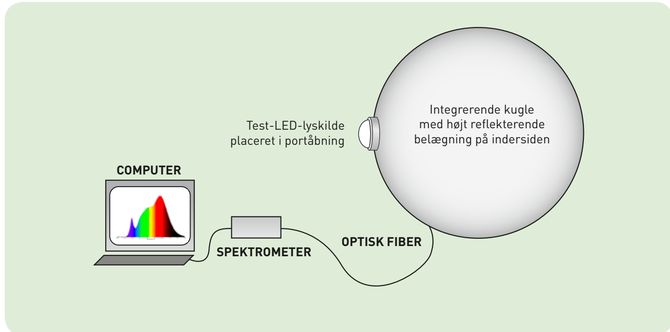
De lyskilder og armaturer, der er undersøgt i projektet, er fra 2007 og 2008. Størstedelen er desuden førstegenerationsprodukter. Efterfølgende generationer er enten på vej eller findes allerede på markedet, ofte i redesignede og forbedrede udgaver. Der er imidlertid ingen tvivl om, at lyskvaliteten stadig er meget svingende. Derfor er der brug for en kritisk vurdering.

Produkterne på det kraftigt voksende LED-marked markedsføres med meget forskellige og ofte mangelfulde data for levetid, farvegengivelse mv. Alle undersøgte armaturer og lyskilder er derfor blevet undersøgt på et lysteknisk laboratorium under ens forhold. De mange nye leverandører gør det vanskeligt for almindelige forbrugere at tage stilling til det brogede udbud.

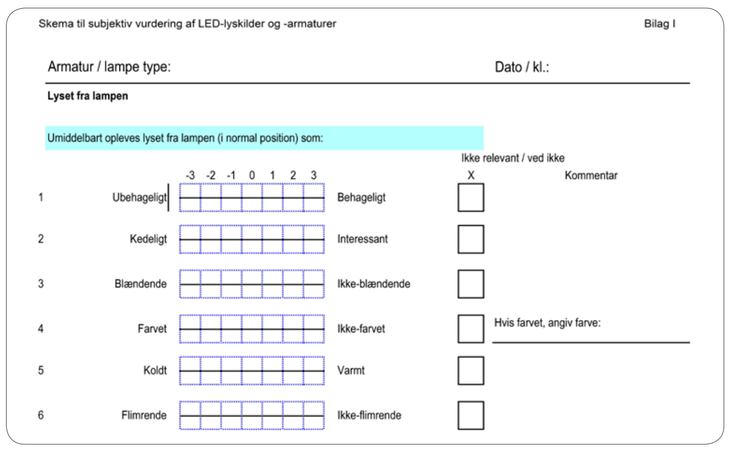
KRITERIER TIL VISUEL VURDERING

Som en væsentlig del af projektet er udviklet kriterier til visuel vurdering af LED-lyskilder og LED-armaturer. Projektets resultater viser med al tydelighed, at netop den visuelle vurdering er et vigtigt element i en samlet vurdering af lyskilder, armaturer og anlæg med LED. De udviklede vurderingskriterier kan fremover benyttes til vurdering af såvel LED-belysning som belysning med andre typer lyskilder.

Leaf Light. Skrivebordslampe.



Objektiv måling. Skitse af opstilling til måling af spektralfordeling af det totale lys fra en lyskilde der opsamles i en integrerende kugle.



Skema til subjektiv vurdering af LED-lyskilder og -armaturer — Bilag I

Armatur / lampe type: — Dato / kl.:

Lyset fra lampen

Umiddelbart opleves lyset fra lampen (i normal position) som:

		-3 -2 -1 0 1 2 3		Ikke relevant / ved ikke X	Kommentar
1	Ubehageligt		Behageligt	☐	
2	Kedeligt		Interessant	☐	
3	Blændende		Ikke-blændende	☐	
4	Farvet		Ikke-farvet	☐	Hvis farvet, angiv farve:
5	Koldt		Varmt	☐	
6	Flimrende		Ikke-flimrende	☐	

Subjektiv bedømmelse. Udpluk af spørgeskema.

OBJEKTIVE MÅLINGER OG SUBJEKTIVE VURDERINGER

I LED LYS Laboratoriet hos DTU Fotonik på Risø er gennemført lystekniske målinger på i alt 22 LED-lyskilder og LED-armaturer.

En af projektets hovedopgaver har været at foretage en kvalitetsvurdering af de undersøgte lyskilder og armaturer. Her er dels vurderet armaturet og dets funktioner, herunder betjening og justering, dels selve lyset fra armaturet eller lyskilden, dvs. lysfordeling, blænding, lysfarve, farvegengivelse, skyggetegning, flimmer mv.

Derudover har et bredt sammensat ekspertpanel vurderet fem forskellige udendørs belysningsanlæg med LED.

RESULTATER

Projektet har vist, at producenter af LED-lyskilder og LED-armaturer bør arbejde videre med de problemer med små lysmængder, multiple skygger og støj, som blev afdækket under de lystekniske målinger.

Det vil formentlig tage en række år, før lysdioder bliver et simpelt og billigt standardprodukt, der også økonomisk kan konkurrere med lysstofrør, sparepærer og halogenlyskilder.

Selv om markedet for simple erstatningslyskilder med E27 og E14 gevind formentlig vil udvikle sig kraftigt, findes det største potentiale for god og energieffektiv belysning i dedikerede løsninger, som udvikles fra grunden med henblik på den optimale udnyttelse af LED-teknologiens særlige egenskaber.

Som fremtidens lyskilde rummer LED-teknologien et stort potentiale for energieffektivisering.

Projektet (PSO 339-040) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU-Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, Louis Poulsen Lighting, Kunstakademiets Arkitektskole, Dong Energy og Eksperimentarium.

2007

TORONTOBLINK
Danmark
Foto: Dansk Trafik Teknik

SKILTNING
England
Foto: Osram

LED-LYS PÅ TRAPPE
Foto: Osram

LYSREKLAME
Frankrig
Foto: Osram

MUSEUM ZEUGHAUS
Mannheim, Tyskland
Foto: Zumtobel

LYSLØJPE I MØLLEPARKEN
Aalborg, Danmark
Foto: Gunver Hansen/Philips

KVALITETSVURDERING AF ARMATURER MED LED-LYSKILDER

METODER FOR VURDERING

De hårde lysteknisk egenskaber er målt på et målelaboratorium. Som noget nyt omfatter undersøgelsen også en vurdering af de bløde værdier som for eksempel udseende, synskomfort og betjening.

SUBJEKTIVE VURDERING

Den subjektive vurdering, eller vurdering af såkaldte bløde værdier, tager udgangspunkt i følgende forhold:

- Lyset fra lampen (blænding, koldt/varmt, farve, farvegengivelse, formtegning, skyggedannelse, kontrastgengivelse, farvevariation over det belyste område, fordeling af lys, flimren af lyset)
- Betjeningskomfort ved styring af lysstyrke, farve og afbryder. Herunder om man risikerer at brænde fingrene pga. varme overflader.
- Æstetik og udseende (tiltalende eller ej, funktionel eller ej)

Spørgsmålene besvares ved at give en karakter mellem -3 og +3. Der er desuden plads til eventuelle kommentarer ud for spørgsmålene. Svarende er samlet i et skema for hver lyskilde, hvor det desuden fremgår, hvordan den enkelte lyskilde ligger i forhold til de øvrige lyskilder.

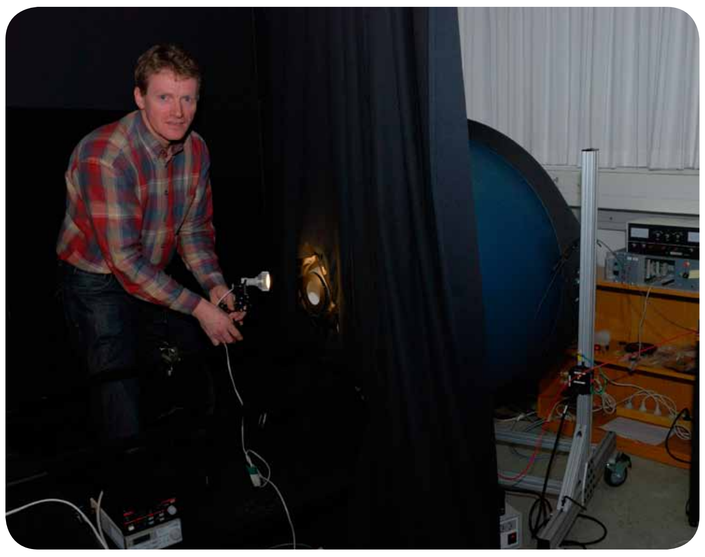
Frugt, grøntsager og en tennisbold blev bla. brugt ved vurdering af farver, formtegning, skygger og kontraster. Foto: Steen Traberg-Borup.

OBJEKTIVE VURDERINGER

Lystekniske målinger på LED-lyskilder og LED-armaturer er udført i LED LYS Laboratoriet hos DTU Fotonik på Risø. I LED LYS Laboratoriet er målt den samlede strålingsstrøm fra lyskilderne og den spektrale effektfordeling. Ud fra disse målinger kan en række fotometriske og kolorimetriske parametre som lysstrøm, farvekoordinater, korreleret farvetemperatur og Ra-indeks beregnes. Derudover kan lyskildens effektivitet beregnes ud fra måling af lyskildens effektforbrug. Desuden er den kromatiske afvigelse beregnet, dvs. hvor meget farven af lyset afgiver fra en optimal referencelyskilde. En stor afvigelse vil give lyset et grønligt eller rødligt skær samt antyde en stor usikkerhed af det beregnede af Ra-indeks. Ydermere er energiforbrug og effektfaktor (også kaldet cos phi) målt.

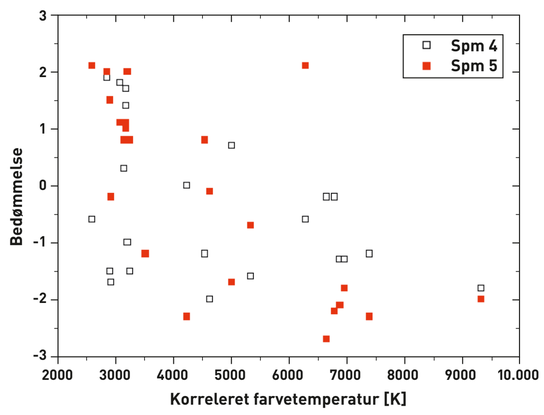
Da der afsættes en del varme i en LED-lyskilde og lysstrømmen fra lyskilden afhænger af temperaturen, er omgivelsestemperaturen ved målingerne, T_{amb}, angivet. Alle lyskilder har været placeret i fri luft under målingerne, og målingerne er foretaget, når lyskilden har opnået sin stationære tilstand. Endvidere er angivet temperaturen T_{bulb} af LED-lyskildens ydre metaldel, efter den har nået et stabilt niveau.

Lysmåling på LED-lyskilder i DTU Fotoniks LED LYS Laboratorium, spektroradiometrisk måling af total lysstrøm fra en LED pære i en 1 m diameter integrerende kugle opstilling. Foto: DTU Fotonik.



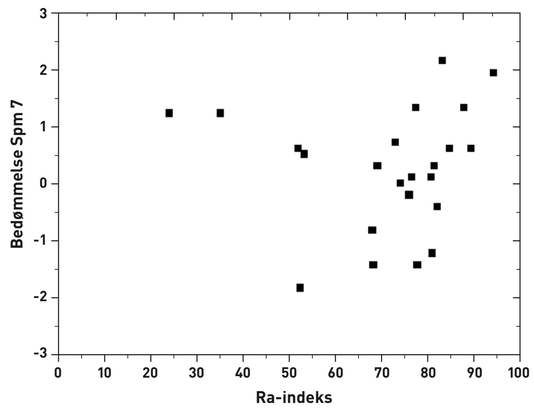
SAMMENHÆNG MELLEM SUBJEKTIVE OG OBJEKTIVE VURDERINGER

I projektet er også foretaget en afdækning af sammenhængen mellem de subjektive og objektive vurderinger. Nogle af disse sammenhænge er vist herunder.



Lysets farve
I den subjektive vurdering indgår spørgsmålene: "Lyset virker ikke farvet eller farvet" (spsm. 4) og "Lyset virker varmt eller koldt" (spsm. 5)

Figuren viser svarene i forhold til den målte farvetemperatur. En lav farvetemperatur giver en god bedømmelse.



Farvegengivelse
Figuren viser den subjektive bedømmelse af farvegengivelsen i forhold til det målte Ra-indeks. Et højt Ra-indeks lader til at hænge sammen med en god bedømmelse, men der er en del spredning af resultaterne.

VURDERING AF UDELYS MED LED-LYSKILDER

Fem udendørs belysningsanlæg med LED er blevet vurderet af et ekspertpanel. Panelet bestod af eksperter fra udvalgte belysningsleverandører, Eksperimentarium, Kunstakademiets Arkitektskole, Elsparefonden samt Statens Byggeforskningsinstitut SBI Ålborg Universitet, DTU Fotonik og Dansk Center for Lys. Vurderingen fandt sted i marts måned 2008 i tidsrummet kl. 19-21, dvs. efter mørkets frembrud.

Bedømmelsen tog udgangspunkt i følgende forhold:

- Lysets kvalitet (lysfordeling, blænding, generende skyggedannelse, lysfarve, farvegengivelse)
- Sikkerhed - tryghed – tilgængelighed (bidrager belysningen til tryg og sikker færden)
- Arkitektonisk kvalitet i plan- og opgaveløsning (arkitektonisk udtryk, lyssætning og placering i forhold til omgivelserne)
- Designkvalitet i armaturerne (samspillet mellem armaturernes design og omgivelserne)
- Vedligeholdelse (særlige forhold ved armaturet eller udførelsen af anlægget)

Rytterstatuen på Højbro Plads. Det opadrettede lys giver en dramatisk effekt, som fremhæver statuens kunstneriske udtryk. Det vurderes dog, at der er for meget lys på hestens bug i forhold til hoved på mand og hest. Hestens skygge kan ses på de omkringliggende bygninger.
Foto: Steen Traberg-Borup

Projektet (PSO 339-040) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU-Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, Louis Poulsen Lighting, Kunstakademiets Arkitektskole, Dong Energy og Eksperimentarium.

2008

GADEBELYSNING
Horsens, Danmark
Foto: LedTraffic og Energi Horsens

ALMENBELYSNING
Paris, Frankrig
Foto: Philips

GLOBE PÅ TAGET AF HOTEL
Hamburg, Tyskland
Foto: Osram

ADELIE
Danmark
Design: Morten Lyhne
Foto: Thorn Lighting

NYBORBROERNE
Danmark
Lysdesign: ÅF - Hansen & Henneberg.
Foto: Lars Bahl.

KVALITETSVURDERING AF ARMATURER MED LED-LYSKILDER

GENERELLE OBSERVATIONER

Undersøgelsen viser store forskelle i lysudbyttet og i LED'ernes evne til at gengive farver.

ENERGIEFFEKTIVITET OG LYSMÆNGDE ER AFGØRENDE

I projektet er undersøgt en lang række forskellige subjektive og objektive belysningsparametre. Energieffektiviteten (lysudbytte) og lysmængde er væsentlige for udbredelsen af LED-lyskilder og LED-armaturer. Og her er de undersøgte løsninger ikke helt i top.

LYSUDBYTTE

Der blev målt store forskelle i lysudbyttet. Den dårligste havde et lysudbytte på kun 5 lm/W og var derved ringere end glødepærer, mens den bedste med 45 lm/W lå tæt på sparepærers lysudbytte.

Effektiviteten af størstedelen af de undersøgte LED-erstatningslyskilder er på niveau med halogenlyskilder, dvs. ca. 15 lm/W. De undersøgte erstatningslyskilder giver generelt for lidt lys, typisk mellem 1/3 og 1/2 af hvad vi er vant til fra en 60 W glødepære. Det samme gælder for de armaturer, hvor lysstrømmen er blevet målt.

FARVEEGENSKABER

Af de 22 testede og vurderede erstatningslyskilder og armaturer kunne kun et fåtal leve op til de krav til farveegenskaber, der stilles til belysning på kontorarbejdspladser efter DS700. Der var store forskelle i LED lyskildernes evne til at gengive farver, der måles efter Ra-indeks. Den laveste værdi var 24, mens den højeste var 92. Kun 5 af de 22 havde et Ra-indeks på mindst 80, som er minimumskravet i DS700 for arbejdspladsbelysning.

Godt halvdelen af de målte LED-lyskilder og LED-armaturer udsendte et koldt, hvid lys med en farvetemperatur over 4000K. Der var en klar tendens til, at de lyskilder og armaturer, der havde den bedste farvegengivelse, også havde den laveste farvetemperatur. Lyskilder og armaturer med høje farvetemperaturer blev generelt vurderet mere negativt end dem med lave farvetemperaturer.

VISUELLE OVERRASKELSER

De undersøgte LED-lyskilder havde betydelige visuelle forskelle med hensyn til lysfordeling, farvevariation i lysplet, flimmer, multiskyggedannelse, lysfordeling, farvetemperatur og farvegengivelsesindeks (Ra-værdi).

For en del af erstatningslyskilderne er der observeret asymmetriske, ikke rotationssymmetriske lysfordelinger, hvilket ikke nødvendigvis er problematisk. Hvis man studerer lysfordelingen for traditionelle lyskilder, som for eksempel reflektorhalogenlamper, er billedet i mange tilfælde det samme. Bedømmelsen af lysfordelinger varierer meget og fordeler sig stort set ligeligt mellem god og dårlig.

Multible skygger

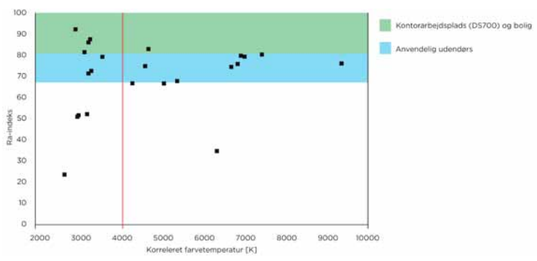
Et andet væsentligt problem handler om skyggetegning. Skyggetegningen af de objekter, der belyses, har betydning for øjets mulighed for at opfatte objektet i relation til dets omgivelser. I de tilfælde, hvor lyset udsendes fra to eller flere klynger af lysdioder i lyskilden eller armaturet, resulterer dette ofte i multiple skygger fra de objekter, der belyses, hvilket kan virke generende.

FYSISKE BEGRÆNSNINGER

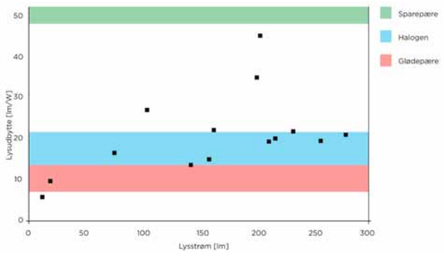
LED-lyskilderne til erstatning af reflektorhalogenlamper er i en række tilfælde fysisk længere end en standard reflektorhalogen. Dette betyder, at de kan rage ud af armaturet, hvilket vil være et problem i nogle sammenhænge. Det vil derfor være hensigtsmæssigt at tænke i nye udformninger af armaturer og lyskilder med LED.

UDENDØRS BELYSNINGSANLÆG

Fem udendørs belysningsanlæg blev undersøgt. Kvaliteten blev bedømt af eksperter til en anelse over middel på en skala fra 1 til 10.



Sammenhæng mellem farvetemperatur og farvegengivelse. En stor del af de undersøgte lyskilder og armaturer har et Ra-indeks under 80. I de to tilfælde, hvor Ra-indekset er meget lavt, er der tale om et armatur, hvor lyset er baseret på RGB (blanding af rød, grøn og blå).



Sammenhæng mellem effektiviteten (lm/W) og lysstrøm (lm). Jo højere effektivitet, jo lavere driftsomkostninger. LED'ernes lysudbytte er sammenlignet med lysudbyttet for sparepærer, halogenpærer og glødepærer. Størstedelen af de undersøgte lyskilder har en effektivitet på niveau med halogenlyskilder.

VARME

LED'er afgiver omtrent lige så meget varme som andre lyskilder med tilsvarende effekt. Men varmen udsendes ind i det underlag, som LED'en er monteret på. Mange andre lyskilder udsender i modsætning hertil varmen som strålevarme, hvor man kan mærke varmen i fri luft. En halogenpære vil f.eks. derfor opvarme det belyste område. Det er vigtigt at lede varmen væk fra LED'er, så den hele tiden har en passende lav temperatur. Høj temperatur afkorter levetiden, mindsker lysudsendelsen og opvarmer underlaget så meget, at man kan risikere at brænde sig på det.

En enkelt af LED-erstatningslyskilderne blev meget varm, men armaturerne havde ikke tilsvarende varmeproblemer.

HYLETONER OG STØJ

Elektronikken i flere af lyskilderne udsendte tydeligt hørbare hyletoner. Nogle lyskilder havde også indbygget en køleventilator, som også kunne afgive en generende støj.

LED'ER KAN KARAKTERISERES VED:

Sammenligning af lyskeglers symmetri. Bemærk koronaen over det belyste område til venstre i billedet. Foto: Steen Traberg-Borup.

- Farvegengivelse
- Lysfarve
- Lysstrøm
- Effektivitet (lysudbytte)
- Flimmer
- Støj
- Lysets udseende og fordeling
- Farvetemperaturvariation i lysplet
- Lyskeglens symmetri
- Temperatur af overfladen og varmeafledning
- Skyggetegning

Projektet (PSO 339-040) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU-Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, Louis Poulsen Lighting, Kunstakademiets Arkitektskole, Dong Energy og Eksperimentarium.

MELIA GRAND PALACIO DE ISORA
Tenerife, Spanien
Foto: Philips

HEINEKEN STORE
Amsterdam, Holland
Foto: Philips

PARKLED
Albertslund, Danmark
Design: Mads Odgård
Foto: Philips

LIGHT FIELD
København, Danmark
Foto: Zumtobel

ARCHAEOLOGICAL INSTITUTE
Zurich, Sweitz
Foto: Zumtobel

KVALITETSVURDERING AF ARMATURER MED LED-LYSKILDER

UDVALGTE PRODUKTVURDERINGER

Der er undersøgt 22 LED-lyskilder og armaturer samt fem udendørs belysningsanlæg med LED. Spændvidden af de undersøgte produkter fremgår af de få udvalgte eksempler, som er vist herunder.

LED-ERSTATNINGSLYSKILDE

PHILIPS ACCENT LED WARM WHITE

Lyskilden har en lav korreleret farvetemperatur på 3212 K, svarende til varm hvidt lys, og et højt Ra-indeks på 87,2.

Den generelle vurdering er positiv, selv om lyset vurderes kedeligt og farvet. Lyset blænder ikke og synes at have en varm farve uden farvevariation og uden flimmer.

Lysfordelingen er meget jævn i et smalt strålefelt, men lyskilden udsender meget lidt lys. Det vurderes, at lyskilden kan anvendes til museum, kontor, butik, hjemme på væg og i reol som spot.

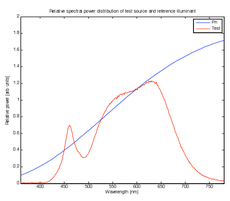
Lyskilden udsender en hyletone og støjer indenfor en afstand af ca. 1 m.

Lyskilden er efterfølgende udgået.

Philips AccentLED WW

Lyskilde: Philips AccentLED WW
Forhandler: Philips
Sokkel: E27
Spænding: 230V
Driftsbetingelser: T_{amb} = 25 °C
T_{bulb} = -
Effekt = 1,7-1,9 W
Lysudbytte = 5,6 lm/W

Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
Strålingsstrøm, Φ = 34,5 mW
Lysstrøm, $Φ_v$ = 10,6 lm

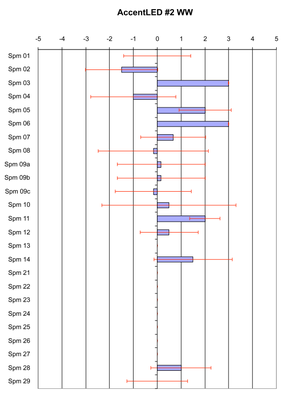


Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 3212 Kelvin
Kromatisk afvigelse (DC): 5,5 10^{-3}
Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 87,2
Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	86,3	
2	Dark greyish yellow	90,4	
3	Strong yellow green	91,9	
4	Moderate yellowish green	84,9	
5	Light bluish green	83,5	
6	Light blue	85,1	
7	Light violet	94,4	
8	Light reddish purple	81,2	
9	Strong red	52,7	
10	Strong yellow	74,7	
11	Strong green	80,7	
12	Strong blue	60,3	
13	Light yellowish pink	86,8	
14	Moderate olive green	94,5	

Subjektiv vurdering af lyskilden:



SKRIVEBORDSLAMPE MED LED

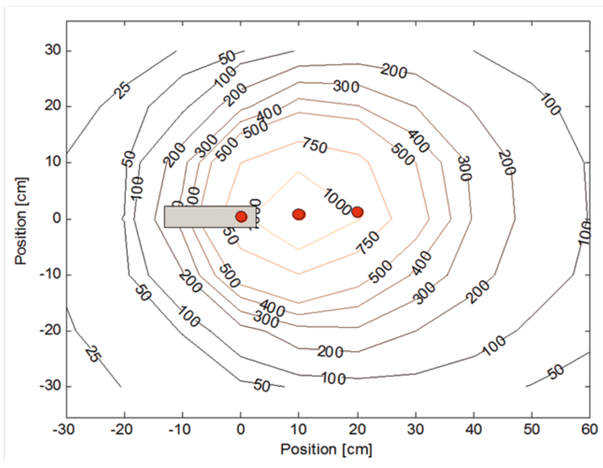
LUXO AIR

Farvetemperatur er 3249 K svarende til varmt hvidt lys, og Ra-indekset er 72,4. Tolerancen for kromatisk afvigelse er overskredet for denne lyskilde, og værdien af Ra indekset er derfor upræcis. Lampen er efterfølgende forbedret.

Arbejdslampen giver en maksimal belysningsstyrke på omkring 1500 lux. Lyset fra lampen vurderes at være en smule ubehageligt og kedeligt, men ellers hverken blændende eller flimrende.

Lyset synes farvet med et grønt stik i kanten af det belyste område og lidt rødligt/gulligt i midten af området , men samlet set vurderes lyset at være varmt.

På trods af at lyset fra lampen giver tredobbelte skygger vurderes formtegningen som acceptabel. Kontrastgengivelse vurderes ligeledes at være rimelig, dog bedst i det kraftigt oplyste midterområde.



Isoluxkurver herover viser den målte belysningsstyrkefordeling [lux] på arbejdsflade belyst af LUXO Air LED arbejdslampe. Det grå rektangel angiver position af lampehoved, som er placeret 50 cm over bordfladen.

LED-SPECIALARMATUR TIL BUTIKKER

TEMPURA, ZUMTOBEL

Armaturet Tempura er primært beregnet til effektbelysning. Farvetemperaturen kan justeres fra 2600 K til 6300 K, svarende til variation fra varmt hvidt til koldt hvidt lys. Farvegengivelsen afhænger af de forskellige indstillinger og ligger meget lavt. Ra-indekset varierer fra 24 til 34.

Generelt vurderes armaturet og lyset positivt. Lyset opleves neutralt, interessant og uden blænding, dog er der store variationer i vurderingerne. Når armaturet er i position med middel spredning, vurderes lyset at være farvet og varmt . Der forekommer ingen flimmer, og farvegengivelsen vurderes som god bortset fra gengivelse af røde farver. Dette på trods af den meget lave Ra værdi. Formtegningen er acceptabel. Lysfordelingen er god uden synlig farvevariation.

Armaturet er nemt at indstille og bliver ikke varmt ved brug. Lysstyrkedæmperen fungerer godt og der er gode muligheder for farvedæmpning.

Armaturet vurderes generelt til at være både tiltalende og funktionelt. Velegnet i butiksvinduer eller som udstillingsspot, hvor farver får brillans.

UDENDØRSBELYSNING MED LED

HØJBRO PLADS, KØBENHAVN

Belysningen på Højbro Plads består dels af gammeldags parklygter med ny indmad, dels af uplights fra Philips med LED, som belyser pladsens rækker af træer. I denne sammenhæng vurderes alene de 44 uplights, som hver er bestykket med 6 stk. K2 LED med koldt hvid lys med tilhørende driver. Effektforbruget er på 20 W pr. armatur.

Lysfordeling og skyggedannelse vurderes positivt. Det kolde lys kolliderer imidlertid med det varme lys fra de omkringliggende lamper og giver forvirring på pladsen. Derudover giver belysningen anledning til kraftig blænding, når man står tæt på armaturet.

Vurderingen af den arkitektoniske kvalitet er overvejende positiv. Dog vurderes belysningen at være til gene for de omkringliggende huse. Designkvaliteten vurderes også at ligge over middel, og armaturerne passer godt til pladsen.

Foto: Steen Traberg-Borup

Projektet (PSO 339-040) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU-Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, Louis Poulsen Lighting, Kunstakademiets Arkitektskole, Dong Energy og Eksperimentarium.

2009

GREGGS
London, England
Foto: Philips

F+P 550
Design: Foster & Partners
Foto: Louis Poulsen

GRASS
Christianshavns Torv, Danmark
Design: Christian Christensen / Foto: Philips

UDENDØRSBELYSNING
Stockholm, Sverige
Foto: Fagerhult

SCANDIC PALACE HOTEL
København, Danmark
Foto: Philips

KVALITETSVURDERING AF ARMATURER MED LED-LYSKILDER

RESULTATER

Inden for de næste 5-10 år vil LED kunne konkurrere med en stor del af de mere traditionelle løsninger både når det gælder energieffektivitet lystekniske egenskaber og økonomi.

ANBEFALINGER

- LED er uden tvivl fremtidens lyskilde
- Den kan dog ikke anvendes til alt
- Vær kritisk
- Vælg ikke LED uden at vurdere dem visuelt

Projektet har vist, at de data, som opgives af leverandørerne, ofte er upræcise, mangelfulde og forskelligartede. Der bør udvikles standarder for beskrivelser af LED.

Da LED ofte har lavere watt-størrelse, tror mange fejlagtigt, at de også er mere effektive. Det er langt fra tilfældet. Effektiviteten i lumen pr. Watt (lm/W) er en god rettesnor, hvis data er pålidelige. Ofte opgives data fra de rå dioder under ideelle forhold og ikke for lysmængden fra den indkapslede LED under normale temperaturforhold.

NUTIDENS LED-LYS

De undersøgte lyskilder og armaturer er for størstedelens vedkommende 1. generationsprodukter. Nyere produkter har allerede set dagens lys, men lyskvaliteten er stadig meget svingende.

Projekter har afdækket problemer med små lysmængder, multiple skygger og hørbar støj samt ringe energieffektivitet. Disse problemer skal løses, hvis LED'en for alvor skal kunne tage konkurrencen op med de traditionelle belysningsformer, vi anvender i dag.

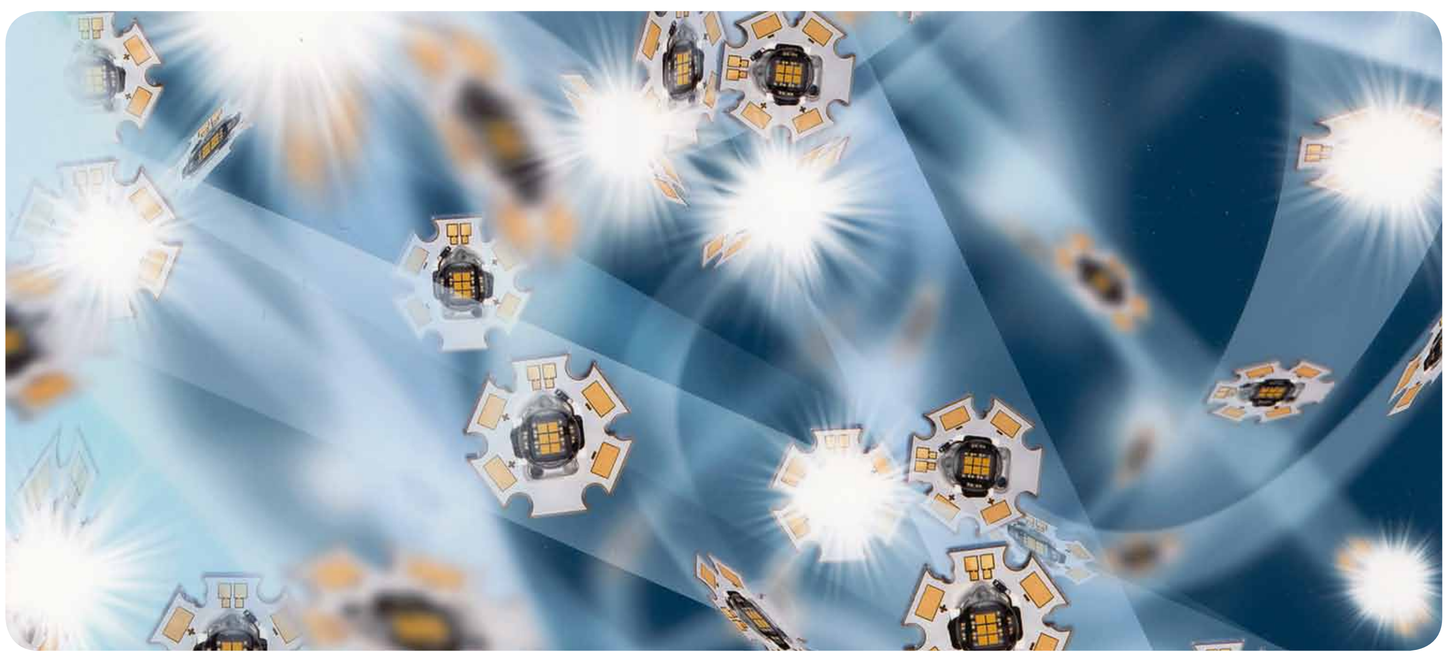
Før man vælger LED til belysning, er det uhyre vigtigt at specificere krav til lysets egenskaber og kvalitet, herunder krav til farvetemperatur, farvegengivelse, levetid, lysmængde og energiforbrug. Den meget lange levetid kan være en væsentlig grund til at vælge LED. Levetid opgives imidlertid meget forskelligt eller under ukendte betingelser, hvilket bør ændres.

FREMTIDEN FOR LED'ER – I FORHOLD TIL ANDRE LYSKILDER

Belysning med lysdioder har allerede vist sine kvaliteter på en række områder og fortsætter udviklingen som hidtil, vil lysdioderne utvivlsomt blive et reelt alternativ til de fleste af de eksisterende lyskilder som findes i dag. Men at tro, at lysdioderne vil udkonkurrere alle de eksisterende lyskildetyper, er utopi.

Lysdioderne vil i de næste 10 år blive et mere og mere seriøst alternativ, som skal overvejes til de fleste løsninger, men det bliver lyskvalitet, pris, levetid og elforbrug, der afgør den optimale løsning.

Lysdioderne vil i løbet af de næste 5-10 år kunne konkurrere med en stor del af de generelle belysningsløsninger, men der vil gå mange år, før lysdioder bliver simple og billige standardprodukter, som vi kender det fra lysstofrør, sparepærer, halogenlyskilder mm.



EFFEKTIVITET

I 2009 var det muligt at købe rådioder, som under ideelle forhold giver 80-100 lm/W for koldt hvidt lys med en Ra værdi på 75. I virkelige omgivelser i et armatur bliver den samlede effektivitet omkring 30-40 % lavere, svarende til en effektivitet på ca. 60 lm/W.

Situationen stiller sig anderledes, hvis man ønsker en farvetemperatur på 2700 K med en farvegengivelse på over 80. Her er den samlede effektivitet ofte under det halve, svarende til 30 lm/W. Den aktuelle energibesparelse kan således afhænge af kravene til farvegengivelse, farvetemperatur og den ønskede lysmængde.

I dette projekt indgår erstatningslyskilder med E27 sokkel med kun 5 lm/W, hvilket giver meget få anvendelsesmuligheder når fokus er på elbesparelser - her kan selv en glødepære være med.

FREMTIDEN FOR LED'ER – TEKNOLOGI

Eksisterende LED-erstatningslyskilder med standardsokler til erstatning af glødepærer, halogenlyskilder og sparepærer har overvejende en spotlignende lysfordeling. Derfor egner de sig bedst til udskiftning af halogenspot. Det er en udfordring at få de retningsbestemte lysdioder placeret og afskærmet, så de bliver rundstrålende som glødepæren.

De fleste af de undersøgte LED-typer kan ikke matche halogenspots, hvad angår lysmængde og farvekvalitet, men det vil ændre sig i løbet af en årrække.

Dedikerede LED-belysningsløsninger udviklet fra grunden vil give den bedst mulige lyskvalitet og de største elbesparelser. Belysning med LED vil udvikle sig voldsomt.

LÆS MERE!

Projektets resultater er samlet i rapporten "Kvalitetsvurdering af armaturer med LED-lyskilde" og kan downloades på www.elforsk.dk.

Projektet (PSO 339-040) er støttet af ELFORSK, Dansk Energi og udført i et samarbejde mellem: Dansk Center for Lys, DTU-Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet og SBi Statens Byggeforskningsinstitut, AAU og med en følgegruppe bestående af Osram, Philips, Light Makers, Louis Poulsen Lighting, Kunstakademiets Arkitektskole, Dong Energy og Eksperimentarium.

2010

RANDERS BIO
Randers, Danmark
Foto: Light Makers

KØLEMONTRE HOS SHELL
Danmark
Foto: Philips

DAM AUDITORIET, PANUM INSTITUTET
København, Danmark
Foto: Thorn Lighting

NORDWESTHAUS
Bodensøen, Østrig
Foto: Zumtobel

TRAPPEBELYSNING
Foto: Fagerhult