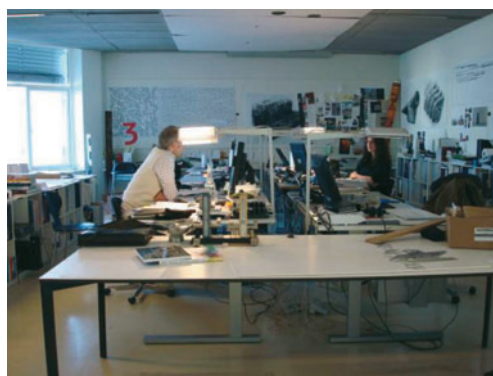


# Kontorbelysning baseret på energieffektive arbejdslamper





# Kontorbelysning baseret på energieffektive arbejdslamper

Kjeld Johnsen  
Helle F. Rasmussen  
Anne Iversen  
Carsten Fischer  
Carsten P. V. Larsen  
Steen Traberg-Borup

Titel	Kontorbelysning baseret på energieffektive arbejdslamper
Serietitel	SBI 2009:09
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2009
Forfattere	Kjeld Johnsen, Helle F. Rasmussen, Anne Iversen, Carsten Fischer, Carsten P. V. Larsen og Steen Traberg-Borup
Sprog	Dansk
Sidetæl	77
Litteraturhenvi- sninger	Side 70
Emneord	Kontorbelysning, energieffektiv, lamper, lyskilder, lysfordeling, farvegengivelse, belysningsstyrke, elbesparelse
ISBN	978-87-563-1370-4
Fotos	Steen Traberg-Borup
Omslag	Fotos: Steen Traberg-Borup
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post <a href="mailto:sbi@sbi.dk">sbi@sbi.dk</a> <a href="http://www.sbi.dk">www.sbi.dk</a>

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *SBI 2009:09: Kontorbelysning baseret på energieffektive arbejdslamper. (2009)*



# Indhold

1. Forord.....	5
2. Sammenfatning.....	7
Projektets faser, rapportens opbygning .....	7
Resultater.....	8
3. Kravspecifikationer.....	10
Projektets målsætning .....	10
Kvalitetsbelysning og komfort .....	10
Energieffektivitet .....	15
Æstetiske mål.....	15
Økonomi.....	16
4. Lyskilder, kvalitet og energieffektivitet .....	17
Lyskilder .....	17
Valg af lyskilde .....	20
5. Udvikling og afprøvning af koncepter .....	24
Principper for lampeudformning og lyskildeplacering .....	24
6. Demonstration af nyt belysningsystem .....	37
Beskrivelse af forsøget .....	37
Dagslysmålinger .....	38
Målinger på eksisterende belysningsanlæg.....	39
Målinger af belysningen i de 3 forsøgssituationer .....	40
Energimålinger.....	48
7. Beregning af energiforbrug i standardkontor .....	54
Referencekontor .....	54
Lysfordeling fra prototypearbejdslampe.....	55
Kontor med prototypearbejdslamper .....	56
Dagslysregulering .....	61
Opsummering af energiforhold .....	62
8. Brugerundersøgelse .....	63
Spørgeskemaet.....	64
Sammenfattende vurdering af de 4 belysningsituationer.....	69
9. Referencer .....	70
Bilag A. Tidsplan for demonstrationsforsøg .....	72
Bilag B. Spørgeskema til brugerundersøgelse.....	73
Spørgsmål om eksisterende belysning, situation 0. ....	73
Spørgsmål om dagslyset i kontoret .....	74
Spørgsmål om forsøgsbelysning .....	75

# 1. Forord

Forudsætningen for at krav til belysningsniveauet fra almenbelysningen i kontor- og servicebygninger kan sættes langt lavere i Danmark (200 lux i gennemsnit) end i næsten alle andre lande (4-500 lux) er, at vi i udstrakt grad bruger 'personlige' arbejdslamper. Flere undersøgelser har påvist, at jo mere ensartet (læs: monotont) belysningsniveauet i et rum er, jo højere belysningsniveau ønsker brugerne. Samtidig har andre undersøgelser vist, at der opnås større tilfredshed med belysningen hos den enkelte bruger, jo større indflydelse han eller hun har på 'sit eget lys'. Dette gælder for alle indklimaparametre: Jo bedre muligheder man har for selv at regulere på temperaturen, på solindfaldet, på udluftningen/ventilationen og på belysningen, jo bedre føler man sig tilpas. Med arbejdslamperne er der mulighed for at regulere den enkelte persons belysningsbehov, og derfor er der grund til at værne om arbejdslamperne.

Arbejdslamperne er imidlertid ikke en del af de faste installationer, og opsættes først, når brugerne er flyttet ind i bygningen. Ved godkendelse af bygningen (byggetilladelse og ibrugtagningstilladelse) er der derfor ingen kontrol med, hvordan det samlede belysningsanlæg vil være, eller hvor stort elforbruget til belysningen vil være. Kun den installerede effekt til almenbelysningen indgår i energirammeberegningerne, og der vil således ofte være stor forskel på det teoretiske og det faktiske elforbrug til belysning. I et tidligere SBI-projekt kunne det konstateres, at selv om den installerede effekt til almenbelysning i kontorer er lav (mindre end 8 - 10 W/m<sup>2</sup>), opnås langt fra altid et lavt energiforbrug. Dette skyldes bl.a., at der samtidig anvendes arbejdslamper, som er energikrævende og ikke har indbygget nogen form for automatisk regulering.

Både ud fra et energimæssigt synspunkt og ud fra hensynet til brugerne, er der derfor behov for en udvikling af arbejdslamper, som er mere energieffektive, dvs. lamper som integrerer automatisk regulering og som giver et højt lysudbytte (lumen/W). Sådanne lamper måtte gerne indgå i et samlet belysningssystem, hvor der er lavere installeret effekt til almenbelysningen mod til gengæld en lidt højere effekt til arbejdslamperne.

Nærværende rapport beskriver resultaterne af et udviklingsarbejde, som sigtede på at udvikle en arbejdslampe, der i sig selv opfylder kravene til belysningen på arbejdsbordet i DS 700 for derigennem at reducere behovet for almenlys væsentligt. Målsætningen var samtidig at udvikle en arbejdslampe, som giver kvalitet i belysningen af arbejdspladsen og som samtidig er energibesparende i forhold til nuværende typiske løsninger.

Rapporten giver en grundig gennemgang af de kravspecifikationer for arbejdslampen, som blev opstillet af projektgruppen i løbet af udviklingsprojektet. Kravspecifikationerne kan bruges generelt i forbindelse med udvikling af belysning til kontorer. Rapporten giver også en oversigt over relevante lyskilder til arbejdslamper, med beskrivelse af fordele og ulemper foruden de rent fysiske egenskaber for lyskilderne. Dernæst giver rapporten en detaljeret beskrivelse af hele konceptudviklingsfasen og den efterfølgende fuldskala demonstration af lamperne hos Henning Larsen Architects A/S, inklusive brugervurderinger.

Både målinger og beregninger for belysningen i demonstrationsbygningen viser, at elforbruget til den samlede belysning kan reduceres med mere end 40 %. Simuleringer for sammenligning med et typisk belysningsanlæg i et storrumskontor viser en reduktion i elforbruget med det nye koncept på 25 %. Projektets resultater understreger således betydningen af, at elforbruget til belysning i kontorer og erhvervsbyggeri betragtes samlet, sådan at fokus

også rettes mod de ikke-faste dele af installationen. Teknisk set har udviklingen af arbejdslampen således været en succes, men for at lampen skal vinde indpas, skal lampen reduceres i størrelse og forbedres i design. Dette er forudsætninger, som nemt kan opfyldes ved anvendelse af LED-lyskilder, der med tiden endda vil give endnu bedre muligheder for variationer i intensitet og farvetemperatur.

Rapporten henvender sig til belysningsfabrikanter og -udviklere, projekterende arkitekter og ingeniører samt til myndigheder, der i fremtiden skal lovgive om begrænsninger i bygningers energiforbrug, herunder evt. justere reglerne for energirammeberegninger.

Projektet er udført i samarbejde mellem SBi, Henning Larsen Architects A/S, Esbensen, Rådgivende Ingeniører FRI, og Højager Belysning A/S. Zarp Danmark Aps har deltaget som ekstern konsulent i udviklingsforløbet. SBi ønsker hermed at takke de medvirkende virksomheder for et godt samarbejde. Ligeledes rettes en tak til Louis Poulsen Lighting A/S, som har bistået med at måle på prototype-lampens lysfordeling.

Projektet er støttet af Elnetselskabernes F&U program for effektiv elanvendelse (PSO j. nr. 336-020).

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet  
Energi og miljø  
Marts 2009

*Søren Aggerholm*  
Forskningschef



## 2. Sammenfatning

Et af målene i projektet har været at udvikle et alternativ til den traditionelle belysningsform i kontorer, hvor der ofte dimensioneres efter ensartet (monoton) belysning i hele kontoret, uden liv eller variation. Med det nye koncept tages der udgangspunkt i den enkeltes behov, og der opnås en variation, som af de fleste vil blive opfattet som en mere interessant belysning. Det var ligeledes et mål, at det udviklede belysningskoncept skulle være mere energieffektivt end traditionelle belysningsystemer, og samtidig medføre større brugertilfredshed. Allerede i den første fase af konceptudviklingen blev der fokuseret på udvikling af en arbejdslampe, som i sig selv kunne opfylde kravene til belysningsstyrke på arbejdsbordet. Målsætningen var samtidig at udvikle en arbejdslampe, som giver kvalitet i belysningen af arbejdspladsen og som samtidig er energibesparende i forhold til nuværende typiske løsninger.

### Projektets faser, rapportens opbygning

Rapporten er opbygget, således at indholdet svarer kronologisk til de faser, der har været gennem hele projektforløbet, fra formulering af de første krav til endelig afprøvning i praksis med brugernes vurderinger af det udviklede belysningskoncept.

#### Kravspecifikationer

I kapitel 3 er opstillet en række kravspecifikationer med hensyn til hvordan lyset på arbejdspladsen og i rummet skulle fungere. Der er taget udgangspunkt i lyset på den enkelte brugers arbejdsplads med vægt på at gældende standarder skal overholdes. Kravene er specificeret inden for følgende hovedgrupper og undergrupper:

##### Kvalitetsbelysning og komfort

- Kvalitetsbelysning og komfort
- Energieffektivitet
- Æstetiske mål
- Økonomi

##### Energieffektivitet

- Effektiv lysfordeling
- Effektive lyskilder
- Automatisk styring eller regulering

##### Æstetiske mål

- Rumlig virkning

##### Økonomi

- Anlægsøkonomi
- Driftsøkonomi

Herudover er der sammenlignet med kravene i Elsparefondens positivliste for belysningsystemer, som er principgodkendt til tilskud.

#### Lyskilder

Kapitel 4 giver en gennemgang af mulige lyskilder til en arbejdslampe, som skulle opfylde alle kravspecifikationerne. Fra starten blev det besluttet, at projektgruppen ikke ville udvikle en lampe baseret på LED lyskilder, primært

fordi effektiviteten, farvegengivelsen og prisen ikke kunne opfylde de ønskede mål, men også fordi den teknologiske udvikling på LED-området går så stærkt i disse år, at mulighederne ville ændre sig i projektperioden. Derimod blev der lagt stor vægt på at udvikle et koncept, hvor de valgte lyskilder i fremtiden kunne erstattes af dioder (LED eller OLED), således at konceptet ville være fremtidssikret.

Kapitel 4 beskriver lyskildernes egenskaber ud fra følgende kriterier:

- Farvetemperatur og farvegengivelse (K, Ra-indeks)
- Effektivitet (lm/W)
- Reguleringsmulighed (dæmpningsmulighed)
- Æstetik, lyskilde pladskrav og betydning for lampeudformning
- Pris

### **Konceptudvikling**

Kapitel 5 giver en grundig gennemgang af hele konceptudviklingen. Her beskrives flere forskellige tanker og koncepter, som har været afprøvet undervejs, med erkendelse af problemer i forhold til brugen af lamperne i praksis. Flere forskellige lampeudformninger, lyskilder og principper for lampejusteringer er gennemgået, inklusive målinger af belysningsfordelinger og blændingsforhold er gennemgået, frem til beslutning om den endelige lampeudformning.

### **Afprøvning af belysningskonceptet i praksis**

Kapitel 6 giver en beskrivelse af et 5 ugers demonstrationsforsøg i et kontorområde hos Henning Larsen Architects. Seks eksemplarer af den udviklede prototype-lampe blev sat op i Designgruppens område hos HLA, og 3 forskellige scenarier blev afprøvet. Forsøget omfattede målinger af dagslysf forholdene (dagslysfaktormålinger), belysningsforholdene med det eksisterende belysningsanlæg samt de 3 forsøgsscenarier samt løbende registreringer af belysningsstyrker og energiforbrug til arbejdslamper og supplerende belysning.

### **Energiforbrug i standardkontor**

Ud fra de gennemførte målinger og registreringer er der gennemført beregninger af elforbruget ved anvendelse af lamperne i 3 forskellige scenarier i et standardkontor. Elforbruget er sammenlignet med elforbruget i et typisk belysningsanlæg i et typisk (reference-)kontor). Beregningerne er gennemført fordi det aktuelle område, hvor lamperne blev demonstreret, er temmelig atypisk, bl.a. på grund af et usædvanligt lavt dagslysniveau.

### **Brugernes opfattelse af det nye belysningskoncept**

Som et meget vigtigt supplement til de tekniske målinger og beregninger blev der ved afslutningen af demonstrationsprojektet gennemført en spørgeskemaundersøgelse af brugernes vurderinger af det udviklede belysningskoncept. Både dagslysf forhold, det eksisterende belysningsanlæg samt de tre scenarier for det nye koncept blev vurderet. Spørgsmålene omfattede belysningen i de nære omgivelser af rummet, belysningen på bordet, blændings- og refleksionsforhold, belysningen i rummet som helhed, den praktiske funktion/anvendelse af lamperne samt enkelte spørgsmål til brugernes velbefindende.

## **Resultater**

Som helhed kan man sige, at de fleste af projektets målsætninger er nået, men der er betydelige afvigelser mellem de tekniske målingers overensstemmelse med målene og brugernes forholdsvis negative vurderinger af lampernes funktion i praksis. Nedenfor gives en sammenfatning af projektets

hovedresultater, først beskrevet ud fra de fysiske målinger og dernæst ud fra brugernes vurderinger.

### Arbejdslampen

- Lampen anvender et kompaktlysrør, som har en farvetemperatur på 3000 K og en farvegengivelse, udtrykt ved Ra-indeks på 82 (> 80), men bedre farvegengivelse er ønskelig
- Lampehovederne har separate afbrydere, men i prototypen er ikke indbygget automatisk regulering. De anvendte kompaktlysrør er dæmpbare
- Lampen kan flyttes i alle tre retninger, op/ned – højre/venstre – frem/tilbage, men vægten bevirker, at den er lidt tung at flytte
- Lampen giver ingen blænding for brugeren, og kan nemt placeres sådan, at den ikke giver generende reflekser i bordet
- Brugerne er klart negative i den generelle bedømmelse af arbejdslampen. Svarene og de efterfølgende interviews viser, at det primært er lampens fysiske udformning, der er utilfredsstillende
- Lampen skal fylde mindre: Brugerne synes, at lampens størrelse og begrænsede bevægelighed (fx i forhold til traditionel arkitektlampe) er et problem ved kommunikation med en kollega på den anden side af bordet
- Brugerne flytter kun sjældent lampen, og kun i bordets længderetning
- I kontrast til de fysiske målinger synes 2 af 6 brugere synes at arbejdslampen blænder og alle synes at de bliver blændet af andres arbejdslamper

### Belysningen i rummet

- Der er udviklet en lampe, som bidrager til lyset i rummet, men målingerne af lysfordelingen indikerer, at andelen af opad-lys måske burde øges
- Målinger og brugervurderingerne viser, at lyset fra arbejdslamperne skal suppleres med lys i de nære områder, dvs. på vægge eller i de nærmeste gangarealer
- Det anvendte forsøgsområde viste sig at være mindre egnet til forsøget end forventet fordi dagslyset var alt for ringe (for lavt niveau, og meget ujævnt fordelt)
- Brugerne udtrykker klart, at der er for lidt dagslys i deres arbejdsområde og specielt på deres arbejdsborde. Det vurderes, at det manglende dagslys giver væsentligt dårligere opfattelser af det nye belysningskoncept, end de ville være i et normalt kontor

### Energiforhold

- Selv med supplerende lofts-/væg-belysning vil det nye koncept reducere elforbruget med mere end 40 % i forhold til den eksisterende belysning
- I forhold til et helt nyt, traditionelt belysningsanlæg med energieffektive arbejdslamper vil det nye koncept kunne reducere elforbruget med ca. 25 %

### Diskussion

Der er udviklet en prototype på en lampe, som ud over at opfylde DS700-kravene også opfylder en række specifikke krav opstillet af projektgruppen. Fx kan lampens hoveder vippes ned individuelt (hvorved de slukker), således at lampen ikke blænder 'sidemanden', hvis arbejdsbordet hæves. Der kan opnås de forventede elbesparelser, men for at lampen skal vinde indpas, skal lampen reduceres i størrelse og forbedres i design. Dette er forudsætninger, som nemt kan opfyldes ved anvendelse af LED-lyskilder, der med tiden endda vil give endnu bedre muligheder for variationer i intensitet og farvetemperatur.

### 3. Kravspecifikationer

#### Projektets målsætning

Det var projektets mål at udvikle og afprøve et belysningsystem til kontorer, som var mere energieffektivt end traditionelle belysningssystemer, og som medførte større brugertilfredshed. I Danmark er de fleste belysnings-systemer baseret på en almen belysning, som giver et jævnt, ensartet niveau i hele kontoret, ofte suppleret med arbejdslamper til de enkelte brugere. Allerede i den første fase af konceptudviklingen blev der fokuseret på udvikling af en arbejdslampe, som i sig selv kunne opfylde kravene til belysningsstyrke på arbejdsbordet. Målsætningen var samtidig at udvikle en arbejdslampe, som giver kvalitet i belysningen af arbejdspladsen og som samtidig er energibesparende i forhold til nuværende typiske løsninger. I vurderingen af den lysmæssige funktion tilstræbes et design, hvor arbejdslampen kan erstatte en del af almenbelysningen. Arbejdslampen skal desuden være designmæssigt attraktiv og inden for normalt prisniveau, således at den udviklede arbejdslampe kan blive et reelt alternativ til andre arbejdslamper på markedet.

De formulerede kravspecifikationer er beskrevet i det følgende. Da arbejdslampen skal give en kvalitetsbelysning undersøges først hvad der ligger bag kravene til belysningen på kontorarbejdspladser i DS 700. Dernæst opstilles en række krav til arbejdslampen og lyset i rummet. Nogle af kravene er direkte afledt af DS 700, mens andre er opstillet for at kunne overholde ovenstående målsætning for arbejdslampen. Kravene inddeles i følgende hovedgrupper:

1. Kvalitetsbelysning og komfort
2. Energieffektivitet
3. Æstetiske mål
4. Økonomi

Kravene er formuleret ud fra gældende bestemmelser kombineret med ønsker om en mere varieret og fleksibel belysning i fx storrumskontorer. Ved den gældende praksis designes belysningsanlæg ofte således, at der opnås et jævnt ensartet belysningsniveau i hele lokalet, hvilket af projektgruppen ikke betragtes som efterstræbelsesværdigt, idet den *jævne* belysning ofte opleves som monoton, kedelig og uninspirerende. Sidst i kapitlet sammenlignes de opstillede og opnåede specifikationer med Elsparefondens kriterier for belysningsanlæg, som kan optages på 'positivlisten' for anlæg, som er principgodkendt til tilskud.

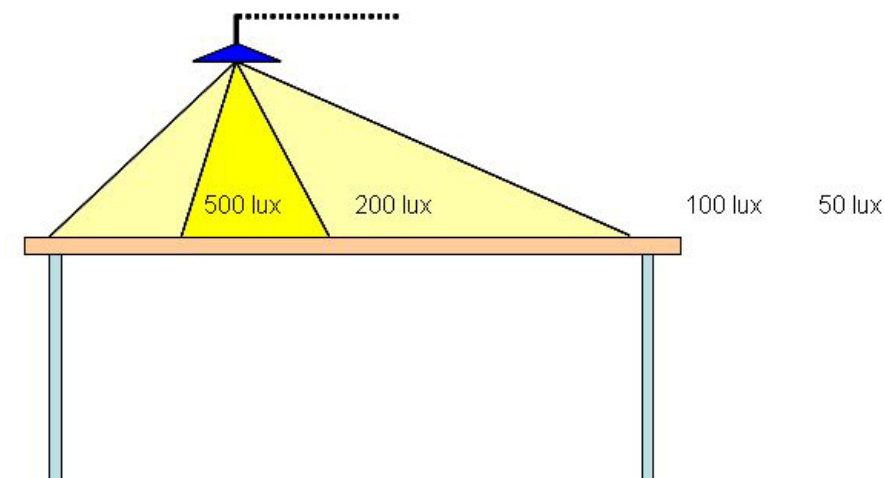
#### Kvalitetsbelysning og komfort

Kravene vedrørende belysningens kvalitet og komfort er inddelt i følgende emner:

- Belysningsstyrke
- Lysfordeling
- Farvegengivelse og lysfarve
- Blænding
- Individuel kontrol

## Krav vedrørende belysningsstyrke

I DS 700 er der krav om en belysningsstyrke på 500 lux på arbejdsobjektet, 200 lux i de nære omgivelser og 100 lux i fjernere omgivelser. I gangarealer skal der være 50 lux til færdsel og rengøring. Nedenstående figur illustrerer kravene.

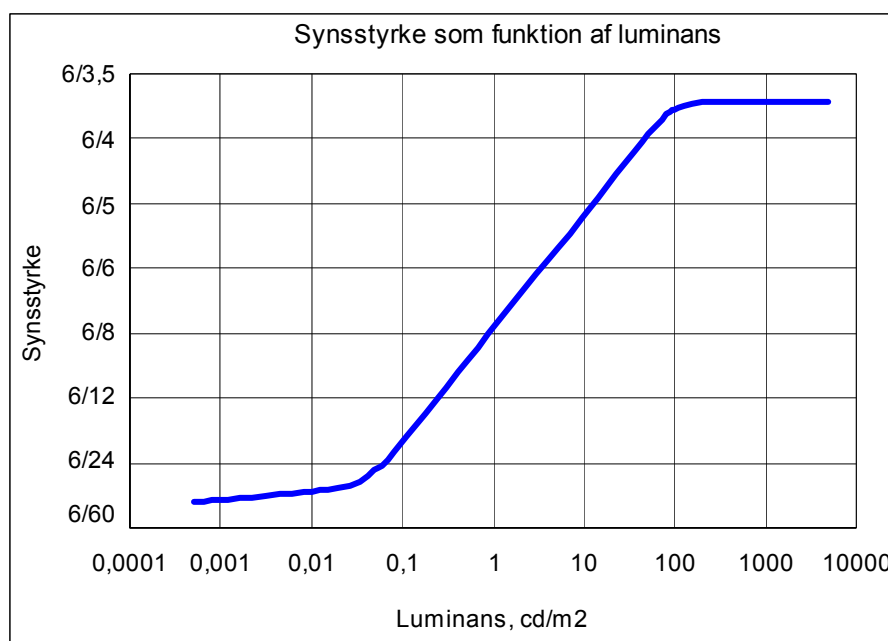


Figur 1. Fordelingen af belysningsstyrker på arbejdsobjekt, nære og fjernere omgivelser i kontorer.

### Grundlag for krav til belysningsstyrken

Belysningsstyrkerne i DS 700 er fastlagt ud fra synsfunktionen, dvs. øjets synsstyrke og adaptationsevne (Dansk Standard, 2005). Synsstyrken er defineret som den reciprokke værdi af afstanden mellem to punkter, som lige netop kan adskilles. Afstanden angives i bueminutter, og ét bueminut ( $1'$ ) ( $6/6$ ) svarer til normal synsstyrke. Synsstyrken angives ved en brøk, hvor tælleren angiver den afstand i meter, i hvilken synsstyrken er målt, mens nævneren betegner den afstand, hvori normaltseende kan læse en bestemt bogstavstørrelse eller symbol på synstavlen. Er synsstyrken således  $6/18$  betyder det, at den svagtseende må ind på en afstand af 6 m for at læse en linie, den normaltseende kan læse i en afstand af 18 m (Dreyer og Ovesen, 1967).

Synsstyrken afhænger af luminansen, og ved luminanser over ca.  $125 \text{ cd/m}^2$  stiger synsstyrken ikke af betydning. Figur 2 viser sammenhængen mellem luminans og synsstyrke (efter Dreyer og Ovesen, 1967).



Figur 2. Luminans som funktion af synsstyrke (efter Dreyer og Ovesen, 1967).

Hvis det antages, at et papir har en reflektans ( $\rho$ ) på 0,75, og man ønsker, at papiret skal have en luminans på  $125 \text{ cd/m}^2$ , betyder det, at der skal være en belysningsstyrke på  $E = L \times (\pi/\rho) = 125 \text{ cd/m}^2 \times (\pi/0,75) = 524 \text{ lux}$  for at opnå den bedste synspræstation. Det er dette, der ligger til grund for kravet om 500 lux på arbejdsobjektet.

De differentierede belysningsstyrker på arbejdsobjektet og omgivelserne er fastlagt ud fra øjets adaptationsevne. Adaptationsevnen er øjets evne til at tilpasse sig synsfeltets luminanser, dvs. nethindens evne til at ændre sin følsomhed efter den nærværende lysenergi. Nethinden kan registrere luminanser fra ca.  $10^{-6} \text{ cd/m}^2$  til  $10^4 \text{ cd/m}^2$ . Hvis øjet er adaptateret til  $10 \text{ cd/m}^2$  vil alt over  $100 \text{ cd/m}^2$  virke hvidt, mens alt under  $1 \text{ cd/m}^2$  vil virke sort. Øjet kan således kun dække over to dekader af gangen (Dreyer og Ovesen, 1967). Jævnfør DS 700 svarer belysningsstyrker på 50, 100, 200, 500 og 1000 lux til luminanser på henholdsvis 10, 20, 40, 100 og 200  $\text{cd/m}^2$  for lyse flader. Ved at projektere efter belysningsstyrkerne sikres, at luminansforholdene bliver acceptable under normale forhold, idet der blot er én dekade mellem 50 og 500 lux (svarende til hhv. 10 og 100  $\text{cd/m}^2$ ).

Dubois (2001) har gennemført et litteraturstudie, og her ud fra opstillet nedenstående krav (tabel 1) til belysningsstyrke og luminans for kontorarbejde. Kravene er opstillet på baggrund af en række forsøg i forskellige lys-situationer med forsøgspersoner.

Tabel 1. Krav til belysningsstyrke og luminans for en kontor arbejdssituation. [3]

<b>Belysningsstyrke</b>	
< 100 lux	For mørkt til papir og PC arbejde
100-300 lux	For mørkt til papir arbejde / acceptabelt til PC arbejde
300-500 lux	Acceptabelt til papir arbejde / ideelt til PC arbejde
> 500 lux	Ideelt til papir arbejde / for lyst til PC arbejde
<b>Jævnhed af belysningsstyrken på arbejdsplanet</b>	
$E_{\min}/E_{\max} > 0,5$	Acceptabelt
$E_{\min}/E_{\max} > 0,7$	Ideelt
$E_{\min}/E_{\text{gennemsnit}} > 0,8$	Ideelt
<b>Luminans</b>	
> 2000 $\text{cd/m}^2$	For lyst alle steder i rummet
> 1000 $\text{cd/m}^2$	For lyst i det normale synsfelt Det normale synsfelt er det areal, som dækker $90^\circ$ til hver side horisontalt, $50^\circ$ op og $70^\circ$ ned fra horisonten.
< 500 $\text{cd/m}^2$	Foretrækkes
< 30 $\text{cd/m}^2$	Uacceptabelt mørkt
<b>Luminansforhold</b>	
$0,33 < L_{\text{papir}}/L_{\text{PC}} < 3$	Acceptabelt
$0,33 < L_{\text{papir}}/L_{\text{tilstødende_væg}} < 3$	Acceptabelt
$0,33 < L_{\text{PC}}/L_{\text{tilstødende_væg}} < 3$	Acceptabelt

Ud fra disse krav skal belysningen på arbejdspladser differentieres mellem papirarbejde og pc-arbejde. Desuden ses, at forsøgspersonerne foretrækker luminansniveauer mellem  $30\text{-}500 \text{ cd/m}^2$  og at luminansspringene bør ligge inden for 0,33 til 3 gange mellem arbejdsfelt og omgivelserne.

#### Målsætning i projektet

Arbejdslampen skal kunne opfylde kravet om 500 lux på arbejdsobjektet (defineret som et læsefelt på  $40 \times 30 \text{ cm}$ ) og 200 lux i de nære omgivelser (min.  $180 \times 90 \text{ cm}$  svarende til et skrivebord). Arbejdslampen skal således bidrage

til almenbelysningen, hvorfor almenbelysningsanlægget kun skal levere 50 lux i lokalet. I tilfælde af pc-arbejde skal der være en belysningsstyrke på 250-300 lux. Dette kræver, at belysningsstyrken fra lampen kan reguleres for de forskellige områder. For at opfylde dette kan belysningsstyrken f.eks. justeres enten vha. optik, som koncentrerer lyset eller vha. flere lyskilder i lampen, som kan tændes og slukkes uafhængigt af hinanden. Desuden bør lampen forsynes med en lysdæmper. I nedenstående tabel er krav og muligheder opsummeret.

Tabel 2. Krav og muligheder for belysningsstyrke.

Krav jf. DS 700	Ideelt	Muligheder
500 lux på arbejdsobjekt	I tilfælde af PC-arbejde bør der være en belysningsstyrke på 250-300 lux.	Belysningsstyrken fra lampen reguleres for de forskellige områder enten vha. optik som koncentrerer lyset eller vha. flere lyskilder, som kan tændes og slukkes uafhængigt af hinanden.
200 lux i de nære omgivelser	200 lux på hele arbejdsbordet	Lampen kan forsynes med lysdæmper.
100 lux i fjernere omgivelser		
50 lux i gangarealer		

### Krav vedrørende lysfordeling

I DS 700 er angivet, at større rumflader ikke må have luminansspring over 3:1 og at mindre flader godt kan have luminansspring på op til 1:15. Synsobjektets luminans skal være størst. Som beskrevet i afsnittet om baggrunden for kravene i DS 700 foretrækkes luminansniveauer mellem 30-500 cd/m<sup>2</sup>, og luminansspringene bør ligge inden for 0,33 til 3 gange mellem arbejdsfelt og omgivelser.

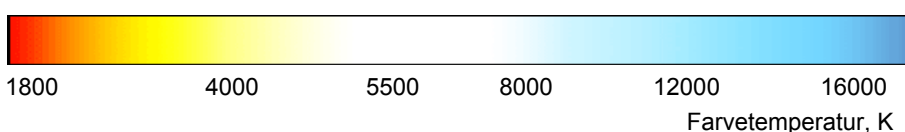
Tabel 3. Krav og muligheder for lysfordeling.

Krav jf. DS 700	Ideelt	Muligheder
Større rumflader må ikke have luminansspring over 3:1, mindre flader kan godt have op til 15:1. Synsobjektets luminans skal være størst.	Luminansniveauer mellem 30-500 cd/m <sup>2</sup> , og luminansspringene bør ligge inden for 1:3 til 3:1 gange mellem arbejdsfelt og omgivelser.	Hvis arbejdslampen ikke selv kan give tilstrækkeligt lys i de fjernere omgivelser, er supplerende belysning nødvendig for at undgå store luminansforskelle.

### Krav vedrørende farvegengivelse og lysfarve

Ifølge DS 700 kræves en farvegengivelse på minimum 80. Dette kan opnås med de fleste lyskilder, se afsnittet om effektive lyskilder. En højere farvegengivelse bør dog foretrækkes. Glødepærer giver den højeste farvegengivelse (Ra 99), men er den mindst energieffektive lyskilde. Farvegengivelsen skal derfor afvejes i forhold til lyskildens energieffektivitet.

Desuden anbefales en farvetemperatur på mellem 2700 K og 3300 K til kontorer, jf. figur 3.



Figur 3. Farvetemperaturskala, hvor en given farve tildeles en temperatur i kelvinskalaen (K), svarende til den temperatur et sort legeme skal opvarmes til for at afgive lys med denne farve.

Tabel 4. Krav og muligheder for farvegengivelse og lysfarve.

Krav jf. DS 700	Ideelt	Muligheder
Farvegengivelse minimum 80	Farvegengivelse så tæt på 100 som muligt	Afhænger af lyskildevalg. Skal afvejes i forhold til energieffektiviteten for lyskilden.
Lysets farve vurderes ud fra: 1) Den umiddelbart iagttagne lysfarve (fx varm/kold) og 2) De farvegengivende egenskaber i forhold til rummets funktion	Farvetemperatur på mellem 2700-3300 K	Ved lavt belysningsniveau fortrækkes normalt en lavere farvetemperatur.

### Krav vedrørende blænding (reflekser og spejlinger)

Ifølge DS 700 må blændingstallet maksimalt være 20. Der må ikke forekomme blænding fra arbejdslampen, hverken ved arbejdspladsen eller omkringliggende arbejdspladser (kan specielt være et problem med højdejusterbare borde). Desuden må der ikke forekomme reflekser og spejlinger som stammer fra arbejdslampen.

Blænding opstår, når luminansen bliver høj, og direkte indsyn til lyskilden skal derfor undgås. Reflekser og spejlinger kan undgås ved at placere arbejdslampen uden for de spejlende retninger, dvs. til siden for personen. Endelig kan blændingen reduceres ved at etablere baggrundsls eller uplights. Baggrundsls kan medvirke til at udligne store luminansforskelle samt bidrage til almenbelysningen på de fjernere områder. Uplights giver diffust lys, der gør rummet mere "dødt", idet kontraster udjævnes og spring i luminansforskelle mindskes. Diffust lys bør af denne grund nedtones, ligesom det kræver et større energiforbrug på grund af lysets vandring og tab ved loftrefleksion.

Tabel 5. Krav og muligheder for blænding.

Krav jf. DS 700	Ideelt	Muligheder
Blændingstallet må maksimalt være 20	Ingen blænding, reflekser eller spejlinger fra arbejdslampen hverken på arbejdspladsen eller omkringliggende arbejdspladser.	Direkte indsyn til lyskilden skal undgås. Arbejdslampen skal placeres uden for de spejlende retninger, dvs. til siden for personen. Blænding kan undgås ved at etablere baggrundsls.

### Krav vedrørende individuel kontrol

Det skal være muligt for den enkelte at tænde/slukke for arbejdslampen, justere belysningsstyrken og bevæge arbejdslampen der hen, hvor der er brug for lyset (inden for de nære omgivelser). Desuden skal lampen være let at betjene, således at ingen af de ovenstående funktioner er besværlige for brugeren.

Det betyder, at kontakter skal placeres inden for rækkevidde og at lampen skal være forsynet med forskellige led, der muliggør at lampen kan flyttes hen, hvor der er behov for lyset.

Tabel 6. Krav og muligheder for individuel kontrol.

Krav jf. DS 700	Ideelt	Muligheder
Ingen krav	Tændt/sluk knap. Justering af belysningsstyrke og placering.	Kontakter m.m. skal placeres inden for rækkevidde. Lampen skal være forsynet med forskellige led, der muliggør fleksibel placering.



## Energieffektivitet

Målet for arbejdslampen er, jf. projektansøgningen, 5 - 6 W/m<sup>2</sup> til almenbelysning og 1-2 W/m<sup>2</sup> til arbejdslampen. Såfremt arbejdslampen dækker en del af almenbelysningsbehovet kan der accepteres et større effektforbrug for denne, såfremt effektforbruget til almenbelysningen samtidig reduceres. Men vigtigere end effektforbruget er det faktiske samlede el-forbrug til belysning, og målet for dette er derfor et maksimalt el-forbrug på 10 - 12 kWh/år/m<sup>2</sup>.

Ved beregning af energiforbrug skal der tages højde for det totale energiforbrug i lokalet fra almen- og arbejdspladsbelysning, inkl. standby forbrug, tab i spoler m.m. Kravene er opstillet i tabel 7.

Tabel 7. Målet for installeret effekt og energiforbrug for arbejdslampe og almenbelysning.

Arbejdslampe	Almenbelysning	Total
1-2 W/m <sup>2</sup>	5-6 W/m <sup>2</sup>	10-12 kWh/m <sup>2</sup> /år

Kravene til energieffektiv belysning inddeles i delkrav vedrørende følgende forhold:

- Effektiv lysdistribution
- Effektive lyskilder
- Automatisk styring eller regulering

### Effektiv lysfordeling

Armaturet skal have en effektiv lysfordeling, således at der ikke spildes unødigt energi. For at opnå en høj effektivitet skal lyset sendes ud tæt på, hvor det skal bruges. Et direkte strålende armatur skal derfor tilstræbes frem for et indirekte strålende. Armaturets virkningsgrad skal være større end 50 %.

### Effektive lyskilder

Der skal anvendes effektive lyskilder i arbejdslampen for at opnå maksimal energibesparelse. Samtidig skal der tages hensyn til farvegengivelsen og farvetemperaturen, se Kapitel 4. Lyskilder, kvalitet og energieffektivitet.

### Automatisk styring eller regulering

Arbejdslampen skal kunne styres således, at den kun er tændt, når der er behov for den. Dette kan opnås ved at anvende en bevægelsesmelder. Derudover skal belysningsstyrken kunne reguleres efter lysbehovet, hvilket kan gøres med dagslysstyring. Af komfortens syn skal både bevægelsesmelder og dagslysstyring kunne overstyres af den enkelte bruger. (Se individuel kontrol).

I den udviklede prototype er ikke indbygget bevægelsesmelder eller dagslysstyring, da dette har mindre betydning for afprøvning af lampens grundlæggende funktion.

## Æstetiske mål

### Rumlig virkning

Af hensyn til den rummelige virkning ønskes en fleksibilitet i indretningen og en tilpasning af arbejdslampen til den enkelte arbejdsplads. For at opnå dette skal arbejdslampen følge arbejdsbordet på den ene eller anden måde.

Der skal ligeledes tages hensyn til måden arbejdslampen optræder på i et rum, når der er mange arbejdspladser, fx må arbejdslampen ikke dominere den rummelighed, der er mellem bord og loft.

## Økonomi

Den samlede økonomi skal være på niveau med eller mindre end sammenlignelige anlæg udført på traditionel vis, hvor der i almenbelysningen ikke er taget hensyn til arbejdslamper, og hvor der på arbejdspladserne anvendes arbejdslamper.

I den økonomiske betragtning skal medtages en samlet vurdering af hele belysningsanlægget dvs. almenbelysning og særbelysning for at vise, at den installerede effekt til almenbelysning kan reduceres til 5-6W/m<sup>2</sup>, mens arbejdslamperne vil ligge på 1-2 W/m<sup>2</sup>.

### Anlægsøkonomi

Under forudsætning af en bedre brugertilfredshed, belysningskomfort og/eller forbedret driftsøkonomi kan anlægget have en større anlægsudgift, men samme eller mindre udgiftsniveau er ønskeligt af hensyn til konkurrenceevnen.

### Driftsøkonomi

Det var målet at reducere det samlede effektbehov til almenlys plus arbejdslamper til mindre end 10 W/m<sup>2</sup>, og samtidig forbedre kvaliteten af arbejdspladsbelysningen, uden at effektbehovet hertil kom over 2 W/m<sup>2</sup>. Kravet til den totale driftsøkonomi er således at reducere driftsudgifterne med 25 %.

### Sammenligning med Elsparefondens positivliste

Betingelser for optagelse af belysningsystemer (armaturer) til større kontorer på Elsparefondens positivliste (oversigt over systemer, som er principgodkendt til tilskud). Indledningsvis bemærkes, at man ofte ikke ønsker en jævn belysning i kontorarealer, men derimod en differentieret belysning med tilpasning mellem armaturplaceringer og arbejdspladsplaceringer og indretningen af kontorarealet i øvrigt. Nedenstående krav til blandt andet en middelbelysningsstyrke skal derfor alene opfattes som en regnemæssig størrelse med henblik på at sikre belysnings-systemernes kvalitetskrav, bl.a. krav til begrænsning af ubehagsblænding samt energieffektivitet. I praktiske løsninger kan armaturerne anvendes i en jævn eller i en differentieret belysningsløsning efter den enkeltes ønske eller behov, hvor der også kan benyttes supplerende arbejdslamper. De følgende krav omhandler alene modelkontorets faste installationer (belysningssystemet).

Tabel 8.

Kriterier for optagelse på Elsparefondens positivliste	Opfyldes / -ikke	Kommentar
Belysningsystemet skal kunne give en belysningsstyrke på arbejdsplan 0,85 meter over gulv på mindst 200 lux i modelkontoret.	Ja	På det enkelte bord, men uafhængig af bordets højde
Maksimalt blændingstal 20 med vandret synsretning på langs og på tværs med øjenhøjde 1,2 meter over gulv i modelkontoret.	(Ja)	Brugerundersøgelsen viser visse problemer med blænding pga. lavt baggrundsniveau
Armaturet skal være med dæmpbar HF-forkobling, og armaturets virkningsgrad skal være mindst 50 %.	Ja	Men i prototypen er ikke indbygget dæmpning
Armaturerne i belysningsystemet skal have en passende afskærmning, således at de ikke giver anledning til generende reflekser og spejlinger i dataskærme i et større kontorlandskab (som fx modelkontoret)	Ja	Brugerundersøgelsen viser visse problemer med blænding pga. lavt baggrundsniveau
Belysningsystemet skal forsynes med bevægelsesmelderstyring og trinløs dagslysstyring.	Nej, men forberedt	Ikke fundet nødvendigt i prototype
Belysningsystemet skal kunne give en middelbelysningsstyrke (driftsværdi) på arbejdsplan på 200 lux i modelkontoret	Nej. Kravet skønnes ikke fremmende for kvalitetsbelysning	Giver 200 lux på arbejdsbordet i overensstemmelse med DS 700
En samlet installeret effekt inkl. effektoptag i styringer på højst 10 Watt pr. m <sup>2</sup> gulvareal i modelkontoret.	Effekt i arbejdslamper alene 2,1 W/m <sup>2</sup>	Skal suppleres med almenlys på 3,1 W/m <sup>2</sup>

## 4. Lyskilder, kvalitet og energieffektivitet

### Lyskilder

Personers velbefindende kan påvirkes ved at sidde i den forkerte belysning. Påvirkningerne kan blive udtrykt i form af koncentrationsbesvær, hovedpine, træthed mm., derfor er lyskildernes farvegengivelse og farvetemperatur meget vigtig for miljøet på en arbejdsplads.

En lyskildes evne til at gengive farver vurderes efter Ra-skalaen, der går fra 0 til 100, hvor 100 betegner den bedste farvegengivelse svarende til dagslysets farvegengivelse. Energiforbruget til lyskilderne, dvs. lyskildens effektivitet, er også en betydende faktor, når valget falder på lyskilder. Paradoxet er blot, at for gængse lyskilder på markedet er farvegengivelse og effektivitet er to modstridende parametre. I nye lyskilder, som lysdioder, forventes det, at farvegengivelse og effektivitet kan gå hånd i hånd. Denne teknologi er endnu et stykke fra de bedste traditionelle lyskilder, hvorfor det fra starten af projektet blev besluttet ikke at fokuseres på denne i nærværende rapport.

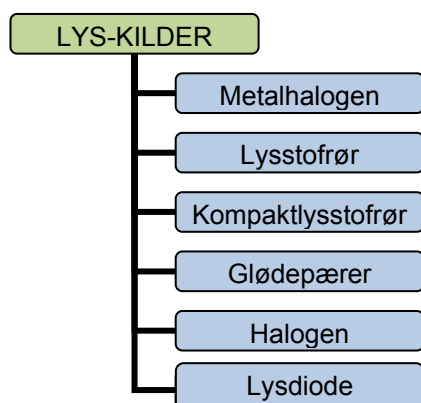
En tredje vigtig parameter for lyskilder er muligheden for regulering, da der er et stort besparelspotentiale ved at regulere belysningen efter dagslysniveauet i rummet.

For at lette integrationen af lyskilden i arbejdslampen er det desuden vigtigt, at lyskilden er så kompakt som muligt. For at arbejdslampen kan komme i betragtning i forhold til andre lampetyper på markedet, er det essentielt at lampen også kan konkurrere på prisen, hvorfor lyskilderne der benyttes skal være de bedste til prisen, dvs. der fokuseres også på lyskildens levetid og pris.

Valget af lyskilder skal altså ske ud fra en afvejning af følgende fem forhold:

1. Farvegengivelsen – skal være så høj som mulig
2. Effektivitet (lm/W) – skal være så høj som mulig
3. Regulering – skal kunne reguleres
4. Æstetik – lyskilden skal være så kompakt som mulig
5. Pris

Lyskilderne, der kan anvendes, ses på figur 4 (i ikke prioriteres rækkefølge).



Figur 4. Brainstorm over mulige lyskilder i arbejdslamperne

Fordele og ulemper ved lyskilderne gennemgås i det følgende.

## Metalhalogen

Farvegengivelsen for metalhalogenerne er god, med en Ra-værdi på helt op til 90, men lysfarven (farvetemperaturen) forvrænges når lyskilden dæmpes. Denne faktor, samt de andre opstillede under ulemper betyder at metalhalogener kun bør anvendes i kontorer, hvor man ikke planlægger at dæmpe lyset.

Tabel 9: Fordele og ulemper ved metalhalogener.

Fordele	Ulemper
Punktformig lyskilde	Max. 70-50 % dæmpning. Når den dæmpes forvrænges lysfarven. Lyskilderne ændrer sig ikke ens.
God farvegengivelse, fås helt op til Ra 90	Ved dæmpning ved man endnu ikke, hvordan levetiden påvirkes.
Højt lysudbytte, ca. 80 lm/W	Trinløs dæmpning er ikke mulig
Lang levetid (ca. 8000 timer)	Tændingstid op til 1 min. (længere end kompaktlysstofrør).
	Gentændingstid op til 3 min.
	Med tiden stor lysstrømsnedgang ift. lysstofrør.
	Dyr lyskilde

Førende leverandører af lyskilder (Philips og Osram) mener, at metalhalogener kun bør anvendes i kontorer, hvor man ikke planlægger at dæmpe lyset pga. ovennævnte forhold.

## Lysstofrør

Farvegengivelsen for lysstofrør er god og lyskilden har et højt lysudbytte samt det er muligt at dæmpe lyskilden. Desuden har lysstofrør en lang levetid og er samtidig en billig lyskilde.

Tabel 10: Fordele og ulemper ved lysstofrør.

Fordele	Ulemper
God farvegengivelse – ved 5 pulver rør op til Ra 95	Lavere lysudbytte end metalhalogen
Lysudbytte op til ca. 70 lm/W	Jo højere wattage jo bedre er farvegengivelsen.
Lang levetid (op til 15.000 timer)	
Kan dæmpes uden nævneværdig farveforvrængelse	
Trinløs dæmpning ned til ca. 1 % lysstrøm	
Billig lyskilde	
Farvetemperatur 2700-5700K	

## Kompaktlysstofrør

Farvegengivelsen for kompaktlysstofrør er god, desuden har lyskilden et højt lysudbytte og det er muligt at dæmpe lyskilden. Dog er de kompakte lysstofrør en dyrere lyskilde end de lineære lysstofrør.

Tabel 11: Fordele og ulemper ved elsparepære, kompaktlysstofrør

Fordele	Ulemper
God farvegengivelse op til Ra 90	Lavere lysudbytte end metalhalogen
Lysudbytte op til ca. 60 lm/W	Jo højere wattage jo bedre er farvegengivelsen.
Lang levetid (op til 25000 timer)	Dyrere lyskilde end lysstofrør
Kan dæmpes uden nævneværdig farveforvrængelse	
Trinløs dæmpning ned til ca. 1 % lysstrøm	

## Glødepærer

Såfremt der anvendes en mere effektiv lyskilde til "grund" belysningen på arbejdspladsen, kan der anvendes glødepærer som supplement til "læsekeglen". Glødepæren har en god farvegengivelse, Ra på 99, men lysudbyttet og levetiden er lav, hhv. 12 lm/W og 1000 timer.

Tabel 12.

Fordele	Ulemper
God farvegengivelse Ra 99	Lavt lysudbytte – ca. 12 lm/W
Kan dæmpes uden farveforvrængelse	Lav levetid – ca. 1000 timer
Billig lyskilde	Ret høj luminans
Tænder straks	95 % af energien fra en glødepære er infrarød stråling, og omsættes direkte til varme
Kan dæmpes	Stor lyskilde
Ingen flimmer	

## Halogen

Såfremt der anvendes en mere effektiv lyskilde til "grund" belysningen på arbejdspladsen, kan der anvendes halogen som supplement til "læsekeglen".

Tabel 13.

Fordele	Ulemper
God farvegengivelse Ra 99	Lysudbytte op til 25 lm/W
Kan dæmpes uden farveforvrængelse	Lav levetid – ca. 5000 timer
Billig lyskilde	Høj luminans
Tænder straks	UV-stråling
Kan dæmpes	Høj varmeafgivelse
Ingen flimmer	
Lille lyskilde, let at integrere	

En halogenlyskilde har en god farvegengivelse, Ra på 99, men lysudbyttet og levetiden er lav, hhv. 25 lm/W og 5000 timer.

## Lysdioder (LED)

Lysdiodeteknologien er under stadig udvikling, men det dobbelte krav om, at lyskilden både skal være energieffektiv (højt lysudbytte) og samtidig have en god farvegengivelse, kan næppe opfyldes af nuværende dioder, hvorfor det er besluttet ikke at fokuseres på lysdioderne i nærværende projekt. Derimod er det meget tænkeligt, at lysdioderne kan implementeres i en fremtidig version af arbejdslyset, når lysdioderne er blevet gode nok.

Tabel 14.

Fordele	Ulemper
Retningsbestemt lyskilde. Traditionelle lyskilder sender lyset ud i alle retninger og må derfor normalt have en reflektor (med tab) eller en skærm til at rette lyset derhen hvor det ønskes	Det er et produkt under stadig udvikling, hvorfor lyskilderne stadig er på forsøgsstadiet
Lang levetid, op til 50.000 timer	Effektiviteten er ikke tilstrækkelig endnu (op til 20 lm/W)
Lavt effektforbrug	Farvegengivelsen er ikke god nok endnu. Det forventes at der kan udvikles en diode med Ra>80
Lille lyskilde, let at integrere	Lysmængden for den enkelte lysdiode er ikke høj nok endnu, 20-30 lm/W.
	Dyr lyskilde

## Valg af lyskilde

På baggrund af de listede fordele og ulemper og ved at vurdere lyskilderne med udgangspunkt i de 5 parametre:

- Farvegengivelsen
- Effektivitet (lm/W)
- Regulering
- Æstetik
- Pris

er det valgt at arbejde med lysstofrør som lyskilde i arbejdslamperne. Dette skyldes at det er muligt at have lysstofrør med høj farvegengivelse, Ra op til 95, samt at denne lyskilde har en høj effektivitet, set i forhold til de andre lyskilder. Desuden er det muligt at regulere lysmængden fra lyskilden, når denne installeres med en regulerbar forkobling. Yderligere er lyskilde en billig lyskilde, både i anskaffelse og drift.

I nedenstående tabeller ses data for henholdsvis lysstofrør og kompaktlystofrør samt for lyskilder generelt.

Tabel 15. Data for lysstofrør.

Lyskilde	Effekt	Dimensioner	Lysstrøm	Levetid	Luminans	Lysudbytte	Farvegengivelse	Lysfarve	Fordele	Ulemper
	W	mm	lm	Timer	cd/m <sup>2</sup>	lm/W	-	K		
<i>Lysstofrør</i>										
T8, 3 pulver	18	26/590	1350	9.000	9.000	75	85	2700-6000	Ingen flimmer ved HF forkobling	Reduktion af lysstrøm over levetid
T8, 5 pulver	18	26/590	1000	9.000	6.600	56	95	3000-6500	Lav luminans	Lysstrømmen er temperaturafhængig.
T5, 3 pulver (kun til HF drift)	14	16/549	1200	9.000	-	86	85	2700-4000		Den optimale temperatur er 38 °C på overfladen
T5, 5 pulver (kun til HF drift)	24	16/549	1400	9.000	-	58	95	4000		
T5, 3 pulver, cir- kulær (kun til HF drift)	22	16/517	1800	9.000	3.500	82	85	2700-4000		

Tabel 16. Data for kompaktlysstofrør.

Osram lyskildekatalog	Effekt	Lysstrøm	Lys- udbytte <sup>1</sup>	Diameter/ længde	Ra og lys- farve
	W	Lm	lm/W	mm	
<i>Enstrengt rør</i>					
Dulux L DE LUXE	18	750	42	17,5/217	930
Dulux L	18	1200	67	17,5/217	830
Dulux L DE LUXE	24	1200	50	17,5/317	930
Dulux L	24	1800	75	17,5/317	830
Dulux L	36	2900	81	17,5/411	830
LUMILUX HO	24	1750	73	16/549	830
LUMILUX DW LUXE HO	24	1400	58	16/549	940
<i>Tostrengede rør</i>					
Master PL-L De Luxe Pro	18	950	53	39/220	930
Master PL-L	18	1200	67	39/220	830
Master PL-L De Luxe Pro	24	1500	63	39/315	930
Master PL-L	24	1850	77	39/315	830
Master PL-L De Luxe Pro	36	2350	65	39/410	930
Master PL-L	36	2900	81	39/410	830
Master PL-L De Luxe Pro	55	3650	66	39/535	930
<i>Cirkulære rør</i>					
FC Cirkulære lysstofrør	22	1800	82	16/225	830
				(/diameter lyskilde)	
FC Cirkulære lysstofrør	40	3200	80	16/300	830
				(/diameter lyskilde)	
PL-Q Pro	16	1050	66	15/141	830
				(/diameter lyskilde)	
PL-Q Pro	28	2050	73		830
	22	1800	81	16/230	Ra 80
	55	4200	76	16/305	Ra 80
Kompakt F fire fingre	18	1100	61	79x122	Ra 80

<sup>1</sup>Lysudbyttet er angivet uden effekttab i forkobling.

Tabel 17. Data for lyskilder generelt

Lyskilde	Effekt	Dimensioner	Lysstrøm	Levetid	Luminans	Lysudbytte	Farvegengivelse	Lysfarve	Fordele	Ulemper
	W	mm	lm	timer	cd/m <sup>2</sup>	lm/W	-	K		
<i>Temperaturstrålere</i>										
<i>Glødelampe</i>										
	40	60x105	420	1.000	47.000	10,5	99	2700	Tænder straks, kan dæmpes	Høj varmeudvikling
	60	60x105	710	1.000	80.000	11,8	99	2700	Ingen flimmer	
<i>Halogenglødelampe</i>										
6 V stift	10	9,33	110	5.000		11	99	2800-3200	Tænder straks, kan dæmpes	Høj varmeudvikling
12 V stift	10	9/33	130	5.000		13	99	2800-3200	Ingen flimmer	UV-stråling
12 V stift	35	12/44	900	5.000		26	99	2800-3200		
12 V stift	50	12/44	1200	5.000		24	99	2800-3200		
230 V	25	18/67	260	2.000	?	10,4	99	2900		
230 V	60	18/67	820	2.000	?	13,7	99	2900		
<i>Luminiscensstrålere</i>										
<i>Lysstofrør</i>										
T8, 3 pulver	18 (23 *)	26/590	1350	9.000	9.000	59	85	2700-6000	Ingen flimmer ved HF forkobling	Reduktion af lysstrøm over levetid
T8, 5 pulver	18 (23 *)	26/590	1000	9.000	6.600	43	95	3000-6500	Lav luminans	Lysstrømmen er temperaturafhængig.
T5, 3 pulver (kun til HF drift)	14	16/549	1200	9.000		60-100	85	2700-4000		Den optimale temperatur er 38 gr. på overfladen
T5, 5 pulver (kun til HF drift)	24	16/549	1400	9.000	20.000-40.000	65-105	95	4000		Flimmer og tænding ved konventionel forkobling
T5, 3 pulver, cirkulær (kun til HF drift)	22 (34 *)	16/517	1800	9.000	3.500	53	85	2700-4000		
<i>Kompaktlystofrør</i>										
2 stifter med indbygget starter	11 (16 *)	27/237	900	8.000	12.000	56	82-85	2700-4000	Lav varmeafgivelse	Forskellige sokler
2 stifter uden indbygget starter (til HF drift)	11 (14 *)	27/237	900	10.000	12.000	64	82-85	2700-4000	Fås i mange dimensioner	Svære at dæmpe ved små wattager
4 stifter uden indbygget starter (til HF drift)	18 (20 *)	27/146	1200	10.000	13.000	60	82-85	2700-4000		
4 stifter uden indbygget starter, 5 pulver	18 (20 *)	17,5/21 7	950	15.000	10.400	32	92-95	3000-5400		



Kompaktlamper										Flimmer og tænding ved konventionel forkobling
Sokkel E27, globe	15	97/169	700	15.000	6.000	47	82-85	2700		Kan ikke dæmpes
Sokkel E27, stavformet	15	45/128	900	15.000	21.100	60	82-85	2700		Dyre i anskaffelse
Dioder										
Hvid	6	39x15x 9 l L x B x H	20	50.000	200	33	over 80	3300	Ingen UV	Der kan være en vis farveforskel fra diode til diode
										Resistent over for mekaniske påvirkninger
Andre lyskilder										
Kviksølv				8000- 12000		45	20-60	3000- 6000		Reduktion af lysstrøm over levetid, kan ikke reguleres, tændingstid 4-5 min, gentændingstid 5-6 min.
Metalhalogenlamper	35 (38 *)	19/100	3300	8.000	?	87	85-95	3000		50 % dæmpning (gule farver ved dæmpning), stor lysstrømsnedgang, tændingstid 1 min, gentænding 2-3 min
Lavtryksnatriumlamper								0		Monokromatisk lysudsendelse
Højtryksnatriumlamper				10.000- 20.000		85	20-80	2000- 2800	Kan reguleres	
Induktionslamper	85	?	5500	60.000	?	65	80	3000- 4000	Ingen reduktion af lysstrøm over tid	Kræver specielt forkoblingsudstyr, kan ikke reguleres

Kilder:

Osram Lyskildeskatolog (online 2007)

Elektriske Lyskilder. Lys og belysning. Lysteknisk Selskab. 1993

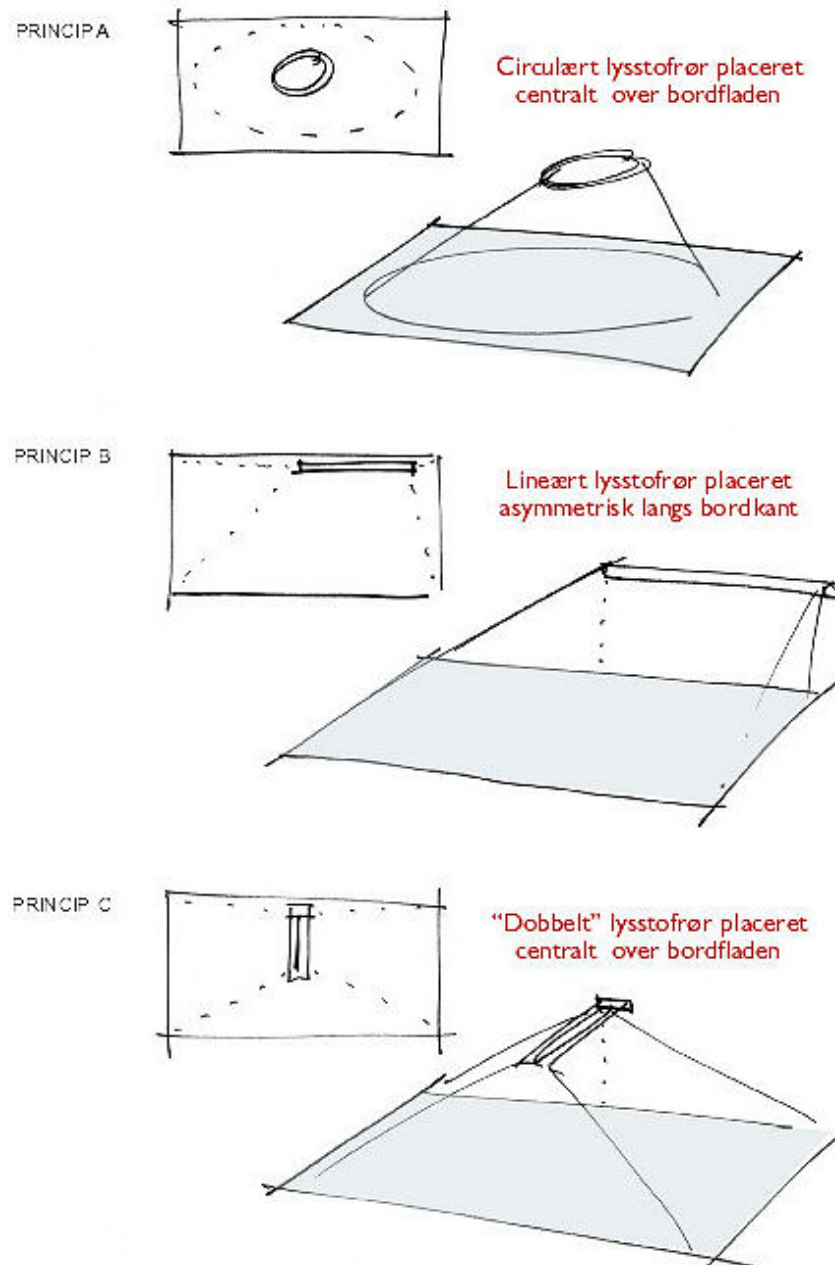
Lumileds katalog (2007)

Louis Poulsens brochure om udendørsbelysning

## 5. Udvikling og afprøvning af koncepter

### Principper for lampeudformning og lyskildeplacering

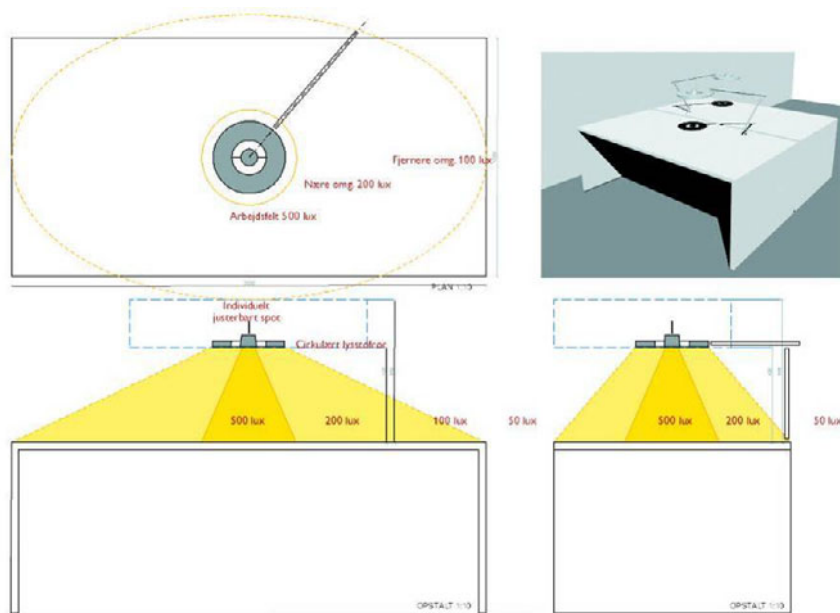
Der blev defineret 3 principielle muligheder for placering af lyskilder, som illustreret i figur 5. Overvejelserne vedrørende lyskilderne og deres placering tog udgangspunkt i et ønske om, at lampen i sig selv skulle kunne opfylde kravene i DS 700 (DS 700, 2005) til lys på arbejdspladsen, se figur 6. I forhold til traditionelle arbejdslamper skulle den nye lampe altså kunne give en belysningsstyrke på hele bordpladen på minimum 200 lux. I arbejdsfeltet skal belysningsstyrken være minimum 500 lux. For hvert princip defineredes varianter, fx i form af supplerende lyskilder eller med dobbelte lyskilder.



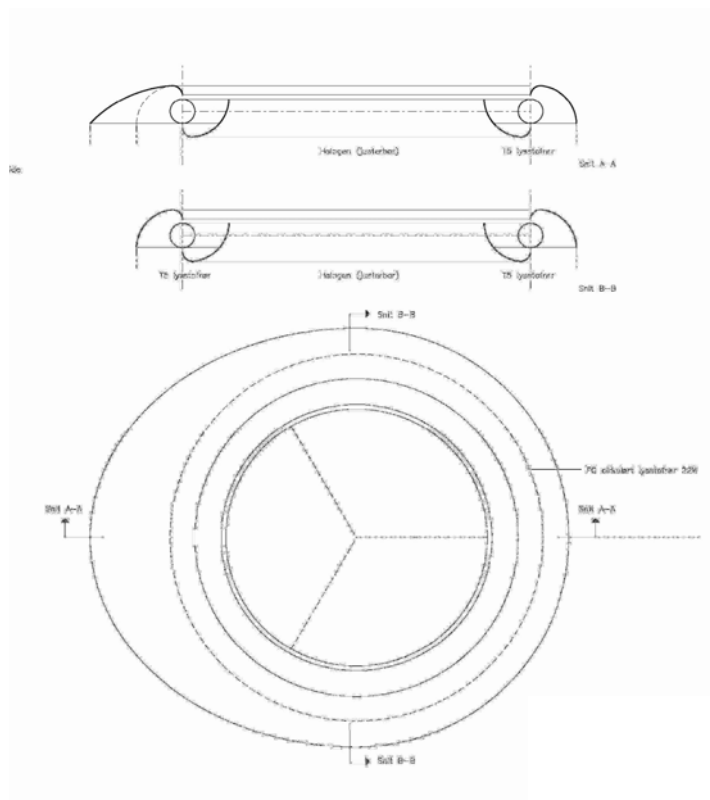
Figur 5. Principper for lyskildetype og -placering til at opfylde krav vedrørende lys på arbejdsbordet.

## Princip A: Cirkulær lyskilde

Cirkulære lyskilder kunne have designmæssige og æstetiske fordele med hensyn til lampens form og funktion. Dog vil det være et problem, at lyskilden er ret stor. Desuden vil der af hensyn til bordets form være behov for at udforme reflektor og lampe således at lyskildens cirkulære lysfordeling ændres til en elipseformet lysfordeling (se figur 6 og figur 7), hvilket vil reducere lampens virkningsgrad. Endelig er det problematisk, at cirkulære lysrør vil 'skygge for sig selv' eller skygge for lysudsendelsen fra reflektoren, hvorfor virkningsgraden vil være mindre end den, der kan opnås i armaturer med lineære lyskilder.

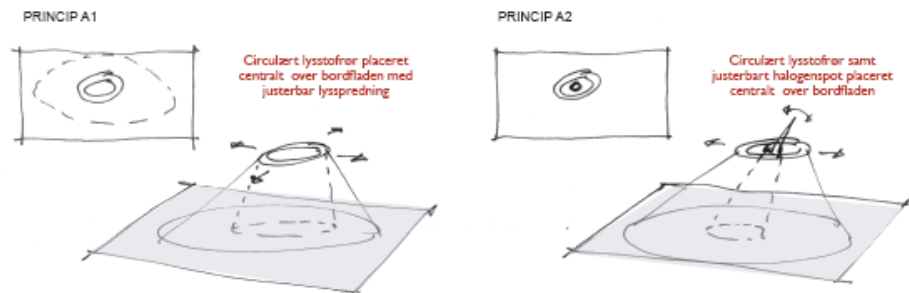


Figur 6. Skitse til målsætning for lysfordelingen fra arbejdslampen, her illustreret med en cirkulær lampe.

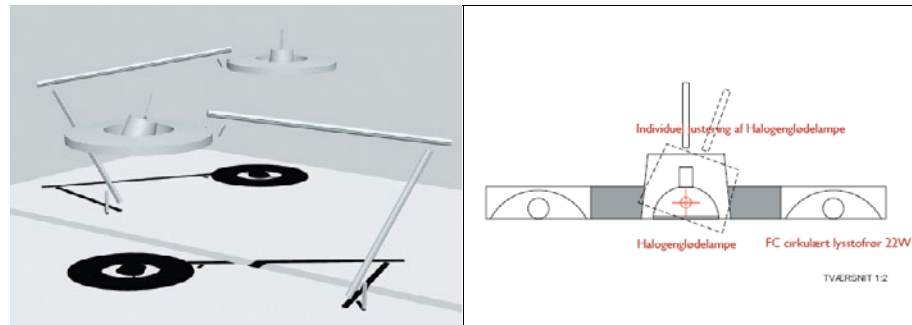


Figur 7. Skitse til udformning af reflektor til lampe med cirkulært lysstofrør. For at opfylde målsætningen om 200 lux på hele skrivebordet, må reflektoren udformes således at lysfordelingen bliver asymmetrisk.

Designmæssigt blev der arbejdet med en variant, hvor det cirkulære lysrør suppleredes med en spot placeret i midten, se skitsen i figur 8 og figur 9. De senere målinger - på andre lyskilder - indikerede, at belysningsstyrken under det cirkulære armatur ville være væsentlig højere end nødvendigt, hvorfor en ekstra spot ikke ville være hensigtsmæssig.



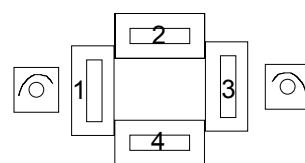
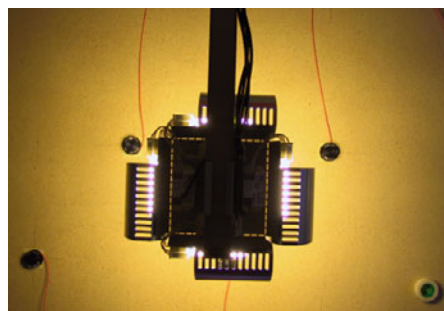
Figur 8. principskitser for lamper med cirkulært kompaktlysør. Som en variant blev der arbejdet med en lampe, hvor det cirkulære lysør suppleredes med en spot placeret i midten.



Figur 9. Arkitektskitser til en mulig udformning af den cirkulære lampe med spot i centrum.

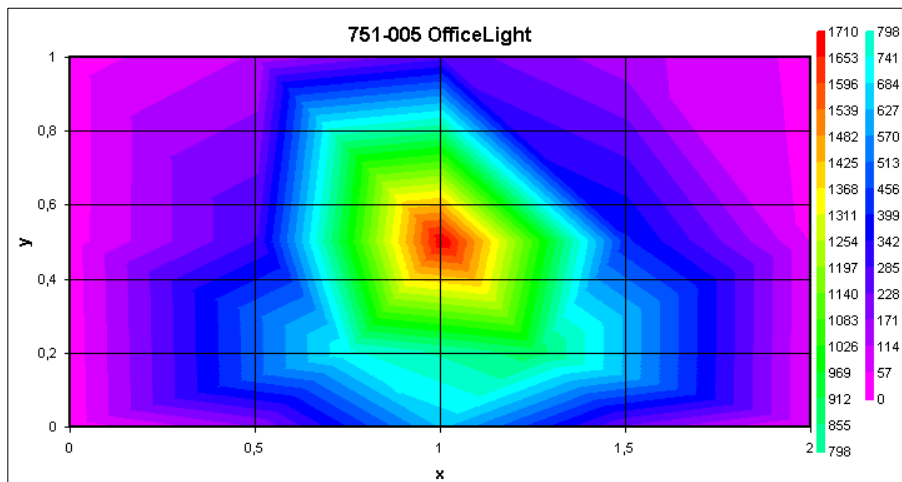
Ud fra de tegnede skitser til en lampe baseret på et cirkulært kompaktlysør blev mulighederne for at producere en sådan lampe grundigt undersøgt. Forudsætningen ville være, at der blev fremstillet en 3D reflektorskabelon. Projektdeltagerne råder imidlertid kun over maskiner, der arbejder i 2D, og derfor blev muligheden for ekstern fremstilling undersøgt. Fremstilling af en prototypereflektor i 3D kan godt lade sig gøre, i første omgang efter en pc-simulering af et tænkt armatur. Omkostningerne for beregningerne og fremstilling af reflektor ville dog overskride projektets økonomiske rammer. Peder Øbro fra Hansen & Henneberg, der kan beregne 3D-reflektorer, oplyser at et prisgæt ville være i omegnen af kr. 80.000,-.

Udformningen af en lampe baseret på et cirkulært lysstofrør indebærer derfor så store udfordringer, at konceptet forsøgte 'modificeret' til et armatur med 4 stk. kompaktlysstofrør placeret i et kvadrat, se figur 10. Et 4-rørs armatur blev således afprøvet med henholdsvis 7 og 9 W kompaktlysstofrør samt en kombination af disse.



Figur 10. Billedet viser forsøgsopstillingen med 4 stk. 7 W kompaktlysstofrør, som skulle give indtryk af, hvordan et cirkulært armatur ville fungere.

Figur 11 viser den tilhørende lysfordeling. Med de monterede reflektorer giver de 4 kompaktlysrør, i alt 28 W, et belysningsniveau under lampen som er meget højt, ca. 1500 lux, hvilket er generende højt. Generelt er der for stor variation i lysfordelingen over bordet, i arbejdsfelt er belysningsstyrken således over 600 lux, mens den ved bordets gavle er mindre end 100 lux.

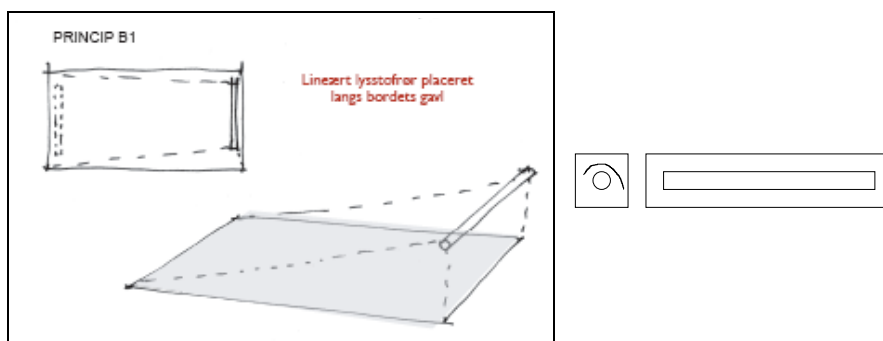


Figur 11. Lysfordeling fra kvadratisk armatur med 4 stk. 7 W kompaktlysrør. Belysningsniveauet under lampen meget højt, ca. 1500 lux, hvilket er generende højt, og generelt er der for stor variation i lysfordelingen over bordet.

### Princip B: Lineær lyskilde lang bordets kant

Konceptet i princip B, med et lineært T5 lysrør, udsprang af ønsker om et enkelt armatur og en høj effektivitet. Æstetisk kunne det være fordelagtigt, at armaturet var placeret langs en bordkant, således at der var en vis orden i placeringen af mange arbejdslamper i et storrumskontor. Ved denne placering ville lampen også være mindst muligt i vejen for arbejdet på bordet og placering af pc-skærm etc.

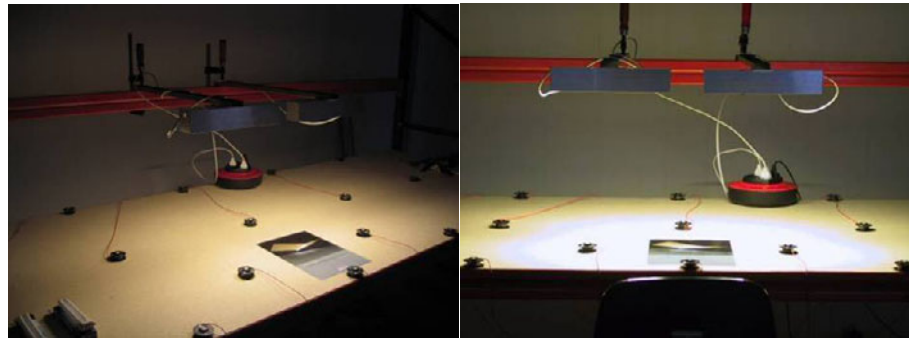
Til forsøgene blev der først konstrueret et armatur til et 22 W T5 rør med en asymmetrisk reflektor. Armatur anbringes for enden af bordet, parallelt med den korte side, se figur 12. I ca. 40 centimeters ophængningshøjde fik man en høj belysningsstyrke nær armaturet men uden mulighed for at sprede lyset ind over bordet. To armaturer, symmetrisk anbragt omkring arbejdsobjektet, gav heller ikke tilstrækkeligt lys til at nå op på 500 lux. For at opnå 500 lux på arbejdsobjektet vil det være nødvendigt at hæve armaturerne yderligere, hvilket vil give generende blænding fra lysrøret (indkig til lyskilde). B1-princippet kræver derfor supplerende spot-belysning, hvilket gør løsningen kompliceret og uinteressant rent energimæssigt.



Figur 12. Skitse til forsøg med lampe med lineært lysrør for enden af bordet. Forsøgene viste, at for at opfylde kravet om 200 lux på hele bordplanet, skal lampen placeres så højt, at der opstår blænding.

Der blev også gennemført flere forsøg med lineære lyskilder i to armaturer placeret i forlængelse af hinanden, parallelt med bordets lange kant, se figur

13. Armaturerne blev ophængt over bordets midte (ca. 38 cm til underkant af armatur) parallelt med bordets lange side. Armaturerne afprøvedes i to stillinger: 1) Armaturer sidder tæt sammen og 2) Armaturer sidder ca. 9 cm fra hinanden, se figur 5 og 6. Hvert armatur var bestykket med et 7 W PL-rør. Desuden blev der foretaget målinger med henholdsvis 9 W og 11 W PL-rør.

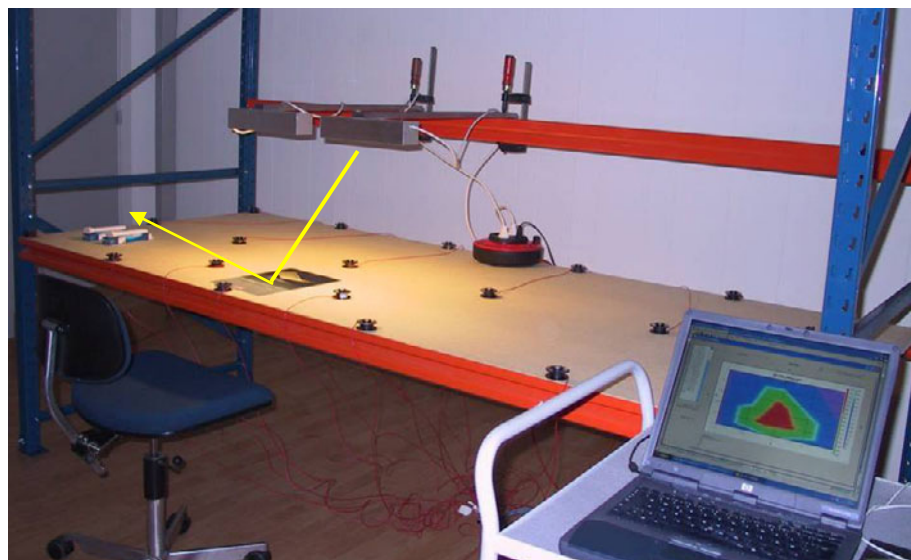


Figur 13. Afprøvning af lineære lyskilder i to armaturer placeret i forlængelse af hinanden, parallelt med bordets lange kant.



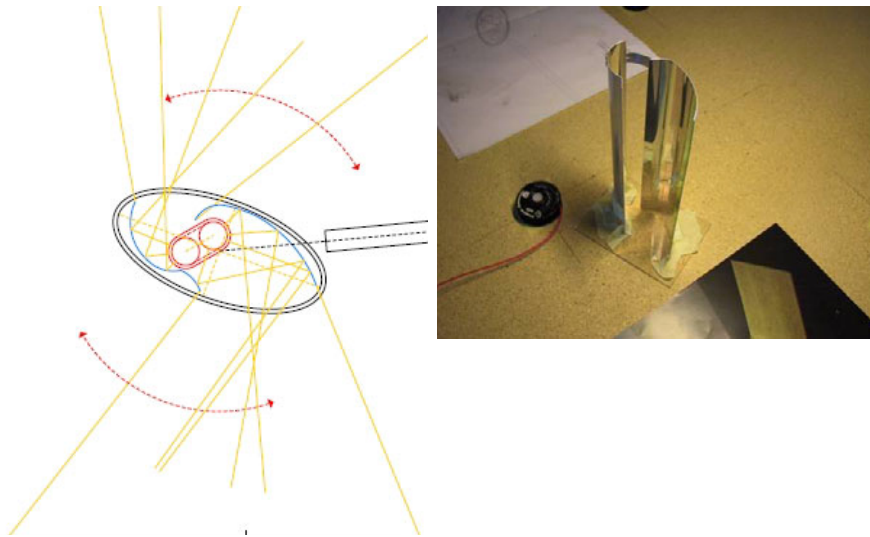
Figur 14. Placering af armaturer i forlængelse af hinanden, henholdsvis tæt sammen og med ca. 9 cm afstand.

Forsøg med at placere lampen langs bordets bagkant (langside) medførte primært problemer med reflekser i blankt papir. Spejlinger af lyskildens kunne ses i en stor del af det nære arbejdsområde, og det stod klart, at lampen måtte flyttes længere ud mod brugeren og mere ud til siden for at undgå disse reflekser.



Figur 15. Skitse til forsøg med lineært lysrør i lampe placeret ved bordets bagkant. Selv om det ville være muligt at opnå den ønskede lysfordeling og de ønskede belysningsstyrker, falder ideen på, at der opstår generende reflekser i blankt papir foran brugeren (vist med gul pil).

På grund af generne fra spejling af lyskilden i blankt papir på bordet foran brugeren, blev der udviklet en ny reflektor, se figur 16, ligesom der blev indbygget et dobbelt-parabolsk gitter i armaturerne. Samtidig blev der lavet en opslidsning i toppen af reflektoren så armaturet kunne lyse opad, hvorved kontrasten til omgivelserne reduceredes, se figur 17.



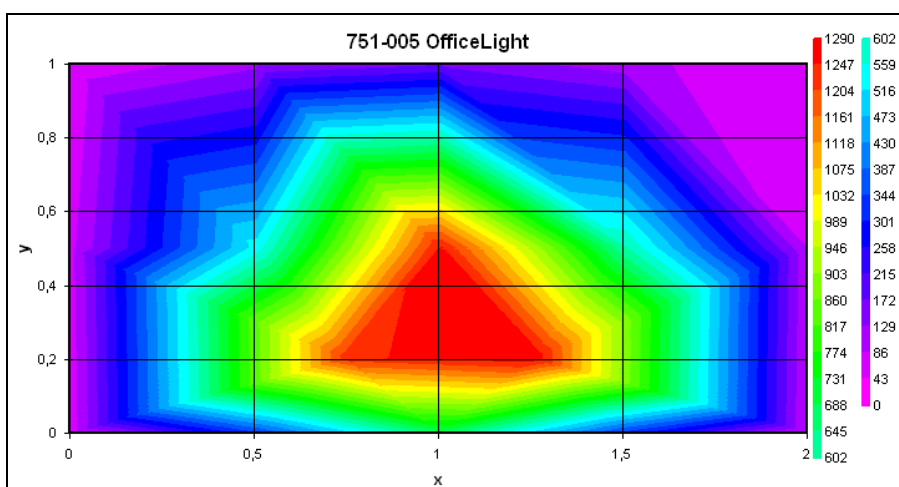
Figur 16. Skitse til indbygning af PL-rør i forhold til reflektor samt den fremstillede reflektor med åbning opad, som giver mulighed for op-lys.

Virksomheden af op-lyset var meget positiv, og blev en ide for den videre udvikling. Derimod viste det sig, at det dobbelt-parabolske gitter nedsatte armaturets virkningsgrad meget betydeligt.



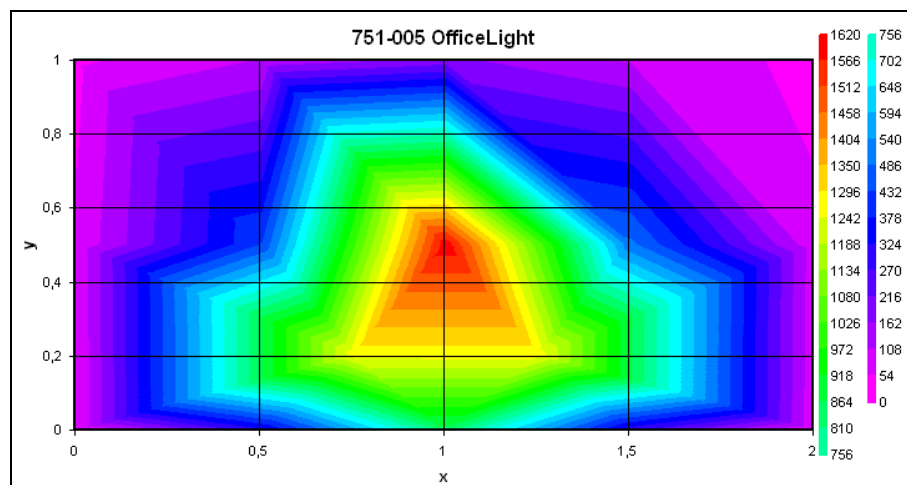
Figur 17. Princip med lineære armaturer med dobbelt-parabolsk gitter og "up-light" spalter.

Som modellen var opbygget koncentrerer den dobbelt-parabolske reflektor lyset centralt på bordet og efterlader resten af bordarealet i mørke, hvilket er uønsket. Efter lidt diskussion blev man enige om at opgive løsningen med dobbelt-parabolsk gitter.



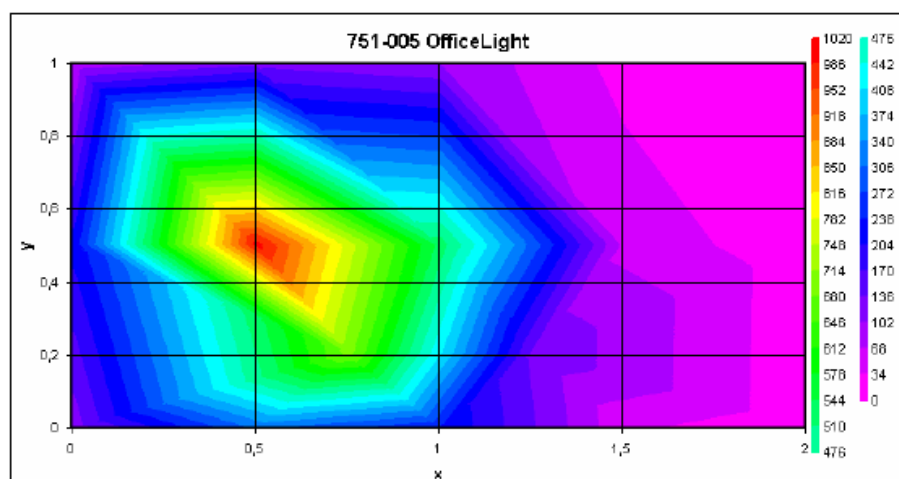
Figur 18. Belysningsstyrke på bordet for princip med lineære armaturer med dobbelt-parabolsk gitter og up-light spalter. Lyskilder: PL rør, 9 W.

En vurdering af resultatet gav anledning til overvejelser om, hvorvidt de to armaturhalvdele skulle drejes 90° så de blev parallelle med bordets korte side.



Figur 19. Belysningsstyrke på bordet for princip C4 tæt sammen. PL rør, 9 W.

Målinger viste, at de stillede krav til belysningsstyrke godt kan opfyldes på arbejdsobjektet, men der mangler stadig lidt lys i yderkanterne af bordet. Målingerne blev dog foretaget med håndholdt reflektor. Isoluxdiagrammet er vist i figur 20 for venstre halvdel af det samlede armatur, altså 1x11 W. Placeringen af armaturet parallelt med bordets langside giver dog anledning til blænding i papirer på bordet.

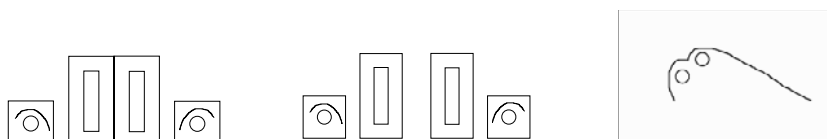


Figur 20. Lysfordeling fra ét lampehoved med asymmetrisk, parabolisk reflektor.

### Princip C: Dobbelt lyskilde placeret central over bord

Erfaringerne fra de første forsøgsserier og lysprincipper indikerede, at en centralt placeret men flytbar lampe med regulerbar lysfordeling måske bedst kunne opfylde de opstillede kravspecifikationer. En lampe med to lyskilder indbygget i to 'lampehoveder', som individuelt kunne indstilles efter det aktuelle behov, blev derfor udviklet. Der blev fremstillet to enkeltarmaturer med en svagt asymmetrisk reflektor til lysstofrør type PL, 9 eller 11 W. Undervejs i afprøvningen udvikledes reflektorer, som fordelte lyset længere ud fra lampens position, se skitsen til højre i figur 21.

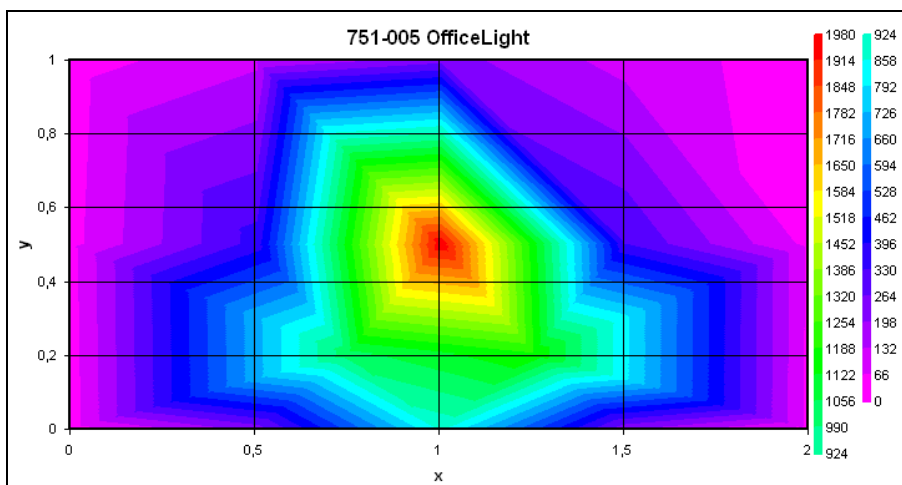
Armaturerne blev ophængt over bordets midte (ca. 38 cm til underkant af armatur) parallelt med bordets korte side, og afprøvedes i to stillinger: 1) Med armaturerne tæt sammen og 2) Med armaturer ca. 9 cm fra hinanden.



Figur 21. Skitse af placering af armaturer ved siden af hinanden, dels placeret tæt ved hinanden, og dels placeret med en afstand på ca. 9 cm. Til højre den nye reflektorudformning med parabolisk, asymmetrisk udformning.



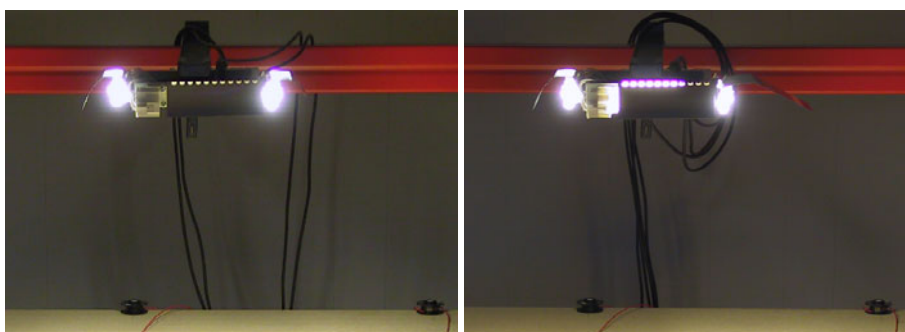
Den målte lysfordeling fra de to lampehoveder placeret tæt sammen viste, at kravet om min. 100 lux på hele bordpladen var tæt ved at være opfyldt. Ved en mere præcis udformning af reflektor og nøjagtig placering af lyskilden ville dette krav kunne opfyldes, jf. figur 22.



Figur 22. Belysningsstyrke på bordet for princip C3 tæt sammen. PL rør, 2x11 W.

Når lysfordelingerne ikke er helt symmetriske skyldes det, at reflektorerne ikke er "perfekte" samt at PL-rørene ikke er fikseret i den "løse" ende. At PL-rørene ikke var fikseret, kunne tydeligt ses på bordplanet, når rørenes løse ende blev flyttet op og ned i forhold til reflektoren. Forsøg med 2 stk. 9 W kompaktlystofrør viste, at den nye reflektor 'flytter' lyset nærmere bordets midte med ca. 150 lux ved venstre bordkant og mellem ca. 250 og 600 lux i arbejdsfeltet, se figur 20.

Forsøgene med reflektoren, som spredte lyset mere ud over bordet viste, at der kunne opnås en bedre lysfordeling, men at effekten skulle øges fra 9 til 11 W. Lamperne er vist i figur 23.



Figur 23. Forsøg med to lampehoveder placeret med afstand. Lyskilder: PL-rør 9, henholdsvis 11 W. Til højre reflektorudformning, som fordeler lyset mere ud over bordet.

Der blev arbejdet videre med udformningen af C4 armaturet, således at det både gav up-light og down-light som vist på figur 16. Der blev bukket en ny reflektor i blankt materiale med slidser for up-light, se figur 24.

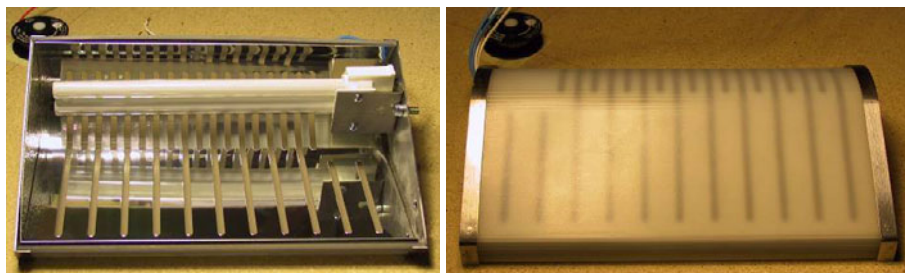


Figur 24. Lampehoveder med slidser i reflektoren for uplight. Til højre reflektor, som spreder lyset.

Højre bordkant mangler lys. I visse arbejdsstillinger kunne den nye (højre) reflektor give anledning til blænding på arbejdsobjekt. For at afhjælpe dette

blev det forsøgt at maske den yderste del af reflektoren af med sort papir. Dette fjernede blændingen men sænkede til gengæld belysningsstyrken ud over bordets højre halvdel. Belysningsstyrken kan øges ved brug af 2 stk. 11 W kompaktlystofrør. Dette vil også øge lysniveauet i arbejdsfeltet.

På dette grundlag udvikledes et nyt sæt lampehoveder med ophængningsystem til det samlede armatur. Placering og dimensioner af up-light spalter for ovenlys ændredes i forhold til tidligere forsøg. Indvendigt består lamperne af en blank reflektor med et antal spalter til up-light og udvendigt er der over reflektoren monteret en semitransparent skærm i polycarbonat, satiné kvalitet. Begge typer reflektorer er forsynet med et stk. 11 W kompaktlystofrør, se figur 25 og figur 27. Lampehusene kan drejes omkring deres længdeakser således at man kan afværge eventuelle blændingsgener mod naboer ved andre arbejdsborde.



Figur 25. Lampehoved, reflektor med slidser samt lyskilde (t.v.) og diffuserende satiné-skærm (t.h.)

Ved placering af 'lampehovederne' ved siden af hinanden, virker det naturligt at kunne dreje dem i forhold til hinanden (både op og ned). Forsøg med dette viste, at når et lampehoved drejes lidt op, opstår der et blændingsproblem med det samme, se figur 26, så denne fremgangsmåde kan ikke benyttes til at ændre på lampens lysfordeling på bordet.

Figur 26. Drejning af lampehoveder i forhold til normal-positionen. Billedet viser, hvor lille vinkling der skal til, før blænding forekommer.

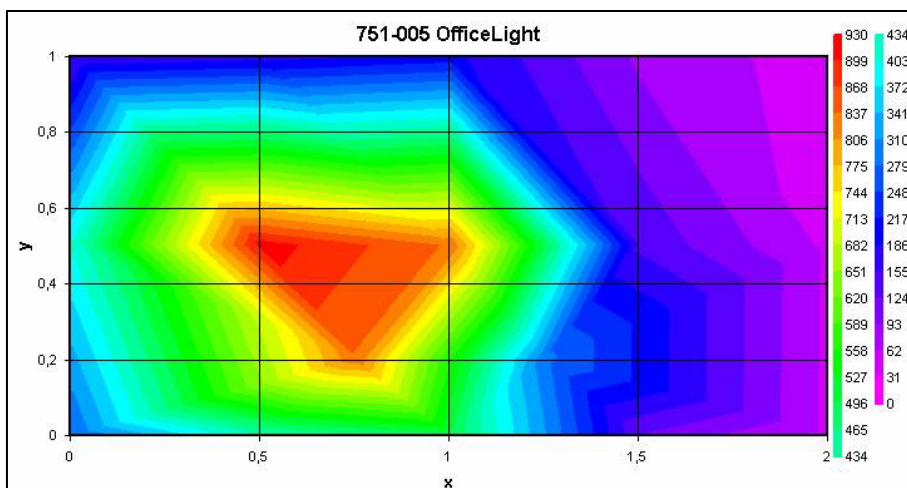


Ved at dreje et lampehoved nedad blokerer dette for lyset fra det andet lampehoved. Denne egenskab kan udnyttes i forbindelse med hæve-/sænkeborde, hvor der er øget risiko for blænding af personer, som sidder ved et bord, der ikke er hævet. Mulige positioner af de to lampehoveder blev undersøgt med hensyn til blænding. Konklusioner på dette: 1) Lysrørene må kun være tændt i et lampehoved, når dette står vandret (underkant); 2) Når et lampehoved drejes ned, bør lyskilden derfor slukke; 3) Lampehovederne bør ikke dreje længere ned end til ca. 45 grader, da en mere lodret position giver refleksioner (blænding) fra det andet (tændte) lampehoved, se figur 27.



Figur 27. Illustration af lampehovederne funktion som afskærmning for blænding. Lampehalvdelene kan drejes individuelt.

Målingerne på de to asymmetriske lampehuse, HF-forkoblinger (Philips, rød matchbox) og 11 W rør farve 830 giver en lysningsfordeling som vist i figur 28. Belysningsniveauet direkte under lampen er over 900 lux. Belysningsstyrken i arbejdsfeltet er i gennemsnit 495 lux. Belysningsstyrken ved bordets venstre gavl er mellem 150 og 410 lux. Ved højre gavl er niveauet under 100 lux, men dette vil være højere med en mere central placeret lampe. En måling på loftet umiddelbart over lampen giver en belysningsstyrke på ca. 75 lux 2,7 meter over gulv. Lysfordelingen er noget følsom for at lysstofrøret er placeret korrekt i fatningen. De benyttede fatninger har ikke et "fast" greb om rørene, disse kan da i den modsatte ende af fatningen vippe en lille smule nedad. Sker dette ændres lysfordelingen.



Figur 28. To asymmetriske lampehoveder. Belysningsniveau med 2 stk. 11 W kompaktlystofrør og rød forkobling.

Den sidste ændring på lampen blev, at hvert lampehoved blev forsynet med et hvidlakeret metalgitter. Formålet var at konstatere om gitteret kunne reducere blændingen fra lyskilder og reflektorer. Umiddelbart kunne det konstateres, at blændingen forsvandt eller reduceredes mærkbart. I første forsøg havde metalgitteret kun fået et lag hvid maling, hvilket synes at påvirke lysfarven i en "grålig" retning. I den endelige prototype ville flere lag hvid maling vil kunne rette op på dette problem. Figur 29 viser gitterets fremtoning, når lampen betragtes nedefra, altså set fra en naboarbejdsplads ved siddende arbejde, når forsøgslampen anvendes ved et hævet arbejdsbord.



Figur 29. Hvidlakeret metalgitter set nedefra i forskellige vinkler.

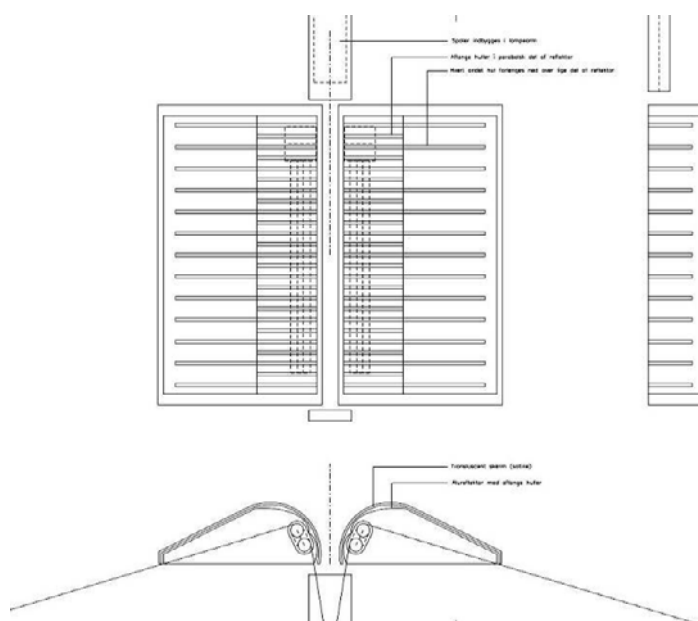
## Endelig prototype

Forsøgene resulterede i en lampe bestående af to lampehoveder, hver forsynet med 11W PL-rør. Reflektoren er asymmetrisk og med slidser som medfører op-lys. Slidserne er dobbelte over lyskilderne for at opnå større oplys, og 'enkelte' på yderste halvdel af reflektoren for at reducere evt. gener af blænding. Lampens overside består af translucet skærm (satiné), der giver et behageligt oplys uden blænding (afhængig af baggrundsbelysning). I den endelige udformning af prototypen skal der benyttes en fysisk mindre fatning, der kan indbygges i lampens gavl. Gitteret vil derefter kunne forløbe fra gavl til gavl.

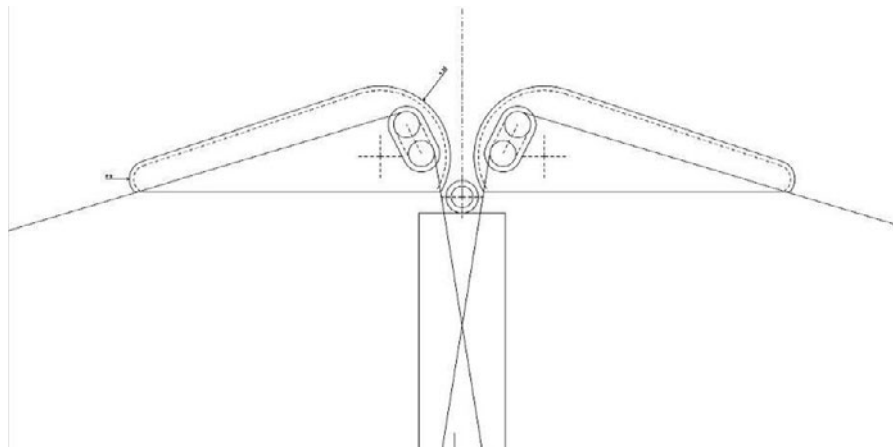


Figur 30. Sidste version af prototypen, hvor alle detaljer, som påvirker lampens lysfordeling, er blevet justeret ind. I den endelige prototype skal gitteret forløbe fra gavl til gavl.

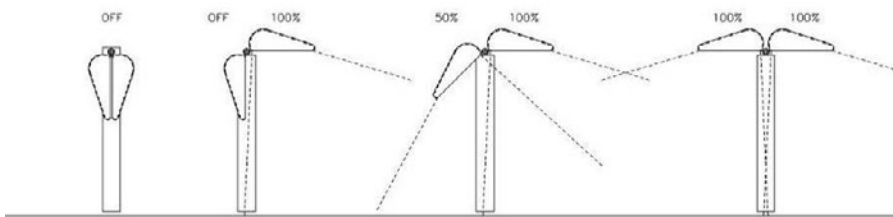
Figur 31 og figur 32 viser de endelige arbejdstegninger for fremstilling af lamper til fuldskalaforsøgene.



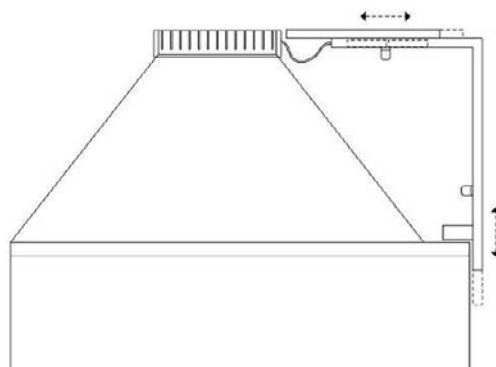
Figur 31. Tegning af den endelige prototype-lampe bestående af to individuelt justerbare lampehoveder.



a.



b.

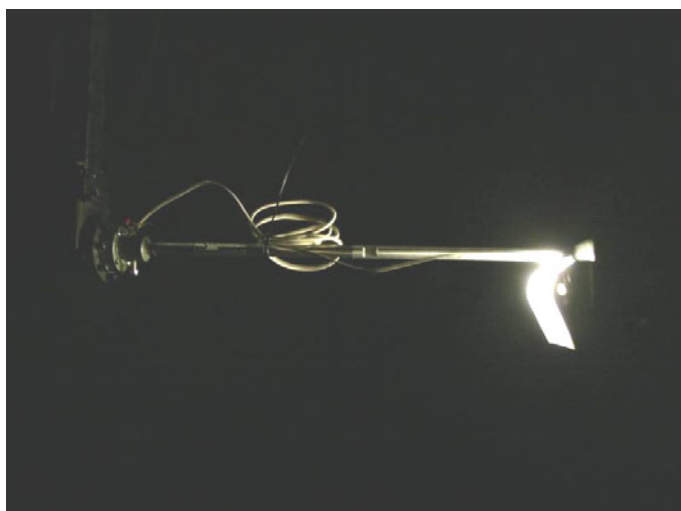


c.

Figur 32. Skitser for justeringsmuligheder af de to lampehoveder i den endelige prototype. a. viser udformning og indbyrdes palcering af lampehoveder og lyskilder, b. viser mulige justeringer af lampehoveder, c. viser hele lampens forskydning i forhold til bordet.

### Måling af lysfordeling fra prototype

For at vurdere lampens lysudsendelse og armaturvirkningsgrad, og for at kunne benytte lampes lysfordeling i lysberegningsprogrammer, blev den gennemmålt hos Louis Poulsen Lighting i Vejen. Figur 33 viser fotos fra disse målinger, mens figur 34 viser resultaterne. Målingen af lampens lysudsendelse opad synes at give lavere værdier end forventet, og måske har op-hængningen været lidt u hensigtsmæssig for denne måling, idet kabler og ophæng synes at skygge for lyset. Ud fra målingerne er armaturvirkningsgraden beregnet til 52 %, hvilket skønnes at være ok for prototypen, idet finjusteringer af reflektor, gitter og lyskildeplacering formentlig ville kunne hæve virkningsgraden med ca. 10 %.



Figur 33. Fotos fra afprøvning af lampe hos Louis Poulsen Lighting Fabrik i Vejen.

**louis  
poulsen**

LouisWin 5 (5.0.18)

Projekt-nr.:

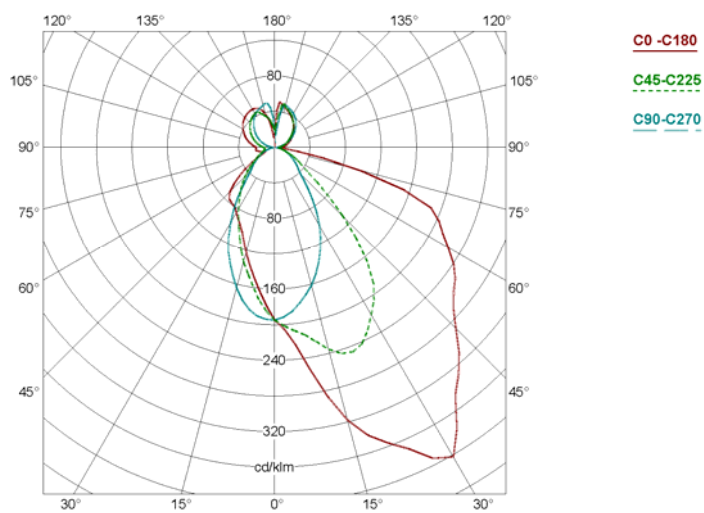
Filnavn:

Dato / Sagsbeh.: 26.06.2008 / att

Projektbeskrivelse:

Udskriv polarkurve

Bordlampe SBI ø lampe / 1xPhilips PL-S 11W/830 2G7



Figur 34. Lysfordelingskurver for 3 måleplaner. Målinger foretaget hos Louis Poulsen Lighting A/S.

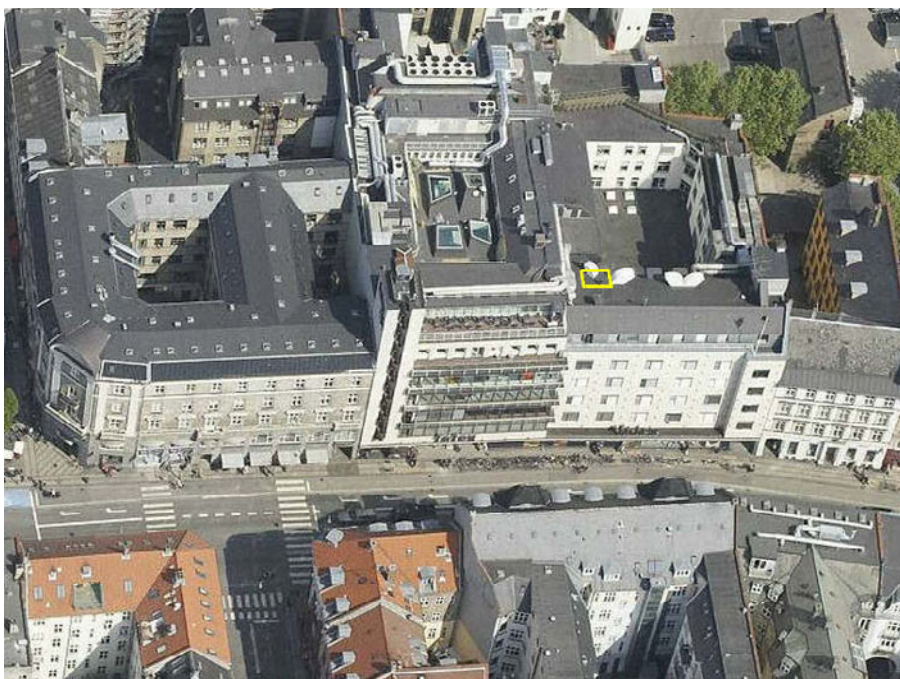
## 6. Demonstration af nyt belysningsystem

### Beskrivelse af forsøget

Forsøgene blev gennemført i perioden 16. februar - 30. marts 2008 (jf. tidsplanen i bilag) i et udvalgt kontorområde hos Henning Larsen Architects bestående af 6 arbejdspladser. Det udvalgte område har et areal på 44 m<sup>2</sup>. Som det ses i nedenstående figur, har området meget lidt dagslys, idet der kun er vindue i det nordøstlige hjørne af området. Dette blev betragtet som en fordel, idet lyset fra lamperne da bedre kunne vurderes uden for meget dagslys.



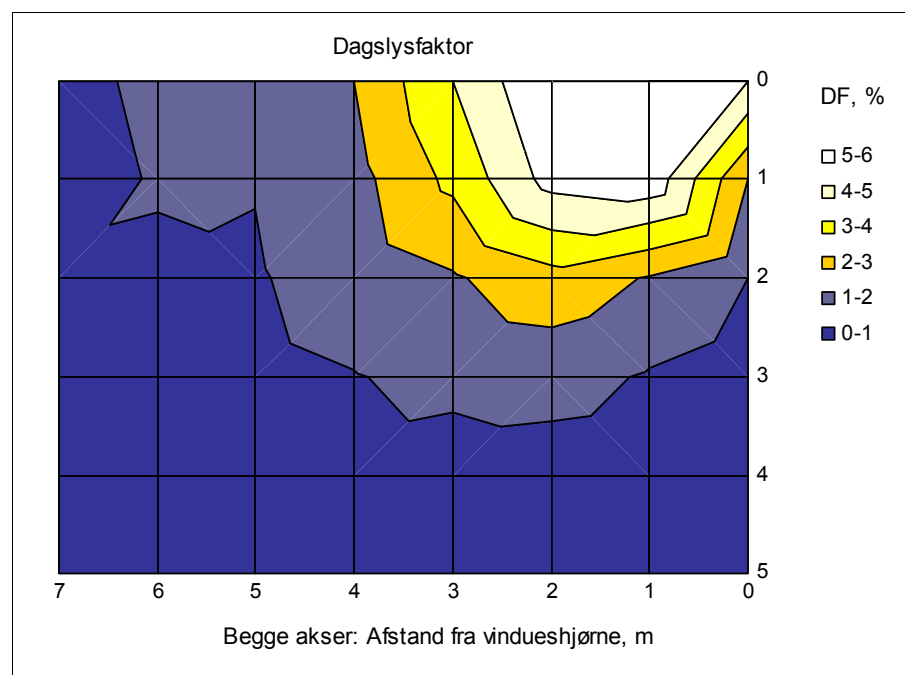
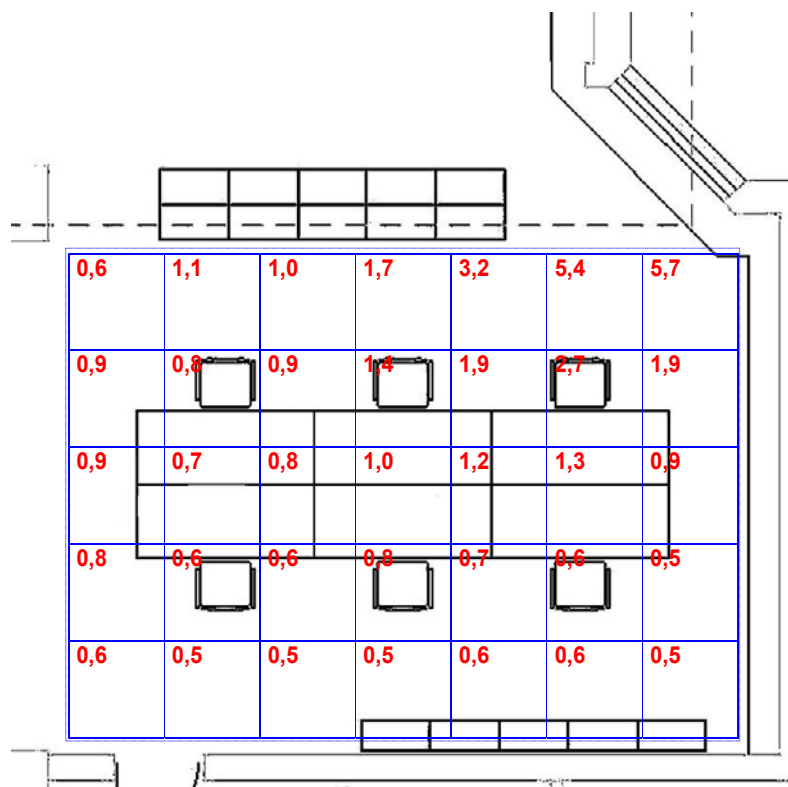
Figur 35. Forsøgsområde hos Henning Larsen Architects med begrænset dagslys fra vinduet i det nordøstlige hjørne af forsøgsområdet. Eksisterende armaturer med 1x28 W T5-rør er indbygget i loftet.



Figur 36. Skråfoto af bygningen med forsøgsområde, som ligger på 3. etage. Området har kun ét vindue i hjørnet mod nordøst og mod gården med bygninger, som går 2 etager højere op. (Krak/COWI 2008).

## Dagslysmålinger

Dagslysmålingerne blev foretaget på en ikke ideel overskyet dag, dvs. med en luminansfordeling, som til tider kunne afvige noget fra definitionen på en CIE-overskyet himmel. Til formålet skønnedes målingerne af dagslysfaktoren dog at være tilstrækkeligt præcise til at vurdere det generelle dagslysniveau. Resultatet er vist grafisk i figur 37. Det fremgår, at dagslysniveauet er meget lavt i hele forsøgsområdet, bortset fra ved den arbejdsplads, som er nærmest ved vindueshjørnet. Her har personen endda ryggen mod vinduet, og har således dårlig dagslysadgang i alle tilfælde.

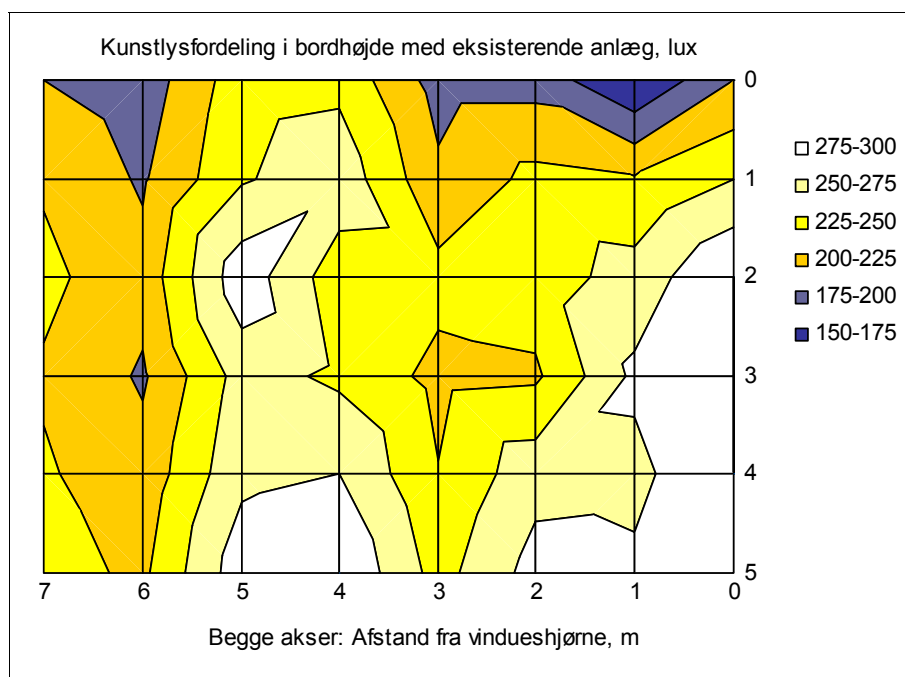
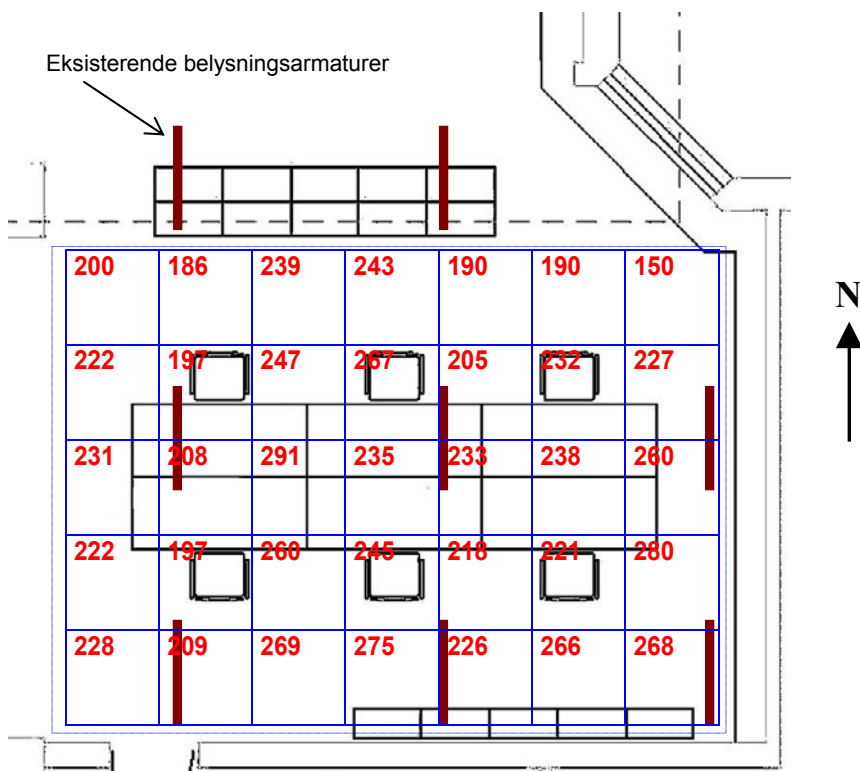


Figur 37. Illustration af de målte dagslysfaktorer i forsøgsområdet. Figuren viser, at der er et ganske lavt dagslysniveau, idet der kun opnås en dagslysfaktor på 2 % ved en enkelt arbejdsplads.



## Målinger på eksisterende belysningsanlæg

Den eksisterende belysning består af 6 nedadlysende loftarmaturer med hver ét lysstofrør á 28 W og arkitektlamper som arbejdslamper, hver med en 60 W glødepære, se figur 36. Den samlede installerede effekt var således  $6 \times 28 \times 1,1 + 6 \times 60 = 185 \text{ W} + 360 \text{ W} = 545 \text{ W}$  (10 % til forkobling). Belysningsstyrkerne blev målt i bordhøjde med slukkede arbejdslamper, og resultaterne er vist grafisk i figur 38. Det fremgår, af grafen, at belysningsstyrken i området som helhed ligger højere end 200 lux, og at dette niveau opnås overalt på arbejdsbordene, som krævet i DS700 (Dansk Standard, 2005).



Figur 38. Målte belysningsstyrker på arbejdsplan med det eksisterende belysningsanlæg, uden arbejdslamper. Belysningsniveauet er på alle arbejdspladser over 200 lux, som krævet i DS700.

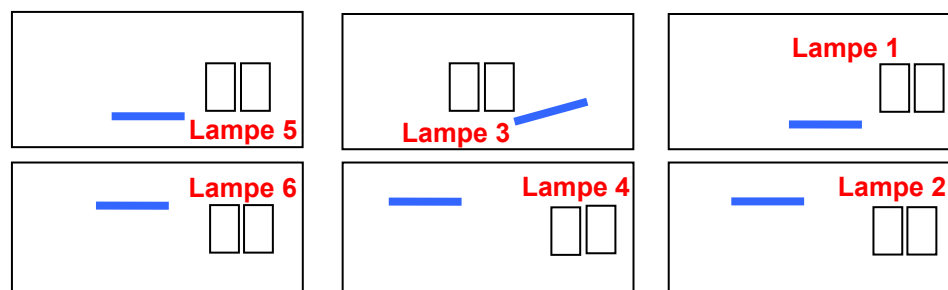


Figur 39. Foto af forsøgsområdet, der viser det eksisterende belysningsanlæg med armaturer indbygget i loftet.

## Målinger af belysningen i de 3 forsøgssituationer

### Forsøgsopstilling

Til forsøget blev der fremstillet 6 prototyper af arbejdslampen, som blev afprøvet i perioden 26. februar – 30. marts 2008. På hver af de 6 arbejdspladser blev der opsat en prototype af den udviklede arbejdslampe. I nedenstående figur ses placering af arbejdslamperne samt placering af PC skærme.



Figur 40: Skitse over lampernes placering på de 6 forsøgs arbejdspladser vist med to firkanter, som illustrere de to lampehoveder i hver lampe. De kraftige (blå) linjer markerer placering af pc-skærm.

For at vurdere arbejdslamperne i forskellige forhold blev der målt lys- og energiforhold under fire forskellige situationer:

- Situation 0: Eksisterende forhold
- Situation A (26. februar – 17. marts): Hvor kun arbejdslamperne var tændt. I den sidste del af perioden (fra d. 7. marts) blev der opsat hvide loftplader over forsøgsområdet.
- Situation B (17.marts – 25.marts): Arbejdslamperne suppleres med generel belysning, idet 4 af de eksisterende loftarmaturer blev tændt (2 armaturer ved østvæg og 2 ved sydvæg).
- Situation C (25.marts - 30. marts): Arbejdslamperne suppleres med en up-light stander (Waldmann Straight) med bevægelses- og dagslys-sensor.

De 4 situationer er vist figur 41.



Situation 0: Eksisterende



Situation A, med hvide loftsplader.



Situation B, med supplerende loftbelysning

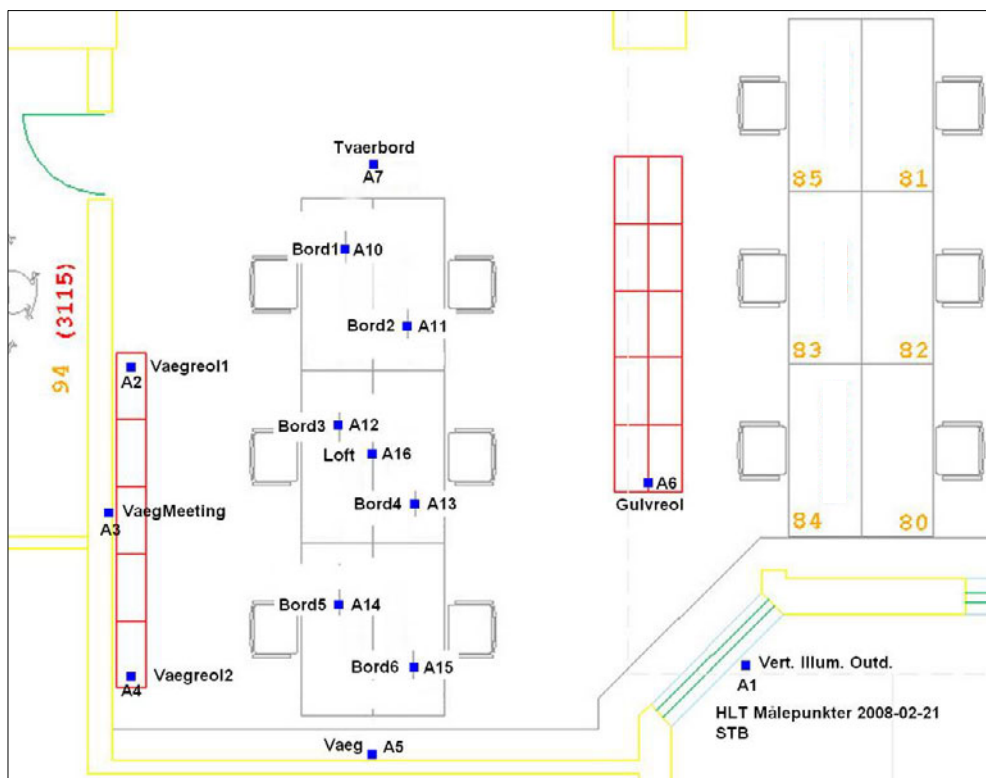


Situation C, med supplerende up-light stander

Figur 41: Fotos fra de 4 forsøgssituationer, henholdsvis det eksisterende belysningsanlæg (O) og med de nye arbejdslamper i tre forskellige situationer: A - uden supplerende lys, B - med supplerende lys, primært på vægge samt C - med supplerende lys fra uplight-stander.

## Målepunkter

Under forsøgene blev der registreret belysningsstyrker i målepunkterne vist på figur 42. Formålet med disse målinger var løbende at registrere belysningsniveauet i forsøgsområdet med det antal arbejdslamper, der til ethvert tidspunkt var tændt.

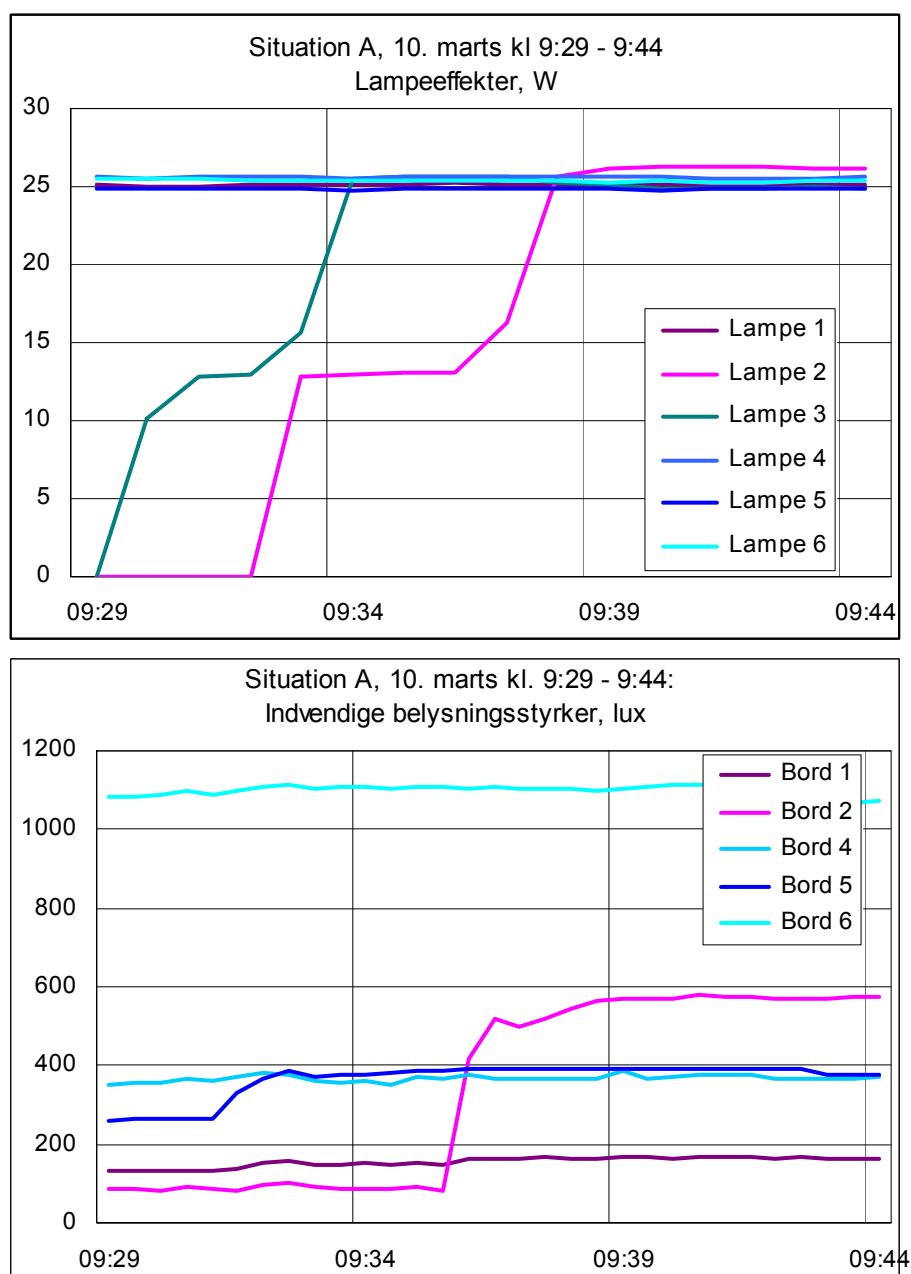


Figur 42. Placering af følere til måling af belysningsstyrker i hele forsøgsområdet.

## Situation A: Arbejdslamper og hvide loftplader

I den første periode (situation A, se figur 41) var det målet at undersøge, hvordan arbejdslamperne fungerede uden nogen form for supplerende belysning. Da forsøgsområdet har meget lidt dagslys, viste det sig hurtigt, at brugerne oplevede området som utilstrækkeligt oplyst, hvorfor der blev opsat interimistiske hvide loftplader under det eksisterende loft. Det eksisterende loft består af stræk-metal under hvide plader og har en lysreflektans på ca. 0,5, hvilket må siges at være en meget lav reflektans. Med de nye plader øgedes loftets lysreflektans centralt over arbejdsbordene til ca. 0,75, hvilket svarer til en typisk loftsreflektans. Pladerne forblev monterede under hele dette og de følgende forsøg.

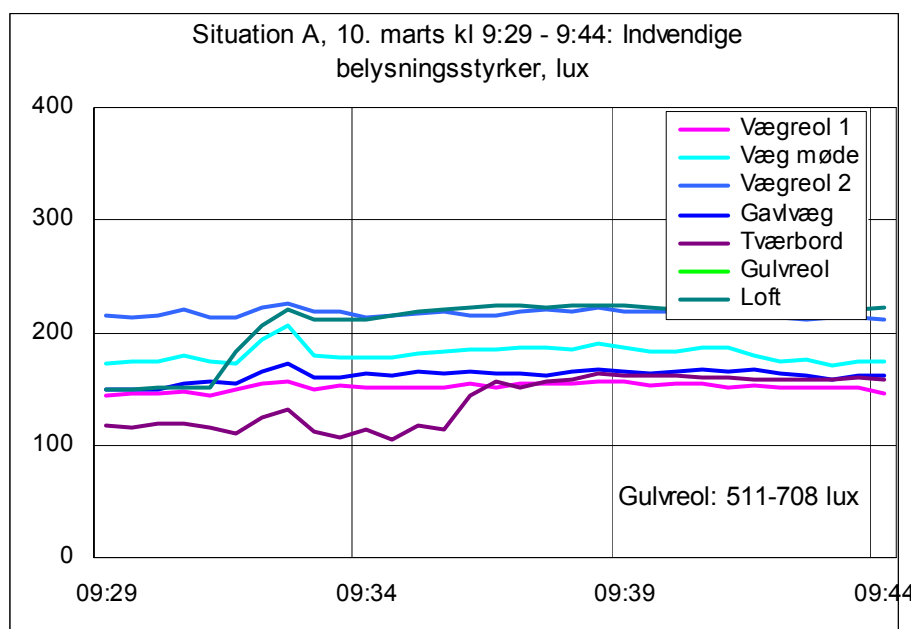
Figur 43 viser effektoptagelsen for de 6 arbejdslamper (øverst) samt belysningsstyrkerne i målepunkterne på arbejdsbordene den 10. marts i perioden kl. 9:29 - 9:44. Det ses, at lampe 3 og lampe 2 bliver tændt inden for dette tidsrum, og at alle lamper er tændt fra kl. 9:37. Den samlede optaget effekt er på ca.  $6 \times 2 \times 11 \times 1,15 \text{ W} = 152 \text{ W}$  (15 % til forkobling). Nederste graf viser belysningsstyrken i enkeltpunkter på 5 af de 6 borde, idet signalet fra bord 3 var fejlbehæftet i hele forsøgsperioden og derfor er udeladt.



Figur 43. Situation A: Effektoptagelse i de 6 arbejdslamper samt belysningsstyrker centralt på bordene. Den lave belysningsstyrke på bord 1 skyldes sandsynligvis, at føleren har været i skygge af ting på bordet.

Der er en stor usikkerhed i de absolutte værdier af belysningsstyrkerne, og kraftig afhængighed af, hvordan det enkelte punkt er placeret i forhold til de nærmeste lamper og i forhold til skyggende genstande på bordet. Figur 43 indikerer dog, at niveauet på centrale områder af bordet ligger på et niveau mellem 350 og 400 lux (bord 4 og 5), mens niveauet lige under en lampe ligger tæt ved 600 lux (bord 2). Områder, som modtager lys (direkte) fra to lamper ligger over 1000 lux (bord 6). Belysningsstyrken på områder af bordene, som er længere fra arbejdslamperne, fremgår ikke af målingerne, men her viser målingerne fra prototypeudviklingen i laboratoriet, at niveauet er tæt ved de 200 lux.

Belysningsniveauet på de nærmere områder af kontoret fremgår af figur 44, der viser variationen i belysningsstyrkerne i punkterne A2 - A6 samt A16 vist på figur 42. Efter at den sidste lampe er blevet tændt ligger belysningsstyrken i alle punkterne over 150 lux, inklusive bidragene fra dagslyset. Da dagslysniveauet i den pågældende periode har ligget omkring 6.000 lux på facaden, svarende til ca. 11.000 lux på vandret, er bidragene fra dagslyset i størrelsesordenen 65 lux, hvilket betyder, at niveauet fra arbejdslamperne alene er omkring 100 lux i hovedparten af punkterne.



Figur 44. Belysningsstyrker på nærmere områder af arbejdspladserne, jf. målepunkter vist på figur 42.

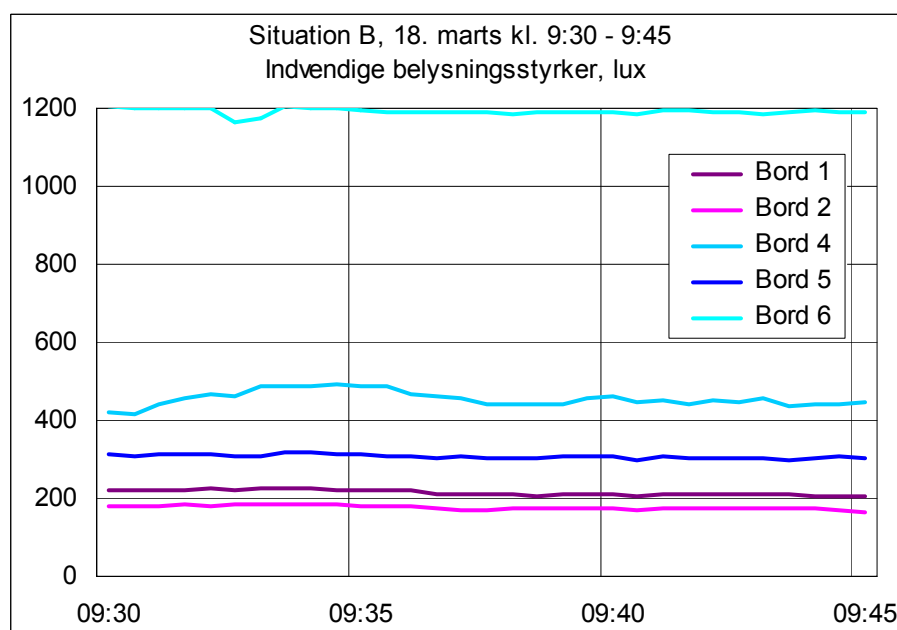
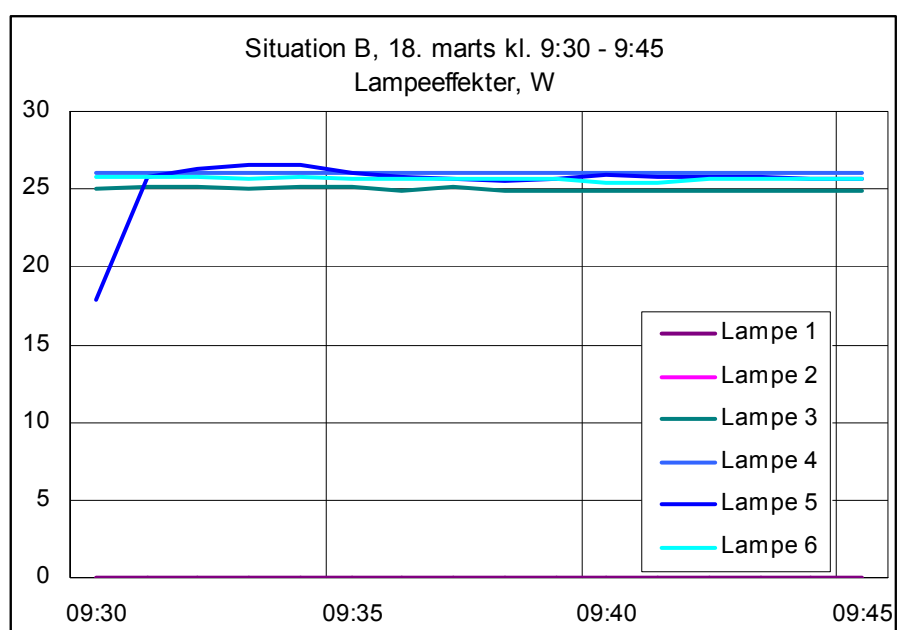
#### Konklusioner vedr. situation A

- Brugernes oplevelse af lyset er meget domineret af, at de sidder i et meget mørkt område af det samlede åbenplan kontor. Der er stor forskel i dagslysniveauet i det lokale område og resten af kontoret, ligesom der på lyse dage er en meget stor kontrast mellem området nær ved hjørnevinduet og den øvrige del af det lokale kontorområde.
- Dagslysniveauet er væsentligt under, hvad der normalt anses for acceptabelt ved faste arbejdspladser (normalt kræves en dagslysfaktor på 2,0).
- Den enkelte bruger tænder normalt flere lamper end sin egen for at opnå tilstrækkeligt lys i hele designgruppens arbejdsområde. Én til to lamper kan dog være slukket ved borde, hvor en eller to brugere ikke er til stede. I langt den overvejende del af arbejdstiden er alle arbejdslamper tændt.
- Arbejdslamperne giver et tilpas (eller højt) belysningsniveau på det enkelte arbejdsbord, og tilsammen giver lamperne en tilstrækkelig belysningsstyrke på alle bordene (> 200 lux).
- Arbejdslamperne giver alene et belysningsniveau, der normalt vil opfattes som tilstrækkeligt i de nære områder omkring bordene (ca. 100 lux).

## Situation B: Arbejdslamper plus supplerende lofts-/vægbelysning

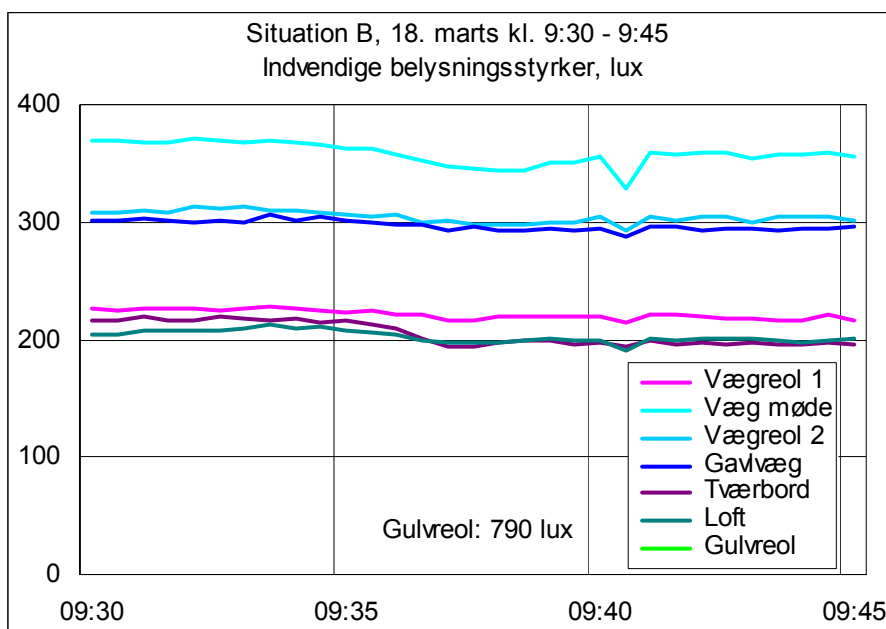
I den anden af måleperioderne (situation B) blev det forsøgt at kompensere for områdets manglende dagslys ved at tænde 4 af loftsarmaturerne. Denne ændring medførte især mere lys på gavlvæggen (ved siden af vinduet) og noget på væggen ind mod møderummet. Virkningen heraf var især, at kontrasterne mellem lyset fra arbejdslamperne og omgivelserne blev reduceret, jf. figur 41, situation B. Figur 45 viser, at lampe 1 og 2 ikke var tændt i den pågældende måleperiode, og at lampe 5 blev tændt kl. 9:31. Dagslysniveauet var omtrent det samme i situation B som den var i situation A. Det samlede belysningsniveau var en smule højere (bord 4 og 6) end i situation A, også på bord 1 og 2, selv om lamperne her ikke var tændt. Effektoptagelsen til det supplerende lys fra det eksisterende belysningsanlæg blev ikke målt, men kan skønnes til  $(4 \times 28) \times 1,10 + 152 = 275 \text{ W}$ .

Ligesom i situation A er belysningsstyrken i målepunktet på bord 6 meget høj, hvilket dels kan skyldes, at føleren er placeret umiddelbart under lampen og dels at dette punkt modtager en del dagslys. Som helhed viser målingerne, at belysningsstyrken på bordene ligger mindst på det ønskede niveau, over 200 lux, selv uden bidraget fra dagslyset.



Figur 45. Situation B: Effektoptagelse i de 6 arbejdslamper samt belysningsstyrker centralt på bordene. Lamperne 1 og 2 har slet ikke været tændt i perioden, men alligevel ligger belysningsniveauet på bord 1 og 2 omkring 200 lux. Effektoptagelsen til det supplerende lys fra det eksisterende belysningsanlæg skønnes til  $(4 \times 28) \times 1,10 = 123 \text{ W}$ , hvilket giver en samlet effekt på  $123 + 152 = 275 \text{ W}$ .

Målingerne af belysningsstyrkerne i de nærmere områder omkring arbejdsbordene i situation B fremgår af figur 46. Kurverne viser klart, at niveauet nu er steget fra 150-200 lux i situation A til 200-350 lux i situation B, altså en stigning på 50-100 lux på grund af det supplerende loftsllys. Dagslysniveauet i den viste måleperiode var på samme niveau som i situation A, dvs. omkring 6.000 lux på facaden eller ca. 11.000 lux på vandret, hvilket giver i dagslysbidrag i de fleste målepunkter på ca. 65 lux. Belysningsstyrken fra kunstlyset samlet på de vandrette flader er således omkring 150 lux, dog ca. 250 lux i punktet på vægreol 2. I punktet på loftet er belysningsstyrken lidt lavere end i situation A, hvilket må skyldes, at lampe 1 og 2 ikke er tændt.



Figur 46. Belysningsstyrker på nærmere områder af arbejdspladserne, jf. målepunkter vist på figur 42.

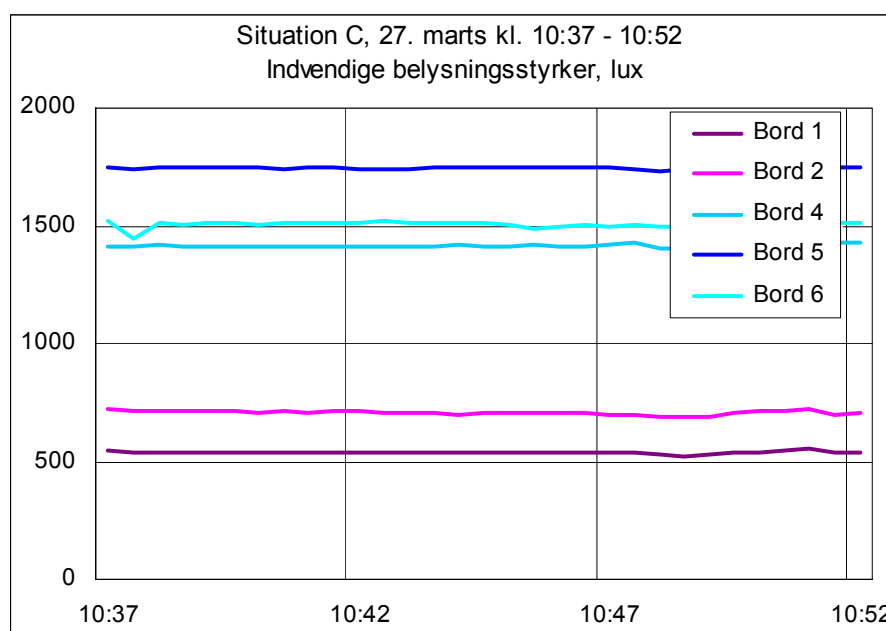
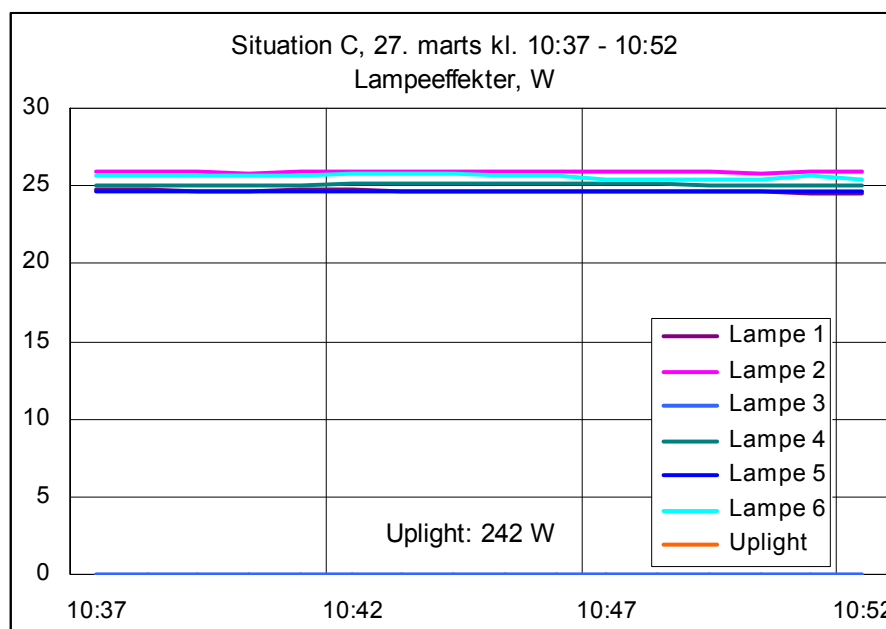
#### Konklusioner vedr. situation B

- Den supplerende belysning fra den eksisterende loftsbelysning reducerer de store kontraster mellem belysningsniveauet på bordene og de nærmere omgivelser, jf. figur 41.
- Dagslysniveauet er væsentligt under, hvad der normalt anses for acceptabelt ved faste arbejdspladser (normalt kræves en dagslysfaktor på 2,0).
- Målingerne indikerer, at den enkelte brugers behov for at tænde andres arbejdslamper reduceres noget pga. det supplerende lys fra loftet / på væggene.
- Arbejdslamperne giver et belysningsniveau på de enkelte arbejdspladser, som normalt vil anses for at være tilpas (eller højt), og tilsammen giver lamperne en tilstrækkelig belysningsstyrke på alle bordene (> 200 lux).
- Arbejdslamperne plus den supplerende belysning giver tilsammen et tilstrækkeligt niveau i de nære områder omkring bordene (ca. 150 lux).

### Situation C: Arbejdslamper plus supplerende uplight

I den tredje af måleperioderne (situation C) blev det forsøgt at kompensere for områdets manglende dagslys ved at supplere med en uplight-stander, centralt placeret mellem bordene. I denne situation stiger belysningsniveauet i hele området markant. Belysningsstyrken centralt på bordene stiger med 500 - 700 lux, mens den på de fjernere borde stiger med 300 - 400 lux, jf. figur 47. Det bemærkes, at der er stor usikkerhed på målingerne af belysningsstyrker i de enkelte punkter og derfor også på sammenligninger mellem de forskellige situationer. De enkelte punkter kan være mere eller mindre i skygge fra genstande på bordet, eller de kan være placeret umiddelbart under en arbejdslampe i en given situation.

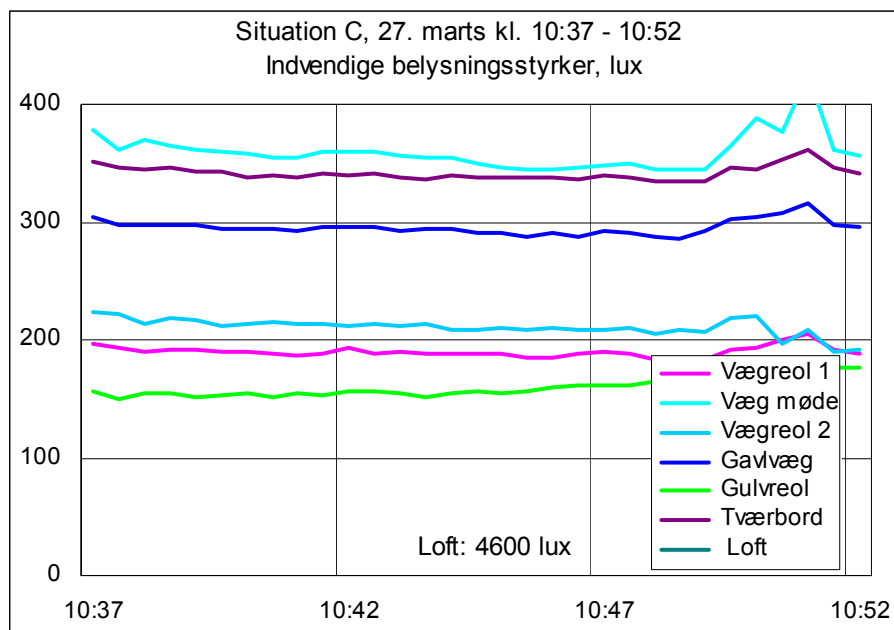
Dagslysniveauet var omtrent det samme i situation C som den var i situationerne A og B. Øverste del af figur 47 viser, at alle arbejdslamper på nær lampe 3 var tændt i registreringsperioden. Samtidig var der konstant tændt for uplight-standeren, således at den samlede effektoptagelse (med alle arbejdslamper tændt) var på  $152 + 242 = 394 \text{ W}$ . Belysningsstyrkerne på bordene 4, 5 og 6 er meget høje, hvilket skyldes at følerne i dette tilfælde modtager meget reflekteret lys fra uplight-standeren og samtidig meget direkte lys fra arbejdslamperne.



Figur 47. Situation C: Effektoptagelse i de 6 arbejdslamper samt uplight-standeren samt belysningsstyrker i målepunkterne på de 6 borde. Den samlede effektoptagelse var på  $152 + 242 = 394 \text{ W}$ .



Målingerne af belysningsstyrkerne i de nærmere områder omkring arbejdsbordene i situation C fremgår af figur 48. Kurverne viser - lidt overraskende - at belysningsniveauet i de nære omgivelser nu var lidt lavere end i tilfælde B (bortset fra på tværbordet for enden af bord 1 og 2). Dagslysniveauet i den viste måleperiode var på samme niveau som i situation A og B, dvs. omkring 6.000 lux på facaden eller ca. 11.000 lux på vandret, hvilket giver i dagslysbidrag i de fleste målepunkter på ca. 65 lux. Belysningsstyrken fra kunstlyset samlet på de vandrette flader er således omkring 150 lux, dog ca. 290 lux i punktet på tværbordet.



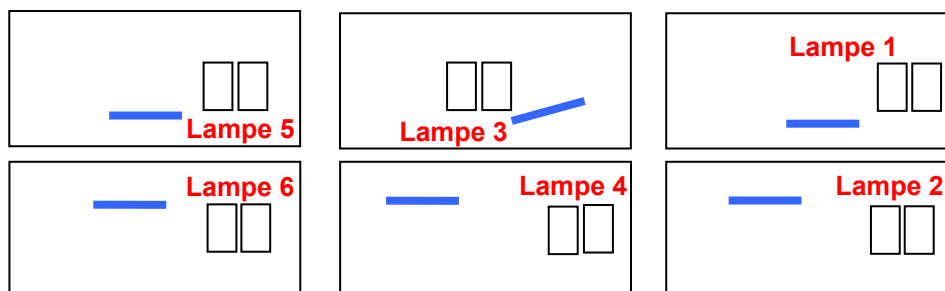
Figur 48.

#### Konklusioner vedr. situation C

- Den supplerende belysning fra uplight-standeren giver et væsentligt højere belysningsniveau på bordene, således at belysningsstyrken centralt på bordene stiger med 500 - 700 lux, mens den på de fjernere borde stiger med 300 - 400 lux i forhold til situation B.
- De høje belysningsstyrker på bordene står i kontrast til belysningsstyrkerne på de nære omgivelser (vægge og reoler), hvor belysningsstyrken er lidt lavere end i situation B, jf. figur 41.
- Dagslysniveauet er væsentligt under, hvad der normalt anses for acceptabelt ved faste arbejdspladser (normalt kræves en dagslysfaktor på 2,0).
- Målinger og spørgeskemabesvarelser indikerer, at den enkelte brugers behov for at tænde andre arbejdslamper reduceres noget pga. det supplerende lys fra uplight-standeren.
- Arbejdslamperne giver belysningsstyrker og luminansværdier på de enkelte arbejdspladser, som normalt vil anses for at være høje, og måske i visse tilfælde for høje i forhold pc-arbejde. Tilsammen giver uplight-standeren og arbejdslamperne belysningsstyrker højere end 500 lux på alle bordene.
- Uplight-standeren og arbejdslamperne giver tilsammen et tilstrækkeligt niveau i de nære områder omkring bordene (ca. 150 lux), dog er det overraskende, at niveauet generelt er lidt lavere end i situation B.

## Energimålinger

I hele forsøgsperioden, fra den 26. februar til den 30. marts blev der registreret effektoptagelse fra de 6 arbejdslamper. Hver arbejdslampe har to lyskilder, som det er muligt at tænde og slukke uafhængigt af den anden. Den samlede effekt på hver lampe blev registreret ved hjælp af en energimåler (Spar-O-Meter) for hver af lyskilderne. Den installerede effekt er 11 W pr. lyskilde, dvs. 22 W pr. lampe, hvortil kommer energiforbruget til forkobling (ca. 15 % i flg. målingerne).



Figur 49. Placering og nummerering af de 6 arbejdslamper, hver med to lampehoveder med et 11 W kompaktlysør.

Energimålerne loggede energiforbruget hvert minut. Energimålerne kan måle i intervallet 0,2 - 2.300 W, og energimålerne har et egetforbrug på 0,4 W i flg. Elsparefonden, som velvilligt havde stillet energimålerne til rådighed.



Figur 50: Logning af energi-forbrug med energimålerne (Spar-O-Metre) udlånt af Elsparefonden.

Middelværdien af den optagne effekt, inklusive energimålerens egetforbrug lå på ca. 24,9 W. Registreringer indikerer en vis usikkerhed i målingerne, idet effekten til hver lampe varierer med 1,5 – 2,8 W inden for en periode på 5 dage, hvor begge lampehoveder har været tændt. Tabel 18 viser variation i effektoptagelsen i hver lampe.

Tabel 18. Variation i optagen effekt i hver af de 6 arbejdslamper gennem 5 dage af forsøgssituation A. Effekten er inklusive egetforbrug, som angives til 0,4 W.

Optagen effekt, W	Lampe 1	Lampe 2	Lampe 3	Lampe 4	Lampe 5	Lampe 6
Max. værdi	26,1	26,8	26,6	26,2	26,6	27
Min. værdi	24,6	25,1	24,4	24,4	24,2	24,2

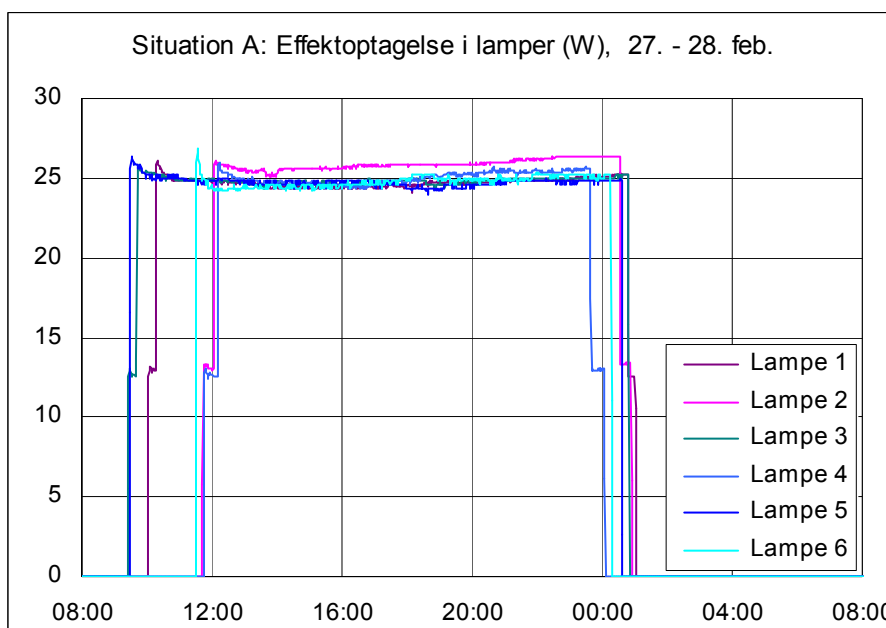
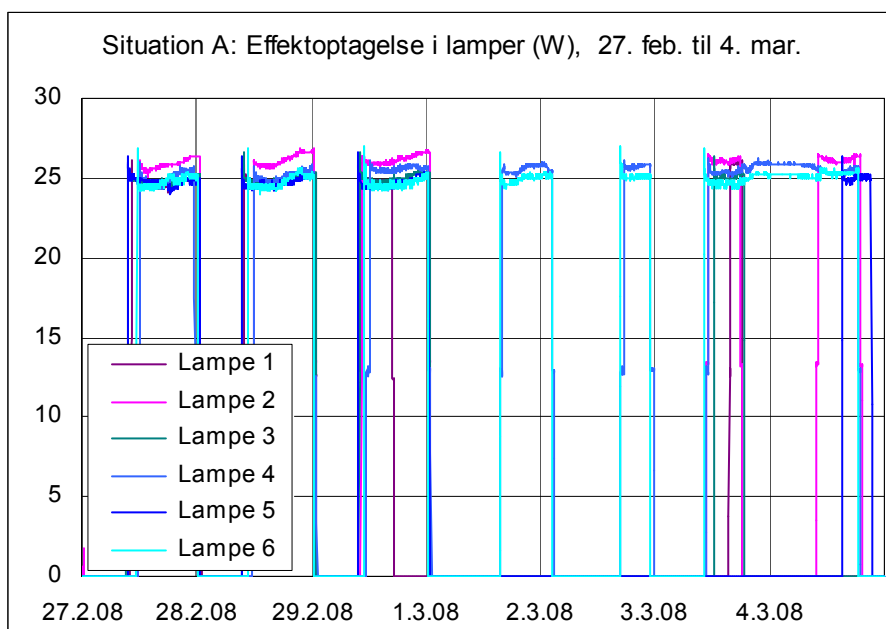
Brugsprofilerne for de 6 arbejdslamper i de 3 forsøgssituationer; A, B og C er vist på de følgende sider. Det bør bemærkes, at brugen af arbejdslamperne, varigheden de er tændt, etc. ikke uden videre kan sammenlignes for de 3 situationer. For eksempel er det ikke registreret, hvornår der har været personer til stede ved den enkelte arbejdsborde, ligesom arbejdstider og dagslysfald også har været forskelligt. Figureerne viser dog tidsperioder, hvor dagslyset har været nogenlunde ens i de 3 situationer.

## Anvendelse af arbejdslamperne i situation A

Brugsprofilerne for situation A viser, at arbejdslamperne tændes, når medarbejderne møder om morgenen og slukkes, når de går hjem. Figur 51 viser profilerne for perioden 27. februar til 4. marts. Figuren indikerer, at det har været en meget travl periode, hvor medarbejderne har arbejdet til over midnat den 27. – 29.02., og to medarbejdere har arbejdet i weekenden den 1. – 2. marts. De samme medarbejders lamper har ligeledes været tændt fra kl. ca. 11 den 3. marts til kl. 18 den 4. marts. Det er ikke afklaret, om medarbejderne faktisk har været til stede i disse lange perioder, hvor lamperne har været tændt.

Måske som følge af det meget aften- og natarbejde, foreslog medarbejderne, at der blev opsat hvide plader på loftet, for at opnå et højere belysningsniveau i rummet. Pladerne blev opsat i weekenden (markeret rødt på figur 51) og var monterede i alle belysningsituationerne benævnt A, B og C, jf. beskrivelserne af belysningsniveauer i det foregående. Pladernes betydning for belysningsstyrkerne på bordene er ikke blevet målt.

Funktionen med, at de to lyskilder kunne anvendes hver for sig, er kun registreret på enkelte lamper, og i kortere perioder.



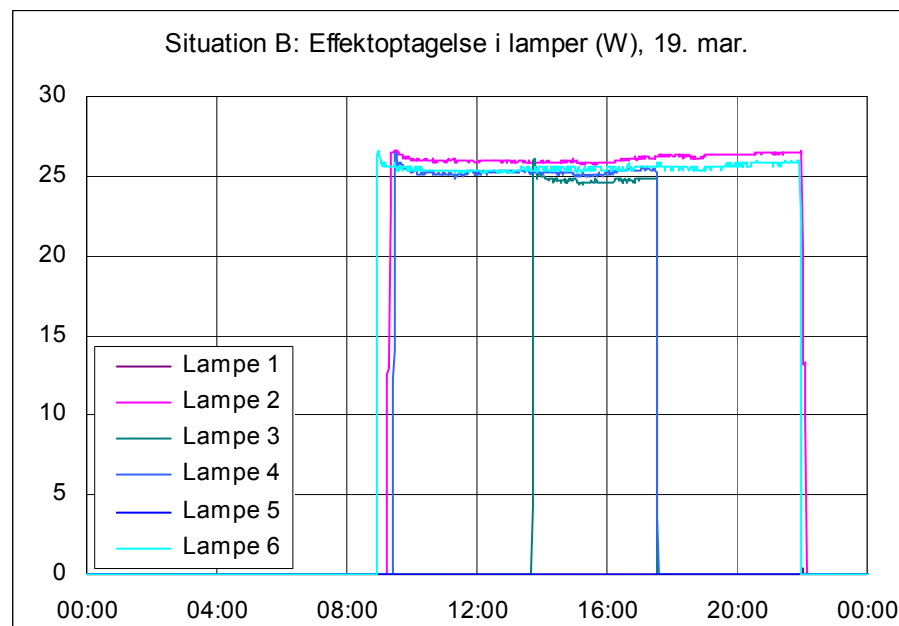
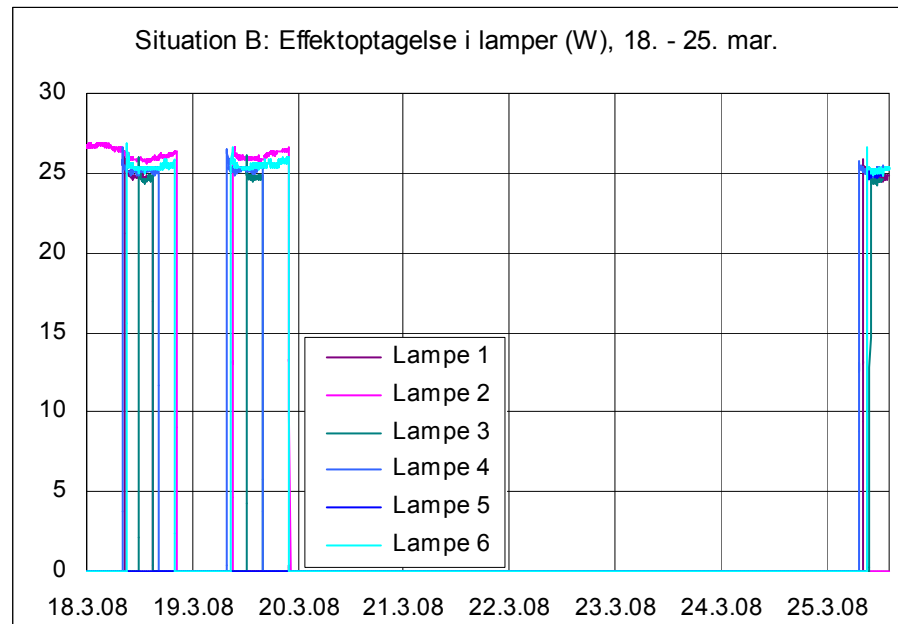
Figur 51: Brugsprofiler for situation A i perioden 27. februar – 4. marts (øverst) og detaljer af perioden den 27. – 28. marts for de 6 arbejdslamper. Det ses, at alle lamper har været tændt til over midnat efter den 27. marts.

Brugsprofilerne i situation A viste en klar tendens til, at når første medarbejder møder om morgenen, blev der tændt mere end én lampe. Dette tolkes således, at det er nødvendigt at tænde flere lamper for at opnå en passende overgang mellem belysningen/luminansen på det lokale arbejdsfelt (det nærmeste areal på bordet og/eller pc'en) og de nærmere omgivelser.

### Anvendelse af arbejdslamperne i situation B

Tendensen til, at der altid tændes mere end én lampe, når første medarbejder møder, er mindre udtalt i situation B. I situation B er der flere morgener med kun én lampe tændt. Figur 52 viser brugsprofilerne for perioden 18. – 25. marts, hvori indgår påsken fra den 20. – 24. marts, hvor lamperne ikke var tændt.

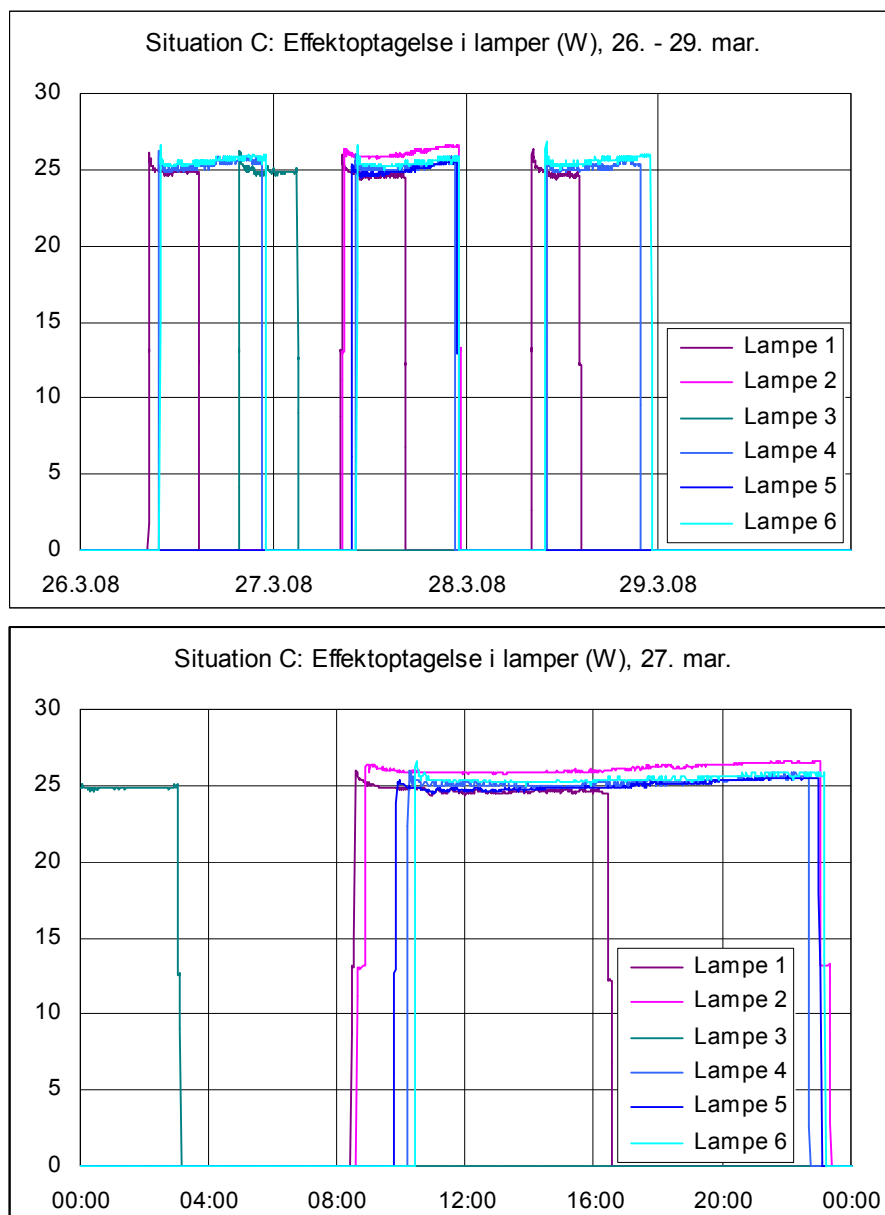
Den supplerende loftbelysning tænder og slukker sammen med resten af loftbelysningen og antages at have været tændt på alle tidspunkter, hvor der har været medarbejdere til stede, eller hvor én eller flere arbejdslamper har været tændt.



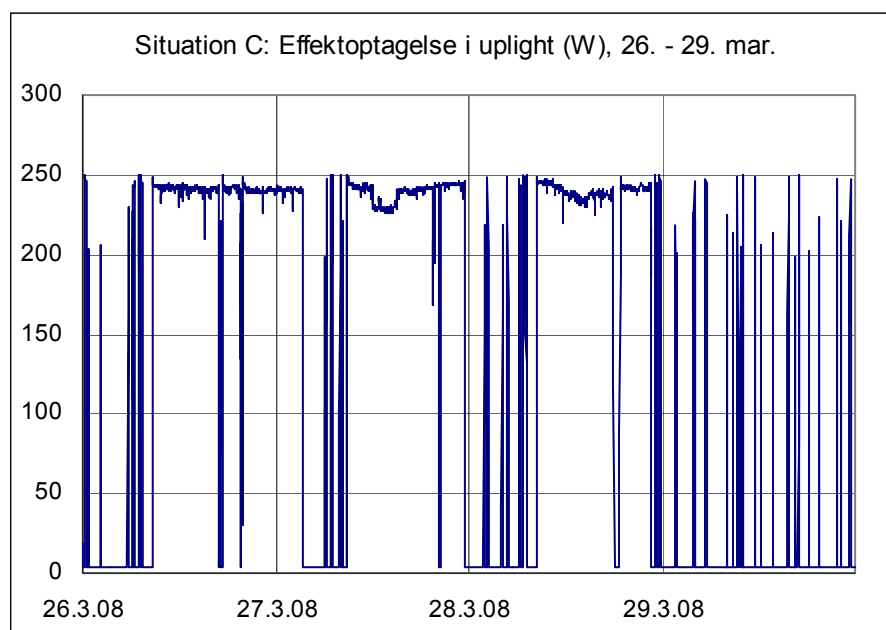
Figur 52: Brugsprofil for situation B i mperioden 18. marts – 25. marts (øverst) og i detaljer for den 19. marts (nederst).

## Anvendelse af arbejdslamperne i situation C

I situation C sker det ofte, at en enkelt lampe bliver tændt om morgenen. Behovet for at tænde flere lamper synes altså at være yderligere reduceret i forhold til situation B. Nederste graf i figur 53 viser et typisk forløb fra den 27. marts, hvor lampe nr. 1 slukkes ca. kl. 16:30, mens 4 andre lamper (2, 4, 5 og 6) er tændt til om aftenen kl. 23. Lampe 3 har været tændt hele natten efter den 26., indtil kl. 3 om morgenen, men bliver (til gengæld) ikke tændt igen den 27. Uplight-standeren er tændt hele tiden, så længe blot én af arbejdslamperne er tændt, jf. figur 54, hvor den fx er tændt i samme tid som lampe 3, dvs. til kl. 3 om morgenen. Uplight-standeren har både en bevægelses-sensor og en dagslyssensor. Af uforklarlige årsager tænder uplight-standeren mange gange på tidspunkter, hvor der tilsyneladende ikke er personer til stede i forsøgsområdet, se fx den 29. marts i figur 54. Dette kunne tolkes sådan, at bevægelsesmelderen kan 'se' bevægelse uden for det relevante område, og derfor tænder, når det aktuelle belysningsniveau er under den indstillede grænseværdi.



Figur 53: Brugsprofil for situation C (26. marts – 29. marts) for de 6 arbejdslamper (øverst) og i detaljer for den 27. marts (nederst).



Figur 54: Brugsprofil for situation C (26. marts – 29. marts) for uplight-standeren.

### Installeret effekt

Den installerede effekt til almenlys i et traditionelt belysningsanlæg ligger typisk omkring  $10 \text{ W/m}^2$ . I de 3 scenarier med det nye belysningskoncept ligger *den samlede installerede effekt væsentligt lavere*, specielt i situation A og B. Det eksisterende anlæg ligger også meget lavt i effekt til almenlys, men pga. af de traditionelle arkitektlamper kommer den samlede effekt op på  $12,4 \text{ W/m}^2$ .

Tabel 19. Installerede effekter i de tre forsøgssituationer og i de eksisterende belysningsanlæg, inklusive arbejdslamper.

Installeret effekt, $\text{W/m}^2$	Situation A	Situation B	Situation C	Eksisterende
Arbejdslamper	3,4	3,4	3,4	8,2
Supplerende belysning	0,0	2,8	5,5	4,2
Total installeret effekt i forsøgsområdet	3,4	6,2	8,9	12,4

### Energiforbrug

Ud fra de løbende registreringer af lampernes tændetid kan man beregne det typiske energiforbrug for en arbejdsdag fra kl. 9 til 17, som vist i tabel 20. Værdierne afspejler det forhold, at når en person møder om morgenen, tænder vedkommende ikke kun sin egen lampe, men også en eller flere af 'naboernes' lamper. Denne tendens er stærkest i situation A, mens den er svagere i B og svagest i C. Derfor angiver tabellen også en samtidighedsfaktor, som udtrykker, hvor stor en andel af lamperne, der typisk vil være tændt inden for det angivne tidsrum. Samtidighedsfaktorerne er beregnet til 0,69, 0,63 og 0,53 for situation A, B og C, mens den er skønnet at være 0,50 for arbejdslamperne i det eksisterende belysningsanlæg. Tabellen angiver også de beregnede energiforbrug pr. dag til den supplerende belysning samt det totale energiforbrug pr. dag ( $\text{kWh/dag}$ ) og det totale energiforbrug for hele året pr.  $\text{m}^2$  ( $\text{kWh/m}^2$  pr. år). Det ses, at energiforbrugene pr.  $\text{m}^2$  ved det nye belysningskoncept ligger betydeligt lavere end for det eksisterende belysningsanlæg. Det skal bemærkes, at elforbruget til belysning her er beregnet

for et rent kontorområde (eksklusive gangarealer, birum etc.), og at tallene derfor ikke umiddelbart kan sammenlignes med nøgletal for kontorbyggeri. Typisk vil tilsvarende tal for rene kontorområder ligge på 15 - 25 kWh/m<sup>2</sup> pr. år. Da målinger og brugervurderinger indikerer, at situation B er mest realistisk i praksis, kan det vurderes, at det nye belysningskoncept vil kunne give en elreduktion til belysningen på ca. 40 %.

Tabel 20. Energiforbrug under de tre forsøgssituationer samt under de eksisterende forhold.

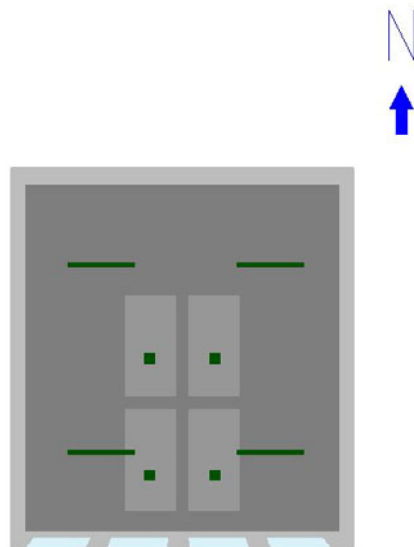
<b>Energiforbrug pr. arbejdsdag, kWh</b>	<b>Situation A</b>	<b>Situation B</b>	<b>Situation C</b>	<b>Eksisterende</b>
Arbejdslamper pr. dag, målt kWh/dag	0,83	0,75	0,63	1,44
Supplerende belysning kWh/dag	0,00	0,98	1,91	1,48
Total kWh/dag	0,83	1,73	2,54	2,92
Energiforbrug pr. m <sup>2</sup> kWh/m <sup>2</sup> pr. år	4,53	9,44	13,85	15,93
I forhold til eksisterende	28 %	59 %	87 %	100 %
Samtidighedsfaktor for arbejdslamper, målt *)	0,69	0,63	0,53	0,50

## 7. Beregning af energiforbrug i standardkontor

Da der optræder meget specielle dagslys- og kunstlysforhold i demonstrationsbygningens kontorområde, foretages der i dette kapitel en mere generel vurdering af arbejdslampenes energiforbrug sammenlignet med et traditionelt belysningsanlæg i et (udsnit af et) storrumskontor.

### Referencekontor

I det følgende simuleres lysfordelingen for et referencekontor med 4 arbejdspladser. Det simulerede kontor har dimensionerne 6x7x2,7 m (bredde, dybde og højde). Der er vinduer i sydfacaden med dimensionerne 1,1x1,8m, og brystning til 0,85 m's højde. En plan af rummet ses på figur 55. Vinduerne har en lystransmittans på 0,70 og reflektanserne for gulv, væg og loft er hhv. 0,2; 0,5 og 0,7. Brugstiden for kontoret er kl. 8:00-17:00.



Figur 55: Plan af referencerum. Rummet har dimensionerne 6x7x2,7 (bredde x dybde x højde). De lysegrå flader er skriveborde.

### Belysning i referencekontor

I referencekontoret er der til almenbelysning valgt at benytte armaturer med nedadrettet lysstrøm, for at få den mest effektive belysning. Armaturerne er af typen C10-P2 fra Glamox med to 28 W lysstofrør og har en effektivitet på 73 %.



Figur 56: Armaturet der benyttes i referencekontoret, C10-P2 armatur fra Glamox.



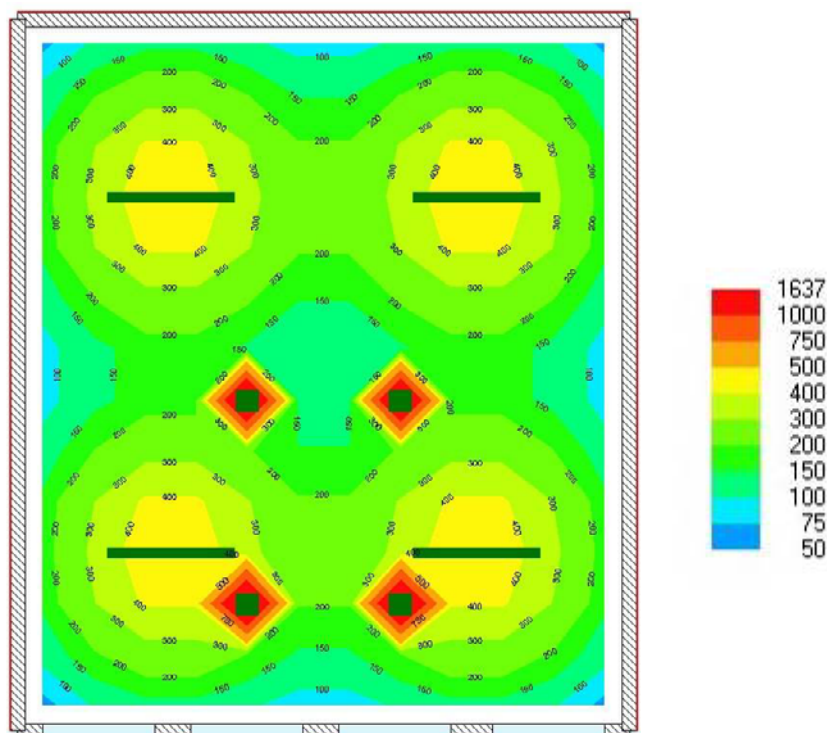
Med 4 armaturer, inklusiv tab i forkoblinger, giver dette en installeret effekt på 240 W, svarende til  $5,7 \text{ W/m}^2$ . Med disse armaturer som referencearmaturer fås en gennemsnitlig belysningsstyrke på ca. 200 lux, se figur 58, hvorved kravene i DS 700 til generel belysning er overholdt.

Desuden installeres der arbejdslamper i referencekontoret. Der er valgt arbejdslamper af type Delight fra Højager belysning med to 9 W kompakt lysstofrør.



Figur 57: Delight arbejdslampe fra Højager belysning, der benyttes i referencekontoret

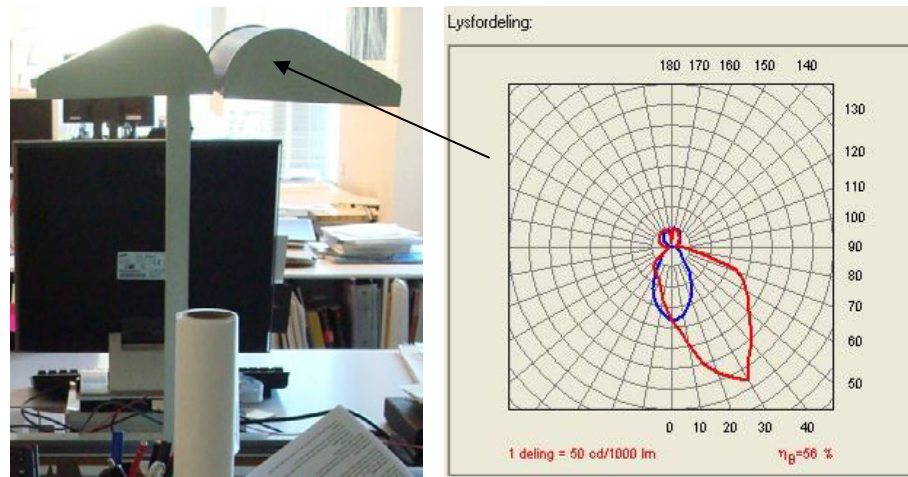
Den samlede installerede effekt for referencekontoret er 312 W, hvilket svarer til  $7,4 \text{ W/m}^2$ . På arbejdsplanet lige under lamperne er der en belysningsstyrke på 500 lux, se figur 58, hvilket er i overensstemmelse med kravet i DS700.



Figur 58: Belysningsstyrke (lux) på arbejdsplanet for referencerummet med almen- og arbejdslampe belysning.

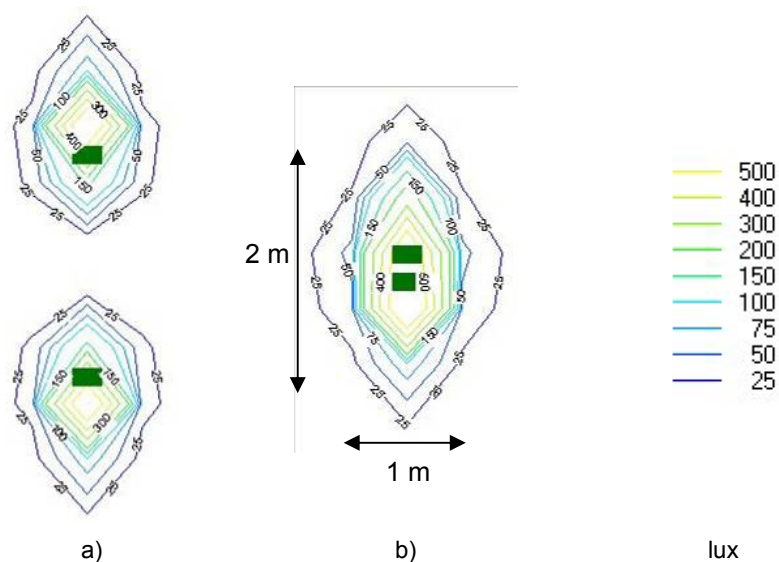
## Lysfordeling fra prototypearbejdslampe

Lysfordelingen for prototypen blev målt hos Louis Poulsen. Målingerne viste, at den største del af lysstrømmen er nedadrettet, se figur 59. Resultaterne fra Louis Poulsen viste desuden at lampens effektivitet er 56 %. Da lampen endnu er en prototype, samt at der ikke er arbejdet med at optimere lampens design, vurderes det, at effektiviteten er acceptabel. Ved videre arbejde med konceptet skal der fokuseres på at optimere lampens design med henblik på at øge effektiviteten.



Figur 59: Lysfordeling for den højre side af arbejdslampen

Lysfordelingen blev målt for den højre side af arbejdslampen, se figur 59. Da lampen er symmetrisk omkring midteraksen, kan den venstre side af lampen simuleres ved at rotere lampen 180 grader om z-aksen. En visualisering af dette i FABA Light (FABA 2008), ses på figur 60. Lysfordelingen på arbejdsplanet har form som en ruder, og på planet lige under arbejdslampen er belysningsstyrkeniveauet 200-800 lux.



Figur 60: Isoluxkurver (lux) for arbejdslampen, i arbejdsplanet 0,85 m over gulv a) med højre og venstre side hver for sig, b) hvor højre og venstre side er placeret side og side, som de er det i arbejdslampen.

## Kontor med prototypearbejdslamper

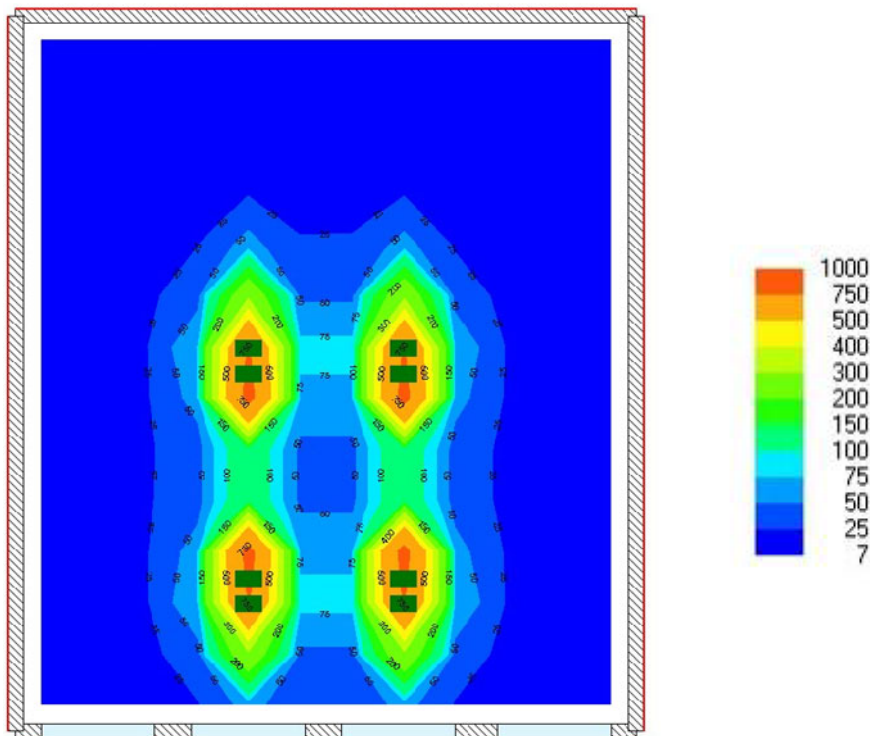
I det følgende simuleres belysningen for de udviklede arbejdslamper. Lysforholdene vurderes i henhold til kravene opstillet i kapitel 3: Kravspecifikationer. Der simuleres for 3 situationer:

- 1 Arbejdslamperne er den eneste lyskilde i kontoret. Det vurderes, hvorvidt det er muligt at slukke for nogle af arbejdslamperne og stadig overholde kravene i henhold til DS 700.
- 2 Arbejdslamperne suppleres med energieffektiv almen belysning, der kan levere 50 lux.
- 3 Arbejdslamperne suppleres med up-light standere fra Højager belysning, der kan levere 50 lux til almen belysning.

## Arbejdslamper som eneste lyskilde

I situation 1 er arbejdslamperne den eneste lyskilde i rummet. Alle arbejdslamper er tændt. Den installerede effekt i denne situation er 88 W plus forkobling, hvilket giver 2,3 W/m<sup>2</sup>.

Arbejdslampen skal kunne opfylde kravet om 500 lux på arbejdsobjektet (defineret som en læsekegle på 40 x 30 cm) og 200 lux i de nære omgivelser.



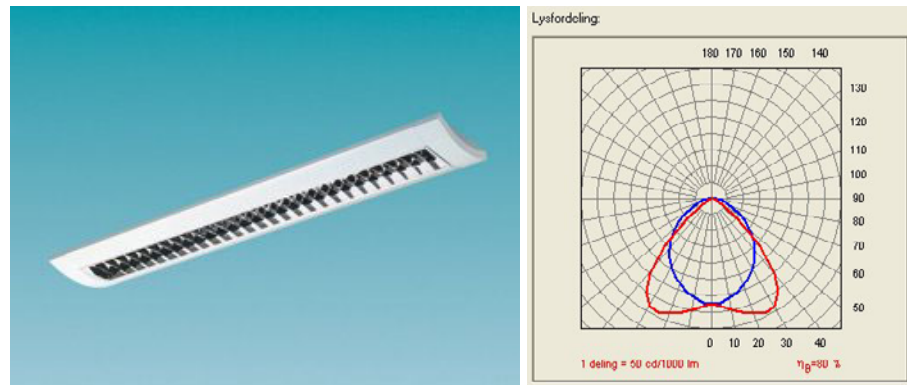
Figur 61: Belysningsstyrke (lux) på arbejdsplan med alle arbejdslamperne tændt.

Fra figur 61 ses det, at arbejdslamperne kan give 500 lux på arbejdspladsen, og 200 lux i de nære omgivelser jf. kravspecifikationen, men at de ikke lever op til kravet om 50 lux til almen belysning. Arbejdslamperne skal derfor suppleres med et alment belysningsanlæg der kan leverer 50 lux til lokalet. Det ses desuden også at lyskeglen fra arbejdslampen er rettet mod planet under lampen, hvorfor arbejdslampen primært bidrager til belysning af den enkelte arbejdsplads. Det vil derfor ikke være muligt at slukke en arbejdslampe på én arbejdsplads, og stadig opnå gode lysforhold på den pågældende arbejdsplads.

Ved videreudvikling af lampen anbefales det, at der er fokus på at øge lampens effektivitet generelt samt på at optimere den opadrettede lysstrøm for hermed at kunne bidrage yderligere til den generelle belysning i rummet.

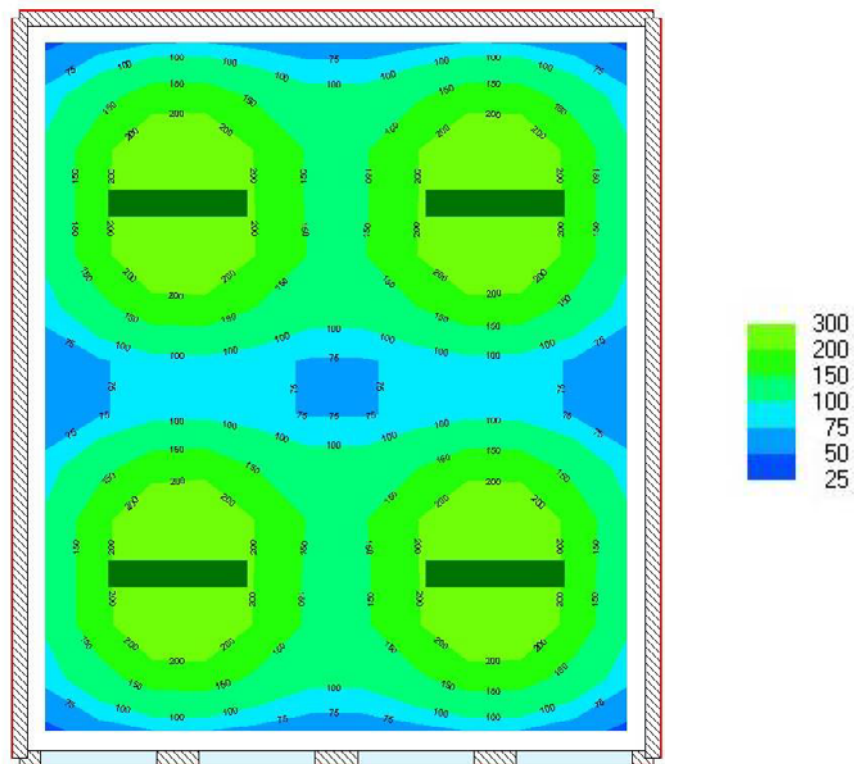
## Arbejdslamper suppleret med energieffektiv almenbelysning

I den anden situation suppleres arbejdslamperne med energieffektiv almenbelysning. Armaturerne er X-tendolight armaturer fra Philips med en effektivitet på 80 %. I hvert armatur anvendes et TL 5 lysstofrør på 28 W.



Figur 62: X-tendolight armatur fra Philips

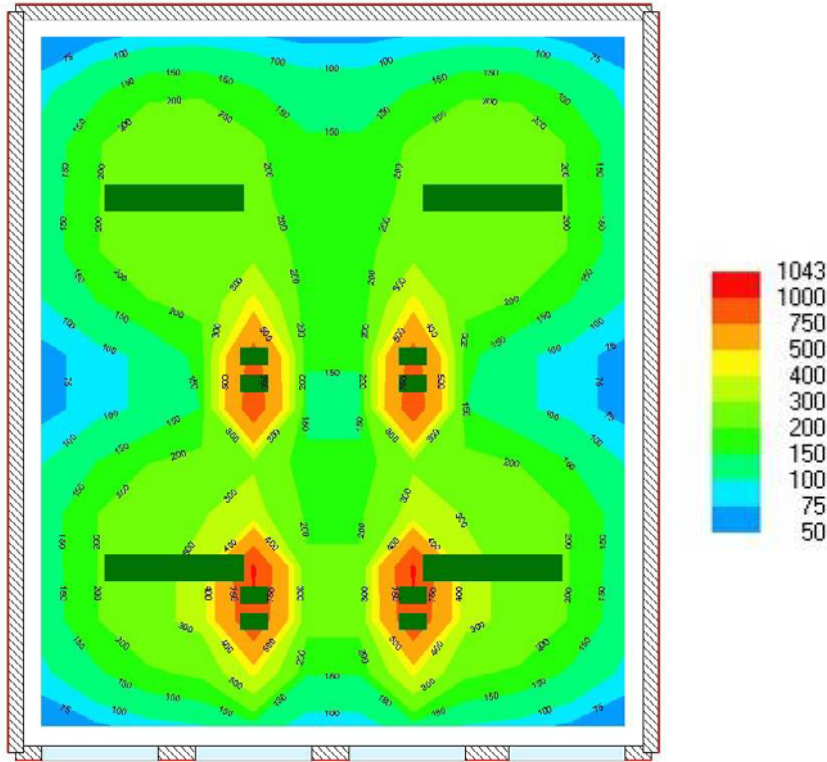
Armaturene monteres i højden 2,35 m over gulv, og de placeres i et net på 2 x 2 m. På figur 63 ses belysningsstyrken fra armaturerne. Det ses, at armaturerne kan levere 50 lux i lokalet. Armaturerne har en installeret effekt på 132 W hvilket, svarer til 3,1 W/m<sup>2</sup>.



Figur 63: Belysningsstyrke (lux) på arbejdsplanet for energieffektiv almen belysning

Kombinationen af arbejdslamper og energieffektiv almen belysning ses på figur 64. Det ses, at denne kombination kan give tilfredsstillende belysningsforhold i kontoret i henhold til kravspecifikationen, dvs. 500 lux på arbejdsobjektet og 200 lux i de nære omgivelser, samt 50 lux i resten af lokalet.

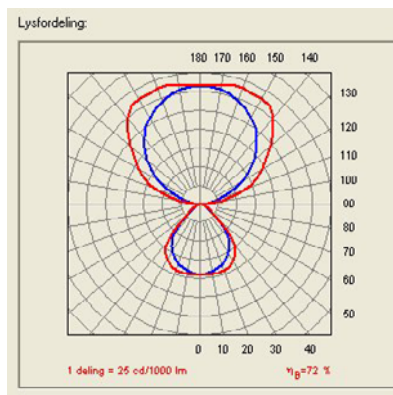
Den samlede installerede effekt for denne løsning er 220 W, svarende til 5,4 W/m<sup>2</sup>.



Figur 64: Belysningsstyrke (lux) på arbejdsplanet med energieffektiv almen belysning og arbejdslamper

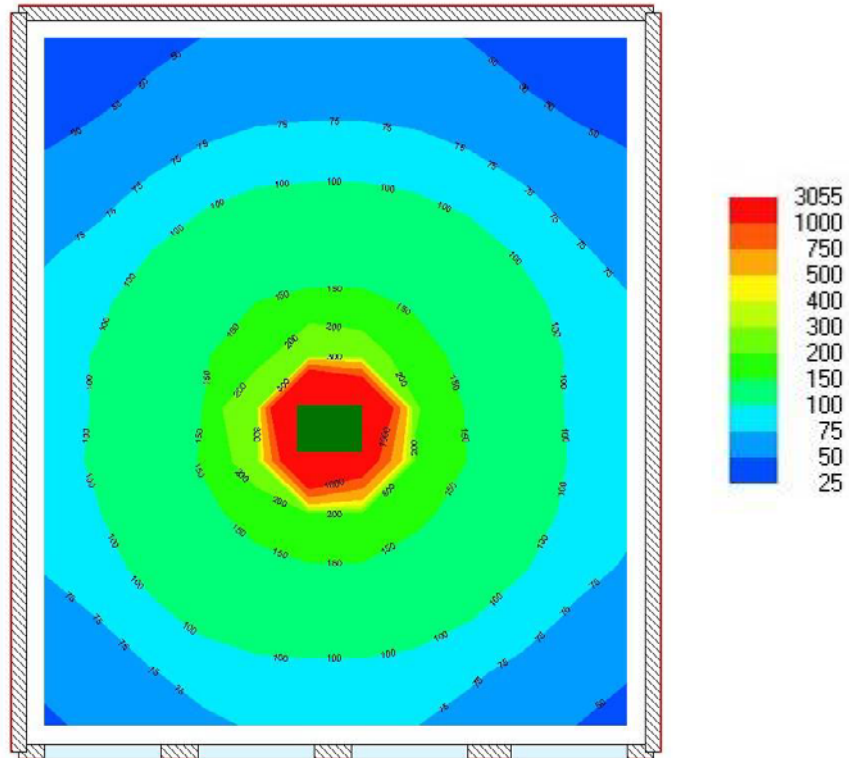
### Arbejdslamper suppleret med up-light stander

I den tredje situation suppleres arbejdslamperne med generel belysning fra en up-light stander Straight med 4 x 55 W kompakt lysrør fra Højager belysning, se figur 65. Up-light standeren kan flyttes frit i rummet, og udgør derfor en mere fleksibel løsning end de nedhængte loftsarmaturer i referencesituationen.



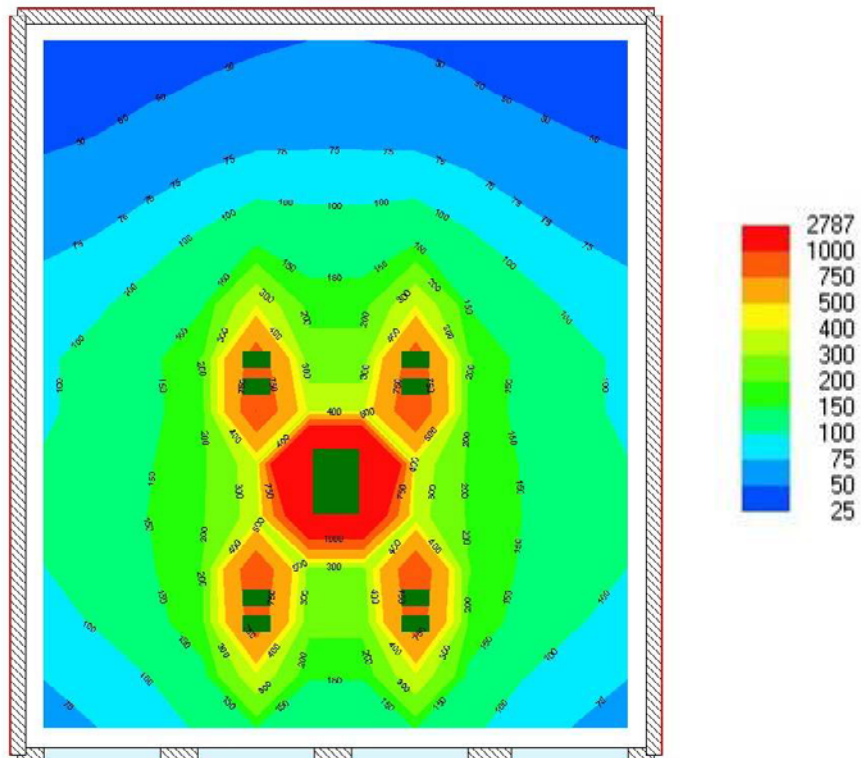
Figur 65: Up-light stander fra Højager belysning af typen Straight.

Fra kravspecifikationen er der opsat krav om, at den supplerende belysning skal levere 50 lux. På figur 66 ses belysningsstyrken fra up-light standeren i referenceplanet.



Figur 66: Belysningsstyrke (lux) på arbejdsplanet fra Up-Light standeren

Det ses, at standeren kan levere de ønskede 50 lux som almen belysning. Standeren har en installeret effekt inklusive forkobling på 240W svarende til  $5,7 \text{ W/m}^2$ . Kombinationen af arbejdslamper og Up-light stander ses på figur 67. Det ses, at denne kombination kan give tilfredsstillende belysningsforhold i kontoret i henhold til kravspecifikationen, dvs. 500 lux på arbejdsobjektet og 200 lux i de nære omgivelser, samt 50 lux i resten af lokalet.

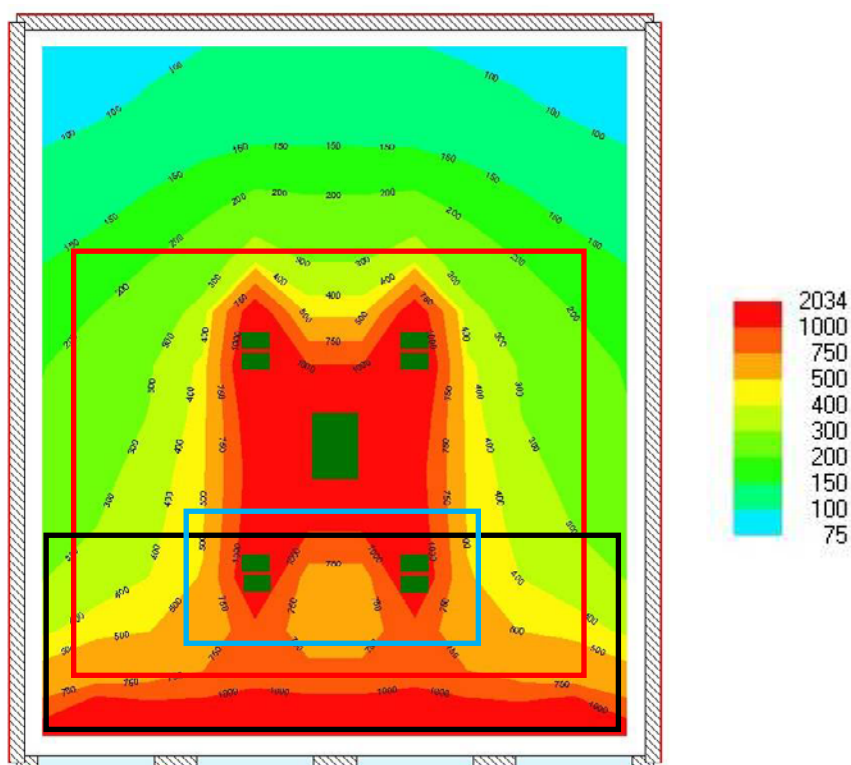


Figur 67: Belysningsstyrke (lux) på arbejdsplanet, hvor arbejdslamperne er suppleret med lys fra up-light stander

Effektforbruget ved denne løsning er  $8,0 \text{ W/m}^2$ .

## Dagslysregulering

Besparelsespotentialer ved dagslysregulering undersøges for kontoret. På baggrund af dagslyssimuleringer ved 10klux CIE overskyet himmel og belysningsniveauerne fra lamperne indlægges zoner i rummet, som der reguleres efter. For arbejdslamperne reguleres der efter at opretholde 500 lux på arbejdspladserne og for den almene belysning reguleres der efter 200 lux. Arbejdslamperne samt almenbelysningen i rækken nærmest vinduet reguleres kontinuerligt i forhold til dagslysforholdene for at opretholde hhv. 500 og 200 lux. Arbejdslamperne er markeret med blå på figur 68, og zonen som almen belysningen reguleres efter i referencekontoret samt i situationen med energieffektiv belysning er markeret med sort. Up-light standen regulerer ligeledes belysningen kontinuerligt for at opretholde 200 lux i zonen omkring lamperne, markeret med rød på figur 68.



Figur 68: Lysforholdene (lux) i kontoret med både dagslys og kunstig belysning. Den sorte firkant markerer zonen almenbelysningslamperne i referencekontoret samt i situationen med energieffektiv almenbelysning reguleres efter, den røde firkant markerer zonen som up light standen reguleres efter, mens den blå zone markerer arbejdspladszonen som arbejdslamperne reguleres efter.

Energibesparelsen ved dagslysregulering i de forskellige situationer: Referencekontor, kun arbejdslamper, energieffektiv almenbelysning og arbejds-lampe samt arbejdslampe og Up-Light stander ses i tabel 21:

Tabel 21: Den årlige besparelse [%] ved dagslysregulering i de forskellige situationer. Dagslysreguleringen er beregnet med FABA Light (FABA 2008).

	Referencekontor	Kun arbejds-lamper	Arbejdslamper og energieffektiv belysning	Arbejdslamper og Up-light stander
Besparelse ved dagslysstyring [%]	26	8	22	14

Generelt ses det, at den største besparelse er at hente ved reference kontoret, hvilket skyldes, at belysningsforholdene i referencekontoret generelt set er højere end i de andre situationer, der er således et større besparelses potentiale.

Det ses, at der er en større besparelse at hente i situationen med arbejds-lamper og energieffektiv belysning i forhold til situationen med arbejdslampe og Up-Light stander, hvilket skyldes forskel i de zoner, der reguleres efter. Ved situationen med arbejdslamper og energieffektive belysningsanlæg reguleres almenbelysningen efter dagslysforholdene i zonen nærmest vinduet, pga. lampernes placering i loftet, mens der i den anden situation reguleres efter et område omkring arbejdspladserne, fordi up-light standeren skal levere almen belysning til hele lokalet. Lyskilderne kan således reguleres længe-re ned i situationen med arbejdslamper og energieffektiv belysning.

## Opsummering af energiforhold

I tabel 22 ses en opsummering af de simulerede energiforhold i de 4 forskellige situationer.

Tabel 22: Årligt energiforbrug for de 3 situationer simuleret i henhold til simuleringer i FAB Light.

	Referencekontor	Kun arbejds-lamper	Arbejdslamper og energieffektiv belysning	Arbejdslamper og Up-light stander
Opfylder belysnings-krav iht. kravspecifikation	JA	JA*	JA	JA
Opfylder energi-krav iht. kravspecifikation	NEJ	JA	JA	NEJ
Installeret effekt [W/m <sup>2</sup> ]	7,4	2,3	5,4	8,0
Årligt energiforbrug [kWh/m <sup>2</sup> ]	17,4	4,9	12,3	18,3
Årligt energiforbrug ved dagslysregulering [kWh/m <sup>2</sup> ]	12,8	4,5	9,6	15,6

\*Arbejdslamperne opfylder kravene opsat i kravspecifikationen i relation til belysningsforhold på arbejdspladsen. Det er nødvendigt at supplere arbejdslampen med almen belysning.

I henhold til kravspecifikationen er den energimæssige målsætning for arbejdslampen 1-2 W/m<sup>2</sup>. Såfremt arbejdslampen dækker en del af almenbelysningsbehovet kan der accepteres et større effektforbrug for denne. Arbejdslampen dækker en del af almenbelysningen og arbejdslampen opfylder dermed den energimæssige målsætning, i og med at effektforbruget er 2,1 W/m<sup>2</sup>.

Målet for det faktiske samlede el-forbrug til belysning er sat til 10 - 12 kWh/år pr. m<sup>2</sup>. Dette mål nås med arbejdslamperne suppleret med energieffektiv belysning og dagslysstyring. Ved denne kombination opnås et årligt energiforbrug på 9,6 kWh/m<sup>2</sup>.



## 8. Brugerundersøgelse

Som led i afprøvningen af den udviklede prototype på arbejdslampen blev der gennemført en brugerundersøgelse i den gruppe, som havde lampen til afprøvning i ca. 5 uger. De 6 brugere blev bedt om at besvare et spørgeskema vedrørende den eksisterende belysning samt for de 3 forskellige nye belysningssituationer, som forekom i perioden. Spørgeskemaet er gengivet i Bilag A. Tidsplan for demonstrationsforsøg

Bilag B. Spørgeskema til brugerundersøgelse.

De 4 belysningssituationer var:

0. Den eksisterende belysning med loftsarmaturer og arkitektlamper
- A. Situation, hvor kun arbejdslamperne var tændt
- B. Situation, hvor arbejdslamperne var suppleret med 4 af de eksisterende loftsarmaturer
- C. Situation, hvor arbejdslamper var suppleret med uplight i midten af rummet.



Figur 69. Fotos fra de 4 belysningssituationer, som brugerne blev bedt om at vurdere via spørgeskema. I forhold til den eksisterende situation (0) blev der sat hvide plader på loftet i forsøgssituationerne, idet betydningen af indirekte lys var større her.

### Opfølgende interview

Efter gennemgang af de seks besvarede spørgeskemaer afholdte et fælles møde med hele HLT's Designgruppe (alle 6 personer) for at få afklaret og præciseret en del af besvareelserne. Tilkendegivelser fra dette møde er medtaget i den følgende gennemgang af besvareelserne.

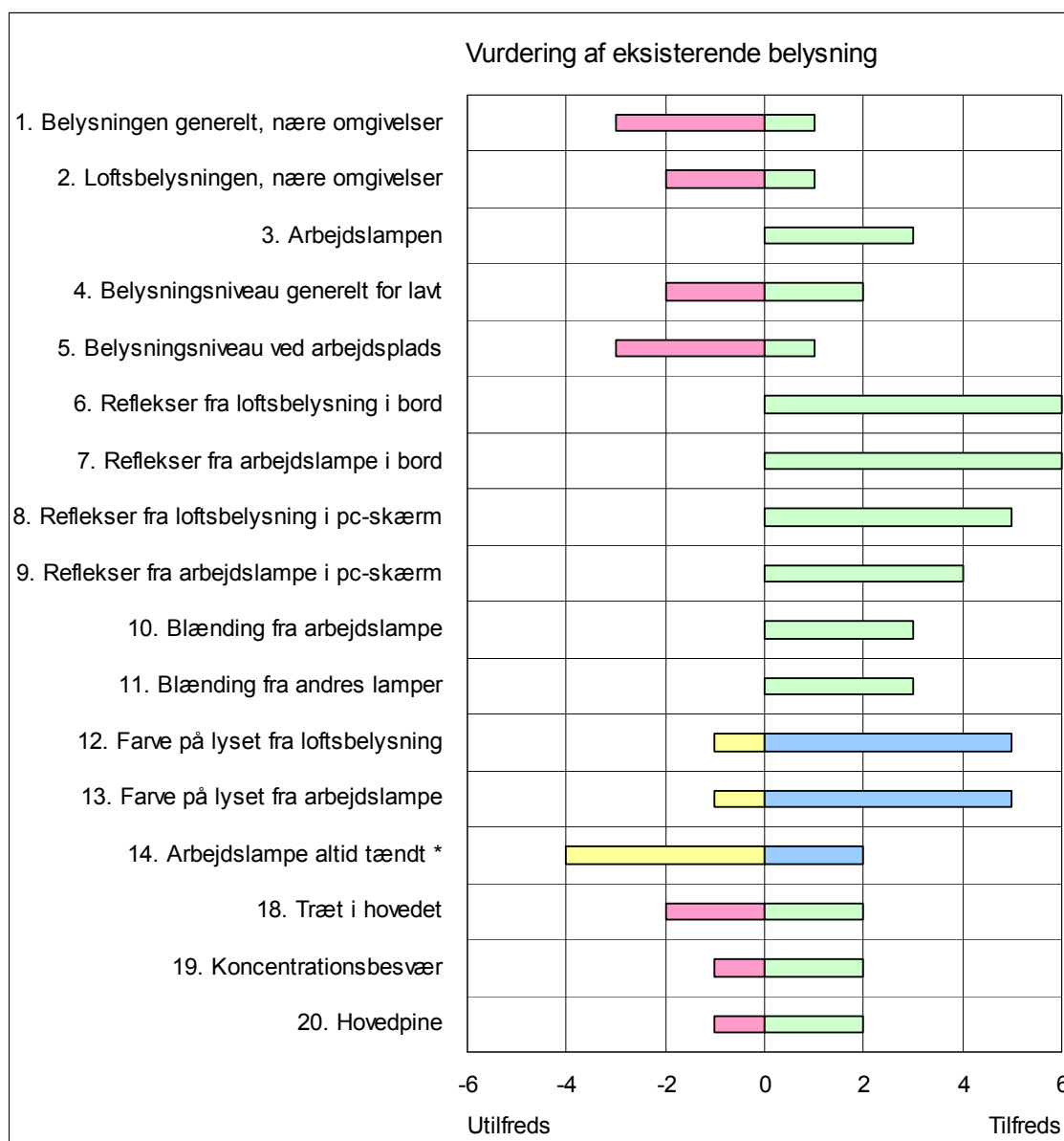
## Spørgeskemaet

Spørgeskemaet rummer en række spørgsmål, som specielt sigter på at afklare, hvordan den enkelte bruger vurderer belysningen i de 'nære omgivelser', dvs. primært på eget arbejdsbord (90 x 180 cm). Spørgsmål 18-20 er medtaget for at få et fingerpeg af, om brugerne oplever nogen form for ubehag, som *kunne* have forbindelse med den aktuelle belysning.

I stavdiagrammerne for besvarelser på spørgsmålene er negative svar markeret med rød farve, mens positive svar er markeret med grøn. Det bemærkes, at spørgsmål 12 og 13, der drejer sig om farven på lyset ('for kold' til venstre og 'for varm' til højre) ikke kan tolkes som negative eller positive svar. Tilsvarende kan svar på spørgsmål 14 om brugen af arbejdslampen ikke tolkes som negative/positive. Stavdiagrammerne viser, hvor mange der har svaret enten positivt eller negativt på hvert spørgsmål. Neutrale svar (3 på skalaen fra 1 til 5) samt muligheden 'Ved ikke' fremgår ikke af graferne.

### Vurdering af eksisterende belysning (løsning 0)

Besvarelserne vedrørende den eksisterende belysning er vist i figur 70. Svarende viser en vis utilfredshed med det generelle lys fra loftsbelysningen, mens der ikke tilkendes problemer med belysningen på arbejdsbordet eller de nærmeste omgivelser, ligesom der heller ikke er problemer med blænding eller reflekser.



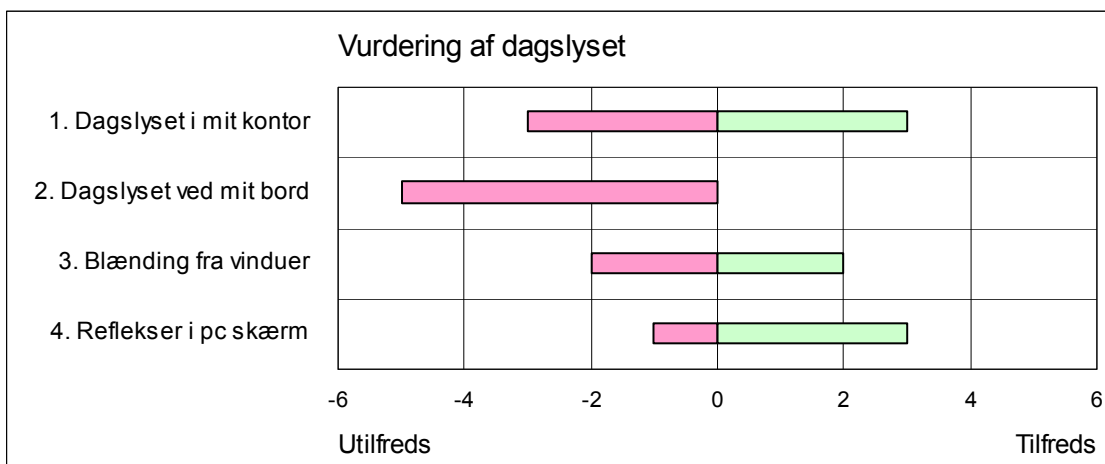
Figur 70. Besvarelser vedrørende den eksisterende belysning.

## Vurdering af dagslyset

Som led i brugernes vurdering af lyset i rummet, blev der også formuleret 4 udsagn vedrørende dagslyset i kontoret og ved arbejdsbordet, jf. Bilag B. Spørgeskema til brugerundersøgelse. De 4 udsagn var:

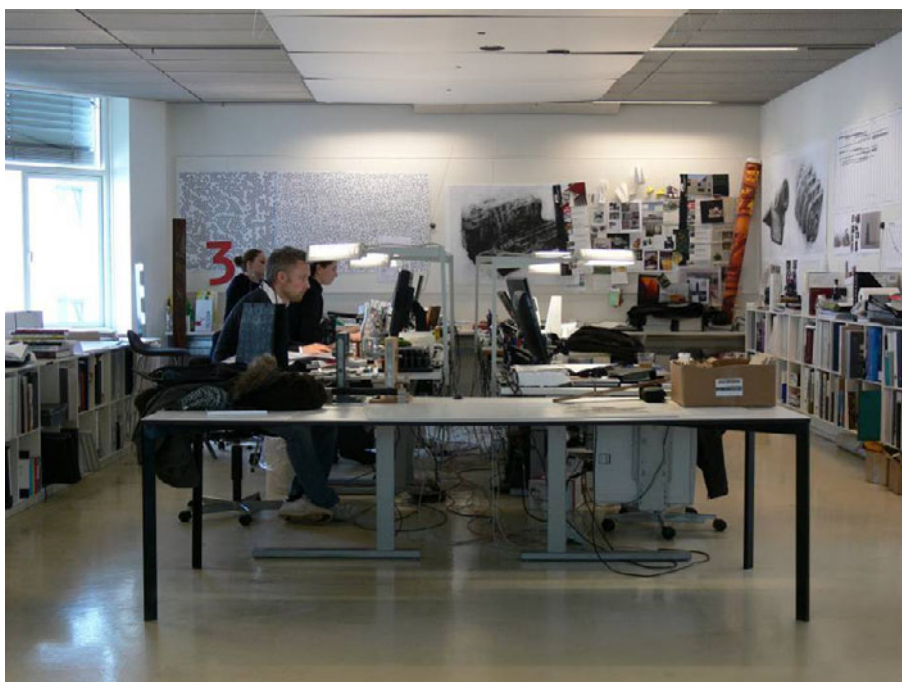
- D1. Jeg er godt tilfreds med dagslyset i mit kontor
- D2. Jeg er godt tilfreds med dagslyset ved mit bord
- D3. Jeg er somme tider generet af blænding fra vinduet (-vinduerne)
- D4. Jeg er somme tider generet af reflekser fra vinduet i min edb-skærm

Svarene på disse udsagn er vist i figur 71. Fem af de seks brugere synes ikke, at der er tilstrækkeligt dagslys ved bordet, mens tre brugere ikke er tilfredse med dagslyset i rummet. To brugere er generet af blænding fra vinduet, og man kan antage, at det er to af de tre, som sidder med synsretning mod vinduet. Tre brugere bliver generet af reflekser i pc-skærmen, og her kan man antage, at det er de tre brugere, som har ryggen mod vinduet.



Figur 71. Besvarelser vedrørende vurdering af dagslysforsøgsområdet.

Dagslystilgangen sker gennem et enkelt vindue i hjørnet af forsøgsområdet, og er derfor meget begrænset, jf. måleresultaterne i kapitel 6 side 38. I forhold til den øvrige del af tegnestuen på samme etage, er forsøgsområdet synligt mørkere, hvilket naturligvis påvirker vurderingerne af både den eksisterende belysning og forsøgsbelysningerne.

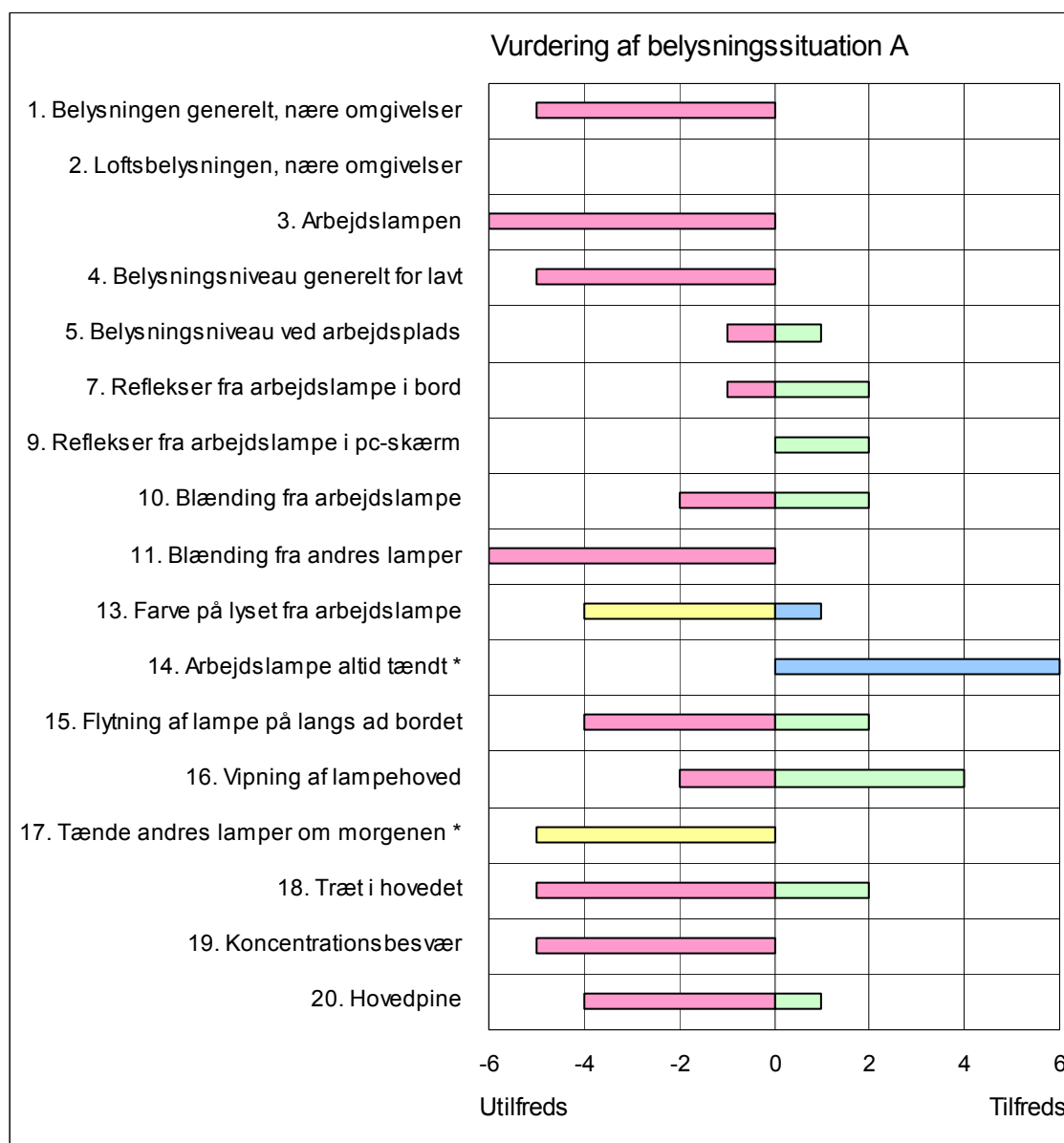


Figur 72. Dagslyset i designgruppen område (forsøgsområdet) tilføres gennem blot et enkelt vindue placeret i en vinkel på 45 grader i hjørnet af området.

## Vurdering af belysningsituation A

Besvarelserne vedrørende belysningsituation A, hvor kun arbejdslamperne var tændt, er vist i figur 73. Svarende viser en klar utilfredshed med lyset i rummet og med arbejdslampen, når der ingen supplerende lys findes. Ved vurdering af lyset på arbejdsbordet, er de fleste svar 'neutrale'. Dog tilkender en enkelt person problemer med reflekser. To brugere angiver blænding fra egen lampe, mens alle angiver, at de bliver blændet af andres arbejdslamper. Ved vurdering af farven på lyset fra arbejdslampen angiver 4, at de finder lyset for koldt, mens en enkelt finder farven på lyset for varm.

På spørgsmålet/udsagnet 'Min arbejdslampe er næsten altid tændt, når jeg sidder ved mit bord' svarer alle, at de er 'meget enige'. Fordi der ikke var lys til at supplere arbejdslamperne aftales det indbyrdes i gruppen at den først ankomne skulle tænde alle 6 lamper, for at lyset i rummet som helhed kunne komme op på et acceptabelt niveau, jf. også svarene på spørgsmål 17. Spørgsmål 15 ('Jeg benyttede aldrig muligheden for at flytte arbejdslampen på langs ad bordet') og 16 drejer sig om, i hvilken udstrækning brugerne benyttede sig af muligheden for at justere på lampens position og indstilling. En tilkendegivelse af, at lampen ikke blev justeret er vist som negativt svar, selv om det kunne skyldes, at der ikke var behov for at justere. I det opfølgende interview tilkendegav brugerne, at en af årsagerne til at de flyttede lamperne var, at lampen generede udsynet til kolleger overfor.

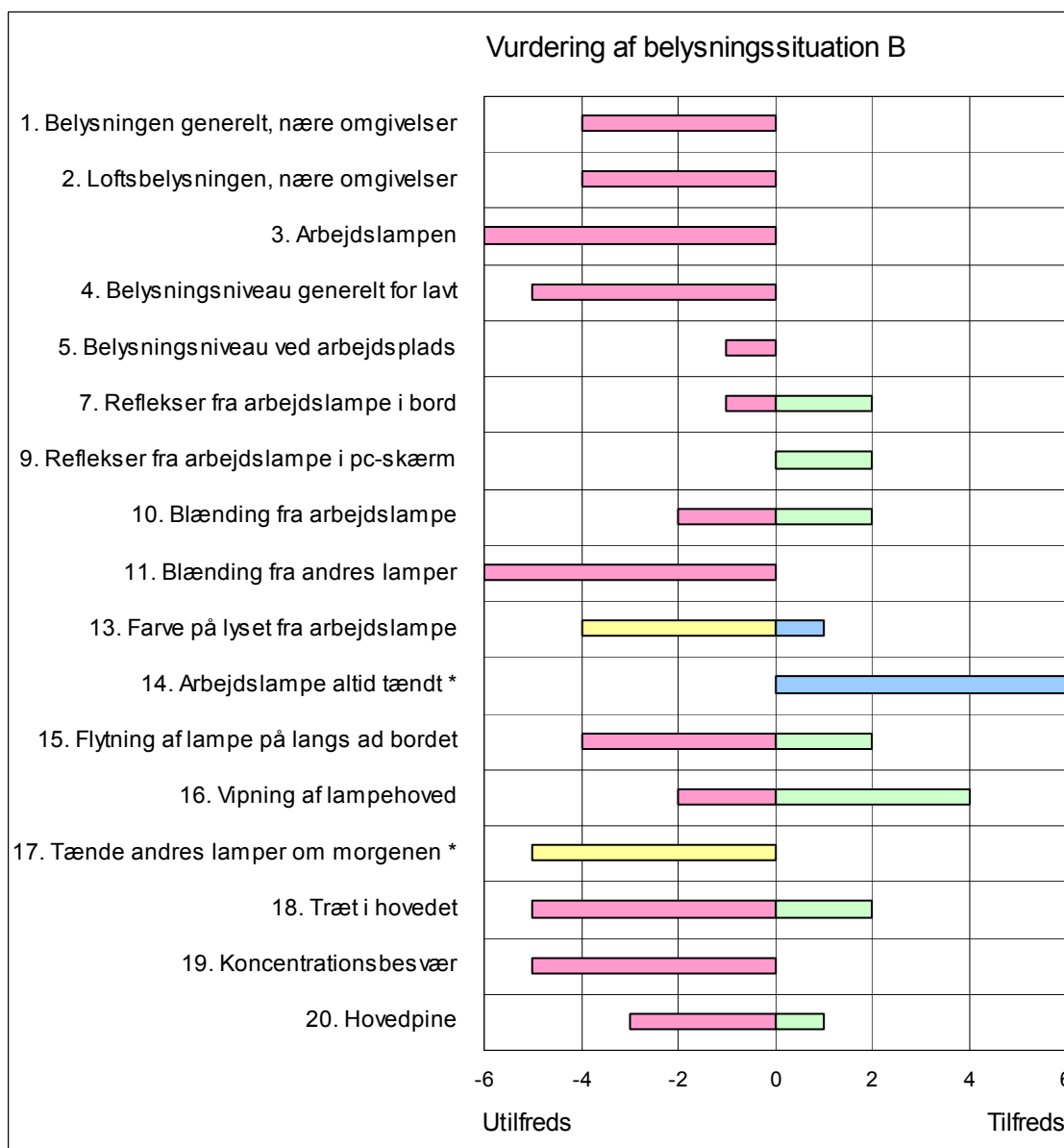


Figur 73. Besvarelser vedrørende belysningsituation A, hvor der ikke var nogen form for lys til supplement af arbejdslamperne. \*) Spørgsmål der ikke umiddelbart kan vurderes positive/negative.

## Vurdering af belysningsituation B

I situation B blev arbejdslamperne suppleret med loftsllys i 4 af de eksisterende belysningsarmaturer, primært således at der faldt lys på de to vægge, der afgrænser designgruppens arbejdsområde. Vurderinger i situation B er stort set identiske med vurderingerne i situation A. Samlet set vurderes belysningen ved de enkelte arbejdspladser (på bordet) at være uden problemer, mens belysningen i rummet vurderes at være utilstrækkelig og utilfredsstillende. Ligesom i situation A oplever brugerne her problemer med blænding fra andres arbejdslamper. Ved det opfølgende interview tilkendes det, at det primært er luminansen af den opale dækplade i toppen af arbejdslamperne, der opleves ubehagelig at se på. Det vurderes, at generne fra dækpladen skyldes, at der er for mørkt i rummet, hvorved kontrasten bliver generende høj.

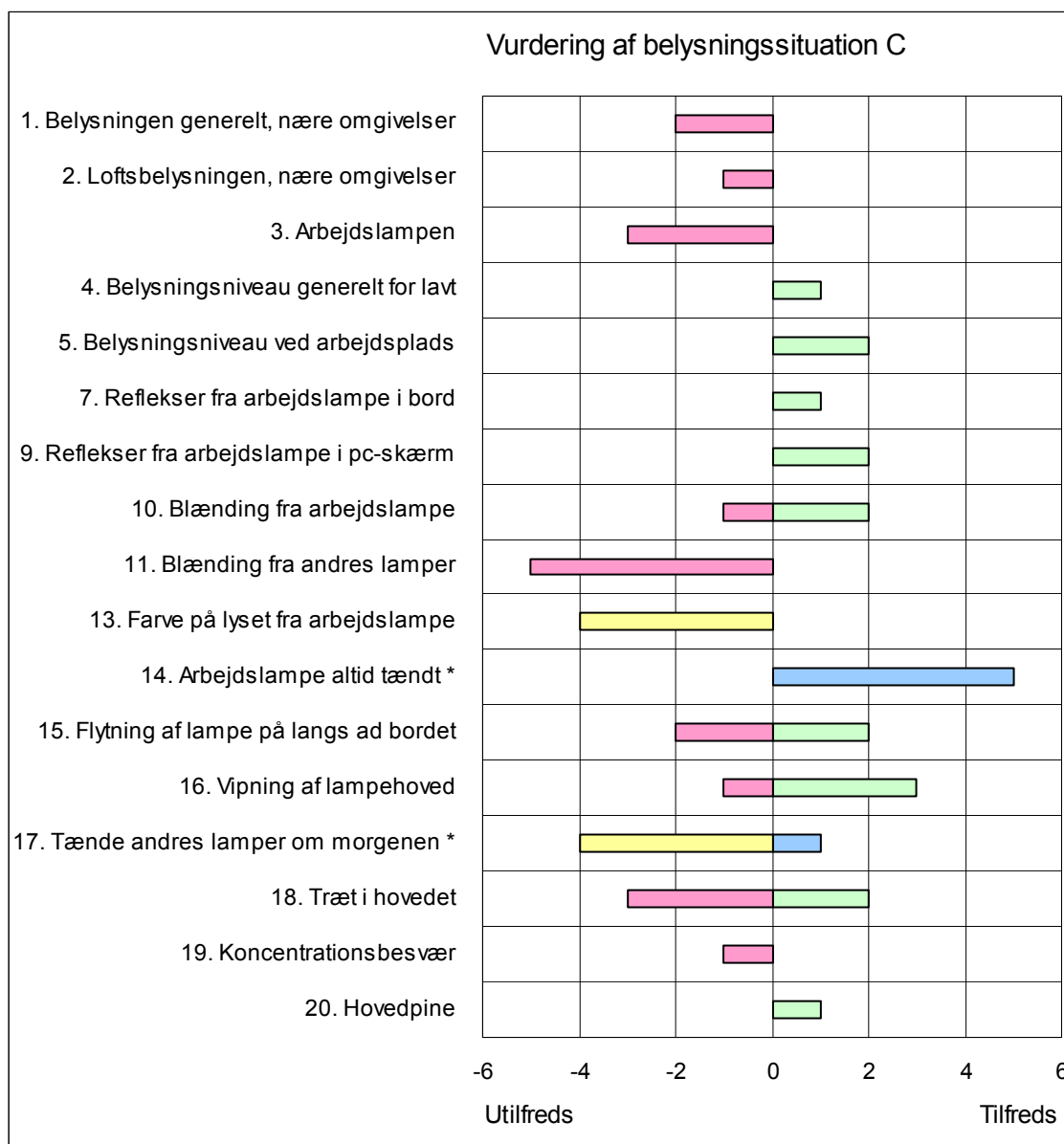
Generelt bør det bemærkes, at brugernes vurderinger af belysningen hænger nøje sammen med det generelle belysningsniveau. Der er meget lidt dagslys i designgruppens kontorområdet, og dagslysniveauet i dette område er væsentligt lavere end i den øvrige del af det åbne kontor. Derfor er 'afhængigheden' af almenlyset (loftsbelysningen) meget større end normalt.



Figur 74. Besvarelser vedrørende belysningsituation B, hvor der er suppleret med lys i 4 af de eksisterende loftsarmaturer, primært således at der falder lys på de to vægge, som omgiver designgruppens arbejdsområde. Besvarelserne er næsten identiske med de, som gives i situation A. Belysningen ved de enkelte arbejdspladser (-borde) vurderes at være uden problemer, mens belysningen i rummet omkring vurderes at være utilfredsstillende. \*) Spørgsmål der ikke umiddelbart kan vurderes positive/negative.

### Vurdering af belysningsituation C

I situation C blev arbejdslamperne suppleret med en kraftig up-light (Waldman Straight, med 4 x 55 W kompaktlysrør) placeret i mellem de midterste borde i designgruppens 6 borde, se figur 69. I forhold til situationerne A og B forbedres vurderingerne af belysningen helt generelt. Hovedparten af de 'negative' vurderinger af belysningen i de nære omgivelser og loftsbelysningen er elimineret, og også arbejdslamperne vurderes mindre negativt. Belysningsniveauet i kontoret og ved arbejdspladserne vurderes nu ikke at være for lavt. Svarende indikerer også, at behovet for at tænde andres arbejds-lamper falder lidt på grund af lyset fra up-light'en.



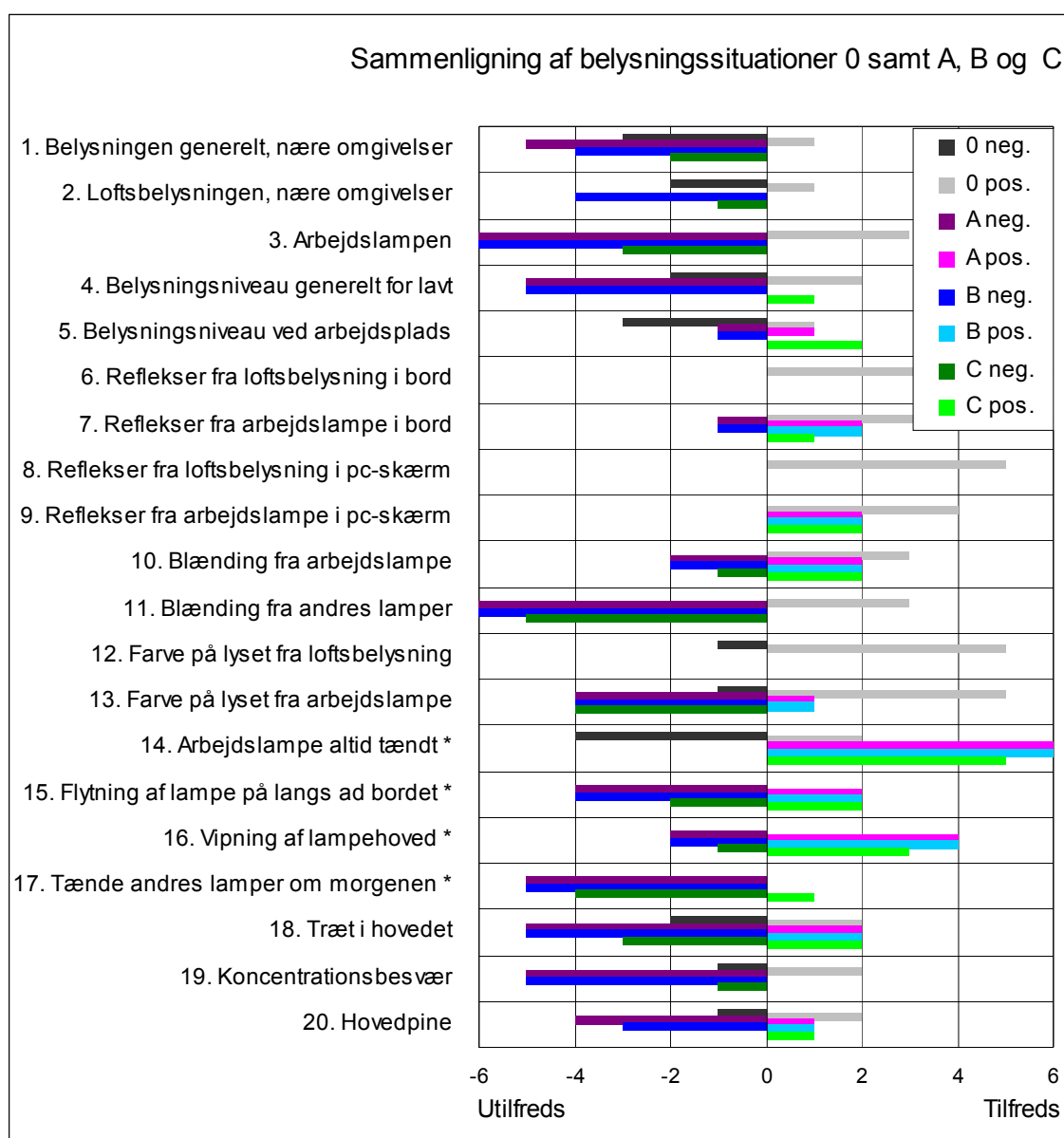
Figur 75. Besvarelser vedrørende belysningsituation C, hvor arbejdslamperne er suppleret med en kraftig uplight i midten af designgruppen arbejdsområde. Generelt er vurderingerne mere positive i denne belysningsituation end i A og B. Både i vurderingerne af belysningen i rummet og belysningen på bordene er holdningerne nu mere positive eller mindre negative. \*) Spørgsmål der ikke umiddelbart kan vurderes positive/negative.

## Sammenfattende vurdering af de 4 belysningssituationer

Figur 76 sammenfatter vurderingerne for alle 4 belysningssituationer. De største forskelle i vurderingerne forekommer i spørgsmålene 1-5:

- 1 Jeg var godt tilfreds med belysningen generelt i de nære omgivelser
- 2 Jeg var godt tilfreds med loftsbelysningen i de nære omgivelser
- 3 Jeg var godt tilfreds med arbejdslampen (-lamperne) på mit bord
- 4 Belysningsniveauet i kontoret var for lavt
- 5 Belysningsniveauet ved min arbejdsplads/skrivebord var for lavt.

Mens belysningssituationerne A og B giver næsten identiske svar, er der en klar forbedring i opfattelsen af belysningen i situation C.



Figur 76. Sammenfatning af svarene på spørgeskemaet vedrørende de 4 belysningssituationer. Positive vurderinger vises som en stav til højre på x-aksen (tilfreds / pos.), mens negative afsættes til venstre. Det bemærkes, at svarene på spørgsmål 13-17 ikke umiddelbart kan tolkes positive eller negative. Svarene viser, at situation A og B vurderes næsten ens, mens situation C vurderes markant mere positivt på mange af spørgsmålene. \*) Spørgsmål der ikke umiddelbart kan vurderes positive/negative.

## 9. Referencer

Arbejdstilsynet. (2007). *Arbejdsrum på faste arbejdssteder* (At-vejledning A.1.11). København. Lokaliseret 20070803 på:

<http://www.at.dk/sw12191.asp>

Arbejdstilsynet. (2008). *Indeklima. Vejledning om de hyppigste årsager til indeklimagener samt mulige løsninger*. (At-vejledning A.1.2). København. Lokaliseret 20080401 på: <http://www.at.dk/sw4607.asp>

Christoffersen J. et al., (1999a) *Vinduer og dagslys En feltundersøgelse i kontorbygninger*. (SBI-rapport 318). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Lokaliseret 20070803 på:

<http://www.sbi.dk/indeklima/lys/vinduer-og-dagslys/vinduer-og-dagslys/>

Christoffersen, J., Petersen, E., & Johnsen, K. (1999b). *Beregningsværktøjer til analyse af dagslysforhold i bygninger* (SBI-rapport 277). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Lokaliseret 20070803 på:

<http://www.sbi.dk/udgivelser/rapporter>

Christoffersen, J., Johnsen, K., & Petersen, E. (2002). *Beregning af dagslys i bygninger* (By og Byg Anvisning 203). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Lokaliseret 20070803 på:

<http://www.sbi.dk/indeklima/lys/anvisning-beregning-af-dagslys-i-bygninger/>

CIE Standard CIE S 011/E:2003. *Spatial Distribution of Daylight - CIE Standard General Sky*. CIE Technical Committee 3-15 'Sky Luminance Models'. Joint ISO/CIE Standard ISO 15469:2004 (E) / CIE S 011/E:2003

Dansk Standard. (2005). *Kunstig belysning i arbejdslokaler*. (DS 700:2005). København. Lokaliseret 20070803 på:

[http://axapta.ds.dk/default.asp?WMFN=EG\\_WebAdvancedMIS&WP=56900&WMFT=D&WPG=EPHomepageOnline](http://axapta.ds.dk/default.asp?WMFN=EG_WebAdvancedMIS&WP=56900&WMFT=D&WPG=EPHomepageOnline)

Dansk Standard. (1998). *Glass in building - Determination of luminous and solar characteristics of glazing*. DS DS/EN 410. København. Lokaliseret 20070803 på:

[http://axapta.ds.dk/default.asp?WMFN=EG\\_WebAdvancedMIS&WP=12489&WMFT=D&WPG=EPHomepageOnline](http://axapta.ds.dk/default.asp?WMFN=EG_WebAdvancedMIS&WP=12489&WMFT=D&WPG=EPHomepageOnline)

Dreyer V. og Ovesen I. (1997). *Lyset og Synet*, hæfte 1 i serien *Lys og belysning*. Lysteknisk Selskab.

Dubois, M-C. and Johnsen K. (2003). *Impact of coated windows on visual perception A pilot study in scale models* (By og Byg Dokumentation 044). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Lokaliseret 20070803 på:

<http://www.sbi.dk/indeklima/lys/vinduer-og-dagslys/impact-of-coated-windows-on-visual-perception/>

Dubois, M-C. (2001). *Impact of Solar Shading Devices on Daylight Quality, Measurements in Experimental Office Rooms*. Lund University, Sweden.

Erhvervs- og Byggestyrelsen (2008). *Bygningsreglement 2008*. København. Lokaliseret 20080103 på: <http://www.ebst.dk/br08.dk>



FABA (2008). *FABA Light version 4.1.0*, Lysberegningsprogram udgivet af Foreningen af fabrikanter og importører af elektriske belysningsarmaturer, FABA. København. Lokaliseret 20080301 på <http://www.faba.dk>

Johnsen, K. og Christoffersen, J. (2008). Dagslys i rum og bygninger. SBI-anvisning 219. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Lokaliseret 20080701 på: [http://www.sbi.dk/indeklima/lys/dagslys i rum og bygninger/dagslys i rum og bygninger](http://www.sbi.dk/indeklima/lys/dagslys_i_rum_og_bygninger/dagslys_i_rum_og_bygninger)

Møller Jensen J. og Lund H. (1995). *Design Reference Year, DRY - Et Nyt Dansk Referenceår*. Meddelelse Nr. 281. Lyngby: Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Universitet.

Wittchen, K., Johnsen, K., & Grau, K. (2007). *BSim: Et integreret edb-værktøj til analyse af indeklima og energiforbrug + vejledning*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Lokaliseret 20070803 på: <http://www.sbi.dk/indeklima/simulering/bsim-building-simulation>

# Bilag A. Tidsplan for demonstrationsforsøg

	Måned Februar					Marts															April																																				
Uge	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13													
Dag																																																									
<b>Uge 6</b>																																																									
Besigtelse hos HLA med beslutning om placering af lamper og afprøvning af en lampe																																																									
Kontakt Elsparefonden eller elselskab for frem-skaffelse af bimålere til løbende registrering																																																									
Planlægning af metode til måling og registrering af elforbrug																																																									
Beskrivelse af måleprogram																																																									
Afstemning af tidsplan med og overordnet orientering til de berørte medarbejdere hos HLA																																																									
<b>Uge 7</b>																																																									
Målinger af dagslysoverhold og målinger på eksisterende belysningsanlæg																																																									
Udarbejdelse af information til medarbejdere																																																									
Fotoregistrering af eksisterende forhold																																																									
Demontering af eksisterende og montering af nye lamper samt energiregistreringsudstyr																																																									
Øjebliksmåling af belysningsstyrker fra ny belysning																																																									
Opsætning af udstyr til registrering af belysningen og igangsætning af indkøringsuge																																																									
<b>Uge 8</b>																																																									
<b>Indkøringsuge</b>																																																									
Orientering til berørte medarbejdere kl. 10:00																																																									
Kontrol og evt. justering af registreringsudstyr																																																									
Kontrol af system og fotoregistrering af nye forhold, gerne ved overskyet og med sol																																																									
Løbende kontrol af måledata og evt. justeringer - samt igangsætning af forsøg																																																									
<b>Uge 9</b>																																																									
<b>1. forsøgsuge Situation A: Uden hvide loftplader</b>																																																									
Første dage med tilsyn på stedet																																																									
Første håndmålinger og fotodokumentation for at checke opstilling og funktion																																																									
<b>Uge 10</b>																																																									
<b>2. forsøgsuge Situation A: Med hvide loftplader</b>																																																									
Ændring af forsøgsbetingelser																																																									
Fotodokumentation og kontrol af registreringer																																																									
<b>Uge 11-12</b>																																																									
<b>3. forsøgsuge Situation B: Supplerende loftslys</b>																																																									
Ændring af forsøgsbetingelser																																																									
Fotodokumentation og kontrol af registreringer																																																									
<b>Uge 13</b>																																																									
<b>4. forsøgsuge, Situation C: Supplerende opligt</b>																																																									
Ændring af forsøgsbetingelser																																																									
Fotodokumentation og kontrol af registreringer																																																									
<b>Uge 14</b>																																																									
Kontrol af af målinger og dokumentation af måleresultater																																																									
<b>Uge 15</b>																																																									
Analyse af energiforbrug og komfortforhold rapporteret af medarbejdere																																																									
Rapportering																																																									

## Bilag B. Spørgeskema til brugerundersøgelse

### Spørgsmål om eksisterende belysning, situation 0.

Hvad er din generelle opfattelse af lyset fra den elektriske belysning i dit kontor:

Venligst afkryds ét felt for hvert spørgsmål.

		meget uenig					meget enig					ved ikke
		1	2	3	4	5						0
0.1	Jeg er godt tilfreds med belysningen generelt i de nære omgivelser											
0.2	Jeg er godt tilfreds med loftsbelysningen i de nære omgivelser											
0.3	Jeg er godt tilfreds med arbejdslampen (-lamperne) på mit bord											
0.4	Belysningsniveauet i kontoret er generelt for lavt											
0.5	Belysningsniveauet ved min arbejdsplads/skrivebord er for lavt											
0.6	Der er generende reflekser fra loftsbelysningen i mine papirer / på mit bord											
0.7	Der er generende reflekser fra min arbejdslampe i mine papirer / på mit bord											
0.8	Der er generende reflekser fra loftsbelysningen i min edb-skærm											
0.9	Der er generende reflekser fra arbejdslampen i min edb-skærm											
0.10	Der er generende blænding fra min arbejdslampe											
0.11	Der er generende blænding fra andres arbejdslamper											
0.12	Farven på lyset fra loftsbelysningen er for kold											
0.13	Farven på lyset fra arbejdslamperne er for kold											
0.14	Min arbejdslampe er næsten altid tændt, når jeg sidder ved mit bord											
0.18	Jeg bliver ofte træt i hovedet/øjnene, når jeg sidder i længere tid ved min arbejdsplads											
0.19	Jeg har svært ved at koncentrere mig, når jeg sidder i længere tid ved min arbejdsplads											
0.20	Jeg får hovedpine, når jeg sidder i længere tid ved min arbejdsplads											

Andre kommentarer vedr. den eksisterende belysning, skriv kort:

## Spørgsmål om dagslyset i kontoret

Hvad er din generelle opfattelse af dagslyset i dit kontor:

		meget uenig					meget enig					ved ikke
		1	2	3	4	5						0
D.1	Jeg er godt tilfreds med dagslyset i mit kontor											
D.2	Jeg er godt tilfreds med dagslyset ved mit bord											
D.3	Jeg er somme tider generet af blænding fra vinduet (-vinduerne)											
D.4	Jeg er somme tider generet af reflekser fra vinduet i min edb-skærm											

## Spørgsmål om forsøgsbelysning

I virkeligheden var der tale om 4 forskellige forsøgssituationer, men vi ser bort fra den første, hvor der ikke var opsat hvide plader på loftet. Derfor bliver der 3 situationer at skelne imellem:

A. Situation, hvor kun arbejdslamper (forsøgslamperne) var tændt

B. Situation, hvor arbejdslamperne var suppleret med 3 af de eksisterende loftsarmaturer

C. Situation, hvor arbejdslamper var suppleret med uplight i midten af rummet.

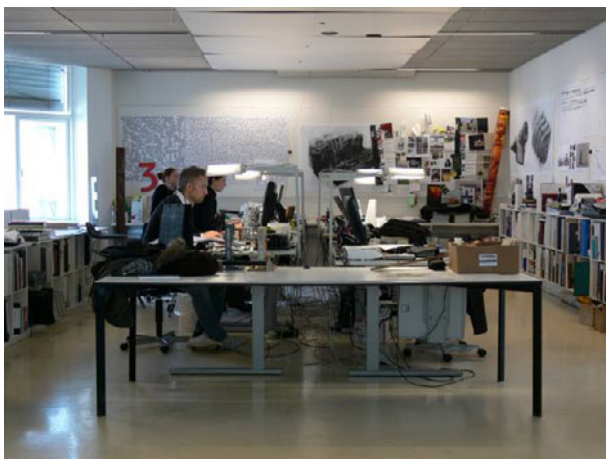
I nedenstående skema bedes du besvare spørgsmålene for alle 3 situationer (også selv om flere svar vil være ens i situation A, B og C).



Situation 0: Eksisterende.



Situation A, med hvide loftsplader.



Situation B, med supplerende loftsbelysning.



Situation C, med supplerende uplight.

Hvad var din generelle opfattelse af lyset fra den elektriske belysning i dit kontor i tilfælde A, B og C:

Bemærk, at 'arbejdslamper' i dette tilfælde er SBi / HLA – forsøgs-lamperne!			meget uenig					meget enig					ved ikke
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
X.1	Jeg var godt tilfreds med belysningen generelt i de nære omgivelser	A											
		B											
		C											
X.2	Jeg var godt tilfreds med loftsbelysningen i de nære omgivelser	A											
		B											
		C											
X.3	Jeg var godt tilfreds med arbejdslampen (-lamperne) på mit bord	A											
		B											
		C											
X.4	Belysningsniveauet i kontoret var for lavt	A											
		B											
		C											
X.5	Belysningsniveauet ved min arbejdsplads/skrivebord var for lavt	A											
		B											
		C											
X.7	Der var generende reflekser fra belysningen på mit bord / i mine papirer	A											
		B											
		C											
X.9	Der var generende reflekser fra belysningen i min edb-skærm	A											
		B											
		C											
X.10	Der var generende blænding fra min arbejdslampe	A											
		B											
		C											
X.11	Der var generende blænding fra andres arbejdslamper	A											
		B											
		C											
X.13	Farven på lyset fra arbejdslamperne var for kold	A											
		B											
		C											
X.14	Min arbejdslampe var næsten altid tændt, når jeg sad ved mit bord	A											
		B											
		C											
X.15	Jeg benyttede aldrig muligheden for at flytte arbejdslampen på langs ad bordet	A											
		B											
		C											
X.16	Jeg benyttede aldrig muligheden for at vippe det ene lampehoved ned for at beskytte min(e) kolleger mod blænding	A											
		B											
		C											
X.17	Når jeg mødte om morgenen, tændte jeg også arbejdslampen på en eller flere af mine kollegaers bord	A											
		B											
		C											
X.18	Jeg blev træt i hovedet/øjnene, når jeg sad i længere tid ved min arbejdsplads	A											
		B											
		C											
X.19	Jeg havde svært ved at koncentrere mig, når jeg sad i længere tid ved min arbejdsplads	A											
		B											
		C											
X.20	Jeg fik ofte hovedpine, når jeg sad i længere tid ved min arbejdsplads	A											
		B											
		C											

Andre kommentarer/vurderinger vedr. forsøgsbelysningen. Alle kommentarer er meget velkomne!

Æstetisk:	
Funktion:	
Placering:	
Andet:	







Rapporten beskriver resultaterne af et udviklingsprojekt for kontorbelysning, som tager udgangspunkt i den enkeltes behov, og medfører en variation, der af de fleste vil blive opfattet som en mere interessant belysning. Projektet har vist, at det er muligt at udforme arbejds-lamper, så de i sig selv opfylder DS 700-kravene vedr. belysningsstyrker på arbejdsbord og arbejdsbord med en installeret effekt på kun 22 W. Herved kan behovet for almenlys nedsættes betydeligt, så der opnås en elbesparelse på ca. 25 % i forhold til typiske belysnings-anlæg, som de udføres i dag.

1. udgave, 2009  
ISBN 978-87-563-1370-4