

11. LYS OG BELYSNING

*Finn Jørgensen, Adjunkt
Maskinmestreskolen København
fj@msk.dk*

Afsnittet "Lys" kan læses som en selvstændig beskrivelse eller i sammenhæng med de øvrige faglige områder, der er beskrevet i ELFORSK projektet: Indeklima, Facility Management, Ventilation, Opvarmning, CTS, bygnings-dynamik, nøgletal og energirenovering. Alle afsnit behandler det pågældende emne ud fra relevansen i forhold til "Energirigtig drift af det rette indeklima i bygninger". Spørgsmål, kommentarer mv. kan rettes til forfatteren.



ELFORSK

Dette kapitel er udarbejdet som del af projektet **Energirigtig drift af det rette indeklima i bygninger – ENDRIN** støttet af ELFORSK i periode 2016–2017, projektnummer 348-006 (www.elforsk.dk).

11.1. Indhold

11.1.	Indhold.....	11-2
11.2.	Læringsmål.....	11-3
11.3.	Nomenklatur og sprogbrug.....	11-4
11.4.	Indledning.....	11-7
	Begreber og Definitioner.....	11-7
	Fotometriske love.....	11-15
	Praktiske målinger.....	11-19
11.5.	Lovkrav	11-20
	BR15.....	11-20
	DS/EN12464-1:2015 og DK NA	11-21
	Lysberegning – Indendørs belysningsanlæg	11-24
11.6.	Dagslys og indeklime, Udnyttelse af dagslys, Energieffektivitet og Lysstyring.	11-25
	Hvad forstås ved dagslys?	11-25
	Udnyttelse af daglys	11-25
	Dagslysets betydning for det rette indeklime – Dynamisk lys.....	11-33
	Lysstyring – herunder samspil med dagslys.....	11-34
11.7.	Udvikling af lyskilder, valg af lysarmaturer, dynamisk lys og sundhed.....	11-42
	Hvad er en LED.....	11-43
	LED-armatur	11-44
	LED- eller lysrørsarmaturer – Levetider, lysnedgang, investering og driftsomkostninger.....	11-45
11.8.	Energirigtig drift- og vedligeholdelse af belysningsanlæg.....	11-47
	Driftsomkostninger.....	11-48
	Funktionsafprøvning	11-49
11.9.	Litteraturliste	11-49
11.10.	APPENDIX A	11-51
	Den fælles europæiske standard DS/EN12464-1:2015 og nationalt annekst.....	11-51
	DS/EN12464-1	11-51
11.11.	APPENDIX B.....	11-66
	Funktionsafprøvning – BR15 (2017)	11-66

11.2. Læringsmål

Studerende der læser følgende kapitel skal være i stand til at

- Kende til lystekniske begreber, fotometriske love og lyskilder.
- Kende til lovkrav for belysningsanlæg, herunder krav til dagslysstyring.
- Kende til lysets betydning for arbejdsmiljøet.
- Kende til dagslysbegrebet.
- Lysstyring – herunder closed- og open loop dagslysstyring.
- Lyskilder og belysningsarmaturer, herunder kunne beregne og evaluere relevante nøgletal
- Kende til væsentlige faktorer ifm. drift- og vedligeholdelse af belysningsanlæg.

11.3. Nomenklatur og sprogbrug

Benævnelse og symbol	Enhed	Beskrivelse
Lysstyrke I	cd (candela)	Grundlæggende SI-enhed. Angiver lysstrøm (lumen) pr. rumvinkel (steradian)
Lysstrøm Φ (flux)	lm (lumen)	Én lumen er den lysstrøm en lyskilde med lysstyrken én candela i alle retninger udsender indenfor rumvinklen én steradian
Belysningsstyrke E	lx (lm/m^2)	Lysstrøm (lumen) pr. fladeareal (m^2). Belysningsstyrken E er et mål for, hvor kraftigt en flade er belyst. Belysningsstyrken benævnes også belysningen eller illuminansen
Luminans L	cd/m^2	Luminansen angiver, hvor lys en flade er. Fladen kan være belyst, eller selv være en lyskilde. Fladens luminans L er flades lysstyrke i en given retning divideret med fladens tilsyneladende areal set fra den givne retning
Rumvinkel ω	sr (steradian)	Rumvinkelmål. Én steradian afskærer én m^2 på enhedskuglen. Én sr er således $1/4\pi$ af kuglens samlede rumvinkel
R_a (R8)	0-100%	Farvegengivelsesindeks baseret på 8 standardiserede prøvefarver. R_a angiver i hvor høj grad farvegengivelsen ligner farvegengivelsen ved den valgte reference lyskilde
CRI	0-100%	CRI (Colour Rendering Index) Generel term for farvegengivelses indeks
CRV	0-100%	CRV (Colour Rendering Vector). Farvegengivelsesindex baseret på 215 farver udviklet af Philips
c, f, λ	$m/s, 1/s, m$	Lysets udbredelseshastighed, lysets frekvens og lysets bølgelængde. Mellem c, f og λ gælder relationen: $c = f \cdot \lambda$. Jo højere frekvens, jo kortere bølgelængde. c afhænger af udbredelsesmediet: $c = 1/\sqrt{\epsilon \cdot \mu}$ $c_{atm.luft} \cong 1/\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0} = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
$E_{mid}, E_{min}, E_{max}$	lx (lm/m^2)	Middelbelysningsstyrken E_{mid} beregnes som den lysstrøm der rammer en flade divideret med fladens areal. E_{min} og E_{max} angiver henholdsvis mindste og største belysningsstyrke på arbejdsplanet
Regelmæssighed U_0	0-100%	$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{mid}}$
Blænding		Ubehagelige synsforhold. Blænding opdeles normalt i synsnedsættende blænding og ubehagsblænding. Synsnedsættende blænding nedsætter evnen til at se detaljer. Ubehagsblænding kan virke irriterende og stressende
Blændingstal B (UGR-metoden)	$B = 8 \cdot \log_{LB}^{0,25} \sum_{i=1}^n \frac{L_s^2 \cdot \omega_s}{p_s^2}$ L_s : bl.kildens luminans ω_s : bl.kildens rumvinkel L_B : baggrundsluminans p_s : bl.kildens pos. indeks. n : antal blændingskilder	Blændingstallet B er en beregnet værdi for ubehagsblændingen i et givent punkt i et lokale. URG-metoden 'Unified Glare Rating' vægter hver enkelt lysgivers bidrag med et positionsindeks, bestemt af lysgiverens placering i synsfeltet

Reflektans ρ	$\rho = \frac{\Phi_{refl}}{\Phi_{flade}} \quad (0-1)$	En flades reflektans ρ angiver andelen af en indkommen lysstrøm som fladen kaster tilbage
Transmittans τ	$\tau = \frac{\Phi_{trans}}{\Phi_{flade}} \quad (0-1)$	Den del af en indkommen lysstrøm som passerer gennem fladen
Absorption		Den del af en indkommen lysstrøm som hverken reflekteres eller transmitteres, men absorberes af fladen og omsættes til varme
Lysfordelingskurve	$cd \text{ (pr. } lm)$	Armaturets lysstyrke I som funktion af den retning armaturet udsender lys. Angives som graf i polært koordinatsystem, med enhed cd pr. lm
LED		Light Emitting Diode. En PN-overgang i et halvleder materiale. LED lyskilder er elektroluminescenslamper. Fluorescens udnyttes til at skabe acceptable lysspektre. LED udmærker sig ved højt lysudbyttet og levetider op til 100.000h afhængig af driftstemperatur
Temperaturstråler		Lyskilde hvor lysudsendelsen sker ved opvarmning af et materiale (f.eks. standard gløde- og halogenlamper)
Luminescensstråler		Generel betegnelse for lyskilder der ikke udsender lys ved temperaturstråling. Lysrør, metaldamplamper og LED er luminescensstrålere. I metaldamplamper frembringes en elektrisk udladning i en gasfyldt kolbe, hvor udladningen sker i metallerne kviksølv eller natrium på gasform. I lysrør sker udladningen i kviksølvdampe. Udsendes stråling ved luminescens i det ultraviolette område kan strålingen efterfølgende omdannes til synligt lys ved fluorescens
Flourescens		Udsendelse af lys ved flourescens. Når et materiale belyses med én frekvens og indenfor $10^{-8}s$ genudsender energien som lys ved en anden frekvens. (I lysrør og LED udnyttes flourescens)
Fosforescens		Udsendelse af lys ved fosforescens. (Når et materiale udsender lys et stykke tid efter det er belyst. En selvlysende urskive udsender lys ved fosforescens)
Lysudbytte eller Lyseffekt	lm/w	Lyskildens effektivitet målt i lumen pr. watt
Lysspektre		En lyskildes spektrum eller spektrale effektfordeling viser den udstrålede effekt ved diskrete bølgelængder
Adaptation		Øjets tilpasning til synsfeltets luminanser. Adaptation foregår automatisk ved skiftende belysningsniveau og når synslinjen flyttes mellem lysere og mørkere rumafsnit. For hver adaptationstilstand (adaptationsluminans) eksisterer to karakteristiske grænser, en nedre mørkegrænse og et øvre blændingsgrænsområde. Luminanstrinene i området fra mørke til blænding er afgørende for indtrykket af lyset i rummet
Afskærmningsvinkel		Vinkel mellem et armatures horisontale akse og synslinjen, over hvilken lyskilden bliver synlig
Armaturvirkningsgrad η_A	$0-100\%$	Den andel af et armatures monterede lyskildelysstrøm (lm) som forlader armaturet
Rumvirkningsgrad η_R	$0-100\%$	Den andel af lysstrømmen, som forlader armaturerne og rammer arbejdsplanet

Belysn.virkn.grad η_B	0-100%	Den andel af den installerede lyskildelysstrøm som rammer arbejdsplanet. $\eta_B = \eta_A \cdot \eta_R$
Gennemsnitslevetid	h	Det tidspunkt hvor 50% af et antal komponenter stadig fungerer
Serviceinterval	h	Interval mellem: <ul style="list-style-type: none"> - udskiftning af lyskilder - rengøring af armaturer - rengøring af rummets flader Valg af serviceintervaller indgår i vedligeholdelsesfaktoren, og dermed dimensioneringsgrundlag, energieffektivitet og økonomi
Vedligeholdelsesfaktor MF (<i>maintenance factor</i>)	0-1	Vedligeholdelsesfaktoren (MF). Bestemmende for den begyndelsseværdi belysningsstyrken skal have for at sikre kravet til belysningsstyrken i hele driftsperioden. Beregnet vedligeholdelsesfaktor skal dokumenteres. $MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF$
Lyskilde lumen vedligeholdelsesfaktor $LLMF$ (<i>lamp lumen maintenance factor</i>)	0-1	Lyskildens lysnedgang. Lyskildens lumenværdi efter en given driftstid. Lægges til grund for valg af lyskilder og valg af driftstid mellem lyskildeudskiftning. Afgørende faktor når alternative løsninger skal sammenholdes driftsøkonomisk. $LLMF$ skal dokumenteres af armatur/lyskilde-fabrikkerne.
Lyskilde overlevelsesfaktor LSF (<i>lamp survival factor</i>)	0-1	Angiver andel af lyskilder der, statistisk set, overlever det valgte interval for lyskildeudskiftning. LSF sættes til 1, hvis udbrændte lyskilder udskiftes umiddelbart efter udfald. LFS sættes ligeledes til 1, hvis lyskilden er en LED. LSF er for LED armaturets levetid
Armaturtilsmudsning LMF (<i>luminaire maintenance factor</i>)	0-1	Lysnedgang sfa armaturtilsmudsning. Afhænger af valgt rengøringsinterval. Sættes normalt til 0,93-0,97 ved rene omgivelser og 0,9 ved mere udfordrende
Rumvedligeholdelsesfaktor $RSMF$ (<i>room surface maintenance factor</i>)	0-1	Lysnedgang sfa rumfladernes tilsmudsning. Afhænger af valgt rengøringsinterval. Sættes normalt til 0,95-0,97 ved rene omgivelser og 0,9 ved mere udfordrende
L -værdi / LED -armaturlevetid	h	Et LED armaturets levetid og ydelse over tid skal oplyses, jf. IEC62171 og IEC62722. L -værdien angiver forventet lysstrøm i % af nyværdi efter en given driftstid. L -værdien: L_{80} 60.000h angiver at armaturets lysstrøm efter 60.000h er 80% af nyværdien. L -værdien er bestemmende for lysudbyttets (lm/W) variation i driftsperioden, og kan reducere/forøge nødvendigt antal armaturer i et belysningsanlæg
Dagslysfaktor DF	0-1	$DF = \frac{E_{indvendig}}{E_{udvendig}}$ Forholdet mellem belysningsstyrken i et punkt i planet indenfor og den samtidige belysningsstyrke på et vandret plan udenfor fra det diffuse himmellys uden skyggeeffekter fra omgivelserne

11.4. Indledning

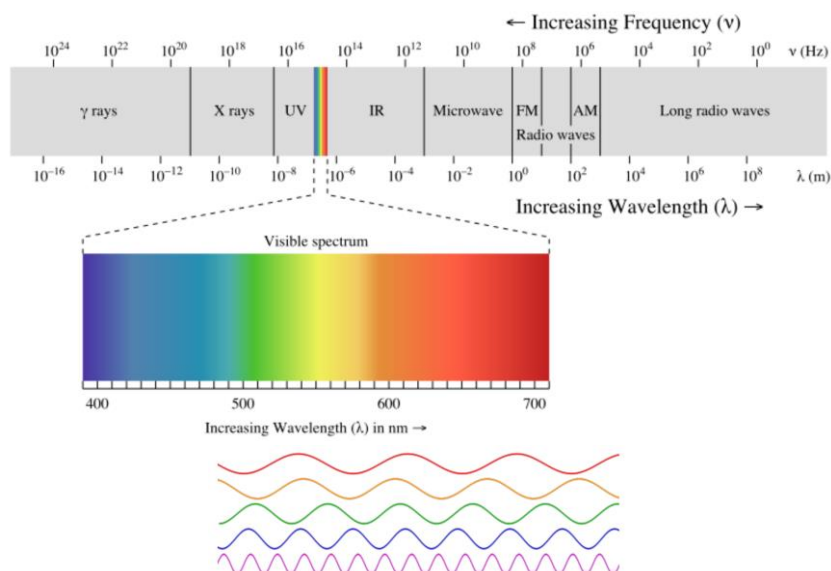
En bygnings belysningsanlæg og udnyttelse af dagslys har direkte indvirkning på energirigtig drift og det rette indeklima. At dimensionere og vælge belysningsanlæg kræver ikke blot viden om energieffektive belysningsarmaturer og mulige lysstyringsprincipper, men indsigt i lysets natur og betydning for menneskelig velvære og aktivitetsniveau.

Et fyldestgørende grundlag at vurdere og udvælge belysningsløsninger på kræver kendskab til lysets egenskaber, lovkrav, lyskilder, lysarmaturer, dagslystilskud og lysstyringsprincipper samt drift- og vedligeholdelse af belysningsanlæg.

I kapitlet LYS gives først en introduktion til lysets natur og egenskaber. Dernæst hvilke lovkrav der gælder for kunstig belysning og udnyttelse af dagslys. Begrebet dagslysfaktor introduceres og styringsprincipper for opfyldelse af lovkrav om dagslysstyring gennemgås. Energieffektivitet opnås ved det rette valg af energieffektive lyskilder, armaturer og lysstyring, mens en investeringsmæssig fordelagtig løsning ud over energieffektivitet og investeringsudgift på investeringstidspunktet forudsætter valg af investeringsperiode og kendskab til drift- og vedligeholdelsesomkostninger i perioden. Kendskab til forskellige lyskilders lysudbytte, lyskildelevetid og lysnedgang i investeringsperioden, samt drift- og vedligeholdelsesomkostninger indgår i en sådan beregning og gennemgås sidst i kapitlet.

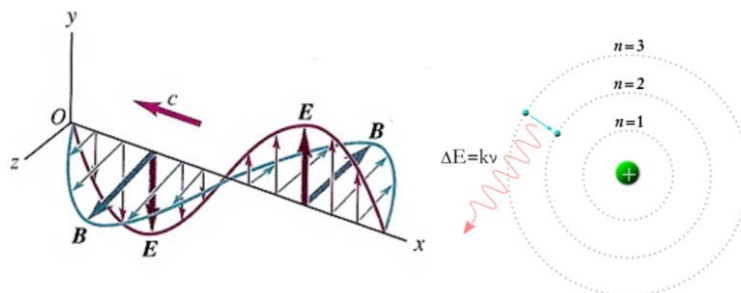
Begreber og Definitioner

Lys er elektromagnetisk stråling. Kun et meget lille område af det elektromagnetiske spektrum, fra infrarødt til ultraviolet lys, er synligt for det menneskelige øje. Synligt lys ligger i bølglængdeområdet $380nm \leq \lambda \leq 740nm$.



Figur 11-1 Elektromagnetisk stråling; Illustrationer: en.wikipedia.org

Lys er ikke blot kendetegnet ved dets styrke, udbredelsesretning og frekvens. Lys har såvel bølge- som partikelnatur. Når lys afbøjes i optiske gitre udviser det bølgenatur, når lys vekselvirker med atomer eller faste stoffer og reflekteres eller absorberes udviser det partikelnatur.



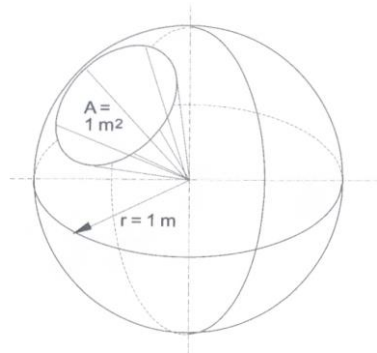
Figur 11-2 Lysets bølge- og partikelnatur; Illustrationer: Young & Freedman, University Physics - en.wikipedia.org

Som partikler, kaldet fotoner eller lyskvanter, kan lys beskrives ved partiklernes energi ΔE , der er proportional med lysets frekvens, $\Delta E = h \cdot \nu$, hvor h er Planks konstant. 'Jo højere frekvens ν lys har, jo højere energi har det'. Uanset lysets bølgelængde λ , udbreder det sig med samme hastighed $c = \nu \cdot \lambda$. 'Jo højere frekvens lys har, jo kortere bølgelængde har det'.

I lysgennemtrængelige (transparente) materialer som vand, glas og plastik, reduceres lysets udbredelseshastighed. I glas reduceres hastigheden med ca. 30% i forhold til atmosfærisk luft. Rammer en lysstråle, der er sammensat af flere bølgelængder, et transparent materiale brydes de enkelte bølgelængder forskelligt. Fænomenet kaldes dispersion og udnyttes til at analysere hvilke bølgelængder lyskilder udsender og med hvilke intensiteter.

I belysningsmæssige sammenhænge benyttes de lystekniske begreber: lysstyrke, lysstrøm og belysningsstyrke til at beskrive lyset, mens begrebet luminans benyttes til at beskriver hvordan en flade, eller en lysgiver, opleves af øjet som iagttaget. Derudover karakteriseres lyset ved dets farvetemperatur, og dets evne til at gengive farver. Lysets farvetemperatur angiver hvor 'hvidt' det opfattes, mens lysets evne til at gengive farver beskrives ved et farvegengivelsesindeks.

Rumvinkel. I definitionen af lysstyrke I og lysstrøm Φ indgår rumvinkelmålet steradian. **1 steradian** [sr] er den rumvinkel som afskærer arealet 1 m^2 på enhedskuglen. Da kuglens overfladeareal er $4\pi \cdot r^2$, svarer rumvinklen 1 steradian til $1/4\pi$ af kuglens samlede rumvinkel.



$$A_{\text{kugle}} = 4\pi \cdot r^2$$

$$A_{\text{enhedskugle}} = 12,57\text{m}^2$$

**Rumvinklen $\omega = 1$ sr
afskærer arealet 1m^2 på
enhedskuglen**

Figur 11-3 Rumvinkelbegrebet; Illustration: Poul E. Petersen, Lys og varme

INFO BOKS:

Begreb	Enhed	Definition
Lysstyrke I	candela [cd]	Lysstrøm pr. rumvinkel
Lysstrøm Φ	lumen [lm]	Effekt i form af lysstrøm
Belysningsstyrke E	lux [lx]	Lysstrøm pr. fladeenhed
Luminans L	candela pr. m ² [cd/m ²]	Lysstyrke pr. lysende fladeenhed
Rumvinkel ω	steradian [sr]	1/4π af kuglens samlede rumvinkel
Lysstyrken 1cd	1 candela er defineret som lysstyrken i en given retning af en lyskilde, der udsender monokromatisk lys med en frekvens på 540 · 10 ¹² Hz og hvis strålingsstyrke i denne retning er 1/683 watt pr. steradian	
Lysstrømmen 1lm	1 lumen er den effekt, som en lyskilde med lysstyrken 1 candela udsender indenfor en rumvinkel på 1 steradian. (En lyskilde med lysstyrken 1 candela i alle retninger udsender en samlet lysstrøm på 4π lumen)	

Lysstyrke *I* måles i candela [cd] og angiver hvor stor en lysstrøm [lm] der udsendes i en given retning. Enheden er lumen pr. steradian og én candela defineres som lysstyrken i en given retning af en lyskilde der udsender monokromatisk lys (lys med én frekvens) ved frekvensen 540 · 10¹² Hz og strålingsstyrken 1/683 watt pr. steradian i retningen.

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

[lm/sr]

Lysstrøm **Φ** (flux) måles i lumen [lm] og angiver den effekt i form af lysstrøm, som en lyskilde med lysstyrken én candela udsender indenfor en rumvinkel på én steradian. En lyskilde der i alle retninger har lysstyrken én candela udsender lysstrømmen 4π lumen, idet kuglens samlede rumvinkel er 4π sr.

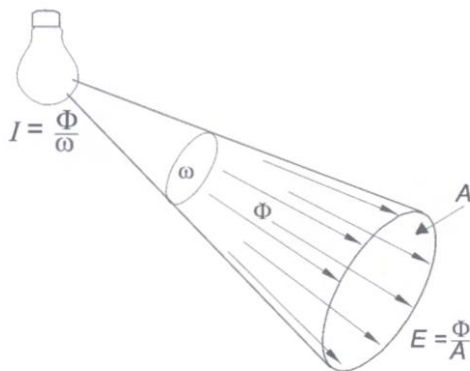
$$\Phi = I \cdot \omega$$

[lm]

Belysningsstyrke E måles i lux [lx]. Belysningsstyrken én lx er belysningsstyrken på en flade der rammes af lysstrømmen én lumen pr. m^2 .

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

$[lm/m^2]$



Figur 11-4 Lysstyrke I , Lysstrøm Φ og Belysningsstyrke E ; Illustration: Poul E. Petersen, *Lys og varme*

Luminans L måles i candela pr. m^2 og angiver en flades lysstyrke pr. fladeenhed.

$$L = \frac{I}{A}$$

$[cd/m^2]$

En flades luminans angiver, hvor lys fladen er. Fladen kan være belyst, eller selv være en lysgiver. Fladers luminanser, og variationen af luminanser mellem tilstødende flader er af afgørende betydning for det oplevede lysmiljø. Det kan vises, at en fuldstændig reflekterende mathvid flade, med belysningsstyrken 1 lx har luminansen $1/\pi$ cd/m^2 .

Luminans og blænding. Blanke overflader, dårligt afskærmede lyskilder og lysindfald fra vinduer kan blænde. Der skelnes mellem synsnedsættende blænding og ubehagsblænding. Synsnedsættende blænding nedsætter øjets følsomhed (adaptation), mens ubehagsblænding er det ubehag lyskilder, eller flader, med høj luminans kan medføre. I hvor høj grad en lyskilde, eller flade, medfører ubehag i en arbejdssituation har været genstand for megen forskning. En metode til at beskrive graden af ubehagsblænding, er at beregne et blændingstal, der medtager alle lyskilder indenfor iagttagers synsfelt, vægter disse ved et positionsindeks i forhold til iagttagers synslineje og sætter værdien i forhold til baggrundsluminansen.

Den fælles europæiske belysningsstandard DS/EN12464 stiller krav til ubehagsblænding i form af maksimale blændingstal beregnet efter *UGR*-metoden for at sikre et godt arbejdsmiljø uden skadelige langtidseffekter fra ubehagsblænding.

Blændingstallet B beregnet ved *URG* metoden (unified glare rating) beregnes som:

$$B = 8 \cdot \log \frac{0,25}{L_B} \sum_{i=1}^n \frac{L_s^2 \cdot \omega_s}{p_s^2}$$

hvor

L_s : Blændingskildens luminans (cd/m^2)

ω_s : Blændingskildens rumvinkel, set fra iagttaget (sr)

L_B : Baggrundsluminansen (sr)

p_s : Guth's positionsindeks, beregnet ud fra vinklerne mellem blændingskilde og synslinje

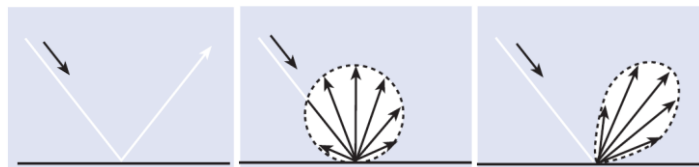
n : antal blændingskilder

Refleksion, transmission og absorption. Når lys rammer et lokales flader vil en del af lyset absorberes og omsættes til varme, mens resten vil reflekteres. Er fladen transparent, f.eks. et vinduesglas, vil en del af lysstrømmen transmitteres gennem fladen. Den andel af lysstrømmen som rammer fladen og reflekteres er fladens reflektans. Den andel af lysstrømmen som rammer fladen og transmitteres gennem fladen er fladens transmittans.

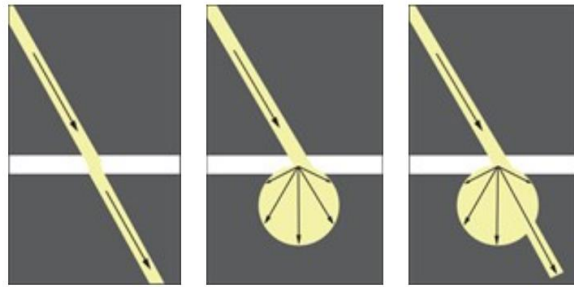
Tabel 11-1 Reflektans og Transmittans

Reflektans	$\rho_{flade} = \frac{\Phi_{reflekeret}}{\Phi_{indkommen}}$
Transmittans	$\tau_{flade} = \frac{\Phi_{transmitteret}}{\Phi_{indkommen}}$

Fladeres måde at reflekterer lysstråler på er afgørende for blændings- og luminansforhold. Reflekteres lysstråler i en lysstråle med samme ud- som indfaldsvinkel er fladen spejlende. Spejlende flader kan medføre ubehagsblænding og luminansspring, som nedsætter øjets følsomhed. Flader som reflekterer lysstråler i flere retninger er diffust reflekterende. Diffust reflekterende flader med høj reflektans er ideelle for lokalers miljø og udnyttelsen af lyskilder og dagslys. Diffuse refleksioner reducerer luminansspring, mens høje reflektanser øger lysudbyttet.

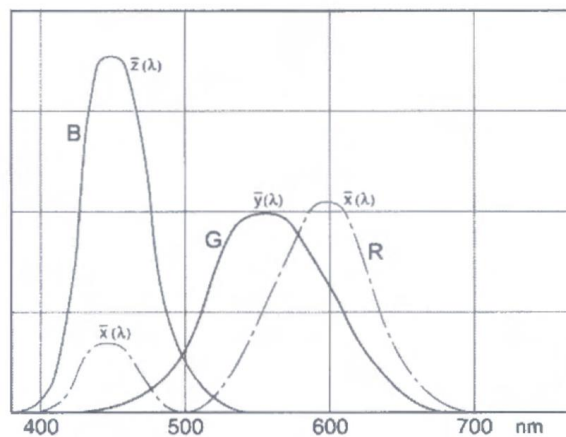


Figur 11-5 Spejlende-, ideel- og blandet diffus refleksion; Illustration: Illumination fundamentals, Lighting Research Center, Rensselaer, www.lrc.epi.edu



Figur 11-6 Ren-, ideel- og blandet diffus transmission; Illustration: Dansk Center for Lys, www.lysviden.dk

Øjets farveopfattelse. Øjet kan ikke skelne lysets forskellige bølgelængder. Farveopfattelsen skabes i hjernen, når øjets sanseceller stimuleres af lyset. Øjets nethinde har to forskellige sanseceller, tappe og stave. Stavene er de mest lysfølsomme, men kan ikke skelne farver. Stavene giver os 'natsyn', mens tappene giver os farvesyn. Øjet har tre forskellige typer tappe med hver sin følsomhed. En type er mest følsom overfor langbølget lys, en anden overfor mellembølget og en tredje overfor kortbølget lys. Populært sagt, stimuleres hver af de tre typer tappe af lys i henholdsvis det røde, det grønne og det blå bølgeområde, Figur 11-7. Ud fra tappenes stimulering fortolker hjernen lysets farve. F.eks. påvirker lys med bølgelængde 570nm de røde og grønne tappe ligeligt, og fortolkes af hjernen som gult lys.



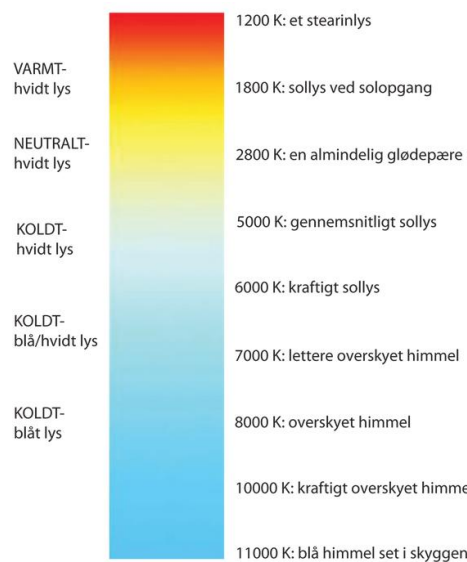
Figur 11-7 Øjetappenes spektrale følsomhed; Kilde: P. E. Petersen – Lys og varme

Lys sammensat af alle frekvenser i det synlige område med omtrent samme intensitet opfattes som 'hvidt lys'. Består lyset af bølgelængder i det røde-, grønne- og blå område med nogenlunde samme intensitet, fortolker hjernen lyset som hvidt. Figur 11-8 illustrerer hvordan hjernen fortolker kombinationen af forskellige spektralfarver. F.eks. fortolkes summen af spektralfarverne blå og gul som hvidt lys. Det samme gælder for summen af grøn og magenta samt summen af rød og cyan.



Figur 11-8 Hjernes farvemæssige fortolkning af tappens signaler - Addition af farver; Kilde: P. E. Petersen – Lys og varme

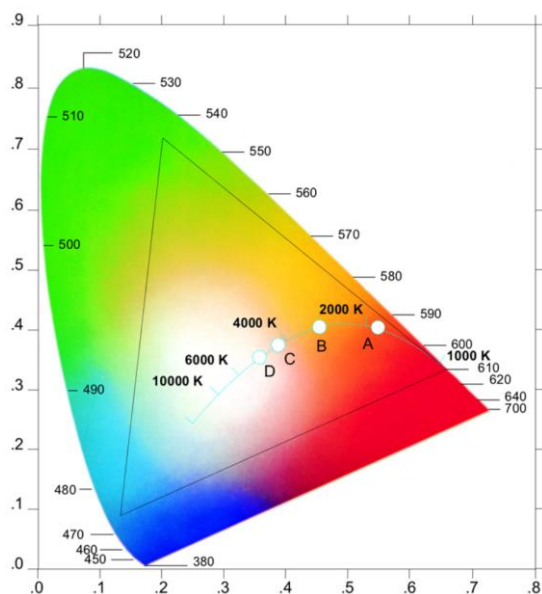
Farvetemperatur. Udover at fortolke summen af lysets bølgelængder og intensitet som en farve, opfatter vi lys som 'koldt' eller 'varmt'. Hvorvidt lys opfattes 'koldt' eller 'varmt' afhænger af dets farve-temperatur, og angives i grader Kelvin [K]. Opvarmes et matsort legeme vil det udsende alle bølgelængder indenfor det synlige spektrum, men med forskellig intensitet afhængig af legemets temperatur. Ved lave temperaturer udsendes overvejende langbølget stråling, svarende til lys i den røde del af det synlige spektrum. 'Jo højere temperatur, jo mere dominerer intensiteten af kortbølget stråling, og jo mere forskydes lyset mod den blå-violette ende af det synlige spektrum', Figur 11-9.



Figur 11-9 Farvetemperaturer i dagligdagen - 'Fra varmt hvidt til koldt blåt lys', Illustration: www.fischer-lighting.com

Den Internationale Belysningskommission CIE har defineret en farvetrykant, hvori alle farver kan angives ved to koordinater. Farvetrykanten er baseret på, at alle farver kan dannes ved en blanding af

grundfarverne rød, grøn og blå. Linjen indtegnet i Figur 11-10 viser det matsorte legemes farve ved forskellige temperaturer gående fra rødtligt ved 1000K over hvidt til blåligt ved 10.000K.



Den internationale Belysningskommission CIE har defineret en farvetrekant, hvori alle farver kan angives ved to koordinater.

Farvetrekanten er baseret på at alle farver kan dannes ved blanding af rødt, grønt og blått lys.

De mættede farver (monokromatisk lys) ligger på trekantens kant gående fra rød over grøn til violet. På figuren til venstre angives beliggenheden af en række bølgelængder.

Alle punkter inde i trekanten repræsenterer umættede farver.

Den indtegnede hvide linje viser farveforløbet af det lys et matsort legeme udsender ved opvarmning.

Punkterne A, B, C og D på linjen viser farven af hhv. et stearinlys, en glødepære, en fotografisk blitz og sollys.

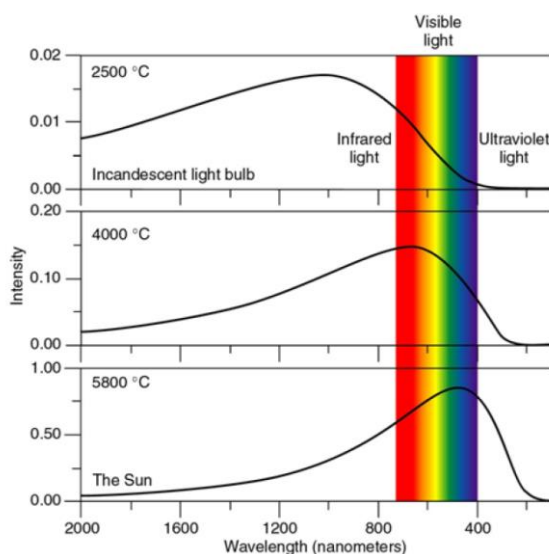
Figur 11-10 CIE farvetrekanten; Illustration: Jes Ole Henningsen – www.denstoredanske.dk

INFO BOKS:

Er belysningsstyrken i et lokale lav foretrækkes normalt 'varmt' lys.
 Er belysningsstyrken høj foretrækkes normalt 'koldt' lys.

Kombinationen lav belysning og 'koldt' lys føles ubehagelig, mens 'koldt' lys i lokaler med høj belysningsstyrke forekommer naturlig.

Farvegengivelse. En lyskildes evne til at gengive farver afhænger af lysets indhold af bølgelængder, og bølgelængdernes relative styrke. To lysgivere med forskelligt spektrum kan godt have samme farvetemperatur, men forskellige egenskaber til at gengive farver. Belyses en rød tomat med hvidt lys vil den 'forblive' mørk, hvis det hvide lys ikke indeholder bølgelængder i det røde område, som tomatens overflade kan reflektere. Lysets bølgelængder vil absorberes. En matsort overflade absorberer alle bølgelængder, mens en hvid flade reflekterer alle.



*Glødetråd - Driftstemperatur 2500°C
 Intensiteten af rødt lys størst*

*Sort legeme opvarmet til 4000°C
 Intensiteten af rødt lys størst men
 andelen af blått lys steget*

*Sollys - Farvetemperatur 5800°C
 Intensiteten af blått lys størst*

Når et sort legeme opvarmes vil alle bølgelængder i det synlige område være repræsenteret. En lyskildes evne til at gengive farver afhænger af hvilke bølgelængder den udsender og med hvilken intensitet.

*Figur 11-11 Spektralfordeling af udsendt lys fra glødetråd, sort legeme v. 4000°C og sollys;
 Illustrationer: www.glamox.com*

Farvegengivelse. R_a og R_i . En lyskildes evne til at gengive farver kan beskrives ved et farvegengivelsesindeks, som opgør farvegengivelsen i forhold til en ideel referencelyskilde. Er lyskildens farvetemperatur mindre end 5000K benyttes det matsorte legemes stråling som reference. For farvetemperaturer over 5000K benyttes en standardiseret reference med spektralfordeling som dagslys.

R_a indekset opgør en lyskildes evne til at gengive 8 standardiserede farver. Farverne er 8 pastelfarver som ofte ses i indendørs opholds- og arbejdslokaler. Systemet betegnes CRI (Colour Rendering Index) og R_a værdien beregnes som et vægtet gennemsnit af lyskildens gengivelse af de 8 pastelfarver. Gengiver lyskilden de 8 pastelfarver som referencelyskilden tildeles lyskilden R_a værdien 100.

Suppleres de 8 pastelfarver med de klare mættede farver rød, gul, grøn og blå, samt farven af menneskelig hud og den løvgrønne farve betegnes farvegengivelsesindekset R_i .

Begrænsningen ved R_a og R_i er de få farver indekserne baseres på, og at de opgør gennemsnitsværdier. På trods heraf indgår farvegengivelsesindekset R_a i de krav den europæiske belysningsstandard DS/EN12464 krav stiller, dog med tilføjelsen, at sikkerhedsfarver skal gengives korrekt uanset krav til mindste R_a værdi.

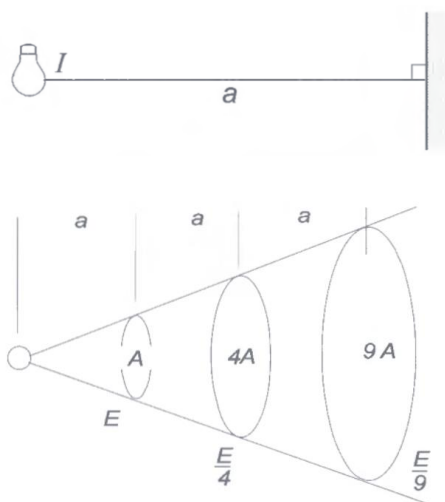
Fotometriske love

Når et lysberegningssystem beregner belysningsstyrkens fordeling på en arbejdsflade og et lokales vægge eller lofter, udføres beregningen på baggrund af de tre afstandslove, cosinusloven og superpositionsprincippet, samt producenternes dokumentation af armaturets afgivne lysstyrke i alle retninger. Nedenfor anføres afstandslovene, cosinusloven og superpositionsprincippet.

Afstandslovene. For en **punktformet lyskilde** med lysstyrken I er belysningsstyrken i afstanden a fra lyskilden:

$$E = \frac{I}{a^2}$$

'Belysningsstyrken E i afstanden a fra en punktformet lysgiver er omvendt proportional med kvadratet på afstanden til lysgiveren'.



Figur 11-12 Afstandsloven for en punktformet lyskilde; illustrationer: Poul E. Petersen, Lys og varme

For en **uendelig lang linjeformet lysgiver** med lysstyrken I er belysningsstyrken i afstanden a fra lyskilden:

$$E = k_1 \cdot \frac{I}{a}$$

'Belysningsstyrken E i afstanden a fra en linjeformet lysgiver er omvendt proportional med afstanden til lysgiveren'.

(For en ideel linjeformet lyskilde er $k_1 = \pi/2$)

At belysningsstyrken er omvendt proportional med kvadratet på afstanden til en punktformet lysgiver, og omvendt proportional med afstanden til en uendelig lang linjeformet lysgiver, ses umiddelbart ved at betragte hhv. en kugleskal som omgiver en punktformet lyskilde, og en cylinder, som omgiver en uendelig lang linjeformet lyskilde. Kugleskallens overflade øges med kugleradius i 2. potens, mens cylinderens overflade øges med cylinderradius i 1. potens.

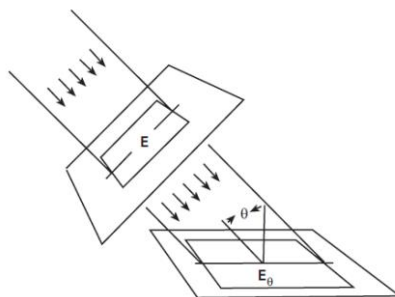
For en **stor fladeformet lysgiver** med lysstyrken I er belysningsstyrken i afstanden a :

$$E = k_2 \cdot I$$

'Belysningstyrken E fra en stor lysende flade er uafhængig af afstanden til fladen'.

Cosinusloven. Belyses en flade med arealet A af en lysstrøm Φ vinkelret på fladen bliver fladens belysningsstyrke $E = \Phi/A$. Rammer lysstrømmen flade under indfaldsvinklen $\theta > 0^\circ$ reduceres fladens belysningsstyrke med $\cos\theta$:

$$E_\theta = E \cdot \cos\theta$$



Figur 11-13 Cosinusloven; Illustration: Illumination Fundamentals, Lighting Research Center, Lensselaer, www.lrc.rpi.edu

Eksempel – Brug af afstands- og cosinuslov

Et downlight-armatur er placeret midt i loftet i et gangareal. Gangen er 2m bred, 3m lang og har loftshøjden 2,5m. Belysningsstyrkerne på gulvet midt i gangen og ved væggen midt på henholdsvis gangens korte og lange side skal beregnes.

Først bestemmes lysets indfaldsvinkler:

$$\theta_{\text{midt,gang}} = 0^\circ \quad \theta_{\text{midt,langside}} = \tan^{-1} \frac{2,0}{2,5} = 21,8^\circ \quad \theta_{\text{kant2}} = \tan^{-1} \frac{3,0}{2,5} = 31,0^\circ$$

Af afstandsloven for en punktformet lysgiver og cosinusloven fås:

$$E_\theta = \frac{I}{a^2} \cdot \cos\theta$$

Udnyttes at $h = a \cdot \cos\theta$ kan belysningsstyrken udtrykkes ved monteringshøjden h og indfaldsvinklen θ :

$$E_\theta = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 \theta$$

Af armaturets lysfordelingskurve (cd pr. 1000lm lyskilde) aflæses lysstyrkerne i de tre aktuelle retninger:

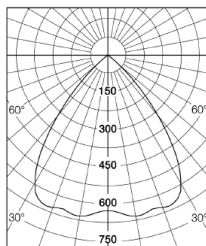
$$I_0^\circ = 630\text{cd}/1000\text{lm} \quad I_{21,8^\circ} = 660\text{cd}/1000\text{lm} \quad I_{31,0^\circ} = 580\text{cd}/1000\text{lm}$$

Dermed bliver de søgte belysningsstyrker:

$$E_0 = \frac{630 \cdot 1,201}{2,5^2} = 121\text{lx} \quad E_{21,8^\circ} = \frac{660 \cdot 1,201}{1,8^2} \cdot \cos^3 21,8^\circ = 101\text{lx} \quad E_{31,0^\circ} = \frac{580 \cdot 1,201}{2,5^2} \cdot \cos^3 31,0^\circ = 70\text{lx}$$

Armatur, Lysfordelingskurve og Armaturdata

(Fagerhult produktkatalog 2017 - Pleiad Evo mat)



EL TEKNISKE DATA

W 13

LYSDATA

lm 1201	SDCM 3
lm/W 90	CRI 80
Levetid LED modul L90 B50, h 50 000	CCT, K 3000
Levetid driver, h/max udfald 100 000/10 %	Lyskilde LED

Superposition. Afstandslovene og cosinusloven udgør grundlaget for beregning af belysningsstyrken i et vilkårligt punkt i et lokale. Er der flere lysgivere, f.eks. rækker af lysarmaturer, skal belysningsbidragene fra hver enkelt armatur lægges sammen. Belysningsstyrken på arbejdsplanet er dog ikke alene bestemt af den direkte belysning fra hvert lysarmatur. Lys som reflekteres af lokalets flader bidrager og skal tillægges. Derfor er valg af overflader afgørende for såvel et lokales lysmiljø, som for energiforbrug til kunstig belysning.

Praktiske målinger

Belysningsstyrken på en arbejdsflades E [lm/m^2] måles med et luxmeter, en lysende flades luminans L [cd/m^2] måles med et luminansmeter og materialers reflektionsevne ρ ved hjælp af en fotometerkugle.

I praksis kan luxmeteret anvendes til at bestemme tilnærmede værdier for punktformede lyskildes lysstyrke, fladers reflektanser og vægge/lofters luminanser.



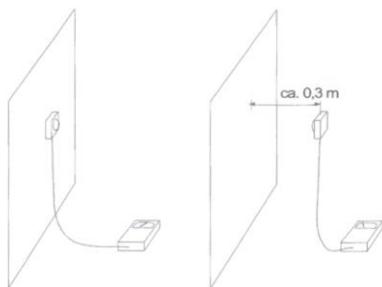
En tilnærmet værdi af en punktformet lyskildes lysstyrke I i en given retning kan bestemmes ved at måle belysningsstyrken E vinkelret på lysgiveren.

$$\text{Lyskildens tilnærmede lysstyrke er: } I = E_{\text{målt}} \cdot a^2 \text{ [cd]}$$



En tilnærmet værdi af en flades luminans L kan bestemmes ved at måle belysningsstyrken E fra fladen i afstanden 0,3m.

$$\text{Fladens tilnærmede luminans er: } L = E_{\text{målt}} / \pi \text{ [cd/m}^2\text{]}$$



En tilnærmet værdi af en flades reflektionsfaktor ρ kan bestemmes ved at måle belysningsstyrken E_1 på fladen samt belysningsstyrken E_2 fra fladen i afstanden 0,3m. Fladens tilnærmede reflektionsfaktor er: $\rho = E_2 / E_1$

Figur 11-14 Praktiske målinger; illustrationer: P.E.P. Lys og varme

11.5. Lovkrav

BR15

Bygningsreglement BR15, som er gældende for alle former for erhvervs- og institutionsbyggeri, angiver lovkrav til arbejdspladsbelysning:

6.5.3 Elektrisk belysning

01.07.2017 -

Regler og vejledningstekst	
Bestemmelse	Vejledning
Stk. 1 Arbejdsrum mv. og fælles adgangsveje skal have kunstig belysning i fornødent omfang. Arbejdspladsbelysning skal udføres i overensstemmelse med DS/EN 12464-1 Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser – Del 1: Indendørs arbejdspladser, med DS/EN 12464-1 DK NA.	(6.5.3, stk. 1) Desuden henvises til DS/EN 12464-2 Lys og belysning - Lys ved arbejdspladser - Del 2: Udendørs arbejdspladser, DS/EN 12665 Lys og belysning - Grundlæggende begreber og kriterier til beskrivelse af krav til belysning, DS/EN 1838 Belysning – Nødbelysning, DS/EN 50172 Belysningssystemer til nødudgange og DS/EN 12193 Lys og belysning – Sportsbelysning.
Stk. 2 Arbejdsrum mv. og fælles adgangsveje skal forsynes med energieffektiv belysning. Hvis der er tilstrækkeligt dagslys skal arbejdsrum mv. og fælles adgangsveje forsynes med automatisk dagslysstyring.	(6.5.3, stk. 2 og 3) Energieffektiv belysning indebærer bl.a. anvendelse af lyskilder med en virkningsgrad for almenbelysningen på over 50 lm/W og effektbelysning samt arbejdslamper på over 15 lm/W. I rum med begrænset dagslysadgang kan dagslysstyring udelades.
Stk. 3 Arbejdsrum mv. med lejlighedsvis benyttelse og fælles adgangsveje skal forsynes med bevægelsesmeldere. Anvendelse af bevægelsesmeldere kan udelades, hvor slukning af lyset kan give risiko for ulykker, eller hvor lyskilderne ikke er egnede hertil.	(6.5.3, stk. 3) Bestemmelsen gælder også baderum og toiletter i tilknytning til arbejdsrum mv. Ved f.eks. lagerhaller med truckkørsel kan bevægelsesmeldere give risiko for ulykker. Energieffektive lyskilder som f.eks. damplamper er ikke egnede til dagslysstyring eller anvendelse af bevægelsesmeldere.

Belysningsanlæg skal udføres i overensstemmelse med DS/EN12464-1 og DS/EN12464-1 DK NA

Krav om automatisk dagslysstyring når dagslys kan udnyttes
Energieffektive lyskilder skal for almen belysning have et lysudbytte på minimum 50lm/W

Krav om bevægelsesmeldere når rum benyttes lejlighedsvis

<p>Stk. 4</p> <p>Belysningsanlæg i arbejdsrum mv. skal udføres opdelt i zoner med mulighed for benyttelse efter dagslysforhold og aktiviteter.</p>	<p>(6.5.3, stk. 4)</p> <p>Zoneopdeling sikrer, at der er mulighed for at begrænse brugstiden mest muligt. Bestemmelsen indebærer f.eks., at belysningsarmaturer nær vinduer kan udgøre én zone, mens armaturer placeret inde i rummet kan udgøre én eller flere selvstændige zoner. Bestemmelsen opfyldes ved at montere manuel og/eller automatisk afbryder for hver zone.</p>
---	--

Krav om zoneopdeling af belysning for at sikre udnyttelse af dagslys

<p>Stk. 5</p> <p>Bestemmelserne i stk. 1-4 kan fraviges, når opfyldelsen vil betyde en afgørende ulempe for virksomhedens drift.</p>	<p>Stk. 6</p> <p>Bestemmelserne i stk. 1-5 finder også anvendelse ved udskiftning af armaturer mv. i eksisterende arbejdsrum.</p>
---	--

Bestemmelserne gælder også ved udskiftning af eksisterende armaturer i arbejdsrum

<p>Stk. 7</p> <p>Der skal gennemføres en funktionsafprøvning af belysningsanlægget før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at belysningsanlægget overholder bygningsreglementets krav til belysningsniveau, samt at dagslysstyring, bevægelsesmeldere og zoneopdeling fungerer efter hensigten. Dokumentation af funktionsafprøvningen skal indsendes til kommunen senest ved færdigmelding.</p>	<p>(6.5.3, stk. 7)</p> <p>Der henvises til Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsens vejledning om funktionsafprøvning.</p>
--	---

Krav om funktionsafprøvning før ibrugtagning. Dokumentation skal fremsendes til kommunen senest ved færdigmelding

Udover byggerreglementets henvisning til DS/EN12464-1 og Dansk Nationalt Anneks, stiller Arbejdstilsynet i en række bekendtgørelser krav til arbejdspladsbelysning, bl.a.:

Arbejdstilsynets bekendtg. nr. 96 af febr. 2001 - Krav til belysning ved faste arbejdspladser

Arbejdstilsynets bekendtg. nr. 1108 af dec. 1992 - Krav til belysning ved skærmterminalarbejde

DS/EN12464-1:2015 og DK NA

Den europæiske standard DS/EN12464-1 afløste d. 1.1.2016 dansk belysningsstandard DS700. Standarden skal sikre tilstrækkelig belysning, et godt belysningsmiljø, udnyttelse af dagslys og energieffektive løsninger. Sammenholdt med DS700 øger DS/EN12464 kravet til belysningsstyrke i visse områder, og indfører krav om belysning af vægge og lofter.

I Danmark haves tradition for at benytte supplerende arbejdspladslamper, dels for at sikre tilstrækkelig belysning til synsopgaven, dels en varieret luminansfordeling. For at fastholde denne tradition og samtidig imødegå BR15' skærpede krav til bygningers energiramme, har Danmark udarbejdet et dansk nationalt anneks, som lempet kravene i visse områder.

Nedenfor er anført DS/EN12464 krav til belysningsstyrke, regelmæssighed, ubehagsblending, farvegengivelse og blændingstal i nogle områder. Lempelser, jf. dansk national anneks, er fremhævet med blå.

Endvidere er anført anbefalede reflektanser og krav til belysning af vægge og lofter samt krav til cylindrisk middelbelysningsstyrke, som skal sikre energieffektiv belysning og god visuel kommunikation.

(DS/EN12464' samlede krav og anbefalinger er anført i appendix A).

Tabel 11-2 Krav og anbefalinger DS/EN12464

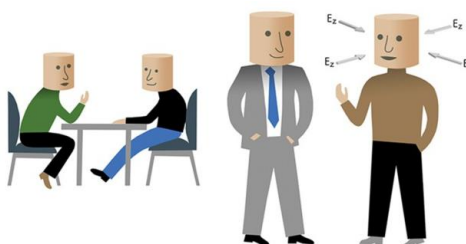
Ref.nr.	Type område, opgaver eller aktiviteter	$\bar{E}_m [lx]$	UGR_L	U_0	R_a	Specifikke krav
DS/EN 5.1.1	Gange	100	28	0,40	40	Belysningsstyrke ved gulvniveau
DS/EN 5.1.2	Trapper	100	25	0,40	40	Kræver forbedret kontrast på trinene
DS/EN 5.2.1	Kantiner	200	22	0,40	80	
DS/EN 5.2.4	Garderobes, toiletter	200	25	0,40	80	På hvert toilet hvis helt lukkede
NA 5.3.2	Telex, postrum, omstilling	200	19	0,60	80	
DS/EN 5.3.2	Telex, postrum, omstilling	500	19	0,60	80	
NA 5.26.1	Arkivering, kopiering mv.	200	19	0,40	80	
DS/EN 5.26.1	Arkivering, kopiering mv.	300	19	0,40	80	
DS/EN 5.26.2	Skrivning, tastning, læsning databehandling	500	19	0,60	80	Skærmarbejde, se 4.9
DS/EN 5.26.3	Teknisk tegning	750	19	0,70	80	
DS/EN 5.26.4	CAD-arbejdspladser	500	19	0,60	80	Skærmarbejde, se 4.9
NA 5.26.5	Konference- og mødelokaler	200	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres
DS/EN 5.26.5	Konference- og mødelokaler	500	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres
DS/EN 5.26.6	Receptionsområde	300	22	0,60	80	
DS/EN 5.26.7	Arkiver	200	25	0,40	80	
NA 5.33.2	Læseområde	200	19	0,70	80	
DS/EN 5.33.2	Læseområde	500	19	0,60	80	
NA 5.36.2	Klasselokaler til aften- eller voksenundervisning	300	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres op til 500lx
DS/EN 5.36.2	Klasselokaler til aften- eller voksenundervisning	500	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres
NA 5.36.3	Auditorier, foredrags- og forelæsningsale	200	19	0,70	80	Belysningen bør kunne reguleres for at imødekomme forskellige A/V-behov. Foredragsholderen skal belyses med tilstrækkelig vertikal belysningsstyrke
DS/EN 5.36.3	Auditorier, foredrags- og forelæsningsale	500	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres for at imødekomme forskellige A/V-behov.
NA 5.36.22	Biblioteker: læseområder	200	19	0,70	80	
DS/EN 5.36.22	Biblioteker: læseområder	500	19	0,60	80	

Tabel 11-3 Anbefalede reflektanser for større, diffust reflekterende, indvendige overflader

Lofter	0,7 – 0,9
Vægge	0,5 – 0,8
Gulve	0,2 – 0,4

Tabel 11-4 Anbefalede reflektanser for større, diffust reflekterende, indvendige overflader

Vægge	$E_{mid} > 50lx$ med $U_0 \geq 0,10$
Lofter	$E_{mid} > 30lx$ med $U_0 \geq 0,10$
I lukkede rum som kontorer, undervisningslokaler, hospitaler og almene indgangsrum, gange, trapper mv. skal vægge og lofter være lysere. DS/EN12464 anbefalede driftsbelysningsstyrker, er:	<p>Vægge: $E_{mid} > 75lx$ med $U_0 \geq 0,10$</p> <p>Lofter: $E_{mid} > 50lx$ med $U_0 \geq 0,10$</p>



Figur 11-15 Definition af krav til cylindrisk middelbelysningsstyrke

Tabel 11-5 Krav til cylindrisk middelbelysningsstyrke

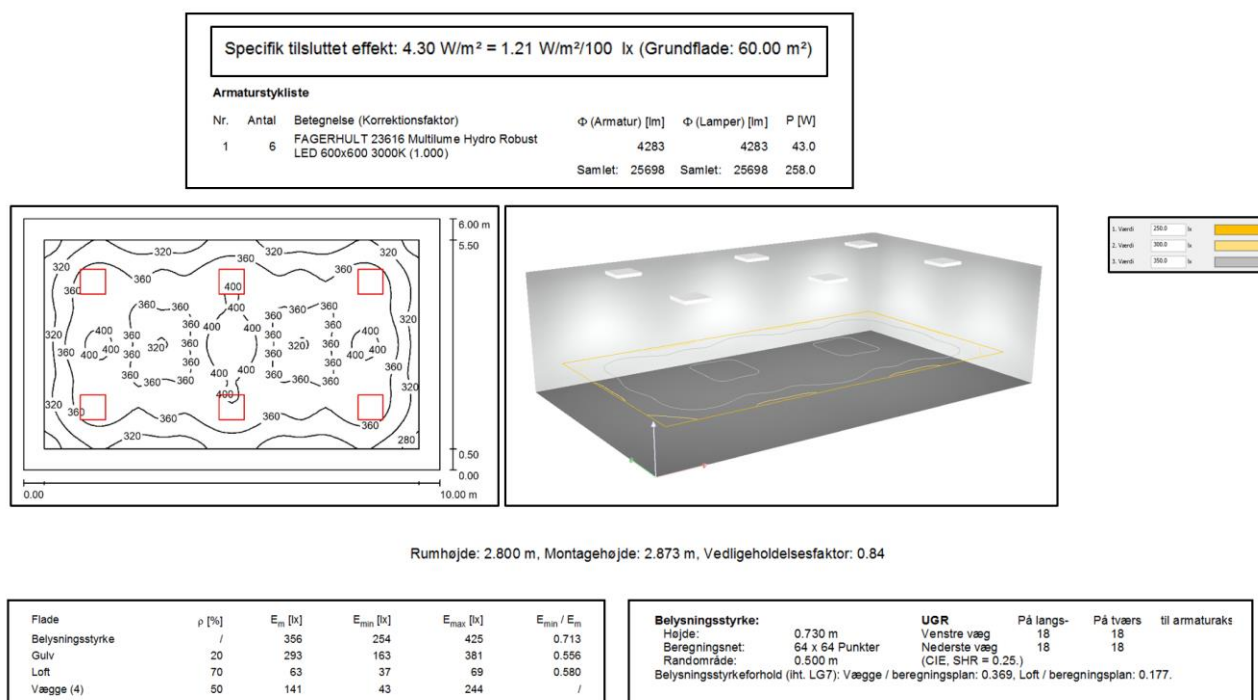
Cylindrisk middelbelysningsstyrke $E_{Z,vertikal}$ (gennemsnitlig belysningsstyrke på vertikalt plan)	$E_{Zmid,vertikal} \geq 50lx$ med $U_0 \geq 0,10$ ved en højde på 1,2m for siddende personer ved en højde for 1,6m for stående personer (regelmæssigheden U_0 af E_Z gælder det horisontal plan)
'I områder, hvor god visuel kommunikation er vigtig, især på kontorer, i mødelokaler og undervisningslokaler bør $E_{Z,vertikal}$ ')	$E_{Zmid,vertikal} \geq 150lx$ med $U_0 \geq 0,10$ ved en højde på 1,2m for siddende personer ved en højde for 1,6m for stående personer (regelmæssigheden U_0 af E_Z gælder det horisontal plan)

Lysberegning – Indendørs belygningsanlæg

Tidligere anvendtes punktmetoden, lysstrømmetoden og NB-metoden til beregning af indendørs belygningsanlæg. I dag dimensioneres belygningsanlæg med lysberegningsprogrammer. DIALux er eksempel på frit tilgængeligt program, som finansieres af armaturfabrikanter i fællesskab, og benyttes af bl.a. lysdesignere, arkitekter og ingeniører til projektering af belygningsanlæg. Kendes et lokales geometri, overfladereflektanser og vedligeholdelsesfaktor kan en lysberegning udføres på ganske kort tid. Skillevægge, søjler og møblering kan uden videre tilføjes. Nedenfor, Figur 11-16, er vist et eksempel på en lysberegning udført med DIALux.

Lokalet er et undervisningslokale. Kravet til middelbelysningsstyrken er, jf. DS/EN12464 DK NA, 300lx . Lokalet er 10m langt, 6m bredt og 2,8m højt. Lokalets overfladereflektanser er valgt som $\rho_{vægge}$: 50%, ρ_{loft} : 70% og ρ_{gulv} : 20%, men kunne være bestemt ved måling med luxmeter-metoden, hvis lokalets overflader var tilgængelige. Vedligeholdelsesfaktoren MF er sat til 0,84. (Beregning af vedligeholdelsesfaktoren MF uddybes i afsnittet drift- og vedligeholdelse nedenfor). Når lokalets geometri, reflektanser og vedligeholdelsesfaktor er defineret, kan beregninger for forskellige belygningsarmaturer udføres. I eksemplet er valgt et 60cmx60cm LED-indbygningsarmatur med lysstrøm 4283lm og tilført effekt 43W.

Det ses, at middelbelysningsstyrken er beregnet til 356lx , belysningens regelmæssighed 0,71, det maksimale blændingstal 18 og specifik tilsluttet effekt $4,30\text{W}/\text{m}^2$. Den beregnede middelbelysningsstyrke 356lx er middelbelysningsstyrken efter den driftstid og tilsmudsning af lokale og armaturer, som er indeholdt i den angivne vedligeholdelsesfaktor. Ved installation vil middelbelysningsstyrken i lokalet E_m være $356\text{lx}/0,84 = 424\text{lx}$.



Figur 11-16 Eksempel på lysberegning med DIALux

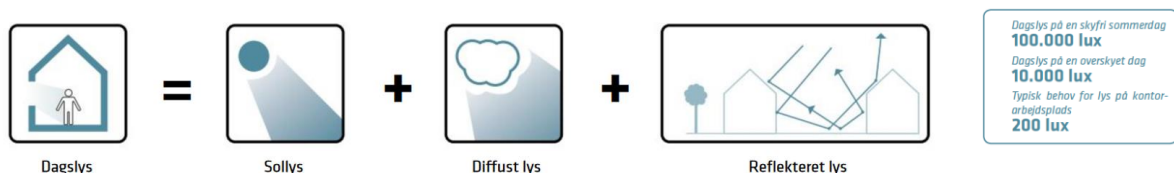
11.6. Dagslys og indeklima, Udnyttelse af dagslys, Energieffektivitet og Lysstyring.

Adgang til dagslys er af stor betydning for vor trivsel, og har derfor stor opmærksomhed. Såvel arbejdet med at afdække dagslysets betydning for indeklimaet, som hvordan dagslyset bedst kan beregnes og opgøres over året har været genstand for forskning.

Nedenfor gives en grundlæggende indføring i dagslys og styring af kunstige belysningsanlæg. Først omtales begrebet dagslys og de faktorer som er bestemmende for mængden af dagslys, der når ind i et lokale. Dernæst anføres byggereglementskrav til udnyttelse af dagslys, og de tre måder vejledningsteksten til BR15 anfører, at dagslystilskuddet til et lokale kan anses for tilstrækkeligt. Hvorvidt de tre opgørelsesmetoder sikrer et godt belysningsmiljø med god luminansfordeling er undersøgt af statens byggeforskningsinstitut, og anføres kort. Dernæst omtales solafskærmning mod direkte sollys, beregning af dagslystilskud og hvordan dagslysberegninger kan udnyttes til at vælge reguleringszoner for den kunstige belysning. Endelig omtales lysstyringsprincipper og løsninger, og den i dag ofte anvendte DALI-standard for styring af belysningsanlæg for kontorer og undervisningslokaler samt sengeafsnit og behandlingsrum på hospitaler uddybes.

Hvad forstås ved dagslys?

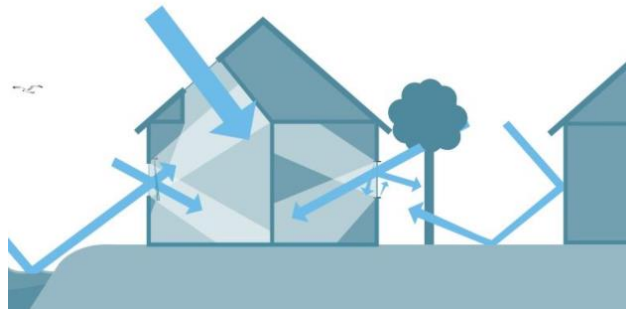
Solens stråling, i det synlige område, som rammer jordens overflade kan opdeles i **direkte sollys** fra solen og **diffust himmellys**. Det diffuse himmellys er lyset der registreres, når himlen er overskyet. Det diffuse himmellys består dels af lys fra himmelhvælvingen, dels af himmellys som reflekteres af overflader i det fri. **Det reflekterede lys** kan stamme fra både det direkte sollys og det diffuse himmellys. Det reflekterede lys er afhængig af de reflekterende fladers vinkler i forhold til lysindfaldet samt hvor blanke og lyse fladerne er.



Figur 11-17 Dagslys; Kilde: Kongebro m.fl. – Hvad med dagslys?

Udnyttelse af dagslys

Dagslyset vej til bygningens lokaler er igennem bygningens vinduer. Antallet af vinduer i facaden, typen af vinduesglas, vindueshullernes størrelse og placering samt dybde afgør mængden af dagslys som finder vej. Afhængig af dagslysets fordeling vil dagslyset kunne reducere den nødvendige kunstige belysning til belysning af arbejdsplanet. Ved at opdele lysanlægget i zoner afhængig af dagslysets fordeling vil den kunstige belysning kunne nedreguleres, så arbejdspladserne indenfor de enkelte zoner får den nødvendige belysningsstyrke, og energiforbruget reduceres.

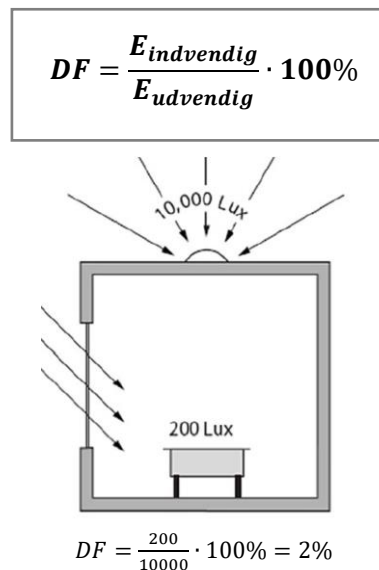


Figur 11-18 Dagslys; Kilde: Kongebro m.fl. – Hvad med dagslys?

Hvor stor en del af dagslyset som passerer gennem glasset bestemmes af glasset transmittans. En almindelig to lags energirude, anno 2017, transmitterer 75-80% af dagslysstrømmen vinkelret på vinduet gennem ruden.

Dagslysfaktor DF

Dagslysfaktoren DF defineres som forholdet mellem belysningsstyrken i et punkt i planet indenfor og den samtidige belysningsstyrke på et vandret plan udenfor fra det diffuse himmellys uden skygevirksomheder fra omgivelserne.



Figur 11-19 Dagsfaktor; Kilde: Kongebro m.fl. – Hvad med dagslys? DTU 2012

For at vurdere den situation, hvor dagslystilskuddet er mindst, tager dagslysberegninger udgangspunkt i en overskyet himmel med diffust himmellys. Da luminansfordelingen fra en overskyet himmel er uafhængig af orienteringen, er sådanne dagslysberegninger uafhængige af lokalets orientering i forhold til de fire verdenshjørner.

Krav til dagslys

BR15, og vejledninger fra arbejdstilsynet, stiller krav om at arbejdsrum skal være velbelyste med dagslys.

'Vinduer skal udføres, placeres og eventuelt afskærmes, så solindfald ikke medfører overophedning i rummene, og så gener ved direkte sollys undgås'.

I vejledningsteksten anføres tre måder at dokumentere dette:

1. Hvis forholdet mellem sideglasareal og gulvareal svarer til mindst 10 procent af det indvendige gulvareal, forudsat at vinduerne har en lystransmittans på mindst 0,75.
2. Hvis det ved beregning eftervises, at der er en dagslysfaktor på mindst 2 procent i arbejdszonen. Dette kan beregnes med et net, der dækker rummet eller arbejdszonen. Nettet starter 0,5 m fra væggene og indeholder beregningspunkter med ens afstand på højst 0,5 m.
3. Dagslyset kan anses for tilstrækkeligt, når det ved måling kan eftervises, at der er en dagslysfaktor på 2 procent ved arbejdspladserne.

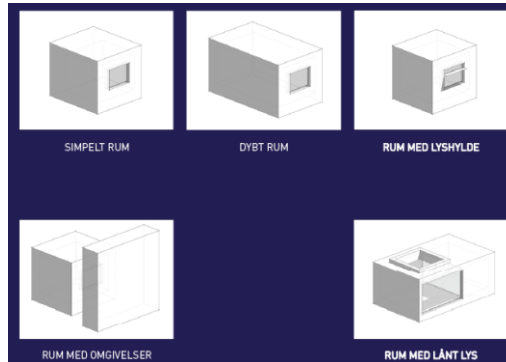
'Vurdering af dagslysforhold' – $DF_{min} \geq 0,7 \%$

Afdelingen for Energi, Miljø og Indeklima, Statens Byggeforskningsinstitut, har gennemgået dagslys-bestemmelserne i BR15, og kommer i rapporten 'Vurdering af dagslysforhold' med kommentarer til forhold af særlig betydning for belysningsmiljøet. Det anføres, at '*ved at beregne den gennemsnitlige dagslysfaktor DF_{mid} tages højde for lysintensiteten af både de lyseste og mørkeste områder i lokalet, men den gennemsnitlige dagslysfaktor giver ingen information om fordelingen af dagslyset i lokalet. Et dybt lokale med høje dagslysfaktorer ved vinduesfacaden vil opleves mørkt, hvis der i den anden ende modsat facaden er en meget lav dagslysfaktor. En skæv luminansfordeling påvirker øjets adaptation negativt, og kan medføre risiko for blænding. Oplevelsen af lyset i et lokale er afhængig af de mørkeste områder af lokalet*'. Rapporten påpeger, at en vurdering af dagslyset ud fra dagslysfaktoren altid skal omfatte en beregning af den laveste dagslysfaktor DF_{min} . Rapporten anfører, at den mindste dagslysfaktor i et rum DF_{min} skal være af størrelsesorden 0,7 % for at et lokale vil opleves velbelyst.

Dagslysberegninger

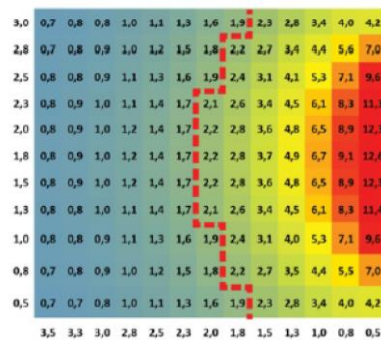
Der findes flere metoder og en række beregningsprogrammer til beregning af et lokales dagslysfordeling. Statens byggeforskningsinstitut har i SBI publikation 2013:20 gennemgået ni beregningsprogrammer med udgangspunkt i fem typiske rum. De undersøgte programmer Radiance, Daysim, VELUX Daylight Visualizer, DIALux, Ecotect, IESve, LightCalc og Relux anvendes alle af forskere, ingeniør- og arkitektbranchen, og findes alle i større eller mindre grad egnede til dagslysberegninger. To af de undersøgte programmer Ecotect og IESve har brugerlicens, mens de øvrige er frit tilgængelige. For en samlet vurdering af de ni beregningsprogrammer med hensyn til beregningsmetode, evne til at beregne de fem typer rum, programmernes output og brugervenlighed henvises til rapporten. I Figur 11-20 vises et eksempel fra SBI2013:20. Dagslysberegningen er udført med VELUX Daylight Visualizer. Det simple rum har dybde 4 m, bredde 3,5 m og højde 2,8 m. Vindueshullet er 2 m bredt og 1,5 m højt, svarende til et sidevinduesareal på

21 % af rummets gulvflade. Facadetykkelsen 0,4 m, brystningen 0,9 m og vinduesrammen 0,06 m. Vinduesglasset har lystransmittans 0,76 og reflektanserne af vindueshul, gulv, vægge og loft er henholdsvis 0,7, 0,1, 0,4 og 0,7.



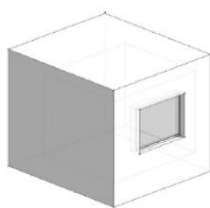
Figur 11-20 De fem referencerum; Kilde SBI 2013:20

VELUX Daylight Visualizer

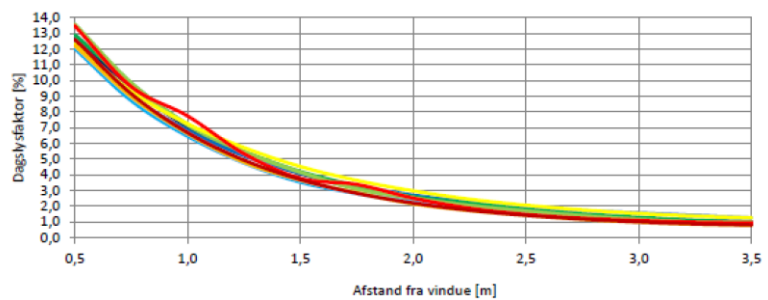


Figur 11-21 Dagslysfaktorfordeling i SIMPELT RUM; Kilde SBI 2013:20

RUM 1 – SIMPELT RUM – Beregningsark



- Radiance
- Desktop Radiance
- Ecotect
- DIALux
- Daysim
- Relux Radiosity
- Relux Raytracing
- IESve
- LightCalc
- VELUX Daylight Visualizer



Figur 11-22 Dagslysfaktorens afhængighed af afstand til vindue i SIMPELT RUM; Kilde: SBI 2013:20

Dagslysets indtrængningsdybde – defineret som den afstand fra vinduesvæggen, hvor dagslysfaktoren er faldet til 2,0 – var en af de parametre, som undersøgelsen sammenholdte. De ni

programmer beregnede indtrængningsdybder fra 2,1 m til 2,5 m med en variation på 18 % variation fra laveste til højeste og en standardafvigelse 0,15 m.

Energibesparelser ved udnyttelse af dagslys

I SBI-anvisning 184, Bygningers energiforbrug, beregnes 'driftstidsbesparelser' og 'lux-time-besparelser' ved udnyttelse af dagslystilskud. I tabellen nedenfor er anført de procentvise besparelser, som anvisningen anfører kan opnås for et kontor med en benyttelsestid på 2.500h årligt ved tre forskellige belysningskrav og tre forskellige dagslysfaktorer. Tabelværdierne tager ikke hensyn til direkte sollys på klare dage.

Med driftstidsbesparelse menes den procentvise besparelse, som kan opnås ved manuelt eller automatisk at slukke belysningen, når dagslyset giver tilstrækkelig belysning.

Med lux-time-besparelse menes den procentvise besparelse som kan opnås ved at ned- og opregulere den kunstige belysning i takt med at dagslystilskuddet og stadig overholde kravet til belysningsstyrken.

*Tabel 11-6 Driftsbesparelse i kontorer med benyttelsestid 2.500h årligt.
On/off styring: Kunstig belysning slukkes når dagslystilskuddet er tilstrækkeligt.
Kontinuert styring: Kunstig belysning ned- og opreguleres efter dagslystilskud;
Kilde: SBI-anvisning nr. 184 Bygningers energiforbrug, 1995*

Dagslys- faktor %	Ønsket belysningsstyrke, E lux	Driftstidsbesparelse ved on/off styring %	Lux-time-besparelse ved kontinuert styring %
0,5	50	60	80
	200	5	40
1,0	50	80	90
	200	35	65
	500	0	35
2,0	50	90	95
	200	60	80
	500	25	55

For at beregne energiforbrug og mulig energibesparelse skal lokalets brugsmønster kendes. I Tabel 11-7 er årligt antal brugstimer for forskellige brugsmønstre anført.

*Tabel 11-7 Brugstid ved forskellig anvendelse;
Kilde: SBI-anvisning nr. 184 Bygningers energiforbrug, 1995*

Brugsmønster		Timer pr. år
Døgndrift	24 timer, 365 dage pr. år	8760
Toholdsskift	16 timer, 6 dage/uge, 50 uger/år	4800
Etholdsskift	10 timer, 5 dage/uge, 50 uger pr. år	2500
Alm. kontortid	9 timer, 5 dage/uge, 52 uger/år	2340

SBI-anvisningens tabeller kan give et overslag på mulig besparelse ved udnyttelse af dagslys. Nedenfor gives to eksempler på overslagberegning af energibesparelse. Grundlaget er målte gennemsnitlige dagslysfaktorer i hhv to og tre zoner samt kontinuerlig regulering af belysningsstyrken efter dagslystilskud.

Eksempel 1

I et kontorlokale på 10mx5m er belysningen opdelt i 2 ens, individuelt og kontinuert regulerede belysningszoner, hver 10mx2,5m. I zonen nærmest vinduesfacaden er den gennemsnitlige dagslysfaktor målt til 2.0 og i zonen modsat vinduesfacaden til 1.0. Kravet til belysningsstyrken, jf. DS/EN12464, er 500lx.

I zonen med dagslysfaktor 2,0 aflæses den procentvise lux-time-besparelse til 55% ved 500lx.

I zonen med dagslysfaktoren 1.0 aflæses den procentvise lux-time-besparelse til 35% ved 500lx.

Et overslag på den samlede lux-time-besparelsen bliver dermed: $(55\%+35\%)/2 = 40\%$.

Belysningsanlæggets effektforbrug ved 500lx er 8W/m² hvorved et overslag på den årlige kWh besparelse bliver: $10\text{m}\times 5\text{m}\times 8\text{W}/\text{m}^2\times 0,40\times 2500\text{h} = 400\text{kWh}$.

Eksempel 2

I et undervisningslokale på 10mx7,5m er belysningen opdelt i 3 ens, individuelt og kontinuert regulerede belysningszoner, hver 10mx2,5m. I zonen nærmest vinduesfacaden er den gennemsnitlige dagslysfaktor 2.0, i den mellemste zone 1.0 og i zonen længst fra vinduesfacaden 0.5. Kravet til belysningsstyrken, jf. Dansk Nationalt Annex, er 300lx.

Lux-time-besparelse i zonen nærmest vinduesfacaden aflæses til 80% ved 200lx og 55% ved 500lx.

Interpoleres fås en tilnærmet besparelse ved 300lx på: $80 - (80-55)/(500-200)\cdot(300-200) = 72\%$

I zonen med dagslysfaktoren 1.0 aflæses lux-time-besparelse til 65% ved 200lx og 35% ved 500lx.

Interpoleres fås en tilnærmet besparelse ved 300lx på: $65 - (65-35)/(500-200)\cdot(300-200) = 55\%$

I zonen længst fra vinduet er dagslysfaktoren 0.5. Lux-time-besparelser er opgivet for 50 og 200lx.

Interpoleres, på trods heraf, fås en besparelse ved 300lx på: $40 - (80-40)/(200-50)\cdot(300-200) = 13\%$

Et overslag på den samlede lux-time-besparelse bliver dermed: $(72\%+55\%+13\%)/3 = 47\%$.

Belysningsanlæggets effektforbrug ved 300lx er 5W/m². Den årlige energibesparelse i kWh vil afhænge af undervisningslokalets brugstid.

Det understreges, at den årlige besparelse ved en kontinuerlig dagslysstyring ikke alene afhænger af lokalets dagslysfaktorfordeling, men i lige så høj grad af lokalets brugstid. Jo mindre brugstid, jo lavere energiforbrug, men dermed også længere tilbagebetalingstid for en investering i dagslysstyring.

Zoneopdeling

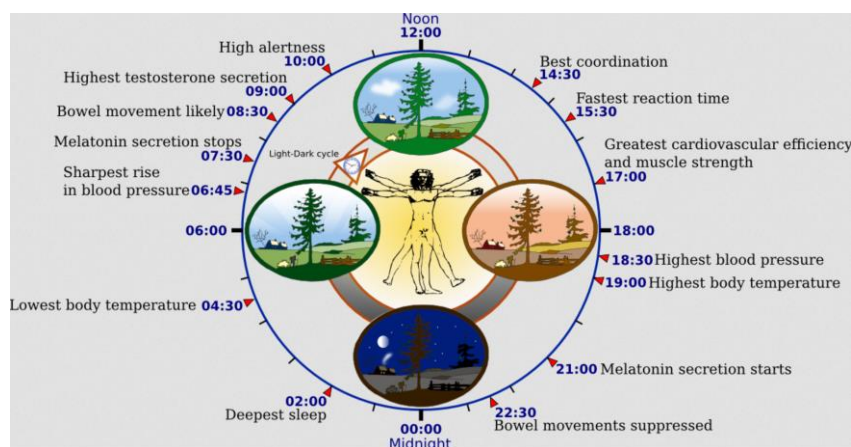
Dagslysfaktorfordelingen i et rum danner grundlag for en hensigtsmæssig zoneopdeling af belysningen. Fordelingen kan enten beregnes ved en dagslyssimulering, eller opmåles. En opmåling vil give den præcise dagslysfordeling, hvis møbleringen er på plads, mens en simulering vil kunne estimere dagslysfordelingen med en påtænkt møblering. Med en lysstyring, hvor armaturerne kan adresseres individuel, vil en måling af den faktiske dagslysfordeling altid dannes grundlag for zoneopdelingen.

Solafskærmning

Jo større vindueshuller i facaden jo mere dagslysendfald, men også større risiko for overophedning af en bygnings lokaler samt blænding fra direkte og reflekteret sollys. Solafskærmninger skal eliminere direkte sollys fra syd- og vestvendte facader når behov, og samtidig reducere blænding fra vinduerne. En effektiv solafskærmning kan reguleres, så den beskytter mod direkte sollys og samtidig tillader mest mulig lys at passere, når himlen er overskyet. Solafskærmninger kan placeres udvendig eller indvendig. En udvendig solafskærmning er langt mere effektiv med hensyn til risiko for overophedning, da en indvendig afskærmning ikke forhindrer strålingsvarme i at komme ind i bygningen.

Dagslysets betydning for det rette indeklima – Dynamisk lys

Forskning har vist, at dagslyset har direkte indvirkning på udskillelsen af de hormoner (melatonin, kortisol og serotonin), som styrer vores naturlige 24h døgnrytme. En amerikansk forsker, David M. Berson, opdagede i 2002 en tredje lysfølsom celle, ganglia-cellen, i det lag i nethinden, hvor det lysfølsomme stof melanosin findes. Ved lyspåvirkning sender ganglia-celler besked til hjernens 'døgnur' om at stoppe udskillelsen af søvnhormonet melatonin og begynde udskillelsen af kortisol og serotonin. Mindskes lyspåvirkningen af ganglia-cellerne reduceres udskillelsen af kortisol og serotonin, og melatonin, som gør kroppen søvrig, dannes.



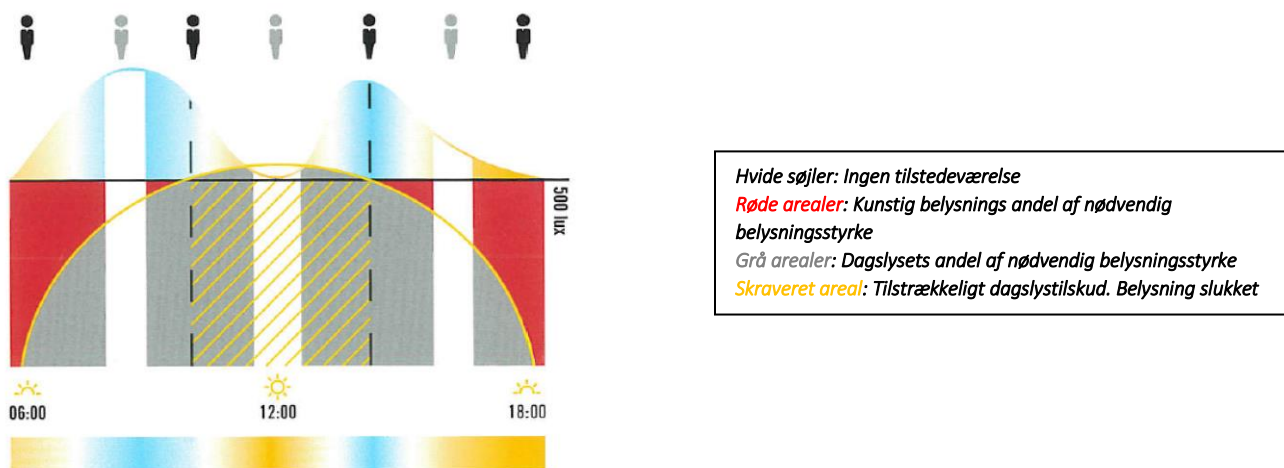
Figur 11-23 Menneskets biologiske ur og nogle fysiologiske parametre; Kilde: www.wikipedia.org

Men kroppens reaktion afhænger af lysets farvespektrum og intensitet. Forskere fra Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, udførte i 2005 og 2006 en række forsøg med forskellige lyskilders påvirkning af den naturlige døgnrytme. Effekten af en glødelampes spektrale sammensætning og farvetemperatur blev anvendt som reference, og dens påvirkning af døgnrytmen sat til 100. En lysgiver med spektralsammensætning som dagslys, og samme belysningsstyrke som glødelampen påvirkede døgnrytmen med en effekt 190. Da belysningsstyrken udendørs ved en overskyet himmel og solskin er henholdsvis 10.000 og 100.000 lx, mens den indendørs belysningsstyrke varierer fra 200 til 500 lx, vil en kunstig belysning med samme spektrale sammensætning som dagslys, ikke kunne holde kroppen vågen som dagslys. Ved at ændre farvesammensætningen af kunstlyset, og fremhæve de blå toner, kunne forskerne øge påvirkningen af døgnrytmen til en effekt på 2790. En dagslysstyring kan sikrer at belysningskravet til synsopgaven overholdes, og et lokales dagslystilskud udnyttes til at reducere energiforbruget, men belysningens farvetemperatur vil være konstant i de perioder, hvor der er begrænset dagslystilskud. Skal variationen i dagslysets farvetemperatur fra morgen til aften bringes ind i et lokale, skal den kunstig belysning simulere dagslys. Fra det rødlige lys ved solopgang over blå lys midt på dagen til rødt lys ved solnedgang. Med LED lyskilder er det blevet muligt, at efterligne variationen i dagslysets farvetemperatur. Bestykses et LED-armatur med to forskellige LED, hver med sin farvetemperatur, f.eks. 2700K og

6500K, vil belysningens farvetemperatur kunne varieres kontinuerligt imellem 2700 og 6500K. Reguleringen kaldes dynamisk lys, eller 'tunable white' idet det udsendte lys er hvidt lys.

En tilpasning af et kontors belysning til dagslyset udenfor kan således påvirke oplagthed, humør og motivation, mens en tilpasning af belysningen i undervisningslokaler kan påvirke elevernes koncentration og indlæring. Dagslystilskud har i en årrække været anvendt til behandling mod vinterdepressioner, og i dag har flere danske hospitaler rettet fokus mod dagslysets betydning for patienternes restituering og investeret i belysningsanlæg med dagslyssimulering.

Udover dagslysets betydning for indeklimaet kan en udnyttelse af dagslyset reducere energiforbruget til kunstig belysning. Hvor store besparelser, som kan opnås, afhænger af dagslysfordelingen, valg af sol-afskærmning og den valgte regulering af belysningen. Figur 11-24 illustrerer dagslysstyring med dynamisk lys.



Figur 11-24 Dagslysstyring og Dynamisk lys; Kilde: ESYLUX produktkatalog 2017

Lysstyring – herunder samspil med dagslys

Det overordnede mål med en lysstyring er, dels at undgå, at der bruges mere energi end højst nødvendigt, dels at sikre et godt belysningsmiljø og et brugervenligt belysningsanlæg.

En energimæssig optimal udnyttelse af et belysningsanlæg kræver en lysstyring, der registrerer tilstedeværelse og samtidig udnytter lokalets dagslystilskud i størst muligt omfang. En række leverandører leverer komponenter til komplette lysstyringsløsninger. Kontakter, lysdæmpere, tilstedeværelsessensorer og lysmålere, enten til registrering af indkommen dagslys eller til registrering af belysningsniveauet i en eller flere zoner. Kommunikationen kan ske til centralt placerede relæer og lysdæmpere, hvortil grupper af armaturer er fast opkoblet, eller kommunikationen kan ske over en fælles installationsbus koblet til adresserbare armaturforkoblinger, hver med sin relæ- og dæmpningselektronik.

I dette afsnit gives først et overblik over styrings- og reguleringsprincipper, dernæst omtales styring af lysarmaturer i fri topologi og til sidst gives løsningseksempler for kontor-, undervisningslokaler og gangarealer.

Lysstyringsprincipper

Valg af styrings- og reguleringsstrategi afhænger af lokalets brug. Anvendes lokalet kun til en aktivitet med et lysbehov, eller anvendes lokalet til flere aktiviteter med forskellige behov. Tabel 11-8 giver et overblik over betjenings-, styring- og regulering former. Manuelt betjente kontakter og lysdæmpere indgår i praksis altid i et belysningsanlæg.

Tabel 11-8 Styrings- og reguleringsmuligheder

Tænd og sluk	Styring eller Regulering	Brugeroverstyring	Særlige funktioner
<ul style="list-style-type: none"> • Kontakter • Urstyring • Kontakter med automatisk sluk • Bevægelses- og tilstedeværelses sensorer 	<ul style="list-style-type: none"> • Styring efter dagslys udenfor • Styring efter dagslys gennem vindue • Aut. regulering af lysniveau 	<ul style="list-style-type: none"> • Overstyring med manuel kontakt • Overstyring med manuel lysdæmper • Overstyring med aut. tilbagesstilling 	<ul style="list-style-type: none"> • Betj. v. rengøring • Betj. v. service

Tænd og sluk. Indenfor belysningsstyring skelnes mellem bevægelses- og tilstedeværelsessensor. Med bevægelsessensorer menes passive infrarøde sensorer (PIR), der registrerer bevægelse ved at detektere temperaturforskelle, med tilstedeværelsessensorer menes akustiske- eller ultralydssensorer. Akustiske sensorer registrerer lyde, og kan benyttes i områder der vanskeligt lader sig overvåge af PIR-sensorer. Ultralydssensorer udsender ultralyd og registrerer ændringer i den lyd som reflekteres fra lokalet. En ultralydssensor kan registrere bevægelser ned til få centimeter, og kan benyttes i kontorlandskaber med overvejende PC-arbejde, mens PIR-sensorer anvendes i lokaler, som ikke benyttes konstant, og hvor brugerne ofte glemmer at slukke lyset, f.eks. klasselokaler, små kontorer, kopirum, toiletrum og garderober. Aktiveres en sensor tændes belysningen, og slukkes efter en indstillet forsinkelse efter sidst registrerede tilstedeværelse.

Styring efter lysniveau udenfor bygningen (vejrstation). Her måles lysniveauet udenfor bygningen med en lyssensor placeret frit uden skygge i løbet af dagen, typisk på taget. I lokaler med stor dybde zoneinddeles belysningen. Lyset dæmpes i zonerne afhængig zonerne dagslysfaktorer. Løsningen kombineres med bevægelses- eller tilstedeværelsessensorer, som slukker for lyset, når lokalet ikke benyttes. Styringsprincippet anvendes mest i større bygninger med central vejrstation, og et centralt bygningsautomationssystem. Løsningen er uafhængig af tilfældige hændelser, lokalets indretning og brugeradfærd. Fordelen er, at styringen er stabil og enkel at sætte i drift, så den virker efter hensigten. Justering af set-punkter for den kunstige belysning i forskellige zoner kan indstilles

for repræsentative lokaler, og overføres til lignende lokaler. Ulemperne er, at alle skal tilpasse sig én belysning. Gives brugere mulighed for at overstyre styringen med manuelle tryk i større lokaler, kan resultatet blive, at hele lokalet belyses efter dette behov. Systemet skal integreres med solafskærmning, for at sikre tilstrækkelig belysning, når solafskærmningen går for. Gives solafskærmningen fri for individuel manuel overstyring vil belysningen ikke reduceres i takt hermed, men skulle sænkes manuelt.

Styring efter lysindfaldet gennem vinduer. Dagslysmængden som kommer ind i lokalet måles med en lyssensor rettet mod et vindue, og belysningen dæmpes eller slukkes efter dagslysfaldet. Belysningen kan zoneopdeles, så lyset dæmpes mest i zoner med nær vinduer og mindre i zoner længere inde i lokalet. Løsningen har samme fordele og ulemper som styring efter en central vejstation, men kræver ikke manuel regulering, hvis lokalets solafskærmning gives fri for manuelt overstyring.

Automatisk regulering af lysniveauet. Belysningsstyrken på arbejdsplanet registreres af en eller flere lysmålere, monteret i loftet i lokalet, og belysningsstyrken holdes konstant i en lukket sløjfe regulering. Ofte monteres en enkelt lyssensor, som registrerer belysningsstyrken i en central zone. Denne zone reguleres i lukket sløjfe, mens tilstødende justeres efter deres respektive dagslysfaktorer ift. den regulerede centrale zone. Reguleringen har både fordel og ulemper. Fordelen er, at belysningen kan reguleres mere præcist, når der sker ændringer i både kunstlyset og dagslyset. Er der monteret lyssensorer i hver zone, vil systemet følge med, når der sker ændringer i møbleringen, eller når vægge tilsmudses med tiden. Ulempen er, at reguleringen kan være ustabil, når der indtræder pludselige ændringer, f.eks. hvis fladen, hvor lysstyrken registreres, ændrer reflektans fordi den dækkes af noget anderledes reflekterende.

For alle tre styrings- og reguleringsprincipper gælder, at styrings- og reguleringsparametrene skal indreguleres efter de aktuelle forhold. Det er ikke tilstrækkeligt, at benytte fabrikanternes grundindstillinger. En ustabil regulering vil genere, ligesom en ikke afstemt styring zonerne imellem vil genere. I værste fald kan det føre til at brugerne overstyrer systemet, og såvel energibesparelsen som belysningskomforten udebliver.

Lysstyring – Lovkrav

BR15 stiller krav om automatisk dagslystyring. Kravet gælder såvel en zoneopdeling af belysningen, som automatisk ind- og udkobling af zonerne, når daglyset er tilstrækkeligt til at dække lysbehovet i hele eller dele af lokalet. Dagslysfaktoren angiver, hvor stor en andel af dagslyset som når ind i et lokale, og er mål for besparelspotentiale ved udnyttelse af dagslys. Dagslysfaktoren kan måles på en overskyet dag eller beregnes som anført. Videnscentret for energibesparelser i bygninger og Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) har gennemført beregninger for besparelspotentialer ved dagslystyring. I SBI anvisning 220 beskrives i hvor høj grad dagslystilskud kan reducere energiforbrug til belysning. Lysstyringer der inddeler lokalet i zoner og udnytter dagslysfald til at holde konstant lysniveau i hele rummet, og kun ved tilstedeværelse

tænder lys er undersøgt. SBI anvisning 220 beskriver også hvordan lokalers dagslysfaktor øges ved at indtænke f.eks. højere vindueshuller og mindre rumdybder i nybyggeri.

DALI

Lysstyring med DALI – Adressering og styring af armaturer i fri topologi

DALI er en forkortelse af Digital Addressable Lighting Interface. DALI standarden blev udviklet af belysningsbranchen i samarbejde med formål, at gøre regulering af belysningsanlæg enkel og uafhængig af anlæggets opbygning (topologi). Er armaturerne i et lysanlæg forsynet med adresserbare DALI-forkoblinger, kan anlæggets armaturer styres individuelt over en to-leder busforbindelse. Busforbindelsen kan fremføres i fri topologi med en samlet buslængde op til 300m pr. buslinje. Busforbindelsen kan alternativt, for at reducere installationsomkostningerne, fremføres i samme kabel som armaturernes strømforsyning, f.eks. et 5-leder installationskabel fremført til første armatur på strengen, og videre mellem armaturerne. To ledere plus jord til 230V forsyning, og to ledere til DALI-bussen. Bevægelses- og tilstedeværelsessensorer, belysningsmålere og betjeningstryk for manuel betjening, hver med egne unikke adresser, kobles til DALI-buslinjen. Én buslinje kan håndtere 64 adresser og belastes med 250mA. På hver buslinje kan armaturerne styres enkeltvis eller i op til 16 grupper.

I større bygninger med mange armaturer på hver etage og flere etager installeres DALI-routere, der som udgangspunkt, hver især, håndterer en buslinje med 64 adresser. Kommunikationen imellem DALI-routere på etageniveau og imellem etagerne foregår over en standard ethernet UTP-dataforbindelse og det nødvendige antal switche for at forbinde alle DALI-routere.

DALI-standardens stiller krav om et maksimalt DALI-forkoblings strømforbrug på 2mA, men ingen krav til betjeningstryks, bevægelses- og lyssensorers forbrug. Betjeningstryk bruger op til 10mA og en kombineret bevægelses- og lyssensor op til 25mA. Buslinjens maksimale strømforbrug på 250mA og maksimale længde 300m sætter ofte grænsen for antal armaturer og enheder, som kan kobles til én buslinje.

I projekteringsfasen er det vigtigt at sammenholde de to begrænsninger med eventuelle ønsker om udvidelsesmuligheder, når antal buslinjer (DALI-routere) i installationen beslutes.

Lysstyring med DALI – Dynamisk lys (Tunable White)

Til belysningsløsninger med dynamisk lys er udviklet DALI type 8 LED-forkoblinger, som understøtter glidende skift i LED-armaturets farvetemperatur og lysstrøm. For at simulere en døgnrytme korrekt skal såvel bygningens geografiske beliggenhed som årstiden kendes.

Leverandører af belysningsstyringer for simulering af dagslystyrmer tilbyder forprogrammerede lysstyringer, som passer til den breddegrad bygningen er beliggende.

Lysstyring – Indregulering og integration med BMS

Indregulering af en belysningsstyring er afgørende for anlæggets korrekte funktion, og udføres over flere gange, hvis styringen omfatter regulering af zoner efter dagslystilskud og eventuelt dynamisk lys. Første indregulering foretages, når det er mørkt udenfor. Her indstilles belysningsstyrken i den zone luxmåleren er placeret. Afhængig af lokalets geometri og vinduer i facaden indlægges

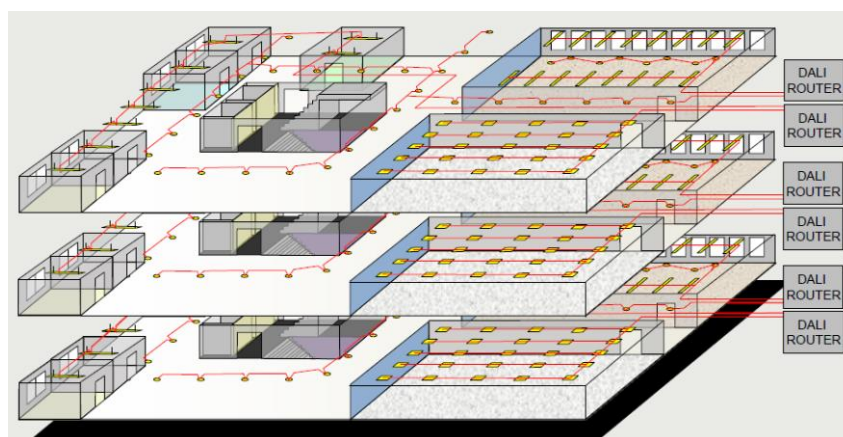
erfaringsmæssige kurveforløb, som armaturerne i zonerne omkring zonen med luxmåler skal følge, og alle zoners belysningsstyrke justeres til korrekt niveau. Efterfølgende justeres kurveforløbene for hver af de tilstødende zoner ved dagslys. Programmeringen foretages normalt i lokalet med en PC tilkoblet en vilkårlig DALI-router eller switch i installationen.

DALI-lysstyringen kan kobles til bygningens BMS. Enten direkte til BMS kommunikationsprotokol, f.eks. BACnet/IP, eller via en gateway til lokale IBI-undercentraler, som registrerer tilstedeværelse og indeklima-parametre, som temperatur og CO2 niveau, og f.eks. styrer lokale VAV-spjæld, ventiler for lokale varme- og kølekredse og jalousier.

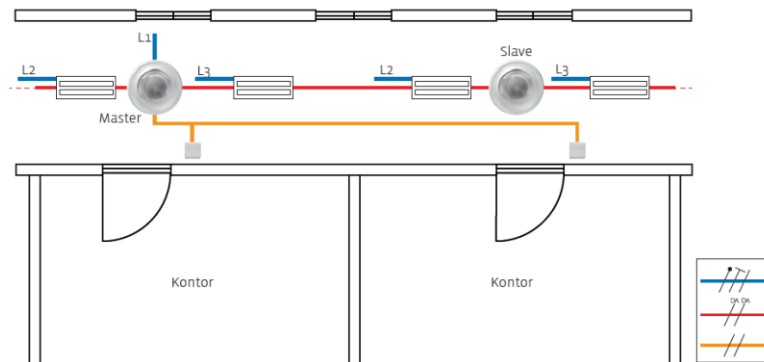
En fordel ved at koble DALI-lysstyringen til IBI-undercentraler, og gøre brug af IBI-undercentralernes bevægelsesmeldere, lysmålere og tryk, er færre komponenter og lavere installationsomkostninger.

En væsentlig ulempe kan blive tvivl om ansvarsfordelingen, når lysinstallationen svigter, og det ikke er samme entreprenør, som har udført begge installationer.

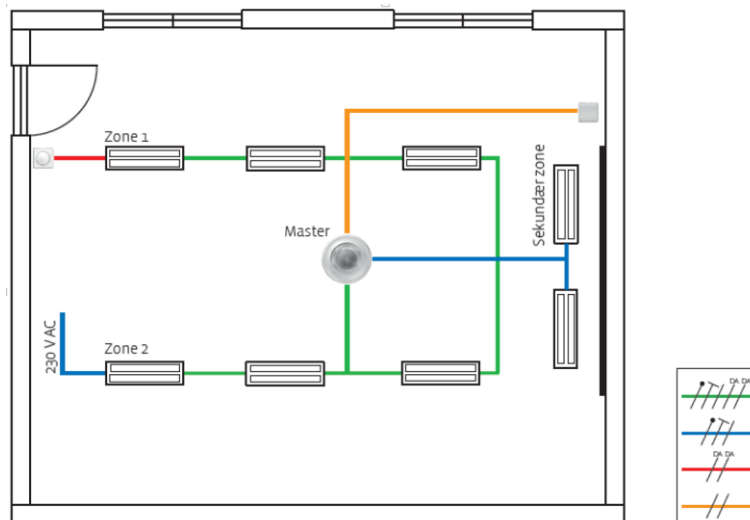
DALI-bussen sikrer to-vejskommunikation til tilsluttede armaturer, tryk og sensorer. En udbrændt lyskilde registreres i forkoblingen, og står til rådighed for bygningens BMS. I Figur 11-25 er vist hvordan DALI-løsninger ved opkobling til DALI-routere på etageniveau kan integreres på bygningsniveau. I Figur 11-26 - Figur 11-30 er vist eksempler lysstyring af gangareal, undervisningslokale, kontor og mødelokale foreslået af Niko-Servodan A/S.



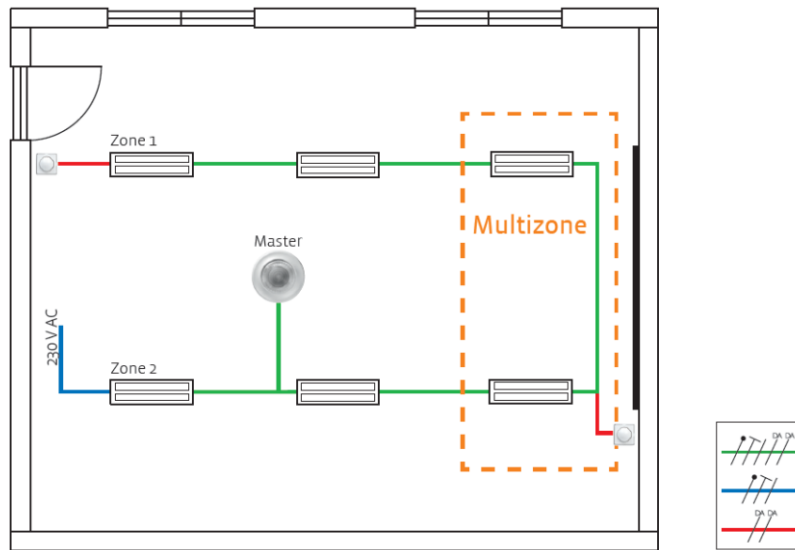
Figur 11-25 DALI-installation i bygning med flere etager



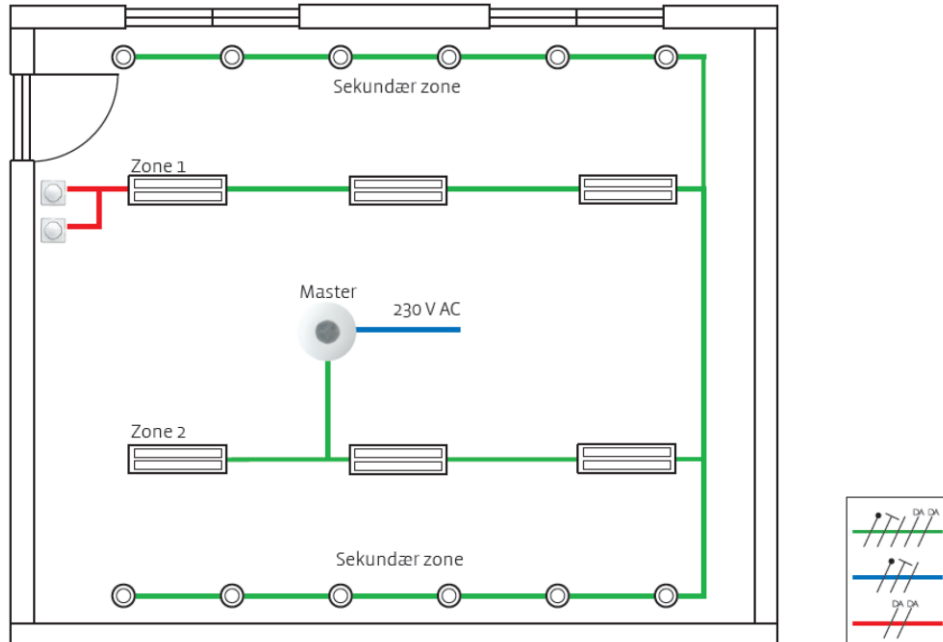
Figur 11-26 DALI-styring af gang med dagslys. Gangbelysning med on/off dagslysstyring og fordeling på to grupper iht. SBi-krav; Kilde: Niko-Servodan A/S



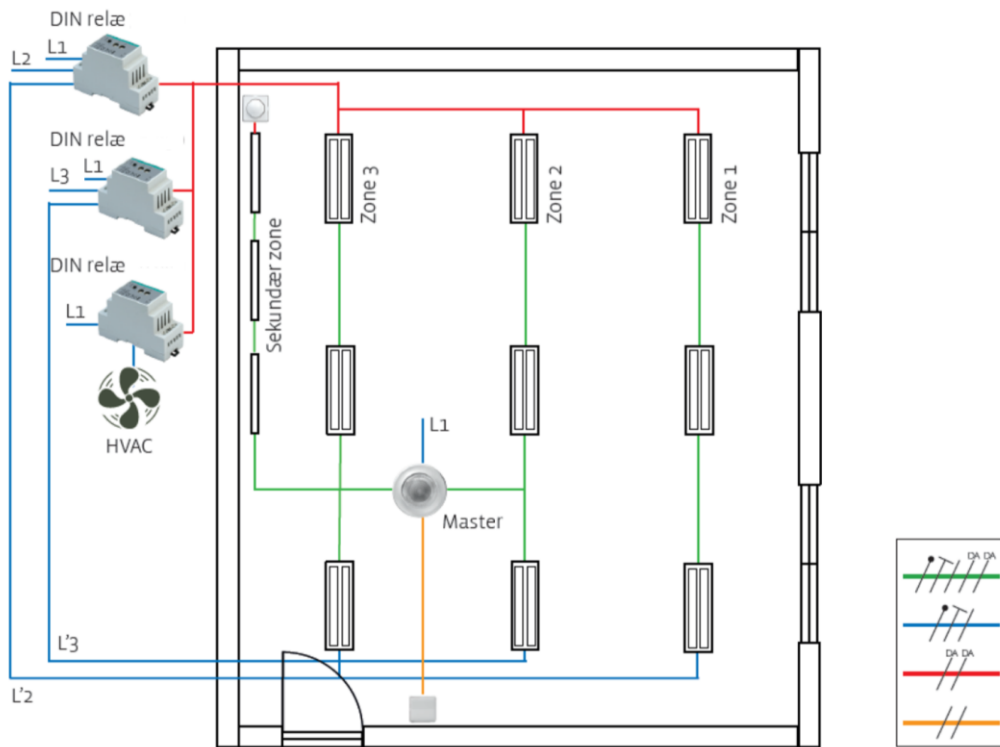
Figur 11-27 DALI-styring af undervisningslokale med tavlelys: Dæmpbar dagslysstyring i to zoner. On/off styring af tavlebelysning. Overstyring af dagslysstyring med potentiometer; Kilde: Niko-Servodan A/S



Figur 11-28 DALI-styring af undervisningslokale med multizone: Dæmpbar dagslysstyring i to zoner og multizone til smartboard. Armaturerne i multizonen indgår i dagslysstyringen, men kan reguleres manuelt uafhængigt af armaturerne i dagslyszonerne. Lyset kan tændes ved tilstedeværelse, eller sættes til manuelt tænding. Lyset slukker, når lokalet forlades. Overstyring af dagslysstyring og multizone med potentiometer; Kilde: Niko-Servodan A/S



Figur 11-29 DALI-styring af kontor med to zoner og randbelysning: Dæmpbar dagslysstyring i to zoner og dæmpbar randbelysning. Standby minimering og overstyring med potentiometer; Kilde: Niko-Servodan A/S



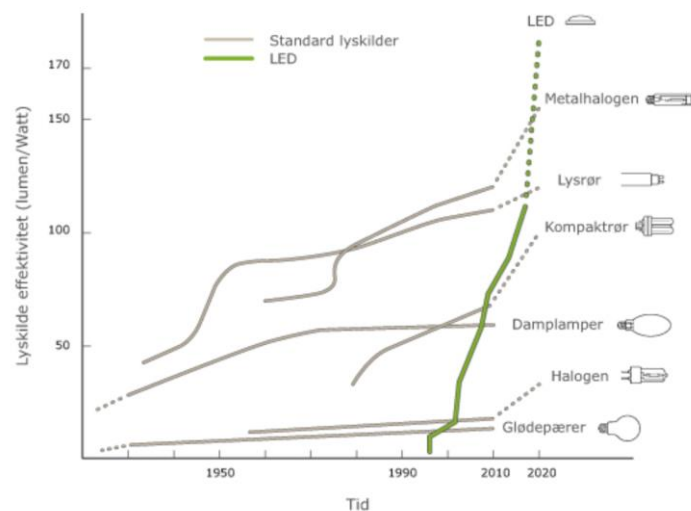
Figur 11-30 DALI-styring af kontor med to zoner og randbelysning: Dæmpbar dagslysstyring i to zoner og dæmpbar randbelysning. Standby minimering og overstyring med potentiometer; Kilde: Niko-Servodan A/S

11.7. Udvikling af lyskilder, valg af lysarmaturer, dynamisk lys og sundhed

Indenfor de seneste år er lysemitterende dioder, Light Emitting Diodes, blevet den foretrukne lysgiver. Diodernes høje lysudsendelse pr. tilført effekt (lm/W) og lange levetid og har medført, at flere armaturfabrikanter alene koncentrerer sig om videreudvikling af LED-armaturer til såvel rumbelysning som vej- og effektbelysning.

Markedsundersøgelser (McKinsey 2011) forudsiger, at tæt ved 50% af alle nye og udskiftede lyskilder i 2020 vil være LED. Effektiviteten for hvide LED ligger i 2017 på omkring $160 lm/W$. Lysstofrør, der i 2017 fås med lysudbytte på $100 lm/W$, forventes at nå et maksimum på $120 lm/W$ i 2020, mens LED forventes nå $200 lm/W$ i 2020.

I et LED armatur indgår LED-kredse som en integreret del af armaturet, hvilket betyder at LED-kredsens levetid er armaturets levetid. Lysrørsarmaturer tilbydes i dag for såvel effektive T5 lysrør som lysrør med indbyggede lysdioder. Når der til en belysningsopgave skal vælges mellem LED- og lysrørsarmaturer er det nødvendigt at sammenholde de mulige løsnings levetider, lysnedgang og lyskvalitet med forventet driftstid og serviceintervaller for at beregne den på investerings-tidspunktet økonomisk fordelagtige løsning.

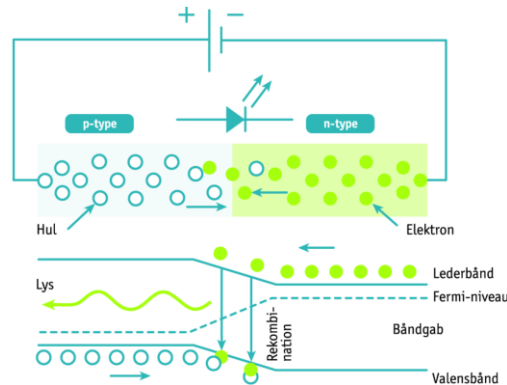


Figur 11-31 Udvikling i lyskilders effektivitet; Kilde: Glaxo (Osram)

Nedenfor beskrives LED-opbygning, -drift og -regulering. Dernæst sammenholdes LED og lysrør med hensyn til lysudbytte, farvegengivelse, farvetemperatur og levetider.

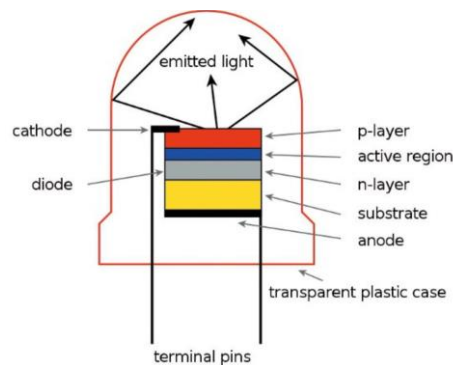
Hvad er en LED

En lysdiode er – i elektrisk forstand – en normal faststof diode, dvs. en pn-overgang i et halvleder materiale.



Figur 11-32 LED-princip; Illustration: en.wikipedia.org

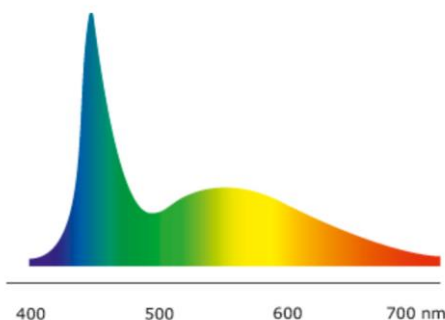
De frie elektroner i halvledermaterialet har højere energiniveau end elektroner fanget i halvledermaterialets krystalgitter. Når en fri elektron falder i et hul i krystalgitteret, afgiver elektronen stråling, svarende til energiforskellen mellem frie og bundne elektroner. Jo stærkere valenselektronerne er bundet i halvledermaterialet, jo højere er energien, og dermed frekvensen af det emitterede lys.



Figur 11-33 LED-chip; Illustration: en.wikipedia.org

Lys emitterende dioder er ligesom lysrør luminescensstrålere. I lysrør afgiver kviksølvdampe, når de exciteres af elektroner, stråling i det ultra-violette område, der ved fluorescens omdannes til lys i det synlige område. Afhængig af antallet af fluorescerende lag og lagenes sammensætning skabes forskellige farvespektre og farvetemperaturer. Lysdioder udsender stråling, hvis bølgelængde og intensitet afhænger af halvledermaterialet. F.eks. udsender halvledermaterialerne $GaAsP$ rødt lys, GaP gult- og grønt lys og $InGaN$ blå-, hvidt- og ultra-violet lys. Ved at pådampe den transparente kapsling om LED-chippen fluorescerende fosfor-pulvere opnås forskellige lysspektre og farve-

temperaturer. I Figur 11-34 ses et eksempel på hvordan en hvid LED af halvleder materialet *Indium Gallium Nitride* har fået en bred spektralfordeling. Halvleder materialet udsender lys med høj intensitet i det blå og ultra-violette område, som ved flourescens udnyttes til at give den brede spektralfordeling.



Figur 11-34 Spektralfordeling af hvid LED; Kilde: www.glamox.com

For at udsende lys skal lysdioden påtrykkes en jævnspænding, der får elektronerne til at passere dioden. Driftsspændingen for en enkelt LED i lederretningen ligger fra knap 2V til knap 4V afhængig af halvleder materialet. Drift af lysdioder kræver tilpassede forkoblinger (drivere), som omformer 230V AC til den nødvendige gennemgangsspænding. Lysdioderne kan kobles både i serie og parallel. Seriekobles dioderne påtrykkes en jævnspænding, som sikrer strømgennemgang. (De enkelte dioders gennemgangsspænding adderes). Driftsformen kaldes konstantstrømsdrift, og typiske strømværdier er 350, 500, 700 og 1050mA.

Parallelkobles dioder, eller parallelkobles et antal ens seriekoblede dioder, skal parallelkoblingen forsynes med en spænding som sikrer strømgennemgang i parallelgrenene. Driftsformen kaldes konstant spænding, og typiske spændingsværdier er 8, 10, 12, 24 eller 48V. (Antallet af dioder koblet i serie i et IP20-armatur er i praksis begrænset af spændingsgrænsen på 60V DC for SELV strømkredse, der yder beskyttelse mod elektrisk chok ved både direkte og indirekte berøring, jf. SB411.1.4.3). Driveren skal således tilpasses typen af LED-armatur, og polariteten stemme overens med gennemgangretningen for ikke at beskadige dioderne. Lysregulering af LED-armaturer udføres typisk ved pulsbreddemodulering PWM, men også ved mere avanceret pulsamplitudemodulering PAM, der kan forøge diodernes effektivitet og levetid¹. LED-drivere fås med forskellige kontrolgrænseflader. DALI, DSI, DMX512 og SwitchDim er eksempler.

LED-armatur

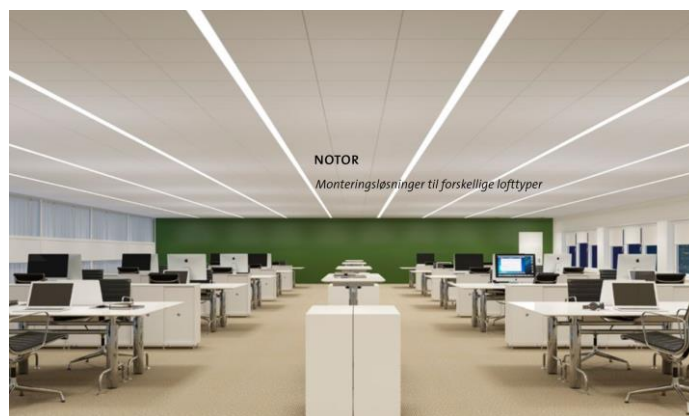
På grund af LED'ens kraftige lysudsendelse (høje luminans), er LED-armaturernes afskærmning af afgørende betydning for lysmiljøet og opfyldelse af DS/EN12464 krav til blanding. I Figur 11-35,

¹ <http://www.ledsmagazine.com/articles/2006/01/closed-loop-electronic-controllers-drive-led-systems.html>

er vist eksempler på tre forskellige afskærmninger til et LED-armatur for kontorbelysning fra belysningsproducenten Fagerhult A/S (se www.fagerhult.dk for opdateringer). Armaturet til venstre har en dobbelt parabolisk side- og tværreflektor af halvblank aluminium. En tynd film over LED-kredsene gør lyset diffust. Afskærmningen tillader alt lys at passere. Armaturet i midten har en afskærmning af akryl. Mikroprismer i akrylpladen giver et retningsbestemt lys. Afskærmningen er udviklet til fleksible kontormiljøer med skærmarbejde. Afskærmningen til højre er en opal akrylskærm, der spreder diffust lys i rummet. Afskærmningen er nedsænket 10mm under loft for at tilføre lys til loft og vægge.



*Figur 11-35 LED-armaturafskærmninger (dobbelt parabolisk reflektor / mikroprisme / opal);
Kilde: Fagerhult produktkatalog 2017*



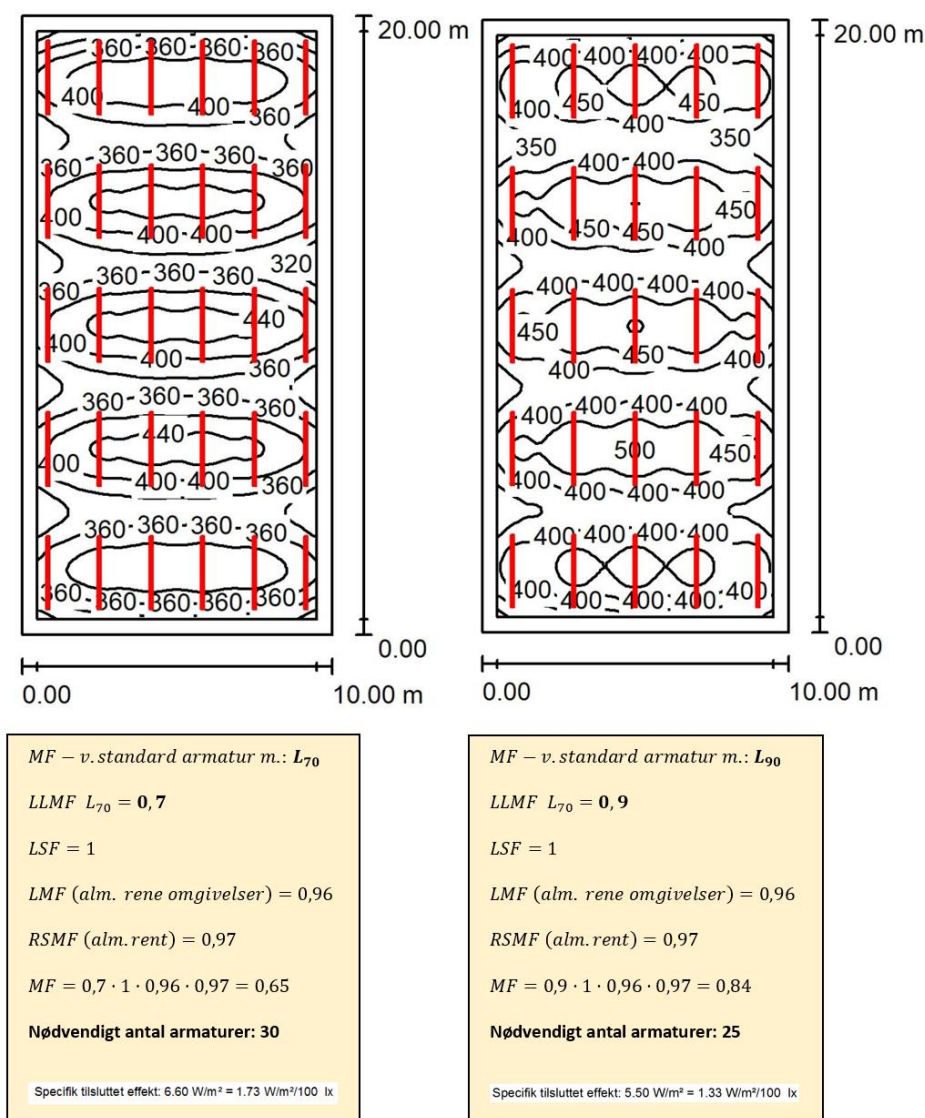
*Figur 11-36 Eksempel på LED-armaturløsning for fleksibelt kontormiljø;
Kilde: Fagerhult produktkatalog 2017*

LED- eller lysrørsarmaturer – Levetider, lysnedgang, investering og driftsomkostninger

Et LED-armaturs levetid og lysnedgang over tid skal dokumenteres iht DS/EN62717:2017 og DS/EN62722-2-1:2016.

Armaturets *L*-værdi (*LLMF* Luminare Lamp Maintenance Factor), som angiver forventet lysstrøm i procent af nyværdi efter en given driftstid, skal oplyses. *L*₇₀100.000h angiver f.eks. at armaturets lysstrøm efter 100.000h er 70% af nyværdien. For at kunne sammenholde forskellige løsninger skal

L -værdierne for hver enkelt løsning kendes. L -værdierne indgår både i beregning af nødvendigt antal armaturer og i beregning af drifts- og vedligeholdelsesudgifter i investeringsperioden. Nedenfor, Figur 11-37, er vist et eksempel på dimensionering af et belysningsanlæg med to armaturer med hver sin LED-kvalitet. I den betragtede periode er lysnedgangen 30% for armaturet til venstre og 10% for armaturet til højre. Den dimensionerende vedligeholdelsesfaktor MF er derfor forskellig. MF er 0,65 for armaturløsningen til venstre og 0,84 for løsningen til højre, og det nødvendige antal armaturer beregnes til henholdsvis 30 og 25. Valg af armaturkvalitet er således afgørende for såvel investeringsomkostning som driftsudgifter i investeringsperioden.



Figur 11-37 LED-kvalitet 'Investerings- og driftsudgift'

Det bemærkes, at DS/EN12464-1 stiller krav om, at vedligeholdelsesfaktoren skal oplyses, og der skal redegøres for hvordan den er fremkommet.

Som anført koncentrerer flere armaturproducenter sig alene om udvikling af LED-armaturer. Hvorvidt en eksisterende lysrørsarmaturløsning bør udskiftes med en energimæssig fordelagtig LED-løsning er en investeringsbeslutning. I Tabel 11-9 er anført levetider og lysnedgang for to typer lysrør og to typer LED-armaturer. Et TL5 High Output lysrør og et TL5 High Output Deluxe lysrør med høj R_a værdi, begge fra Philips, samt et LED-armatur med dobbelt parabolisk reflektor og et LED-armatur med opal akryl afskærmning fra Fagerhult A/S. De angivne lysudbytter pr. watt er for LED-armaturerne for lyskilde og armatur, der er én integreret enhed. For at sammenligne lysudbytte for lysrør med lysudbytte for LED-armaturer skal lysrørets lysudbytte reduceres med armaturvirkningsgraden af det armatur lysrøret monteres i. Virkningsgraden for et lysrørsarmatur af høj kvalitet ligger i intervallet 75-80%. For de anførte højeffekt lysrør og armaturvirkningsgrad 0,80, opnås et lysudbytte på 68-79 lm/W , svarende til 50-66% af lysudbyttet fra de to LED-armaturer.

Tabel 11-9 Eksempler på levetider, lysnedgang og lyseffekter - High Output Lysrør og LED-armaturer. Kilde: Produktkataloger 2017 (Philips og Fagerhult)

	<i>TL5 High Output</i>	<i>T5 High Output Deluxe</i>	<i>LED-BetaOpti Reflektor</i>	<i>LED-Opal flush</i>
<i>Driftseffekt [W]</i>	49.2	49.2	37	46
<i>Lysstrøm Φ [lm]</i>	4900	4200	4720	5546
<i>Lyseffekt [lm/W]</i>	99	85	128	121
<i>Lyseffekt [lm/W] (nytteeffekt)</i>	79	68	128	121
<i>L_{90} [h]</i>	20.000	20.000	50.000	50.000
<i>T_{CP} [Kelvin]</i>	4000	4000	4000	4000
<i>R_a</i>	82	90	80	80

LED-armaturerne har begge højere lysudbytte og længere levetid end lysrørsarmaturerne. For at afgøre hvorvidt en lysrørløsning bør udskiftes med en LED-løsning skal armaturpriser og investeringsperiode inddrages. Jo længere investeringshorisont, jo mere rentabel kan en udskiftning til LED-armaturer være.

11.8. Energirigtig drift- og vedligeholdelse af belysningsanlæg

Vedligeholdelsefaktoren, Maintenance Factor, MF, indgår som dimensionerende parameter i lysberegninger. MF beregnes som produktet af lyskildenedgang, lyskilde udfald, armatur- og rumtilsmudsning:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF$$

Lyskildenedgang, Lamp Lumen Maintenance Factor, LLMF, afhænger af lyskildens driftstid. Faktoren der skal dokumenteres af lyskildefabrikantene, angiver lyskildens lysstrøm efter et givent

antal driftstimer. F.eks. angiver L_{80} 10.000h, at lyskildens efter 10.000h har en lysstrøm på 80% af nyværdien.

Lyskilde bortfald, Luminaire Survival Factor, LSF, angiver andelen af lyskilder, som efter en given driftstid stadig er i funktion.

Armaturets tilsmudsningfaktor, Luminaire Maintenance Factor, LMF, angiver nedgangen i lysstrøm som følge af armaturets tilsmudsning. Faktoren afhænger af omgivelsernes renhed efter et valgt rengøringsinterval.

Rummets tilsmudsningfaktor, Room Surface Maintenance Factor, RSMF, angiver nedgang i belysningsstyrke på arbejdsplanet som følge af rummets tilsmudsning. Faktoren afhænger af rumfladernes renhed efter et valgt rengøringsinterval.

Tabel 11-10 Armaturtilsmudsningfaktor (LMF); R (rene omgivelser): kontorer, skoler, sygehuse, hoteller o. lign. N (normale omgivelser): industri, lager, butikker, sportshaller, restauranter, tekniske områder o. lign. S (snavsede omgivelser): støberi-, jern- og stålværker, savværker o. lign.; Kilde: www.fagerhult.dk

LMF	2 år			3 år			4 år			5 år		
	Omg.			Omg.			Omg.			Omg.		
Armaturtype	R	N	S	R	N	S	R	N	S	R	N	S
Åbnet (LMF)	0.96	0.93	0.85	0.94	0.90	0.77	0.92	0.88	0.72	0.90	0.85	0.66
Lukket (LMF)	0.98	0.94	0.87	0.94	0.92	0.84	0.94	0.90	0.78	0.92	0.88	0.71
Oplys (LMF)	0.91	0.80	0.68	0.84	0.75	0.54	0.77	0.70	0.40	0.71	0.60	0.29

Tabel 11-11 Rumtilsmudsningfaktor (RSMF), R (rene omgivelser): kontorer, skoler, sygehuse, hoteller o.lign. N (normale omgivelser): industri, lager, butikker, sportshaller, restauranter, tekniske områder o.lign. S (snavsede omgivelser): støberi-, jern- og stålværker, savværker o.lign.; Kilde: www.fagerhult.dk

RMF	2 år			3 år			4 år			5 år		
	Omg.			Omg.			Omg.			Omg.		
Armaturtype	R	N	S	R	N	S	R	N	S	R	N	S
Dir. (RMF)	0.97	0.96	0.95	0.97	0.96	0.95	0.97	0.96	0.95	0.97	0.96	0.95
50/50 (LMF)	0.95	0.93	0.90	0.95	0.93	0.90	0.95	0.93	0.90	0.95	0.93	0.90
Indir. (LMF)	0.92	0.86	0.77	0.92	0.86	0.77	0.92	0.86	0.77	0.92	0.86	0.77

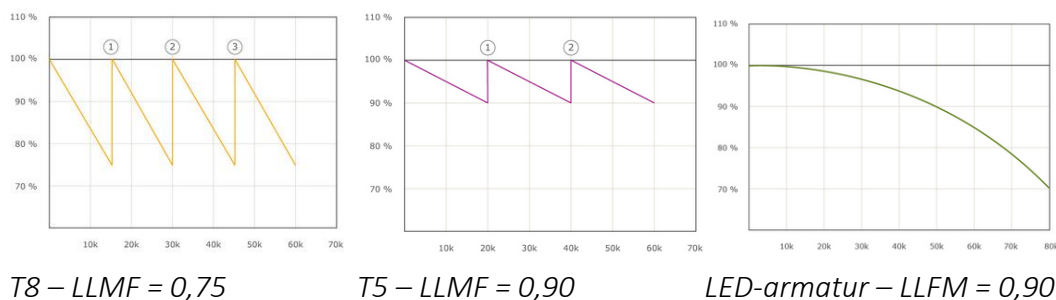
Driftsomkostninger

Et lysanlægs driftsomkostninger kan for at være retvisende opgøres, som en gennemsnitsbetragtning over anlægets levetid, eller den periode investeringsbelutningen blev truffet på. Udgifter til lyskildeudskiftning, rengøring af armaturer og rengøring af rummets flader i perioden skal beregnes.

I MF indgår intervallerne for rengøring af armaturer og rummet, uafhængigt af antal driftstimer, mens lyskildens levetid (eller lyskildens lysnedgang), og dermed driftsomkostningerne til lyskildeudskiftning, ligesom el-udgift afhænger af driftstiden. I Tabel 11-12 er vist eksempler på

antal lyskildeudskiftninger for to forskellige lysrørsløsninger, en med L_{75} 15.000h og en med L_{90} 20.000h, samt en LED-armaturløsning med LLMF L_{90} 50.000h.

Tabel 11-12 Lyskildenedgang og lyskildeudskiftning – Driftsomkostninger i investeringsperiode, Kilde: www.glamox.com/dk/led-og-levetid



Funktionsafprøvning

Krav om funktionsafprøvning – BR15 (2017)

D. 1. juli 2017 indførtes krav om, at der skal foretages funktionsafprøvning inden ibrugtagning af en række bygningsinstallationer, herunder krav om funktionsafprøvning af belysningsanlæg.

Dokumentation af resultatet af funktionsafprøvningen skal indsendes til kommunen, og opfyldelse af kravene er en forudsætning for at bygningen må tages i brug.

Kravet om funktionsafprøvning gælder ikke kun nybyggeri. Udføres ændringer, der er omfattet af byggereglementets bestemmelser, stilles krav om funktionsafprøvning. I 'Vejledning om funktionsafprøvning' udsendt af Trafik, Bygge- og Boligstyrelsen d. 22. juni 2017, anført i appendix B, gives en detaljeret gennemgang af hvordan det dokumenteres, at et belysningsanlæg overholder bygningsreglementets krav til belysningsstyrke og dagslysstyring, samt at bevægelsesmeldere og zoneopdeling fungerer efter hensigten.

11.9. Litteraturliste

SBi-anvisning 220, Lysstyring, Statens Byggeforskningsinstitut, 2008

SBi-anvisning 219, Dagslys i rum og bygninger, Statens Byggeforskningsinstitut, 2008

SBi-anvisning 218, Lysforhold i undervisnings og daginstitutionsbbygninger, Statens Byggeforskningsinst., 2008

SBi-anvisning 213, Bygningers energibehov, Statens Byggeforskningsinstitut, 2016

SBi-anvisning 184, Bygningers energiforbrug, Statens Byggeforskningsinstitut, 1995

SBI 2013:20, Dagslysberegninger i praksis 'En undersøgelse af ni beregningsprogrammer', 2013

SBI 2016:10, Dagslysbestemmelser i BR 'Vurdering af dagslysforhold', Statens byggeforskningsinstitut, 2016

Lighting Research Center, *Illumination fundamentals*, Rensselaer Polytechnic Institute, 2000
Kongebro, S., & m.f., *Hvad med dagslys? – Designmanual med forslag til helhedsvurdering*, 2014
Petersen, P. E., *Lys og varme*, 5. udg. Bogfondens Forlag, 2010

DS700 Kunstig belysning i arbejdslokaler, Dansk Standard, 2005
DS/EN12464-1 Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser – Del 1: Indendørs arbejdspladser, 2015
DS/EN12464-1 DK NA:2015 – Nationalt annekst til Lys og belysning, 2015

Arbejdstilsynets Bekendtgørelse nr. 96 – Krav til belysning ved faste arbejdspladser.
Arbejdstilsynet, 2001
Arbejdstilsynets Bekendtgørelse nr. 1108 – Krav til belysning ved skærmterminaler.
Arbejdstilsynet, 1996
At-vejledning A.1.5-1 – Vejledning om kunstig belysning på faste arbejdspladser.
Arbejdstilsynet, 2016
At-vejledning D.2.3 – Vejledning om arbejde ved skærmterminaler.
Arbejdstilsynet, 2009

Supplerende links:

<https://centerforlys.dk/viden-om-lys/lysviden-dk/>

<https://www.fagerhult.com/da/videnscenter/>

<http://www.fischer-lighting.com/laer-om-led/>

<http://www.lighting.philips.com/main/education/lighting-university/>

11.10. APPENDIX A

Den fælles europæiske standard DS/EN12464-1:2015 og nationalt annek

Lovkrav til belysningsanlæg for arbejdspladsbelysning anføres dels i bygningsreglement BR15 dels i bekendtgørelser fra Arbejdstilsynet.

I BR15 stilles krav om, at arbejdspladsbelysning pr. 1. juli 2016 skal udføres i overensstemmelse med:

DS/EN12464-1 Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser – Del 1: Indendørs arbejdspladser, med DS/EN12464 DK NA.

Arbejdstilsynet, der har til opgave at sikre, at danske virksomheder varetager deres ansvar for et sikkerheds- og sundhedsmæssigt forsvarligt arbejdsmiljø, stiller i to bekendtgørelser krav til belysning ved faste arbejdspladser og skærmterminalarbejde:

Arbejdstilsynets bekendtg. nr. 96 af febr. 2001 - Krav til belysning ved faste arbejdspladser

Arbejdstilsynets bekendtg. nr. 1108 af dec. 1992 - Krav til belysning ved skærmterminalarbejde

DS/EN12464-1

Nedenfor anføres krav og anbefalinger til kunstige belysningsanlæg i DS/EN12464-1:2015. Sidst i appendixet sammenholdes lempelser i dansk nationalt (DK-NA) med DS/EN12464.

1. Anvendelsesområde

Standarden dækker behovene for synskomfort og synspræstation for personer med normal synsevne. Alle de almindelige synsopgaver er taget i betragtning, herunder arbejde ved skærme.

Standarden fastlægger krav til belysningsløsninger for de fleste indendørs arbejdspladser og de dermed forbundne områder, hvad angår belysningsmængden og –kvaliteten. Standarden indeholder tillige anbefalinger om god belysningspraksis.

Standarden fastlægger ikke belysningskrav med hensyn til de ansattes sikkerhed og sundhed på arbejdspladsen og er ikke udarbejdet indenfor EF-traktatens artikel 153, selvom belysningskravene angivet i denne europæiske standard normalt opfylder sikkerhedskravene. Belysningskrav med hensyn til de ansattes sikkerhed og sundhed på arbejdspladsen kan være indeholdt i direktiver der er baseret på EF-traktatens artikel 153, i medlemslandenes nationale lovgivninger, som har implementeret disse direktiver eller i medlemslandenes øvrige nationale lovgivning.

4. Kriterier for belysningsprojektering

4.1 Lysmiljø

DS/EN12464 tager udgangspunkt i at tre grundlæggende menneskelige behov skal være opfyldt:

- *Synskomfort, hvor de ansatte har en følelse af trivsel; dette bidrager også indirekte til højere produktivitet og arbejdskvalitet*
- *Synspræstation, hvor de ansatte er i stand til at udføre deres synsopgaver selv under vanskelige forhold og i længerevarende perioder*

- Sikkerhed

Som vigtigste parametre anføres:

- Luminansfordeling
- Belysningsstyrke
- Lysretning, rumbelysning
- Lysets variation (lysniveau- og farve)
- Farvegengivelse og lysfarve
- Blænding
- Flimmer

4.2 Luminansfordeling

4.2.1 Generelt

Luminansfordelingen i synsfeltet styrer øjnenes adaptationsniveau, som påvirker synsforholdene. Der er behov for en afbalanceret adaptationsluminans for at øge:

- Synsstyrken (evnen til at se skarpt)
- Kontrastfølsomheden (evnen til at skelne små, relative luminansforskelle)
- Effektiviteten af øjets funktioner (som f.eks. akkommodation, konvergens, pupilsammentrækning, øjenbevægelser osv.)
- Luminansfordelingen i synsfeltet påvirker også synskomforten. Af de anførte grund bør følgende undgås:
 - For høje luminanser, som kan forårsage blænding
 - For store luminansspring, som vil medføre træthed som følge af øjnenes gentagne adaptation
 - For lave luminanser og for små luminansspring, som resulterer i et kedeligt og ustimulerende arbejdsmiljø
 - For at skabe en balanceret luminansfordeling skal der tages hensyn til alle overfladers luminanser, som bestemmes af overfladens reflektanser og den belysningsstyrke, der rammer overfladerne. For at undgå, at omgivelserne fremstår triste, og for at hæve adaptationsniveauet og komforten for personer i bygningerne er det i høj grad ønskværdigt at have lyse indvendige overflader, især vægge og lofter.

Den projekterende skal vurdere og vælge passende værdier for reflektanser og belysningsstyrke for de indvendige overflader baseret på nedenstående vejledning

4.2.2 Reflektans af overflader

Lofter	0,7 – 0,9
Vægge	0,5 – 0,8
Gulve	0,2 – 0,4

DS/EN12464-1 – Anbefalede reflektanser for større, diffust reflekterende, indvendige overflader

4.2.2 Belysningsstyrker på overflader

Vægge	$E_{mid} > 50lx$ med $U_0 \geq 0,10$
Lofter	$E_{mid} > 30lx$ med $U_0 \geq 0,10$
I lukkede rum som kontorer, undervisningslokaler, hospitaler og almene indgangs-områder, gange trapper mv. skal vægge og lofter være lysere. DS/EN12464 anbefalede driftsbelysningsstyrker, er:	Vægge: $E_{mid} > 75lx$ med $U_0 \geq 0,10$ Lofter: $E_{mid} > 50lx$ med $U_0 \geq 0,10$

DS/EN12464-1 – Krav til belysningsstyrke på vægge og lofter

4.3 Belysningsstyrke

4.3.1 Generelt

Belysningsstyrken og dens fordeling på arbejdsfeltet og det omgivende felt har stor for, hvor hurtigt, sikkert og ubesværet en person opfatter og udfører synsopgaven

Alle værdier for belysningsstyrke, der er angivet i denne europæiske standard, er værdier for driftsbelysningsstyrker og opfylder kravene til synskomfort- og præstation.

4.3.2 skala for belysningsstyrke

For sansemæssigt at kunne skelne de anbefalede luminanstrin (i lx) i henhold til EN12665):

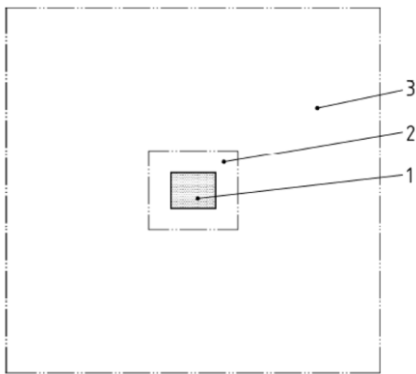
20-30-50-75-100-150-200-300-500-1000-1500-2000-3000-5000

4.3.3 Belysningsstyrke på arbejdsfeltet

De i DS/EN12464 angivne krav til belysningsstyrker er driftsbelysningsstyrker på arbejdsfeltet på referenceoverfladen. Arbejdsfladen kan være horisontal, vertikal eller skrå.

Middelbelysningsstyrken for hver opgave må ikke være lavere end de angivne værdi, uanset anlæggets alder og stand. Værdierne gælder normale synsforhold og tager hensyn til følgende faktorer:

- Psykofysiologiske aspekter så som synskomfort og trivsel
- Krav til synsopgaver
- Synsergonomi
- Praktisk erfaring
- Bidrag til funktionel sikkerhed



Minimumsdimensioner for omgivende felt og baggrundsområde i forhold til arbejdsfeltet

1. **Arbejdsfelt**
2. **Omgivende felt**
(bånd med en bredde på mindst 0,5 m omkring arbejdsfeltet indenfor synsfeltet)
3. **Baggrundsområde**
(mindst 3 m bredt omkring det omgivende felt indenfor rummets afgrænsning)

4.3.4 Belysningsstyrke på det omgivende felt

Belysningsstyrken på det omgivende felt skal stå i forhold til belysningsstyrken på arbejdsfeltet og bør skabe en afbalanceret luminansfordeling i synsfeltet. Belysningsstyrken på det omgivende felt kan være lavere end belysningsstyrken på arbejdsfeltet, men må ikke være mindre end:

Belysningsstyrke på arbejdsfeltet $E_{\text{synsopgave}}$ lx	Belysningsstyrke på det omgivende felt lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	$E_{\text{synsopgave}}$
100	$E_{\text{synsopgave}}$
≤ 50	$E_{\text{synsopgave}}$

DS/EN12464-1 – Krav til belysningsstyrker i det omgivende felt

4.3.5 Belysningsstyrke på baggrundsområdet

På indendørs arbejdssteder, især arbejdssteder uden dagslys, skal en stor del af området, der omgiver et aktivt og bemandedt arbejdsfelt, belyses. Dette område 'baggrundsområdet', bør være et bånd mindst 3m bredt, der støder op til det omgivende felt indenfor rummets afgrænsning.

Baggrundsområdet skal belyses med en driftsbelysningsstyrke på 1/3 af værdien for det omgivende felt.

4.3.6 Belysningsstyrkens regelmæssighed

I arbejdsfeltet må belysningsstyrkens regelmæssighed U_0 ikke være under de mindsteværdier, der er angivet i tabellerne Appendiks A.

For lys fra kunstig belysning eller ovenlys skal belysningsstyrkernes regelmæssighed i det omgivende felt og baggrundsområdet opfylde kravene:

Omgivende felt	$U_0 \geq 0,40$
Baggrundsområde	$U_0 \geq 0,10$

Krav til belysningsstyrkernes regelmæssighed i omgivende felt og baggrundsområdet

For lys fra vinduer anfører DS/EN12464: *I større områder, aktivitetsområder og baggrundsområder aftager dagslyset hurtigt med afstanden til fra vinduet; de supplerende fordele ved dagslyset kan kompensere for manglende regelmæssighed*.

De supplerende fordele ved dagslys beskriver DS/EN12464 som: *'Dagslys kan levere hele eller en del af den nødvendige belysning og åbner derfor mulighed for energibesparelser. Hertil kommer, at dagslyset over tid varierer i styrke, retning og spektral sammensætning og skaber forskellige formtegnings- og luminansmønstre, som opfattes gavnlige for personer i indendørs arbejdsmiljøer. Vinduer er klart at foretrække på arbejdspladser på grund af dagslysindfaldet og den visuelle kontakt med omverdenen. Dog er det vigtigt, at vinduerne ikke giver anledning til visuelle gener, dårlig varmekomfort eller virker forstyrrende på medarbejdernes privatsfære.*

4.4 Beregningsnet for belysningsstyrke

DS/EN12464 stiller krav til beregningsnet ved beregning af belysningsstyrke: *Der skal udarbejdes et beregningsnet for at angive de punkter, hvor værdierne for belysningsstyrke beregnes og verificeres for arbejdsfelt(er), omgivende felt(er) og baggrundsfelt(r). En maskeform i beregningsnettet, som kommer tæt på et kvadrat, foretrakkes, forholdet mellem længde og bredde skal ligge mellem 0,5 og 2. DS/EN12464 tillader, at: Et bånd på 0,5m fra væggene er undtaget beregningsområdet, bortset fra når et arbejdsfelt ligger indenfor eller breder sig ind i dette område. Et tilsvarende bånd på 0,5m på vægge og lofter er undtaget beregningsområdet.*

4.5 Blænding

4.5.1 Generelt

- *Blænding er den følelse, der skabes som følge af lyse områder i synsfeltet, som f.eks. belyste flader, dele af armaturer, vinduer og/eller ovenlys. Blænding skal begrænses for at undgå fejl, træthed og ulykker. Blænding kan opleves enten som ubehagsblænding eller som synsnedsættende blænding. På indendørs arbejdspladser er synsnedsættende blænding normalt ikke et stort problem, hvis grænserne for blændingstallet overholdes.*
- *Blænding forårsaget af blanke flader betegnes normalt som refleksblænding.*
- *Der skal tages særligt hensyn til blænding, når synslinjen er over det horisontale plan.*
- *Der findes p.t. ikke nogen standardiseret metode til evaluering af ubehagsblænding fra vinduer.*

4.5.1 Ubegagsblænding

Der findes ikke nogen standardiseret metode til evaluering af ubehagsblænding fra vinduer.

Ubegagsblænding, som er direkte forårsaget af armaturer i et indendørs belysningsanlæg skal bestemmes ved UGR-metoden (CIE Unified Glare Rating) på grundlag af formlen:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

hvor L_B er baggrundsluminansen, L armaturluminanser i retning mod iagttagerens øje, ω rumvinklen af lysende armaturdele og p Guthpositionsindekset for hvert armatur.

De anbefaldede grænseværdier for UGR udgør en serie, hvor trinene indikerer detekterbare ændringer i blænding.

UGR-serien er: 10,13,16,19,22,25,28

- note1: UGR-variationerne i rummet kan bestemmes vha. omfattende tabeller vedr. forsk. iagttager positioner
- note2: Hvis den maksimale UGR-værdi i rummet er højere end grænsen, bør korrekte arbejdspladsposition oplyses
- note3: Hvis tabelmetoden ikke kan anvendes, og hvis iagttagerens position er kendt, kan formlen benyttes

4.5.3 Afskærmning mod blænding

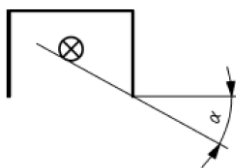
Kraftige lyskilder kan forårsage blænding og forringe synsevnen. Det skal undgås, f.eks. ved passende afskærmning af lyskilder og ovenlys eller passende afskærmning af kraftigt dagslys gennem vinduer.

For armaturer skal man anvende de mindste afskærmningsvinkler i synsfeltet, jf. tabel og figur:

Mindste afskærmningsvinkel ved specifikke lyskildeluminanser

Lyskildeluminans [kcd/m^2]	Mindste afskærmningsvinkel α [°]
20 - 50	15
50 - 500	20
≥ 500	30

Afskærmningsvinkel α



4.5.4 Refleksblænding

DS/EN12464 anfører: Høje luminanser fra lys reflekteret i synsobjektet kan ændre synsforholdene, normalt i negativ retning. Refleksblænding kan forebygges eller minimeres ved følgende foranstaltninger:

- Placering af arbejdspladser under hensyntagen til placering af armaturer, vinduer og ovenlys
- Passende overflader (matte flader)
- Begrænsning af luminanser fra armaturer, vinduer og ovenlys
- Lyse lofter og vægge

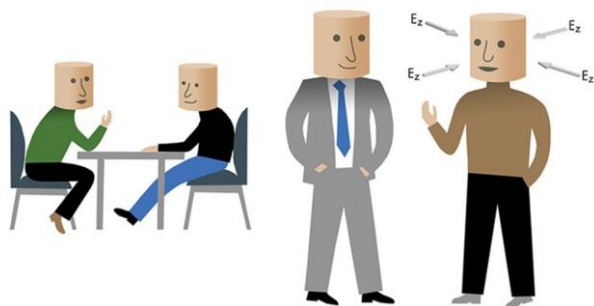
4.6 Indendørs belysning

4.6.1 Generelt

Udover belysning af synsobjekter bør arbejdsrummet også belyses. Dette lys er nødvendigt for at fremhæve objekter, afsløre teksturer og for at forbedre gengivelsen af personer.

4.6.2 Krav om Cylindrisk middelbelysningsstyrke i aktivitetsområdet

DS/EN12464 stiller krav til om tilstrækkelig cylindrisk middelbelysningsstyrke for at sikre god visuel kommunikation og genkendelse af objekter.



God visuel kommunikation og genkendelse af objekter i rum kræver, at arbejdsrummet, i hvilke personer bevæger sig eller arbejder, er belyst. Dette opnås ved tilstrækkelig cylindrisk middelbelysningsstyrke på vertikalt plan E_z i rummet.

<p>Cylindrisk middelbelysningsstyrke $E_{z,vertikal}$ (gennemsnitlig belysningsstyrke på vertikalt plan)</p>	<p>$E_{zmid,vertikal} \geq 50lx$ med $U_0 \geq 0,10$ ved en højde på 1,2m for siddende personer ved en højde for 1,6m for stående personer (regelmæssigheden U_0 af E_z gælder det horisontal plan)</p>
<p>'I områder, hvor god visuel kommunikation er vigtig, især på kontorer, i mødelokaler og undervisnings-lokaler bør $E_{z,vertikal}$ ')</p>	<p>$E_{zmid,vertikal} \geq 150lx$ med $U_0 \geq 0,10$ ved en højde på 1,2m for siddende personer ved en højde for 1,6m for stående personer (regelmæssigheden U_0 af E_z gælder det horisontal plan)</p>

DS/EN12464-1 Krav til cylindrisk middelbelysningsstyrke

4.6.3 Formtegnende egenskaber

Belysningen bør ikke være for rettet, da det vil frembringe hårde skygger, den bør heller ikke være for diffus, så lysets formtegnende egenskaber går tabt, hvilket vil resultere i et meget kedeligt lysmiljø. Flerdobbelte skygger som følge af rettet belysning fra mere end en position bør undgås, da det kan virke visuelt forvirrende.

Lysets formtegnende egenskaber afhænger af balancen mellem diffust og rettet lys og bør tages i betragtning.

4.7 Farveaspekter

4.7.1 Generelt

Farvekvaliteterne af en næsten hvid lyskilde eller dagslys er karakteriseret ved to egenskaber:

- lysets farveudsendelse

- farvegengivelsesevnen, som påvirker objekters og personers farvemæssige egenskaber

De to farve egenskaber skal behandles hver for sig

4.7.2 Lysfarve

En lyskildes lysfarve refererer til den opfattede farve af det udsendte lys. Lysfarven karakteriseres ved lysets korrelerede farvetemperatur T_{CP} .

Lysfarve	Korreleret farvetemperatur
Varm	$T_{CP} \leq 3300K$
Neutral	$3300K \leq T_{CP} \leq 5300K$
Kold	$T_{CP} \geq 5300K$

DS/EN12464-1:2015 – Lysfarve

Valget af lysfarve er et spørgsmål om psykologi, æstetik, og hvad der vurderes som værende naturligt. Valget afhænger af belysningsniveau, farver i rummet og på møbler, klimaet og anvendelsen. I varme klimaer foretrækkes generelt en koldere lysfarve, mens der i koldere klimaer foretrækkes en varmere lysfarve.

4.7.3 Farvegengivelse

Af hensyn til synspræstationen, komforten og trivslen skal farver i omgivelserne, på genstande og på den menneskelige hud gengives naturligt og præcist og på en måde, som får mennesker til at se attraktive og sunde ud.

For at give en objektiv indikation af en lyskildes farvegengivende egenskaber anvendes farvegengivelsesindekset R_a . Den maksimale værdi af R_a er 100.

Mindste værdien for farvegengivelsesindekset er angivet i tabel 5.1 til 5.53. Sikkerhedsfarver iht. ISO3864-1 skal altid være genkendelige.

Note: For at sikre korrekt farvegengivelse af genstande og den menneskelige hud bør det behørigt individuelle og specielle farvegengivelsesindeks R_i (CRI – Colour Rendering Index) anvendes

4.8 Flimmet og stroboskopeffekt

Flimmet er distraherende og kan fremkalde fysiologiske virkninger som for eksempel hovedpine.

Stroboskopeffekter kan medføre farlige situationer, idet de kan ændre opfattelsen af maskindeles roterende eller frem- og tilbagegående bevægelse.

Belysningsanlæg bør planlægges således, at man undgår flimmet og stroboskopeffekter.

4.9 Belysning af arbejdspladser ved skærme

4.9.1 Generelt.

Belysningen ved skærmarbejdspladser skal være egnet til alle de opgaver, der udføres på arbejdspladsen, f.eks. læsning på skærmen, læsning af trykt tekst, skrivning på papir, tastaturarbejde.

I disse områder skal belysningskriterier og belysningsanlæg vælges i forhold til type af område, opgave eller aktivitet, jf. tabel 5.26.

Reflekser i skærmen, og i nogle tilfælde også reflekser i tastaturet, kan forårsage synsnedsættende blænding og ubehagsblænding. Det er derfor nødvendigt at udvælge, placere og montere armaturerne, så man undgår kraftige lysreflekser.

Designeren skal fastlægge den kritiske monteringszone og vælge udstyr og planlægge monteringssteder, så der ikke opstår forstyrrende reflekser.

4.9.2 Luminansbegrænsninger for nedadlysende armaturer.

Lys kan mindske kontrasten på en skærm ved:

- Refleksblænding, som skyldes belysningen på skærmen og
- Luminanser fra armaturer og lyse flader, der spejles i skærmen

EN ISO9241-307 indeholder krav til skærmens visuelle kvalitet i relation til uønskede reflekser.

Følgende luminansbegrænsninger for middelluminansen ved udstrålingsvinkler på 65° fra lodret og derover og radialt rundt om armaturet for arbejdspladser, hvor der anvendes skærme, som er lodrette eller hælder op til 15 skal overholdes:

Skærmluminans	Høj luminans skærm $L > 3000 \text{ cd/m}^2$	Medium luminans skærm $L \leq 200 \text{ cd/m}^2$
Eksempel A (positiv polaritet og almindelige krav til farve og detaljer ved den viste information, der anvendes på kontoret, uddannelsen, mv.)	$\leq 3000 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1500 \text{ cd/m}^2$
Eksempel B (negativ polaritet og/eller højere krav til farve og detaljer ved den viste information, der anvendes til CAD, farvekontrol, mv.)	$\leq 1500 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1000 \text{ cd/m}^2$

Hvis en skærm med høj luminans tilsigtes anvendt ved luminanser under 200 cd/m^2 , skal kravene til en skærm med middel luminans tages i betragtning. Nogle opgaver, aktiviteter eller skærmterminologier, især højglansskærme. Nogle opgaver, aktiviteter eller skærmterminologier, især højglansskærme kræver anderledes belysningsforhold (f.eks. lavere luminansgrænser, særlig afskærmning, individuel lysdæmpning mv.). I industri- og håndværksområder er skærme nogle gange beskyttet af ekstra glasflade. De ønskede reflekser på disse beskyttelsesglas skal reduceres på passende måde (som f.eks. ved antirefleksbehandling, ved at vippe beskyttelsesglasset eller ved afskærmning).

4.10 Vedligeholdelsesfaktor

Belysningen bør planlægges med en overordnet vedligeholdelsesfaktor, som beregnes for det valgte belysningsudstyr, omgivelserne og den faste vedligeholdelsesplan.

Den anbefalede belysningsstyrke for den enkelte opgave er angivet som driftsbelysningsstyrke.

Vedligeholdelsesfaktoren afhænger af de vedligeholdelsesmæssige egenskaber, der knytter sig til lyskilde og forsynings- og styringsudstyr, armaturet, omgivelserne og vedligeholdelsesplanen.

Belysningen bør projekteres ved brug af den overordnede vedligeholdelsesfaktor for de valgte lyskilder, armaturer, overfladereflektanser, omgivelser og den fastlagte vedligeholdelsesplan. For dagslysberegninger bør lysstrømsnedgangen som følge af tilsmudsning af vinduer tages i betragtning.

Designeren skal:

- Angive vedligeholdelsesfaktoren og opliste alle forudsætninger, der er anvendt til bestemmelse af værdien
- Specificere belysningsudstyr, der er egnet til omgivelserne og
- Udarbejde en omfattende vedligeholdelsesplan, der skal indeholde hyppigheden af lyskildeudskiftning, rengøringsinterval for armaturer, rum og glas samt rengøringsmetode.

Vedligeholdelsesfaktoren har stor betydning for energieffektiviteten. Forudsætningerne, der anvendes til bestemmelse af vedligeholdelsesfaktoren, skal optimeres på en måde, som medfører en høj værdi. CIE97-2005 indeholder en vejledning vedrørende bestemmelse af vedligeholdelsesfaktoren for kunstig belysning.

4.11 Krav til energieffektivitet

DS/EN12464 anfører følgende forhold omkring energieffektivitet:

- Belysning bør projekteres, således at belysningskravene til en bestemt opgave eller et bestemt område overholdes på en energieffektiv måde. Det er vigtigt ikke at gå på kompromi med de visuelle aspekter ved et belysningsanlæg blot ved at reducere energiforbruget. De belysningsniveauer, der er fastlagt i denne europæiske standard, er mindsteværdier for middelbelysningsstyrker, som skal fastholdes i hele driftsperioden.
- Der kan opnås energibesparelser ved at udnytte dagslyset, tage rummets brug i betragtning, forbedre vedligeholdelsesegenskaberne ved anlægget og gøre brug af lysstyring.
- Mængden af dagslys varierer i løbet af dagen afhængig af vejrforholdene. Desuden aftager dagslysindfaldet hurtigt i rum med sidevinduer, jo større afstanden fra vinduet er. Det kan være nødvendigt med supplerende belysning for at sikre, at de påkrævede belysningsniveauer ved arbejdspladsen opnås, og for at skabe en jævn luminansfordeling i rummet. Automatisk eller manuel tænding og/eller lysdæmpning kan anvendes for at sikre en passende kombination af kunstig belysning og dagslys.
- EN15193 indeholder en procedure til at estimere et belysningsanlægs energiforbrug. Den angiver en metodik til beregning af belysningsenergiindeks (LENI-tallet), der er udtryk for energiforbruget til belysning i bygninger. For enkeltrum kan dette indeks kun anvendes til sammenligninger, da benchmarkværdierne i EN15193 gælder for hele bygninger

4.12 Yderligere fordele ved dagslys

Dagslys kan levere hele eller en del af den nødvendige belysning og åbner derfor mulighed for energibesparelser. Hertil kommer, at dagslyset over tid varierer i styrke, retning og spektral sammensætning og skaber forskellige formtegnings- og luminansmønstre, som opfattes gavnlige for personer i indendørs arbejdsmiljøer. Vinduer er klart at foretrække på arbejdspladser på grund af dagslysindfaldet og den visuelle kontakt med omverdenen. Dog er det vigtigt at sikre, at vinduerne ikke giver anledning til visuelle gener, dårlig varmekomfort eller virker forstyrrende på medarbejdernes privatsfære.

4.13 Lysets foranderlighed

Lys er vigtigt for menneskers helbred og velbefindende. Lys påvirker menneskers humør, følelser, og den mentale oplagthed. Lys kan også understøtte og justere døgnrytmen og påvirke menneskers fysiologiske og psykologiske tilstand. Ny forskning indikerer, at disse fænomener – i tillæg til de designkriterier, der er defineret i 12464-1 – kan tilvejebringes gennem såkaldt ikke-billeddannende belysning og lysfarve. En tidsmæssig variation af lysforholdene i form af højere belysningsstyrker, luminansfordelinger og større variation i farvetemperatur, end det er defineret i denne europæiske standard, og ved hjælp af dagslys og/eller specialiseret kunstlys kan stimulere mennesker og deres velbefindende. Anbefalingsværdierne for variationsbåndene er under overvejelse.

5. Oversigt over belysningskrav

5.1 Tabellernes opbygning

Kolonne 1: referencenummer for hvert indendørsområde, opgave eller aktivitet

Kolonne 2: områder, opgaver eller aktiviteter med særlige krav

Kolonne 3: driftsbelysningsstyrke \bar{E}_m

Kolonne 4: maksimale UGR-værdier

Kolonne 5: mindsteværdi for belysningsstyrkens regelmæssighed U_0

Kolonne 6: mindsteværdi for farvegengivelsesindekset R_a for de situationer der er anført i kolonne 2

Kolonne 7: særlige krav til de situationer, der er oplyst i kolonne 2

5.2 Oversigt over indendørsområder, opgaver og aktiviteter

Tabel 5.1: Færdselsområder i bygninger

Tabel 5.2 - 5.5: Almenområder i bygninger

Tabel 5.6 - 5.25: Industri- og håndværksområder

Tabel 5.26: Butikker

Tabel 5.27: Kontorer

Tabel 5.28 - 5.34: Offentlige områder

Tabel 5.35 - 5.36: Uddannelseslokaler

Tabel 5.37 - 5.51: Sundhedssektoren

Tabel 5.52: Transportområder – Lufthavne

Tabel 5.53: Transportområder – Jernbaneanlæg

5.3 Belysningskrav til indendørsområder, opgaver og aktiviteter

EN12464 skærper i en række indendørsområder de krav belysningsstyrke og blændingstal dansk belysningsstandard DS700 stillede.

Dels for at imødegå dansk belysningstradition, hvor supplerende arbejdspladsbelysning har været måden at sikre tilstrækkelig belysning til synsopgaven, og samtidig give en inspirerende luminansfordeling mellem arbejdsfelt, omgivende felt og baggrundsområde, dels for at imødegå BR15' skærpede krav til bygningers energiramme, har Danmark udarbejdet et dansk Nationalt Anneks (DS/EN12464-1 DK NA).

Oversigt over nationale valg

Nedenstående oversigt viser de steder, hvor der er truffet nationale valg, der afviger fra DS/EN 12464-1.

Punkt	Emne	Nationalt valg
4.3.3	Belysningsstyrker på arbejdsfeltet	Nationalt valg
5.3	Belysningskrav til indendørs områder, opgaver og aktiviteter	
5.3 tabel 5.3	Tabel 5.3 – Almenområder i bygninger – Kontrolrum	Nationalt valg
5.3 tabel 5.26	Tabel 5.26 – Kontorer	Nationalt valg
5.3 tabel 5.27	Tabel 5.27 – Butikker	Nationalt valg
5.3 tabel 5.29	Tabel 5.29 – Offentlige områder – Restauranter og hoteller	Nationalt valg
5.3 tabel 5.31	Tabel 5.31 – Offentlige områder – Messer, udstillingssteder	Nationalt valg
5.3 tabel 5.33	Tabel 5.33 – Offentlige områder – Biblioteker	Nationalt valg
5.3 tabel 5.36	Tabel 5.36 – Uddannelseslokaler – Uddannelsesbygninger	Nationalt valg

Nedenfor sammenholdes DK NA med DS/EN12464-1:2015

4.3.3 Arbejdsfeltets belysning

DK NA erstatter teksten i DS/EN12464:

”For arbejdspladser, hvor arbejdsfeltets størrelse og/eller placering er ukendt:

- Opfattes enten hele feltet som arbejdsfelt eller
- Hele feltet er regelmæssigt ($U_0 \geq 0,40$) belyst på et belysningsniveau angivet af designeren; hvis arbejdsfeltet bliver kendt, skal belysningsprojekteringen ændres for at sikre de påkrævede belysningsstyrker.

Hvis arbejdsopgavens art ikke er kendt, må designeren opstille nogle forudsætninger om de sandsynlige opgaver og angive opgavekravene”

med teksten:

”For arbejdspladser, hvor arbejdsfeltets størrelse og/eller placering er ukendt gælder en af følgende muligheder:

- *Alternativ A: Belysningen projekteres under forudsætning af, at hele feltet kan betragtes som arbejdsfelt, og der etableres lysstyring, der sikrer, at det efterfølgende er muligt at dæmpe belysningen til det krævede niveau for det omgivende felt.*
- *Alternativ B: Området projekteres med en belysning i overensstemmelse med krav til arbejdspladsens omgivende felt i kapitel 5 og 4.3.4. tabel 1, og bygherre gøres bekendt med, at der skal etableres supplerende arbejdspladsbelysning ved de enkelte arbejdspladser.*
- *Alternativ C: Hele feltet belyses er regelmæssigt ($U_0 \geq 0,40$) med et belysningsniveau angivet af designeren. Hvis arbejdsfeltet bliver kendt, skal belysningsprojekteringen ændres for at sikre de pågældende belysningsstyrker.*
- *Alternativ D: Hvis arbejdsopgavens art ikke er kendt, må lysdesigneren opstille nogle forudsætninger om de sandsynlige opgaver og angive opgavekravene ud fra anvisningerne i kapitel 4 og 5.”*

5.3 Belysningskrav til indendørsområder, opgaver og aktiviteter

De områder, opgaver eller aktiviteter hvor dansk nationalt anneks DK NA anfører andre krav end DS/EN12464 anføres nedenfor. For øvrige områder, opgaver og aktiviteter henvises til DS/EN12464-1:2015, dog angives samlede krav vedr. kontorområder, opgaver og aktiviteter.

Værdier og tekst med *blå kursiv* og *fed* skrift angiver krav iht. DK NA

Områder, opgaver eller aktiviteter hvor DK NA anfører andre krav end DS/EN12464

Ref.nr.	Type område, opgaver eller aktiviteter	$\bar{E}_m [Lx]$	UGR_L	U_0	R_a	Specifikke krav
NA 5.3.2	Telex, postrum, omstilling	200	19	0,60	80	
DS/EN 5.3.2	Telex, postrum, omstilling	500	19	0,60	80	
NA 5.26.1	Arkivering, kopiering mv.	200	19	0,60	80	
DS/EN 5.26.1	Arkivering, kopiering mv.	300	19	0,40	80	
NA 5.26.5	Konference- og mødelokaler	200	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres
DS/EN 5.26.5	Konference- og mødelokaler	500	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres
NA 5.27.1	Salgsområde	Valgfrit	Valgfrit	Valgfrit	80	Belysningsstyrken og jævnhed afhænger af vareart og butikens størrelse. Vejledende kan være de belysningsstyrker, der er anført under kontrolfunktionen ved fremstilling af den pågældende vare
DS/EN 5.27.1	Salgsområde	300	22	0,40	80	
NA 5.29.6	Konferencerum	200	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres
DS/EN 5.29.6	Konferencerum	500	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres
NA 5.31.1	Almen belysning	200	22	0,40	80	
DS/EN 5.31.1	Almen belysning	300	22	0,40	80	
NA 5.33.2	Læseområde	200	19	0,70	80	
DS/EN 5.33.2	Læseområde	500	19	0,60	80	
NA 5.36.2	Klasselokaler til aften- eller voksenundervisning	300	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres op til 500lx
DS/EN 5.36.2	Klasselokaler til aften- eller voksenundervisning	500	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres
NA 5.36.3	Auditorier, foredrags- og forelæsningsale	200	19	0,70	80	Belysningen bør kunne reguleres for at imødekomme forskellige A/V-behov. Foredragsholderen skal belyses med tilstrækkelig vertikal belysningsstyrke
DS/EN 5.36.3	Auditorier, foredrags- og forelæsningsale	500	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres for at imødekomme forskellige A/V-behov.
NA 5.36.22	Biblioteker: læseområder	200	19	0,70	80	
DS/EN 5.36.22	Biblioteker: læseområder	500	19	0,60	80	

Belysningskrav for kontorer

DS/EN12464 Tabel 5.26 med tilføjelse af DK NA krav

Ref.nr.	Type område, opgaver eller aktiviteter	\bar{E}_m [lx]	UGR_L	U_0	R_a	Specifikke krav
NA 5.26.1	Arkivering, kopiering mv.	200	19	0,40	80	
DS/EN 5.26.1	Arkivering, kopiering mv.	300	19	0,40	80	
DS/EN 5.26.2	Skrivning, tastning, læsning databehandling	500	19	0,60	80	Skærmarbejde, se 4.9
DS/EN 5.26.3	Teknisk tegning	750	19	0,70	80	
DS/EN 5.26.4	CAD-arbejdspladser	500	19	0,60	80	Skærmarbejde, se 4.9
NA 5.26.5	Konference- og mødelokaler	200	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres
DS/EN 5.26.5	Konference- og mødelokaler	500	19	0,60	80	Belysningen bør kunne reguleres
DS/EN 5.26.6	Receptionsområde	300	22	0,60	80	
DS/EN 5.26.7	Arkiver	200	25	0,40	80	

11.11. APPENDIX B

Funktionsafprøvning – BR15 (2017)

Trafik-, Bygnings- og Boligstyrelsen indførte d. 1. juli 2017 krav i bygningsreglementet (BR15) om funktions-afprøvning af bygningsinstallationer, herunder krav om funktionsafprøvning af belysningsanlæg.

Baggrunden for kravet er, 'at nybyggerier og større renoveringer ofte bliver afleveret med alvorlige fejl i de tekniske installationer. Dette kan føre til forringet indeklima og et energiforbrug der ligger væsentlige højere end forventet. Funktionsafprøvningen skal eftervise, om de antagelser, der blev anvendt ved pro-jekteringen af byggeriet og er anvendt i byggeansøgningen som grundlag for byggetilladelsen, er overholdt'. Dokumentation af resultatet af funktionsafprøvningen skal indsendes til kommunen, og opfyldelse af krav-ene er en forudsætning for at bygningen må tages i brug.

Kravet om funktionsafprøvning gælder ikke kun nybyggeri. Udføres ændringer, der er omfattet af bygge-reglementets bestemmelser, stilles krav om funktionsafprøvning. I 'Vejledning om funktionsafprøvning' udsendt af Trafik-, Bygnings- og Boligstyrelsen d. 23. juni 2017, gives en detaljeret gennemgang af hvordan det dokumenteres, at et belysningsanlæg overholder bygningsreglementets krav til:

- Belysningstyrke samt at
- Dagslysstyring, bevægelsesmeldere og zoneopdeling fungerer efter hensigten.

Relevante standarder og anvisninger i forbindelse med funktionsafprøvningen omfatter:

- DS/EN12464-1:2015
- DS/EN12464-1 DK NA:2015
- DS/EN12665 Lys og belysning – Grundlæggende begreber og kriterier til beskrivelse af krav til belysning
- SBI-anvisning 220, Lysstyring
- At-vejledning A.1.5-1, Vejledning om kunstig belysning på faste arbejdssteder (opdateret december 2016)

Vejledning om funktionsafprøvning

Belysningsstyrke

Formål med funktionsafprøvning af belysningsstyrke

Det skal eftervises, at det elektriske belysningsanlæg opfylder byggereglementets krav for belysningsstyrke, jf. DS/EN12464-1, *Lys og Belysning – Belysning ved arbejdspladser – Del 1: Indendørs arbejdspladser*.

For nogle arbejdspladser er kravene til belysningsstyrke yderligere specificeret i det nationale anneks DS/EN12464-1 DK NA.

De tekniske krav til belysningen skal kunne opfyldes i hele anlæggets levetid.

Forudsætninger for udførelse af funktionsafprøvning

Inden funktionsafprøvningen udføres skal følgende være opfyldt:

- Belysningsinstallationen er afsluttet og installeret med de projekterede lyskilder, armaturer og lysstyring. Nye lyskilder skal have overstået indbrændingstid (mindst 100timer).
- Midlertidig arbejdspladsbelysning anvendt under byggeriet skal være nedtaget eller slukket.
- Alle indvendige bygningsdele, f.eks. skillevægge, nedsænkede lofter, indvendige døre, er færdige og overfladerne færdigbehandlede. Der er ikke dagslysindfald under måleperioden fra vinduer, yderdøre med glas, ovenlys eller ovenlyskupler m.m. Målingen kan derfor med fordel udføres om natten.
- Evt. opsatte PC-skærme er slukkede under måling på kontorarbejdspladser og lign.
- For at sikre konstant lysudsendelse fra lyskilderne, bør belysningen være tændt mindst 1 time, før belysningsstyrkemålingerne påbegyndes.

Målepunkter

Som målepunkter udvælges et grid, der dækker mindst 25% repræsentative arbejdspladser (dog mindst svarende til en arbejdsplads) og enkelte typiske målepunkter i områder med normal færdsel, f.eks. gange og trapper. Antallet af målepunkter i et grid kan bestemmes ved brug af tabel A.1 i DS/EN12464-1. Hvis afprøvningen påviser fejl, øges omfanget af repræsentative arbejdspladser til 100%.

Hvis arbejdspladserne endnu ikke er indrettet inden funktionsafprøvningen må der antages arbejdspladszoner m.m. Antagelserne skal beskrives i dokumentationen for funktionsafprøvningen. Måling af belysningsstyrken kan f.eks. foretages med et kalibreret luxmeter og udføres, jf. DS/EN12464-1, kap.6.

Acceptkriterium

Funktionsafprøvningens resultater kan accepteres, hvis det konstateres, at alle målte middelbelysningsstyrker mindst opfylder kravet til belysningsstyrker i DS/EN12464-1 eller DS/EN DK NA.

Der kan accepteres en afvigelse på 10% grundet usikkerhed ved måling af belysningsstyrken.

Dokumentation

Der udarbejdes en funktionsafprøvningsrapport, der beskriver.

- Hvilke forudsætninger og forhold målingen er udført under
- Målepunkter
- Måleapparat der er anvendt samt hvor og hvornår dette sidst blev kalibreret
- De opnåede måleresultater
- Det samlede resultat
- Oplysninger om, hvem der har udført funktionsafprøvning

Styring af elektriske belysningsanlæg

Det er et krav i bygningsreglementet, at arbejdsrum m.v. og fælles adgangsveje skal forsynes med energieffektiv belysning, hvilket blandt andet opnås ved effektiv lysterstyring. Hvis der ertilstrækkeligt

dagslys skal arbejdsrum m.v. og fælles adgangsveje forsynes med automatisk dagslysstyring. Ligeledes er det et krav, at arbejdsrum og fælles adgangsveje, der kun benyttes lejlighedsvis skal forsynes med bevægelsesmeldere. Endeligt er der krav til, at arbejdsrum m.v. skal opdeles i zoner med højt dagslysniveau eller zoner, der ikke er i brug.

Formålet med afprøvninger er at eftervise, at lysstyringen i praksis mindst svarer til den forudsætning, der blev anvendt i energibehovsberegningen, der dokumenterer bygningens overholdelse af bygningsreglementets krav, jf. kap. 7, energiforbrug.

Definition af lysstyring

Lysstyring omfatter i denne sammenhæng automatisk dagslysstyring, bevægelsesmeldere og zoneopdeling af belyningsanlægget.

Forudsætninger for udførelsen af funktionsafprøvning

Inden funktionsafprøvningen udføres skal følgende være opfyldt:

- Bygningsinstallationen er afsluttet og installeret med de projekterede lyskilder, armaturer og lysstyring.
- Automatiske lysstyringer, f.eks. dagslysstyring og bevægelsesmeldere, er indreguleret og i drift.
- Der er indhentet dokumentation for indregulering af belyningsanlæggets setpunkter, zoneopdeling og evt. beskrivelse af kontinuerlig regulering.
- Hvis der anvendes bevægelsesmeldere, dagslyssensorer eller kombimeldere, er der indhentet dokumentation i form af beskrivelser eller tegninger, der forklarer, hvor disse er placeret og hvilke arealer, de dækker.
- Hvis der anvendes automatisk styret solafskærmning, er der indhentet dokumentation for setpunkter og indreguleringsparametre, f.eks. solintensitet og eventuelt vindfølsomhed.

Målepunkter

Som målepunkter udvælges mindst 25% repræsentative zoner (dog mindst svarende til en arbejdsplads) og enkelte typiske målesteder i områder med normal færdsel, f.eks. gange og trapper. Hvis afprøvningen påviser fejl, æges omfanget af repræsentative zoner til 100%.

Dagslysstyring

Kontrol af dagslysstyringen foregår af flere omgange for at dække perioder med lavt og højt dagslysniveau. Afprøvning ved 'tusmørke' kan eventuelt ske med helt lukkede solafskærmning, gardiner trukket for eller lignende.

Kontrol af lysføler/sensor ved måling af belyningsstyrke, E, i de tilfælde hvor det er relevant:

- Målt E_{min} for lokale/zone svarer til en given indstillingsværdi
- Målt E_{max} for lokale/zone svarer til en given indstillingsværdi

- Almenbelysning tænder automatisk, når belysningsstyrken er under E_{min} for lokale/zone, og der er konstateret persontilstedeværelse, hvis der anvendes bevægelsesmelder
- Reguleringen fungerer, jf. dokumentationen – konstateres f.eks. ved at trække gardiner for eller lukke solafskærmning
- Solafskærmning aktiveres, når belysningsstyrken er over E_{max} for lokale/zone
- Almenbelysning slukker automatisk ved konstateret personfravær efter t_{sluk} minutter for kontorlokale.

Hvis der anvendes styring med kontinuerlig regulering af belysningen, skal det eftervises at styringen fungerer efter hensigten og som beskrevet i dokumentationen.

Hvis der anvendes styring af belysningen efter et målt udendørs lysniveau, skal der foretages parallelle målinger af indendørs og udendørs lysniveau, der efterviser, at styringen fungerer efter hensigten, og som beskrevet i dokumentationen for lysstyringen.

Det afprøves, at belysningen ikke tændes, hvis det udendørs lysniveau er over en indstillet grænseværdi, som er indstillet for zonen i lysstyringssystem. Hvis det udendørs lysniveau er under denne grænseværdi, skal styringen justere belysningsniveauet indenfor.

Bevægelsesmeldere

For bevægelsesmeldere udføres der en manuel afprøvning, der efterviser, at bevægelsesmelderen reagerer effektivt med hensyn til at reducere driftstiden for belysningsanlægget og er i overensstemmelse med forudsætningerne i byggeansøgningen. Følgende afprøves og registreres:

- Lyset tænder umiddelbart, når personen går ind i rummet
- Lyset slukkes efter t_{sluk} minutter
- Målt tidsforsinkelse (holdetid) t_{sluk} svarer til indstillingsværdi
- Sensorplacering og følsomhed er tilstrækkelig til ikke at slukke almenbelysning ved stillesiddende/ arbejdende person.

Zoneopdeling

Der udføres en manuel afprøvning af om zoneopdelingen for belysningsanlægget er udført iht. Byggeandragende. Følgende afprøves og registreres:

- Belysningen dæmpes mest i zoner med meget dagslys og mindre i zoner med mindre dagslys
- Ved maksimal dæmpning opfyldes kravene til belysningsstyrke.

Acceptkriterium

Funktionsafprøvningens resultat for lysstyringen kan accepteres, hvis det konstateres, at den anvendte lysstyring reagerer i fuld overensstemmelse med dokumentationen anvendte til byggeandragende. Afvigelser i forhold til byggeandragender, som ikke medfører et øget elforbrug

til belysningsanlægget, kan dog accepteres så længe minimumsværdier ifølge EN12464 er overholdt.

Dokumentation

Der udarbejdes en funktionsafprøvningsrapport, der beskriver:

- Hvilke forudsætninger og forhold målingen er udført under
- Målepunkter
- Måleapparatur der er anvendt samt hvor og hvornår dette sidst blev kalibreret
- De opnåede måleresultater
- Konklusion af funktionsafprøvning
- Oplysninger om hvem, der har udført funktionsafprøvning.