



Udskrift fra WWW.LYSVIDEN.DK

Dette materiale stammer fra www.lysviden.dk, som indeholder viden om lys og belysning. Materialet må kun anvendes til undervisningsbrug.

Lysviden.dk er udarbejdet af Dansk Center for Lys, Arkitektskolen Århus, Designskolen Kolding i samarbejde med DTU Byg og Kunstakademiets Arkitektskole

Projektet er støttet af Sophus Fonden, Center for Energibesparelser, Velux Danmark A/S og Realdania

INTRODUKTION

Beregning, måling og vurdering af lys og belysning omfatter dagslys, elektriske lyskilder, armaturer og hele belysningsanlæg både ude og inde.

Kvantitets- og kvalitetsmålinger af lys er nødvendige af flere årsager:

- [Lyskilder](#) og [armaturer](#) lysmåles for at disse kan indgå i planlægning, visualisering og vurdering af belysningsløsninger, herunder forhold omkring [energi](#)
- Dagslys kan måles for at vurdere indvirkningen dels af [det synlige lys](#) i et rum, og dels af [varmestrålingen](#)
- Kunstlys i rum inde og ude kan måles for at vurdere om lysets fordeling, mængde og [kvalitet](#) er som ønsket, og eventuelt opfylder lovkrav

De følgende afsnit handler om metoder og instrumenter til målinger af synligt lys, og metoder og software til beregning, måling og vurdering af dagslys i rum samt kunstlysinstallationer inde og ude.

INTRODUKTION

Lysberegninger er en central del af professionelt lysdesign og lysplanlægning. Nogle beregninger kan foretages i hånden eller ved brug af tommelfingerregler, men det bedste resultat opnås med computerberegningsprogrammer.

Der knytter sig forskellige beregningsmetoder til beregning af [kunstlys](#) og [dagslys](#), ude og inde. Beregningerne benyttes til at simulere, hvordan en belysningssituation eller et dagslysindfald vil fungere i praksis.

SIMULERING AF ARMATURER I FORBINDELSE MED PRODUKTUDVIKLING

Mange armaturer er udviklet og optimeret til at opfylde lovmæssige krav til belysningsstyrker, blænding mv.

Når lyset fra en lyskilde skal fungere i et professionelt [belysningsarmatur](#), er det vigtigt i forbindelse med produktudviklingen at kunne forudsige og optimere de optiske deles funktion. Med de optiske dele menes overflader i eller på armaturet, som rammes eller gennemstråles af lys. Dette gælder [reflektorer](#) og [afskærmninger](#), dvs. refraktorer, diffusere, frontglas og absorbere.

F.eks. skal [vejbelysningsarmaturer](#) udsende lys i ganske bestemte retninger og mængder, og måske også afskærme lyset, så det ikke generer mennesker i bygninger nær ved armaturerne. Sådanne armaturer optimeres til at opfylde [vejbelysningsreglerne](#), som indeholder bestemmelser for lysets fordeling, styrke og [blændingsforhold](#) mv. betinget af trafikforhold.

På samme måde bliver professionelle belysningsarmaturer til indendørs brug optimeret mod krav som f.eks. [DS/EN 12464-1](#), således at arbejdspladser, skoler, institutioner mv. kan belyses så effektivt og komfortabelt som muligt.

I forbindelse med udviklingen af et armatur modeleres de optiske dele i armaturet typisk i simuleringsprogrammer som OptisWorks, Photopia, TracePro og ProSource.

BEREGNING AF DAGSLYS INDENDØRS

Beregning af dagslys indendørs er vanskeligt på grund af dagslysets variable natur. Derfor tager en række praktiske beregningsmetoder udgangspunkt i forenklinger, f.eks. at himlen forudsættes konstant overskyet.

[Luminansen](#) fra den virkelige himmel varierer både over året og over dagen, og er afhængig af skydække og solhøjde samt den geografiske placering på jorden.

Himmeltyper

For bedre at kunne beregne [dagslysets](#) fordeling gennem [dagslysåbninger](#) har CIE standardiseret lysfordelingen fra himlen i forskellige modeller, som er defineret afhængig af solhøjden, selv når solen er skjult.

- Den klare himmel, som har mindre end 30 % skydække.
- Den delvist overskyede himmel, som har et moderat/tyndt skydække, 30-70 %. Denne himmeltype forekommer oftere end den klare himmel og den jævnt overskyede himmel, der begge beskriver ekstreme vejsituationer.
- Den overskyede himmel (CIE overskyet himmel), som har minimum 70 % skydække, og hvor forholdet mellem luminansen i zenit og luminansen ved horisonten er 1:3. For den CIE overskyede himmel er luminansen defineret ud fra formlen:

$$L_{\theta} = L_z \left(\frac{1 + 2 \sin \theta}{3} \right)$$

hvor

L_{θ} er himmelluminansen ved højdevinkel θ , [cd/m^2], og

L_z er luminansen i zenit. Ligningen viser, at luminansen er højest i zenit og falder til 1/3 ved horisonten. Formlen viser, at luminansen er uafhængig af solens position, og lyset inde i bygningen derfor er uafhængigt af vinduernes orientering. Dette gælder selvfølgelig kun for den 100 % overskyede himmel.

- Den jævnt overskyede himmel, som har 100 % skydække, og som beskriver en himmel, der har konstant luminans over hele hemisfæren. Denne himmeltype blev oprindeligt udviklet til at beskrive ekstremt overskyede vejsituationer, men erfaringer har efterfølgende vist, at der i overskyet vejr vil være en graduering i luminansniveauet fra horisonten til zenit, hvorfor en jævnt overskyet himmel ikke længere benyttes til at beskrive aktuelle vejrforhold.

Den jævnt overskyede himmel har en ensartet luminans i alle punkter, mens den overskyede CIE-himmel har størst luminans, hvor solen står højest på himlen

Dagslysfaktoren

Dagslysfaktoren er et forholdstal for dagslysets bidrag til belysningen i et lille område i et givet lokale. Dagslysfaktoren (forkortes DF) angiver, hvor stor en andel af dagslyset, som vil nå et bestemt punkt på et plan i et rum, f.eks. på et arbejdsbord.

Dagslysfaktoren, og dermed dagslysets bidrag til [belysningsstyrken](#) i et lokale, aftager jo længere væk man kommer fra vinduet. Hvor stor en del af en bygning, der kan belyses af dagslys, afhænger især af bygningens form, orientering og dybde.

Dagslysfaktoren er defineret som:

$$DF = \frac{E_i}{E_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

hvor

E_i = dagslysbelysningsstyrken indendørs på arbejdsplanet, og

E_0 = den samtidige udendørs dagslysbelysningsstyrke på et vandret plan fra en uhindret halvkugle af overskyet himmel.

Der er tre mulige veje, ad hvilke lyset kan nå et punkt inde i et rum gennem vinduer:

- lys fra den del af den overskyede himmel, som er synlig fra det betragtede punkt -

- himmelkomponenten (SC)
- lys reflekteret fra modstående ydre overflader, f.eks. en husmur - ekstern refleksion (ERC)
- lys reflekteret fra andre flader inde i rummet, f.eks. vægge eller møbler (IRC)

Dagslysfaktoren er summen af disse tre komponenter.

Bemærk, at dagslysfaktoren ikke tager hensyn til direkte sollys, lokale klimaforhold, vinduesåbningernes orientering eller bevægelige skyggeanordninger.

Dagslysberegninger

Der findes en række beregningsmetoder, hvorved et givet rums dagslysfaktorfordeling kan forudsiges.

Himmelkomponenten (SC) og den eksterne refleksion (ERC) kan ud fra tegninger af rummet og de udvendige omgivelser forudsiges med håndkraft vha. den såkaldte "skabelonmetode", som er beskrevet her: <http://www.sbi.dk/indeklima/lys/anvisning-beregning-af-dagslys-i-bygninger/eksempel-bestemmelse-af-dagslysfaktoren-i-et-sidebelyst-rum>.

Den sidste komponent (IRC) kan kun forudsiges med computermodeller.

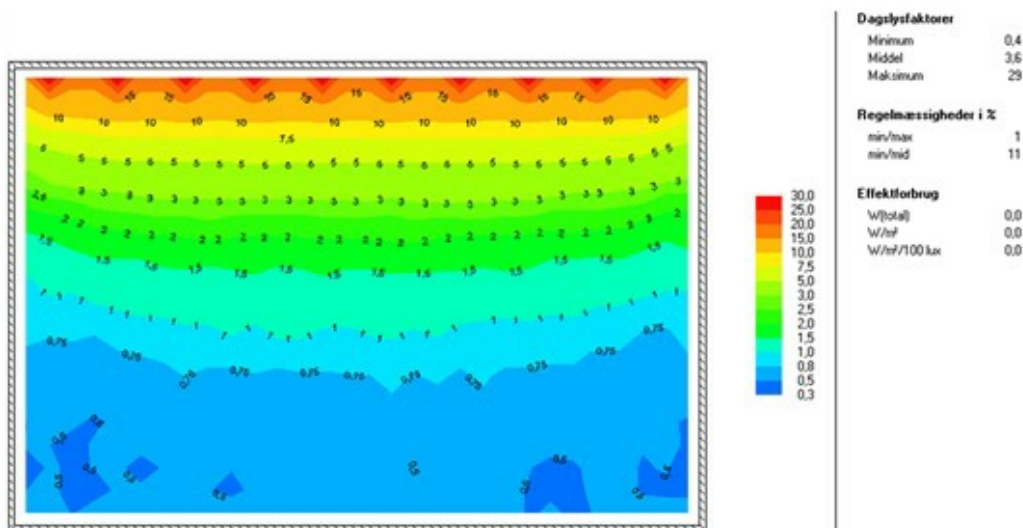
Dagslysberegninger med skabelonmetoden giver en værdifuld første vurdering af dagslysfaktorfordelingen. I de fleste tilfælde vil det imidlertid være nødvendigt allerede tidligt i bygningsplanlægningen også at foretage mere detaljerede, dynamiske computersimuleringer.

Til beregning af dagslysets fordeling i bygninger findes en lang række forskellige programmer. Fælles for disse er, at de kan tage hensyn til forskellige himmeltyper, årstider, tidspunkter på dagen samt breddegrad, og dynamisk illustrere dagslyset i bygninger på en måde, som giver mening for bl.a. arkitekter og lysdesignere.

Herudover kan programmer udføre en række beregninger, og dermed forudsige dagslysets styrke og luminansforhold under forskellige indstrålingsforhold, luminansfordelinger samt beregne dagslysfaktorer. Her er nævnt et udpluk af de mest anvendte programmer:

- Velux Daylight Visualizer (gratis)
- Radiance (University of California)
- Relux (hovedparten gratis)
- SimLight (en del af BSim)
- Daysim NRC Canada
- FABALight (undervisningsversion og demoversion er gratis) - FABALight er den danske elbranches uafhængige program til belysningsberegning, som afspejler gældende lovgivning og normer.

De tre først programmer på listen kan beregne både dagslys og [kunstlys](#), mens de sidste tre alene kan anvendes til beregning af dagslys.



Eksempel på beregning af dagslysfaktorfordelingen vha. FABALight. Det ses at der er mest lys ved vindueszonen og mindst i den zone, der ligger længst fra vinduerne. Man kan også se, at der i dette eksempel kun er en dagslysfaktor på 2 % eller derover i 1/3 af lokalet.

Modeller og mock-ups

Skal man have flere oplysninger om, hvorledes dagslyset falder ind i en kompleks bygning anvendes ofte skalamodeller eller mock-ups, dvs. modeller opbygget i 1:1. Disse modeller kan understøtte et dagslydsdesign ved at give visuelle oplevelser af, hvorledes dagslyset bevæger sig i takt med at solen og skydækket ændrer sig. Samtidig kan en mock-up give værdifulde oplysninger om, hvor langt dagslyset trænger ind i en bygning, ligesom forhold vedr. [blænding](#) og gener fra direkte sollys kan vurderes.

Kunstakademiets Arkitektskole i København har desuden et dagslyslaboratorium, som er et rum beklædt med spejle og med en kunstig sol, også kaldet en heliodon. Heliodonen gør det muligt at se, hvordan solen lyser og skaber parallelle skygger på forskellige tider af dagen og året. Heliodonen kan desuden indstilles, så man kan studere lyset fra solen på jordens forskellige breddegrader. Spejlrummet udgør en lysende himmel, og spreder lyset diffust ligesom en CIE standard himmel. I dagslyslaboratoriet kan man undersøge lysindfaldet i modelskala.

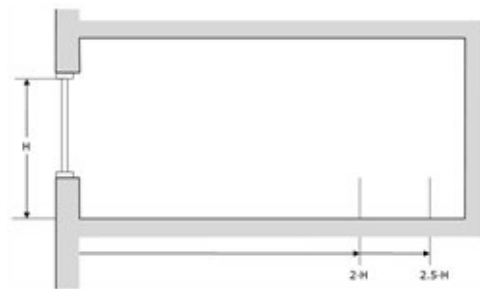
Estimering og tommelfingerregler

Når der er tale om dybe rum, er den gennemsnitlige dagslysfaktor en dårlig repræsentation af dagslysniveauet, da dagslysmængden er meget høj nær vinduet og meget lav længere inde og bagest i rummet. Dagslysfaldet i et rum varierer med vinduernes højde, men afhænger også af, om der er monteret udhæng, markiser eller lignende, som afskærmer dagslyset.

Hvis der ikke er monteret en fast afskærmning i vinduesåbningen, kan man som tommelfingerregel sige, at dagslysets indtrængning i rummet svarer til ca. 2½ gange afstanden mellem gulvet og vinduesåbningens øverste kant.

Hvis der derimod er monteret fast udhæng eller lign. i vinduesåbningen, skal afstanden på 2½ gange afstanden mellem gulvet og vinduesåbningens øverste kant måles allerede fra det sted hvor udhænget og dermed afskærmningen starter, hvilket betyder, at dagslyset ikke trænger nær så langt ind i rummet.

Længere inde end denne indtrængningsdybde må man forvente at skulle supplere dagslyset med kunstlys.



Figuren viser dagslysets omtrentlige indtrængningsdybde. Midlertidig figur - kommer i bedre opløsning.

Det er også muligt at beregne et omtrentligt mål for den rette størrelse på vinduets glasareal:

$$A_{\text{Glas}} = \frac{DF \cdot 2A_{\text{total}}(1 - R_{\text{gns}})}{\tau \cdot \theta}$$

hvor:

DF = Dagslysfaktoren

A_{total} = Rummets total areal

R_{gns} = Interiørets gennemsnitlige reflektans

T = Vinduesglassets [lystransmittans](#)

θ = Vinklen mellem [himmelgrænseplanet](#) og lodret.

BEREGNING AF KUNSTLYS INDENDØRS

Beregning af kunstlys indendørs tjener til at sikre, at kunstlyset er tilstrækkeligt og har den rette komfort for brugerne, inden belysningsarmaturerne sættes op. Det er desuden vigtigt, at løsningen bliver optimal både energimæssigt og økonomisk.

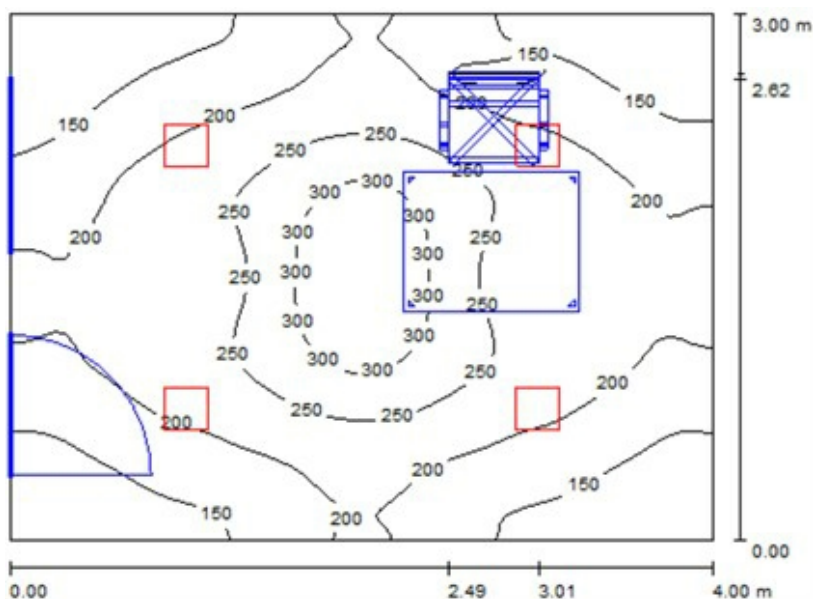
Beregningsprogrammer er komplicerede, fordi de ikke alene skal tage højde for rummets geometri, men også rummets og eventuelt inventarets overflader og [reflektans](#). Desuden skal beregningsprogrammerne kunne indlæse de lysmålingsfiler (output af [spejlgoniometermålinger](#)), som hører til de belysningsarmaturer, man gerne vil anvende.

Mange beregningsprogrammer kan indlæse rumgeometrier fra forskellige CAD-programmer, og armaturernes lysmålingsfiler kan findes online.

Programmerne kan til en vis grad selv foreslå armaturfordeling og -tæthed ud fra oplysninger om ønsker til gennemsnitlig [belysningsstyrke](#), og disse ønsker kan så tilpasses reglerne i [DSEN 12464-4](#) og andre standarder.

Outputtet af lysberegningen er en rapport, som ofte indeholder:

- Projektbeskrivelse
- Liste over anvendte armaturer og deres data
- Overblik over belysningsplan, dvs. rumgeometri samt hvilke armaturer, der er anvendt hvor
- ISO-luxkurver på gulv og eventuelle arbejdsplaner
- Beregning af belysningsstyrker, regelmæssighedstal og energiforbrug pr kvadratmeter. Regelmæssighedstallet beregnes efter E_{min}/E_m , som er den mindste beregnede belysningsstyrke på gulvfladen delt med gennemsnittet
- Eventuelt beregning af blændingstal, dvs. maks- og middelblændingstal. Kravene i DS/EN 12464-1 kan imødekommes med tabelmetoden.
- Diverse visualiseringer af belysningen (evt. som "false colour")



Demonstrationsprojekt beregnet i Dialux: Miljø med skrivebord, stol og 4 downlights i et symmetrisk ophæng.

Samlet lysstrøm:	3704 lm				
Samlet effekt:	80.0 W				
Vedligeholdelsesfaktor:	0.85				
Randområde:	0.000 m				
Flade	Middelbelysningsstyrke [lx]			Reflektans [%]	Middellystæthed [cd/m ²]
	direkte	indirekte	Samlet		
Belysningsstyrke	170	35	205	/	/
Gulv	109	34	143	20	9.11
Loft	0.00	35	35	70	7.86
Væg 1	45	33	78	50	12
Væg 2	39	34	73	50	12
Væg 3	44	32	76	50	12
Væg 4	30	33	63	50	10
Regelmæssighed					
E_{min} / E_{avr} :	0.577 (1:2)				
E_{min} / E_{max} :	0.341 (1:3)				
Specifik tilsluttet effekt: 6.67 W/m ² = 3.26 W/m ² /100 lx (Grundflade: 12.00 m ²)					

Uddrag af Dialux rapport for demonstrationsprojekt.



Visualisering fra Dialux rapport for demonstrationsprojekt.

Til beregning af [dagslys](#) og [kunstlys](#) i bygninger findes en lang række forskellige programmer. Her er nævnt et udpluk af de mest anvendte programmer:

- FABA Light (undervisningsversion og demoversion er gratis) - FABA Light er den danske elbranches uafhængige program til belysningsberegning, som afspejler gældende lovgivning og normer.
- Radiance (University of California)
- Relux (hovedparten gratis)
- Dialux (gratis)

Minimum belysningsstyrke og regelmæssighed

DS/EN 12464-1 stiller krav til minimum belysningsstyrke i arbejdsrum. Af standarden fremgår det, hvilke belysningsstyrker der er nødvendige på forskellige arbejdspladser. Kravene i DS/EN 12464-1 er minimumskrav. Af hensyn til den praktiske udformning, drift og [vedligeholdelse](#) af et belysningsanlæg, kan det dog accepteres, at belysningsstyrken er op til 25 % lavere i enkelte punkter.

DS/EN 12464-1 stiller også krav til belysningens regelmæssighed. Indenfor de enkelte belysningszoner, dvs. et arbejdsfelt, en zone omkring arbejdsfeltet eller et færdselsareal, kræves en regelmæssighed på 20 % til 70 %. Regelmæssigheden beregnes som forholdet mellem den mindste og den største belysningsstyrken indenfor arbejdsfeltet eller zonen.

BEREGNING AF KUNSTLYS UDENDØRS

Beregning af kunstlys udendørs skal sikre, at kunstlyset er tilstrækkeligt og har den rette komfort for brugerne, inden belysningsarmaturerne sættes op. Det er desuden vigtigt, at løsningen bliver optimal både energimæssigt og økonomisk.

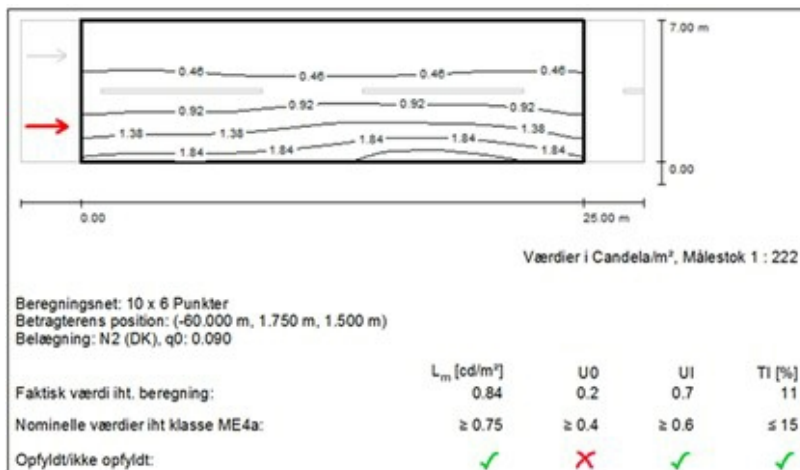
Beregningsprogrammer er komplicerede, fordi de ikke alene skal tage højde for vejens eller byrummets geometri, men også for [reflektanser](#) af eventuelle bygningers overflader. Desuden skal beregningsprogrammerne kunne indlæse de lysmålingsfiler (output af spejlgoniometermålinger), som hører til de belysningsarmaturer, man gerne vil anvende.

Mange beregningsprogrammer kan indlæse gade- og bygningsgeometrier fra forskellige CAD-programmer, og armaturernes lysmålingsfiler kan findes online.

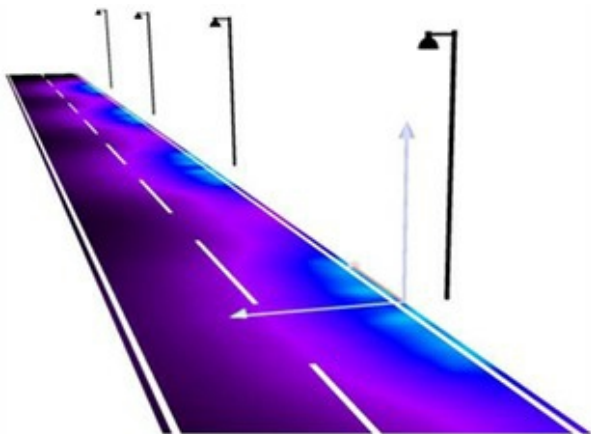
Programmerne kan til en vis grad selv foreslå armaturfordeling og -tæthed ud fra oplysninger om ønsker til gennemsnitlig [belysningsstyrke](#), [vejbelysningsreglernes belysningsklasser](#) og andre relevante standarder.

Outputet af lysberegningen er en rapport, som ofte indeholder:

- Projektbeskrivelse
- Liste over anvendte armaturer og deres data
- Overblik over belysningsplan (geometri for vej, gade, plads eller lignende samt hvilke armaturer, som er anvendt hvor)
- ISO-luxkurver på grundfladen. Beregning af belysningsstyrker og regelmæssighedstal (U0 og U1). Der er to krav til vejbelysningens regelmæssighed (på engelsk kaldet uniformity), nemlig langsgående regelmæssighed U1, og total regelmæssighed U0. U1 er lig med L_{min}/L_{max} , hvor L er de beregnede belysningsstyrker. I det viste eksempel er der en udmærket regelmæssighed på langs, mens lyset ikke er fordelt tilstrækkelig godt på tværs af vejen.
- Diverse visualiseringer af belysningen, evt. som "false colour", som vist i figuren (ved en false colour rendering illustreres belysningsstyrken med "unaturlige" farver - man kan selv knytte specifikke belysningsstyrkeniveauer til hver farve)



Demonstrationsprojekt beregnet i Dialux: Vej (bredde 7 m) med lygter langs vejens ene side for hver 25 m. Lygternes lys kastes kraftigt ud i vejens længderetning, og svagt på tværs.



Demonstrationsprojekt visualiseret i Dialux.

Til beregning af [kunstlys](#) i udendørs områder findes en lang række forskellige programmer. Her er nævnt et udpluk af de mest anvendte programmer:

- Dialux (gratis)
- Relux (hovedparten gratis)
- FABA Light (undervisningsversion og demoversion er gratis) - FABA Light er den danske elbranches uafhængige program til belysningsberegning, som afspejler gældende lovgivning og normer.

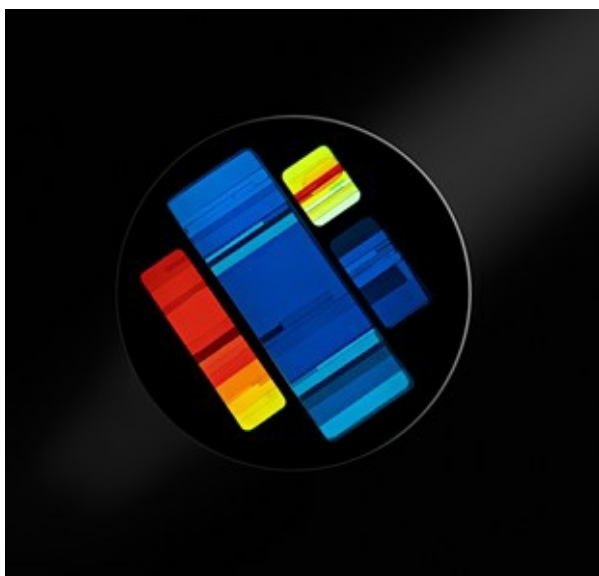
INTRODUKTION

Alle fotometriske målinger er baseret på fotodetektorer, dvs. flere typer enheder, der frembringer et elektrisk signal, når den udsættes for lys.

[Håndholdte lysmålere](#) med indbyggede fotosensorer anvendes til måling af lysmængde, som enten falder på et punkt eller reflekteres fra en flade.

Mere komplekse former for fotometrisk måling sker ved hjælp af [laboratorieudstyr](#) rundt omkring i belysningsindustrien.

Fælles for gængse belysningsmålinger er, at instrumenterne er indrettet til alene at måle [synligt lys](#), altså lys med bølgelængder fra ca. 400 til 780 nm, som kan registreres af [det menneskelige øje](#). Næsten alle [lyskilder](#) udsender også stråling uden for dette interval i form af infrarødt eller ultraviolet lys. Instrumenterne er derfor indrettet til at korrigere for det menneskelige øjes evne til at registrere de enkelte bølgelængder i det synlige område, dvs. efter den såkaldte [V\(λ\)-kurve](#).



Front på belysningsstyrkesensor med farvede glasstykker, som korrigerer sensorens måling, så den svarer til det menneskelige øjes opfattelsesevne. Foto: LMT.

Som det gælder for andre måleinstrumenter er jævnlig kalibrering et vigtigt grundlag for præcise målinger. Selv med optimalt og velkalibreret udstyr er en usikkerhed på mindst 1-2 % almindeligt. Professionelle målinger bør derfor altid ske med kalibrerede måleinstrumenter.

HÅNDHOLDTE LYSMÅLERE

Der findes flere typer håndholdte instrumenter til måling af belysningsstyrke, luminans og farveegenskaber.

Det mest anvendes måleinstrument til feltmåling af lys er et luxmeter, der, som navnet antyder, måler [belysningsstyrker](#). Derudover kan [luminanser](#) måles med et luminansmeter og [farveegenskaber](#) med et kromameter.

Luxmeter

Det håndholdte luxmeter indeholder en lysfølsom celle, som i nogle tilfælde er monteret på en separat holder. Måleresultatet aflæses på instrumentets skala eller display. Når luxmeterets fotocelle placeres i et givet punkt på en belyst flade, kan man aflæse punktets belysningsstyrke. Luxmeteret er det mest benyttede måleinstrument inden for det belysningstekniske område.



Luxmeter med separat føler. Foto: LMT.

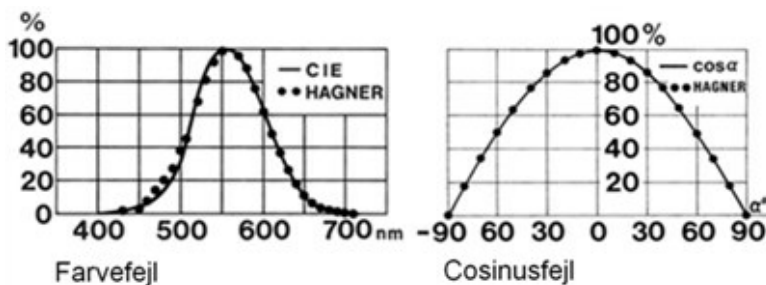
Mange luxmetre kan indstilles til enten at måle de øjeblikkelige belysningsstyrkeværdier i enheden [lux](#), eller til at måle kontinuert over et bestemt tidsrum, hvorved man kan bestemme gennemsnitsværdi, maksimum og minimum. Dette kan være en fordel i forbindelse med dagslysmålinger, hvor lysindfaldet kan variere betydelig over tid.

I luxmeteret er målepunktet i princippet fotocellen (som i praksis er beskyttet af et diffust frontglas), som opsamler og udjævner inputtet fra et lidt større område

En måling med et luxmeter vil som regel være behæftet med et antal unøjagtigheder som følge af målefejl. De typiske målefejl kaldes vinkelfejl og farvefejl.

Farvefejl knytter sig til fotoelementets spektrale følsomhedskurve, som adskiller sig fra øjets. Derfor er det nødvendigt at foretage en farvekorrektion af fotoelementet, så det så vidt det er muligt, opnår samme spektrale følsomhed som øjet. Et eksempel på farvefejl er vist i figuren.

Ifølge [1. cosinuslov](#) er belysningsstyrken proportional med cosinus til lysets indfaldsvinkel. Ved skråt indfaldende lys på luxmeterets fotoelement bør luxmeteret registrere en belysningsstyrke, der er lig med belysningsstyrken ved vinkelret indfaldende lys gange cosinus til indfaldsvinklen. Forskellige typer luxmetre klarer dette mere eller mindre godt og man taler i den forbindelse om vinkel- eller cosinusfejl. Et eksempel på cosinusfejl er vist i figuren.



De to diagrammer viser eksempler på farvefejl og vinkel-/cosinusfejl.

Udover de nævnte målefejl kan fotocellen blive træt og give for lille en strøm. Trætheden afhænger af belysningsstyrken og hvor længe fotoelementet er udsat for denne, dvs. af lyseksposeringen. Trætheden kan give fejl på 5-10 % og kan afhjælpes ved opbevaring af fotoelementet i mørke.

Luminansmeter

Ligesom luxmeteret indeholder luminansmeteret en fotocelle. Luminansmeteret er indrettet således, at instrumentet kan udregne luminansen i enheden [cd/m²](#).

Luminansmeteret er gerne indrettet som en kikkert, som man sigter igennem i forbindelse med målingen, og hvor man også kan se målefeltets afgrænsning. Kikkerten kan f.eks. afgrænse målefeltet til en kegle med en åbning på 2°. Det betyder at man har styr på [lysstrømmen](#) (i lumen) pr. rumvinkel (i steradianer/ ω), og dette kan omregnes til luminansen i cd/m².



Luminansmeter. Foto: LMT.

Luminanskamera

Det er interessant at vide, hvordan brugerne af rum og omgivelser oplever det samlede luminansbillede i synsfeltet. Til det formål findes luminanskameraer eller såkaldte luminansfotometre, som fungerer ligesom de mere kendte infrarøde kameraer, men bare med et andet måleområde. Med et luminanskamera får man altså et billede af, hvordan øjet opfatter lysmængden, og ikke mindst kontraster i synsfeltet. I princippet kan et almindeligt digitalkamera, som jo også optager synligt lys, med en passende kalibrering og "false-colour"-billedbehandling bruges til luminansmåling.

Kromameter

Lysets farveegenskaber kan måles med et håndholdt kromameter eller spektrofotometer.

Outputtet kan gengives på mange måder:

- Det mest detaljerede output er en [spektralkurve](#), der præcist viser mængden af lys pr. bølglængde.
- Af spektralfordelingen kan tallene for lysets [farvegengivelse](#), dvs. CRI eller Ra-indeks beregnes.
- Farven i det hvide lys kan også repræsenteres ved farvekoordinater (x,y eller u',v') i [CIE's kromacitetsdiagram](#).
- Af disse koordinater kan lysets [farvetemperatur](#) CCT [K] beregnes.

Flere moderne, håndholdte instrumenter kombinerer overstående målinger med

belysningsstyrke i ét instrument.

LABORATORIEUDSTYR

Der findes mange forskellige typer laboratorieudstyr til måling af lys. Blandt andet findes instrumenter, som kan punktmåle på samme måde som de håndholdte, men med større nøjagtighed.

Generelt er man ikke så ofte interesseret i punktmålinger, men derimod i en kvantificering af hele lysudsendelsen i alle retninger, dvs. den samlede [lysmængde](#) og eventuelt også farveegenskaberne (spektralfordeling, farvetemperatur, farvegengivelse) fra en lyskilde. Dette kan måles i en integrerende målekugle, også kaldet en fotometerkugle.

Hvis man vil måle lysmængden, [lysfordelingen](#) eventuelt også farveegenskaberne som funktion af retningen, har man brug for et mekanisk arrangement, der gør, at man kan måle hele vejen rundt om et objekt, f.eks. en lyskilde. I praksis er man nødt til at vælge et antal målepunkter fordelt i et passende antal målevinkler og lodrette måleplaner. Et arrangement som dette kaldes et goniometer.

Lyskildens interne varmefordeling og egen evne til at afgive varme afhænger i de fleste tilfælde af orienteringen, og [lysudbyttet](#) er som oftest temperaturafhængigt. Derfor skal lyskilden i målesituationen monteres, så den vender sådan, som den skal fungere i brugssituationen. Desuden skal temperaturen omkring måleobjektet holdes konstant (konventionen siger på 25 °C) under hele målingen.

Lyskilden skal desuden være "[indbrændt](#)", det vil sige skal være indkørt driftsmæssigt, så en stabil lysudsendelse er opnået. Indbrændingstiden for en glødelampe er 1 time, og for [lysstofrør og kompaktlysrør](#), [damplamper](#) samt [LED](#) minimum 100 timer.

Instrumenternes indretning er specialiseret efter opgaven, og særligt måleobjektets størrelse. I det følgende nævnes to hovedtyper, integrerende målekugle og spejlgoniometer, men der findes flere varianter, som alle er forskellige mekaniske arrangementer, der hver især kan bestykes til at måle [lysstrøm](#) eller [spektralfordeling](#).

Integrerende målekugle

Lysstrømmen fra en (lille) lyskilde måles normalt i en integrerende målekugle også kaldet en Ulbricht Sphere, et sfærisk fotometer og på engelsk "integrating sphere".

En målekugle kan anvendes til at måle total lysstrøm i lumen og eventuelt også en lyskildes gennemsnitlige [farvetemperatur](#) og [farvegengivelse](#). Lyskilden eller armaturet monteres i centrum af kuglen. Kuglens inderside er bemalet, så den har en stærkt reflekterende, diffus, hvid overflade, således at lysstrømmen fordeles jævnt på hele kuglens inderside, og reflekteres mange gange.

Kuglen er forsynet med små åbninger eller porte, hvor måleudstyret kan indsættes. Kuglen kan bestykes med sensorer, som kan måle enten lysstrøm, spektralfordeling eller begge dele på én gang. Idéen er, at udlæsningen fra en enkelt sensor kan bruges til at beregne det totale lysstrøm, hvis lyset er helt jævnt fordelt.

Kalibreringen foregår ved at måle på en kendt lyskilde med et kendt lysstrøm. Hvis målekuglen skal anvendes til farvetemperaturmålinger, må den kalibreres med en lyskilde med kendt spektralfordeling.

Den integrerende målekugle har følgende begrænsninger:

- Den kan kun måle den totale lysstrøm og eventuelt gennemsnitlige farvetemperatur, så man får ingen information om lyskildens eller armaturets lysfordeling.
- Lyskildens eller armaturets udstrækning skal være "lille" i forhold til kuglens egen størrelse. Dette kræves for at begrænse absorptionen af lys i lyskildens eller armaturets egne overflader, som i princippet forstyrrer målingen. Mange lyskilder er tilnærmelsesvis punktformige, såsom [halogenpærer](#) og [LED](#), så de er lette at måle i en målekugle. Også relativt små armaturer kan måles på denne måde.

De største målekugler er omkring 3 m i diameter - de mindste ca. en halv meter.



En integrerende målekugle med en diameter på ca. 1½ m. Foto: LMT.

Spejlgoniometer

Når objektet er stort, skal måleafstanden også være stor. Et armatur, som f.eks. er 1,2 meter langt, skal helst måles på minimum 12-15 meters afstand, og ville kræve en målekugle så stor som Marmorkirkens kuppel.

Et spejlgoniometer (eller drejespejls-goniometer) løser dette ved at anbringe en fast målecelle i lang afstand fra objektet. Ved dels at dreje objektet om sin egen lodrette akse og dels at føre et stort spejlarrangement rundt om armaturet, kan lyset i de forskellige planer og vinkler bringes til at ramme målecellen.

Spejlgoniometeret er i stand til at måle [belysningsstyrken](#) og eventuelt og [spektralfordelingen](#) fra hver del af en lyskilde eller armatur. Der er tre hovedkomponenter i instrumentet:

- et roterende ophæng, hvorpå armaturet eller lyskilden placeres
- en lang arm med et spejl, der roterer omkring armaturet
- en lyssensor, der måler lyset, der reflekteres af spejlet

Lyskilden eller armaturet anbringes i midten af goniometeret, og sidder på det roterende ophæng. Det roterende ophæng kan justeres op og ned for at sikre, at lyskilden er i centrum af goniometeret. Når lyskilden er placeret på denne måde, er spejlet for enden af den roterende arm anbragt således, at det reflekterer lyset fra lyskilden direkte til en fastmonteret lyssensor i god afstand fra opstillingen, f.eks. 20-25 meter. Hele goniometerarrangementet samt målecellen må anbringes i et helt lysdødt rum, hvilket i praksis vil sige et helt sortmalet rum eller et rum beklædt med sort tekstil.

Armen med spejlet roterer fra bund til top i et lodret plan omkring lyskilden, og stopper f.eks. for hver anden grad, så lysmåleren kan foretage en måling. Denne proces gentages i forskellige lodrette planer, indtil lyskildens samlede lysudsendelse er kortlagt. En komplet test tager alt fra ti minutter til to timer, afhængigt af detaljeringsgraden.



Spejlgoniometer med stort, ovalt spejl (vist som blåt), goniometerarm med armatur monteret og apparaturrack. Foto: LMT.

For at minimere måletiden fastsættes antallet af punkter og vinkler oftest fra gang til gang. Hvis der f.eks. er tale om et 100 % nedadlysende armatur, er der ikke nogen grund til at lægge en masse målepunkter i øverste halvsfære. Og hvis målingen foretages på en omdrejningssymmetrisk lyskilde, kan man med fordel bare måle i to lodrette planer. I praksis er det [lysstyrken](#) (i [candela](#)) eller lysstrømmen pr. rumvinkel, der måles.

Den samlede lysstrøm kan beregnes ud fra denne samling af resultater, og jo flere målepunkter, desto større nøjagtighed. Laboratiormålinger er, selvom udstyret er kalibreret, behæftet men nogen unøjagtighed i størrelsesordenen +/- 2-3 %. I teorien beregnes den samlede lysstrøm ud fra formlen:

$$\Phi = \int_0^{4\pi} I \cdot d\omega$$

hvor Φ er lysstrømmen, I er lysstyrken i en given retning med rumvinklen ω som integreres over hele kuglens rumvinkel.

I praksis udregnes lysstrømmen efter

$$\Phi_{\text{tilnærm}} = \sum_0^n I_n \cdot \omega_n$$

hvor Φ er den tilnærmede lysstrøm, I er lysstyrken i retningen n med den tilsvarende rumvinkel ω_n , som opsummeres for alle målte retninger.

Den samlede lysstrøm anvendes i projekteringsammenhænge, hvor man beregner den nødvendige lysstrøm for at opnå en bestemt belysningsstyrke. Valg af lyskilde og armatur sker derfor bl.a. ud fra deres samlede lysstrøm.

Et spejlgoniometer er et meget stort, kompliceret og dyrt stykke udstyr, som kun findes nogle få eksemplarer i Danmark.



Spejlgoniometer og lysende armatur i et sort rum. Fotocellen befinder ca. i ca. 20 meters afstand for enden af en lysdød tunnel bag blænde arrangementet på væggen til venstre. Foto: LMT.

Resultatet af en spejlgoniometermåling kan præsenteres i en lysmålingsrapport, som bl.a. indeholder information om:

- lyskilden eller armaturet, symmetriforhold og effektforbrug
- antallet af målevinkler og -planer
- måleresultater i tabelform
- måleresultater visualiseret i form af f.eks. [ISO-luxdiagrammer](#) eller [polære afbildninger](#). I den polære afbildning plottes de målte lysstyrker (cd) pr. 1000 lumen i et rundt diagram, hvor lyskilden er i centrum. Der kan være flere lodrette måleplaner lagt ind over hinanden i diagrammet, men med forskellige linjetyper. Dette er en fordel, når lyskilden eller armaturet ikke har en omdrejningssymmetrisk lysudsendelse.
- andel af lys i øverste og nederste hemisfære
- [armaturvirkningsgrad](#)

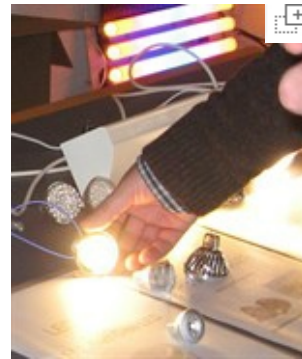
Til brug for [lysberegninger](#) (lyssimuleringer) ved hjælp af software udlæses lysmålingsresultatet også i lysmålingsfiler. Filerne er tekstfiler, hvor data er organiseret på en standardiseret måde, som gør det muligt at indlæse lysfordelingsdata i forskellige typer software, såsom Dialux, Relux og FABA Light. Der anvendes to forskellige filformater: Eulumdat-formatet (filnavne slutter på .ldt), som primært bruges i Nordeuropa, og IES-formatet (filnavne slutter på .ies), der er den amerikanske pendant, og bruges i resten af verden.

MÅLING OG VURDERING AF ARMATURER OG LYSKILDER

Målinger og vurdering af lyskilder og armaturer er helt essentielle i forbindelse med professionel belysningsplanlægning. Ligeledes kan laboratiormålinger anvendes til at støtte produktudvikling.

En fyldestgørende laboratiormåling til anvendelse i forbindelse med professionel belysningsplanlægning vha. software indeholder i princippet kun to ting:

- Et tal for armaturets systemwattage (dvs. det totale effektforbrug for lyskilde og øvrige elbærende dele såsom [forkoblingsudstyr](#), sensorer, dæmpere og lignende)
- En lysfordelingsfil, som er data for den rumlige fordeling af lyset



Vurdering af lys fra en LED-lyskilde.
Foto: DCL.

Energiforbrug

Traditionelt har det kun været lyskildens effektforbrug, som har været opgjort i armaturets data.

I lysplanlægningssammenhænge er man også nødt til at tillægge effektforbruget i spoler, [drivere](#) og andet forkoblingsudstyr - typisk 7-8 % for elektroniske forkoblinger, og lidt mere for konventionelle spoler.

I rene [LED](#)-løsninger giver dette ikke rigtig mening, da lyskilden ikke kan fungere alene, og dermed kan lyskildens egneffekt ikke bestemmes. I så fald kan man måle systemwattagen.

	Armaturer med konventionelle lyskilder (eller med LED-lyskilder med konventionel fatning)	Armaturer med integreret LED
Lyskildens effekt	Måles	-
Tillæg for forkobling mv.	Erfaringstal tillægges i simulering	-
Systemeffekt	Summen af ovenstående	Måles

Lysmængde, lysfordeling og lysets farveegenskaber

Lysmængden måles i laboratorium med integrerende [målekugle](#) eller [spejlgoniometer](#). Den rumlige [lysfordeling](#) kan kun måles med goniometer. Lysets [farveegenskaber](#) kan måles med integrerende målekugle eller goniometer bestykket med en kromametercelle.

INTRODUKTION

Indendørs feltmålinger af dagslys og kunstlys anvendes typisk til at vurdere, om lyset er tilstrækkeligt og har den rigtige kvalitet i forhold til den opgave, det skal understøtte.

Godt lys i bygninger opfattes med rette som en stor gevinst for bygningens brugere, da lyset både indgår i opfattelsen af bygningens æstetik og funktion. Det er derfor nødvendigt ikke blot at vinde erfaring med intuitiv, praktisk planlægning af [dagslys](#) og [kunstlys](#), men også at kunne støtte sin visuelle opfattelse med teknisk planlægning og konkrete målinger.

Et godt sæt af målinger af indendørs lysforhold vil ofte indeholde:

- Dagslysets niveau og fordeling på forskellige tidpunkter og under varierende vejrforhold. Målinger bør kombineres med en beskrivelse af dagslyset i det fri på måletidspunktet, dvs. [belysningsstyrke](#), skydække, samt skyggeforhold
- Kunstlysets niveau (belysningsstyrker) og [luminansfordeling](#). Kunstlys bør i sagens natur måles, når der ikke dagslys til at forstyrre målingen
- Evt. kan også lysets [farveegenskaber](#) måles

Målingerne suppleres med en visuel vurdering af [kontraster](#) og [blændingsforhold](#).

Måling af dagslys er mere kompliceret end kunstlys. Det skyldes at:

- dagslysmængden og -kvaliteten varierer med breddegrad, årstider, skydække og klokkeslæt
- dagsindfaldet i bygninger afhænger af de enkelte rums orientering i forhold til verdenshjørnerne, samt bygningens position i forhold til skygge eller genskin fra f.eks. bevoksning, terræn eller andre bygninger
- dagslysfaldet afhænger af valget af materialer i vinduer, [solafskærmninger](#) og andre transparente bygningsdele
- dagslyset også medfører [varmestråling](#), som har betydning for bygningens indeklimate

MÅLING AF BELYSNINGSSTYRKER INDENDØRS

Måling af belysningsstyrker sker normalt for at kontrollere, at projekteringen er udført korrekt, eller at DS/EN 12464-1 og Arbejdstilsynets krav er overholdt.

[Belysningsstyrken](#) på en flade måles i lux. Belysningsstyrken måles gerne med håndholdt [luxmeter](#) på vandrette og evt. lodrette flader i et lokale. Luxmeteret kan kun give punktmålinger.

Der bør anvendes et kalibreret luxmeter med et passende måleområde i forhold til de forventede belysningsstyrker. Instrumentets målecelle bør have en god farvekorrektio n (minimale farvefejl ved måling af lys fra forskellige lyskilder) og god vinkelkorrektio n i forhold til lysets indfaldsvinkel (minimale fejl ved skråt lysindfald på målecellen). Instrumentet bør i øvrigt være fri for systematiske fejl. Oplysninger om disse forhold kan f.eks. findes i måleinstrumentets betjeningsvejledning.

Med tiden ændres luxmetercellens følsomhed, og et luxmeter bør derfor kontrolleres/kalibreres jævnligt, f.eks. med 1-3 års interval. Man bør også være opmærksom på, at luxmeteret er kalibreret ved en bestemt omgivelsestemperatur, i reglen 25 °C, og at følsomheden kan være afhængig af temperaturen.

Normalt er [kunstig belysning på bygge- og anlægspladser](#) kun aktuel i vinterhalvåret, hvor der kan være tale om kuldegrader. Se nærmere om temperaturfølsomhed i betjeningsvejledningen til luxmeteret eller kontakt forhandleren/fabrikanten for supplerende oplysninger.



Belysningsstyrkemåling med luxmeter, her i en særlig afstand fra vinduet. Foto: DCL.

Belysningsstyrken måles normalt i et vandret måleplan, som kan være selve gulvet, 0,85 meter over gulv eller direkte på arbejdsniveau. Selve målingen foretages lettest i et ikke-møbleret rum. Luxmeteret skal være kalibreret, og den person, der foretager målingen, skal være opmærksom på ikke at skygge for målecellen, at holde målecellen vandret og samtidig sørge for at slagskygger på luxmeteret undgås.

Ved målinger af kunstlysets styrke er det nødvendigt, at eventuelt dagslys helt afskærmes, eller at målingen foretages om natten.

Ved målinger af dagslysets styrke og fordeling i rummet samt i forbindelse med [beregning af dagslysfaktorer](#) det kutyme, at målingen foretages midt på dagen og på en dag, hvor himlen er helt overskyet, således at dagslyset varierer så lidt som muligt i løbet af målingen.

Dagslysets styrke i det fri (uden for bygningen) skal også måles, og det skal foregå enten oven på bygningen, hvis den f.eks. har fladt tag, og udsyn til horisonten hele vejen rundt, eller længere væk fra bygningen på en stor plads eller lignende, hvor dagslyset er så godt som uforstyrret af bygninger og beplantning.

I tilfælde, hvor der er fastmonterede dele, inventar eller andet, der forhindrer lyset i at nå gulvniveau eller arbejdsplan, må man måle der, hvor lyset skal være til stede.

Antallet af målepunkter bør normalt afhænge af lyspunktsafstandene og belysningens

[regelmæssighed](#). I [DS/EN 124641-1](#) findes retningslinjer for beregningsnet for belysningsstyrker, hvilket også bør være udgangspunkt for feltmålinger. I mange tilfælde er der tale om større arealer (kontorer, adgangsveje, gange), og her kan antallet af målepunkter normalt reduceres, så de dækker et repræsentativt areal. Der kan desuden anvendes symmetribetragtninger, men altid således at man får en retvisende middelbelysning.

Målepunkterne skal udvælges omhyggeligt i et regelmæssigt net, hvor antallet af målepunkter bestemmes ud fra forholdene. Typisk kan et net med en afstand på 2 meter benyttes, med mindre der er lavt siddende lyspunkter (armaturer), så et tættere net må anvendes. Skal målinger på arbejdsplanet være præcise, kan et net på 10x10 cm være nødvendigt. Målepunkterne skal vælges, så de ikke placeres direkte under belysningsarmaturer.

Ved måling i særligt kolde eller varme rum kan temperaturforholdene have indvirkning på målingen, og derfor bør man sikre sig, at luxmeteret måler nøjagtigt under de temperaturforhold, der måles i.

Husk også, at omgivelsestemperaturen kan have stor indflydelse på armaturets funktion. Dette gælder i særlig grad [LED-armaturer](#). Husk derfor at notere dels rummets temperatur ved arbejdsplanet og dels temperaturen umiddelbart under loftet. I alle tilfælde bør der først måles, når belysningen har været tændt i minimum en time, så stabil drift har indfundet sig. Alle lyskilder skal desuden være [indbrændte](#).

I lokaler med meget forskellige belysningssystemer eller belysningsniveauer eller i lokaler, der ikke er rektangulære, må lokalet deles op i mindre rektangulære områder. Ved måling registreres naturligvis selve målingen, og hvor den er foretaget.

Har man ikke behov for at foretage præcise målinger af kunstlyset, men derimod en hurtig kontrolmåling, kan man starte med at måle belysningsstyrken på et givent sted med dagslys alene og derefter tænde for den kunstige belysning og måle belysningsstyrken igen. Ved at trække de to værdier fra hinanden får man et godt overslag over belysningsstyrken, forudsat at dagslyset ikke har ændret sig i mellemtiden.

MÅLING AF LUMINANSER INDENDØRS

En flades luminans, dvs. den lysmængde, som udsendes eller reflekteres fra en flade, kan punktmåles med en håndholdt luminansmåler.

Da opfattelsen af lys og [blænding](#) hænger tæt sammen med [luminans](#)- og [kontrastforhold](#), er luminansmålingen vigtig til vurdering af f.eks. arbejdspladser.

Hvor et [luxmeter](#) kan bruges til punktvis målinger af [belysningsstyrker](#) i et rum, kan et [luminansmeter](#) bruges til den mest korrekte måling af lysvirkningen for brugerne, da den tager højde for overfladernes [reflektans](#). Det er oftest ikke solen eller lyskilden selv, man ser på, men lyset fra reflekterende flader i og uden for rummet.

Ved vurdering af [dagslys](#) er det ikke tilstrækkeligt at måle [luminanser](#) i rummet på en overskyet dag. De største kontraster opstår naturligvis ved fuld sol. Også solvinklen kan have betydning, og kraftigt solindfald og spejlinger på klare vinterdage med lav solhøjde kan være meget generende.

MÅLING AF FARVEEGENSKABER INDENDØRS

I princippet kan måling af lysets farveegenskaber indgå ved feltmålinger, men det hører nok til sjældenhederne.

[Dagslysets](#) farveegenskaber, dvs. [farvegengivelse](#) og [farvetemperatur](#), er pr. definition ideelle, da hele [det synlige spektrum](#) er repræsenteret ligeligt i dette lys.

Ikke desto mindre kan dagslysets farveegenskaber forvrænges væsentligt af genskin fra andre bygninger, rummets vægge eller møbler samt valget af materialer i vinduesglas og -rammer, solafskærmninger og andre transparente bygningsdele.

Hvis det er nødvendigt, kan farveegenskaberne måles med et håndholdt [kromameter](#).

Måling af [kunstlysets](#) farveegenskaber kan være relevant, f.eks. i forbindelse med [LED](#)-løsninger, hvor der kan være betydelige forskelle fra armatur til armatur.

MÅLING AF REFLEKTANS INDENDØRS

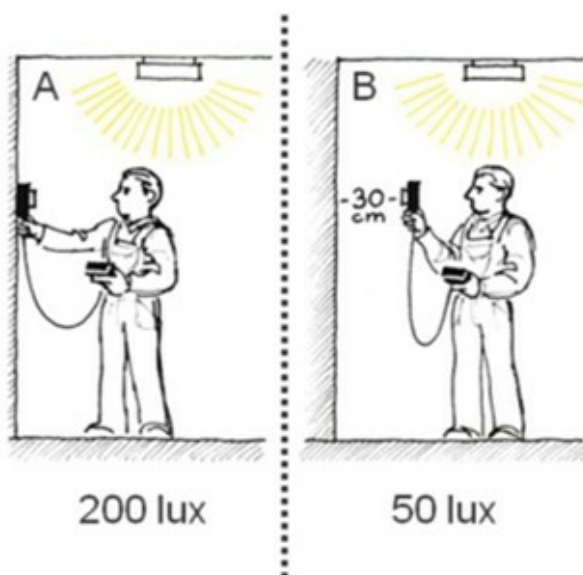
Reflektanser af rummets overflader har stor betydning for dimensionering af belysningsanlæg.

Rum med mange mørke overflader kræver mere [elektrisk belysning](#) end rum med lyse overflader, da lyse overflader har en større [reflektans](#). Ofte bestemmes reflektanser ved tabelopslag.

Præcise reflektansmålinger kræver specialiseret udstyr, men der findes en tilnærmet metode, som kan bruges på stedet og måles med et [luxmeter](#). Metoden forudsætter, at overfladen er mat, diffus og tilstrækkelig stor.

Først måles [belysningsstyrken](#) på overfladen, hvor reflektansen skal bestemmes. Luxmeteret holdes således, at sensorens måleflade er parallel med væggen og vender mod lyset, idet man passer på ikke selv at skygge for målingen. Målingen viser f.eks. 200 lux. Herefter måles belysningsstyrken i 30 cm afstand, hvor fotocellen rettes mod væggen. Denne måling viser f.eks. 50 lux. Forholdet mellem de to værdier er en tilnærmet værdi for væggens reflektans:

$50/200 \text{ lux} = 0,25$ eller 25 %.



Måling af reflektans. Figur: DCL.

Der findes desuden specielle farvekort med en række forskellige farver som kan sammenlignes med aktuelle overflader, hvorved reflektansen også kan anslås.

Anbefalede reflektanser

Anbefalede reflektanser for overflader til indendørs arbejdspladser fremgår af tabellen herunder.

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

Særligt vægge mellem vinduer bør have en høj reflektans for at reducere [luminansspring](#) mellem vinduesflade og den omgindende vægflade.

Tabellen herunder indeholder eksempler på omtrentlige reflektanser af forskellige farvede flader.

Sort	0,05 - 0,1
Mørk grøn	0,1
Mellemgrå	0,2
Zinnoberød	0,2
Lys blå	0,4
Lys gul	0,6
Hvid	0,7
Ideelt spejl	1,0

BLÆNDING, REFLEKSER OG SKYGGEDANNELSE INDENDØRS

Blænding og luminansfordeling hænger tæt sammen. Jo større luminans jo større er risikoen for blænding.

[Blænding](#) opstår, når en lysende flade, f.eks. en lyskildes overflade eller en vinduesflade, har en større [luminans](#), end øjet er [adapteret](#) til. Blænding er afhængig af luminansen af den lysende overflade, størrelsen af fladen, dens placering i synsfeltet og ikke mindst luminansen af den flade, der omgiver den lysende flade, dvs. baggrundsluminansen. Samtidig spiller omgivelsernes generelle luminans ind på oplevelsen af blænding. Generelt gælder, at jo større forskel i luminans mellem en lysende flade og dens omgivelser, jo større blænding.

Der findes ikke instrumenter til måling af blænding i rum. Man kan vurdere, om lyset synes planlagt, så gener minimeres:

- Undersøg om direkte sollys er blokeret ved vinduernes orientering, eller på passende måde kan blokeres f.eks. ved hjælp af persiener eller markiser. Direkte sollys på et arbejdsplan kan virke generende, himmellys og reflekteret lys er mere behageligt. Blænding fra [dagslyset](#) forekommer typisk, når solen står lavt primært om foråret og efteråret. Undersøg også om blænding fra vinduer er reduceret ved at have lyse karme og indfatninger samt lyse overflader i rummet. Også arbejdsborde med stort dagslysindfald kan med fordel være lyse.
- Blændingsgener kan komme fra sollysets refleksion i reflekterende overflader som computerskærme eller lyse eller blanke materialer.
- Ved [ovenlys](#) kan blænding komme fra sollysets refleksion i blanke overflader eller fra det direkte indfaldende sollys. Ved alle typer af blændingsgener anbefales justerbar udvendig solafskærmning, som kan betjenes individuelt.
- Ubehagsblænding kan optræde ved store [kontraster](#). Man kan konstatere, om der er ubehagsblænding, hvis man bruger hånden som kasketskygge, og føler en mere behagelig situation som følge af afskærmning af kraftigt lys eller overflader med høje luminanser.
- Undersøg om der ved normal anvendelse af og færden i rummet forekommer blænding fra lysarmaturer ved direkte indkig til lyskilder, eller reflekser i afskærmninger.
- Undersøg om [skyggetegningen](#) på arbejdsplaner er passende. 100 % diffust lys giver meget svage skygger. Meget direkte lys fra punktformige lyskilder eller sollys giver meget hårde skygger. Begge dele kan være generende for formtegningen af genstande.

Undersøg orienteringen og placeringen af arbejdspladserne, og se om de er indrettet så blændingsproblemer er minimeret, samtidig med at dagslysets positive egenskaber udnyttes. Normalt anbefales det, at man placerer arbejdspladser, så synsretningen er parallel med vinduesfladen, og således at højrehåandede har dagslyset og en arbejdslampe ind fra venstre og omvendt for venstrehåandede.

VURDERING AF INDENDØRS BELYSNING

Vurdering af lysets fordeling og udformning sker primært ud fra et arbejdsmiljømæssigt aspekt. For faste arbejdspladser er der krav til dagslys i BR18, og krav til indendørs belysning fremgår af DS/EN 12464-1.

Kravene til mængden og fordelingen af [kunstlyset](#) afhænger af arbejdets natur. Vurderingen må derfor baseres på kendskab til de relaterede afsnit i [DS/EN 12464-1](#).

For både kunstlys og [dagslys](#) bør en sammenfattende vurdering af lyset indendørs indeholde vurderinger af

- [belysningsstyrke](#) for dagslys ud fra [bygningsreglementets](#) anvisninger.
- belysningsstyrke for kunstlys (målbart) og overgange mellem zoner med forskellige niveauer. Resultater af belysningsstyrkemålinger kan sammenlignes direkte med beregningsresultater. Er [regelmæssigheden](#) passende? Er lyset fordelt med en passende minimum, maksimum og gennemsnitlig belysningsstyrke?
- [luminansfordeling](#) (målbart). Ifølge den nu udfasede danske standard DS700 bør et arbejdslokale have passende luminansfordeling med et hierarki, hvor arbejdsobjektet er lysest, de nærmere omgivelser lidt mindre lyse og de fjernere omgivelser mindst lyse. En luminansfordeling efter forholdet 5:3:1 er passende i en arbejdssituation. Et er en passende luminansfordeling, men overgangene spiller også en rolle i oplevelsen af den gode belysning. Afgørende er det, at overgangene er jævne mellem forskellige flader i rummet og mellem forskellige rum. Hvis der er større rumflader med en skarp overgang, anbefales luminansspring under 3:1. Er det mindre flader og skygger kan man godt acceptere 15:1. I rum, der grænser op til hinanden, må de afgørende luminanser ikke overstige 25:1, da man kan blive blændet ved overgangen den ene vej eller se ind i totalt mørke den anden vej. Luminans fra armaturer ses enten som kraftige spejlinger i overflader, indkig til lyskilden eller som følge af kraftige luminanser fra overflader i eller tæt på armaturet. Det ses bl.a. ved indirekte lysende armaturer, der kan give kraftige luminanser i loftet. Sådanne kraftige luminanser inden for synsfeltet bør undgås ved arbejdspladser. Det betyder, at man også må forholde sig til blanke overflader, der kan give anledning til blænding fra armaturer, fra solen og fra vinduesflader i synsfeltet eller i reflekterende overflader. Er luminansfordelingen helt jævn, bliver rummet helt monotont, hvilket heller ikke er rart at opholde sig i længere tid. Variation og prioritering af luminansfordelingen er derfor ofte ønskelig. Ved at tage hensyn til luminansfordelingen ved projekteringen og ved at vælge de rette overfladereflektanser og tilstrækkeligt afskærmede armaturer, kan de fleste gener fra den kunstige belysning forhindres. En metode til at vurdere generende luminanser omkring en arbejdsplads er at benytte et spejl, der lægges på arbejdsfeltet. Placerer man sig i arbejdssituationen, kan man direkte se, om der er kraftige luminanser, der kan give generende spejlinger. Spejlet kan også sættes op foran en computerskærm, hvorved man kan se, om der er kraftige luminanser, der vil spejle sig i skærmoverfladen.
- [Blændingsforhold](#), [reflekser](#) og lysretninger (visuel vurdering) under forskellige dagslysforskelde. Blændingsvurderingen kan sammenholdes med [UGR-beregninger](#) for rummet.
- Skyggedannelse (visuel vurdering)
- [Udsyn til omgivelser](#) uden for bygningen, som har indflydelse på den komfort, der opleves på den enkelte arbejdsplads (visuel vurdering), evt. med afsæt i vejledningerne i DS/EN 17037.
- Evt. forhold omkring [flimmer](#) og sikkerhed. Flimmer er generende og skyldes, at lyskilderne drives af en [forkobling](#) eller [driver](#), som svinger med en lav frekvens (typisk netfrekvensen 50 Hz). Flimmer er almindeligt fra lysstofrør med konventionelle forkoblinger og det anbefales, at der anvendes elektroniske forkoblinger, som eliminerer flimmer. Flimmer fra LED kan også forekomme af de samme årsager. Flimmer kan være farligt i arbejdssituationer med roterende maskiner, hvor flimmer kan medføre at maskinen ser ud som om de står stille eller bevæger sig langsomt. Flimmer er generende ved almindelige arbejdspladser, og det anbefales at anvende elektroniske forkoblinger til steder med permanente arbejdspladser
- Evt. lysets [farvetemperatur](#) (målbart). Opleves lyset varmt, neutralt eller koldt?
- Evt. [farvegengivelse](#) (målbart)

INTRODUKTION

Feltmålinger udendørs er relevante, hvor man påtænker at indføre eller ændre en eksisterende belysning, eller hvor man gerne vil kontrollere en belysnings funktion.

Målinger af udendørs belysning besværliggøres af at

- omgivelsestemperaturen ikke er konstant, hvilket kan påvirke både belysningsarmaturers, lyskilders og måleinstrumenters funktion
- det sjældent kan lade sig gøre at undgå, at målingen forstyrres af lys fra andre kilder, dvs. lys fra måne, sol, bygninger eller andre belysningsarmaturer
- omgivelsernes [reflektans](#) kan ændre sig med vejrforholdene, f.eks. hvis der er sne og regn

Det anbefales derfor at lave flere målinger under skiftende forhold, f.eks. kvartalsvise belysningsmålinger i tørt vejr. Disse målinger bør foretages i forskellige årstider, idet man registrerer omgivelsestemperaturen.

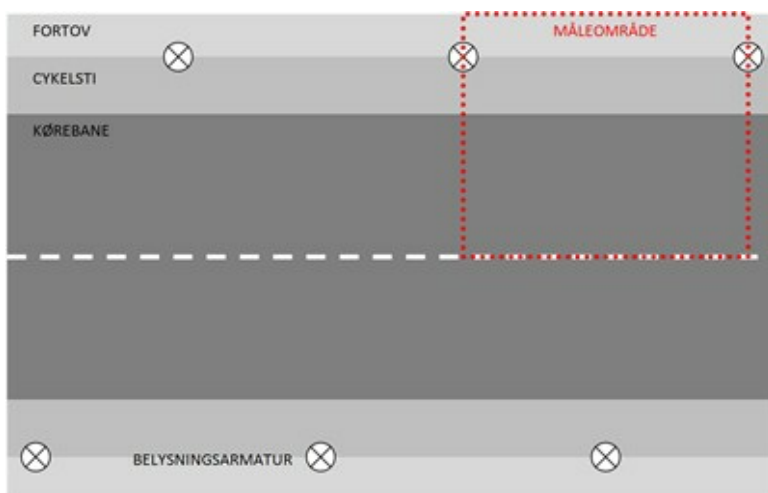
MÅLING AF BELYSNINGSSTYRKER UDENDØRS

Måling af belysning udendørs er relevant, hvis man vil vurdere et eksisterende belysningsanlæg, eller kontrollere resultatet af et nyt.

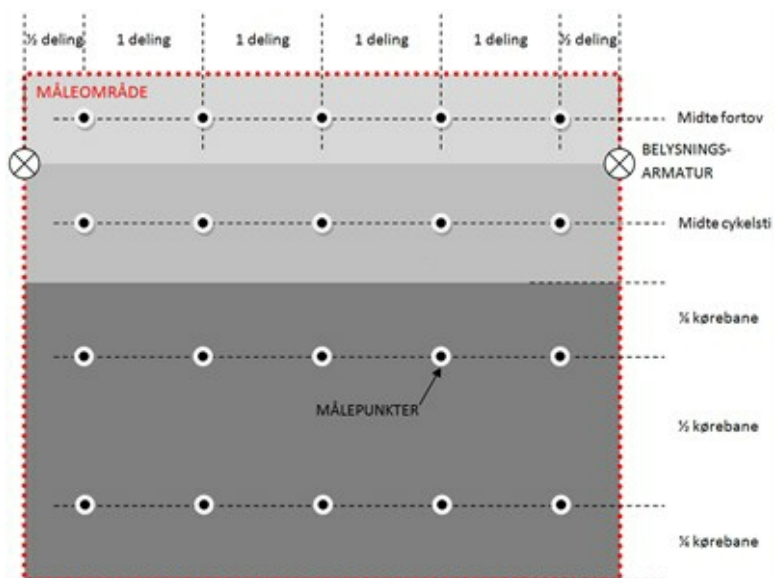
Målinger af [belysningsstyrker](#) skal foretages flere gange i et gittermønster i samme position. Man må vælge et sted, som er repræsentativt, dvs. uden overdreven skygge eller belysning fra andre kilder. Måleområdet bør ligge mellem to armaturer. Hvis vejen belyses fra to sider, kan man nøjes med et måleområde svarende til den ene halvdel af vej og evt. cykelsti og fortov, som vist i figuren. Dette kaldes en armaturcyklus.

Gittermønsteret bør have målepunkter med regelmæssigt indbyrdes afstand, og minimum ti målepunkter pr. vognbane. Målepunkterne lægges lidt fra kanten af måleområdet. Hvis belysningen på fortov og cykelsti også er af interesse, lægges en række af minimum fem målepunkter i fortovets eller cykelstiens centerlinje.

Alle målinger skal foretages på jordoverfladen. Målepunkterne skal så vidt mulig være på samme position i hele overvågningsperioden. Brug f.eks. spraymaling til at markere og re-markere målepunkterne. Følgende diagram giver et eksempel på, hvordan det ville se ud på en tosporet vej med fortov og cykelstier.



Eksempel på repræsentativt måleområde på en almindelig vej med gadebelysningsarmaturer langs begge sider af vejen.



Eksempel på fordeling af feltmålepunkter i et repræsentativt måleområde.

Man må sørge for så vidt muligt at undgå, at observatøren kaster skygge på måleinstrumentet. Hvis man har et instrument med separat målecelle, som er forbundet til instrumentet med en ledning, er det muligt at komme lidt på afstand.

Hvis målingen i væsentlig grad forstyrres af baggrundslys, f.eks. fra månen eller en bygning, må målingen foretages med måleobjekterne i tændt og slukket tilstand, hvorved bidraget fra forstyrrende lyskilder kan trækkes fra.

MÅLING AF ENERGIFORBRUGET I UDENDØRS BELYSNING

Et komplet billede af belysningsanlægget indeholder en energimåling.

Det anbefales, at der gennemføres indtil flere målinger under forskellige driftsbetingelser.

For et udendørs anlæg, hvor man udskifter den eksisterende belysning med ny belysning, kan man f.eks. måle:

- [elforbruget](#) i den eksisterende installation
- elforbruget i den nye installation (efter indbrænding af lyskilder)

Det vil ofte være nødvendigt at måle flere gange i løbet af et år, f.eks. en måling pr. årstid eller kvartal.

Målingen kan let gennemføres ved at anvende et almindeligt multimeter, der kan måle spændingsfaldet og strømstyrken. Målingerne tages direkte på tilledningen til det enkelte armatur for at sikre, at ingen andre tilsluttede belastninger er inkluderet.

MÅLING AF FARVEEGENSKABER UDENDØRS

I princippet kan måling af lysets farveegenskaber indgå ved feltmålinger, men hører nok til sjældenhederne.

Måling af kunstlysets farveegenskaber, dvs. [farvegengivelse](#) og [farvetemperatur](#), kan dog være relevant i forbindelse med [LED](#)-løsninger, hvor der kan være betydelige forskelle fra armatur til armatur, og om nødvendigt kan farveegenskaberne måles med et håndholdt [kromameter](#).

BLÆNDING, REFLEKSER OG SKYGGEDANNELSE UDENDØRS

Blænding og luminansfordeling hænger tæt sammen, og blænding kan være et stort problem udendørs.

[Blænding](#) opstår når en lyskilde eller en lysende flade har en større [luminans](#) end øjet er [adapteret](#) til. Blænding er afhængig af luminansen af den lysende overflade, størrelsen af fladen og dens placering i synsfeltet. Samtidig spiller omgivelsernes luminans og/eller baggrundsluminansen ind på blændingen.

Generelt gælder, at jo større forskel i luminans mellem en lysende flade og omgivelserne, jo større blænding. Derfor er blændingen fra en relativt lille, kraftig lygte, som ses mod en helt sort nattehimmel, betydelig.

Der findes ikke instrumenter til måling af blænding udendørs. Men det kan lade sig gøre at tage stilling til, om lyset er planlagt, så gener minimeres:

- Undersøg om lyset er afskærmet, så blænding kun opstår under ukritiske synsvinkler, f.eks. når man står helt inde under et armatur, eller så tæt på, at armaturet befinder sig i periferien af synsfeltet, når man ser vandret fremad.
- Undersøg om armaturet er udført, så der så vidt muligt er graduerede luminansovergange i de belyste flader.
- Undersøg om [skyggetegningen](#) på underlaget (vejen, pladsen eller lignende) er passende. 100 % diffust lys giver meget svage skygger. Meget direkte lys fra punktførmige lyskilder giver meget hårde skygger. Begge dele kan være generende for formtegningen af genstande.
- Undersøg orienteringen og placeringen af armaturerne, og se om de er opstillet så færrest blændingsproblemer opstår.

Vær også opmærksom på, at det kan være farligt for øjet at se direkte ind i meget kraftigt lysende, tilnærmelsesvis punktførmige lyskilder. Dette gælder særligt for lyskilder med overvægt af blå farver i [spektralfordelingen](#), og skyldes, at øjet kun i ringe grad opfatter blå farver, og derfor ikke adapterer tilstrækkeligt til at holde lyset ude fra nethinden.

VURDERING AF UDENDØRS BELYSNING

Vurdering af lysets fordeling og udformning sker primært ud fra et trafikmæssigt aspekt.

Kravene til kunstlysets mængde og fordeling afhænger helt af vejens eller områdets natur. Vurderingen må derfor baseres på kendskab til de relaterede afsnit i [vejbelysningsreglerne](#).

En sammenfattende vurdering af udendørs belysning bør indeholde:

- [Belysningsstyrke](#) (målbar) og overgange mellem zoner med forskellige niveauer. Resultater af belysningsstyrkemålinger kan sammenlignes direkte med beregningsresultater. Er belysningsstyrken passende i forhold til omgivelserne? Er belysningen jævn på de ønskede flader - se på regelmæssigheden.
- [Blændingsforhold](#), [reflekser](#) og lysretninger (visuel vurdering) under forskellige dagslysforhold. Blændingsvurderingen kan støttes af luminansmålinger.
- Vertikalt lys og skyggedannelse (visuel vurdering). Hvor mennesker færdes er der behov for en god oplysning af ansigter. Uoplyste ansigter skaber utryghed.
- Evt. lysets [farvetemperatur](#) (målbar) - er farvetemperaturen passende i forhold til omgivelserne? Man vælger ofte lidt varmere lys i tæt, ældre bebyggelse, mens koldt lys kan finde anvendelse langs større veje, gennem tunneller og andre steder, hvor lyset skal være tryghedsskabende og efterligne dagslysets farve.
- Evt. [farvegengivelse](#) (målbar) - er farvegengivelsen passende i forhold til synsopgaven? Langs større veje kan en lav farvegengivelse som Ra 70 være acceptabel, men i områder, hvor mennesker færdes, vil man ofte foretrække en høje farvegengivelse fra Ra80 og opad.
- Vurdering af [spildlys](#), dvs. lys mod himlen, også kaldes lysforurening. Går meget lys tabt ved at armaturerne sender lyset opad mod rummet?
- Vurdering af lysgener på nærliggende bygninger. Er der spildlys fra armaturer, som kan genere beboere eller andre i bygninger nær belysningsanlægget?