



## Udskrift fra WWW.LYSVIDEN.DK

Dette materiale stammer fra [www.lysviden.dk](http://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

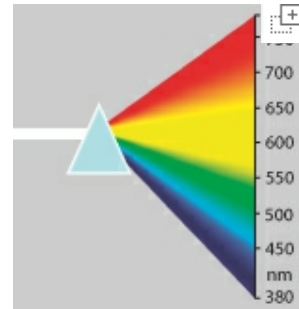
## INTRODUKTION

Grundviden om lys og belysning omfatter viden om, hvad lys er, vores oplevelse af det og hvilke parametre og basale begreber, der knytter sig til lyset og dets samspil med omgivelserne.

Lyset er forudsætningen for at vi kan se og forholde os til vores omgivelser. Lyset er stemningsskabende og spiller en afgørende rolle for vores visuelle oplevelse af et sted eller en genstand. Det gælder både inde og ude og for både dagslys og [kunstlys](#).

Lys er [elektromagnetisk stråling](#). Dets sammensætning af bølgelængder har betydning for lysets farveegenskaber.

Nogle grundlæggende begreber knytter sig til lysets samspil med omgivelserne, mens andre knytter sig til selve lyset. De belysningstekniske grundbegreber er [lysstrøm](#), [lysstyrke](#), [belysningsstyrke](#) og [luminans](#).



Det synlige lys består af elektromagnetiske bølger.

## OPLEVELSE AF LYS

Lyset og dets karakter er afgørende for opfattelsen af dimensioner, materialer, teksturer, detaljer, farver med videre. Lyset former vores omgivelser visuelt. Det gælder ude og inde og for både dagslys eller kunstlys.

Vores oplevelse af lys omfatter både det lys, der belyser omgivelser og genstande og det lys, der når vore øjne som et resultat af materialernes bearbejdning af lyset. [Materialets egenskaber](#) og vores egen position er afgørende for oplevelsen. Oplevelsen afhænger derfor både af lyset og af genstande og omgivelser.

### Lysets karakteristika er afgørende for oplevelsen

Til enhver lyskilde knytter sig en række karakteristika, der er afgørende for vores oplevelse af lyset og belysningen. Det gælder [lyskildens størrelse](#), lysets styrke og farve samt karakteristika, der knytter sig til lyskildens [lysfordeling](#).

Lyskildens og armaturets størrelse, herunder størrelsen i forhold til det den belyser, har betydning for skyggetegningen. Jo mindre lyskilden er, jo mere præcis vil lyset være, hvilket betyder at skyggetegningen er skarp og præcis, og at detaljerne træder tydeligt frem. Jo større lyskilden er, jo mere diffust vil lyset være og jo blødere bliver skyggetegningen.

Lysets styrke, dvs. hvor meget lys lyskilden udsender i retning mod det, der belyses, har betydning for oplevelsen af lysniveau og lysfordeling. Lysstyrken har desuden betydning for blænding og refleksioner i blanke flader.

Lysets [farveegenskaber](#) knytter sig dels til lysets farvetone, dels til farvegengivelsen. Lysfarven kan være kold, neutral eller varm og man taler i den forbindelse om lysets [farvetemperatur](#). Den kølige blå himmel har en høj farvetemperatur, mens det varme lys fra solen har en lav farvetemperatur. Lysets [farvegengivelsesindeks](#) har betydning for, hvor godt lyset gengiver farver.

### Rettet eller diffust lys

Lyset fra en lyskilde eller et armatur kan udsendes på mange måder, f.eks. i en enkelt retning eller i alle retninger. Man taler i den forbindelse om lyskildens eller armaturets lysfordeling.

Hvis lyset udsendes i en bestemt retning, er lyset 'rettet'. Det gælder f.eks. lys fra [spotlights](#) eller lyskilder med en indbygget reflektor. Hvis lyset udsendes i mange retninger, vil lysudsendelsen være mere eller mindre 'diffus'. Det gælder f.eks. lyset fra [lysrørsarmaturer](#).

Lysfordelingen har betydning for, hvordan og hvor lyset rammer og dermed for vores oplevelse af lys, omgivelser og genstande.



Tændt lygte i skumringslys.  
Foto: Silla Herbst.



Lyset former arkitekturen, og arkitekturen former lyset, Rundetårn. Foto: Kätte Bønløkke.

I arbejdet med lys, uanset om det er dagslys eller kunstlys, er det afgørende at have styr på og være opmærksom på lysets karakteristika og [visuelle egenskaber](#).

Der kan være forskellige tilgange til det at arbejde med lys og lysets fordeling i et rum. Der er

f.eks. forskel på lyset på helheden og lyset på detaljen.

Dagslyset og kunstlyset har både ligheder og forskelle. De skal ofte fungere sammen og må derfor også planlægges sammen. Dagslyset har desuden betydning både for vores mentale og fysiske velvære.

## INTRODUKTION

**Uden lys ville der ikke være liv på jorden. Vi er afhængige af lyset og behøver lys for at kunne se. Øjnene er menneskets vigtigste informationsorgan. Uden lys kan vi ikke opfatte former, farver etc.**

Vi kan modtage langt flere informationer pr. tidsenhed med vores [øjne](#) end med vores ører. Det kan imidlertid kun lade sig gøre, hvis der er lys. Men lyset påvirker os på flere måder, blandt andet vores hormonproduktion.

Vores øjne modtager lys fortrinsvis reflekteret fra de genstande, der belyses, men også lys direkte fra lysgiveren, f.eks. solen eller en kunstig lyskilde.

### Lys er elektromagnetisk stråling

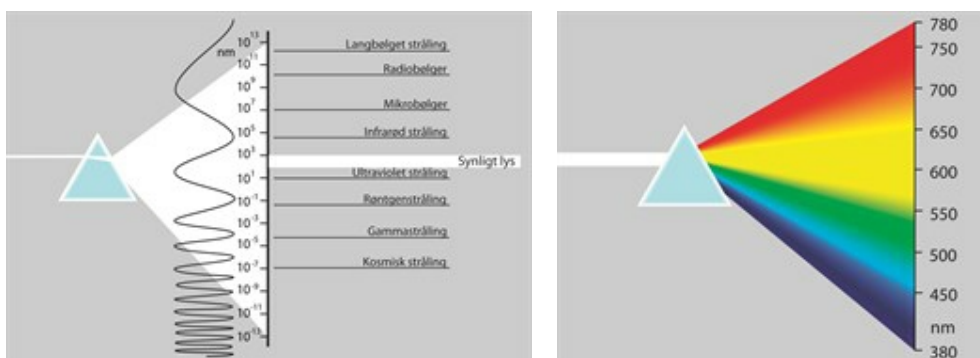
Elektromagnetisk stråling optræder i en række forskellige former. Det lys, som mennesker opfatter, er elektromagnetisk stråling med bølglængder mellem 380 og 780 nm (nanometer), og kaldes det synlige spektrum.

Øjet er ikke lige følsomt overfor de forskellige bølglængdeområder i det synlige spektrum. Man taler i den forbindelse om [øjets spektrale følsomhed](#), som behandles under [Lys og menneske](#).

Alt efter hvordan lyset er sammensat, kan det have forskellige egenskaber og for eksempel gengive farver meget forskelligt. Vores øjne ser ikke selve lyset. Det vi ser, er at lyset rammer en flade eller en partikel i luften.



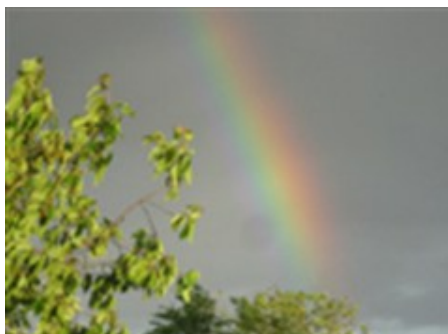
Det hvide lys fra solen indeholder alle farver.  
Foto: Silla Herbst.



Synligt lys udgør kun en lille del af det elektromagnetiske spektrum.

### Farverne i det hvide lys

Når vi sender hvidt lys gennem et prisme, kan vi se at det hvide lys er sammensat af lys med alle farver. Denne opdagelse gjorde Newton (engelsk matematiker, fysiker og astronom, 1643-1727) i 1666.



I 1666 opdagede Newton (1643-1727) at det hvide lys er sammensat af alle farver. Vi kender fænomenet fra regnbuen, hvor lyset spredes i regndråberne og derved frembringer en regnbue på himlen. Illustration til venstre: Gyldendal/[www.denstoredanske.dk](http://www.denstoredanske.dk). Foto til højre: Kenneth Munck.

De forskellige farver repræsenterer forskellige bølgelængder i det synlige område, som ligger mellem 380 og 780 nm. Lysenergi eller lysstråling karakteriseres rent fysisk ved 3 egenskaber; spektralfordeling, intensitet og retning.

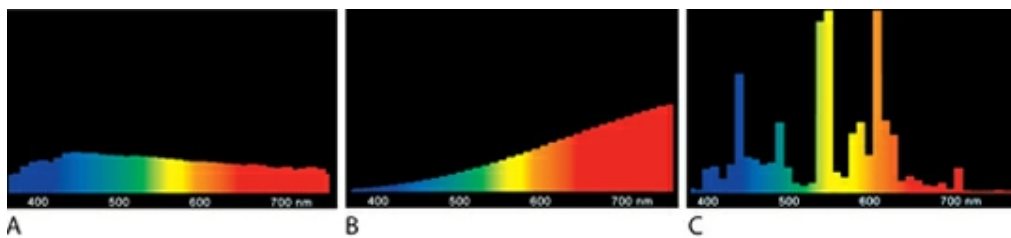
## LYSETS SPEKTRALFORDELING

**Både solens lys og lyset fra kunstige lyskilder indeholder elektromagnetiske bølger i det synlige spektrum. Repræsentationen af de forskellige bølgelængder varierer, hvilket har betydning for lysets farveegenskaber.**

I et prisme af rent glas kan vi bryde det synlige, hvide lys i forskellige bølgelængder. Lys med korte bølgelængder brydes mest og ligger i den blå ende af det synlige spektrum. Lys med længere bølgelængder brydes mindst og ligger i den røde ende af spektret.

Solens lys har alle farver i sit spektrum, og alle farver er jævnt og ligeligt fordelt.

Også lyset fra [kunstige lyskilder](#) består af elektromagnetiske bølger med bølgelængder bl.a. i det synlige spektrum. For nogle lyskilder vil ikke alle farver/bølgelængder være repræsenteret i spektret, ligesom fordelingen heller ikke er ligeså jævn som for dagslyset.



I figuren ses eksempler på spektralfordelingen for dagslys (A), en glødelampe (B) og et lysstofrør (C).

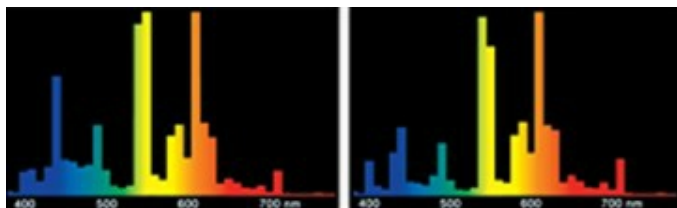
For de to spektralfordelinger for hhv. [dagslys](#) og [glødelys](#) gælder, at variationen henover de forskellige dele af spektret sker gradvist uden pludselige spring. For disse lyskilder siger vi, at spektralfordelingen er kontinuert eller at lyset er fuldspektret.

I spektralfordelingen for lysstofrøret forekommer derimod store spring, ligesom spektret indeholder toppe. Denne type spektralfordeling kaldes et linjespektrum. For et linjespektrum gælder desuden, at ikke alle bølgelængder er repræsenteret i lyset, hvilket i praksis betyder, at lyset ikke gengiver alle farver lige godt.

Lysets spektralfordeling har betydning for lysets farveegenskaber, som beskrives ved to uafhængige parametre, nemlig lysets [farvetemperatur](#) (også kaldet lysfarve) og [farvegengivelsesindeks](#) (også kaldet Ra-indeks for Rendering Average Index eller CRI for Colour Rendering Index).

### Spektralfordelingskurven

Begrebet spektralfordeling indeholder en beskrivelse af lysenergiens fordeling over et aktuelt bølgelængdeområde, som sædvanligvis dækker ca. 400-700 nm. Spektralfordelingen kaldes derfor også for den spektrale effektfordeling og fremstilles typisk i en såkaldt spektralfordelingskurve. På x-aksen er angivet bølgelængden og på y-aksen den relative strålingseffekt, dvs. energi pr. tidsenhed i bølgelængdeområder henover det synlige spektrum (også kaldet spektralbånd).



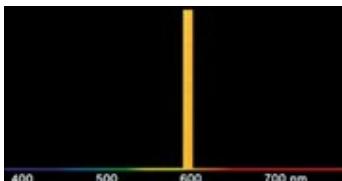
Spektralfordelinger for et lysstofrør med en kold lysfarve (tv.) og et lysstofrør med en varm lysfarve (th.).

### Forskellige typer spektralfordelinger

Solstråling og himmelstråling (dagslys) har en relativt jævn fordeling af lysenergi henover hele spektret mellem 400 og 700 nm. Da alle bølgelængder er repræsenteret i spektret og der ikke er store spring, siger vi, at spektralfordelingen er kontinuert.

Lyset fra et stearinlys eller en temperaturstråler (f.eks. en halogenlødellampe) giver ligeledes en kontinuert spektralfordeling. For disse lyskilder er fordelingen af lysenergi i det synlige spektrum imidlertid ikke jævn, idet repræsentationen i den røde del af spektret er langt større end repræsentationen i den blå del. Derfor har lyset fra et stearinlys eller en [temperaturstråler](#) også en varmere lysfarve end dagslyset.

Andre lyskilder giver en lysstråling, hvis effektfordeling forandres i spring mellem de forskellige bølgelængdeområder. Kurven, som beskriver denne type spektralfordeling, består af linjer og vi kalder derfor denne type spektralfordeling for et linjespektrum. Lysenergien i et linjespektrum kan være afgrænset til en eller flere bølgelængder eller spektralbånd. F.eks. udsender en lavtryksnatriumlampe udelukkende lys ved en bølgelængde på 589 nm.



Nogle lyskilder, som f.eks. lavtryksnatriumlamper, udsender kun lys ved én bølgelængde. Lyset fra denne type lyskilder kaldes monokromatisk.

### **Spektralfordeling og farveegenskaber**

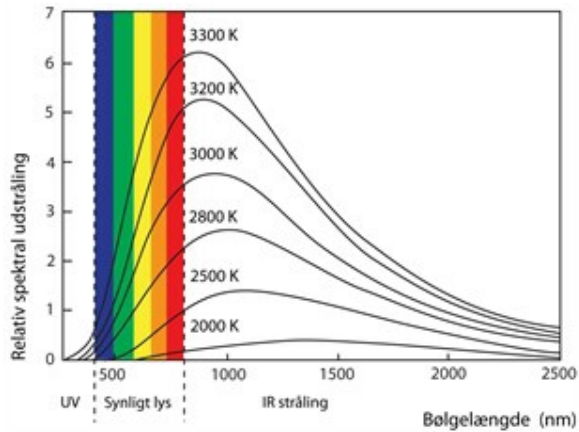
En lyskildes spektralfordeling er afgørende for, hvordan forskellige farver optræder i lyset fra lyskilden og har derfor direkte betydning for lyskildens visuelle kvalitet. Selvom spektralfordelingen er afgørende for lysets farveegenskaber, kan det være svært ud fra et linjespektrum at se, hvilken farvetemperatur lyset har, ligesom man heller ikke kan aflæse lyskildens Ra-indeks af spektralfordelingen.



## IKKE SYNLIG STRÅLING

Lyset fra solen indeholder elektromagnetisk stråling ved forskellige bølgelængder. Det synlige lys er kun en ganske lille brøkdel af den samlede stråling fra solen.

Både for [dagslys](#) og [kunstlys](#) gælder det, at lyset ikke kun udsender stråling inden for det synlige område, men også ultraviolet (UV) og infrarød stråling (IR). For eksempel udsender en [temperaturstråler](#) store mængder strålingsenergi i det infrarøde område, hvilket er årsagen til, at så stor en del af den effekt, som lyskilden optager, omdannes til varmeenergi.



Det synlige lys udgør kun en del af den samlede stråling fra en lyskilde. Gløde- og halogenglødelyskilder udsender meget varme i form af infrarød stråling. LED'er udsender stort set kun synligt lys, og hverken UV-lys eller infrarød stråling, hvilket øger energieffektiviteten.

## INTRODUKTION

Farvegengivelse relaterer sig til lysets evne til at gengive farver. Farvegengivelsen angives ved et farvegengivelsesindeks, også kaldet Ra-indeks, som ligger mellem 0 og 100, hvor 100 er bedst.

Opfattelsen af farver afhænger både af belysningens styrke og af den [spektrale sammensætning af lyset](#). I svagt lys bliver alle katte grå, fordi vores farveopfattelse forsvinder. Også lysets [farvetemperatur](#), dagslysforhold og hvilke farver der i øvrigt findes i omgivelserne har betydning for vores oplevelse af farver.

Ra-indekset er et tilnærmet mål for lysets farvegengivelsesevne, og derfor er anvendelsen ikke helt uden problemer.

Forskellige [lyskilder](#) med samme Ra-index giver ikke nødvendigvis de samme farver ens, og man kan ikke sige, at lyset fra en bestemt lyskilde kun kan gengive et bestemt antal farver korrekt. Ligesom der kan være stor forskel på en farve i dagslys og den samme farve i lyset fra en glødepære, kan der også være forskel på, hvilke farver der gengives bedst i forskellige typer lyskilder med samme Ra-indeks.

Nedenfor ses to fotos taget af de samme frugter i skæret af lyskilder med forskellig farvegengivelse. Begge billeder er taget med iPhone5 uden brug af flash, og er ikke efterfølgende manipuleret.



Farvegengivelsesindekset for en lyskilde bestemmes ud fra 8 standardfarver.



Dette billede er taget i frugt og grøntafdelingen, der oplyses af en metalhalogenlampe med en god farvegengivelse, formentlig Ra 90+. Foto: DCL



Dette billede er taget i kolonialafdelingen/mel og gryn, der oplyses med lysstofrør (svarende til sparepærer), med en ringere farvegengivelse, formentlig Ra 80-82. Foto: DCL

## BESTEMMELSE AF RA-INDEKS

**En lyskildes evne til at gengive farver angives ved et farvegengivelsesindeks, også kaldet et Ra-indeks.**

Dagslys har et Ra-indeks (Rendering Average Indeks) på 100 og gengiver således farverne optimalt, mens Ra-indekset for [temperaturstrålere](#), dvs. gløde- og halogenlyskilder er næsten lige så godt, nemlig 99-100. Ra indekset for øvrige typer lyskilder varierer og ligger i bedste fald omkring 95. Ra-indekset er ikke en procentsats, og kan også være negativ.

Et Ra-index for en given lyskilde bestemmes ved at sammenligne lyskildens evne til at gengive 8 standardfarver.

Da bestemmelse af Ra-indekset er baseret på en matematisk sammenligning af lyskildens og referencelyskildens gengivelse af de 8 standardfarver, er der dog ikke tale om en visuel bedømmelse af, hvordan disse farver tager sig ud i forskellig belysning.



De 8 standardfarver, der anvendes til bestemmelse af en lyskildes Ra-indeks. De viste farver er vejledende.

Lyskildens [farvetemperatur](#) har betydning for dens farvegengivelse. Ved beregning af Ra-indeks skal referencelyskilden derfor have samme farvetemperatur som den lyskilde vis Ra-indeks skal bestemmes.

Ra-indekset er en form for rangordning af lyskilders evne til at gengive farver, men giver ikke oplysninger om, hvordan lyskilden påvirker farveoplevelsen i et rum. Jo lavere Ra-indeks, jo dårligere farvegengivelse. Af Ra-indekset kan man heller ikke aflæse, hvordan en bestemt farvenuance påvirkes. Selv et højt Ra-indeks kan dække over en betydelig forvrængning af visse farver. Den eneste måde at sikre sig om, at lysstråling og farvesætning passer sammen, er derfor at se og bedømme farverne i den lysstråling, som kommer til at findes i lokalet, i [dagslys](#) og i [kunstlys](#), sammen og hver for sig.

Hvis lyset fra en lyskilde ikke indeholder alle bølgelængder i det synlige spektrum, vil det ikke kunne gengive alle farver lige godt. Dagslyset indeholder alle bølgelængder og har den bedste farvegengivelse på 100. [Gløde- og halogenglødelys](#) indeholder også alle bølgelængder og har en farvegengivelse på 99-100. For andre lyskilder når farvegengivelsesindekset ikke op på hverken 99 eller 100. F.eks. har langt de fleste almindelige [lysstofrør](#) en farvegengivelse på 80-85, hvilket matcher kravene i danske standarder for langt de fleste typer arbejde.

På engelsk kaldes Ra-indekset ofte 'Colour Rendering Index' eller CRI.

## KRAV TIL FARVEGENGIVELSE

**Visse situationer kræver, at lysets farvegengivende egenskaber er så gode, at man kan bedømme og sammenligne farver. I andre tilfælde er farvegengivelsen underordnet.**

For at kunne foretage nøjagtige farvebedømmelser og farvesammenligninger, vil det være nødvendigt, at både belysningsstyrken og lysets spektrale sammensætning er konstant, hvorfor dagslys normalt må lukkes ude. For alle bedømmelser af farver gælder, at [belysningsstyrken](#) må være på mindst 1.000 lux.

Hvis der skal foretages nøjagtige farvesammenligninger for eksempel på farvefabrikker og ved flerfarvetrykning i bogtrykkerier, må man vælge lyskilder med høj [farvetemperatur](#), f.eks. 5.000 K, 6.500 K eller højere, og desuden lyskilder med farvegengivelsesindeks Ra-indeks på 90 eller derover. Som en kontrol kan man ofte med fordel også sammenligne farverne i en helt anden type lys, for eksempel glødelampelys.

Ved sortering efter farve, for eksempel af minkskind til en pels, hvor den nøjagtige farve er af mindre betydning, men hvor det er væsentligt, at de enkelte skind har samme farve, gælder ligeledes, at man skal arbejde med lyskilder med høj farvetemperatur og med en sammensætning af lyset svarende til den, hvorunder pelsen skal ses.

Ved indretningen af et helt rum eller en del af et større rum til farvebedømmelse må man være opmærksom på, at omgivelserne, for eksempel vægge og inventar, ikke må have stærke farver dels af hensyn til disses refleksion, dels af hensyn til [farveadaptationen](#).

Der findes instrumenter, der kan måle både en lyskildes spektrum og beregne Ra-indekset. De mest nøjagtige er spektrometre, som kan være indbygget i andre måleopstillinger (f.eks. [fotogoniometre](#) eller [målekugler](#)).

Også [håndholdte spektrometre](#) findes, og disse kan i reglen både udlæse spektralsammensætningen, og diverse nøgletal såsom farvetemperaturen og farvegengivelsesindekset.



Tørklæde i LED-lys.  
Foto: Steen Traberg-Borup



Tørklæde i LED-lys med en anden spektralfordeling.  
Foto: Steen Traberg-Borup

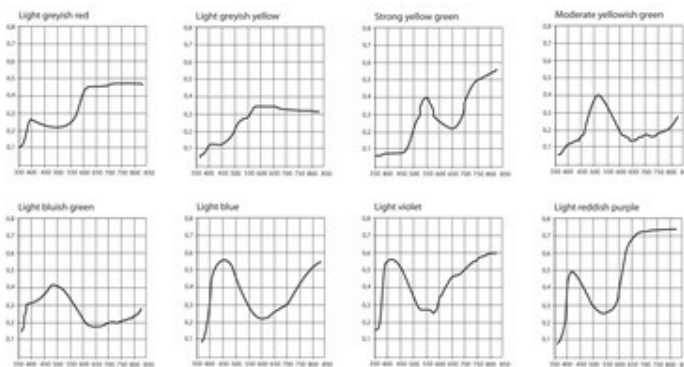
## LYSFARVE, FARVER OG FARVEGENGIVELSE

Både en farves spektrale refleksion og den spektrale sammensætning af det lys, der rammer farven, er afgørende for, hvordan en farvet flade ser ud.

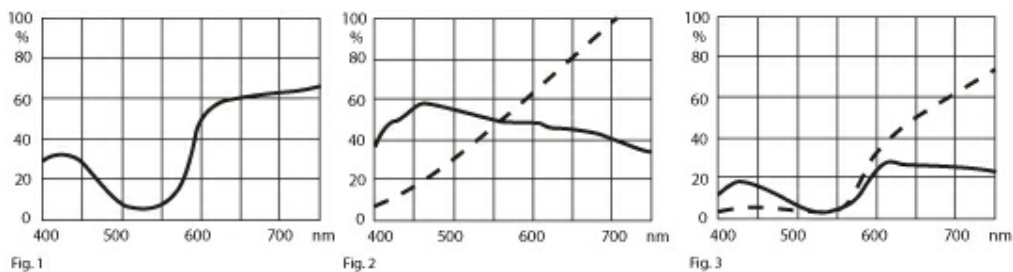
Det er væsentligt, at farver planlægges sammen med belysningen.

Det, der er afgørende for at en lyskilde har gode farvegengivende egenskaber, er, at lyskilden har en udstråling i alle bølgelængder inden for det synlige område af spektret.

Både en lyskildes [lysfarve](#) og dens farvegengivende egenskaber afhænger af dens [spektrale sammensætning](#). I den forbindelse skal det nævnes, at selv om to lyskilder ser ens ud med hensyn til deres lysfarve og har samme farvetemperatur, behøver de ikke at gengive farver på samme måde.



Figuren viser den spektrale refleksion af de 8 farver, der anvendes til bestemmelse af en lyskildes Ra-indeks. Figur: DCL.



Figuren til venstre viser den relative spektrale refleksion af en purpur (rødviolet) overflade. Figuren i midten viser den relative spektrale udstråling af lyset fra en glødelampe (stiplet) og et eksempel på den relative spektrale udstråling af dagslyset (ikke stiplet). Hvis overfladen belyses med lys fra en glødelampe, vil fladens spektrale udstråling være som vist i den stiplede kurve i figuren til højre. Hvis overfladen belyses med dagslyset, vil fladens spektrale udstråling være som vist i den optrukne kurve i samme figur. Det ses tydeligt, at overfladens farve vil være forskellig i de to slags lys. I glødelys vil den virke meget rødere end i dagslys. Figur: DCL.

### Farveadaptation

Bedømmelsen af farver afhænger af øjets farveadaptation. Hvis samme farve bedømmes først i glødelampelys og dernæst i dagslys, vil de i mange tilfælde se ens ud. Dette skyldes dels at øjet har vanskeligt ved at huske farver, dels at [øjets farveopfattelse](#) ændrer sig på en sådan måde, at det er mindst følsomt i det farveområde, som domineres af lyskilden, altså mindst følsomt for rødt i glødelys og mindst for blå i dagslys.

Hvis man prøver at bedømme farverne samtidig i dagslys og lyset fra en [temperaturstråler](#), vil man imidlertid opdage, at visse farver ser vidt forskellige ud. Dette fænomen kaldes metameri.







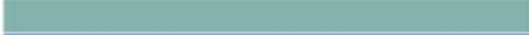









## LYSETS SPEKTRALE SAMMENSÆTNING

En lyskildes evne til at gengive farver afhænger af den spektrale sammensætning af det udsendte lys og angives med et Ra-indeks mellem 0 og 100.

Beregning af et [Ra-indeks](#) tager derfor udgangspunkt i en måling af lyskildens spektralfordeling, ud fra hvilken lyskilden kan karakteriseres ved dens farvekoordinater og [korrelerede farvetemperatur](#) (CCT). Lyskildens farvetemperatur er afgørende for, hvilken referencekilde der skal benyttes til beregning af Ra-indekset. Når en lyskildes Ra-index bestemmes, sker det ved at sammenligne lyskildens evne til at gengive 8 standardiserede testfarver (testfarve 1-8 i tabellen herunder) med en såkaldt ideallyskildes evne til at gengive de samme 8 farver. Derudover kan et specifikt Ra-indeks bestemmes for yderligere 6 testfarver. Disse kan benyttes til evaluering af en lyskildes gengivelse af bl.a. 4 klare farver samt hudfarvet (lys hudtone) og olivengrøn.

Hvis lyskildens farvetemperatur er under 5.000 K benyttes en ideel [temperaturstråler](#), mens dagslyset benyttes som reference, når farvetemperaturen er over 5.000 K. I begge tilfælde skal referencekilden have samme farvetemperatur som testlyskilden.

Som referencekilde benyttes en beregnet [spektralfordeling](#), idet man i langt de fleste tilfælde ikke har adgang til en fysisk referencekilde med den ønskede farvetemperatur. Spektralfordelingen for dagslys benyttes således som referencekilde for lyskilder med en farvetemperatur på omkring 6.500 K.

i	Test object color	
1	Light greyish red	
2	Dark greyish yellow	
3	Strong yellow green	
4	Moderate yellowish green	
5	Light bluish green	
6	Light blue	
7	Light violet	
8	Light reddish purple	
9	Strong red	
10	Strong yellow	
11	Strong green	
12	Strong blue	
13	Light yellowish pink	
14	Moderate olive green	

Figuren viser de 8 standardiserede testfarver (1-8) samt 6 testfarver (9-14), der anvendes til bestemmelse af henholdsvis Ra-indeks og specifikt Ra-indeks, som beskrevet i teksten.

Hvis alle 8 farver gengives ens, vil lyskilden have et Ra-index på 100. Lyskildens specifikke Ra-index for hver enkelt farve bestemmes som

$$R_i = 100 - 4,6\Delta E_i$$

hvor størrelsen af  $\Delta E_i$  (den euklidiske distance) angiver afvigelsen fra ideallyskilden. Lyskildens Ra-index bestemmes som et middeltal for de specifikke afvigelser.

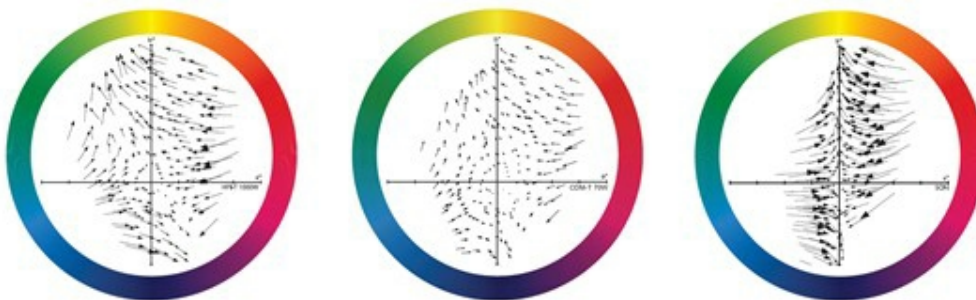
CIE Technical Report 13.3-1995 Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources indeholder en nøjagtig beskrivelse af den metode, som er standard for bestemmelse af Ra-index for en given lyskilde.



## ALTERNATIVER TIL RA-INDEKSET - CR-DIAGRAMMER OG TM-30

Et CR-diagram knytter sig til en bestemt lyskilde og indeholder information om, hvordan lyskildens gengivelse af forskellige farver afviger fra en ideallyskildes. CR-diagrammet er et mere moderne bud på, hvordan farvegengivelsen kan illustreres uden at tabe så meget information, som man gør med Ra-indekset.

Et [Ra-index](#) under 100 angiver, at farverne ikke gengives optimalt, men fortæller ikke noget om, hvor i spektret de største forskelle forekommer. Dette fremgår imidlertid af de CR-diagrammer, som nogle lyskildeproducenter laver som et supplement til Ra-indekset. I et CR-diagram indtegnes vektorer, som illustrerer i hvor høj grad lyskildens evne til at gengive et større antal farver afviger fra ideallyskildens. Hver vektor (pil) i diagrammet angiver lyskildens evne til at gengive en specifik farve. Jo længere vektoren er - jo dårligere gengives farven.



Eksempler på CR-diagrammer, som indeholder oplysninger om lyskildens gengivelse af 256 forskellige farver. Hver vektor (pil) i diagrammet angiver lyskildens evne til at gengive en specifik farve. Jo længere vektoren er, jo dårligere gengives farven. Figur: Philips.

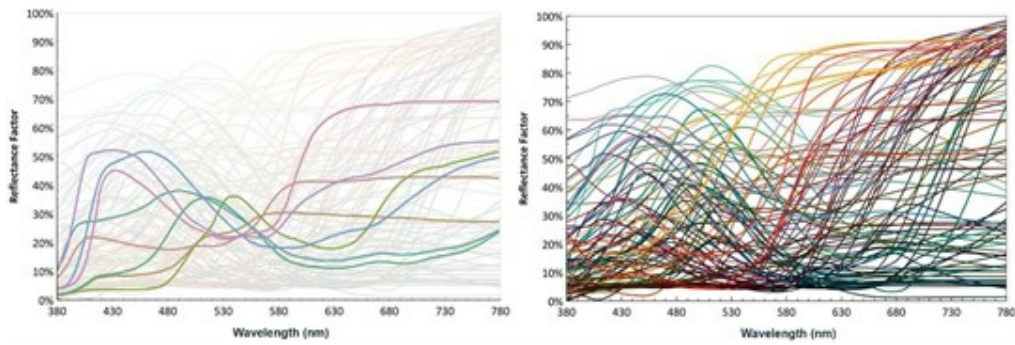
Et nyt og bedre mål for farvegengivelse har været undervejs i mange år, men det er ikke helt let at gøre det både enkelt og korrekt. LED's fremmarch har gjort det endnu mere nødvendigt, da der er særlige problemer med gengivelsen af røde nuancer. Metoden, som beskrives i amerikanske IES's TM-30 peger på en mulig vej fremad, og mange laboratorier kan beregne de nye indekser allerede.

Ra-indekset fungerer ikke ret godt i praksis. Den vigtigste fejl er nok, at CRI har for få referencefarver til at give et pålideligt output, og et output der tillader sammenligning af lyskilder baseret på forskellige teknologier. Da Ra-indekset grundlæggende er et gennemsnit, siger det heller ingen ingenting om, hvilke farvenuancer, som måtte halte gengivelsesmæssigt, og om farverne grundlæggende gengives mere eller mindre mættede.

Disse fejl tages der hånd om i IES-metoden TM-30-18, eller "IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition (TM-30-18)". Det gamle Ra-indeks foreslås erstattet af to nye indekser,  $R_f$  (color fidelity/farvepålidelighed) og  $R_g$  (color gamut/farvetonerum) suppleret med en grafisk fremstilling, som giver en mere detaljeret fornemmelse af, hvilke farvenuancer, som gengives med fejl og hvor store.

### $R_f$ - color fidelity

$R_f$ -indekset er det, som minder mest om Ra-indekset, men nu introduceres 99 nye referencefarver til erstatning for de gamle 8 (og op til 14), se figuren.



CIE  $R_a$  (8) referencefarver (tv.) og IES  $R_f$  (99) nye referencefarver (th.). Figur: Kevin Houser, Michael Royer og Aurelien, USA

Der er brugt lang tid på at vælge de nye 99 referencefarver på en sådan måde, at det totale farverum dækkes så godt som muligt. Dermed bliver der også rigtig svært at skjule lyskilders mangler inden for bestemte bølgelængder, sådan som det var muligt med  $R_a$ . Det nye  $R_f$  indeks går fra 0-100, hvor 100 er det bedste.

Vi skal sikkert forvente, at lyskilder med linjespektre, såsom natriumlys kilder og fluorescenslys kilder, som resultat får en noget hårdere bedømmelse, end lyskilder med kontinuerede spektre, såsom glødelamper og LED.

$R_f$  indekset er foreløbigt godkendt af CIE til brug i forskningsammenhænge, men rigtig mange leverandører kan alligevel opgiverne lyskildernes farvegengivelser efter TM-30, da de ikke skal udføres ekstra målinger. TM-30 er derfor ved at etablere sig som en mere komplet metode til evaluering af farvegengivelse ( $R_f$ ,  $R_g$  og grafik) selv uden CIEs officielle blåstempling.

### $R_g$ - color gamut

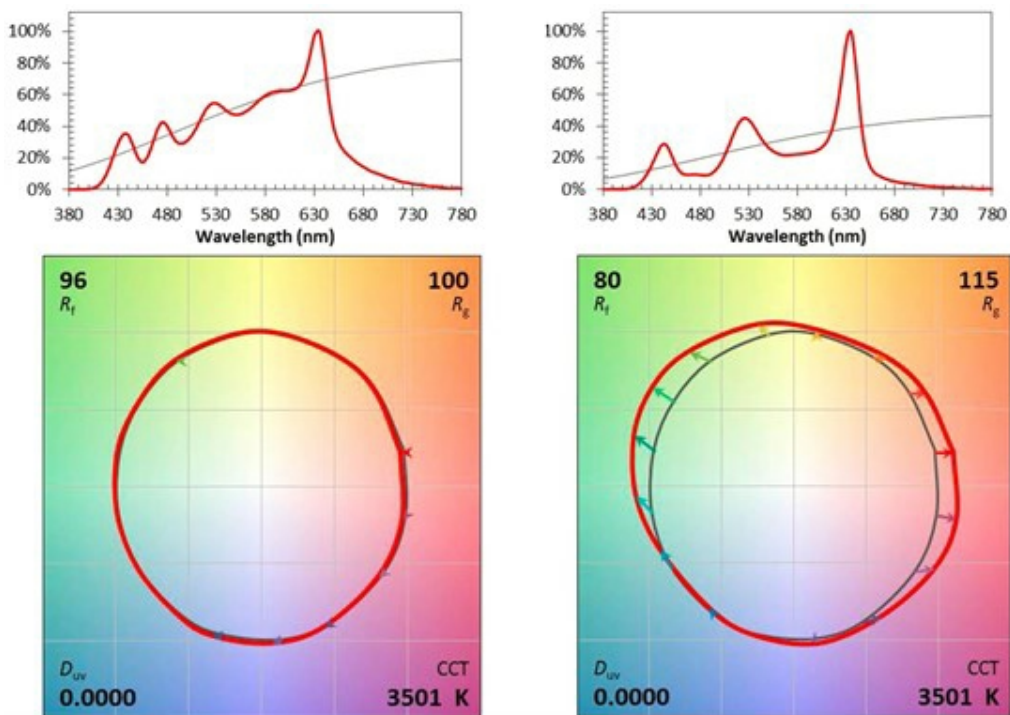
Det gamle  $R_a$ -indeks fortæller grundlæggende bare, at der er fejl i farvegengivelsen, men ikke noget om, hvorvidt farverne overdrives eller underdrives. Dette skal det nye  $R_g$ -indeks råde bud på. Hvis lyskilden i gennemsnit for alle farver hverken overdriver eller underdriver mætningen, så får lyskilden  $R_g$ -indeks = 100. Ved overdrevet mætning får lyskilden ifølge TM-30-15 et højere indeks, og omvendt ved underdrevet mætning. I figuren vises eksempler på, hvordan det gamle  $R_a$ -indeks fungerer i forhold til de to nye.



Det gamle  $R_a$  fanger kun, at der er fejl i farven, men ikke hvordan fejlen påvirker oplevelsen af farvemætningen. De foreslåede, to nye indekser opdeles i  $R_f$  ("hvor stor er farvefejlen i gennemsnit") og  $R_g$  ("opleves farverne i gennemsnit mere eller mindre mættede, end de burde"). Figur: DCL

### Flere farvedetaljer

Et spadestik dybere kan man nå med en grafisk fremstilling af lyskildens farvefejl. I figur 3 vises to forskellige LED-lys kilder. Den enes spektrum giver noget nær perfekt farvegengivelse, mens den anden har store fejl.



To forskellige LED-lyskilder, begge med farvetemperaturen 3501 K. Lyskilden til venstre ville opnå Ra 98, den til højre kun Ra 72. Den foreslåede grafiske fremstilling hjælper til at forstå, at lyskilden til højre har flest fejl i den røde og den grønne del af spektret, og at lyskilden vil overdrive disse farver (kurven ligger uden for den sorte ring). Figur: Kevin Houser, Michael Royer og Aurelien, USA

#### Fremtiden

Det amerikanske forslag er afleveret i 2015 til evaluering i CIE, hvor det blev gennemgået og diskuteret. Den tidligere modstand overvejende fra tysk og hollandsk side synes at blive mindre, men der er stadig diskussion om  $R_g$ -indekset, idet der måske stadig ikke er en tilstrækkelig god kobling til det menneskelige øjes oplevelse. Hvis CIE ender med standardisere metoden, skal den efterfølgende indarbejdes enten i ISO-standarder eller CEN-standarder for at opnå tilstrækkelig international udbredelse.

## INTRODUKTION

**Farvetemperatur, også kaldet lysfarve, knytter sig til lysets egen farvetone, dvs. om det virker koldt, neutralt eller varmt.**

Hvidt lys kan fremkomme på forskellig måde og kan være mere eller mindre hvidt. Lys med en varm lysfarve, som f.eks. lyset fra en [halogenglødepære](#), er karakteriseret ved en lav farvetemperatur, mens lys med en kold lysfarve, f.eks. den kølige blå himmel, er karakteriseret ved en høj farvetemperatur. Dette virker ulogisk for mange mennesker. Forklaringen er imidlertid simpel.

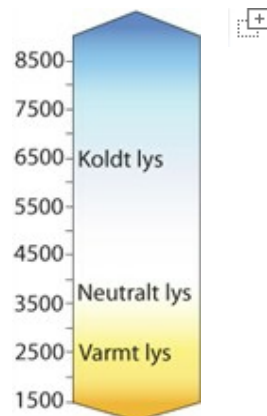
### Glødende jern

Når vi opvarmer et stykke jern, begynder det først at lyse svagt rødt. Lader vi temperaturen i jernet stige, bliver det lysere rødt for dernæst at blive rødgult og gult, siden hvidt og hvidt med et blåligt skær for endelig ved 20.000 grader at have den samme farve som himlen mod nord, når den er mest blå. Det er baggrunden for, at det varme lys har en lav farvetemperatur, og det kolde lys en høj farvetemperatur.

Lysets farvetemperatur angives i Kelvin (K).

Hvis lyset har en lysfarve, der er lavere end 3.300 Kelvin, oplever vi det som varmt, mens lys med en lysfarve over 5.000 Kelvin opleves som koldt. Lys med farvetemperaturer der ligger mellem 3.300 og 5.000 Kelvin, er karakteriseret ved at have en neutral lysfarve.

Med angivelsen af farvetemperaturen er intet sagt om [lysets spektrale sammensætning](#). Selvom to lyskilder har samme lysfarve, kan de meget vel have forskellig spektralfordeling, ligesom to lyskilder kan gengive farver forskelligt uden nødvendigvis at have forskelligt [farvegengivelsesindeks](#).



Varme lysfarver har farvetemperaturer under 3.300 Kelvin, mens farvetemperaturen for kolde lysfarver er over 5.000 Kelvin. Hvis farvetemperaturen er mellem 3.300 og 5.000 Kelvin, er lysfarven neutral.



Lyset fra en nedgående sol har en meget varm lysfarve, mens lyset på en klar dag med snedække har en meget kold lysfarve. Foto tv.: Lisa Trapp. Foto th.: Carlo Volf.

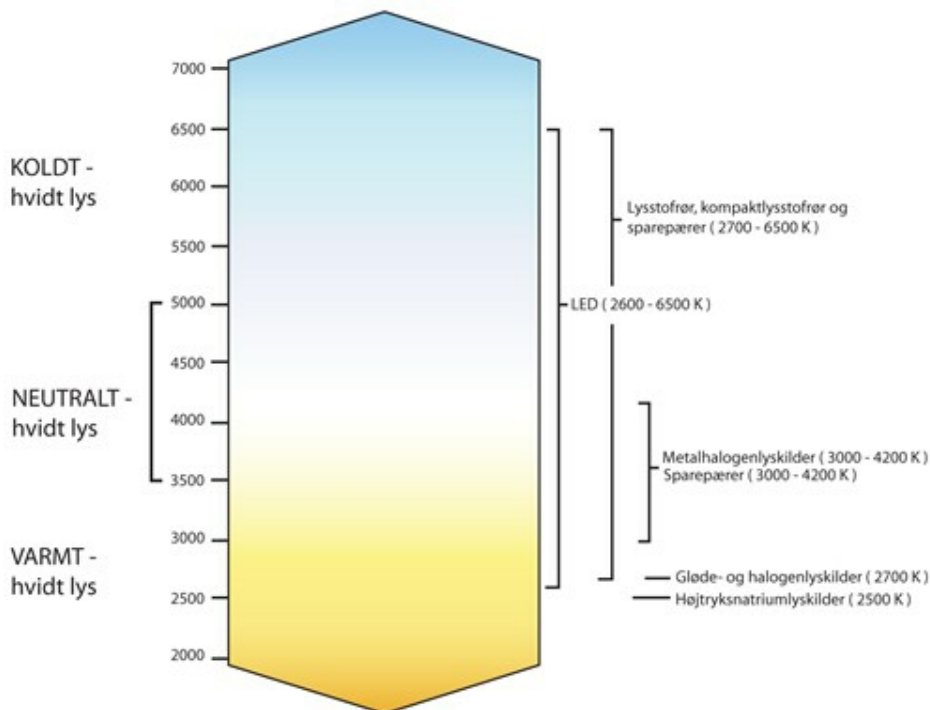
### Hvor store spring kan øjet registrere?

Ved lave farvetemperaturer, f.eks. 3.000 K, kan øjet skelne spring på ca. 50 Kelvin. Jo højere farvetemperaturen er, jo større skal springene være, for at øjet kan opfatte det. Dette kan f.eks. kvantificeres med begrebet [MacAdam steps](#).

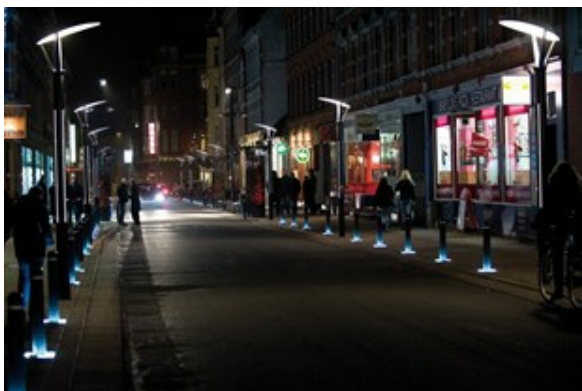
## LYSKILDERS TYPISKE FARVETEMPERATURER

Farvetemperaturerne for de lyskilder, vi almindeligvis anvender til belysning ude og inde, er forskellige.

Nogle typer [lyskilder](#), som for eksempel [LED](#), [lysstofrør](#) fås både i varme, neutrale og kolde udgaver. De typiske farvetemperaturintervaller for de forskellige lyskildetyper fremgår af figuren herunder.



Typiske farvetemperaturintervaller for forskellige lyskildetyper. Figur: DCL.



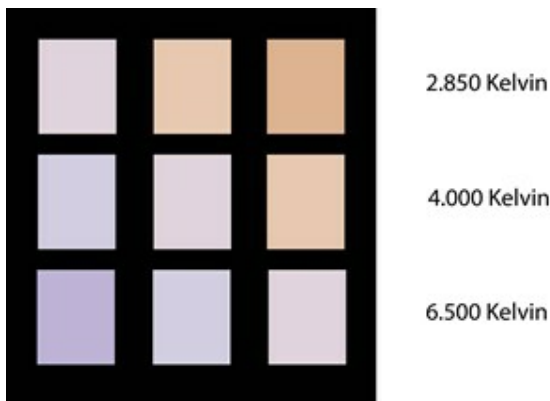
På billederne ses gadebelysning med koldt lys fra [metalhalogenlamper](#) (til venstre) og varmt lys fra [højtryksnatriumlamper](#) (til højre). Foto til venstre: Philips. Foto til højre: Thorn Lighting.

## ØJET TILPASSER SIG LYSETS FARVE

**Lysfarven påvirker vores indtryk af omgivelserne. Når der er tale om hvidt lys, tilpasser vores øjne sig dog hurtigt lysets farvetone.**

Vores [visuelle system](#) har en evne til i en vis udstrækning at se bort fra lysets påvirkning af en farve. Dette gælder for hvidt lys, og man anvender i den forbindelse begrebet kromatisk adaptation. Selvom et hvidt objekt ser forskelligt ud under forskellige typer hvidt lys, vil objektet bevare den hvide fremtræden, så længe vores øjne er adapteret til lysets aktuelle lysfarve.

Hvis vi kommer fra et lokale med meget varmt lys på 2.500 K til et lokale, hvor [farvetemperaturen](#) er på 3.000 K, vil vi i første omgang opleve lyset i det nye lokale som køligt. Ligesom øjet tilpasser sig det lysniveau, der er i omgivelserne ([adaptation](#)), tilpasser det sig nemlig også lysets farve.



Figuren viser hvordan lys med forskellig farvetemperatur tilnærmelsesvist fremstår efter adaptation til en farvetemperatur på hhv. 2.850 K, 4.000 K og 6.500 K. Figur: DCL.

Lysfarven påvirker desuden vores indtryk af et rum. For eksempel vil et lokale, hvor lyset er relativt koldt, ofte virke renere end et lokale med en varm lysfarve. Desuden er det kendt, at man lidt lettere får en følelse af at man fryser i et rum med kølig belysning.

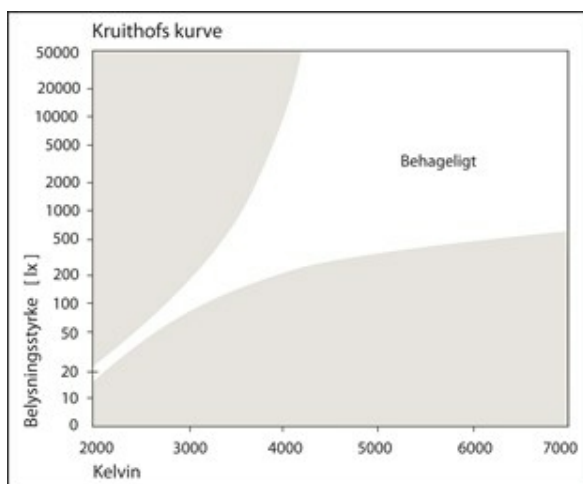


## KRUIHOF'S KURVE

Lysfarve og lysniveau har betydning for vores opfattelse af omgivelserne. I den forbindelse er det vigtigt at lysfarven i et lokale er tilpasset både aktiviteter og belysningsniveau.

I 1941 undersøgte den hollandske forsker Kruithof sammenhængen mellem [belysningsstyrke](#) og lyskilders farvetemperatur i et lokale. Målet var, at indtrykket af lokalet skulle virke behageligt og farverne normale. Resultatet er Kruithofs kurve. Det er ikke meningen, at kurven skal anvendes til aflæsning af eksakte værdier, og kurven giver alene oplysninger om, hvad der føles behageligt og ikke hvilken lysfarve, der er velegnet til arbejdsbelysning.

Øjets følsomhed overfor farver i en belysning med en given [spektralfordeling](#) varierer afhængig af belysningsstyrken. Årsagen er at [nethindens tappe og stave](#), som er aktive samtidig, har forskellige følsomhedskurver, og at stavene gradvist tager over, når lysniveauet sænkes. Dette medfører at f.eks. lys med en farvetemperatur på 6.000 K vil blive opfattet som hvid, når lysniveauet er højt, men blåligt, når lysniveauet reduceres.



Kruithof kurve viser, hvilke sammenhørende værdier for belysningsstyrke og farvetemperatur i et lokale, der vil virke behagelige. Det er ikke meningen, at kurven skal anvendes til aflæsning af eksakte værdier. Figur: DCL.

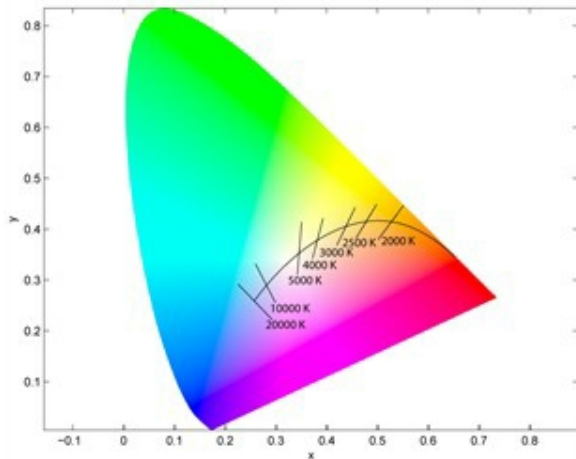
### Lysfarvepræferencer

Den foretrukne lysfarve skifter og afhænger bl.a. af klimaet. I Norden foretrækker de fleste i mange sammenhænge et varmt lys, mens man i Sydeuropa som oftest foretrækker en køligere [lysfarve](#).

## KORRELERET FARVETEMPERATUR

Den korrelerede farvetemperatur for en lyskilde angiver den temperatur, som en ideel temperaturstråler skal have, hvis lyset fra de to lyskilder skal have samme lysfarve.

I nogle sammenhænge er begrebet korreleret farvetemperatur (CCT, eng. correlated color temperature) af interesse. Den korrelerede farvetemperatur er defineret som den temperatur en ideel [temperaturstråler](#) skal have, for at lyset fra denne opfattes at have samme farve som lyskilden. Den korrelerede farvetemperatur bestemmes ud fra diagrammer som figuren herunder.



CIE's farvetrekant (kromacitetsdiagram) fra 1931 med hulrumsstrålerkurven (= "Planck-kurven" eller "Planckian locus") indtegnet. På hulrumsstrålerkurven ligger de rene hvide farver, hvis farvetemperatur er angivet i figuren. Figur: DTU Fotonik.

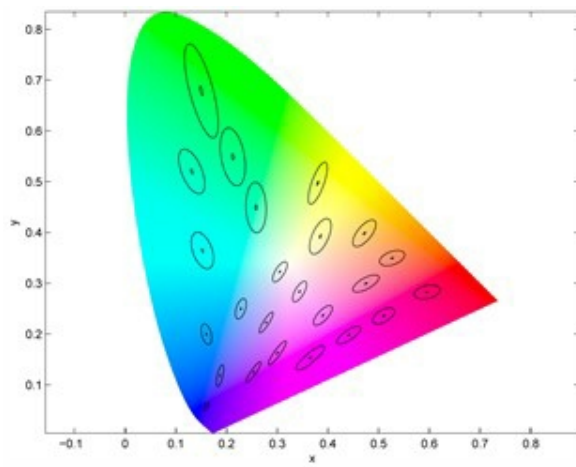
Da man ikke kan være sikker på, at en hvid lyskildes farvekoordinater ligger på hulrumsstrålerkurven (også kaldes Planck-kurven, eller Planckian Locus), kan det være nødvendigt at angive afstanden til denne. Dette gøres med parameteren kaldet den kromatiske afvigelse, som betegnes DC og er dimensionsløs. Hvis DC er stor vil lyset fra lyskilden have enten et grønligt eller rødtligt skær eller stik. Ifølge CIE's anbefaling skal DC være mindre end  $5,4 \cdot 10^{-3}$ , hvilket også benyttes som en praktisk tolerance for, hvornår beregninger af [farvegengivelse](#) kan anses som retvisende.

### MacAdam ellipser

Farveændring og farvehomogenitet måles ved trin af MacAdam ellipse skalaen. Et trin på denne skala regnes som akkurat synligt for [det menneskelige øje](#).

Det menneskelige øje kan ikke opfatte variationer af farvetemperaturen, hvis disse variationer er tilpas små, men det er lidt forskelligt fra individ til individ. Farvevariationen kan angives ved såkaldte MacAdam ellipser, hvor variationen angives som en SDCM-værdi (standard deviation of colour matching). SDCM-værdier er sandsynlighedsværdier for, at individer kan skelne en vis farveforskel.





CIE's farvetrekant (kromaticitetsdiagram) fra 1931 med MacAdam ellipser indtegnet. Figur: DTU Fotonik.

En lav SDCM-værdi angiver en farvetemperaturafvigelse, der kan være indenfor en meget lille MacAdam ellipse, mens en høj værdi omvendt angiver en stor variation af lysets farve. Værdien 4 svarer ca. til en farveafvigelse i forhold til Planckkurven på +/-100K ved en farvetemperatur på 3000K, mens en værdi på 7-8 svarer til en farvevariation på ca. +/-175K (Harbers, Color Matching LED Sources, CIE conference, Wien, 2010).

Omkring hvert sæt af kromatiske koordinater findes et område, hvor farvevariationen er så lille, at området for næsten alle forekommer fuldstændig ensfarvet. Dette område svarer til én MacAdam ellipse med værdien SDCM=1. Tilsvarende findes andre ellipser rundt om i samme koordinatsæt, hvor man gradvis kan skelne mere og mere. Inden for en SDCM på 7 vil næsten alle individer kunne skelne en farveforskel mellem koordinatsættet i midten, og et punkt på ellipsens periferi.

# ABSOLUT SORT LEGEME

Definitionen af lysets farvetemperatur knytter sig til temperaturen af et såkaldt absolut sort legeme.

[Farvetemperaturen](#) af en lyskilde er defineret som den temperatur, som et absolut sort legeme skal have, for at udsende stråling, hvis farve svarer til farven af lyskildens stråling. For at forstå dette er vi nødt til først at kende definitionen af et absolut sort legeme.

Fordelingen på de forskellige bølgelængder af den effekt, der udsendes af et opvarmet legeme, afhænger bl.a. af arten af legemet og af dets temperatur.

Et legemes udstråling er afhængig af dets overflades art og farve. Blanke flader har lille udstråling, mens mørke flader har stor udstråling. Der er en nøje sammenhæng mellem en overflades udstråling og dens [optiske egenskaber](#), i særdeleshed dens evne til at absorbere stråling. Jo større absorptionsevne jo større udstråling.

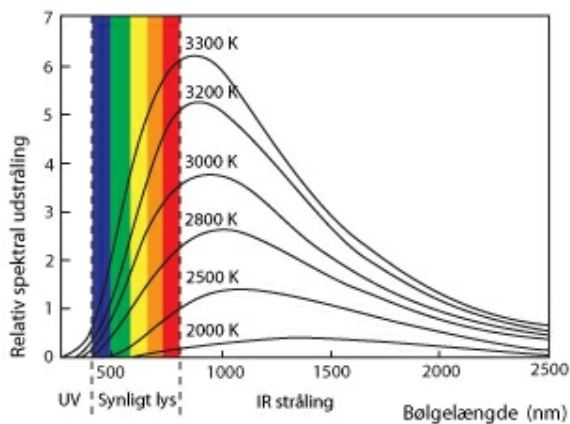
Et absolut sort legeme er et legeme, som absorberer alt indkommende lys, og som udsender lys pga. legemets egen temperatur. Strålingen fra et absolut sort legeme afhænger derfor udelukkende af legemets temperatur.

Det er i princippet muligt med tilnærmelse at konstruere et absolut sort legeme. Man fremstiller en indvendig mat, sort beholder forsynet med en lille åbning, gennem hvilken strålingen udsendes. Ved lave temperaturer ser åbningen sort ud, fordi det lys, der kan komme ind i beholderen, kun kan komme ud igen efter at være tilbagekastet et stort antal gange fra væggene inde i beholderen. Da disse vægge har en lille refleksionsevne vil de altså absorbere størstedelen af lyset.

## Hulrumsstråling

Hulrumsstråling er [elektromagnetisk stråling](#), der udsendes fra et absolut sort legeme. Strålingens intensitet og frekvensfordeling afhænger alene af det sorte legemes temperatur. For hulrumsstråling gælder forskellige fysiske love, som ikke gennemgås i denne sammenhæng, herunder Plancks lov. Hulrumsstråling kan desuden betegnes Planck-stråling.

I år 1900 fremkom den tyske fysiker Max Planck med en teoretisk beskrivelse af spektret for strålingen fra et absolut sort legeme.



Figuren viser spektre, såkaldte Planck-kurver, for absolutte sorte legemer ved forskellige ligevægtstemperaturer. Ved højere temperaturer ligger toppen af Planck-kurven, hvor intensiteten er størst, i den mere kortbølgede ende af spektret. Ved lavere temperaturer ligger hovedparten af strålingen ved længere bølgelængder. Figur: DCL.

## Kromaticitet

I de tilfælde, hvor der er behov for en meget præcis angivelse af farveegenskaberne, end den der er mulighed for med farvetemperatur og [Ra-indeks](#), angives lysets kromatiske koordinater.

I CIE's kromaticitetsdiagram fra 1931, også kaldet [CIE-farvetrekanten](#), er den såkaldte hulrumsstrålerkurve (på engelsk kaldet Planckian Locus) defineret af koordinaterne for en ideel temperaturstråler, dvs. et absolut sort legeme. Enhver kromaticitet (farveegenskaber af farvestimulus defineret ved kromaticitetskoordinater eller ved dominerende bølgelængde og

renhed) repræsenteret ved et punkt på hulrumsstrålerkurven kan specificeres ved en bestemt farvetemperatur. Strengt taget bør en kromaticitet, hvis koordinater ikke ligger på hulrumsstrålerkurven ikke blive specificeret ved en farvetemperatur. I almindelig praksis, specificerer vi imidlertid hvidt lys af enhver art ved en farvetemperatur.

## INTRODUKTION

Lyset reflekteres eller transmitteres af forskellige genstande i vores omgivelser, f.eks. vægge, møbler, vinduer eller vand. At disse genstande er synlige, skyldes netop, at de reflekterer eller transmitterer dele af lyset.

Når en lysstråle rammer overfladen af et materiale, vil en del af lyset altid blive reflekteret (kastet tilbage), mens en del vil blive absorberet (trænge ind i) materialet og omdannes til varme. Hvis absorptionen ikke er fuldstændig, vil resten af lyset komme ud på den anden side af materialet, det vil blive transmitteret.



Alt hvad vi omgiver os med reflekterer lyset i større eller mindre grad.  
Foto: Astrid Espenhain.

Man skelner mellem forskellige former for refleksion:

- spejlende refleksion, hvor lyset spejles i overfladen
- diffus refleksion, hvor lyset spredes jævnt, når det reflekteres fra overfladen
- blandet refleksion, som er en blanding af spejlende og diffus refleksion

Lyse lofter og vægge er bedst til at reflektere lyset. I tabellen herunder er angivet typiske refleksionskoefficienter for forskellige materialer og farver.

### Refleksionskoefficienter (%)

Farver, tapeter ect.		Metaller ect.	
Oilefarve, hvid ny	80 - 90	Sølv, poleret	90 - 95
Oilefarve, hvid gammel	70 - 80	Aluminium	90 - 95
Lysegrå	40 - 65	Spejl	80 - 95
Mørkegrå	10 - 35	<b>Papir, tekstiler ect.</b>	
Sort	2 - 5	Hvidt skrivepapir	70
Rosa	35 - 60	Brunt papir	15
Mørkerød	10 - 20	Sort papir	5
Skarlagenrød, rent farvepulver	10 - 15	Sort tekstil	1 - 4
Gul	40 - 70		

Tabellen indeholder refleksionskoefficienter for nogle af de farver og materialer, vi ofte finder i omgivelserne.

Lyse flader reflekterer lyset langt bedre end mørke. Derfor har det stor betydning, at flader, der specifikt er beregnet til refleksion af lys, er så lyse som muligt under hensyntagen til [blænding](#) og andre relevante forhold.

Et eksempel på dette er ovenlys, hvor ovenlyskassens flader skal reflektere så meget lys som muligt.

Til begrebet refleksion knytter sig desuden [farve](#), [tekstur og glans](#), som behandles under emnet [Lys og materiale](#).



Refleksionsfaktoren er afgørende for, hvor effektivt en flade, som f.eks. et loft eller siderne i et ovenlys, kan reflektere dagslyset. Fotos: Astrid Espenhain.

## REFLEKTANS

Reflektans er et udtryk for, hvor meget lys en flade tilbagekaster.

Reflektansen (eller refleksionsfaktoren) bestemmes som forholdet mellem den reflekterede [lysstrøm](#) fra en flade og den lysstrøm, der rammer fladen, og er en faktor mellem 0 og 1.

Reflektansen betegnes med det græske bogstav  $\rho$  (rho).

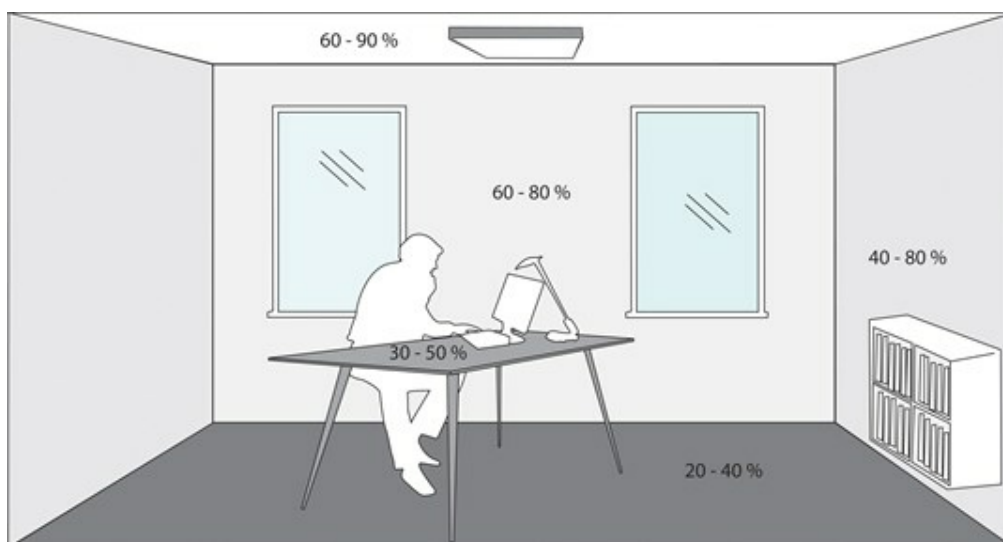
En reflektans på 0,55 betyder at 55 % af den indfaldende lysstråling vil blive reflekteret af fladen. På tilsvarende vis angives andelen af transmitteret og absorberet lysstråling ved hhv. en transmissionsfaktor og en absorptionsfaktor.

For et givet materiale vil summen af de 3 faktorer (refleksionsfaktoren, transmissionsfaktoren og en absorptionsfaktoren) altid være 1.

### Anvend korrekte værdier for reflektans

Det har stor betydning for [energiforbruget](#) om de betydende flader, primært gulve, vægge og lofter, er mørke eller lyse. Lyse flader med høj reflektans reflekterer meget mere lys end mørke flader med lav reflektans.

I belysningsberegningsprogrammer, som f.eks. Dialux el. FabaLight er reflektanser for gulve, vægge og lofter som udgangspunkt sat til hhv. 0,2; 0,5 og 0,7. Reflektanserne har imidlertid stor betydning for hvor mange armaturer, der skal benyttes for at opnå det ønskede [belysningsniveau](#). Derfor er det vigtigt at disse værdier justeres, så de svarer til de faktiske forhold.



I figuren er angivet, hvilke refleksionskoefficienter der, under normale betingelser, vil være ideelle for forskellige overflader i et lokale.

### Anbefalede reflektanser i arbejdslokaler

Som udgangspunkt anbefaler man reflektanser for betydende flader i arbejdslokaler, som vist i figuren. Årsagen til, at der anbefales en højere reflektans til vinduesvæggen end til vægge uden vinduer er, at vinduernes egen reflektans er relativt høj, og der derfor kan opstå generende [blænding](#) fra vinduerne, hvis vinduesvæggens reflektans er for lav i forhold til vinduernes.

For [specifikke typer arbejdsopgaver](#) kan der være forhold, der gør, at de anbefalede reflektanser afviger fra disse. Det gælder for eksempel [skærm- og kontorarbejdspladser](#). Her anbefales reflektanser som vist i figuren.

## FORSKELLIGE TYPER REFLEKSION

Refleksionen fra en overflade kan være mere eller mindre spejlende afhængig af, hvor blank eller ru den er.

Man skelner mellem forskellige former for refleksion:

- spejlende refleksion
- diffus refleksion
- blandet refleksion

Den spejlende refleksion er karakteriseret ved, at et parallelt strålebundt, der rammer en overflade, reflekteres af denne i et parallelt strålebundt, og således at indfaldsvinklen er lig udfaldsvinklen. Denne form for refleksion kendes fra spejle, blanke metaloverflader mv.

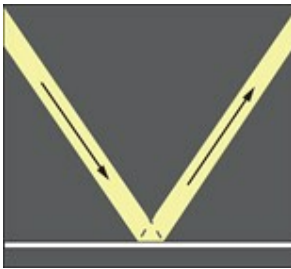
Den diffuse refleksion er karakteriseret ved, at et strålebundt der rammer en overflade, reflekteres af denne på en sådan måde, at lyset spredes i alle retninger. Denne form for refleksion kendes fra helt matte vægge.

Den ideelt diffuse refleksion er kendetegnet ved at lysstyrken af det reflekterede lys følger 2. cosinuslov, dvs.

$$I_v = I \cdot \cos(\nu).$$

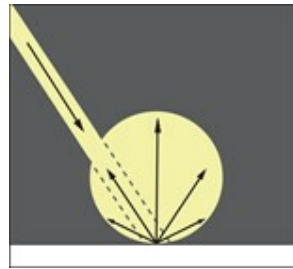
Den ideelt diffuse refleksion kaldes på engelsk 'Lambertian' og siges at følge 'Lambert's cosine law' efter Johann Heinrich Lambert, som beskrev fænomenet allerede i 1760.

Den blandede refleksion er, som navnet antyder, en blanding af spejlende og diffus refleksion. Denne form for refleksion kendes for eksempel fra porcelæn.



Ved spejlende refleksion er udfaldsvinkel = indfaldsvinkel

$$L = L_{rum} \cdot \rho_{spejl}$$

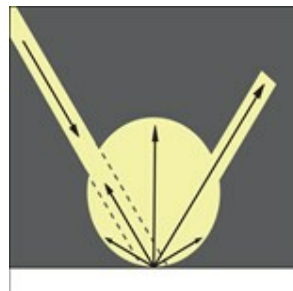


Ved ideel diffus refleksionspredes lyset fra fladen efter

$$L = L_{rum} \cdot \rho_{flade} / \pi$$



Refleksionen fra hvidt papir er tilnærmet diffus



Refleksionen fra hvidt porcelæn er blandet

## FORSKELLIGE TYPER TRANSMISSION

Nogle materialer er helt lystætte, mens andre, som f.eks. glas og gardiner, er mere eller mindre gennemsigtige og transmitterende.

Ligesom ved refleksion skelner man mellem

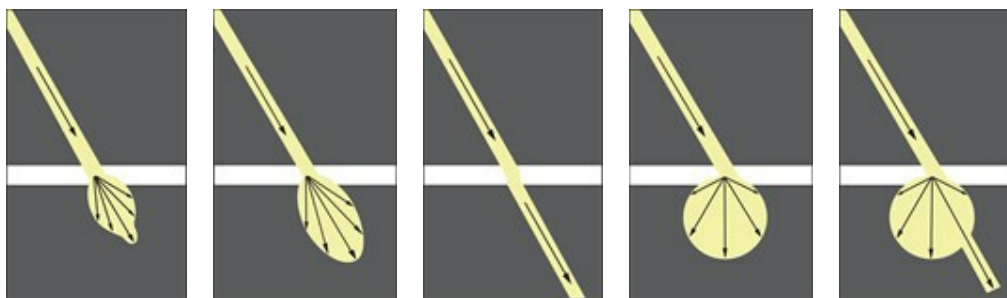
- ren transmission
- diffus transmission
- blandet transmission

Den rene transmission er karakteriseret ved, at et parallelt strålebundt der rammer et [transmitterende materiale](#), og efter at have passeret dette stadig er et parallelt strålebundt med en retning parallel med indfaldsretningen. Denne form for transmission kendes f.eks. fra rent glas.

Den diffuse transmission er karakteriseret ved, at lyset spredes i alle retninger efter at have passeret et diffust transmitterende materiale. Denne form for transmission kendes fra opaliseret glas.

En særlig form for diffus transmission er den ideelt diffuse transmission, der er kendetegnet ved at lysfordelingen af det transmitterede lys følger 2. cosinus lov eller Lamberts cosinuslov.

Endelig er der blandingen mellem den rene og den diffuse transmission, der kaldes blandet transmission.



Forskellige typer transmission. De to figurer til venstre viser eksempler på semidiffus transmission, figuren i midten viser den rene transmission, derefter følger ideel diffus transmission og helt til venstre vises et eksempel på blandet transmission.



## NEUTRAL OG SELEKTIV REFLEKSION OG TRANSMISSION

Hvordan lyset fra en overflade reflekteres, afhænger i høj grad af det materiale, overfladen består af.

Hvis en overflade af et givet materiale reflekterer lys af alle bølgelængder lige godt, vil lys, der reflekteres af overfladen, ikke skifte farve ved refleksionen. Man kalder denne refleksion for neutral eller ikke selektiv refleksion.

Visse materialer eller overflader reflekterer lys af nogle bølgelængder bedre end andre. Herved bliver farven af det reflekterede lys ændret ved refleksionen og man kalder denne for selektiv refleksion.

Analogt hermed taler man om neutral og selektiv transmission, f.eks. gennem tonet eller farvet glas.

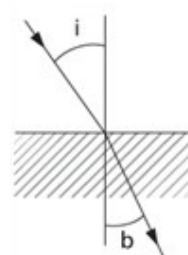


Gulvets farve reflekteres i loftet.  
Kilen på Frederiksberg.  
Foto: Astrid Espenhain.

### Refraktion

Når et strålebunt passerer mellem to stoffer vil det som regel skifte retning eller 'brydes', som det også kaldes. Denne brydning kaldes refraction.

For at kunne beregne den retning en lysstråle får, når den er blevet brudt, har man indført begrebet 'refraktionsindeks' (brydningsforhold), som betegnes med bogstavet  $n$  og er forholdet mellem sinus til indfaldsvinklen ( $i$ ) og sinus til vinklen ( $b$ ) mellem den brudte stråle og normalen til overfladen:



$$n = \sin(i) / \sin(b)$$



Naturvidenskabsmanden og filosofen Isaac Newton (1642-1727) var den første til at vise, at hvidt lys er en blanding af lys med forskellige farver. Her lader Isaac Newton sollyset spredes i et prisme. Foto: Gyldendal/[www.denstoredanske.dk](http://www.denstoredanske.dk)

### Grænser for brydning

Der er grænser for, hvor stor afbøjning, der kan opnås ved brydning. En sådan grænse sættes af, at en lysstråle, der trænger ind i et lysbrydende medium, højst kan danne en vinkel  $V_m$  med normalen til grænsefladen. Denne vinkel er ca.  $42^\circ$  ved et brydningsindeks på 1,5.

Inde i mediet kan der imidlertid udmærket findes lysstråler, som danner en større vinkel med grænsefladens normal. Disse kan dog aldrig trænge ud gennem grænsefladen, men vil totalreflekteres i denne. Totalrefleksion er i princippet en spejling med en [reflektans](#) på 100 %. Hvis grænsefladen er ridset eller snavset, kan der dog forekomme tab.

Ved et brydningsindeks på 1,5 kan et prisme højst afbøje en retning i en vinkel på  $180^\circ - 2 * V_m \approx 96^\circ$ . I praksis kan man dog ikke komme så højt op. Bl.a. vil begge prismesider være næsten parallelle med stråleretningerne, således at den lysstrøm, der kan styres af prismet, er meget

lille.

En anden årsag er, at den ene prismeside i praksis som regel må indgå som en del af den plane side af et glas eller en skærm. De interessante retninger vil ofte være omtrent vinkelrette på denne side, således at lysbrydningen må varetages alene af den anden side. Den mulige afbøjning er da kun halvt så stor og må i realiteten holdes endnu lavere.

En yderligere årsag til at afbøjningen må holdes lavere end det teoretisk opnåelige, er at der i enhver grænseflade optræder en vinkelafhængig refleksion. Denne refleksion er givet ved Fresnels formel, der er et udtryk for et uundgåeligt fysisk forhold (til dyre linser anvendes dog belægning, som reducerer refleksionen).

Ved et brydningsindeks på 1,5 er reflektansen kun ca. 4 % for den retning, der er vinkelret på grænsefladen. For stigende vinkler med normalen vokser reflektansen imidlertid og når i princippet 100 % for retninger som er parallelle med grænsefladen. For den omvendte stråleretning sker der en helt tilsvarende refleksion tilbage i det lysbrydende medium, idet en reflektans på 100 % optræder fra og med den omtalte maksimale vinkel.

I praksis må man søge at undgå kraftige refleksioner og dermed begrænse afbøjningen. Alt i alt holdes afbøjningen derfor ofte under  $30^\circ$  -  $40^\circ$ .

Toralreflektion anvendes f.eks. i lysledere og i de såkaldte TIR-linser til LED ("total internal reflection").

## REFLEKSBLÆNDING

Refleksioner og spejlinger i blanke og spejlende overflader kan være generende, bl.a. fordi de reducerer synligheden af arbejdsobjekter og lignende.

Såkaldt refleksblænding forekommer, når en eller flere lyskilder er spejlet i blanke eller spejlende overflader i samme retning som synsopgaven, dvs. det betragtede objekt, eller nær denne. Hvis disse refleksioner er meget lysende, kan de forårsage gener som for eksempel irriterede øjne.

Refleksblænding kan forårsage [synsnedsættende blænding](#) for eksempel ved spejling af en lyskilde eller et armatur i en blank metalplade eller spejling af himlen i genbofacader eller andet.

I mindre udtalt grad af refleksblænding kan [ubehagsblænding](#) opstå, for eksempel ved spejling i en blankpoleret bordplade eller ved spejling af armaturer i vinduer, når det er mørkt udenfor.

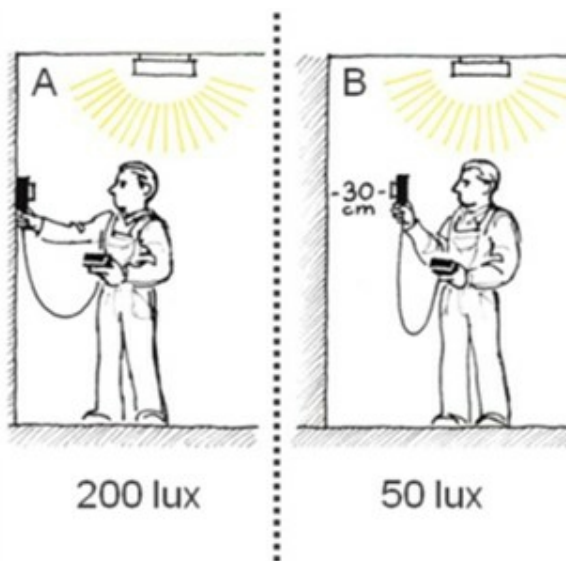
I de tilfælde, hvor refleksioner finder sted i meget blanke overflader, er refleksblændingen egentlig en direkte eller indirekte blænding. Refleksioner i mindre blanke overflader, som f.eks. halvblankt papir, kaldes sløringsrefleksioner, og giver sig til udtryk i en nedsættelse af [kontrasterne](#) i disse.

## MÅLING AF REFLEKTANS

Det kan ikke altid lade sig gøre at måle reflektansen af en flade. Somme tider kan en tilnærmet måling være tilstrækkelig.

Reflektansen er et udtryk for forholdet mellem den reflekterede [lysstrøm](#) fra en flade og den lysstrøm, der rammer fladen. For at kunne måle [reflektansen](#) er man derfor nødt til at kunne måle indfaldende og reflekteret lysstrøm, hvilket de færreste har mulighed for.

Hvis der er tale om en ideelt diffus flade, vil lysstrømmen imidlertid være direkte proportional med [belysningsstyrken](#). Reflektansen kan derfor i disse tilfælde bestemmes (tilnærmet) som vist på figuren herunder, hvor reflektansen (i %) bestemmes som  $R = b/a \cdot 100$ , hvor a er belysningsstyrken målt med luxmeter ind på fladen, og b styrken af det reflekterede lys i ca. 30 cm's afstand.



Måling af reflektans. Figur: DCL.

## INTRODUKTION

Lys (og skygge) er intet uden form, farve og tekstur, som kan reflektere eller transmittere lyset. Lysets formgivende eller modellerende egenskaber er koncentreret om lysets retning, karakter og skyggedannelse i genstand og detalje.

Lysets sammensætning af direkte lys og diffust lys har betydning for skyggetegningen og opfattelsen af form og detaljer i de objekter, vi omgiver os med.

Under forudsætning af, at der er lys nok, kan vi opfatte former og detaljer. Denne proces foregår i [hjernen, som bearbejder synsindtrykkene](#). Vores evne til at opfatte formede enkeltheder eller detaljer kaldes [formsansen](#) og er afhængig af flere forhold vedr. både vores syn og de fysiske forhold.

Belysningen har betydning for vores opfattelse af form og [tekstur](#), idet synssansen tolker lysheder, skygger og glans. Disse faktorer bestemmes af lysets retning, og lyset er derfor en afgørende forudsætning for, hvordan dimensioner, form og tekstur opleves.

[Gode synsbetingelser](#) kræver et passende forhold mellem lys og skygge uden generende kontraster. En passende kombination af diffust og rettet lys er ofte den optimale løsning, og udfordringen er at finde den rette balance, så kontrasterne mellem lyse og mørke områder ikke virker generende. For at skyggedannelsen bliver entydig og formtegningen bedst mulig, er det desuden vigtigt, at lyset har en hovedretning.



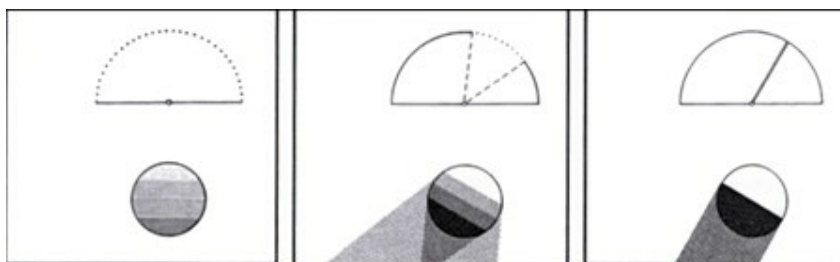
Skyggetegningen afhænger fuldstændig af lyset, som enten er rettet (tv.), diffust (m.) eller en kombination af de to (th.). Fotos: DCL.

### Formtegning, skygge og glans

Formen på enhver rumlig genstand opfattes som følge af enten skyggetegning eller glanstegning. På lyse overflader vil det være skyggetegningen, der har størst betydning. På mørke overflader vil glanstegningen være mest synlig. I de fleste tilfælde opfattes form ved en kombination af skygge og glans.

Belysningen bør ikke været for rettet, da det vil frembringe hårde skygger. Belysningen bør heller ikke være for diffus, så lysets formtegnende egenskaber går tabt, hvilket resulterer i et meget kedeligt lysmiljø (DS/EN 12464-1 Afsnit 4.6.3).

Figuren herunder viser skyggetegningen for diffus belysning, afgrænset belysning og parallelt lys. I praksis skal de to ekstremer, dvs. helt rettet og helt diffust, undgås. Dog kan næsten parallelt lys være velegnet til fremhævelse af små genstande og tekstur, ligesom næsten diffust lys kan være egnet til belysning af større rumflader. Skyggetyper, der ligger i et område mellem de to yderområder, vil være alment brugbare. I de tilfælde, hvor der ønskes formende skygger, vil et forhold omkring 4:1 mellem det direkte og det indirekte lys være passende.



Skyggetegning som følge af diffus, afgrænset og rettet belysning. Figur: Sophus Frandsen/DS700.

Jo flere nuancer en skygge har, jo bedre kan vi opfatte en form. En svag skygge giver ikke tilstrækkelig information, ligesom mørke og skarpe skygger uden bløde overgange mellem lys og skygge gør det svært at opfatte formen.

#### **Tekstur**

Skygger og reflekser giver ofte betydelig information om en overflades tekstur. Lysstråling som rettes, så skyggerne viser tekturen, beskriver som regel overfladen på en måde, der er let at tolke for [synssansen](#).

#### **Flerdobbelt skygge**

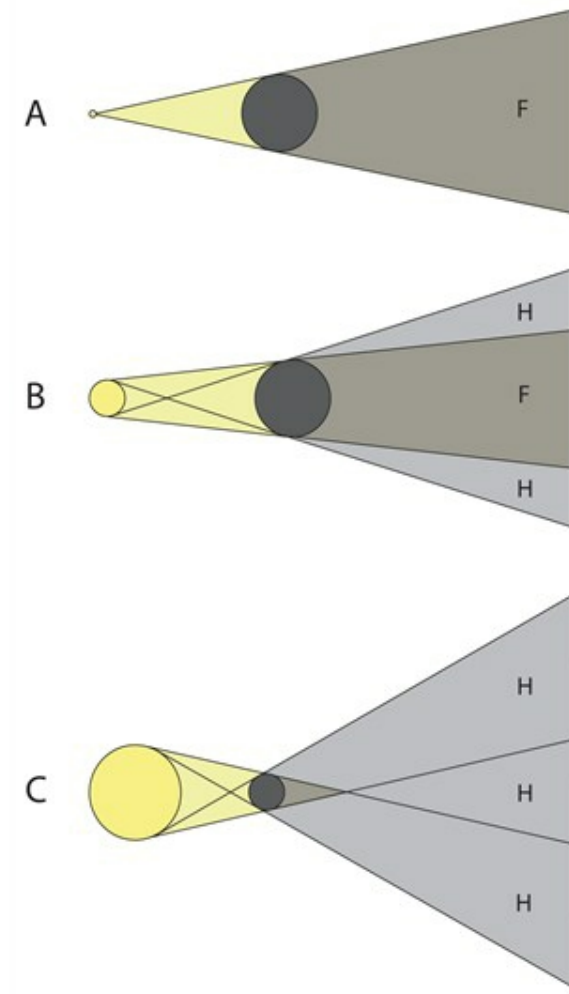
Flerdobbelt skygge som følge af rettet belysning fra mere end en position bør undgås, da det kan virke visuelt forstyrrende (DS/EN 12464-1 Afsnit 4.6.3). Flerdobbelt skygge kan også optræde i LED-armaturer med mange adskilte punktkilder.

## LYSETS HOVEDRETNING

Lysets hovedretning er bestemmende for, om glans og skygger virker formtegnende eller blot distraherende.

Bedst mulige [kontraster](#) kan opnås ved at have fokus på;

- den retning, hvorfra lyset fra dagslyset eller forskellige armaturer falder ind på flader og genstande
- hvor koncentreret eller spredt lyset er
- hvor stor armaturets lysende flade er set nede fra synsobjektet



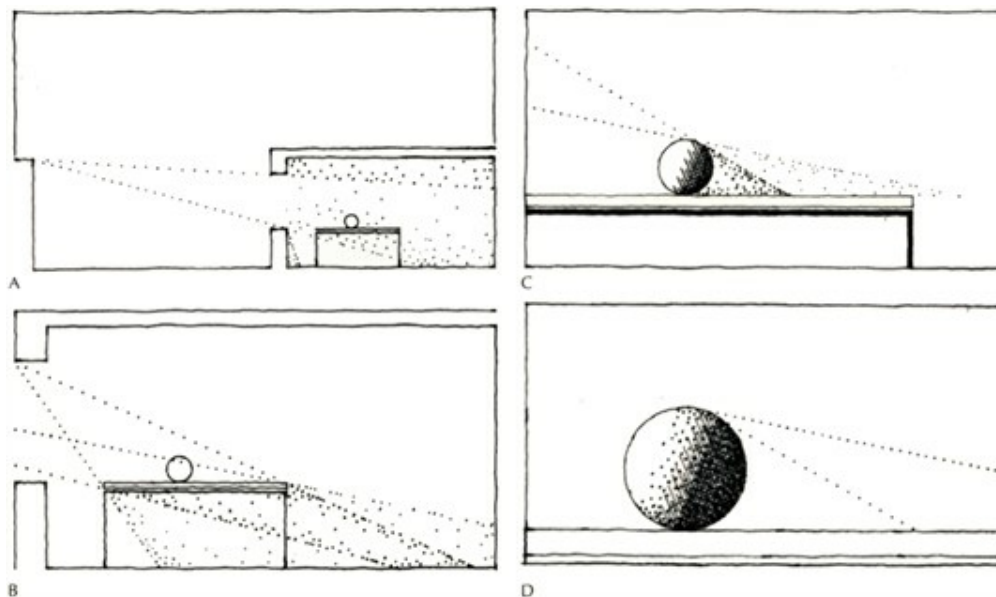
Som figuren viser, afhænger skyggetegningen af størrelsen på både lyskilde og objekt.

## SKYGGEKATEGORIER

Ved analyse af form og skyggetegning kan det være en fordel at opdele skyggerne i et antal funktionsbestemte kategorier.

I artiklen 'Lyset i rummet og lyset på tingene' definerer arkitekten Sophus Frandsen 4 funktionsbestemte skygge kategorier, som fremgår af figuren herunder:

- A. Stor rumskygge
- B. Stor genstandsskygge
- C. Lille genstandsskygge
- D. Lille detaljeskygge



Figur: Lisbeth Skindbjerg Kristensen/Sophus Frandsen.

Ifølge Sophus Frandsen findes nøjagtigt de samme skygge kategorier i princippet i alle rum, også rum med [dagslys](#) fra oven eller belyst med [kunstig belysning](#). Sophus Frandsen skriver:

'De fire skyggetyper adskiller sig fra hinanden på flere måder, nemlig ved deres

- plads i rummet
- størrelse
- belysningsniveau
- præcision

Jo mindre en skygge er, des tydeligere bliver den, fordi fortoningsovergangen fra lyst til mørkt afvikles under en stadig mindre synsvinkel. (...) Lyset i rummet opfattes mere blødt og har sjældent de skarpe overgange, som både distraherer og fejlfortolkes, hvis de findes i det perifere syn. Omvendt vil lyset på tingene være præget af den præcision, som letter form og detaljeagttagelse.'

Skygge kategorier behandles også i afsnittet [Lysets visuelle egenskaber](#).



## FORMSANSEN

Uanset hvor vi retter blikket hen, møder vores øjne en rigdom af detaljer. Formsansen knytter sig til vores evne til at opfatte formede enkeltheder eller detaljer.

Hver detalje er bestemt ved sin størrelse, [luminans](#) og farve. Særligt veltegnede detaljer virker som blikfang ved at afvige fra deres umiddelbare omgivelser.

Det er en stor opgave at analysere alle enkeltheder, men situationen forenkles, hvis man begrænser sig til at undersøge, hvilke forhold der for eksempel afgør, om man kan læse et bogstav på et skilt. For at kunne læse bogstavet skal vi:

- være tilstrækkelig tæt på skiltet
- sikre os, at der er en vis belysningsstyrke på skiltet
- sikre os, at bogstavet danner en god kontrast med baggrunde
- have tilstrækkelig tid til at opfatte bogstavet
- se lige på skiltet

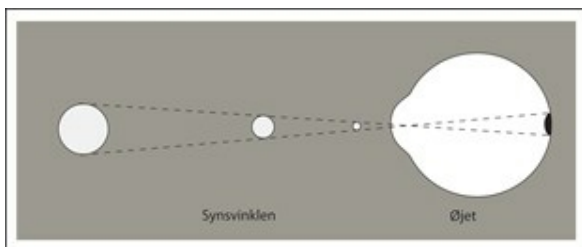
På denne baggrund kan opstilles 5 faktorer, der bestemmer udnyttelsen af formsansen:

- synsvinkel
- luminans
- kontrast
- eksponeringstid
- placering i synsfeltet

Hver af disse faktorer kan i sig selv være afgørende for, om en enkelthed kan erkendes.

### Synsvinklen

Ved synsvinklen forstås den vinkel, hvorunder objektet ses. Som det fremgår af figuren er synsvinklen bestemmende for nethindebilledets størrelse. Den mindste synsvinkel, et objekt kan ses under, er begrænset af [nethindens](#) opløsningsevne, som er bestemt af sansecellernes indbyrdes placering.



Synsvinklen er afgørende for størrelsen af det billede, der rammer øjets nethinde.

### Kontrasten

[Kontrasten](#) er bestemt af forskellen mellem objektets luminans og baggrundens luminans.

Jo dårligere kontrast der er imellem bogstaver og papir, jo mere lys kræves for at bogstaverne skal kunne læses

Jo dårligere kontrasten er mellem et objekt og dets baggrund, jo mere lys har vi brug for.

### Eksponeringstiden

Man skal ned på en eksponeringstid på under et par hundrededele sekund, før synsstyrken (øjets evne til at se detaljer) nedsættes. Ved sådanne kortvarige eksponeringer er den nødvendige eksponeringstid afhængig af luminansen af det betragtede objekt og af dets

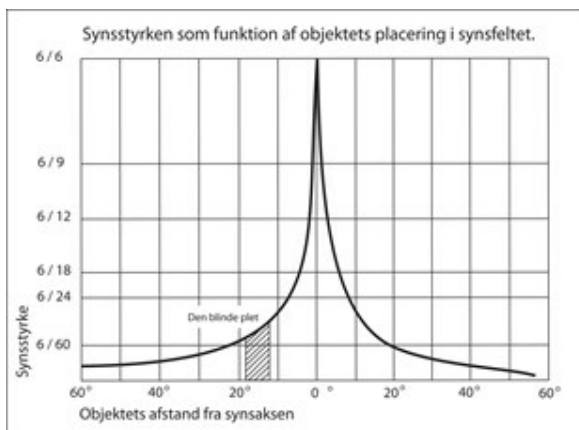
størrelse.



Cykelhjul uden bevægelse og i bevægelse. Foto: Astrid Espenhain.

### Placering i synsfeltet

Man kan kun se en genstand klart, når man retter blikket lige mod den. Synsaksen rammer herved nethinden i [fovea centralis](#), også kaldet den gule plet, hvor vi takket være en koncentration af [tappe](#), ser bedst. Dannes billedet mere perifert på nethinden, bliver opløsningsevnen betydelig mindre. I [det perifere synsfelt](#) kan man ikke opfatte mindre detaljer og heller ikke farver. Det perifere synsfelt tjener som 'varslingsområde' og derfra udløses fiksationsrefleksen, således at synsaksen rettes mod den del af omverdenen, der for tiden har interesse. Synsstyrkens afhængighed af objektets placering i synsfeltet er vist i figuren herunder.



Figuren viser synsstyrken som funktion af objektets afstand fra synsaksen (angivet i °). Synsstyrken er bedst, når det vi skal se er placeret i øjets synsakse og billedet derved dannes i den gule plet på øjets nethinde.

De forskellige faktorer, der har betydning for formsansen, må hver for sig tildeles lige stor vægt. Skal man for eksempel undersøge den mindste synsvinkel, et objekt skal ses under for i det hele taget at kunne opfattes, må man sørge for, at de andre faktorer holdes oppe på størrelser, der ikke influerer på bestemmelsen. Det gælder for alle disse faktorer, at hvis man stiger over en vis kritisk værdi, vil en yderligere stigning ikke gøre synspræstationen bedre. Man må på den anden side heller ikke tro, at man ved at drive de andre faktorer i vejret kan forbedre en synspræstation, der skyldes at en af faktorerne kommer under sin grænseværdi.

## INTRODUKTION

Kontrast betyder modsætning. I relation til belysning handler kontrast om forskel i luminans mellem detalje og baggrund. Det kan være en lys/mørke-forskel (stærkest som sort/hvid) eller forskel i farve. Disse forskelle, kontraster, kan være svage eller stærke og spiller en væsentlig rolle for, at vi opfatter detaljer og form.

Det er lettere at læse og skrive, hvis kontrasten er god. Det samme gælder mange andre [synsopgaver](#). Vi opfatter lettere en genstands detaljer, når der dannes stor kontrast mellem genstanden og dens baggrund, f.eks. er syning med hvid tråd i sort stof meget lettere, end hvis tråden også er sort.

Kontrasten er i sig selv uafhængig af [belysningsstyrken](#), men vi ved dog, at jo svagere belysningen er, desto større kontrast kræves der for at opfatte detaljer. For eksempel kan bogstaver, der danner stor kontrast med baggrunden, læses ved en svagere belysning, end dem med lille kontrast.

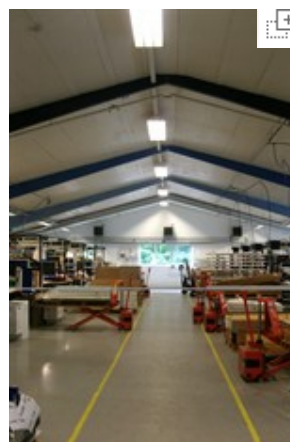
I praksis fremkommer kontraster oftest ved belysning af materialer, der har forskellig refleksionsevne. Som eksempel kan nævnes sort tusch på hvidt tegnepapir, som har en refleksionsevne på ca. 5 % mod papirets 70 %. Det giver en kontrast på 93 %, mens en hård blyant på samme papir kun giver en kontrast på ca. 33 %.

Jo dårligere kontrasten er, jo mere lys kræves der, for at man kan se godt. Dette gælder ikke alene sort, gråt og hvidt, men også ved kontraster mellem farver, f.eks. når man arbejder med tråd og stof, hvis farver ligger tæt op ad hinanden.



Hvis man skal se fine detaljer og små kontraster, kan det være nødvendigt at anvende forstørrelsesglas.

Foto: Højager Belysning.  
Billedet må udelukkende benyttes i undervisningssammenhæng og kun med angivelse af kilde.



Grove detaljer og/eller store kontraster kræver ikke meget høje belysningsstyrker.  
Foto: Silla Herbst.

## LYSETS KONTRASTSKABENDE EGENSKABER

Kontraster kan være store eller små og afhænger af mange faktorer, herunder lysets indfaldsretning.

Synligheden af detaljer i et emne, f.eks. et arbejdsemne, skabes via kontraster mellem de enkelte detaljer og baggrunden.

### Lysets indfaldsretning

Lysets retning og skyggedannende egenskaber er bestemmende for, hvordan vi opfatter former og overflader. [Skyggerne](#) giver karakter og liv. Uden skygger opleves tingenes form kun svagt. Det må der tages hensyn til ved valg af belysning. Man kan tale om to typer lys:

- belysning, hvor lyset primært er diffust og kommer fra alle retninger, f.eks. fra mange armaturer, og meget lys er reflekteret fra vægge og loft
- belysning, hvor lyset primært er rettet og kommer fra et enkelt armatur, f.eks. en spot eller en arbejdslampe



Buler i en blank overflade fremstår tydeligt, hvis fladen belyses af et storfladearmatur med et passende møster, som kan spejles i fladen.

Det diffuse lys får genstande og personer til at virke udflydende og formløse. Det rettede lys tegner derimod skarpe skygger og fremhæver former og struktur. Helt [rettet lys](#) kan give for skarpe og sorte skygger. Ofte har man brug for en blanding af diffust og mere eller mindre rettet lys.



Tandhjulsmodel i diffus, rettet og blandet lys. Den bedste belysning er her en passende blanding af rettet og diffus belysning. Foto: DCL.



Detaljer i metal i diffus (m.) og rettet belysning (th.). Den bedste belysning er den diffuse, som ikke giver anledning til spejlinger og derved udvisker detaljerne i metallet. Foto: DCL.



Detaljer i træ i diffus (m.) og rettet belysning (th.). Den bedste belysning er det rettede strejflys, som giver anledning til en passende skyggetegning og derved viser detaljerne i træet. Foto: DCL.

### **Kontraster i skærme**

Kontrasten mellem tekst og baggrund på en skærm, f.eks. en computerskærm, er afgørende for læsbarheden. Kontrasten kan normalt inden for visse grænser indstilles på skærmen. Et belysningsanlæg må indrettes, så man undgår for kraftig belysning direkte på skærmen. Alle former for [reflekser](#), også reflekser af jævnt lysende flader, vil forringe kontrasten og skal derfor undgås.

Lys kan minske kontrasten på en skærm ved:

- refleksblænding, som skyldes belysningen på skærmen, og
- luminanser fra armaturer og lyse flader, der spejles i skærmen (DS/EN 12464-1 afsnit 4.9.2).

## LUMINANSKONTRAST

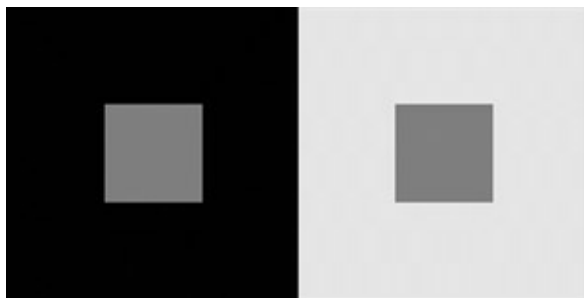
Synssansen opfatter ikke luminanser på samme måde under alle forhold. Hvis der findes meget store luminansforskelle i synsfeltet, vil kontrasten blive forstærket.

Med ordet kontrast forstås ofte luminanskontrasten, som er defineret ved

$$C = (L2 - L1) / L1$$

hvor L1 er baggrundsluminansen og L2 er [luminansen](#) af detaljen eller synsobjektet.

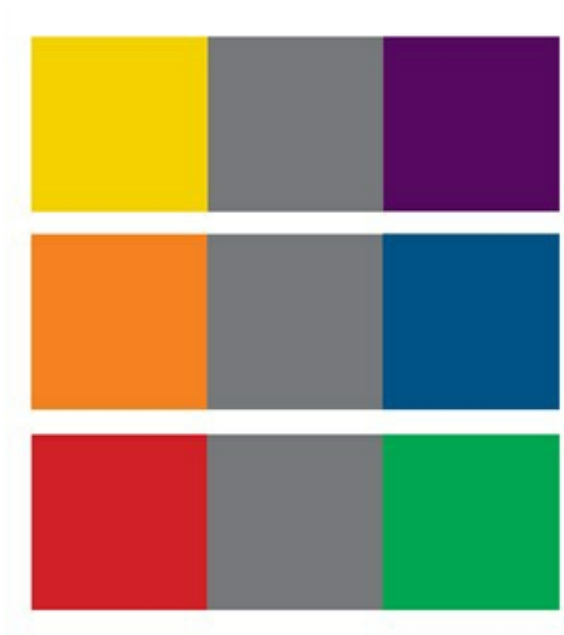
Luminanskontrasten er således en målbar størrelse. For eksempel ligger kontrasten mellem hvidt papir og sort tryk mellem 15:1 og 20:1.



Vores opfattelse af en farve eller en gråtone afhænger af hvad der omgiver den.

I praksis er baggrundsluminansen sjældent fuldstændig ensartet inden for det samlede synsfelt. Findes der i synsfeltet en enkelt luminans, der er større end den øvrige baggrunds, får man samme effekt, som hvis en samlet ensartet baggrundsluminans var blevet større. Man kan tale om den ækvivalente baggrundsluminans, som vil være proportional med den afvigende lysgivers luminans. Hvis der findes flere afvigende luminanser i synsfeltet, vil dette have en additiv virkning. [Synssansen](#) opfatter imidlertid ikke luminanser på samme måde under alle forhold. Hvis luminansforskellene i synsfeltet er meget store, vil den oplevede luminans og kontrast blive forstærket. En hvid overflade mod en mørk baggrund ser hvidere ud end ellers. Det samme gælder en mørk flade på lys baggrund, som således fremstår endnu mørkere. Årsagen er at synssansen ikke er i stand til på samme tid at adaptere til meget forskellige luminansniveauer. Når det drejer sig om en mørk genstand på en lys baggrund [adapterer](#) øjet efter baggrunden og er ikke i stand til at opfatte små kontrastforskelle i genstanden. Genstanden bør derfor ses på en mørkere baggrund. (En bok om belysning, Lars Starby, 2006)

Udover luminanskontrast findes bl.a. forskellige typer farvekontraster, herunder komplementærkontrast og simultankontrast.



Komplementære farvepar adskilt af grå.

## KONTRASTFØLSOMHED

Kontrastfølsomhed er betegnelsen for øjets evne til at skelne kontraster. Kontrastfølsomheden aftager med alderen. Det samme gælder vores evne til at fokusere, hvilket betyder, at detaljer og konturer står uskarpt på nethinden.

Så længe lyset er godt, træder kontrasten tydeligt frem, men når belysningen aftager, bliver det svært eller ligefrem umuligt at skelne f.eks. bogstaver i en bog. Det samme gør sig gældende for evnen til at se detaljer og konturer på afstand.

Kontrastfølsomheden er således vigtig for såvel læsesyn som orienteringssyn og kan måles i en såkaldt kontrastfølsomhedstest, der måler tærskelværdier for den enkeltes evne til at skelne mellem objekt og baggrund.



## KONTRASTBLÆNDING

Ved kontrastblænding forstås den følelse af ubehag og eventuel nedsættelse af synspræstationen der opstår, hvis der er en stor kontrast, dvs. store luminansforskelle, mellem nærliggende flader.

Hvis der i den centrale del af synsfeltet findes meget større (eller mindre) [luminanser](#) end i de perifere dele af synsfeltet, nedsættes synsstyrken væsentligt.

I praksis kan kontrastblænding forekomme, hvis man ser på et stykke hvidt papir på en mørk skrivebordsplade eller på en mørk skoletavle anbragt på en hvid væg. I sidstnævnte tilfælde vil [adaptationsniveauet](#) være bestemt af den hvide væg og bevirke at kontrasten mellem kridt og tavle tilsyneladende bliver for lille.

Ved [dagslys](#) forekommer kontrastblænding ofte. Hvis man for eksempel har et lyst vindue for enden af en gang uden lys, vil man have vanskeligt ved at se, hvad der findes i gangen på grund af den store forskel i luminanser.

## KONTRASTREDUKTION

Begrebet kontrastreduktion knytter sig til vurdering af kontrast. Man sammenligner den kontrast man har med den størst mulige kontrast, man kan opnå, hvis belysningen er perfekt.

Ved meget krævende synsopgaver bør kontrastreduktionen ikke overstige 15 %.

[Arbejdspladsbelysning](#), f.eks. særbelysning i form af en [arbejdslampe](#) ved arbejdspladsen, er en god måde at opnå god kontrast, men man må ikke glemme, at [den generelle belysning](#) i lokalet kan have modvirkende effekt.

## WEBER-FECHNERS LOV

Weber-Fechners lov beskriver forholdet mellem den netop registrerbare luminansforskel og baggrundsluminansen.

I belysningsteknisk sammenhæng er kontrast et udtryk for forskellen mellem et objekts [luminans](#) og baggrundens luminans. Denne forskel kaldes  $\Delta L$ . Den afvigelse fra baggrundsluminansen, man lige netop kan skelne, er imidlertid meget afhængig af baggrundsluminansen. Man får derfor et bedre udtryk for de faktiske forhold ved at udtrykke kontrasten relativt og anvende den såkaldte Fechner-brøk  $\Delta L/L$ , hvor L betegner baggrundsluminansen og  $\Delta L$  igen er luminansforskellen mellem objektet og baggrunden.

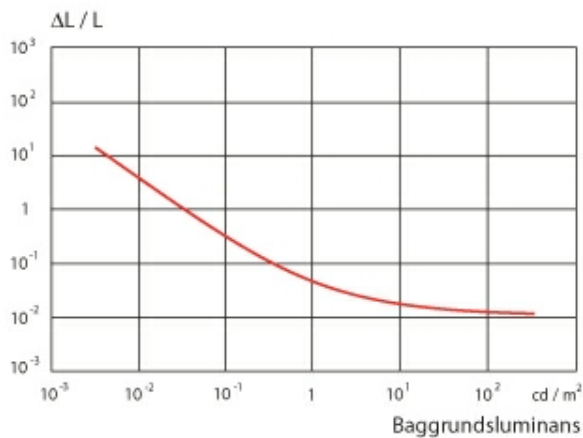
Forholdet mellem  $\Delta L$  og L er udtrykt ved Weber-Fechners lov:

$$\Delta L/L = \text{konstant}$$

som gælder når forholdet mellem  $\Delta L$  og L er større end 0,01 og baggrundsluminansen ikke er så høj at den giver anledning til [blænding](#). Weber-Fechners lov gælder i øvrigt for alle vore sanser (hørelse, følesans osv.).

Weber-Fechners lov forsøger at give en kvantitativ beskrivelse af forholdet mellem, i dette tilfælde, den netop registrerbare luminansforskel og baggrundsluminansen.

Ved en Weber-Fechner-test bliver en person præsenteret for to næsten ens stimuli og bedt om at svare på, om han kan registrere en forskel. Det har vist sig, at den mindste registrerbare forskel er tæt på at være stort set proportional med intensiteten af stimulus, i dette tilfælde baggrundsluminansen.



Grafen viser forholdet mellem  $\Delta L$  og L, som ifølge Weber-Fechners lov er konstant. Denne lovmæssighed gælder, når forholdet mellem  $\Delta L$  og L er større end 0,01 og baggrundsluminansen ikke er så høj at den giver anledning til blænding.

## INTRODUKTION

Blænding er et af de største belysningsproblemer i arbejdsmiljøet, og viser sig bla. ved, at lyset "skærer i øjnene" eller er for "skarpt", så man føler trang til at skygge for øjnene.

Gentagen blænding forringer [synsbetingelserne](#) og kan i værste fald føre til arbejdsulykker.

Blænding er et grænsetilfælde af [kontrast](#). Man skelner mellem to former for blænding:

- synsnedsættende blænding
- ubehagsblænding

Synsnedsættende blænding fremkaldes af en [lysstrøm](#) i retning mod [øjet](#) og nedsætter øjets følsomhed og [kontrastfølsomhed](#), hvilket resulterer i forringede synsbetingelser. Synsnedsættende blænding kaldes undertiden fysiologisk blænding og skyldes slørende spredning i øjet.

Ubehagsblænding er den fornemmelse af ubehag og irritation, der fremkaldes, når der findes lysgivere i synsfeltet, hvis [luminans](#) er høj i forhold til en mørkere baggrund. Ubehagsblænding kaldes undertiden psykologisk blænding. Ubehagsblænding karakteriseres ved et blændingstal, som bestemmes ved en beregning ved anvendelse af den såkaldte [UGR-metode](#).

I mange tilfælde vil de to former for blænding forekomme samtidig, men ikke altid. En lille lyskilde med høj luminans vil kunne give ubehagsblænding uden at give synsnedsættende blænding, mens en stor flade med begrænset luminans, for eksempel et vindue, vil kunne give synsnedsættende blænding uden at give ubehagsblænding.

I almindelighed vil den synsnedsættende blænding ikke forekomme, hvor der anvendes velafskærmende armaturer. Synsnedsættende blænding har sjældent større betydning ved kunstig belysning, men kan forekomme, hvis man får lyset lige i øjnene

Ubehagsblænding forekommer, når lys fra vinduer eller belysningsarmaturer føles for kraftigt og irriterende.

Pludselig overgang fra små til store luminanser eller omvendt, og store spring mellem luminanser i synsfeltet, kan medføre blænding eller nedsat synlighed. Som regel vil en variation med jævnt forløbende luminansovergange, både i rummet og på arbejdsfeltet, være at foretrække.

### Væsentlige faktorer i relation til ubehagsblænding

De væsentlige fysiske faktorer, som påvirker ubehagsblændingen, er

- Lysgivernes luminans
- Middelluminansen af lysgivernes omgivelser
- Lysgivernes areal (målt ved deres rumvinkel set fra observationspunktet)
- Lysgivernes position i forhold til synsretningen
- Luminansfordelingen af lysgivernes omgivelser

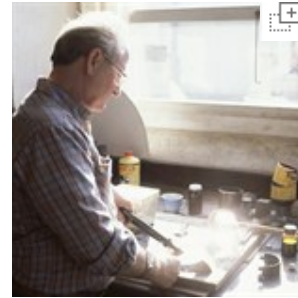
En lysgiver kan f.eks. være en elektrisk [lyskilde](#), et [armatur](#) eller et [vindue](#).

Lysgivernes luminans har direkte indvirkning på blændingen. En forøgelse af luminansen bevirker, at blændingen øges. Lysgiverluminansen har derfor stor indvirkning på ubehagsblændingen.

Luminansen af lysgivernes omgivelser har ligeledes en virkning på blændingen, idet en forøgelse af omgivelsesluminansen reducerer blændingen, medens en formindskelse af luminansen forøger den. Omgivelsernes luminans har dog en mindre virkning end lysgivernes.

Disse regler har imidlertid et begrænset gyldighedsområde. Ved meget høje lysgiverluminanser (over ca. 10.000 cd/m<sup>2</sup>), vil blændingen ikke kunne reduceres væsentligt ved en forhøjelse af omgivelsernes luminans. I det ekstreme tilfælde, hvor omgivelsernes luminans hæves helt til de 10.000 cd/m<sup>2</sup>, vil hele feltet virke blændende. Dette svarer til forholdene udendørs i kraftig solskin på lyse flader (sand, vand etc.). I denne situation bliver man tvunget til at benytte solbriller.

En forøgelse af lysgivernes størrelse vil i reglen forøge blændingen. Virkningen er dog forholdsvis beskeden, og vil ved meget store lysgivere indenfor visse luminansgrænser helt forsvinde eller virke direkte reducerende på blændingen. Dette skyldes, at øjets



Blænding kan forekomme på flere måder, som her på grund af spejlinger. Foto: DCL.

[adaptationstilstand](#) ved tiltagende størrelse af lysgiverne bestemmes mere og mere af lysgiverens luminans snarere end af omgivelsernes. Hertil kommer, at blændingen aftager med lysgiverens afstand til synsretningen. Ved meget store lysgivere vil større dele af lysgiveren befinde sig fjernt fra synsretningen og derfor bidrage relativt mindre til blændingen.

Hvis baggrundsluminansens ikke er regelmæssigt fordelt omkring lysgiveren, og specielt hvis lysgiverens nærmeste omgivelser har luminanser, som afviger stærkt fra de øvrige omgivelser, bliver forholdene mere komplicerede. Antager man f.eks. at de nærmeste omgivelser har luminanser, der er lidt højere end de øvrige omgivelser, vil blændingen formindskes. Forøges luminansen af de nærmeste omgivelser yderligere, reduceres blændingen til et vist punkt, hvorefter den igen begynder at stige. Når luminansen af de nærmeste omgivelser når det samme niveau, som lyskilden selv har, vil forholdene simpelthen svare til, at lyskilden er blevet større, og blændingen er steget tilsvarende. Der findes ingen beregningsmetoder, der fuldt ud kan tage dette forhold i betragtning.

## BLÆNDINGSGRÆNSER

Ubehagsblænding skal begrænses på arbejdspladser og i mange andre sammenhænge. Derfor indeholder standarder for belysning som regel såkaldte blændingsgrænser.

I den europæiske standard '[DS/EN 12464-1 Lys og belysning - Lys ved arbejdspladse - Del 1: Indendørs arbejdspladser](#)', er krav til belysningens ydeevne med hensyn til begrænsning af ubehagsblænding angivet med et maksimalt blændingstal, dvs. en blændingsgrænse.

Blændingstal angives på en UGR-skala, som i praksis går fra 13 til 28, hvor det største blændingstal angiver den kraftigste blænding. Den mindste forskel i blændingstallet, der giver en mærkbar forskel i blænding, er 3.

Blændingstal beregnes ved hjælp af et [belysningsberegningsprogram](#).

## BEREGNING AF BLÆNDING

Beregning af blænding er relativt kompliceret og sker i dag vha. computerprogrammer til beregning af belysning.

Grundlaget for den blændingsberegning, der i dag anvendes i flere [belysningsberegningsprogrammer](#) (herunder FabaLight og DiaLux), er en metode til beregning af ubehagsblænding, udviklet som en del af den såkaldte BZ-metode (British Zonal) i starten af 1960'erne af professor R.G. Hopkinson.

Den metode vi anvender i dag kaldes UGR-metoden. UGR-blændingstallet i en bestemt position i et lokale beregnes ved hjælp af denne formel:

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{4 \cdot L_b} \right) \cdot \sum_n \frac{L_i^2 \omega_i}{P_i}$$

hvor

$L_b$  er baggrundsluminansen

$L_i$  er [luminansen](#) af armaturets lysende flade i retning af observatørens øje

$\omega_i$  er størrelsen af armaturets lysende flade målt ved den rumvinkel (i steradian, sr), som den ses under fra observatørens position

$P_i$  er et indeks for armaturets position i forhold til synsretningen, det såkaldte Guth-index

$n$  er antallet af armaturer

Af formelen fremgår det, at den oplevede blænding afhænger af armaturets størrelse ( $\omega$ ), og af armaturets luminans ( $L_i$ ), som jo er i anden potens.

Men blændingen afhænger også af armaturets position ( $P_i$ ), dvs. om armaturet er placeret midt i synsfeltet eller i den [perifere del af synsfeltet](#). Blændingen bliver mindre, jo længere væk fra synsfeltets midte armaturet befinder sig.

Endelig afhænger blændingen af baggrundsluminansen. Jo større baggrundsluminans desto mindre blænding.

Selv med et enkelt armatur og en enkelt observatør, er det langsommeligt at beregne blændingen i hånden, hvorfor det giver god mening at anvende beregningsprogrammerne til dette.

## INTRODUKTION

Lysstrømmen er et mål for den samlede mængde synligt lys, der udsendes fra en lyskilde, dvs. den totale lysstråling i alle retninger.

Lysstrøm betegnes med det græske bogstav  $\Phi$  (fi) og måles i enheden lumen (forkortes lm).

Begrebet anvendes bl.a. i datablade for [lyskilder](#) som et mål for den samlede mængde lys, som udsendes fra lyskilden. Lysstrømmen fra en lyskilde vil normalt blive reduceret henover lyskildens levetid. Man taler i den forbindelse om en lysstrømsnedgang.

Derudover er lysstrømmen en central parameter ved beregning af effektivitet. Effektiviteten for en lyskilde benævnes lyskildens [lysudbytte](#).

Det engelske ord for lysstrøm er: Luminous flux.



Lysstrømmen er den samlede mængde lys, som udsendes fra en lyskilde. Figur: Silla Herbst.



## TYPISKE VÆRDIER FOR LYSSTRØM

En lyskildes lysstrøm angives i lumen og fremgår som regel af lyskildens emballage.

I tabellen herunder ses eksempler på lysstrøm fra forskellige [lyskilder](#).

Lyskilde	Lysstrøm
40 W glødepære	420 lm
35 W stiftalogen	600 lm
35 W lysstofrør	3.300 lm
35 W metalhalogen	3.300 lm

Af tabellen fremgår det at en 40 W [glødepære](#) udsender mindre lys end både en [stiftalogen](#), et [lystofrør](#) og en [metalhalogenlyskilde](#), selvom disse tre lyskilder alle har en lavere effekt (35 W). Lyskildens effekt (Watt) fortæller altså kun, hvor meget el lyskilden bruger og ikke hvor meget lys den udsender.

En lyskildes lysstrøm (hvor mange lumen den udsender) vil ofte fremgå af emballagen. Hvis det ikke er tilfældet findes oplysninger om lysstrøm i lyskildekataloger og på leverandørens hjemmeside.

## ENHEDEN FOR LYSSTRØM

Enheden for lysstrøm er lumen, som forkortes lm.

Enheden for lysstrøm kan udledes af enheden for lysstyrke, idet man i formlen  $\Phi = I \cdot \omega$  indsætter enheden for [lystyrke](#):  $I = 1 \text{ cd}$  og for rumvinkel:  $\omega = 1 \text{ sr}$  (steradian, SI-enhed for rumvinkel). Herved bliver  $\Phi = 1$ . Enheden kaldes lumen (lm) og kan defineres således:

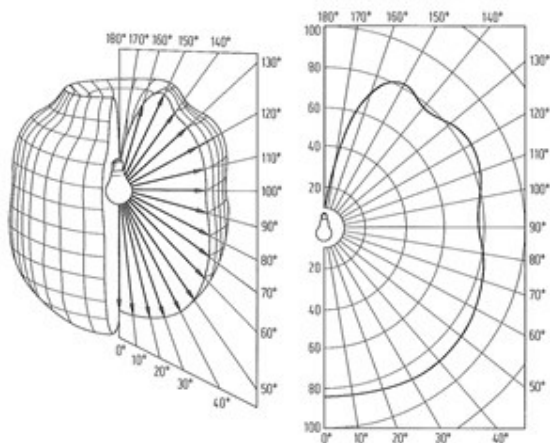
En lumen er den lysstrøm, som en lyskilde med lysstyrken  $1 \text{ cd}$  i alle retninger udsender i en rumvinkel på  $1 \text{ sr}$ .

Lumen er en afledt SI-enhed i det Internationale Enhedssystem (Système Internationale).

## ANVENDELSE AF BEGREBET LYSSTRØM

Begrebet lysstrøm anvendes ofte i datablade for lyskilder og angiver, hvor meget lys lyskilden udsender.

Uanset om lyset udsendes i én eller flere retninger, er lysstrømmen altså et mål for den samlede mængde lys (synlig stråling) fra lyskilden.



Lysfordeling. Polær afbildning. Figur: Osram.

MASTER TL5 HE 21W/865 1SL	865	Koldt dagslys	313 -	337 -	85 Ra8	6500 K	1950 Lm
MASTER TL5 HE 28W/827 1SL	827	Glødelampe- hvid	463 -	420 -	85 Ra8	2700 K	2900 Lm
MASTER TL5 HE 28W/830 UNP	830	Varm-hvid	440 -	403 -	85 Ra8	3000 K	2900 Lm
MASTER TL5 HE 28W/830 1SL	830	Varm-hvid	440 -	403 -	85 Ra8	3000 K	2900 Lm
MASTER TL5 HE 28W/840 UNP	840	Kold-hvid	380 -	380 -	85 Ra8	4000 K	2900 Lm
MASTER TL5 HE 28W/840 1SL	840	Kold-hvid	380 -	380 -	85 Ra8	4000 K	2900 Lm
MASTER TL5 HE 28W/865 UNP	865	Koldt dagslys	313 -	337 -	85 Ra8	6500 K	2700 Lm
MASTER TL5 HE 28W/865 1SL	865	Koldt dagslys	313 -	337 -	85 Ra8	6500 K	2700 Lm
MASTER TL5 HE 35W/827 1SL	827	Glødelampe- hvid	463 -	420 -	85 Ra8	2700 K	3650 Lm

I datablade for lyskilder angiver man typisk lyskildens lysstrøm. I dette udsnit af et datablad er angivet en lysstrøm på 2.900 lm for et lysstofrør på 28 W. Datablad: Philips.

Lysstrømmen fra en lyskilde kan ikke beregnes, men bestemmes ved måling i en såkaldt [fotometerkugle](#).

Lysstrømmen er en væsentlig parameter ved beregning af en lyskildes effektivitet, som også kaldes [lysudbytte](#) og betegnes med det græske bogstav  $\eta$  (eta).

Lysudbyttet for en lyskilde bestemmes som forholdet mellem lyskildens lysstrøm (lm) og den

effekt, lyskilden optager (W). Enheden for lysudbytte er derfor lumen pr. watt (lm/W). Ved beregning af lysudbyttet for lyskilder, der kræver forkoblingsudstyr (f.eks. [lysstofrør](#)), skal effektoptaget i forkoblingsudstyret regnes med.

Jo højere lysudbyttet (lm/W) er, jo højere er energieffektiviteten. En almindelig [glødepære](#) omdanner kun ca. 5% af den energi, den forbruger, til lys. Resten af energien bliver omdannet til varme. Andre typer lyskilder omdanner en større andel af den tilførte energi til lys. Udladningslamper, som for eksempel lysstofrør, omdanner mellem 20 og 30 % af den tilførte energi til lys. En LED, som yder 120 lm/W, omdanner ca. 35% af energien til lys.

## LYSUDBYTTE

En lyskildes lysudbytte beregnes ud fra oplysninger om lyskildens effektforbrug og lysstrøm.

Lysudbyttet kan nemt beregnes ved hjælp af formlen

$$\eta = \Phi / P$$

hvor

$\Phi$  er lysstrømmen i lumen og

P er lyskildens samlede effektoptag i watt inkl. evt. forkobling eller transformer

En standard glødepære på 60 Watt har en lysstrøm på ca. 710 lumen. Lysudbyttet for glødepæren er derfor

$$\eta = 710 \text{ lm} / 60 \text{ W} = 12 \text{ lm/W}$$

Et lysstofrør på 28 Watt har typisk en lysstrøm på 2600 lumen. Lysstofrørets samlede effektoptag er 28 W plus et tab i forkoblingen, som er 10-15 % af rørets effekt. Beregningen af lysudbyttet ser derfor således ud:

$$\eta = 2600 \text{ lm} / (28 \text{ W} + 3 \text{ W}) = 84 \text{ lm/W}$$

Eksempler på lysudbytte for gængse lyskilder (typiske wattager) fremgår af tabellen.

Lyskilde	Lysstrøm	Lysudbytte
<a href="#">Glødelampe</a> (60 W)	710 lm	12 lm/W
<a href="#">Stifthalogen</a> (35 + 3 W)	600 lm	16 lm/W
<a href="#">Sparepære</a> (15 W)	800 lm	53 lm/W
<a href="#">Lysstofrør</a> (28 + 3 W)	2600 lm	84 lm/W
<a href="#">Metalhalogen</a> (70 + 5 W)	6600 lm	88 lm/W
<a href="#">Lysdiode</a> - enkeltmitter (3000 K, 2016)	60-250 lm	100-160 lm/W

Nogle lyskilder når først deres maksimale lysstrøm, efter at de har været tændt i et antal timer. Det gælder f.eks. lysstofrør som kræver indbrænding i ca. 100 timer. For mange lyskilder gælder desuden, at lysstrømmen falder med [levetiden](#).

Den lysstrøm, der oplyses i datablade og lyskildes kataloger, er lyskildens lysstrøm efter eventuel indbrænding og eksklusive eventuelt forkoblingsudstyr eller drivere.

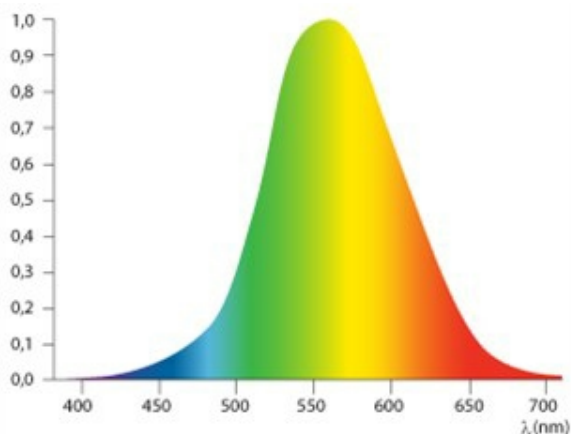
Når man udfører [beregninger](#) af et belysningsanlæg i et lokale med et eller flere armaturer, indgår lysstrømmen fra de lyskilder, som anvendes i armaturerne, som en væsentlig parameter i beregningen.

## SAMMENHÆNG MELLEM LYSSTRØM OG STRÅLINGSSTRØM

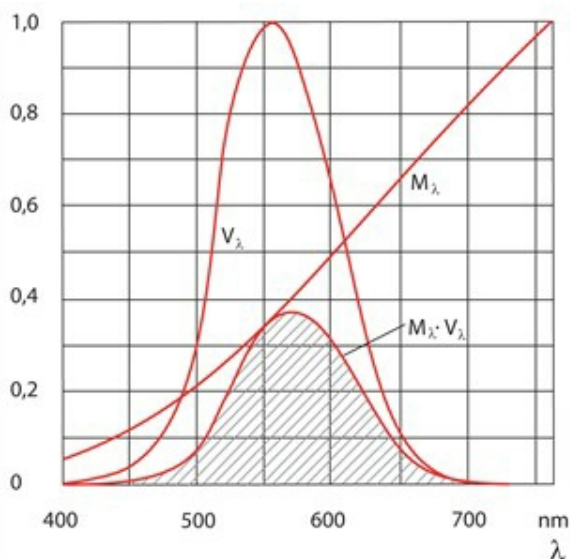
Stråling ved forskellige bølgelængder i det synlige område giver forskellige lysindtryk og opfattes forskelligt af øjet.

Den samlede mængde energi, en lyskilde udsender, kaldes strålingsstrømmen og angives pr. tidsenhed. Den bestanddel af energien, der giver indtryk af lys, kaldes lysstrømmen og udsendes ved bølgelængder ( $\lambda$ ) i [det synlige område](#), dvs.  $\lambda=380-780$  nm (nanometer).

Stråling ved forskellige bølgelængder i det synlige område giver forskellige lysindtryk. [Øjets spektrale følsomhedskurve](#), den såkaldte  $V_\lambda$ -kurve (V-lambda-kurve), viser, hvordan den relative oplevelse af lyshed varierer, når øjet rammes af strålingsenergi af forskellige bølgelængder i det synlige område.



Øjets spektrale følsomhedskurve, den såkaldte  $V_\lambda$ -kurven (V-lambda-kurven).



Lysstrømmen er et mål for den del af lyskildens strålingsstrøm, som det menneskelige øje kan opfatte. Det betyder, at lysstrømmen er et produkt af strålingsstrømmen og øjets følsomhedskurve  $V_\lambda$ . I figuren svarer lysstrømmen til det skraverede areal, mens strålingsstrømmen svarer til arealet under kurven  $M_\lambda$ .

Af  $V_\lambda$ -kurven fremgår det, at øjets maksimale lysfølsomhed ligger i det gulgrønne område ved 555 nm. At følsomheden i spektrets yderområder er lavere, betyder ikke, at disse områder er mindre vigtige for [synet](#). Alle områder i det synlige område har betydning for synet.

En lyskildes lysstrøm bestemmes ved at multiplicere lyskildens spektrale udstrålingskurve med  $V_\lambda$ -kurven.

## MÅLING AF LYSSTRØM

Den samlede lysstrøm fra en lyskilde (eller et mindre armatur) måles i en såkaldt fotometerkugle eller i et fotogoniometer

Teorien bag en [fotometerkugle](#) forudsætter en tom kugle, hvis inderside er ideel diffus med en jævn [reflektans](#).

Hvert punkt på kuglens inderside vil reflektere lys til alle andre punkter og [belysningsstyrken](#) i samtlige punkter vil således bestå af to komponenter; den direkte stråling fra lyskilden og den reflekterede stråling fra ethvert andet punkt på kuglens inderside.

Ud fra denne forudsætning følger, at den del af belysningsstyrken, og dermed også [luminansen](#), på enhver del af kuglens inderside, der alene hidrører fra den reflekterede stråling, vil være proportional med den totale lysstråling, uden hensyntagen til dens distribution. Luminansen af et lille område på kuglens inderside eller luminansen af dens overflade gennem et helt jævnt diffust transmitterende vindue i kuglevæggen, som omhyggeligt er afskærmet fra direkte lys fra lyskilden, men modtager lys fra alle andre dele af indersiden, vil således være direkte proportional med den samlede lysstrøm fra lyskilden.

Ud fra måling af en referencelyskilde, hvis lysstrøm kendes, kan man bestemme en kalibreringskonstant, ud fra hvilken lysstrømmen fra enhver anden lyskilde, der måles i fotometerkuglen, kan bestemmes.

Den samlede lysstrøm kan også måles i et [fotogoniometer](#), som dog er et noget mere kompliceret stykke [laborarieudstyr](#).



## INTRODUKTION

Lysstyrken er et mål for, hvor meget lys, der udsendes i en bestemt retning, dvs. lysets intensitet og styrke i en bestemt retning fra en lyskilde eller et armatur.

Lysstyrken betegnes med bogstavet  $I$  og måles i enheden candela (forkortes cd).

Det engelske ord for Lysstyrke er: Luminous intensity.



Lysstyrken er den mængde lys, der udsendes fra en lyskilde i en bestemt retning.  
Figur: Silla Herbst.

## TYPISKE VÆRDIER FOR LYSSTYRKE

Lysstyrken angives i candela og fremgår for nogle typer lyskilder af lyskildens emballage.

I tabellen herunder kan du se eksempler på lysstyrken fra forskellige [lyskilder](#).

Lyskilde	Lysstyrke
Stearinlys	1 cd
40 W <a href="#">glødelampe</a>	35 cd
35 W <a href="#">stifthalogen</a>	50 cd
35 W <a href="#">metalhalogen</a>	260 cd

Som det fremgår af tabellen, er der stor forskel på lysstyrken fra forskellige lyskilder, også selvom de har samme effekt.

## ENHEDEN FOR LYSSTYRKE

Enheden for lysstyrke er candela, som forkortes cd.

1 cd svarer omtrent til lysstyrken fra et almindeligt stearinlys.

Candela er en grundlæggende SI-enhed i det Internationale Enhedssystem (Système Internationale). I dag lyder definitionen af candela således:

1 Candela er lysstyrken i en given retning fra en lyskilde, som udsender monokromatisk stråling ved en frekvens på  $540 \cdot 10^{12}$  Hz og som har en strålingsstyrke på 1/683 Watt pr. steradian.

540 Hz svarer til den stråling, hvor [synssansen](#) har den største følsomhed, nemlig ved en bølgelængde på 555 nm. ( $\lambda = 300 \cdot 10^8 \text{ m/s} / 540 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1} = 555 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ )

Tidligere (1948-1979) lød definitionen således:

Én candela er 1/60 af den lysstyrke, som en overflade på  $1 \text{ cm}^2$  af det [absolut sorte legeme](#) har ved en temperatur, som svarer til platins størkningspunkt.

## ANVENDELSE AF BEGREBET LYSSTYRKE

For retningsbestemte lyskilder, som for eksempel reflektorlyskilder, er det lyskildens lysstyrke der angives, når man i databladet giver oplysninger om lyskildens lysmængde.

Den lysstyrke der figurerer i databladet, er lysstyrken i [lyskildens hovedretning](#), dvs. lige under lyskilden, hvis denne er direkte nedadlysende.



Product description: 44860 WFL 20W 12V GU5,3 20X1 OEM OSRAM  
 Product code: 4050300527741  
 Quantity: Folding carton box (FS) contains 1 Piece (PCE)

You can find this product in the eCatalog:  
[http://catalog.myosram.com?~language=EN&~country=DE&it\\_p=4050300527741](http://catalog.myosram.com?~language=EN&~country=DE&it_p=4050300527741)

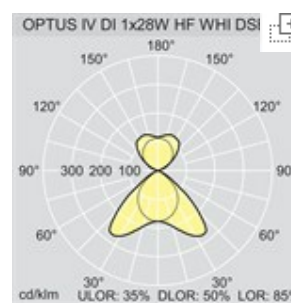
Electrical data	
Rated wattage	20 W
Nominal wattage	20 W
Nominal voltage	12 V
Rated number of switching cycles	1000000 <sup>1)</sup>
Rated power factor $\lambda$	1.00
Dimensions & weight	
Overall length	45.0 mm
Diameter	51.0 mm
Outer bulb	T9
Light technical data	
Luminous intensity	480 cd
Beam angle	36 °
Rated color temperature	3000 K
Rated color rendering index Ra	100
Rated starting time	0.0 s
Rated warm-up time (60 %)	0 s



I datablade for retningsbestemte lyskilder angiver man typisk lyskildens lysstyrke. I databladet her er angivet en lysstyrke på 480 cd for en 20 W smalstrålende reflektorhalogenlyskilde med en spredningsvinkel på 36°. Datablad: Osram.

Lysstyrken anvendes også i såkaldte [lysfordelingskurver](#) for belysningsarmaturer, hvor enheden ofte er candela pr. 1.000 lumen (cd pr. 1.000 lm). Årsagen til at lysstyrken er normeret med 1.000 lumen er, at man så bedre kan sammenligne en lysfordelingskurve med en anden, uanset hvor kraftig lyskilden er.

Lysfordelingskurver anvendes dels til beregning af [belysningsstyrken](#) i et givet punkt, og giver samtidig et billede af [lysfordelingens karakter](#); om den er bred- eller smalstrålende, om den sender en del af lyset opad og så videre.



Eksempel på lysfordelingskurve for et lysstofrørsarmatur.  
 Figur: Thorn Lighting.



## LYSSTRØM PR. RUMVINKEL

Lysstrømmen fra en lyskilde udsendes sjældent jævnt i alle retninger. I nogle retninger udsendes meget lys, i andre næsten intet.

Definitionen af lysstyrke er [lysstrøm](#) pr. rumvinkel. Dvs. at candela er det samme som lumen pr. steradian ( $\text{cd} = \text{lm/sr}$ ).

Hvis man forestiller sig en lyskilde anbragt i centrum af en kugle, vil lysstrømmen fra lyskilden passere kuglens overflade. Hvis man måler den lysstrøm, der passerer forskellige overfladeelementer af kuglen, viser det sig i langt de fleste tilfælde, at lysstrømmen varierer fra sted til sted. Den lysstrøm, lyskilden udsender, er altså normalt ikke jævnt fordelt i rummet, men varierer fra retning til retning.

Da lyset forplanter sig retlinet, vil en forøgelse eller formindskelse af radius i kuglen, og en samtidig ændring af størrelsen af overfladeelementet i forhold til denne ændring ikke ændre lysstrømmens størrelse.

Da det er af betydning at vide, hvorledes lysstrømmen fra en lyskilde fordeler sig i rummet, har man indført begrebet lysstyrke.

Ved lysstyrken,  $I$ , i en given retning forstås lysstrømmen i en kegle med uendelig lille åbning indeholdende retningen divideret med størrelsen af den rumvinkel, der fremstiller keglen.

Lysstyrken er således defineret som:

$$I = d\Phi/d\omega$$

hvor  $d\omega$  er rumvinklens størrelse.

Formlen gælder strengt taget kun, når lyskilden er punktformet, dvs. uendelig lille. Selv om alle lyskilder har en vis udstrækning, kan det vises, at man kan betragte disse, som om lysudsendelsen skete fra et punkt, uden at der derved begås større fejl, dog under forudsætning af at lyskildens udstrækning er relativt lille i forhold til måleafstanden ( $<1:10$ ).

Hvis lysstyrken ( $I$ ) er konstant i alle retninger i en given rumvinkel, finder man lysstrømmen ( $\Phi$ ), som udstråles indenfor rumvinklen ( $\omega$ ), af:

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

I nogle sammenhænge benyttes betegnelsen sfærisk middellysstyrke  $I_0$ . Herved forstås gennemsnittet af lysstyrken i alle retninger. Da hele rummet omfatter en rumvinkel på  $4\pi$  fås  $\Phi = 4\pi \cdot I_0$  eller den sfæriske middellysstyrke

$$I_0 = \Phi / 4\pi$$

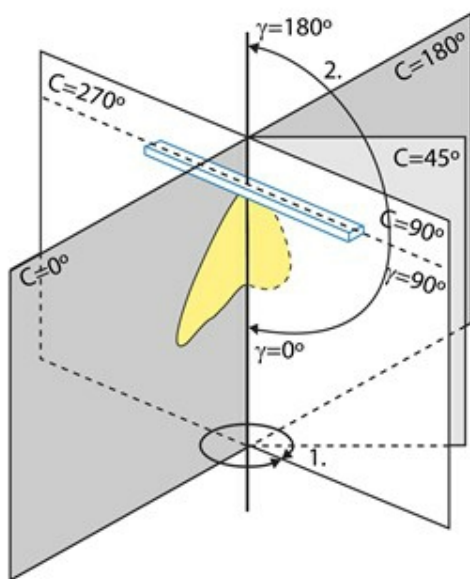
## MÅLING AF LYSSTYRKE

Lysstyrke kan for eksempel måles med et såkaldt goniometer.

Goniometre findes i forskellige versioner, som hver især egner sig til forskellige praktiske forhold og til måling af forskellige typer [lyskilder](#) eller [armaturer](#).

Goniometret måler lysstyrken fra et armatur (eller en lyskilde) med en fotocelle, som er placeret i passende afstand af armaturet og alene måler lyset fra det armatur, der måles på. Vinklen mellem fotocellen og armaturet kan varieres ved at dreje armaturet omkring dets to hovedakser (på tværs og på langs af armaturet) eller ved at bruge et spejl, der bevæges omkring armaturet.

Lysstyrken måles i et passende antal vinkler på tværs og på langs af armaturet. Det samlede antal målinger kan efterfølgende afbildes i et xy-system, hvorved armaturets lysfordeling vil træde frem. Emnet uddybes i afsnittet [Beregning, måling og vurdering](#).



Principskitse vedr. akser for lysfordelingskurver i en lysfordeling.

## SAMMENHÆNG MELLEM LYSSTYRKE OG LYSSTRØM

Der er en entydig sammenhæng mellem lysstyrke og lysstrøm.

Ud fra formlen

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

kan man udregne følgende eksempler:

### Eksempel 1

En lyskilde har inden for en kegle, hvis halve topvinkel  $\theta$  er  $5^\circ$ , en lysstyrke på 310 cd. Idet rumvinklen,  $\omega$ , udregnes efter ligningen  $\omega = 2\pi(1-\cos\theta)$ , kan [lysstrømmen](#) i denne rumvinkel bestemmes som

$$\Phi = I \cdot \omega = I \cdot 2\pi \cdot (1-\cos\theta) = 310 \cdot 2\pi \cdot (1 - \cos(5)) = 7,4 \text{ lm}$$

### Eksempel 2

Da hele rummet set fra et punkt har en rumvinkel på  $4\pi$  steradian, kan man, hvis det forudsættes at en punktformet lyskilde har samme lysstyrke,  $I$ , i alle retninger, finde den fulde lysstrøm fra lyskilden af formlen

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

$$\Phi = I \cdot 4\pi$$

En glødelampe med en lysstrøm på 2100 lm har tilsvarende en lysstyrke på

$$I = \Phi / 4\pi = 2100 / 4\pi = 167 \text{ cd}$$

under forudsætning af, at lysstyrken er ens i alle retninger.



## INTRODUKTION

Belysningsstyrke er et mål for, hvor meget lys, der rammer en flade. Hvis vi skal se små detaljer og små kontraster, kræver vi mere lys, dvs. højere belysningsstyrke, end hvis der er tale om grove detaljer og store kontraster, som ikke behøver lige så meget lys.

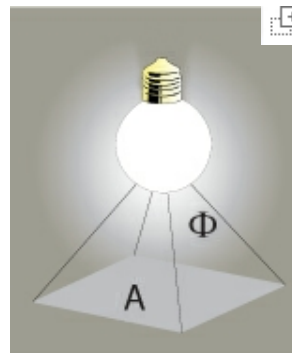
Når en flade rammes af [lysstrøm](#), bliver den belyst. Den indfaldende lysstrøm pr. arealenhed kaldes belysningsstyrken og måles i lux. Belysningsstyrken er således et udtryk for, hvor meget lys der rammer en del af en overflade.

Når et nyt belysningsanlæg skal dimensioneres, sker det bl.a. ud fra krav til belysningsstyrker. Krav til belysningsstyrker varierer alt efter hvilke typer arbejdsopgaver belysningen skal understøtte. For eksempel er kravet til almindeligt kontorarbejde 500 lux med mindre der er tale om lejlighedsvist kontorarbejde, hvor kravet er 200 lux.

Selv om et belysningsanlæg dimensioneres ud fra krav til bl.a. belysningsstyrker, er det vigtigt at huske på, at det ikke er det lys, der falder ind mod fladen, vi ser, men derimod det lys, der reflekteres fra fladen mod vores øjne, kaldet fladens [luminans](#). Belysningsstyrke er bare lettere at måle.

Derfor har andre forhold som [luminans](#), [reflektans](#) og [kontrast](#) stor indflydelse på, om belysningsstyrken er tilstrækkelig.

Det engelske ord for belysningsstyrke er: Illuminance.



Belysningsstyrken er et mål for, hvor meget lys der rammer en flade, dvs. lysstrøm pr. arealenhed.  
Figur: Silla Herbst.

## TYPISKE VÆRDIER FOR BELYSNINGSSTYRKE

Afhængig af lyskilde og om vi er ude eller inde kan der være store forskelle på de belysningsstyrker, der rammer forskellige flader i vores omgivelser.

I tabellen herunder kan ses eksempler på typiske værdier for belysningsstyrken ude og inde.

<b>Udendørs</b>	<b>Belysningsstyrke</b>
Solskin	100.000 lux
Overskyet	10.000 lux
Fuldmåne	0,25 lux
Kontor	500 lux
Klasselokale	200 lux
Gangarealer	50-100 lux

## ENHEDEN FOR BELYSNINGSSTYRKE

Da belysningsstyrke måles i lux, kaldes belysningsstyrken i nogle sammenhænge for lux-tallet.

Enheden for belysningsstyrke er lux, og i nogle sammenhænge forkortet lx.

Ved belysningsstyrken  $E$  i et punkt af en overflade forstås forholdet mellem [lysstrømmen](#), der rammer et overfladeelement indeholdende punktet, og arealet af dette element. Da belysningsstyrken kan variere fra punkt til punkt, er dette kun korrekt, når overfladeelementet er uendeligt lille. Vi får derfor, at

$$E = d\Phi/dA$$

Er belysningsstyrken konstant indenfor et større areal, eller regner man med middelbelysningsstyrken indenfor dette, fås

$$E = \Phi/A$$

Hvis vi i denne formel indsætter enheden for lysstrøm og areal, fås enheden for belysningsstyrke som

$$1 \text{ lumen} / 1 \text{ m}^2 = 1 \text{ lux}$$

eller:

1 lux er den belysningsstyrke, som en flade får, når hver  $\text{m}^2$  af den rammes af en lysstrøm på 1 lumen.

Lux er i øvrigt en afledt SI-enhed i det Internationale Enhedssystem (Système Internationale).

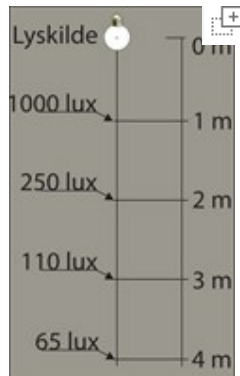
## LYSET AFTAGER MED AFSTANDEN

Belysningsstyrken afhænger i høj grad af afstanden mellem lyskilden og den belyste flade.

Hvis afstanden mellem en punktformet lyskilde og en flade øges, vil belysningsstyrken på fladen falde.

Hvis afstanden mellem lyskilden og fladen derimod gøres mindre, vil belysningsstyrken stige og samtidig vil belysningen henover fladen blive mindre jævn.

Hvis vi vil beregne belysningsstyrken på en flade i en given afstand fra en punktformet lyskilde, kan vi anvende [afstandsloven](#) som siger, at lyset aftager med kvadratet på afstanden. Sagt på en anden måde betyder dette, at hver gang vi fordobler afstanden til lyskilden, reduceres belysningsstyrken til  $\frac{1}{4}$  af den værdi, den havde før.



Hver gang afstanden til lyskilden fordobles, reduceres belysningsstyrken til en fjerdedel af hvad den var.  
Figur: Silla Herbst.

**Tommelfingerregel:**

Belysningsstyrken falder med kvadratet på afstanden.

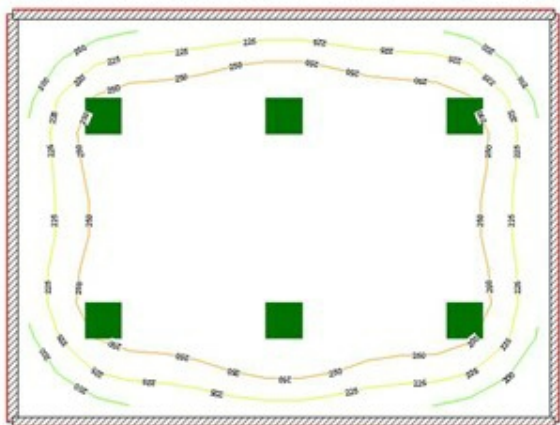
## BEREGNING AF BELYSNINGSSTYRKE

I praksis foregår beregning af belysningsstyrker ofte ved hjælp af computerberegningsprogrammer.

Når belysningsstyrker beregnes ved hjælp af [computerberegningsprogrammer](#), vil beregningsresultaterne ofte fremkomme i form af såkaldte isolux-kurver.

Isolux-kurverne viser belysningsstyrkefordelingen på den beregnede flade. Af kurverne fremgår det, i hvilke områder af de beregnede flader der vil være belysningsstyrker over og under en vis lux-værdi, og hvordan belysningsstyrken er fordelt på fladen.

Man kan beregne isoluxkurver for alle typer flader, herunder både horisontale (gulve, borde mv.) og vertikale (tavler, vægge mv.).



Eksempel på en isolux-kurve.

### Overlagsberegning

I et lokale med en jævn fordeling af [armaturer](#), er det muligt at lave en overslagsberegning af middelbelysningsstyrken i lokalet. Det sker ved hjælp af en formel fra den tidligere anvendte NB-metode. Formlen ser således ud:

$$E_{\text{middel}} = (\Phi \cdot N \cdot \eta_B \cdot V) / A$$

hvor

$\Phi$  = [lysstrøm](#) pr. armatur (i lumen)

N = antallet af armaturer

$\eta_B$  = [belysningsvirkningsgraden](#) (som decimalbrøk, default-værdi = 0,50)

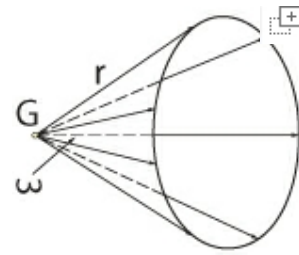
V = den samlede [vedligeholdelsesfaktor](#) for anlæg og lokale (default-værdi = 0,75)

A = lokalets areal (i m<sup>2</sup>)

## AFSTANDSLOVEN

Hvis afstanden mellem en punktformet lyskilde og en flade øges, vil belysningsstyrken på fladen blive reduceret. Vha. afstandsloven kan vi beregne belysningsstyrken som funktion af afstanden til lyskilden.

I figuren til højre er G en punktformet lyskilde, der i en bestemt retning udsender [lysstyrken](#) I inden for en rumvinkel  $\omega$ .



[Lysstrømmen](#) fra lyskilden i denne rumvinkel bliver:

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

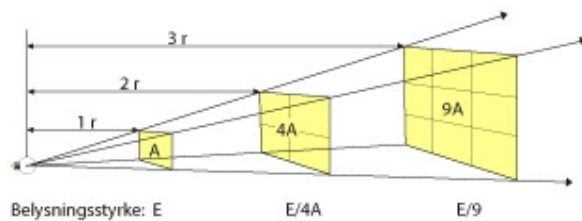
Hvis man med centrum i lyskilden lægger en kugle om denne med radius r, vil det areal på kuglefladen, der ligger inden for rumvinklen  $\omega$  rammes af lysstrømmen  $\Phi$ . Belysningsstyrken på denne del af kuglens overflade kan findes ved at dividere lysstrømmen med arealet af overfladen. Overfladens størrelse er  $A = \omega \cdot r^2$ , og belysningsstyrken E bliver

$$E = \Phi / A = (I \cdot \omega) / (\omega \cdot r^2) = I / r^2$$

Belysningsstyrken på kuglens overflade er altså lig med lysstyrken i den pågældende retning divideret med kvadratet på kuglens radius, dvs.  $r^2$ .

Hvis man lader arealet af den betragtede kugleoverflade aftage mod 0, og dermed til et punkt, kan man anse dette punkt som værende en del af et plan, der står vinkelret på forbindelseslinjen mellem lyskilden og punktet. Herefter kan afstandsformlen formuleres således:

Den belysningsstyrke, som en punktformet lyskilde giver, er omvendt proportional med anden potens af afstanden mellem lyskilden og den belyste flade.



Figuren viser, hvordan belysningsstyrken aftager med afstanden til lyskilden. Figur: DCL.

### 1. cosinuslov

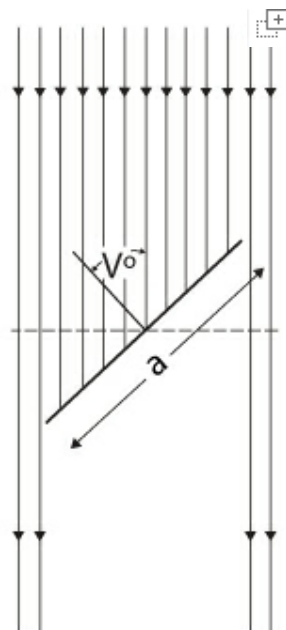
På figuren til højre er vist et fladestykke med bredden  $a$ . Oprindeligt har en lysstrøm ramt denne flade under en ret vinkel, men fladestykket er nu drejet i vinklen  $v$ . Som det fremgår af figuren, er det nu kun en del af lysstrømmen, der rammer fladen, nemlig  $a \cdot \cos v$  gange den oprindelige lysstrøm.

Dette udtrykkes ved 1. cosinuslov, der siger:

Den belyningsstyrke, som rammer en flade, er proportional med cosinus til lysets indfaldsvinkel:

$$E = E' \cdot \cos v$$

hvor  $E$  er belyningsstyrken på fladen efter drejningen, og  $E'$  er den maksimale belyningsstyrke, som fås, når lyset rammer fladen under en ret vinkel, hvor indfaldsvinklen er 0.



### Eksempel på anvendelse af afstandsloven og 1. cosinuslov

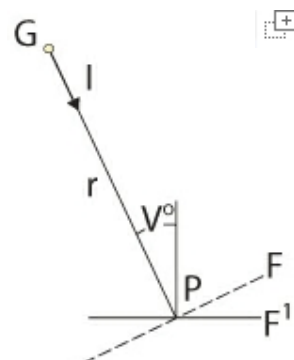
I figuren til højre er en lyskilde  $G$  anbragt i en afstand  $r = 4$  meter fra et punkt  $P$ , der ligger i et plan  $F'$ . Normalen (den linje, der står vinkelret på planen  $F'$ ) til planet i punktet  $P$  danner en vinkel  $v = 25^\circ$  med forbindelseslinjen mellem  $G$  og  $P$ . Lysstyrken  $I$  i retningen mod  $P$  er 250 cd. Belysningsstyrken i punktet  $P$  kan findes på følgende måde:

Hvis  $P$  lå i et plan  $F$ , som ligger vinkelret på retningen til lyskilden ( $v=0$ ), ville belyningsstyrken  $E$  i punktet  $P$  ifølge afstandsloven være

$$E = I / r^2$$

Men da  $P$  ligger i et plan  $F'$ , hvis normal danner vinklen  $25^\circ$  med forbindelseslinjen til  $G$ , skal vi ifølge 1. cosinuslov gange med  $\cos 25^\circ = 0,906$ , for at finde belyningsstyrken:

$$E' = E \cdot \cos v = I / r^2 \cdot \cos v = 250 \text{ cd} / 4 \text{ m}^2 \cdot \cos 25^\circ = 14 \text{ lux}$$



### Afstandslovens begrænsninger

Ikke alene i afstandsloven men også i nogle af definitionerne af grundbegreberne og disses enheder er man gået ud fra, at lyskilden er punktformet. Matematisk set betyder det, at lyskilden ikke har nogen udstrækning eller er uendelig lille.

I praksis eksisterer sådanne lyskilder ikke, de har alle en målelig størrelse. Når man har lyskilder med meget små dimensioner, kan man betragte disse som punktformede. Når der er tale om store lyskilder, f.eks. lysstofrør eller armaturer af en vis udstrækning, bliver lyskildens dimensioner så store, at man må korrigere for dette, f.eks. ved at dele lyskilden op i mindre dele og regne på disse hver for sig.

*(Indholdet i dette afsnit er baseret på hæftet Grundbegreber og målinger, Ib Ovesen, 1967)*

## SAMMENHÆNG MELLEM BELYSNINGSSTYRKE OG LYSSTRØM:

Der er en entydig sammenhængen mellem belysningsstyrke og lysstrøm.

Når en flade på  $4,5 \text{ m}^2$  rammes af en [lysstrøm](#) på 400 lm, bliver middelbelysningsstyrken på fladen:

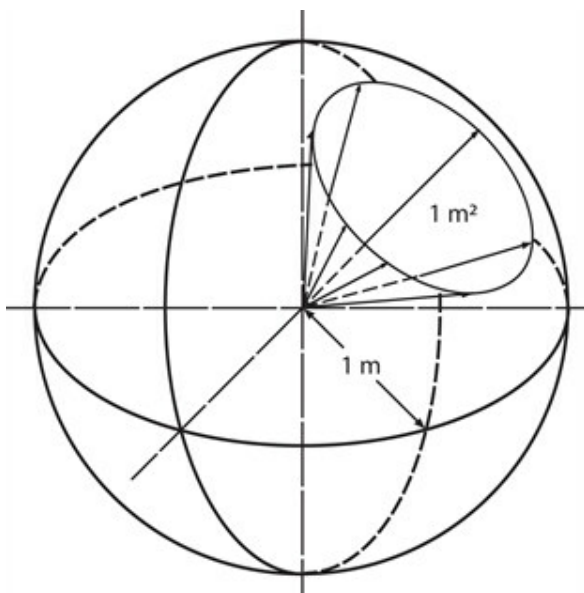
$$E = 400 \text{ lm} / 4,5 \text{ m}^2 = 89 \text{ lux}$$

Belysningsstyrken på en flade på  $12 \text{ m}^2$  er 150 lux. Den lysstrøm, der rammer fladen, er:

$$\Phi = 150 \text{ lux} \cdot 12 \text{ m}^2 = 1.800 \text{ lm}$$

### Sammenhængen mellem lysstyrke, lysstrøm og belysningsstyrke

Sammenhængen mellem [lysstyrke](#), lysstrøm og belysningsstyrke fås lettest, hvis man tænker sig, at man har en punktformet lyskilde, der har en lysstyrke på 1 candela i alle retninger og anbringer denne i centrum af en kugle med radius på 1 m. Indenfor en rumvinkel på 1 steradian, der fås ved at lægge en kegle med toppunkt i kuglens centrum, og en sådan størrelse, at den udskærer et areal på  $1 \text{ m}^2$  på kuglens overfalde, udstråles 1 lumen. Denne lysstrøm rammer kuglens overflade inden for et areal på  $1 \text{ m}^2$ , og kuglens overflade får derved en belysningsstyrke på 1 lux.



Sammenhængen mellem lysstyrke, lysstrøm og belysningsstyrke. Figur: DCL.

(Indholdet i dette afsnit er baseret på hæftet *Grundbegreber og målinger*, Ib Ovesen, 1967)



## HALVRUMLIG OG (HALV-)CYLINDRISK BELYSNINGSSTYRKE

I nogle sammenhænge anvendes begrebet halvrumlige og (halv-)cylindriske belysningsstyrker

Halvrumlige belysningsstyrker er forholdet mellem [lysstrømmen](#) på en halvkugle og dens areal, og dette bruges f.eks. i [standarder vedr. vejbelysning](#) af arealer med mange bløde trafikanter.

Symbolet for halvrumlige belysningsstyrker er  $E_{hr}$ .

I andre sammenhænge, som for eksempel indenfor idrætsbelysning, anvender man begrebet cylindriske belysningsstyrker eller evt. halvcylindriske belysningsstyrker, som er forholdet mellem lysstrømmen på en (halv-)cylinder (normalt lodret) og dens areal.

Symbolet for halvcylindriske belysningsstyrker er  $E_{hc}$ .

Symbolet for cylindriske belysningsstyrker er  $E_z$ , og begrebet bruges blandt andet i [DS/EN 12464-1](#) til at stille krav til belysningen i områder, hvor visuel kommunikation er vigtigt.

## MÅLING AF BELYSNINGSSTYRKE

Belysningsstyrke måles med et luxmeter.

Ved måling med [luxmeter](#) er det vigtigt, at målesituationen er så realistisk som muligt. Hvis man for eksempel skal måle belysningsstyrken på et skrivebord, er det vigtigt at der sidder en person ved bordet - f.eks. den der foretager målingen.

## INTRODUKTION

Luminans er et udtryk for, hvor lys en flade er. Selv om vi ofte har fokus på belysningsstyrker, er det luminanserne i vores omgivelser, øjnene registrerer.

Øjet indstiller sig efter det aktuelle luminansniveau. Derfor er det vigtigt at der er en passende luminansfordeling uden alt for store spring, både når vi arbejder og i alle mulige andre sammenhænge.

En flades udseende bestemmes ikke alene af [belysningsstyrken](#) på fladen, men også af hvor meget og hvordan lyset [reflekteres](#) fra fladen. Luminansen er derfor et mål for, hvor meget lys, der udsendes eller reflekteres fra en flade.

Hvis man belyser et mørkt bord, hvor der ligger et stykke hvidt papir, vil papirets luminans være højere end bordets, fordi det hvide papir reflekterer mere lys i retning mod vores øje end det mørke bord. Hvis man sænker belysningsstyrken, vil papirets luminans også blive mindre.

### Overgange mellem lys og mørke

For at kunne arbejde og færdes sikkert er det vigtigt at overgange mellem lyse og mørke områder, også kaldet luminansovergange, opfylder visse betingelser. Hvis forskellene mellem lys og mørke flader er store, kan det være generende. Endnu vigtigere er det at overgangen fra større mørke flader og større lyse flader (eller omvendt) forløber jævnt og ikke brat.

### Øjet indstiller sig

Når vores øjne ser på en bestemt detalje, f.eks. teksten i en bog, vænner de sig til det lys, der er umiddelbart omkring teksten. Man siger at øjet [adapterer](#). Hvis man ser fra bogen op på en mørkere væg, vænnes øjnene til et nyt niveau. Er der for stor forskel på lysniveauet, dvs. på de to fladers luminans, sker der en synsnedsættelse, som først forsvinder, når øjnene har tilpasset sig det nye luminansniveau.

Øjet tiltrækkes af lyse områder. Derfor gælder det om at det man skal se, f.eks. arbejdsemner, fremtræder lysere end omgivelserne. Lyset skal helst være aftagende, efterhånden som øjet bevæger sig væk fra arbejdsstedet.

### Middelluminans

Luminanserne i synsfeltet som helhed varierer. Den gennemsnitlige luminans i synsfeltet kaldes middelluminansen. Luminansen af den eller de flader, som udgør selve arbejdsemnet benævnes objektluminansen.

Det engelske ord for luminans er: Luminance.

*(Dele af dette afsnit er baseret på Godt lys på arbejdspladsen, Arbejds miljøfondet, 1982)*



Luminans er et udtryk for hvor lys en flade er. Figur Silla Herbst.



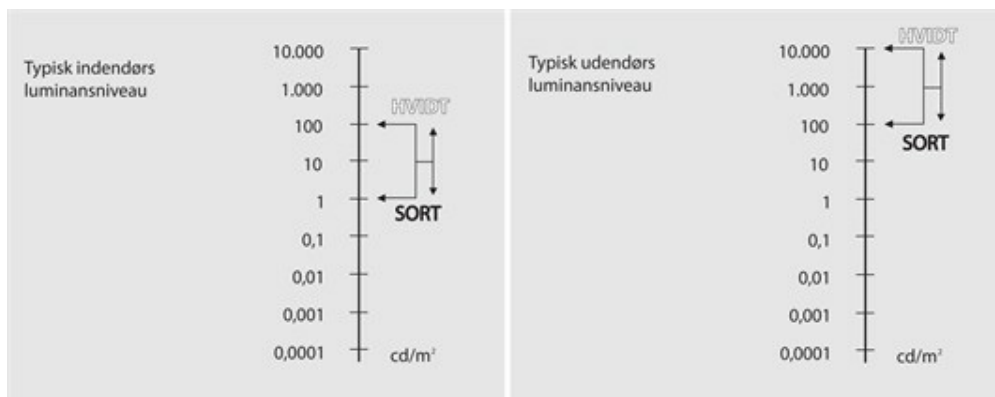
Når vi passerer en tunnel, kan vi somme tider opleve stort luminansspring mellem den mørke tunnel og de lyse omgivelser, vi kommer ud i.  
Foto: Astrid Espenhain

## TYPISKE VÆRDIER FOR LUMINANS

Øjet indstiller sig efter det luminansniveau, der er i synsfeltet.

Det typiske indendørs luminansniveau ligger på ca. 1-100  $\text{cd/m}^2$ , mens det typiske udendørs niveau er ca. 100-10.000  $\text{cd/m}^2$ . Øjet kan typisk [adaptere](#) til at opfatte luminansforskelle, som spænder over 2 dekader.

Alle flader med luminanser, der er lavere end det niveau øjet er adapteret til, vil blive opfattet som sorte, mens flader der har luminanser højere end dette niveau, vil blive opfattet som hvide.



Figuren viser typiske luminansværdier i indendørs (venstre) og udendørs (højre) miljøer. Luminanser, der er større end det luminansniveau, vores øjne er adapteret til, vil opleves som hvide eller meget lysende, mens luminanser, der er lavere, vil opleves som sorte eller meget mørke.

I tabellen herunder findes eksempler på typiske værdier for luminansen ude og inde.

Hvidt papir	100 $\text{cd/m}^2$
<a href="#">Lysstofrør</a>	15.000 $\text{cd/m}^2$
Mat <a href="#">glødelampe</a>	70.000 $\text{cd/m}^2$
Solen	1.600.000.000 $\text{cd/m}^2$
Månen	2.500 $\text{cd/m}^2$

## ENHEDEN FOR LUMINANS

Eftersom luminansen er et udtryk for, hvor meget lys der udsendes fra en given flade, er enheden for luminans candela pr. m<sup>2</sup>, forkortet cd/m<sup>2</sup>.

For luminans anvendes betegnelsen L.

Luminansen er defineret som  $L = I / A$  og enheden er derfor candela pr. m<sup>2</sup>, som ofte skrives cd/m<sup>2</sup>.

Luminansen i et punkt på en overflade og i en given retning findes som [lysstyrken](#) af et overfladeelement, som indeholder punktet, divideret med det tilsyneladende areal af elementet set i den pågældende retning.

Hvis den flade, der betragtes, ikke er i en ret vinkel på synsretningen, vil fladens tilsyneladende areal være forskelligt fra fladens areal. Det tilsyneladende areal fås som den ortogonale projektion af fladen et plan vinkelret på den givne synsretning. Det tilsyneladende areal er derfor

$$A' = A \cdot \cos v$$

Ved at indsætte enheden for lysstyrke og areal i formlen for luminans,  $L = I / A$ , fremgår det, at en flade på 1 m<sup>2</sup>, der har en lysstyrke på 1 candela vinkelret på fladen, har en luminans på 1 cd/m<sup>2</sup>.

Luminansen af en belyst flade er en funktion af [belysningsstyrken](#) på fladen, vinklen mellem fladens normal og betragtningensvinklen og fladens [refleksionsegenskaber](#).

Hvis f.eks. 1.000 lux måles på et arbejdsplan, vil et mat hvidt papir have en luminans på ca. 250 cd/m<sup>2</sup>, mens en mat bordplade i lys eg vil have en luminans på ca. 150 cd/m<sup>2</sup>. For halvblanke eller blanke materialer vil luminansen være forskellig i forskellige retninger.

## LUMINANSTRIN

Vores synsbetingelser afhænger af fordelingen af luminanser i omgivelserne. Hvis der er store forskelle mellem lyst og mørkt, vil der være risiko for blænding.

Alt synsarbejde kan foregå med større eller mindre lethed, sikkerhed og hastighed, og afhænger af den præcision, hvormed øjet opfatter arbejdsobjektet og dets detaljer. I den forbindelse er det afgørende, at øjet er i en passende [adaptationstilstand](#).

Det er luminanstrinene inden for et spænd fra mørke til blænding i en given adaptationstilstand, der er afgørende for indtrykket af lyset i rummet. Er luminansfordelingen helt jævn med få luminanstrin, bliver lyset i rummet monotont. Har fordelingen store forskelle fra lyst til mørkt, bliver lyset i rummet kontrastfyldt eventuelt med risiko for [blænding](#).

Pludselig overgang fra små til store luminanser eller omvendt, og store spring mellem synsfeltets luminanser, kan medføre blænding eller nedsat synlighed. Som regel vil en variation med jævnt forløbende luminansovergange være at foretrække.

### Kontrol af luminansforhold

Ved kontrol af luminansforhold er følgende spørgsmål relevante:

- Viser en gennemgang af resulterende luminanser for rummets elementer (vægge, gulv, loft, inventar, arbejdsfelt osv.) et luminansmønster, som svarer til den karakter, man ønsker at tillægge rummet?
- Er der utilladeligt store spring i luminansen mellem sammenstødende, større flader, respektive skarp afgrænsning mellem flader med meget stor luminansforskel?

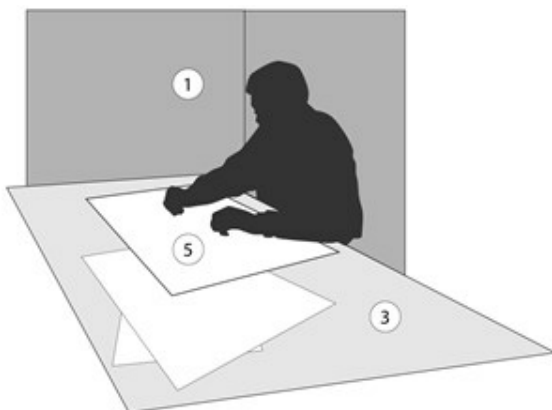
## ØJET TILTRÆKKES AF LYS

Øjet tiltrækkes af det lyseste område i synsfeltet. Det bevirker, at opmærksomheden lettest holdes fast der, hvor der er mest lys.

Stigende [adaptationsniveau](#), altså stigende luminanser i omgivelserne, forbedrer øjets grundlæggende funktioner såsom [kontrastfølsomheden](#), [synsstyrken](#) og opfattelseshastigheden.

Hvis øjet skal have de [bedst mulige synsbetingelser](#) og [komforten](#) samtidig skal være størst muligt, bør arbejdsobjektet have størst luminans, de umiddelbare omgivelser en noget lavere luminans og de fjernere omgivelser en endnu lavere luminans. Dog må forskellene ikke være så store, at de fjernere omgivelser bliver for mørke og derfor virker ubehagelige, og at [kontrasten](#) mellem arbejdsobjektets luminans og de fjernere omgivelser bliver ubehageligt stor.

I figuren er foreslået nogle anbefalelsesværdige luminansniveauer på en almindelig arbejdsplads. Hvis baggrundsluminansen er på niveau 1, bør arbejdsobjektets luminans være ca. 5 gange højere, og arbejdsobjektets umiddelbare omgivelser være ca. 3 gange højere. Herved sikres fokus på arbejdsopgaven, og behagelige luminansovergange fra arbejdsobjekt til baggrund.



## MÅLING AF LUMINANS

Luminans måles med et luminansmeter. Luminansmetret måler de luminanser, der møder vores øjne.

Ved måling af luminanser med [luminansmeter](#) (luminanskamera) på en konkret arbejdsplads eller lignende skal målinger foretages "fra" selve arbejdspladsen (personens plads), så de bidrager til en kortlægning af dominerende luminanser i netop denne position.



## SAMMENHÆNG MELLEM LUMINANS OG LYSSTYRKE

Der er en entydig sammenhængen mellem luminans og lysstyrke.

En flade på 0,3 m · 0,2 m har en [middellysstyrke](#) i en retning vinkelret på fladen på 90 cd. Middelluminansen af fladen fås da af

$$L = 90 \text{ cd} / (0,3 \cdot 0,2) \text{ m}^2 = 1.500 \text{ cd/m}^2$$

Hvis man ønsker at finde luminansen i en anden retning, må lysstyrken i den pågældende retning kendes, og endvidere skal der divideres med arealet af fladens projektion på et plan vinkelret på den pågældende retning.

*(Indholdet i dette afsnit er baseret på hæftet Grundbegreber og målinger, Ib Ovesen, 1967)*