



Udskrift fra WWW.LYSVIDEN.DK

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

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

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

INTRODUKTION

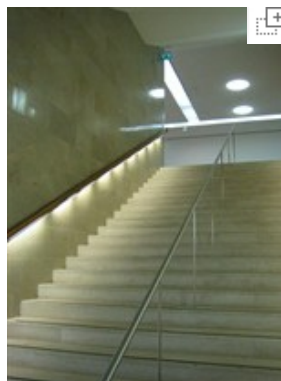
Begrebet kunstlys, også kaldet kunstig eller elektrisk belysning, dækker belysning frembragt ved hjælp af elektricitet.

Emnet kunstlys er stort og omfatter flere forskellige delelementer, herunder

- Elektriske lyskildetyper
- Armaturtyper

Derudover omfatter Kunstlys følgende afsnit:

- Lyskildeegenskaber
- Forkoblinger og andet tilbehør
- Styring og regulering
- Armaturets bestanddele
- Armaturets lysfordeling
- Reflektorer og afskærmning
- Armaturdesign
- RGB og farvet lys
- Lysstyring



Trappe med lys i håndliste.
Foto: Astrid Espenhain.

Hvad er en lyskilde?

En lyskilde er et objekt, der fremkalder lys. Solen er for eksempel en lyskilde. De lyskilder, der gennemgås under dette emne, er elektriske lyskilder og omfatter bl.a. [lysstofrør](#), [lysdioder](#) og [halogenlødelyskilder](#).

Afsnittene om de forskellige lyskildetyper indeholder som minimum en gennemgang af følgende forhold:

- Virkemåde
- Typer
- Opbygning og fremstilling
- Lystekniske data
- El-tekniske forhold
- Anvendelser



Stifthalogen.

Når man skal vælge lyskilde(r) til en bestemt belysningsopgave, bør valget ske ud fra hensyntagen til flere parametre, herunder både energiforhold, farveegenskaber og levetid. Se afsnittet om [valg af lyskilde](#) under [Lys og energi](#).

I professionelle kredse kaldes en lyskilde også en lampe, hvilket formentlig kommer af den engelske betegnelse lamp. På engelsk kaldes lyskilder generelt "light sources".

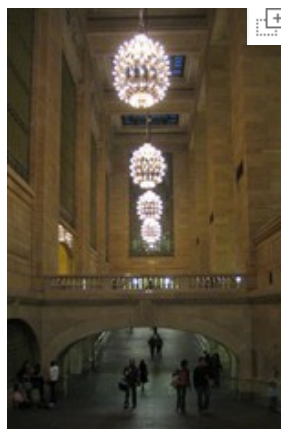
Hvad er et armatur?

Med armatur menes her et belysningsarmatur, i almindelig tale kaldet en lampe. Et armatur er en komplet anordning, som består af følgende delelementer:

- armaturhus
- lyskilde
- evt. optiske dele (f.eks. linser, reflektorer eller andre lysstyrende dele)
- blændingsafskærmning
- evt. fatningssystem
- evt. forkoblingsudstyr
- evt. forsegling, tætning o.l.
- evt. dekorative elementer

Når man skal vælge armatur(er) til en bestemt belysningsopgave, bør valget ske ud fra hensyntagen til flere parametre, herunder både [lysfordeling](#), [virkningsgrad](#) og vedligeholdelse. Se [valg af armatur](#) under [Lys og energi](#).

Den engelske betegnelse for et armatur er 'luminaire', 'light fitting' (UK) eller 'lighting fixture' (US).



Belysning i banegårdshal, Grand Central, New York. Foto: Astrid Espenhain

INTRODUKTION

En lyskilde er et objekt, der fremkalder lys. Solen er for eksempel en lyskilde. De lyskilder, der gennemgås under dette emne, er elektriske lyskilder og omfatter bl.a. lysstofrør, LED-lyskilder og halogenglødelyskilder.

Afsnittene om de forskellige lyskildetyper indeholder som minimum en gennemgang af

- Virkemåde
- Typer
- Opbygning og fremstilling
- Lystekniske data
- El-tekniske forhold
- Anvendelser

Når man skal vælge lyskilde(r) til en bestemt belysningsopgave, bør valget ske ud fra hensyntagen til flere parametre, herunder både energiforhold, farveegenskaber og levetid. De forskellige parametre er behandlet i de forskellige afsnit om lyskilder, mens [valg af lyskilde](#) behandles under [Lys og energi](#).

I professionelle kredse kaldes en lyskilde også en lampe, hvilket formentlig kommer af den engelske betegnelse lamp.

Ikke-professionelle kalder oftest belysningsarmaturer for lamper, hvilket kan skabe lidt forvirring.



Metalhalogenlampe.

INTRODUKTION

Til de forskellige lyskildetyper knytter sig forskellige egenskaber. Nogle har med lysets oplevede kvaliteter at gøre, mens andre er målbare.

I mange tilfælde kan flere forskellige typer lyskilder anvendes til samme formål. Valg af lyskilder til en konkret belysningsopgave vil dog altid bero på et kompromis mellem flere parametre, herunder [pris](#), [levetid](#), [energieffektivitet](#) og farveegenskaber.

Derfor er det væsentligt at sætte sig ind i de parametre, der knytter sig til de forskellige lyskilder og prioritere, hvilke egenskaber der har størst betydning i den konkrete sag.

De forskellige lyskildetyper baserer sig på forskellige lysteknologier, nemlig temperaturstrålere og luminescensstrålere.



Foto: Silla Herbst.



Museumbelysning med LED, Museum Zeughaus, Mannheim.

Foto: Light Makers.

Temperaturstrålere

Til gruppen af elektriske temperaturstrålere hører [gløde- og halogenglødelamper](#). Temperaturstrålere er karakteriseret ved, at lyset frembringes ved opvarmning af en glødetråd eller lignende.

På engelsk kaldes glødelamper for Incandescent lamps.

Luminescensstrålere

Til gruppen af luminescensstrålere hører lystofrør, lysdioder og damplamper. Luminescensstrålere kaldes også udladningslamper og er karakteriseret ved, at lyset frembringes via en [udladningsproces](#) i lyskilden. Gruppen af luminescensstrålere indeholder lyskildetyper, som udsender lys via forskellige typer udladningsprocesser:

- [Damplamper](#), som frembringer lys via elektriske udladninger i den gas, der er indeholdt i lyskilden
- [Lystofrør](#), som frembringer lyset via fotoluminescens. Fotoluminescens er genudsendelse af lys fra et materiale, som bevirker at bølgelængden, og dermed lysudsendelsen, er ændret i forhold til den oprindelige. F.eks. udsender nogle materialer synligt lys, når de bestråles med ultraviolet lys.
- [Lysdioder](#) (LED), som frembringer lyset via elektroluminescens. Ved elektroluminescens udsendes lys fra visse typer materialer, når der løber en elektrisk strøm gennem materialet. Dette sker i en lysdiode, som er en lille elektronisk halvlederchip, der i sig selv udsender lys, når der sendes en strøm igennem den.

På engelsk kaldes udladningslamper for discharge lamps.

Vælg lyskildetypen før armaturet

I nogle tilfælde vælges [armaturet](#) uden tanke på, hvilken lyskilde det er beregnet til. Da lyskilden er styrende for både elforbrug, lysmængde og lysfordeling, er det imidlertid vigtigt at vælge lyskilden, før man vælger armatur.

Husk i øvrigt at der hele tiden kommer nye lyskilder med nye egenskaber på markedet.

FARVEEGENSKABER

Lysets spektrale sammensætning, som er bestemmende for lysets farveegenskaber, dvs. lysfarven og evnen til at gengive farver.

Synligt lys er [elektromagnetisk stråling](#) med bølglængder i området 380 - 780 nanometer. Lyset kan være sammensat af stråling med én, flere eller alle bølglængder i [det synlige spektrum](#). Man taler i den forbindelse om lysets spektrale sammensætning, som er bestemmende for lysets farveegenskaber, dvs. [farvetemperaturen](#) og [farvegengivelsen](#).

I figuren er vist eksempler på spektralfordelinger for en [halogenglødelyskilde](#), et almindeligt [lysstofrør](#) og for [dagslys](#). Lyset fra både halogenglødelys og dagslys indeholder samtlige bølglængder i det synlige spektrum og udsender lyset i et kontinuert spektrum. Lyset fra lysstofrør udsendes i et linjespektrum og indeholder ikke alle bølglængder.

Farvegengivelse

Hvis lyset fra en lyskilde ikke indeholder alle bølglængder i det synlige spektrum, vil lyset heller ikke kunne gengive alle farver lige godt. Lyskildens evne til at gengive farver angives ved et farvegengivelsesindeks, som også kaldes [Ra-indeks](#) (Ra står for Rendering Average). Ra-indekset ligger for de fleste lyskilder mellem 70 og 100, hvor 100 er bedst.

Farvegengivelsen for elektriske lyskilder varierer. Nogle typer har et højt Ra-indeks, det gælder primært gløde- og halogenglødelyskilderne. Enkelte typer har et lavt Ra-indeks, herunder [viksølvlamperne](#) og nogle [natriumlamper](#). Endelig fås en del lyskildetyper, som f.eks. LED, lysstofrør og [metalhalogenlamper](#), i forskellige udgaver med varierende farveegenskaber.

Selv om forskellige lyskilder har samme Ra-indeks, gengiver de ikke nødvendigvis de samme farver ens. 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. Derfor giver det heller ikke mening at sige, at lyset fra en bestemt lyskilde kun kan gengive et bestemt antal farver korrekt.

Lysfarve

Det hvide lys fra en lyskilde har i sig selv en lysfarve, også kaldet farvetemperatur. Lysets farve opleves enten som kold, varm eller neutral og angives ved en farvetemperatur, som har enheden Kelvin [K]. Lyset fra en glødepære er varmt og har en lav farvetemperatur på ca. 2700 K. Lyset fra en metalhalogenlampe er ofte neutralt og har typisk en farvetemperatur på 4200 K.

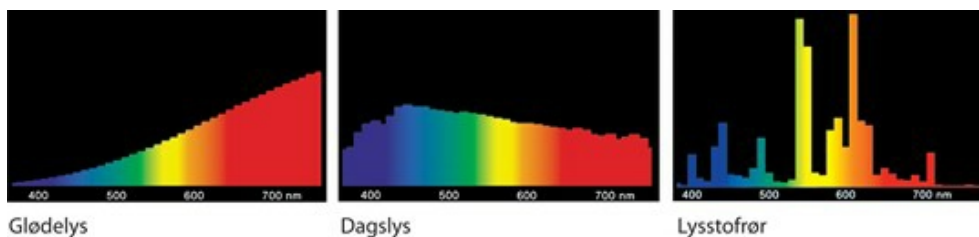
Nogle lyskilder fås kun i en enkelt lysfarve, mens andre, som for eksempel lysstofrør, fås i mange forskellige lysfarver, både kolde, varme og neutrale.



Violet tørklæde i lyset fra én type LED. Foto: Steen Traberg-Borup .



Violet tørklæde i lyset fra en anden type LED. Foto: Steen Traberg-Borup.



Spektralfordeling for henholdsvis glødelys (tv.), dagslys(m.) og lysstofrør (th.).

LYSMÆNGDE OG LYSFORDELING

Ligesom der er stor forskel på, hvor meget lys de forskellige lyskilder udsender, kan lyskildernes lysfordeling, dvs. hvordan og i hvilke retninger lyset udsendes, variere.

Lyskildens [størrelse](#) har betydning for både [lysfordeling](#) og krav til fysiske dimensioner i armaturet. Størrelsen kan være afgørende for, hvilke anvendelser en lyskilde egner sig til.

Lysmængde

For mange lyskilder angives den mængde lys, en lyskilde udsender, ved dens [lysstrøm](#). Dette gælder for de lyskilder, der ikke er såkaldt retningsbestemte. Betegnelsen retningsbestemt anvendes om lyskilder, der udsender lyset i en bestemt hovedretning, såsom reflektorpærer.

Mens den typiske lysmængde for en almindelig [sparepære](#) eller [halogenlyskilde](#) til en [arbejdslampe](#) eller over et spisebord ligger mellem 600 og 1.200 [lumen](#), kan lysmængden fra de lyskilder, der anvendes i kontorarealer og fabrikkshaller eller til vejbelysning være mange gange større. Lyskilder til vejbelysning ligger typisk fra 3.000 til 8.000 lumen.

[Lysmængden](#) betegnes i nogle sammenhænge den nominelle [lysstrøm](#). For de lyskilder, der kræver indbrænding, er den nominelle lysstrøm lig med den lysmængde lyskilden udsender umiddelbart efter indbrænding af lyskilden. I daglig tale anvendes desuden begrebet lumenpakke for lyskildens lysmængde.

For retningsbestemte lyskilder, f.eks. halogenlyskilder og [metahalogenlamper](#) med indbygget reflektor, angives lysmængden ved den [lysstyrke](#), der udsendes i lyskildens hovedretning, dvs. lige under lyskilden, hvis denne er direkte nedadlysende.

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 dette udsnit af et datablad er angivet en lysstrøm på 2.900 lm for et lysstofrør på 28 W. Datablad: Philips.

Indbrænding

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 lyskildekataloger, er lyskildens lysstrøm efter eventuel indbrænding.

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. For LED-armaturer er det dog typisk hele armaturets lumenpakke, som er interessant og ikke den enkelte LED-lyskilde. Dette er fordi LED'ernes lysudbytte ikke er uafhængigt af armaturet, og således ikke kan måles for sig.

Lysfordeling

Lyset fra en halogenpære med indbygget reflektor er rettet og udsendes inden for en bestemt vinkel, der kan være mere eller mindre smal afhængig af reflektorens spredningsvinkel. Lyset fra lysstofrør udsendes i næsten alle retninger.

En lyskildes lysfordeling har betydning for, hvordan vi oplever lyset, og om lyset når derhen, hvor vi har behov for det. Når man skal vælge armatur og lyskilde til en bestemt opgave, bør man overveje hvilken type lysfordeling og dermed lyskilde, der vil egne sig bedst til opgaven.

Selv om en lyskilde ofte er placeret i et armatur, skal man være opmærksom på, at nogle lyskilder blænder mere end andre. Små, kraftigt lysende lyskilder, som for eksempel stiftalogenpærer, reflektorlyskilder og LED'er, giver ofte et skarpere og mere blændende lys end sparepærer og lysstofrør og kræver i nogle sammenhænge en bedre afskærmning for ikke at give generende [blænding](#).

ENERGIEFFEKTIVITET

Ikke alle lyskilder er lige energieffektive. Ofte er der en sammenhæng mellem en lyskildes farveegenskaber og dens effektivitet.

En lyskildes effektivitet bestemmes som forholdet mellem den lysmængde, lyskilden udsender, og lyskildens [effekt](#), dvs. hvor mange watt den bruger. For lyskilders energieffektivitet anvendes også betegnelsen lysudbytte. Lysudbyttet måles i [lumen](#) pr. watt (lm/W).

Ved beregning af lyskilders effektivitet skal man være opmærksom på, at de fleste typer lyskilder som for eksempel [lystofrør](#), [LED](#) og [lavvolt-halogenlyskilder](#), kræver forkobling eller transformere, som også bruger strøm og skal regnes med, når lysudbyttet beregnes. For husholdningslyskilder med skruefatning er denne elektronik indbygget i pæren.

Når elforbruget skal holdes nede, bør man have fokus på de lyskilder, der er tændt i længst tid i løbet af året og på de, som har den højeste effekt, også kaldet wattage (effekt eller watt-størrelse).

Den bedste og meste effektive lyskilde vil altid være [dagslyset](#). Dagslyset er gratis og har optimale farveegenskaber.



I en sportshal eller en lufthavn er der brug for meget lys, og effektivt lys. Begge steder kan det være svært at opnå med dagslys uden generende blændinger.

LEVETID

Levetiden for lyskilder opgives ikke altid ens. Da levetiden kan være en afgørende parameter for valg af lyskilde, er det vigtigt at være opmærksom på, hvilken type levetid der opgives.

Der skelnes mellem følgende levetidsdefinitioner:

- Nominel levetid
- Økonomisk levetid
- Anbefalet levetid
- Levetid for LED lyskilder

De forskellige levetidsbegreber knytter sig til forskellige typer lyskilder og gennemgås herunder.

Nominel levetid

Nominel levetid er det antal timer, der er gået, når 50 % af lyskilderne (samme type) er udbrændt. Derfor kaldes den nominelle levetid også for middellevetid eller gennemsnitlig levetid.

For [glødepærer](#), [sparepærer](#) og [halogenpærer](#) er det typisk den nominelle levetid, der oplyses. Eftersom der er tale om et gennemsnit, kan den faktiske levetid variere, i nogle tilfælde temmelig meget.

På engelsk kaldes den nominelle levetid for rated life.

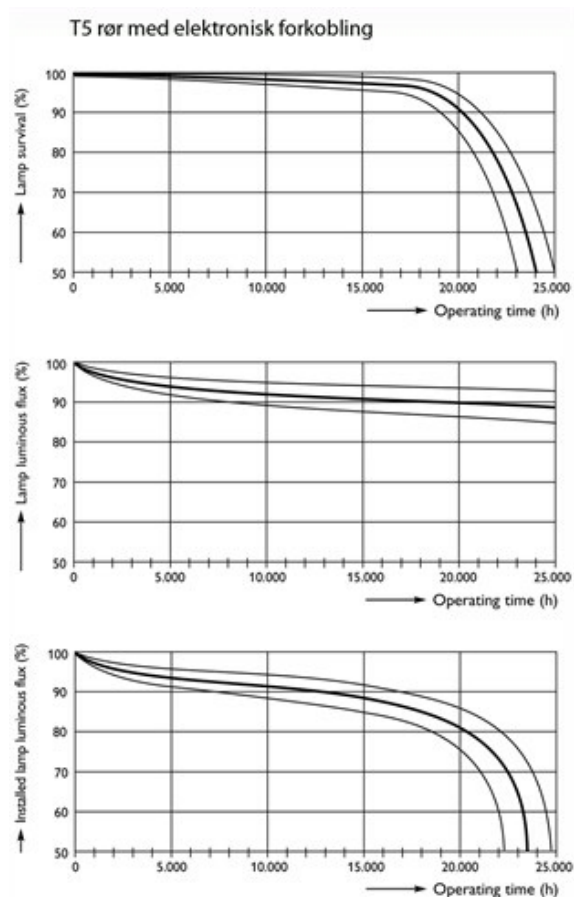
Økonomisk levetid

Den økonomiske levetid for en given lyskildetype er den tid, som er gået, når lysudbyttet er reduceret til 70 % af den nominelle [lysstrøm](#), når der tages højde for både lyskildeudfald og lysstrømsnedgang. Den økonomiske levetid beregnes derfor som produktet af udfaldskurven og lysstrømnedgangskurven.

Den økonomiske levetid fortæller derfor noget om den relative lysudsendelse fra et belysningsanlæg med samme type lyskilder, hvoraf alle med tiden giver en forringet lysstrøm, og nogle helt ophører med at fungere.

Den økonomiske levetid oplyses som regel for [lysstofrør](#) og [kompaktlysstofrør](#).

På engelsk kaldes den økonomiske levetid for economic life.



ZVEI levetidskurver for T5-lysstofrør: lampeudfald (ø.), lysstrømsnedgang (m.) og installeret lysstrømsnedgang (n.). Nederste kurve fremkommer som produktet af de to øverste kurver.

Anbefalet levetid

Anbefalet levetid anvendes for lyskilder, hvor farvekvaliteten ændrer sig med tiden.

Den anbefalede levetid angiver den maksimale driftstid inden for hvilken, visse af lyskildens lystekniske egenskaber (f.eks. farvekvaliteten) opfylder specificerede minimumskrav.

Levetid for LED-lyskilder

Når [Lysdioder](#) ældes, ændres både lysstrøm og [farveegenskaber](#). Under normale driftsbetingelser holder LED'er sjældent helt op med at lyse, men lyser blot svagere og svagere. Initiallysstrømmen holder sig meget konstant over mange tusind timer, men mod slutningen af LED'ens levetid falder lysstrømmen hurtigere.

Levetiden ("lumenvedligeholdelse" som på engelsk hedder lumen maintenance) udtrykkes i timer og er defineret ved udtrykket L_xB_y , hvor X repræsenterer den resterende procentdel af lysudbyttet, og Y betegner antallet af enheder, der ikke længere opfylder dette minimumskriterium. For eksempel hvis et LED-armatur har en levetid på 50.000 timer $L_{70}B_{10}$, betyder det, at det efter 50.000 timers brug vil det stadig give minimum 70% af det oprindelige lysudbytte, men at 10% af sådanne armaturer ikke opfylder dette niveau.

LED-pærer til husholdningsbrug er typisk vurderet ved anvendelse af en B_{50} standard, hvilket betyder, at ved deres nominelle levetid er 50% af pærerne allerede brændt ud. Lyskilder til husholdningsbrug bruges oftest mindre end 1000 timer om året, hvorfor en levetid på f.eks. 25.000 timer ofte vil overstige selve lampens levetid.

Professionelle LED-løsninger har ofte en levetid på 50.000 timer eller mere, og det er ikke altid, at levetiden opgives med en B-værdi.

Levetider for komponenter måles efter den amerikanske LM-80-08 standard, hvor LED-komponenterne (LED-chips, LED-packages eller moduler) testes i 6.000 timer ved en casing temperatur på 55 °C, 85 °C samt en af producenten valgt temperatur. Da ingen kan vente 50.000 timer (= 6 hele år) med at markedsføre produkterne, skal resultaterne af 6.000 timerstesten bruges til et skøn af den samlede levetid. Denne ekstrapolation udføres efter TM-21-11.

Levetid for LED-armaturer

Der findes to internationale standarder, IEC 62717 og IEC 62722-2-1, der beskriver hvordan levetid for LED-armaturer skal deklarerer. Fagerhult har udgivet [en vejledning](#) (juni 2016), som forklarer hvordan man udregner og deklarerer levetiden for LED-armaturer.

PRIS

Når man vil sammenligne priser på forskellige lyskilder, er man nødt til at kende indkøbspris, energiforbrug og levetid.

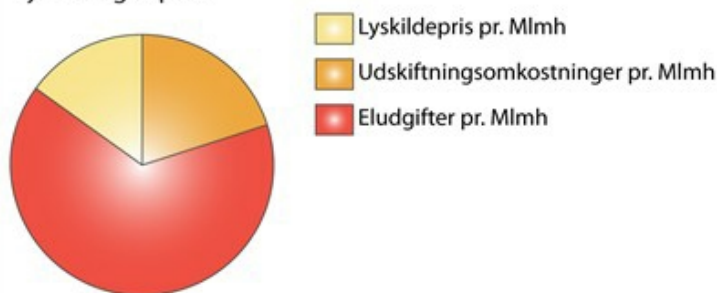
Der er stor forskel på prisen for forskellige typer lyskilder. Men eftersom der også er store forskelle på både [levetid](#) og [energieffektivitet](#), ser forskellene helt anderledes ud, når man medregner udgifter til udskiftning og elforbrug.

Hvis man medregner alle de faktorer, der har indflydelse på prisen for anskaffelse og drift af lyskilden, vil nogle af de lyskilder, der er billige i indkøb, vise sig at være de dyreste.

Lysmængdepris

Lysmængdeprisen er et udtryk for, hvad det koster at frembringe en bestemt [lysmængde](#) i en bestemt periode ved hjælp af en bestemt lyskilde, når der tages højde for alle udgifter.

Lysmængdepris :



Den samlede lysmængdepris fordeler sig på lyskildepris, udskiftningsomkostninger og eludgifter. Ofte udgør eludgifterne den største del.

Lysmængde måles her i lumentimer (lm·h). Af praktiske årsager beregner man prisen for 1 Megalumentime, dvs. 1 million lumentimer (1 megalumentime = 1 Mlmh). 1 Mlmh svarer nogenlunde til den lysmængde, et 14 W [lysstofrør](#) udsender i løbet af 1.000 timer.

Ved en lysmængdeberegning bestemmer man først lyskildens samlede omkostninger, som består af tre dele, nemlig indkøbspris, udskiftningsomkostninger og eludgift for hele lyskildens levetid. Dette beløb sættes dernæst i forhold til den mængde lys, man har fået for pengene. Man dividerer derfor tallet med det antal megalumentimer, lyskilden har produceret. Derved får man prisen pr. Mlmh, dvs. et tal, der direkte kan sammenlignes fra lyskilde til lyskilde uanset forskel i levetid, indkøbspris mv.

Følgende parametre indgår i beregningen:

E = elprisen (netto) i kr. pr. kWh

Bemærk de ofte ret store udsving i pris, alt efter hvor man bor i Danmark, og afhængig af, om moms og energiafgift refunderes.

P = lyskildens effekt i W (inkl. evt. forkoblingsudstyr)

Aflæses på (1) lyskilder og (2) datablade (for forkoblingsudstyr).

ϕ = lyskildens lysstrøm i lumen

Der regnes med den nominelle [lysstrøm](#), som den oplyses i lyskildefirmaernes kataloger. Strængt taget burde man i lysstrømsangivelsen inkludere lysstrømsnedgangen. Sammen med lampeudfald betyder lysstrømsnedgangen som tidligere nævnt ofte 30 % mindre lys ved slutningen af lyskildens [økonomiske levetid](#). Da disse oplysninger imidlertid ikke er almindeligt tilgængelige, og da lysstrømsnedgang og lampeudfald altid ligger til grund for den økonomiske levetid, påvirkes sammenlignende beregninger ikke nævneværdigt af lysstrømsnedgangen. Ønskes alligevel en korrigeret værdi af lysstrømmen over hele levetiden, kan man i praksis trække mellem 10 og 15 % fra den nominelle lysstrøm.

t = lyskildens levetid i timer.

For glødelamper, halogenglødelamper og sparepærer (dem med gevindsokkel) benyttes den nominelle (gennemsnitlige) levetid. For øvrige lyskilder benyttes den økonomiske levetid.

Oplysninger herom findes i lyskildefirmaernes kataloger.

C= lyskildens indkøbspris i kr. pr. stk.

Indkøbspriser for lyskilder er afhængig af evt. rabatter og momsrefusion.

U = omkostninger ved udskiftning af lyskilden

Udskiftningsomkostningerne beregnes i kr. pr. udskiftet lyskilde og bør udover arbejds løn tillige inkludere andre udgifter, herunder evt. leje af lift, stilladser mv. Det er ofte svært at fastsætte et beløb, især hvis det er virksomhedens eget personale, der foretager udskiftningen. Alligevel bør beløbet beregnes som en udgift, da det ofte viser sig at have større betydning, end man umiddelbart skulle tro. De konkrete armaturers vedligeholdelsesvenlighed spiller naturligvis ind. En lyskildeudskiftning bør kombineres med den nødvendige rengøring af armaturer og tilsyn af elektriske og mekaniske komponenter.

I figuren er vist de formler, der anvendes til beregning af den samlede lysmængdepris.

	Formel	240 V halogen 30 W	Sparepære 11 W
Udskiftningsomkostninger pr. Mlmh	$\frac{U \times 1.000.000}{\varphi \times t}$	10,75 kr. *	1,60 kr. *
Lyskildepris pr. Mlmh	$\frac{C \times 1.000.000}{\varphi \times t}$	51,00 kr.	9,50 kr.
Eludgift pr. Mlmh	$\frac{E \times P \times 1.000}{\varphi \times t}$	68,25 kr.	24,60 kr.
Mega-lumen-time-pris		~ 130 kr.	~ 30 kr.

* Pris for udskiftning af 1 stk. lyskilde er sat til kr. 20.

Eksempel på beregning af megalumentimepris for halogenpære med indbygget transformer og sparepære.

Pris og levetid for forkoblingsudstyr

I beregningen af lysmængdeprisen er der taget højde for elektrisk tab i forkoblingsudstyret, hvorimod omkostninger, der relaterer sig til levetid, installation og eventuelt separat indkøbspris for forkoblingsudstyret ikke er indregnet.

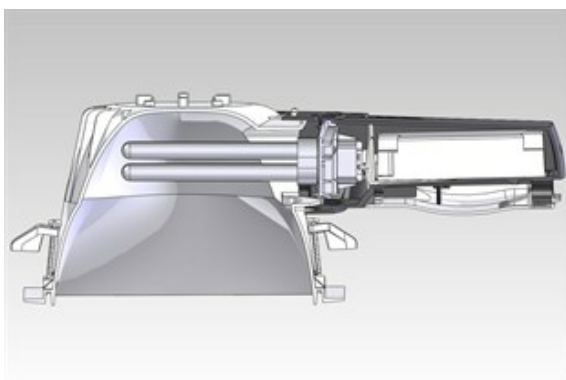
STØRRELSE

En lyskildes størrelse påvirker karakteren af det lys, lyskilden udsender, og kan være den afgørende parameter for valg af lyskilde.

Nogle lyskilder er lange og tynde, mens andre er korte og tykke, store og runde eller bare meget små. Lyskildens størrelse har betydning for, hvordan lyset fra lyskilden virker. Store lyskilder udsender f.eks. et lys, der er mindre præcist afgrænset end små, punktformige lyskilder.

Størrelsen skal også passe til armaturets størrelse, og omvendt. I nogle situationer, er pladsforholdene afgørende for valg af lyskilde. Det gælder f.eks. i forbindelse med indbyggede armaturer, hvor pladsen kan være trang.

Lyskildens størrelse er afgørende for resten af den optiske løsning: Næsten punktformige lyskilder, såsom LED og halogenfilamenter, kan forsynes med linser eller reflektorer, som kan fordele lyset meget præcist. For LED'er specielt, kan ganske små plastlinser anbringes i direkte kontakt med lyskilden, hvorved lyset kan fordeles præcist og med et meget lille lystab ved passagen gennem linsematerialet. Da LED'erne ikke bliver særligt varme, ødelægges plastlinserne ikke som de ville blive det i kontakt med konventionelle lyskilder.



Downlight med kompaktlysstofrør monteret vandret. Figur: Glamox.

DRIFTSFORHOLD

Da de forskellige lyskildetyper baserer sig på forskellige teknologier, er der også forskel på lyskildetypernes følsomhed overfor forskellige påvirkninger. Nogle lyskildetyper udsender desuden mere varme end andre.

Nogle lyskildetyper har en såkaldt opstartstid, hvilket betyder at de er et lille stykke tid (typisk nogle minutter) om at nå op på fuld styrke og lyser med den rette [lysfarve](#). En del af disse lyskilder tåler desuden ikke gentænding, ligesom de som udgangspunkt ikke er velegnede til dæmpning. Dette gælder i særdeleshed [damplamper](#), hvor kun nogle få vil kunne dæmpes, og kun hvis man nøje følger producentens forskrifter og anvender korrekt udstyr og passende neddæmpningsfrekvenser.

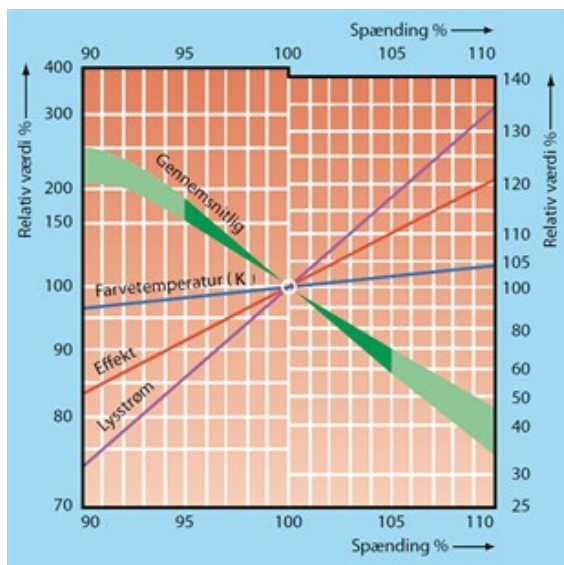
Temperaturstrålere og LED tænder på fuld styrke med det samme, dvs. inden for få millisekunder.

Spændingsfølsomme lyskilder

For temperaturstrålere, dvs. [gløde- og halogenglødelyskilder](#), gælder, at både [levetid](#), [farvetemperatur](#) og [lysmængde](#) afhænger af, hvilken spænding lyskildens påtrykkes. Hvis spændingen øges, vil levetiden reduceres, mens lysmængden vil stige.

[Luminescensstrålere](#) er ligeledes spændingsfølsomme, hvis de benyttes med en konventionel forkobling.

LED'er er følsomme for overspændinger i forbindelse med f.eks. lynnedslag eller statisk elektricitet, som kan ødelægge dem helt.



Karakteristika for temperaturstrålere (glødelyskilder) som funktion af forsyningsspænding. Figur: FABA.

Temperaturfølsomme lyskilder

[Lysstrømmen](#) fra almindelige [lysstofrør](#) afhænger af omgivelsestemperaturen, og rørene lyser kun meget lidt ved temperaturer omkring 0 °C eller lavere. Lysstofrør og [sparepærer](#) lyser desuden mindre, hvis de bliver for varme.

Også [lysdioder](#) er følsomme overfor temperatursvingninger og reagerer i modsætning til de øvrige lyskildetyper ved at lyse kraftigere ved lave temperaturer ned til ca. -25 °C.

Til udendørs lamper i klimazoner med kolde vintre tilrådes det f.eks. at vælge en lyskilde, der også fungerer i frostgrader, da lysstrømmen ellers kan blive reduceret.

Forkoblinger

Der findes både konventionelle og elektroniske [forkoblinger](#).

Konventionelle forkoblinger er kendetegnet ved at være yderst robuste over for vind og vejr, men samtidig forholdsvis tunge og store, og er desuden ikke lige så effektive som de elektroniske.

Elektroniske forkoblinger er derimod meget effektive, og det vil sige, at effekttabet i forkoblingen selv er lille. Derudover er de lettere og har små dimensioner. De egner sig imidlertid knap så

godt til udendørs brug eller til brug ved temperaturer under frysepunktet. Elektroniske forkoblinger fås desuden med mulighed for dæmpning af lyset.

Varme fra lyskilderne

Hovedparten af den energi (el), der tilføres en lyskilde, bliver til varme. Dette gælder alle typer lyskilder, men andelen varierer for de forskellige lyskildetyper og afhænger af, hvor energieffektiv lyskilden er.

Varmeduendelsen kan resultere i væsentlige gener. I butikker med mange spots kan varmen fra lyskilderne f.eks. resultere i varmegener for personalet. I andre sammenhænge kan varmen fra belysningen bevirke at produkter bliver ødelagt. Det gælder for eksempel chokolade.

MILJØ OG ARBEJDSMILJØ

Udover de forhold omkring farveegenskaber, lysmængde med videre, der knytter sig til selve lyskilden, kan de forskellige lyskildetyper påvirke både miljø og arbejdsmiljø i større eller mindre grad.

Nogle lyskildetyper indeholder stoffer, der er skadelige for miljøet, mens andre udsender et lys, der i sig selv påvirker oplevelsen af lyset eller i værste fald udgør en risiko i forhold til udførelsen af visse typer arbejdsopgaver.

Flimmer og stroboskopeffekt

Visse lyskilder, der er tilsluttet vekselstrøm, pulserer i lysudsendelsen. Denne pulsation opfattes under særlige betingelser som flimmer, som kan virke ubehageligt.

Øjets evne til at opfatte flimmer er størst i det [perifere synsfelt](#) og afhænger af mange faktorer, hvoraf den vigtigste er [luminansen](#). Jo højere luminansen er, jo højere frekvens kan øjet opfatte som enkeltglimt.

Pulsationen i lysudsendelsen giver anledning til den såkaldte stroboskopiske effekt, som kan give anledning til at hastigheden af roterende eller hurtigt bevægende dele - og eventuelt rotationsretning - fejlbedømmes. Hvis dette er tilfældet, skal der træffes foranstaltninger, som eliminerer risikoen for stroboskopeffekt, eksempelvis ved, at der benyttes højfrekvente eller andre specielle forkoblinger i forbindelse med lyskilderne.

UV-stråling

Når man producerer en lyskilde, er formålet normalt at kunne frembringe så meget [synligt lys](#) som muligt. Det gælder derfor om at undgå, at der udsendes energi ved bølgelængder uden for [øjets følsomhedsområde](#), herunder UV-stråling (ultraviolet stråling), ved at koncentrere lyset i det gul-grønne område, hvor [det menneskelige øje](#) er mest lysfølsomt.

Når UV-strålingen alligevel ikke helt kan undgås, skyldes det nogle fysiske lovmæssigheder ved den måde, hvorpå lyskilderne producerer lys.

Ligesom lyset, aftager UV-strålingen med kvadratet på afstanden, og intensiteten følger [belysningsstyrken](#). Hvis belysningsstyrken (i lux) fordobles, vil UV-påvirkningen derfor også blive fordoblet. Til gengæld er overfladers evne til at reflektere UV-stråling væsentlig anderledes (og typisk dårligere) end ved refleksion af lys.

Mange lyskilder og armaturer er forsynet med beskyttende frontglas, ofte af hensyn til eksplosionsfare men også for at forhindre direkte kontakt til den varme lyskilde. Både frontglas og yderkolber af blødt glas forhindrer UV-stråling.

Blålysfare

Nogle lyskilder har en overvægt af lysudsendelse i det stærkt blå område omkring 460 nm, hvor øjets opfattelsesevne jævnfør [V\(λ\)-kurven](#) er lav. Dette gælder specielt kolde LED'er.

Når øjet ikke opfatter lyset, sker ingen [adaptation](#), og [nethinden](#) bliver dermed ikke beskyttet mod kraftig indstråling. Dette kan være farligt for øjet, hvis lyskilden samtidig har en meget høj luminans. Denne effekt er parallel til faren ved laserstråling.

Man bør derfor ikke se direkte ind i nøgne [Lysdioder](#), og navnlig ikke, hvis de har en høj farvetemperatur.

Miljø

Nogle lyskilder indeholder stoffer, der er skadelige for miljøet. Det gælder for eksempel [lysstofrør](#), [sparepærer](#) og [damplamper](#), som indeholder en lille mængde kviksølv.

I de lande hvor el-produktionen er baseret på kulfyrede kraftværker, er el-produktionen imidlertid også forbundet med en betydelig udledning af kviksølv i naturen. Det gælder f.eks. Danmark, hvor vi i stor udstrækning benytter kul til el-produktion.

Samlet set udledes der mindre kviksølv i naturen, når vi anvender lysstofrør, sparepærer og andre kviksølvholdige lyskilder, end hvis vi i stedet brugte [gløde- og halogenglødelamper](#). Det skyldes at de kviksølvholdige lyskilder er langt mere energieffektive og har længere levetid.

Dog er det vigtig at være opmærksom på, at de kviksølvholdige lyskilder, ligesom sparepærer, skal afleveres på genbrugspladsen, når de ikke længere virker.



INTRODUKTION

Lysdioderne er fremtidens lyskilde og har udkonkurreret de fleste andre lyskilder inden for effektivitet og i mange tilfælde også hvad kvalitet angår.

En lysdiode kaldes også LED, som står for Light Emitting Diode. Lysdioder indeholder hverken kviksølv, glas eller gasser under tryk og er derfor mere robuste overfor ydre påvirkninger end mange andre typer lyskilder.

Lysdioderne fungerer rigtig godt ved lave omgivelsestemperaturer, fordi den lave temperatur bidrager til afkølingen af dem. Faktisk udsender de mere lys, når lysdiodetemperaturen falder. Derudover fylder dioderne mindre end et fingerbøl, hvilket betyder, at de kan indbygges steder, hvor det tidligere ikke var muligt.

En anden fordel ved lysdioder er, at de hverken udsender ultraviolet lys eller infrarødt lys (varmestråling). Varme fra [halogen- og glødepærer](#) er et stort og energikrævende problem i butikker, der ofte må køle kraftigt for at komme af med varmen. Desuden falmer stoffer og andre materialer, når de udsættes for varmestråling og ultraviolet stråling.

Lysdioder anvendes til belysningsformål i komponentform og i egentlige LED-lyskilder med traditionelle fatninger. Udvalget af både rå lysdioder og LED-lyskilder på markedet er meget stort og varieret.



LED-bånd. Foto: Silla Herbst.



Forskellige typer LED-lyskilder.

VIRKEMÅDE

En lysdiode er en elektronisk komponent, der i sig selv udsender lys, når der sendes en strøm igennem dem.

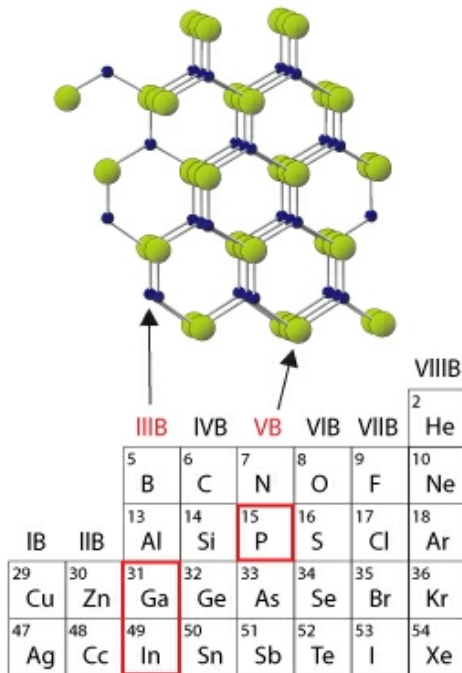
Lysdioder tilhører den gruppe af elektronikkomponenter, som kaldes dioder (eller halvledere) og er karakteriseret ved kun at kunne lede strøm i den ene retning. Dioder er en mellemting mellem isolatorer og gode elektriske ledere som f.eks. kobber. Byggestenene i en halvleder har en fuldkommen præcis og regelmæssig struktur. Materialet kan betegnes som en krystal.

Lysdioder består af to materialer med henholdsvis højt og lavt indhold af elektroner. Det betyder, at den ene ende af dioden har et højt indhold af elektroner (n-type), mens den anden ende af dioden har et lavt indhold af elektroner (p-type).

Farven afhænger af materialet

Det udsendte lys fra LED-chippen er altid ensfarvet. LED'ens [lysfarve](#) afhænger af de materialer, LED'en består af. Der bruges i øjeblikket to materialegrupper. Den ene gruppe består af AlGaInP (aluminium-gallium-indium-fosfid) og den anden består af InGaN (indium-gallium-nitrid). Førstnævnte bruges til at frembringe røde og orange farver, mens sidstnævnte bruges til at frembringe blå og grønne farver. Den lysende krystalstruktur betegnes ofte die eller chip.

Hvide LED'er består af en kraftig blå LED, der lyser gennem et tyndt, fosforescerende lag. Dette lag konverterer en del af det blå lys til de øvrige bølgelængder, og derved bringes LED'en til at udsende hvidt lys. Et forholdsvis enkelt LED-halvledermateriale kan sammensættes af gallium og fosfor. Gallium har tre elektroner i den yderste elektronskal (gruppe III i det periodiske system). Fosfor har fem elektroner i den yderste elektronskal (gruppe V i det periodiske system). Tilsammen danner materialerne en stabil og regelmæssig krystallinsk struktur med 8 elektroner i hver af de yderste elektronskaller.



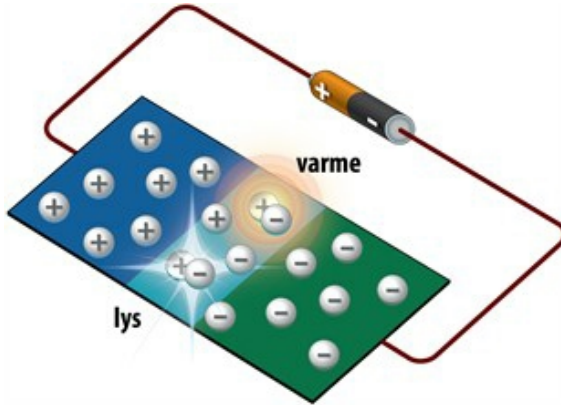
Grundstoffer fra III. og V. hovedgruppe i det periodiske system indgår i en LED's krystalstruktur - her gallium, indium og fosfor.

Overskydende elektroner

Det frembragte materiale er transparent, men kan endnu ikke lede strøm, fordi alle elektronerne er bundet på faste pladser. Materialet tilsættes derfor elektroner. Dette sker ved at udskifte nogle af fosforatomerne (med fem elektroner i den yderste skal) med tellurium, som har seks elektroner i den yderste skal. Der bliver derved en elektron til overs, som frit kan bevæge sig i materialet, der nu er blevet et n-type materiale. Lysudsendelse fordrer dog, at elektronerne kan afgive deres energi ved at gå til en lavere energitilstand. Dette kan ske, hvis elektronerne falder på plads i et ledigt hul i krystalmaterialet. Disse huller frembringes ved at udskifte nogle af galliumatomerne (med tre elektroner i yderste skal) med zink (med to elektroner i yderste skal). Derved opstår "huller" i krystalstrukturen, hvor der mangler en elektron. Manglende elektroner

svarer til frie positive ladninger, og således frembringes et p-type materiale.

Sammensætning af et n-type materiale og et p-type materiale vil resultere i en elektrisk barriere, der forhindrer elektronerne i at falde ned i hullerne. Barrieren ophæves ved at påtrykke en spænding hen over sammensætningen af de to typer materialer. Denne spænding benævnes tærskelspændingen. Elektronerne vil nu henfalde i hullerne og således udsende lys. En øget elektrisk strøm vil øge mængden af udsendt lys. Man siger, at elektroner og huller injiceres direkte mod hinanden og betegner derfor en LED som en injektions-elektroluminescent lyskilde. Det er ikke alle elektroner, som omsættes til lys, hvilket bl.a. skyldes krystaldefekter i lysdioden. Nogle elektroner rammer ved siden af hullerne, mens andre "siver" forbi hullerne. Den energi, der opstår, når en elektron rammer et hul, kan afsættes som ekstra energi til en anden elektron. Det sker i den såkaldte Auger proces.



Lysudsendelsen i en LED sker i overgangen mellem to materialer med hhv. overskud og underskud af elektroner. Når der løber en strøm i dioden 'falder' de overskydende elektroner (grønt område) ned i de 'huller', hvor der mangler elektroner (blåt område), hvorved der udsendes lys. De fleste elektroner rammer dog ikke hullerne og genererer i stedet blot varme.

TYPER

Lysdioder fås i to udformninger med hver deres egenskaber. De grundlæggende to typer LED betegnes henholdsvis radial LED og SMD-LED.

Radial LED'en er den ældste af de to LED-typer. Den er dråbeformet og har en diameter på 3 eller 5 mm. Den udsendte lysmængde fra en LED begrænses af, hvor meget varme LED-chippen kan tåle. Da varmen fra en radial-LED kun kan afledes via de tynde metalben, bliver LED'en hurtigt varm. [Lysmængden](#) fra en radial-LED er derfor yderst begrænset og det udsendte lys har sædvanligvis en snæver udstrålingsvinkel. [Levetiden](#) for en radial-LED er typisk under 10.000 timer, især fordi den dråbeformede plastindkapsling gulner med tiden.

En SMD-LED monteres på overfladen af underlaget, typisk en printplade. Deraf navnet surface mounted device, dvs. overflademonteret komponent. De mindste typer bruges typisk i mobiltelefoner fylder kun 0,5 x 1,5 x 0,3 mm, mens de største bl.a. anvendes til egentlig belysning og kan være 20 x 20 x 2,5 mm eller endnu større. Varmen fra LED chippen i en SMD-LED kan let bortledes. Derfor er lysmængden fra denne type LED større end for radial-LED'en. [L70-levetiden](#) for en SMD-LED er ca. 120.000 timer for de bedste typer, og L90 op til 60.000 timer.



Radial-LED.

Foto: Silla herbst.



SMD-LED. Foto: Philips.

Hvidt lys på flere måder - fosforkonvertering og RGB

Hvidt lys kan frembringes på flere måder. Den mest benyttede måde til almen belysning er LED'er, som virker ved fosforkonvertering. Ved denne teknik anvendes en kraftig blålysende LED til belysning af et lag af fosfor. En del af lyset er stadig blå efter passage af fosforlaget, mens resten af lyset har fået ændret farve til bredspektret, primært gult lys. Blandingen af blåt og gult lys (med en andel orange og lidt røde nuancer) giver hvidt lys.

En anden mulighed er at blande farverne rød, grøn og blå - det såkaldte RGB-lys. Ved at variere styrken af lyset i de enkelte farver kan alle regnbuens farver frembringes, herunder også hvidt lys. Derfor er denne teknik meget velegnet til effektbelysning med behov for farveskift. Det er dog normalt uhyre vanskeligt at finde den justering af rød, grøn og blå, som giver en bestemt nuance af hvid. Desuden er det svært at blande farverne 100 %, og lyskeglen vil sædvanligvis være omgivet af farvede rande. De enkelte farver vil også ændre sig med antallet af brændetimer og være afhængig af LED'ernes temperaturer samt strøm. Ved denne [additive farveblanding](#) er lyset heller ikke 'ægte hvidt' med alle det synlige spektrums farver repræsenteret, så [farvegengivelsen](#) er ikke god. Endelig ældes de enkelte dioder også i forskellige tempi. Særligt røde LED har en kortere levetid.

Erstatningslysilder med LED

En meget almindelig anvendelse af LED'er er i lyskilder, der kan bruges til erstatning for glødepærer. En LED-erstatningslysilde indeholder adskillige LED'er, et lille strømforsyning/driver samt et kølesystem til køling af LED'erne. Det er kølesystemets kapacitet, som bestemmer levetiden af LED'erne. Ofte består dette kølesystem blot af metalribber, eller i hvert en stor aluminiumsoverflade, der veksler varmen med den omgivende luft. Der er i de sidste år fremkommet en del rundstrålende LED-erstatningslysilder, der kan lyse lige så kraftigt som de fleste gængse glødepærer gjorde.

De europæiske krav til forbrugerlysilder inkl. ledpærer er indeholdt EU nr. 1194/2012 sammen med EF nr. 244/2009 (ændret ved EF nr. 859/2009), EF nr. 245/2009 (ændret ved EF nr. 347/2010) og EU nr. 874/2012. Her stilles der krav til energieffektivitet, brugsegenskaber, information og energimærkning. Da produkterne ændrer sig i et hurtigt tempo, er lovgivning også under revision. Den nyeste information bør derfor søges på Energistyrelsens hjemmeside.



LED-erstatningslysilde.

LED-lysrør

LED-lysrør er rørformede LED-lysilder, som kan indgå i et armatur beregnet til traditionelle lysrør. Lysrørene kan enten fungere sammen med armaturet uden ændringer, eller kan kræve ombygning.

I sidstnævnte tilfælde skal man være opmærksom på, at man ved ombygningen af armaturet påtager sig producentansvar, og dermed også for at løsningen samlet set overholder gældende love. Det være sig bl.a. lavspændingsdirektivet, EMC-direktivet og RoHS-direktivet.

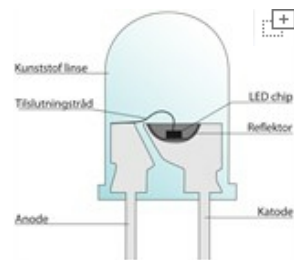
Uanset om armaturet ombygges eller ej skal man være opmærksom på, at LED-lysrøret typisk kun lyser nedad og lidt til siden, og dermed fungerer helt anderledes med armaturets optiske dele. Det har dels den effekt, at belysningen ikke længere har nogen kendt fordeling og styrke, og dels at blændingsegenskaberne kan blive helt anderledes.

Hvis armaturerne befinder sig i et område med lovkrav til belysningsstyrke, regelmæssighed, farvegengivelse og blænding (såsom arbejdsrum eller sportshaller), kan opfyldelsen af disse kun eftervises ved at måle kombinationen af de gamle armaturer og de nye rør igennem i laboratoriet, og gennemføre en ny lysberegning.

OPBYGNING

Mens det lysende element i forskellige typer LED'er ofte er ens, kan indpakningen være forskellig.

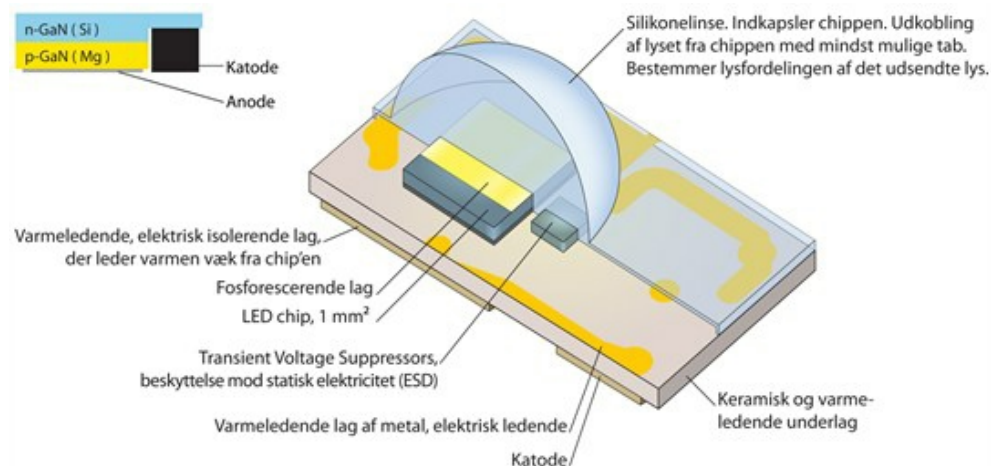
Selve chippen i en radial LED fylder ca. 0,3 x 0,3 x 0,3 mm. Den ene ende af chippen er monteret på et ledende underlag, mens den anden ende er påsat en ganske tynd strømløder kaldet "bond wire". Hele konstruktionen er indstøbt i epoxy med en afrundet top, der fungerer som en linse, hvilket er årsagen til, at lyset udsendes med en smal udstrålingsvinkel. Laget af epoxy oven på chippen fordobler næsten mængden af det udsendte lys i forhold til det producerede lys, fordi det hindrer en stor del af lyset i at blive reflekteret tilbage i chippen. Epoxyen gulner desværre efter nogle år og [lysmængden](#) og [farven af det udsendte lys](#) vil derfor ændre sig henover [levetiden](#).



Opbygning af radial-LED.
Figur: Silla herbst.

Opbygning af SMD LED

Chippen i en effekt-LED (kraftigt lysende LED) af SMD typen er ofte 1 mm² stor. Til hvide LED'er benyttes en chip, der lyser kraftigt blå. I nyere udgaver af blå chips (thin film flip chip - TFCC type) forsynes chippen med strøm uden brug af en bond wire. Det giver en mere kompakt og solid konstruktion og øger lysudsendelsen, fordi lyset derved ikke afskærmes.



Opbygning af SMD-LED.

Mikrometertynde krystallag

På chippen påføres et fosforescerende konverteringslag, som bevirker, at det udsendte blå lys bliver hvidt. Det fosforescerende lag er tyndt, i det viste tilfælde 1/10 mm. Ændringer i tykkelsen på blot en 1/1000 mm kan ændre [farvetemperaturen](#). SMD-LED'ens keramiske underlag er både elektrisk isolerende og varmeledende. Chippens udformning og den halvkugleformede linse over den er afgørende for, hvor meget af det frembragte lys, der kan forlade LED'en. I dag (2016) er det i bedste fald ca. 70-80 % af det producerede lys i chippen, der udsendes fra LED'en.

Hjertet i en LED-komponent er selve chippen, som udsender lys. Den består af mikrometertynde lag af krystaller med nogenlunde ens afstand mellem atomerne i strukturen. Det kaldes en epitaxial struktur. Rødt lysende LED'er består af AlInGaP, der er frembragt oven på et underlag af GaAs. Blåt lysende LED'er består af InGaN på et underlag af enten safir eller SiC.

Fremstilling af en LED-chip

Fremstilling sker i laboratorier med meget høje krav til renhed og fravær af støv, idet et enkelt støvfnug vil være tilstrækkelig til at ødelægge produktionen. Derfor filtreres luften konstant gennem finmaskede filtre, og samtlige ansatte bærer tætsluttende heldragter.

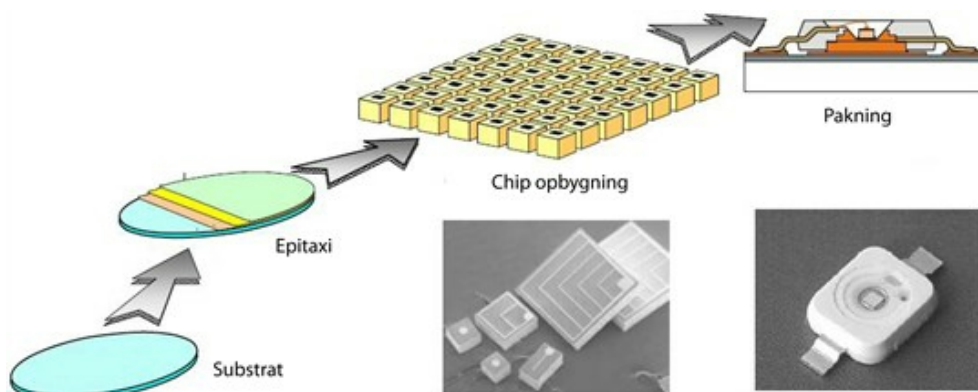
Ved fremstilling af LED-chips pådampes tynde krystallag en tynd skive (en 'wafer', som typisk er 100 eller 200 mm i diameter) bestående af enten galliumarsenid (GaAs), hvis LED'en skal lyse blå eller siliciumcarbid, hvis andre farver ønskes. Denne proces benævnes epitaxi og foregår ved en temperatur på ca. 1.000 °C.

Krystallagens opbygning er bestemmende for [lysets spektralfordeling](#) og mængde. Størrelsen af de enkelte krystaller i lagene skal være tilnærmelsesvis ens for at undgå defekter i materialet.

Derefter "doteres" krystalstrukturen, det vil sige tilsættes ad kemisk vej andre atomer end de oprindelige, hvorved de elektriske egenskaber ændrer sig til enten en n eller p type halvleder.

Næste trin består af ca. 100 mindre produktionstrin. Et af disse produktionstrin er en fotografisk proces, hvor de belyste dele af skiven ad kemisk vej fjernes. Detaljerne er uendelig små. Størrelsen af de belyste partier er i størrelsesordenen 20 nm. 1 nm er en milliontedel af en millimeter. Opbygning af hver LED omfatter bittesmå ledninger af metal og mikroskopiske komponenter med særlige elektriske egenskaber. En skive ('wafer') med en diameter på 100 mm kan opdeles i enten 120.000 små LED'er (med areal på hver $\frac{1}{4}$ mm²) eller ca. 7.500 individuelle større LED'er (med et areal på hver 1 mm²).

Det sidste produktionstrin er pakningen af de enkelte chips (på engelsk 'packaging' - her menes ikke emballering, men indkapsling). Selve huset omkring hver enkelt LED kan bestå af metal, keramik og plastic. Huset beskytter chippen mod fugt og andre ødelæggende påvirkninger, men skal samtidig lede varmen væk fra chippen og må ikke skærme for det udsendte lys.



Fremstilling af LED'er. Figur: Osram.

LYSTEKNISKE DATA

Lyset fra en LED afhænger både af strømmen, temperaturen, betragtningsvinklen og LED'ens brændtimer

Som for alle andre typer lyskilder er der en sammenhæng mellem effektiviteten og kvaliteten af lyset fra en LED. Man kan sagtens opnå en høj [farvegengivelse](#), men det går ud over effektiviteten. Omvendt vil en høj effektivitet betyde forringet farvegengivelse.

Lysdioder fås med [farvetemperaturer](#) ned til ca. 2600 K. Effektiviteten for disse udgaver er dog sjældent særlig høj i forhold til effektiviteten for lysdioder med høje farvetemperaturer.

Lysstrøm

[Lysstrømmen](#) fra en LED varierer og afhænger bl.a. af LED-typen. Mens en radial LED har en lysstrøm på maks 10 lumen, kan en SMD-LED kan have en lysstrøm på op til ca. 600 lumen (f.eks. XP-serien fra Cree, 1,5 A, 4000K, 25 °C). Lysstrømmen er imidlertid afhængig af både strømmen og temperaturen i LED-chippen.

Lysstrømmen vil aftage med tiden. Dagens bedste LED'er (2016) vil have mistet ca. 30 % af deres lysstrøm i løbet af 250.000 timer stærkt afhængig af driftsforholdene (f.eks. Samsungs LH351B som har en forventet levetid på 280.000 timer ved 105 °C, 1A).

LED'er vil altid udsende mest lys i kold tilstand, og derfor er lysstrømmen højest lige efter opstart. Efter kort tid vil temperaturen have stabiliseret sig, og lysstrømmen vil være noget lavere. Når temperaturen øges fra f.eks. 25 til 100 °C, er en reduktion af lysstrømmen på ca. 15 % er ikke usædvanlig.

Lysudbytte

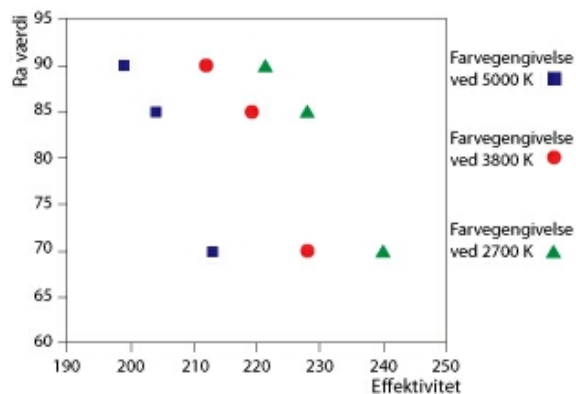
[Energieffektiviteten](#) (lm/W) kan blive meget høj ved små effekter, men her er lysstrømmen dog meget lav. Eksempelvis er der i laboratorier opnået en effektivitet på ca. 300 lm/W ved ca. 10 mA, men lysstrømmen var kun ca. 10 lumen.

Markedets bedste LED til praktiske formål ligger i dag med effektiviteter helt om mod 170 lm/W ved en farvegengivelse på 80, en farvetemperatur på 3.000 K og en [junction-temperatur \$T_j\$](#) på 85 °C. Udviklingen har indtil videre fulgt den såkaldte Haitz' lov, som forudsiger, at effektiviteten øges med en faktor 20 over 10 år, samtidig med at anskaffelsesprisen målt i kr/lm falder med en faktor 10.

I praksis er lysudbyttet fra et komplet LED-armatur eller LED-erstatningslyskilde kun halvt så stort som lysudbyttet fra en LED-komponent målt under ideelle driftsforhold. Det skyldes tab som følge af høj chiptemperatur samt tab i optiske komponenter som linser og afskærmninger. Hertil kommer tab i [driveren](#). En god LED komponent med en farvetemperatur på 3.000K og med en farvegengivelse på 80 kan fås med en effektivitet på ca. 120-140 lm/W. Lysudbyttet fra et armatur med denne type LED vil sjældent overstige 100 lm/W (2016).

Den teoretiske grænse for 100 % effektive LED'er ligger på ca. 350 lm/W ved en farvegengivelse på 80 og en farvetemperatur på 3.300. Ved en farvegengivelse på 100 er den øverste teoretiske grænse ca. 250 lm/W.

Det er også muligt at blande lyset fra flere ensfarvede LED'er og af den vej opnå RGB-lys, som syner hvidt. Denne teknik giver mulighed for endnu højere effektiviteter. Ved blanding af tre rene spektralfarver med bølglængderne 474nm (blå), 540nm (grøn) og 616 nm (rød) kan f.eks. opnås 359 lm/W ved 3.300 K og en Ra-værdi på 30-80, men [spektralfordelingen](#) er ikke videre jævn.



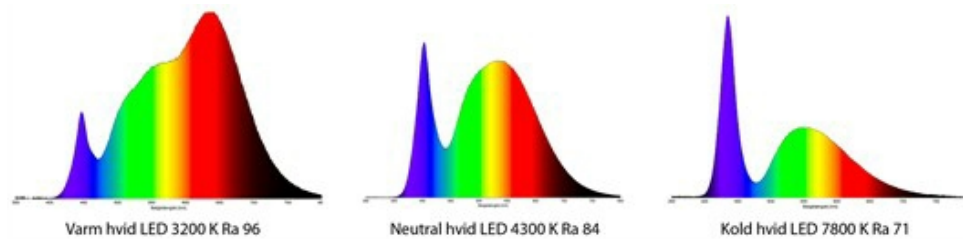
Sammenhæng mellem effektivitet og Ra-værdi for LED'er med forskellig lysfarve.

Spektralfordeling

Alt efter, hvilket type LED der er tale om, kan spektralfordelingen variere. Spektralfordelingen for en hvid LED indeholder alle farverne i [det synlige spektrum](#), men med forskellige intensiteter. LED'ens spektralfordeling er således kontinuert, og derved adskiller LED sig fra andre luminescenslysilder, som kun udsender deres lys i skarpt afgrænsede bølglængdeområder.

De fleste hvide LED'er baserer sig på blå LED'er, der belyser et fosforescerende lag og derved udsender hvidt lys. Det er desuden muligt at frembringe hvidt lys med LED'er af forskellig farve, men de anvendes normalt ikke til almen belysning og vil ikke blive omtalt nærmere.

Det fosforescerende lag i LED'en bestemmer spektralfordelingen og derved også farvetemperaturen, farvegengivelsen og effektiviteten.

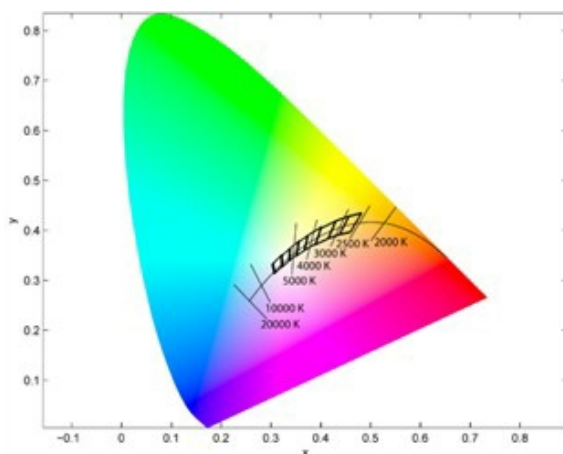


Spektralfordelinger for LED'er med forskellige lysfarve; varm (tv), neutral (m) og kold (th).

Farveegenskaber

En LED's [farveegenskaber](#) er givet af spektralfordelingen. Alle farver er repræsenteret i spektret, men med forskellig vægt. Vægtningen af farver er meget anderledes end ved f.eks. glødepærer. Det ses bl.a. ved den store mængde af blått lys og begrænsede mængde rødt lys. Blå farver vil derfor ofte fremhæves bedre ved brug af hvidtlysende LED'er end af glødepærer, selvom der ikke nødvendigvis er den store forskel i hverken farvetemperatur eller farvegengivelse. Hvidt LED-lys kan tilføre det betragtede emne dybe mættede farver. Det er en fordel ved f.eks. butiksbelysning, men en ulempe i forbindelse med belysning i badeværelser. Farvestabiliteten kan være meget forskellig blandt de forskellige fabrikater af LED'er. I uheldige tilfælde kan der være en synlig forringelse efter få tusinde brændtimer.

Ved anvendelse af LED'er i lange rækker vil selv små forskelle i nuancerne af det hvide lys straks vil springe i øjnene, uanset om de har ens farvetemperatur og farvegengivelse. Løsningen er at angive sortere produktionen i 'bins', som har nogenlunde samme nuance. LED'er kan fås sorteret i bins efter snævre farvetolerancer, hvor farven er præcist målt mht. kromatiske koordinater. Producenter af LED tilbyder ofte LED'er med veldefinerede kromatiske koordinater, som fordeler sig i 'bins' rundt om den ['Black Body Locus'](#) eller 'Planck's locus'. Nogle producenter har sit eget system af bins, og andre kører efter amerikansk standard, de såkaldte ANSI-bins.



CIE-farvetrekant (1931) med indtegnede bins. Figur: DTU Fotonik.

Hvis LED'er anvendes enkeltvis, vil det normalt være tilstrækkeligt at beskrive dem ved deres farvetemperatur og farvegengivelse, men også i dette tilfælde er der kritiske forhold. Farven af

lyset vil ændre sig over tid afhængig af chippens temperatur og strømmen. Desuden er det ikke usædvanligt, at farvetemperaturen ændrer sig afhængig af betragtningsvinklen.

MacAdam ellipser

David L. Macadam helt satte sig i 1930'erne sig for at redegøre for hvor store farveforskelle man egentlig kan skelne. Han gennemførte undersøgelser med et stort antal forsøgspersoner. Han konkluderede dels, at der er en del individuelle forskelle på, hvor små farveforskelle man kan opfatte, og dels at jo varmere spektret er, desto lettere er det at se forskellene. Af samme grund er binningen tættere i den varme ende af Black Body Locus.

For at kompensere for de individuelle sanseforskelle arbejdede MacAdam med sandsynligheder:

- Inden for 1 MacAdam steps (1 SDCM) vil næsten ingen kunne skelne en farveforskel
- 2-4 SDCM kan lige akkurat skelnes af nogle få
- 5-7 SDCM kan skelnes af mange/de fleste.

Disse sandsynligheder kan (ligesom binningstrukturen) plottes i farvespektrumdiagrammet, og bliver nogle uden på hinanden liggende ellipser. Jo mindre en ellipse, de enkelte LED'erne ligger inden for, desto sværere er det at skelne farveforskellene.

Producenterne bliver bedre og bedre til at ramme Black Body Locus, og lige nu (2016) kan de førende LED-leverandører levere næsten hele produktionen inden for 2 MacAdam Steps (2 SDCM). Til udendørs belysning vil 5-7 SDCM i mange til fælde være tilstrækkeligt, da lyskilderne ikke sidder meget tæt, hvor 2-3 SDCM vil være et godt til indendørsbelysning med gentagne rækker af ens armaturer.

For lysrør har konventionen længe før LED været at holde farvetolerancen under 3,5 MacAdams steps. Det betyder, at der kan være synlig farveforskel fra ét rør til det næste.

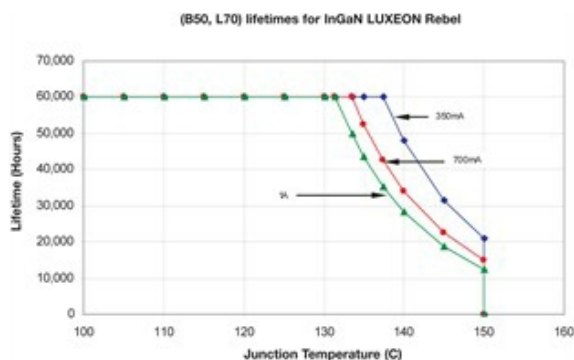
Levetid

Ved optimale driftsforhold har LED'eren en lang [levetid](#). I modsætning til andre lyskilder ophører de sjældent med helt at afgive lys. Derfor angives levetiden for LED'eren som den tid, der går, indtil lysstrømmen er aftaget mærkbart. Grænsen er sættes ofte ved en nedgang i lysstrøm på 30 %, som betegnes L_{70} . Levetider angives altid for en større mængde lyskilder, og når gennemsnittet af disse har nået L_{70} grænsen, siges LED'ens levetid at være nået.

Levetiden giver imidlertid kun mening, hvis LED'ens temperatur og strøm også anføres. Det skyldes, at temperaturen er den afgørende faktor for levetiden. En temperaturstigning på 10 °C halverer levetiden for visse typer af LED'eren. Andre faktorer, der påvirker levetiden er fugt, kemikalier, statisk elektricitet og mekaniske spændinger

Da en fuldstændig test af levetiden ville tage 10-20 år, er det umuligt at teste LED'en i hele dens levetid. I stedet testes LED'erne i ca. 1.000 timer, og derefter fremskrives levetiden efter en standardiseret statistisk metode (LM-80).

LED'ens egenskaber og udbytte testes efter LM79-08. Ældningen testen over 5.000 timer efter LM80-08, mens ældningen fremskrives efter TM-21-11 (alle er standarder fra Illuminating Engineering Society of North America IESNA).



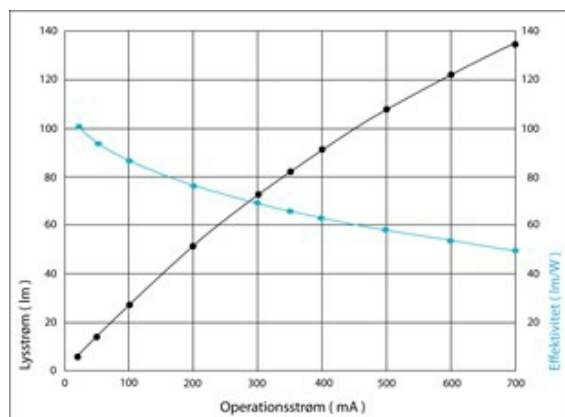
Sammenhæng mellem levetid og 'junction temperature, T_j ' for LED'eren ved forskellig driftstrøm. Junction-temperaturen er LED'ens indre temperatur, som kan være umulig at måle i praksis. Derfor opgives ofte 'casing'-temperaturen T_c , som henviser til et praktisk målepunkt uden på LED'en. Figur: Philips.

EL-TEKNISKE FORHOLD

Den elektriske strøm gennem en LED er proportional med lysstrømmen. Spændingen afhænger af strømmen gennem LED'en og LED'ens temperatur.

En LED begynder først at lede strøm, når den påtrykte spænding overstiger tærskelsspændingen. Tærskelsspændingen afhænger af det materiale, som LED-chippen er opbygget af. Røde LED'er består typisk af AlInGaP og har en noget lavere tærskelsspænding end blå LED'er af InGaN. Det betyder, at spændingen over en rød LED typisk kun er 2,2 V mens den er 3,2 V over en blå LED, selvom strømmen gennem begge LED'er er 350 mA. En højere strøm vil altid forøge spændingen over en LED.

Spændingen er temperaturafhængig og måles normalt ved 25 °C. Ved højere temperaturer falder spændingen med ca. 2 mV/°C. De fleste LED'er til almen belysning forsynes med en konstant strøm, der uundgåeligt vil medføre en temperaturstigning og dermed et fald et [lysudbyttet](#). Disse LED'er er normalt specificeret ved 350 mA. Hvis de forsynes med en højere strøm, øges mængden af udsendt lys (lm). Imidlertid falder effektiviteten (lm/W) samtidig.



Figuren viser lysstrøm og effektivitet som funktion af strømmen gennem LED'en.
Figur: Carsten Dam Hansen.

Flimmer

Flimmer er vigtigt på grund af de mulige konsekvenser for menneskers sundhed, der, som beskrevet i IEEE Standard 1789-2015, kan omfatte træthed i øjnene, hovedpine, tab af koncentration og produktivitet, og for nogle mennesker, kvalme og epileptiske anfald. Også "usynligt" flimmer kan give gener, ligesom flimmer i produktionsmiljø med drejende maskiner kan være decideret farligt. Nogle mennesker er langt mere følsomme end andre.

Generelt er flimmer forårsaget af variationer i den strøm, der driver lyskilden. Glødepærer flimrer med de 50-60 Hz vekselstrøm, der driver dem, og det gjorde også fluorescerende lyskilder før højfrekvensforkoblingernes tid. LED har en utrolig hurtig responstid, og er særligt følsomme over kvaliteten af deres driver. Lysdioder kan dæmpes til ca. 20% ved at reducere den jævnstrøm, der driver dem, men virkelig dyb dæmpning til 0,1% eller endda 1% kræver, at vi modulerer lyset - altså tænder og slukker LED'erne i hurtigt tempo. Den meget almindeligt brugte PWM-dæmpning bygger på dette princip (Pulse-Width-Modulation). Det er altså driverne, som får LED'erne til at flimre - ikke LED'erne selv.

Flimmer kan være synligt eller usynligt, men selv usynligt flimmer kan give gener. Vores øjne har en begrænset responstid kaldet Critical Fusion Frequency. Hvis modulationen er hurtig nok, flyder lysimpulserne sammen i et enkelt, gennemsnitligt niveau. Denne CFF-frekvens er tærsklen, hvor flimmer ikke kan ses.

Men der er formentlig mange faktorer, som er relevante for vores opfattelse af flimmer:

- Frekvens - hvor hurtigt lyset ændrer
- Amplitude eller modulationsdybde - forskellen mellem maksimalt og minimalt lysniveau
- Gennemsnitligt intensitetsniveau og navnlig "duty cycle" eller gennemsnitlig "oppetid"
- Bølgelængde eller lysets spektrum
- Vinkel i forhold til øjet - hvilken del af nethinden, som modtager lyset
- Adaptationsniveau, hvilket påvirker både følsomhed og tidsopløsning i øjet
- Fysiologiske faktorer som alder, træthed og genetisk betinget følsomhed

IEEE Standard 1789-2015 beskriver flimmers indflydelse på helbredet, og hvordan vi undgår gener. Ifølge denne standard kan vi ofte simplificere til bare to parametre - frekvens og modulationsdybde - som det fremgår af grafen. Her taget dog ikke hensyn til individuelle faktorer. Således indeholder mange datablade værdier for frekvens, "flicker percent" og "flicker index" - de to sidste nævnte beskriver generelt bølgeform og modulation.

Det rigtige ord er formentlig slet ikke flimmer længere. I forskerkredse bruges nu den ikke videre mundrette samlebetegnelse 'temporal light artefacts', som dækker over tre begreber:

- Flicker (meget synligt som fra en blinkede cykelygte),
- stroboskopeffekter (som ses, hvis man f.eks. vifter en pen hurtigt i lyset), og endelig
- 'Phantom array' effekter (som opleves med hurtige, sideværts øjenbevægelser). Navnlig sidstnævnte kan være rigtig svært at se, kræver høj kontrast og er ikke særlig relevant i praktisk belysning.

Alle tre fænomener opleves forskelligt fra person til person. Det betyder også, at hvis man skal måle fænomenerne, så bliver metrikkerne sandsynligheder - altså hvor stor er sandsynligheden for, at man f.eks. kan opleve stroboskopeffekter i en bestemt situation. I CIE-sammenhæng er der nu vedtagne metrikker (P_{st} beskrevet i IEC TR 61547-1:2015 for flicker og SVM for stroboskopeffekter), som passer meget bedre med menneskelig perception end de gamle metrikker (frekvens, "flicker index" og "flicker percent"), men nu mangler der så grænseværdier til brug for praktisk lysdesign.

Alle er enige om at flimmer er noget skidt, men der mangler forskning inden for, hvor store værdierne af P_{st} og SVM, som kan tillades i praksis. For begge metrikker gælder, at ved værdien 1, så kan 50% af os lige nøjagtig skelne effekten, eller i gennemsnit gætte/sanse forkert hver anden gang. Med tiden kan de nye metrikker indbygges i applikationsstandarder som DS/EN 12464-1, som kan specificere praktiske maksimumværdier. Fremtidige krav kan f.eks. blive noget i retning af:

- Short-term flicker metric for visible flicker $P_{stLM} \leq 1.0$
- Stroboscopic Visibility Measure SVM < 0.4

I mellemtiden kan f.eks. henholde sig til anbefalingerne fra PremiumLightPro:

Krav jf. IEEE 1789: 2015, f er flimmerfrekvens, FM er Flimmermodulationsdybden beregnet efter $(\Phi_{max} - \Phi_{min}) / (\Phi_{max} + \Phi_{min})$

$f \leq 90$ Hz	Maksimum FM $\leq (0,025-f)$
90 Hz $\leq f \leq 1250$ Hz	Maksimum FM $\leq (0,08-f)$
$f > 1250$ Hz	Ingen FM krav

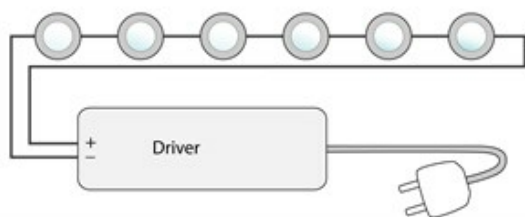
Derfor:

- Insister på at se armaturerne i drift, før du godkender det. Se den også i alle relevante dæmpningstilstande.
- Køb en håndholdt flimmermåler af god kvalitet og lær at bruge den.
- Bliv fortrolig med flimmermetrikkerne, og tilskynd producenterne til at offentliggøre disse tal på databladene
- Spørg dine kunder om, hvor følsomme de er over for flimmer

DRIVERE

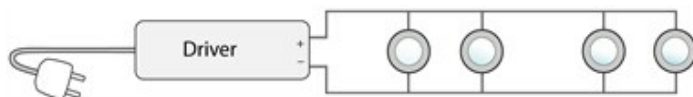
En LED kræver forkobling med en såkaldt driver, der forsyner LED'en med en strøm af passende størrelse.

Den elektriske forsyning til en LED varetages af en driver (udtales på engelsk), der opretholder den korrekte strøm til LED'en (ca. 350-700 mA for effekt-LED'er og ca. 20 mA for radial-LED'er).



En enkelt driver kan forsyne adskillige LED'er med strøm. Da strømstyrken helst skal holdes konstant gennem alle LED'er, kræver det, at LED'erne er serieforbundne.

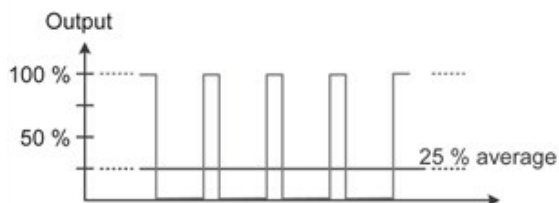
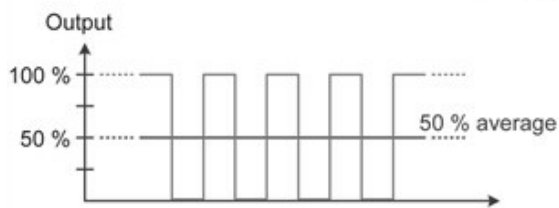
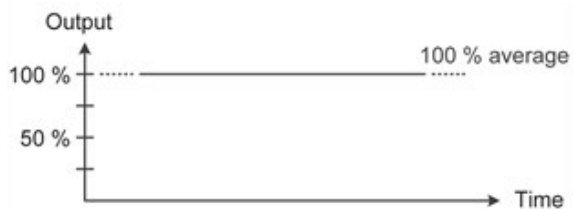
Jo flere LED'er, der er serieforbundet, jo højere bliver spændingsfaldet over serien. Af sikkerhedsmæssige hensyn begrænses denne spændings effektivværdi til 25 V som beskrevet i standarden IEC 61347-2-13 og i lavvoltsdirektivet. Driverne, der opfylder disse bestemmelser, er mærket SELV (safe extra low voltage). Dermed begrænses også antallet af LED'er i disse systemer. Hvis strømmen afbrydes i blot en af de serieforbundne LED'er, forsvinder strømmen til samtlige LED'er.



Der findes LED-moduler med fabriksmonterede drivere. Disse forsynes typisk af 10 V, 12 V, 24 V, 48 V eller 230 V. Sådanne LED'er kan parallelforbindes i meget store systemer, men ulempen er bl.a., at en del af den elektriske effekt tabes i driverne. En strømafbrydelse i en af de parallelforbundne LED'er vil ikke påvirke driften af de øvrige LED'er i systemet.

Dæmpning

[Dæmpning](#) af lyset fra en LED kan ske ved at sænke strømmen. Derved ændres [farvetemperaturen](#) af det udsendte lys imidlertid også. En smartere måde at dæmpe lyset på er ved at slukke for strømmen i så korte tidsrum, at øjet ikke når at registrere det. Denne metode kaldes puls bredde modulation, men omtales ofte under det engelske navn PWM - pulse width modulation. For at undgå, at lyset flimrer, bør PWM-frekvens dog være høj, og mindst 200 Hz. Flimrer kan være skadeligt selv hvis det ikke er synligt, da det kan give anledning til træthed, hovedpine og endda epileptiske anfald.



En smart måde at dæmpe lyset fra en LED på er at slukke for strømmen i så korte tidsrum, at øjet ikke vil registrere det. Figur: Osram.

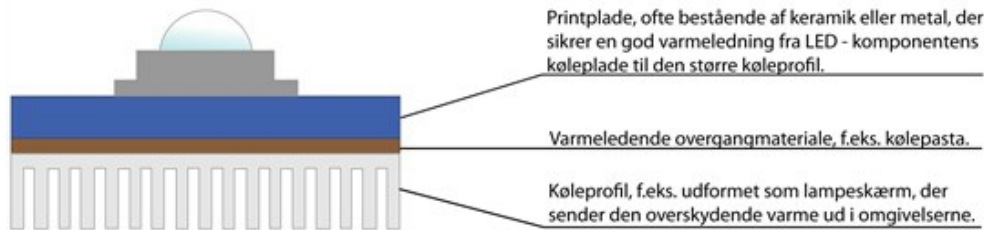
Driveren er således LED-systemets strømforsyning, men kan ofte en del andre ting, såsom dæmpning, måske håndtere farveskift og feedback til kontrolsystemer. Driveren er et vitalt stykke elektronik, der ligesom LED'erne er varmefølsom og slides. Ofte er driverens levetid kortere end både armaturets og selve LED's levetid. Driverens levetid kan forlænges ved for eksempel at være særlig fugttæt eller være forsynet med beskyttelse mod overspænding eller høje temperaturer.

TERMISKE FORHOLD

Temperaturen er afgørende for flere af LED'ens egenskaber og påvirker både levetid, lysudsendelse og farvetemperatur.

En del af den tilførte elektriske effekt omsættes til lys, mens resten omsættes til varme. Jo mere effektiv LED'en er, desto mere effekt omsættes til lys. Ved en [effektivitet](#) på 110 lm/W omsættes kun ca. 30 % af den elektriske effekt til lys fra en hvidtlysende LED, og ca. 70% af den tilførte energi bliver altså til varme. Det præcise andel af effekten, som omsættes til lys, afhænger af [spektret](#) af det udsendte lys.

Bortledning af varme fra chippen begrænses af de elementer, der sidder mellem chippen og den frie luft. Disse elementer sidder dels internt i LED'en, men består også af LED'ens montageunderlag samt selve kølepladen. Systemets termiske egenskaber kan opfattes som en sammensætning af elementernes termiske modstande. Temperaturen af chippen kan hermed beregnes under forudsætning af kendskab til den omgivende lufts temperatur og andelen af den elektriske effekt, der omdannes til varme.



Den varme, der udvikles i en LED skal ledes væk. Det sker bl.a. via en køleprofil.

Junction-temperaturen

En LED's temperatur måles på LED-chippen og benævnes junction-temperaturen, T_j . Varmen påvirker bl.a. levetiden, lysets farvetemperatur og lysstrømmen. De forskellige dele af en LED har forskellige termiske egenskaber og udvider sig derfor med forskellige hastigheder ved forhøjet temperatur. Det skaber mekaniske spændinger i LED'en, som kan være ødelæggende og reducere LED'ens levetid. Varigt lystab kan også opstå som følge af beskadigelse af chippens krystalstruktur.

Varmen fra en LED afsættes i det underlag, den er monteret på. I modsætning til andre lyskilder afsættes en LED's varme hverken ved konvektion (luftstrømning) eller ved varmestråling. Varmen i en LED udvikles derimod lynhurtigt fra et område på få mm^2 . Uden køling vil temperaturen nå $100\text{ }^\circ\text{C}$ i løbet af få tusindedele af et sekund og straks brænde LED'en af.

Casing-temperaturen

Junction-temperaturen, som er LED'ens indre temperatur, kan være umulig at måle i praksis. Derfor opgives ofte 'casing'-temperaturen T_c som henviser til et praktisk målepunkt uden på LED'en. T_c er lavere end T_j , da varmen forplanter sig til hele casing'en, men producenterne kan entydigt omregne det ene til det andet.

TYPISKE ANVENDELSER

Anvendelserne af LED til belysningsformål er utallige. Det skyldes bl.a. LED'ens små dimensioner, lille lyspunkt og fraværet af ultraviolet lys.

LED har mange fordele: Lang levetid, høj effektivitet, dæmpbarhed, små dimensioner, mættede farver, lille lyspunkt og dermed mulighed for præcist at forme lysudsendelsen, mekanisk robusthed, bestandighed over for kulde, kontrol over farver, ingen miljøfarlige bestanddele, ingen strålingsvarme eller UV udsendelse, lavspændingsdrift og lynhurtigt respons.

Ulemper findes imidlertid også og tæller bl.a. begrænset [lysstrøm](#), blænding fordi lyset udsendes fra et punkt, følsomhed overfor varme, fugt og statisk elektricitet samt indimellem ringe [farvegengivelse](#).

I de fleste sammenhænge lægges der af gode grunde særlig vægt på effektivitet (lumen/Watt), [lysstrøm](#) (lumen) eller [lysstyrke](#) (cd) og [farvegengivelse](#). Disse egenskaber skal vurderes i forhold til prisen, som stadig (april 2016) er lidt forhøjet i forhold til konventionelle lyskilder, selv når man tager højde for LED'ernes meget lange levetid.

Udbredelse af belysning med LED i hjemmene hindres stadig bl.a. af manglende standardisering på området, der af brugerne opleves som stærkt svingende kvaliteter og priser. Eksisterende armaturer til halogen- og glødepærer kan i mange tilfælde med fordel benytte LED-erstatningslyskilder. De største besparelser opnås dog med armaturer udviklet specifikt til LED.



Stibelysning med LED.
Foto: Silla Herbst.



Armaturet Mellow er tegnet af Jesper Sand og udviklet specifikt til LED.

LED'er finder anvendelse inden for adskillige områder. De største områder er vejbelysning, arkitektonisk belysning, skiltebelysning og butiksbelysning. Den største vækst finder sted på områder som indendørs almenbelysning, butiksbelysning og udendørs belysning.

Vejbelysning

Farveegenskaberne er knapt så kritiske udendørs som indendørs. Udskiftningsomkostningerne for lyskilder i vejbelyningsarmaturer er høje, da der skal anvendes kranbil. Vejbelysning brænder time efter time, nat efter nat, og der er stærkt behov for energieffektivitet. Derfor er investeringslysten vedrørende LED-armaturer stor, og fremskyndet af udfasning af [kviksløvladningslamperne](#).

Skiltebelysning

Et eksempel på skiltebelysning med LED er belysning med koronaeffekt, dvs. uigennemsigtige silhuetter af bogstaver, der belyses bagfra, således at der kommer en lysende kant omkring mørke bogstaver. LED'er er særligt velegnede til skiltebelysning pga. deres minimale dimensioner og vejrbestandighed, men også de reducerede driftsomkostninger, den væsentlige lettere installation samt muligheden for helt nyt skilte-design.

Effektbelysning

LED er velegnet til stemningsskabende og dekorativ belysning, herunder belysning af facader, monumenter, springvand og stier. Derudover egner LED-belysning sig særdeles godt til belysning med farveskift og til effektbelysning, f.eks. i hoteller og cafeer i form af spot- og indirekte belysning. Det vil typisk være vejrbestandige LED komponenter, der anvendes hertil. De

dybe farver fra en LED samt mulighed for styring af lysstyrke er nøgleegenskaber i denne sammenhæng.

Indendørs almenbelysning

Indendørs almen belysning omfatter indbygningsspot og downlights, nedhængte armaturer, arbejdslamper, dekorativ belysning og lys under køkkenskabe. Ved almen belysning er det effektiviteten samt den lange levetid, som udmærker LED'er.



Panum Institutet har erstattet de eksisterende downlights med 86 stk. energieffektive downlights. De eksisterende downlights var bestykket med 60 W glødeparer. De nye armaturer bruger kun 12 W og kan dæmpes.

Erstatningslys kilder

I mange lysinstallationer kan energiforbruget nedbringes ved udskiftning af eksisterende halogenlys kilder til LED-lys kilder. Det er i den forbindelse vigtigt at sikre sig, at hverken belysningsniveau, udstrålingsvinkel, blændingsforhold eller farvegengivelse forringes.



Osrams Parathom MR 16 er en typisk LED-erstatningslys kilde.

UDVIKLING OG HISTORIE

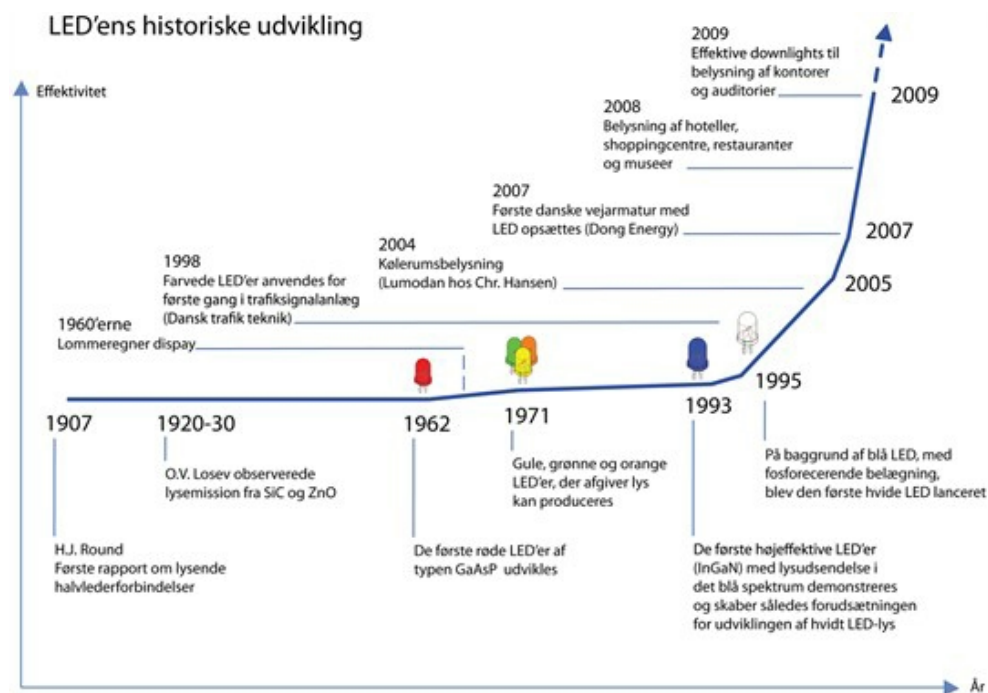
Udviklingen af LED til belysning sker med stormskidt, som overgår alt hvad der tidligere er set.

Den første beskrivelse af en elektroluminescent lyskilde stammer fra 1907, hvor H. J. Round fra Marconi Labs i England beskrev, hvordan han havde fået karborundum (SiC) til at lyse. Han kendte dog ikke mekanismen bag og gættede på, at den måtte være af termoelektrisk art. H. J. Round undersøgte ikke sagen nærmere, fordi han var i gang med udvikling af udstyr til skibsnavigation. Opdagelsen blev ikke tillagt nogen særlig betydning og hurtig glemt.

Tyve år senere fremkom en ny og grundig undersøgelse af effekten, denne gang fra russeren Oleg Vladimirovich Losev, som publicerede den i 1927 i det russiske tidsskrift *Wireless Telegraphy and Telephony*. Han var en produktiv forsker og havde adskillige patenter og videnskabelige artikler bag sig, da han som 39 årig døde under belejringen af Stalingrad 1942. Ingen fulgte op på hans opdagelser.

Ti år efter (1952) blev nutidens III-V LED-halvleder materiale opdaget af Heinrich Welker fra Siemens Forskningslaboratorier i Erlangen. På samme tidspunkt påbegyndte amerikaneren Nick Holonyak sit PhD-studium i halvlederfysik på University of Illinois. Transistoren var opfundet få år forinden af bl.a. nobelprismodtageren John Bardeen, som stillede sit laboratorium til rådighed for Holonyak. Det var dog først efter yderligere 10 år (1962), at det lykkedes Holonyak fra General Electric at frembringe en LED af III-V materialer, der lyste synligt rødt ved stuetemperatur.

Den kraftigt blå lysende LED blev opfundet af de tre forskere Isamu Akasaki, Hiroshi Amano og Shuji Nakamura fra firmaet Nichia i Japan i 1992 under lignende omstændigheder, som den rødt lysende LED blev frembragt under. Denne teknologi har muliggjort fremkomsten af de hvidt lysende LED'er, som nu kan fås overalt. De tre forskere fik i 2014 nobelprisen i fysik for deres opdagelse.



LED-udviklingen

OLED

Lysende plastik i form af OLED kan med tiden fremstilles som store lysende flader og helt nye typer belysningsarmaturer

Organiske lysdioder (OLED) består kort fortalt af en speciel type plastmateriale, som lyser, når det udsættes for en elektrisk strøm. Da plastteknologi generelt er meget simpel, åbner det mulighed for meget billig fremstilling. Tynde plastlag giver desuden stor fleksibilitet, idet OLED både kan bøjes og rulles, ligesom plasten kan fremstilles i store arealer.

Fordelene ved OLED er mange. [Farven af det udsendte lys](#) kan ændres blot ved ændring af den kemiske sammensætning af plasten og [effektiviteten](#) menes at kunne nå op på over 200 lm/W. Det er dobbelt så højt som effektiviteten fra de bedste lysstofrør.

En teknologi under udvikling

Teknikken bag OLED er endnu ikke færdigudviklet, men hjælpes godt på vej af meget store forskningsprogrammer fra både statslige organisationer og elektronikindustrien. En af udfordringerne er, at plastlaget i OLED kun må være ca. 1/10.000 mm tykt. De elektriske kontakter, som tilfører strømmen, skal være endnu tyndere.

Organisk baseret

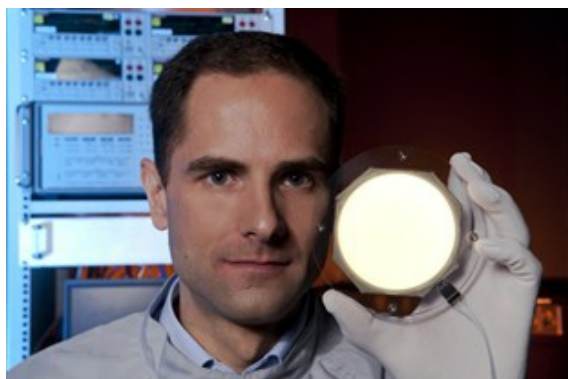
OLED adskiller sig fra andre LED'er ved at være baseret på organiske, elektrisk ledende molekyler i stedet for krystallinske materialer. Desuden udsendes lyset fra en flade og ikke et punkt som ved andre LED'er. Dette mindsker blændingen og letter kølingen af enheden. OLED'en kan gøres transparent, hvilket åbner mulighed for f.eks. fremstilling af et vindue, som om dagen lukker lys ind og om aftenen selv er lysende. OLED er følsom overfor fugt og ilt, hvad der stiller store krav til indkapslingen. Der er endnu (pr. april 2016) ganske få kommercielle OLED på markedet, og de kendetegnes ved en tykkelse under 2 mm, en lav effektivitet (ca. 70-90 lm/W for de bedste kommercialiserede produkter), en [farvegenivelse](#) på op til 90, relativt kort levetid (under 40.000 timer) og høj pris. De største paneler er 320x320 mm.



Skrivebordslampe designet af Philippe Stark for FLOS med OLED fra det franske firma Blackbody. Foto: Michael Raunkjær .



O-Leaf fra Philips er udviklet til OLED. Foto: Philips.



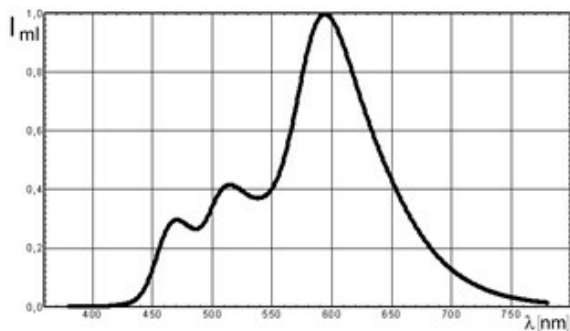
OLED Orbeos fra Osram. Diameteren af den lysende flade er 79 mm, tykkelsen er 2,1 mm og vægten 24 g. Foto: Osram.

Typer

Der er for tiden to typer af OLED: polymer OLED (P-OLED) og small molecule OLED (SM-OLED). SM-OLED udsender lyset fra små afgrænsede molekyler mens P-OLED udsender lyset fra lange forgrenede kæder af molekyler.

Lystekniske data

Den [spektrale effektfordeling](#) for OLED minder om effektfordelingen for en LED, men er karakteriseret ved en sparsom repræsentation af blåt lys.



Eksempel på spektral effektfordeling for lys fra OLED; Osrams Orbeos CDW-031, november 2009. Fraværet af store mængder blå lys i spektret er karakteristisk for OLED.

Opbygning

Både fremstillingsmetoden og opbygningen af de to typer OLED er meget forskellige.

SM-OLED er opbygget på et stykke glas belagt med ITO (Indium-Tin-Oxid), som er transparent metal, der leder strøm og lader lys passere. Herover ligger tynde lag af plast, som er pålagt med en teknik kaldet spin-coating, hvor der dryppes flydende plast på et roterende underlag. Plastlagets tykkelse afhænger af rotationshastigheden. En høj hastighed giver en tynd film af plast. Næste trin er pådampning af metal, der sammen med ITO materialet kan lede strømmen ind i plasten. Pådampningen foregår i et vakuumkammer, der indeholder metaldampe fra stærkt opvarmede metaller, som sætter sig på plastmaterialet. De mest velegnede metaller er fra hovedgruppe I og II i det periodiske system, fordi de er meget villige til at afgive elektroner til den polymere plast. Metallerne kan være lithium, magnesium og calcium. Disse metaller har desværre den negative egenskab, at de kan bryde i brand, hvis de udsættes for ilt og vand. Derfor indkapsles de i endnu et metallag bestående af aluminium eller kobber.

Fremstillingsmetoden af P-OLED kan i princippet finde sted ved at sprøjte eller trykke tynde lag af polymere materialer over hinanden, og i modsætning til fremstillingsmetoden for SM-OLED er der ikke behov for, at dette foregår i vakuum.

Virkemåde

Virkemåden er nogenlunde ens for de to OLED-typer. Molekylerne udsættes for en elektrisk spænding, og strømmen bæres af elektroner og huller. Elektronerne bevæger sig i den del af molekylernes energiniveau, som benævnes LUMO (lowest unoccupied molecular orbital) mens hullerne bevæger sig i det energiniveau, der benævnes HOMO (highest occupied molecular orbital).

En elektron og et hul er i stand til at indgå i en enkelt energirig tilstand kaldet en singlet exciton. Det er neutrale tilstande i molekylerne, som udsender deres energi i form af lys. Elektroner og huller danner også triplet excitoner, som ikke umiddelbart resulterer i udsendelse af lys.

Det er materialetypen i OLED'en, som bestemmer andelen af singlet excitoner i forhold til triplet excitoner samt bølgelængden af det udsendte lys. Hvidt lysende OLED'er benytter tre forskellige materialer, som udsender blå, grønt og rødt lys. Farveblandingen giver hvidt lys.

Historie

Den første observation af lysudsendelse fra organiske SM-materialer fandt sted i 1979 i Kodaks forskningslaboratorier. Forskeren Chin Tang faldt over denne opdagelse under sit arbejde med solceller. En egentlig SM-OLED blev først fremvist i 1987 og var et resultat af et samarbejde mellem Tang og Van Slyke. Lysudsendelse i polymere materialer blev observeret i 1990 af forskere fra firmaet Cambridge Display Technology.

INTRODUKTION

Både gløde- og halogenlyskilder tilhører gruppen af temperaturstrålere. Det betyder, at de to lyskildetyper har gode farveegenskaber, men desværre ikke er særligt effektive.

I gruppen af [temperaturstrålere](#) er glødelampen stadig den mest kendte. Glødelampen har eksisteret siden slutningen af 1800-tallet og er ikke ændret meget siden. Halogenglødelampen er en videreudvikling af glødelampen og findes i flere forskellige udgaver.

Med udfasning af glødelampen (2009-2016) er senest fremkommet nye typer halogenglødelamper til erstatning af glødelampen i armaturer med skruesokkel.

Halogenglødelamper findes i både lavvolt- og 230 V udgaver.



Typiske gløde- og halogenglødelamper.

VIRKEMÅDE

Lyset i en temperaturstråler frembringes ved at opvarme en glødetråd, som derved udsender lys. Strålingen er størst i det infrarøde område og består derfor primært af varmestråling. Spektret er kontinuert, dvs. jævnt uden pludselige spring.

Princippet i en [temperaturstråler](#) er forholdsvis simpelt. En elektrisk strøm sendes gennem en tynd glødetråd bestående af wolfram, hvorved tråden opvarmes og begynder at udsende lys.

Mens kolben i den traditionelle glødelampe enten er lufttom eller fyldt med en inaktiv gas, er glødetråden i en halogenglødelampe omsluttet af en gas tilsat halogen, heraf navnet.

Fra den opvarmede tråd, der har en driftstemperatur mellem 2.300 °C og 3.300 °C, fordampes wolframmet. Når de fordampede wolframatomer i halogenglødelampens kolbe passerer en temperaturgrænse omkring 1.700 °C, sker en kemisk reaktion med det tilstedeværende halogen. Forudsat at temperaturen på lyskildens glasvæg ikke kommer under 260 °C, forbliver den opståede wolframhalogenforbindelse herefter i gasform (i modsat fald sværtes kolben). Denne kemiske reaktion går begge veje. Gassen cirkulerer i kolben, og ved passage af temperaturgrænsen (nær glødetråden) brydes forbindelsen til dens grundbestanddele, dvs. wolfram, der afsættes på glødetråden, og halogenet, der herefter igen er klar til at indgå i processen. Det gendannede wolfram placerer sig ikke nødvendigvis netop på det sted på glødetråden, hvorfra det oprindeligt fordampede. Resultatet heraf er en begrænset levetid for lyskilden.

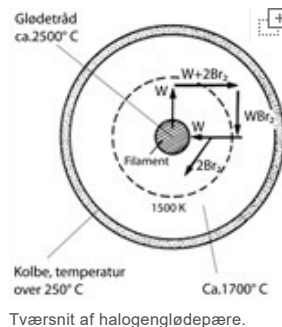
Gendannelsen af wolfram på glødetråden forhindrer, at wolfram sætter sig på kolbens inderside. Derved bliver [lysstrømsnedgangen](#) i løbet af levetiden meget lav (omkring 5 %).

Halogenglødelampens lille kolbe har gjort det økonomisk muligt at tilsætte mere "ædle" inaktive gasser end argon for at begrænse fordampningen af wolfram. Man anvender f.eks. krypton og opnår derved en højere temperatur på glødetråden, hvilket igen giver et højere [lysudbytte](#) og længere levetid, end vi kender fra glødelampen.

Hvis en halogenlampe dæmpes så meget, at halogenprocessen ikke kan forløbe, vil lampen opføre sig som en sædvanlig glødelampe. Kolben vil i dette tilfælde blive sværtet. Sværtningen kan imidlertid let fjernes ved at undlade at dæmpe forsyningsspændingen i en kort periode.

Halogenkolben kan være belagt med et transparent og varmereflekterende lag, der reflekterer varmestrålingen tilbage på filamentet. Derved kræves mindre energi til opvarmning af glødetråden og man opnår en energibesparelse på 20-30 %. Den engelske betegnelse for dette er IRC (infrared coating), hvilket typisk anvendes i lavvolt halogenglødelamper. Det er mere vanskeligt at bruge IRC-teknologi til 230V halogenglødelamper pga. den meget tyndere glødetråd, der ikke så let rammes af den reflekterede varmestråling.

Energiforbruget i halogenglødelamper kan desuden reduceres med 20-30 % ved brug af xenon-gas i stedet for argon. Årsagen er, at xenon i mindre grad leder varmen væk fra filamentet. Xenon gas nedsætter også fordampningen af filamentet, hvorved levetiden forlænges. Xenon anvendes sædvanligvis i halogenglødelamper beregnet til 230V-forsyning. Lysudbyttet følger [Plancks strålingslov](#). Jo højere temperatur af glødetråden, jo større del af strålingen udsendes i det synlige område. Levetiden begrænses ved øget temperatur af glødetråden, hvilket sætter en begrænsning for glødetrådets temperatur. En tyk glødetråd (som f.eks. i lavvolts halogenlamper) kan holde til højere temperaturer end en tynd glødetråd (som f.eks. i 230V lyskilder).



TYPER

Gløde- og halogenglødelamper findes i et stort antal varianter.

På grund af EU's udfasning af glødepæren findes i dag kun klare pærer på markedet.

I det følgende beskrives de forskellige varianter i forhold til

- kolbefaçon
- sokkeltype
- specifik teknologi

Gennemgangen omfatter primært halogenglødepærer.

Facon

En halogenglødelampe genkendes ofte på glaskolbens façon. På billederne nedenfor er vist et udsnit af de mest gængse façoner på halogenglødelamper. Betegnelsen MR16 står f.eks. for Multifaceted Reflector med en diameter på 16/8 tomme, dvs. 2 tommer eller 51 mm.

Andre gængse typer er A (arbitrary - pæreformet), B (bulged - kerte), C (cone - kegleformet), G (globular - globeformet), M (mushroom - svampeformet), P (kuglerund), S (spherical - sfærisk afrunding), T (tubular - rørformet), PAR (Parabolic Aluminized Reflector - presglas).

Der findes flere systemer til karakterisering af lyskilder. De to systemer, der anvendes i Europa, er ILCOS og LBS.

ILCOS (International Lamp Coding System, IEC 61231) er det eneste internationalt anerkendte system til karakterisering af lyskilder. Det blev udgivet i 1993 af IEC lamp technical committee. De fleste lampeproducenter verden over har tilsluttet sig dette system. I ILCOS systemet får en reflektorhalogenlampe med en diameter på 51mm betegnelsen HRGS51, hvor H står for halogen, R for reflektor, G for general purpose, dvs. bredt anvendelig, og S for shielded i form af ekstrabeskyttelse med glaskappe.

LBS (Lampenbezeichnungssystem) er et kodningssystem bestående af simple koder og korte beskrivelser. Det har vundet stor udbredelse i Europa, men indgår ikke i internationale standarder. Det er udviklet i 1994 af den tyske organisation ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie). I ZVEI systemet vil en reflektorhalogenlampe med diameteren 51 mm have betegnelsen QR-CB51, hvor QR står for quartz reflector og CB for cool beam.



Halogenglødelampe med E14 sokkel og indbygget transformer.

<p>Klassisk, kerte og krone</p>	<p>MR16</p>
<p>PAR30, PAR16</p>	<p>Stifthalogen</p>
<p>Halogenlyskaster</p>	<p>Reflektorhalogen 111</p>

De mest almindelige typer halogenlyskilder.

Sokkel

Den mest velkendte sokkel til glødelamper er skruesoklen, også kaldet Edison-gevind. Denne sokkeltype har været uændret siden 1879. I dag er der fremkommet adskillige andre sokkeltyper til både gløde- og halogenglødelamper. I figuren er vist et udvalg af sokler til gløde- og

halogenglødelamper, herunder sokler til både lavvoltage og 230 V halogenglødelamper.

Efter den internationale standard IEC60061 har de forskellige sokler en individuel kode opbygget af 6 elementer (A, B, C, D, E, F). Notationen er som følger:

ABC-D/ExF

Det første element (A) definerer typen af sokkel. Her skelnes mellem E for Edison (skruegevind), G for glassokkel (stifthalogen), B for bajonet, R for forsænket (recessed) sokkel, F for enkeltstift-type, P for præfokus (præcis placering af glødetråd i forhold til en kant), K for kabel, T for telefontype, W for kant type (wedge) og S for hylstertype (shell). Hvis et enkelt bogstav ikke rækker til en fyldestgørende beskrivelse, kan bogstaverne X, Y, Z og U kombineres med de øvrige bogstaver. F.eks. adskiller soklerne G 6,35 og GY 6,35 sig fra hinanden ved at have forskellige diametre af stifterne. Bogstaverne X, Y, Z og U angiver en ekstra uspecificeret egenskab ved en sokkeltype.

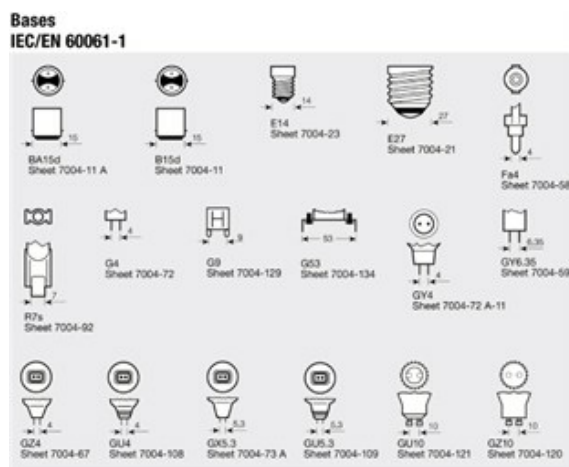
Det andet element (B) angiver soklens dimension målt i mm. G-type sokler er angivet ved afstanden mellem stifterne, E-type sokler er angivet ved sokkeldiameteren, P-type sokler er angivet ved størrelsen af justeringsringen, K-type sokler er angivet ved diameteren af kablet og R-type sokler er angivet ved diameteren af den keramiske ring (f.eks. R7s).

Det tredje element (C) angiver antallet af kontakter med et lille bogstav; s for single (1 stk), d for double (2 stk), t for trippel (3 stk), q for quadruple (4 stk) og p for penta (5 stk). F.eks. angiver R7s en sokkeltype med en enkelt kontakt.

Det fjerde element (D) er adskilt fra den øvrige sokkelbetegnelse med en bindestreg. Dette element angiver yderligere egenskaber for soklen, som kan være nødvendige at angive for at undgå misforståelse. F.eks. betyder PG22-6,35, at denne sokkel er en præfokus type med stifter. Justeringsringen er 22 mm i diameter, og afstanden mellem stifterne er 6,35 mm.

Femte og sjette element (E og F) er adskilt fra den øvrige sokkelbetegnelse med en skråstreg. Disse angiver yderligere geometriske egenskaber som f.eks. en længde, højde eller diameter på soklen.

Halogenglødelamperne fås med mange forskellige sokkeltyper. De kan i første omgang opdeles i 1- og 2-soklede typer. Den 1-soklede type har enten bajonet-, gevind- eller stiftsokkel, mens den 2-soklede har såkaldte kontaktstifter eller forsænkede kontakter, én i hver ende af lyskilden.



Gløde- og halogenlyskilder, typiske sokler.

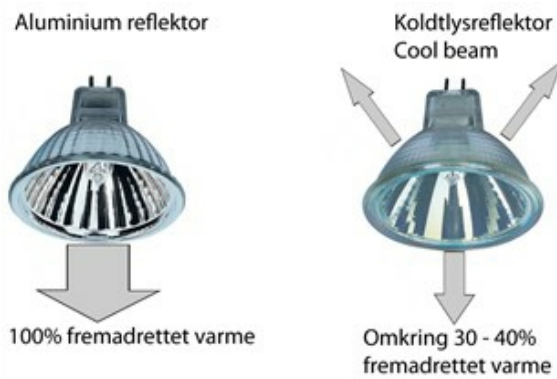
Specifik teknologi

Halogenglødelamper fås dels i flere lavvoltage-udgaver (6, 12 og 24 V), som kræver forkobling med transformere, og i forskellige 230 V udgaver, som kan tilsluttes direkte til el-nettet. Installationer med 230 V halogenlyskilder er vokset kraftigt på bekostning af 12 V halogenlyskilderne. Fordelen ved 230 V halogenlyskilder er den simple installation, men ulempen er dels en halvering af [effektiviteten](#) (lm/W), dels en halvering af [levetiden](#).

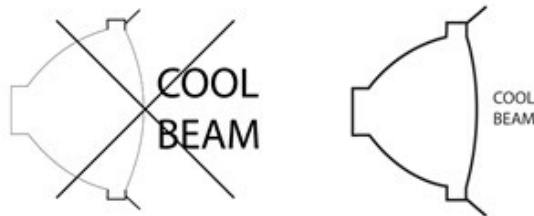
Der findes enkelte produkter på markedet, hvor der er indbygget en 12 V transformator i en sokkel, som forsynes af 230V. Effektiviteten og levetiden af disse lyskilder er på højde med 12 V halogenlyskilder samtidig med, at de er lige så lette at montere som en almindelig 230 V lampe med fatning til skruesokkel.

I reflektorlyskilderne benyttes forskellige specifikke reflektorteknologier. Reflektoren omkring lyskilden kan være fremstillet som en aluminiumsreflektor eller en såkaldt koldtlysreflektor. Aluminiumsreflektoren kaster varme og lys væk fra armaturet, dvs. fremad. Varmen afsættes i de

belyste emner og i begrænset omfang i armaturet. Denne fordeling af varmen er en fordel i forbindelse med brug af indbygningsspot, hvor der ofte kun er ringe mulighed for køling af armaturet. En koldlysreflektor (cool beam/dikroisk reflektor) reflekterer lyset og 30-40 % af varmen fremad, mens den resterende varmestråling sendes bagud gennem reflektoren. Derved opvarmes armaturet, og lyskilder med koldlysreflektor skal derfor anvendes med varsomhed. Armaturet og omgivelserne er afgørende for, hvilke typer reflektorhalogener der bør benyttes.



Halogenreflektorlyskilder findes i to udgaver; med alureflektor og såkaldt cool beam reflektor.



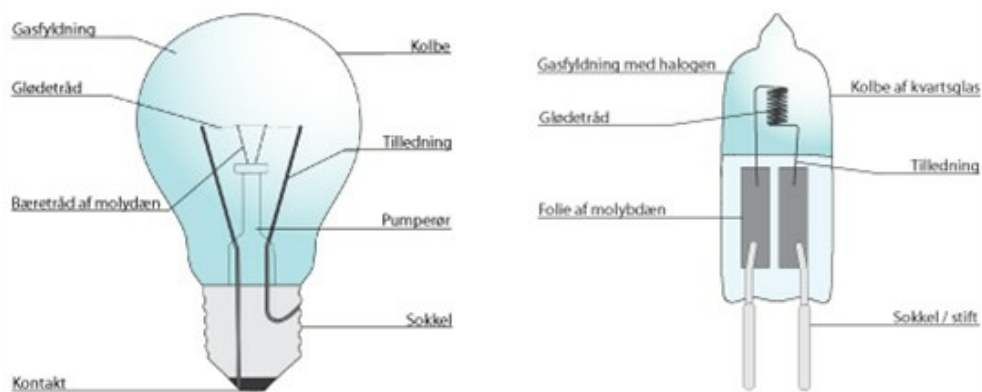
Armaturesymboler for anvendelse af halogenreflektorlyskilder med hhv. alureflektor og cool beam reflektor.

OPBYGNING

Opbygningen af gløde- og halogenglødelamper er relativt simpel og består primært af en glødetråd omsluttet af en glaskolbe.

En glødelampe består grundlæggende af en glødetråd, som er monteret i en beskyttende glaskolbe, hvorpå en sokkel er fastgjort. Glaskolben er enten lufttom eller fyldt med en inaktiv gas.

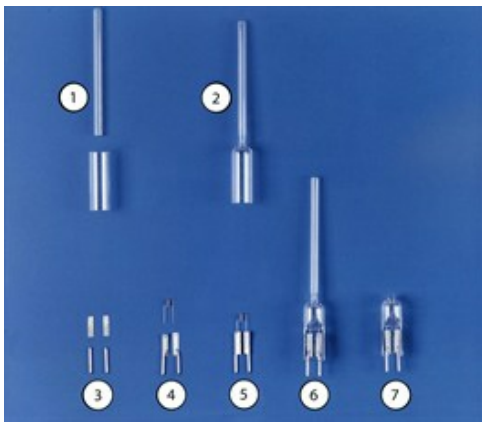
Halogenglødelampen består af en glødetråd (wolfram) beskyttet af en glaskolbe. Opbygningen minder om glødelampens. Af temperaturmæssige årsager er kolben mindre. Den er typisk fremstillet af kvartsglas og har også en anden facon. Selve gassen i kolben er tilsat et halogen, heraf navnet. Som for glødelampen sendes en elektrisk strøm gennem glødetråden, der yder stor elektrisk modstand.



Til venstre ses en traditionel glødelampe, som nu er udgået af handlen. Til højre en halogenlyskilde.



På billedet ses trin for trin, hvordan en traditionel glødelampe samles.



På billedet ses trin for trin, hvordan en halogenglødelampe samles.

Glødetråd

Glødetråden i gløde- og halogenlamper er fremstillet af snoet (spiraliseret) wolfram. Wolfram er velegnet, da det ikke smelter ved meget høje temperaturer og fordampningen ved høje temperaturer desuden sker relativt langsomt. For begge lyskildetyper er orienteringen af glødetråden bestemmende for, hvordan lyset udsendes fra lyskilden. En aksial orientering giver en mere jævn lysfordeling end en transversal orientering.

For halogenglødelamper bevirker den høje driftstemperatur og tilstedeværelsen af halogengas i kolben, at selv små mængder af nikkel og jern ikke må forefindes, da disse "urenheder" ellers vil reagere sammen med halogenet.

Tykkelsen af glødetråden i 230V-lamper er kun ca. 20 µm, dvs. mindre end et hår.

Tilledninger

Da tætheden af tilledningernes gennemføring til glaskolben er vigtig, er glødetråden i halogenlamper punktsvejset til en tynd molybdænfolie. Molybdænfolie er et af de få materialer, som ikke knuser kolbens kvartsglas, når det udvides ved opvarmning. I glødepærer og halogenglødepærer med standard gevindsokkel anvendes en såkaldt Dumet ledning, som består af en nikkel-jern-legering og betrukket med kobber-bor. Denne udvider sig ved temperaturstigning på samme måde som det glas, kolben består af.

I tilledningen til 1-soklede gløde- og 230 V halogenglødelamper findes ofte en indbygget sikring, som aktiveres, hvis lyskilden trækker for stor en strøm, hvilket kan optræde ved ophør af lyskildens levetid, hvor overbrænding af glødetråden kan medføre, at der dannes en lysbue. Af pladmæssige årsager har de mindre typer med stiftsokkel ikke denne facilitet. Disse lyskilder benytter i visse tilfælde en speciel teknik, hvor glødetråden virker som sikring.

Lavvoltage halogenglødelamper er ikke i stand til at danne en lysbue og har derfor ingen sikringstråd.

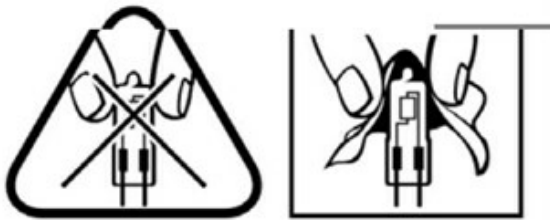
Eventuelle bæretråde i halogenglødelamper er fremstillet af almindeligt wolfram.

Kolbe

I modsætning til glødepæren svæertes halogenpærens kolbe ikke i løbet af levetiden. Derfor kan halogenpærer fremstilles i meget mindre dimensioner. Den deraf kortere afstand mellem glødetråd og kolbe betyder, at kolben bliver tilsvarende varmere.

Halogenlampers glaskolbe skal også kunne modstå temperaturchok ved tænd og sluk. Det er grunden til, at halogenglødelamper fremstilles af specielt glas som f.eks. aluminiumsilikat eller kvarts. Både for gløde- og halogenglødelamper gælder, at kolben er tømt for atmosfærisk luft. Fjernelse af luften og evt. påfyldning af gas sker gennem en studs i kolben, der forsegles efter brug.

Halogenglødelampers kolber må ikke berøres med fingrene, hvis de er mærket med et symbol som vist herunder (faconen af kolben kan dog variere). Det skyldes at hudens fedtstof medfører ændringer i glassets krystalstruktur. Som følge heraf kan glaskolben eksplodere. Visse halogenglødelamper er forsynet med en beskyttende yderkolbe eller fastmonteret i en reflektor af enten metal eller glas.



Til venstre et piktogram fra en halogenlyskildes emballage, der advarer mod tage fat i kolben med bare hænder. I højre side vises, hvordan man ved hjælp af en serviet eller lignende kan håndtere lyskilden.

Belægning

Halogenglødelamper fås nu kun med klar kolbe. Førhen kunne også typer med mat overflade fås i almindelig handel. Matte typer optræder i dag kun i sjældne tilfælde, da de almindelige typer blev udfaset i 2009.

En varmereflekterende belægning (også kaldet IRC-belægning) transmitterer lyset, mens den infrarøde varmestråling reflekteres tilbage mod glødetråden. Herved opnås en reduktion af lyskildens effektbehov samt et øget [lysudbytte](#) uden at [levetiden](#) forkortes.

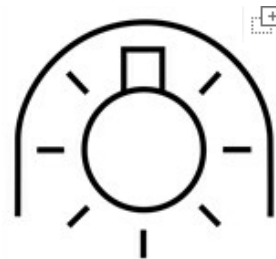
En varmetransmitterende belægning af typen koldtlys- eller dikroisk belægning reflekterer kun lyset og 30-40 % af den udsendte varmestråling. Derved opvarmes de belyste genstande kun i begrænset omfang. Varmen afsættes i stedet omkring armaturet, som skal være godt ventileret. Belægningen fremstilles af tynde lag materialer med forskellige reflekterende egenskaber.

Der findes også belægninger, som hindrer udsendelse af ultraviolet stråling. Sædvanligvis stoppes UV-C og UV-B stråling af kolbens glas. UV-A stråling (bølgelængde 315-400 nm) kan kun stoppes med en beskyttende belægning.

Gasfyldning

Den højeste effektivitet opnås ved højst mulig temperatur af glødetråden. Imidlertid tiltager fordampningen af glødetråden ved øget temperatur. Fordampningen kan dog nedsættes ved at omgive glødetråden med en gas, der har en høj molekylvægt som f.eks. argon eller det mere kostbare krypton. Nitrogen i begrænsede mængder hindrer desuden dannelsen af elektrisk overslag. Tilsætning af xenon mindsker varmeafgivelsen fra glødetråden. Halogenglødelamper er ligeledes tilsat et halogen, som oftest brom, men kan også være klor, jod eller fluor. Halogengassen øger levetiden pga. den tidligere nævnte halogenproces.

Et gastryk over 2,5 bar medfører behov for beskyttelse, hvis lampen går itu. Beskyttelsen kan f.eks. bestå af en yderkolbe eller en særlig afdækning i armaturet, hvori lyskilden anvendes. Lyskilder til netspænding beregnet til erstatning for glødelamper er undtaget behov for beskyttelse.



Dette symbol betyder, at lyskilden må benyttes i åbne armaturer.



Dette symbol betyder, at Lyskilden kun må anvendes i armaturer med ekstra beskyttelse.

LYSTEKNISKE DATA

Gløde- og halogenglødelampen udsender et fuldspektret lys med optimale farveegenskaber. Desværre er levetid og lysudbytte meget lavt for begge lyskildetyper.

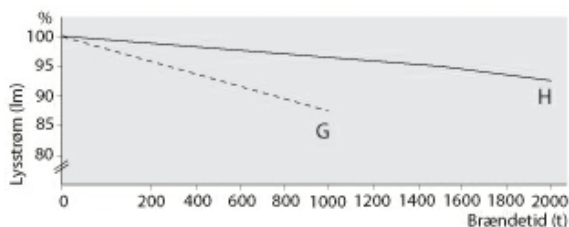
Lyset fra gløde- og halogenglødelamper er varmt. Mens glødelampens farvetemperatur typisk er 2700 K, ligger farvetemperaturen for halogenglødelamper lidt højere, typisk omkring 3000 K.

Både gløde- og halogenglødelamper findes i reflektorudgaver, der udsender et rettet lys. For typer, der ikke udsender et rettet lys, opgives lyskildens lysmængde som en [lysstrøm](#), dvs. den samlede mængde lys fra lyskilden. For reflektortyper opgives data vedr. lyskildens lysmængde som den maksimale [lysstyrke](#) i lyskildens lysretning.

Lysstrøm

For halogenglødelamper er [lysstrømnedgangen](#) henover lyskildens levetid kun meget lille, hvilket skyldes halogenprocessens gendannende virkning på wolframglødetråden. En halogenglødelampes nominelle lysstrøm defineres som lysstrømmen efter den første times brændetid. Denne værdi skal jf. standarden for halogenglødelamper, EN 60357, være mindst 85 % af den anførte lysstrøm for halogenlampen. Halogenglødelampen tænder med det samme og opnår i løbet af 0,1-0,2 sekunder 90 % af driftslysstrømmen.

Ifølge EN 60357 må lysstrømmen fra halogenlamper efter 75 % af levetiden ikke være mindre end 80 % af den oprindelige (nominelle) værdi.

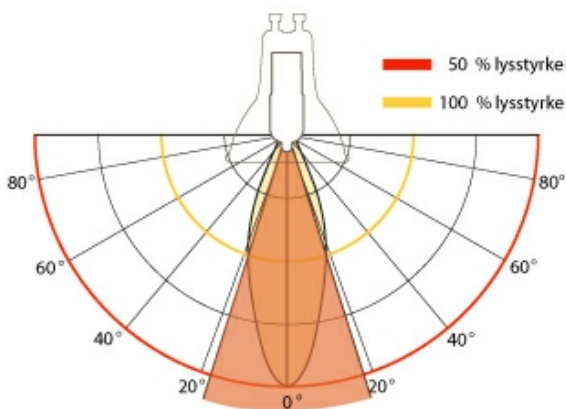


Lysstrømmen fra en glødelampe reduceres med ca. 20 % henover lyskildens levetid. Lysstrømsnedgangen afhænger af om kolben er lufttom eller gasfyldt.

Lysstyrke

For reflektorlyskilder angives data vedr. lyskildens lysmængde som den maksimale lysstyrke i lyskildens lysretning. Sammen med lysstyrken angives lyskildens spredningsvinkel, som desuden ofte er suppleret med en kurve, der viser lyskildens [lysfordeling](#), dvs. hvordan lyset udsendes i forskellige retninger.

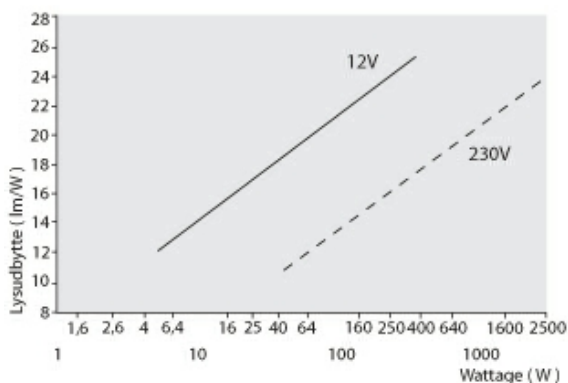
Lysets spredningsvinkel er defineret ved størrelsen af det vinkelinterval, hvor lysstyrken overstiger 50 % af lysstyrken i lyskildens centerlinje.



På figuren ses en kurve for en reflektorhalogenlampe med en spredningsvinkel på 35°.

Energieffektivitet

For halogenglødelamper ligger [energieffektiviteten](#), også kaldet lysudbyttet, typisk mellem 12 og 25 lm/W. For typer med infrarødreflekterende belægning kan lysudbyttet dog være op mod 35 lm/W. Den teoretisk maksimalt opnåelige værdi bestemmes af wolframtråden og er 53 lm/W. Lysudbyttet ændrer sig ikke gennem lyskildens levetid.

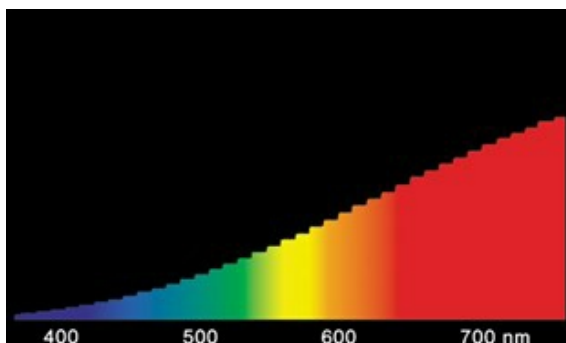


Lysudbyttet for glødelamper er lavere end for halogenglødelamper og ligger typisk mellem 8 og 12 lm/W.

Man kan fremstille gløde- og halogenglødelamper med et meget stort lysudbytte og kort levetid, for eksempel til brug ved fotografering, ved at forøge glødetrådets temperatur.

Spektral effektfordeling

I figuren er vist den [spektrale effektfordeling](#) for lyset fra gløde- og halogenglødelamper. Halogenglødelampens høje temperatur på glødetråden bevirker en generel forskydning imod spektrets blålige del (koldere lys) i forhold til glødelampen. Det betyder, at andelen af den ultraviolette stråling i halogenlyset er højere end for glødelampen.



Spektral effektfordeling for lyset fra gløde- og halogenglødelamper.

Lyskildens UV-stråling skyldes primært, at kvartsglasset ikke (som almindeligt glas) tilbageholder UV-strålingen. Lyskilden (eller armaturet) kan derfor forsynes med et beskyttelsesglas (af vinduesglas, specialglas eller UV-film). Hvis der er tale om ekstremt høje [belysningsstyrker](#) og lange eksponeringstider, kan der tages forholdsregler overfor eventuelle UV-skadevirkninger på såvel mennesker som genstande/ inventar (f.eks. hudkræft, falmning). UV-A strålingen udgør ca. 0,04 W/m² ved 500 lux og 3.000K, medmindre lampen forsynet med en UV-beskyttelse.

Spekret for reflektorhalogenlamper påvirkes desuden af reflektorens egenskaber og kan derfor variere ift. figuren.

arveegenskaber

For højvoltage halogenglødelamper (230 V) ligger [farvetemperaturen](#) typisk mellem 2800 K og 3.000 K, for lavvoltagegaver (6, 12, 24 V) typisk mellem 3000 K og 3200 K. Farvetemperaturen for glødelamper er ca. 2700 K.

Reflektorer i koldtlysreflektorlamper transmitterer ca. 2/3 af varmestrålingen, men også lidt af lysets røde andele transmitteres bagud. Det betyder, at koldtlystypernes lys er lidt koldere i lysfarven end hos andre reflektorudgaver.

Både gløde- og halogenglødelamper har et [farvegengivelsesindeks](#) (Ra-indeks) på 99-100.

Levetid

Den nominelle [levetid](#) for 230 V halogenglødelamper ligger omkring 2.000 timer, mens levetiden for lavvoltagehalogenglødelamper typisk ligger mellem 2.000 og 5.000 timer.

En almindelig tænd-sluk frekvens vil ikke påvirke halogenglødelampens levetid. For lavvoltageudgaver er det på grund af transformatoren nødvendigt at tage hensyn til tænd-sluk frekvensen. Hver gang en transformator afbrydes, påtrykkes halogenlampen nemlig kortvarigt en meget høj spænding, som belaster halogenlyskildens glødetråd (se figur under [spændingsforhold](#)).

Den nominelle levetid for glødelamper er 1.000 brændetimer. Under normal drift har tænd-sluk frekvensen ingen afgørende indvirkning på glødetråden og dermed heller ikke på glødelampens levetid.

Levetiden opgives normalt som den tid, der går, før halvdelen af en større mængde lyskilder ophører med at lyse, dvs. den nominelle levetid.

EL-TEKNISKE FORHOLD

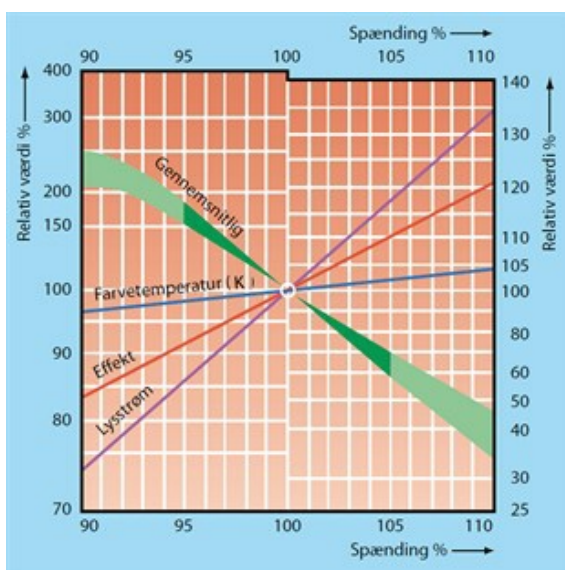
De el-tekniske forhold er ens for gløde- og halogenglødelamper.

Begge lyskildetyper er spændingsfølsomme og mærkespændingen har bl.a. betydning for lyskildens levetid.

Spændingsforhold

På halogenglødelampens sokkel eller kolbe er påstemplet den spænding, som lampen skal drives ved, hvis den nominelle levetid skal opnås. Denne spænding kaldes for lyskildens mærkespænding og har stor betydning for lyskildens levetid, og den skal svare til netspændingen.

Hvis man eksempelvis vælger en gløde- eller halogenglødelampe beregnet til en mærkespænding på 230 V og udsætter den for en overspænding på 5 % (242 V), forkortes lyskildens levetid med 50 %, hvilket fremgår af figuren. Omvendt gælder, at 5 % underspænding fordobler lyskildens levetid. Det skal bemærkes, at drift af gløde- og halogenglødelamper ved enten over- eller underspænding ligeledes har betydning for lyskildens øvrige parametre, herunder [lysstrøm](#) og [farvetemperatur](#).



Resultatet af over- og underspændingsdrift af glødelamper. Ved underspændingsdrift forøges den relative levetid (grøn), men farvetemperaturen (blå), effekten (rød) og lysstrømmen (violet) falder. Ved f.eks. at øge spændingen med 5 % (til indeks 105), falder levetiden til 60-70 % af den nominelle værdi. Effekten stiger 10 %, lysstrømmen med ca. 17 % og farvetemperaturen med ca. 2 %.

Strømforskel

Glødelampens positive modstandskarakteristik betyder, at variationer i spænding og strøm ikke følges ad. F.eks. vil en spændingsvariation på 10 % kun medføre en strømvariation på ca. 4 %.

Den positive modstandskarakteristik betyder også, at glødetrådens elektriske modstand falder til 1/15 af driftsværdien, når lyskilden er slukket. Heraf følger, at strømstødet i lyskilden (den elektriske strøm i glødetråden ved tænding) kan blive op til 15 gange den normale lampestrøm. Efter ca. 0,1-0,2 sekunder har glødelampen opnået driftstemperaturen på glødetråden, hvorefter strømmen reduceres til driftsværdien. Den store startstrøm har betydning for installation af større belysningsanlæg, hvor forholdet må tages med i betragtning ved dimensionering af sikringer, kabler etc. Gløde- og halogenglødelamper kan slukkes og gentændes øjeblikkeligt, da såvel opvarmning som afkøling sker på under 0,02 sekunder.

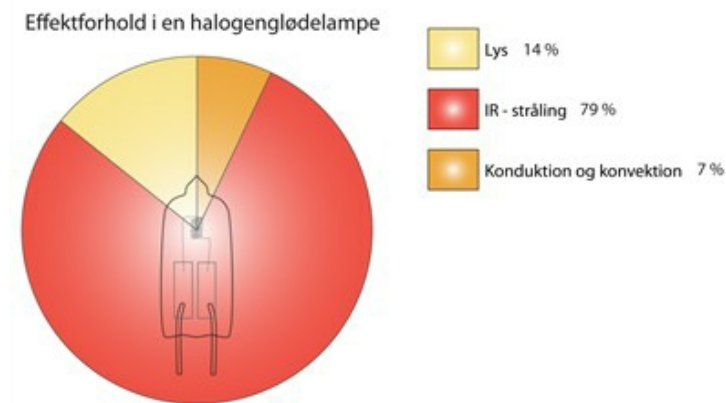
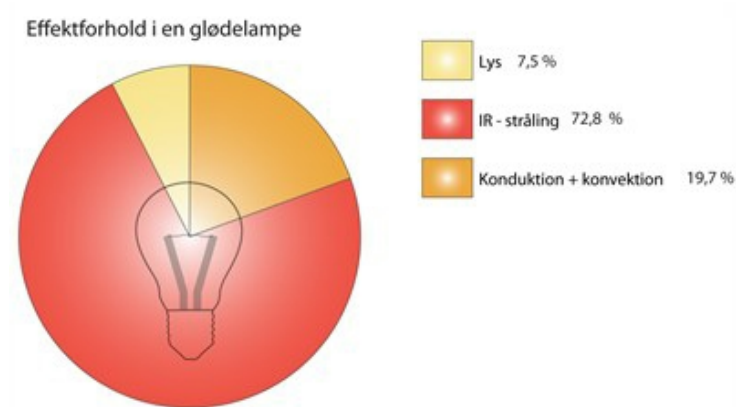
Effektforhold

For en halogenglødelampe gælder, at ca. 13 % af den samlede tilførte effekt bliver omdannet til lys. Temperaturen på glødelampens glødetråd er lavere end for halogenglødelampen, og kun ca. 5 % af glødelampens tilførte effekt bliver omdannet til lys.

Resten af energien bliver et tab i form af varme - som varmestråling eller som varme, der forplanter sig til glødelampens overflade, sokkel, og via fatningen også til armaturet (konduktion). Herfra afgives varmen til den omgivende luft (konvektion).

I glødelampen omdannes langt den overvejende del af effekten (ca. 68 %) til infrarød stråling (IR), mens ca. 1/2 promille omdannes til ultraviolet stråling (UV). For halogenglødelampen er den relative andel af ultraviolet stråling højere.

Effektforholdene i en glødelampe er vist i figuren.



Flimmer

[Flimmer](#) fra gløde- og halogenglødelamper opfattes normalt ikke direkte af øjet, men kan evt. registreres som stroboskopeffekt ved roterende maskiner. Dog flimrer glødelamper ikke betydeligt, da glødetråden har en nogenlunde konstant temperatur, der ikke når at ændre sig mellem vekselstrømmens pulser.

Frekvensforhold

Gløde- og halogenglødelamper kan i en vis udstrækning anvendes ved højere frekvenser end 50 Hz. Dette er dog ret kompliceret, fordi der kan opstå resonansfænomener i tilledninger eller i selve glødetråden, hvilket kan føre til en stærkt reduceret levetid. Gløde- og halogenglødelamper bør derfor ikke anvendes med højfrekvent forkoblingsudstyr.

Transformatorer

Lavvolthalogenglødelamper er generelt mere robuste end halogenlamper til 230V og drives med en transformator, som enten kan være konventionel eller elektronisk. For lavvolthalogenlamper kan transformatorer og indkoblingsstrømme dog give anledning til særlige problemer.













Den konventionelle transformator består af en jernkerne omviklet med kobbertråd og kaldes derfor også en jernkernetransformer. Den er billig i indkøb, men dyr i drift i forhold til en elektronisk transformator pga. højere elektriske tab. Derudover er den tung og optager meget plads. Udgangsspændingen afhænger af belastningen. En enkelt transformator kan forsyne adskillige lyskilder. Hvis én af de tilsluttede lyskilder brænder ud falder belastningen, og spændingen stiger. Dette forkorter levetiden for de resterende tilsluttede lyskilder. Den konventionelle transformator er velegnet i systemer, hvor der er behov for lange tilledninger, meget høje effekter og høj grad af robusthed.

Den elektroniske transformator har en langt højere virkningsgrad end den konventionelle og er

derfor noget billigere i drift. Derudover er den pladsbesparende og vejer kun en brøkdel i forhold til den konventionelle. Virkemåden er baseret på højfrekvent styring af strømmen. Dette stiller krav til tillædningerne, som skal være så korte som muligt, da de optræder kapacitivt i forhold til transformatoren og belaster denne. Dertil kommer evt. problemer med radiostøj (elektromagnetisk støj) fra lange tillædninger. Længden må typisk ikke overstige 2 meter.

Udgangsspændingen er sædvanligvis en smule under 12 V, men ændrer sig ikke med belastningen eller med variation af netspændingen, hvad der kan være et problem ved anvendelse af en konventionel transformer. Den lavere udgangsspænding medfører en nedgang i lysudsendelsen. Mange elektroniske transformere slukker, hvis belastningen er under en fastlagt grænse.

Trinløs dæmpning af lysmængden kræver anvendelse af en lysdæmper, der enten kan være en forkantstype (type R/L) eller bagkantstype (type R/C). Lysdæmpere monteres altid før transformere. Typen af transformer og lysdæmper skal passe sammen. Herunder er vist de mulige kombinationer. En jernkernetransformer kan overophede, hvis der ikke er tilsluttet en lyskilde, når der dæmpes.

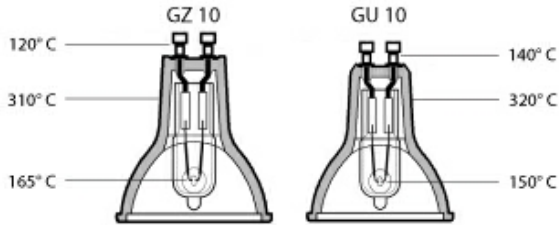
Table of dimmer- and load-types available on the market (without any responsibility for completeness)					
dimmer type:	Standard leading edge dimmer	Leading edge dimmer for low voltage systems	Trailing edge dimmer	Universal dimmer	Speed controller
load type:	 R	 R,L	 R,C	 R,L,C	 M
Incandescent lamps  R	R matches OK, combination compatible	R matches OK, combination compatible	R matches OK, combination compatible	R matches OK, combination compatible	No match combination not possible!
High voltage halooen lamps  R	R matches OK, combination compatible	R matches OK, combination compatible	R matches OK, combination compatible	R matches OK, combination compatible	No match combination not possible!
Low voltage halooen lamps with magnetic transformers  L	No match combination not possible!	L matches OK, combination compatible	No match combination not possible!	L matches OK, combination compatible	No match combination not possible!
Low voltage halooen lamps with electronic transformers with C - marking  C	No match combination not possible!	No match combination not possible!	C matches OK, combination compatible	C matches OK, combination compatible	No match combination not possible!
Low voltage halooen lamps with electronic transformers with L - marking  L	No match combination not possible!	L matches OK, combination compatible	No match combination not possible!	L matches OK, combination compatible	No match combination not possible!
Low voltage halooen lamps with electronic transformers with L- and C- marking  L,C	No match combination not possible!	L matches OK, combination compatible	C matches OK, combination compatible	L or C matches OK, combination compatible	No match combination not possible!
Motors  M	No match combination not possible!	No match combination not possible!	No match combination not possible!	No match combination not possible!	M matches OK, combination compatible

Oversigt over dæmpningsystemers kompatibilitet i forhold forskellige type drift af glødelamper og halogenglødelamper.

TERMISKE FORHOLD

Lysudsendelsen fra gløde- og halogenlamper påvirkes ikke nævneværdigt af den omgivende temperatur.

Forudsat at kolbens minimumstemperatur kan holdes på 260 °C påvirkes halogenglødelampens [lysstrøm](#) ikke af omgivelsestemperaturen. På kolben eller pakningen kan være angivet temperaturniveauer, hvor en maksimumsværdi anføres af hensyn til lyskildens materialer og en minimumsværdi af hensyn til halogenprocessen.



Temperaturniveauer i to halogenreflektorglødelamper (GZ10 er med koldtlys reflektorer).

Det er vigtigt ikke at overophede lyskildens sokkel. Hvis temperaturen overstiger 350 °C, vil det indlejrede folie i soklen oxidere, og det vil få kvartsglasset til gradvist at krakelere. Resultatet er indsvivning af luft og kort levetid. Mange armaturer er konstrueret, så de sikrer korrekte temperaturforhold i og omkring lyskilden.

Glødelampens lysstrøm påvirkes ikke af omgivelsestemperaturen og eventuelle temperaturangivelser på enten kolbe eller sokkel sker af hensyn til holdbarhed af sokkel, kit mv.

Brændestilling mv.

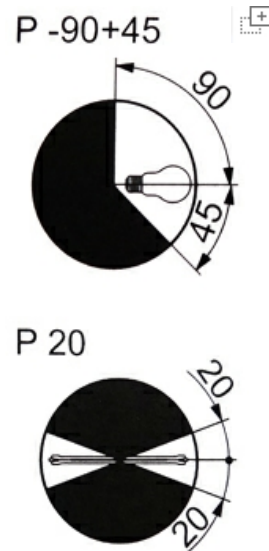
For visse højvoltageudgaver, især typer uden beskyttelsesglas, er brændestillingen angivet. Fraviges denne brændestilling, opstår ødelæggende termiske problemer i kvartsrøret.

Minimumafstand til lyskilde

Af sikkerhedsmæssige årsager kan halogenlamper være mærket med en minimumafstand mellem lyskilde og belyste afstande.



Illustration til lyskildeemballage, hvor man kan anføre, hvilken afstand der minimum skal være fra lyskilden til andre genstande.



Figuren viser anbefalede brændestillinger for to glødelamper. Øverst en glødelampe, hvor soklen bør vende nedad (-90) eller højst vippes 45° opad (+45). Nedest en halogenbrænder, som så vidt muligt skal brænde i vandret stilling eller højst vippet 20° op eller ned.

DRIFTSPROBLEMER

Fejl på lyskilder kan give anledning til dårlig belysning og desuden udgøre en sikkerhedsrisiko. Følgerne af eventuelle skader kan ofte reduceres, hvis fejlen rettes hurtigt.

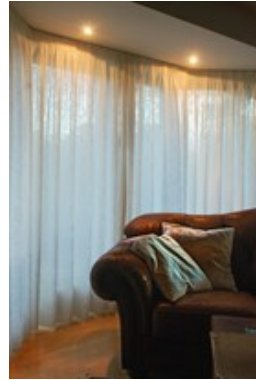
I nedenstående liste angives hyppigt forekommende fejlsituationer i belysningsanlæg med halogenlamper:

- Lyskilden eksploderer: Optræder ved sjældne lejligheder i slutningen af 230V-lyskilders levetid, hvor glødetråden brænder over. Derved opstår en lysbue med en negativ modstandskarakteristik, som trækker en stor strøm. Den forøgede tilførsel af elektrisk energi vil resultere et stort overtryk, medmindre strømmen hurtigt afbrydes. Den indbyggede sikringstråd vil normalt afbryde strømmen i disse tilfælde ved, at den brænder over. Dette kan dog også forårsage et overtryk i lampen, som kan afskyde kolben eller få den til at eksplodere.
- Lyskilden tænder ikke: Lyskilden er defekt eller har dårlige kontaktforbindelser.
- Lyskildens lysstrøm er lavere end den nominelle værdi: Skyldes for lav spænding eller at wolfram er svættet ud på kolbens inderside (lyskildens levetid næsten ophørt).
- Farveforskelle mellem de enkelte lyskilder: Skyldes at nye og gamle lyskilder eller forskellige wattager er monteret ved siden af hinanden.
- Halogenlyskilden har reduceret levetid: Skyldes forkert brændestilling, for høj forsyningsspænding, utilstrækkelig afkøling eller fugt. Fugt og temperatursvinginger i omgivelserne kan få sokkelkittet i visse reflektorhalogenglødelamper til at smuldre.
- Halogenlyskilden giver et kort lysglimt hvorefter den slukker (sker primært i forbindelse med lavvoltsdrift): Skyldes forkert sikring.

TYPISKE ANVENDELSER

Halogenlampernes små dimensioner og kompakte udformning er en af årsagerne til at der findes mange anvendelser til denne lyskildetype.

Halogenlyskilder anvendes i stor stil i butikker og i private boliger, enten i spots eller indbygget i et nedsænket loft. Derudover anvendes de ofte til effektbelysning og i arbejdslamper.



Typiske anvendelser af halogenglødepærer, i spots og til indbygning. Fotos: Erco (tv) og Villy Sonnichsen (th).

UDVIKLING OG HISTORIE

Siden glødelampens fremkomst i 1879 har en stadig udvikling med henblik på forbedring af dens lysudbytte været i gang.

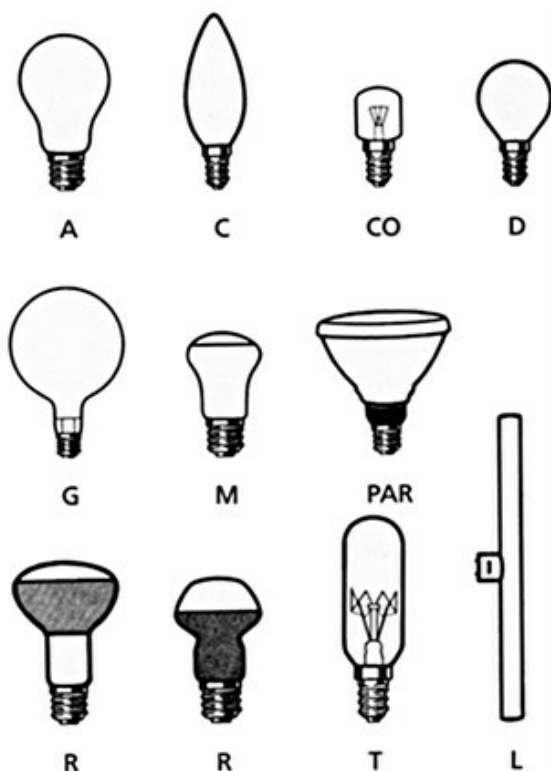
Allerede så tidligt som 1880 fremkom en teori omkring udnyttelse af den kemiske reaktion mellem et halogen og wolfram. Det lykkedes imidlertid først i 1959 for Elmer G. Fridrich and Emmett H. Wiley at udnytte denne reaktion i en praktisk anvendelig lyskilde under anvendelse af halogenet jod. Resultatet betød et [lysudbytte](#) på op til 22 lm/W.

Fremkomsten af miniatureudgaver til lavvolt, der spændingsforsynes via en transformator, har givet nye muligheder for udbredelsen af halogenglødelamper. Det, der især er attraktivt, er de små dimensioner, den "koldere" farve samt muligheder for "smart" installation.

En glødepære har i bedste fald en halvt så stor effektivitet som en lavvolt halogenlampe. Det er meget lidt i forhold til sparepærer, og i 2009 blev udfasning af glødepærer i Europa påbegyndt. Udfasningen af glødelamper er afsluttet september 2012. Herefter vil kun halogenglødelamper, som mindst har energiklasse C, kunne anvendes. Dette krav vil skærpes i november 2018 til energiklasse B, som i øjeblikket kun kan opfyldes af halogenlamper med indbygget transformer.

I november foreslog en arbejdsgruppe at udskyde ikrafttrædelsen af trin seks fra 1. september 2016 til samme dato i 2018 med den begrundelse, at LED-teknologien, der i stor udstrækning skal erstatte halogenpærerne, endnu ikke var klar til omstillingen.

Trods ihærdig forskning er der endnu ikke fundet et mere velegnet materiale end wolfram til fremstilling af glødetræden. Der har været eksperimenteret med materialeforbindelser af typen nitrider og carbider, men disse materialer er meget sprøde og brister let. Blandt andre undersøgte muligheder er belægning af kolben med mikroskopiske prismer, der reflekterer den infrarøde stråling præcist mod glødetræden. Fælles for alle de undersøgte teknologier er, at de ikke lader til at egne sig til masseproduktion. Det vil dog næppe stoppe udviklingen.



INTRODUKTION

Lysstofrør og kompaktlysstofrør tilhører gruppen af luminescensstrålere og er blandt de mest anvendte lyskilder.

Lysstofrør og kompaktlysstofrør baserer sig på eksakt samme teknologi. For at undgå gentagelser behandles de to lyskildetyper derfor under et. Når der er forskelle mellem de to typer, vil dette blive nævnt.



Lysstofrør.



Kompaktlysstofrør.

VIRKEMÅDE

I lysstofrør og kompaktlysstofrør fremkommer lyset ved en udladningsproces.

[Luminescensstrålere](#) er grundlæggende forskellige fra [temperaturstrålere](#), fordi lyset fremkommer ved udladningsprocesser i lyskilden og ikke, som for temperaturstrålere, ved en opvarmingsproces. Udladningen sker primært i det [ikke-synlige spektrum](#), hvilket kræver, at der må anvendes særlige metoder for at omdanne strålingen til [synligt lys](#).

Luminescensstrålere opdeles traditionelt i følgende to kategorier:

- udladningslamper, hvor udladningsprocessen sker ved lavt tryk
- udladningslamper, hvor udladningsprocessen sker ved højt tryk

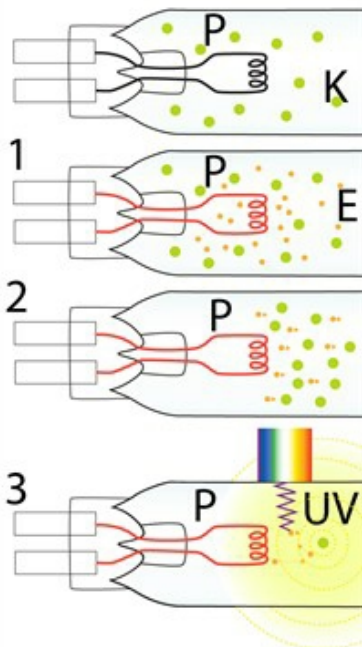
Lysstofrør og kompaktlysstofrør tilhører førstnævnte kategori.

Drift af luminescensstrålere forudsætter begrænsning af strømmen gennem lyskilden samt specielle lampe- og tændspændinger. Derfor kræver lyskilden anvendelse af [forkoblingsudstyr](#), der for lysstofrør og kompaktlysstofrør vil være en separat og udskiftelig del.

Lysstofrøret er indvendigt belagt med et fluorescerende lyspulver. Røret er desuden forsynet med elektroder i hver af rørets ender og indeholder kviksølv damp under lavt tryk ($1,07 \text{ Pa} = 1/10.000$ atmosfæres tryk). For at lette starten af lyskilden er gassen i lysrøret desuden tilsat en inaktiv gasart. Elektroderne er belagt med et emitterstof, som let frigiver elektroner. Elektronvandringen i røret startes ved at påtrykke elektroderne en høj tændspænding, der "slår" gennem røret. Denne tændspænding genereres af lyskildens glimtænder, der er en del af forkoblingsudstyret.

Ved elektronernes passage gennem røret opstår sammenstød mellem disse og kviksølvatomerne. Herved frigøres energi i form af varme og ultraviolet (UV) stråling (ved bølgelængden 253,7 nm). UV-strålingen omdannes af den fluorescerende belægning til synligt lys, som udsendes fra rørets overflade. Lysstofrørets [lysfarve](#) og [farvegensigelse](#) afhænger af det fluorescerende pulvers kemiske sammensætning.

Lysstofrør har en negativ modstandskarakteristik (stigende strøm ved faldende spænding) hvorfor en strømbegrænsende modstand (forkobling) må seriekobles med røret.



Før tænding af røret indeholder røret blot en inert gas med små mængder kviksølv damp (K), samt et antal fosforkonverteringspulverlag (P) på rørets inderside.

- 1) Røret tændes, elektroderne varmes op, og emitterstoffet afgiver elektroner (E - rød)
- 2) Tændspændingen sender elektroderne i høj fart gennem røret mellem elektroderne
- 3) Ved sammenstød med kviksølvatomerne dannes UV-lys (YV), som konverteres til synligt lys ved passage gennem pulverlagene (P).

TYPER

Lysstofrør og kompaktlysstofrør findes i mange udformninger til forskellige formål, hvoraf de aflange er de mest kendte.

Blandt de mange typer og udformninger findes:

- aflange lysstofrør
- cirkulære lysstofrør
- kompaktlysstofrør med 2 eller flere såkaldte fingre
- 2D-kompaktlysstofrør (sommerfuglerør)

Nogle typer findes desuden i forskellige farvekvaliteter. I det følgende gives en oversigt over de forskellige typer lysstofrør og kompaktlysstofrør.

Aflange lysstofrør

Lineære lysstofrør findes i flere tykkelser, hvoraf T5-rør, med en tykkelse på 16 mm, i dag er de mest udbredte og desuden de mest effektive. Derudover findes T8-rør (26 mm), som også er meget udbredte, samt T12-rør (38 mm), T4 (12 mm) og T2 rør (7 mm).



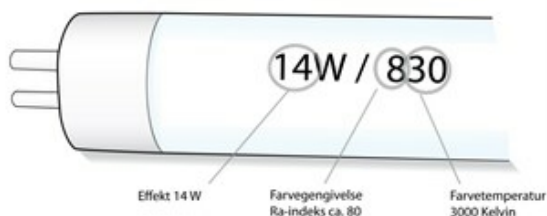
De mest almindelige type lysstofrør er lange T8- og T5-rør.

De fleste lysstofrør har et [Ra-indeks](#) (farvegengivelsesindeks) på 80-85. Derudover findes mange standard typer med et Ra-indeks på 90-95. Her skelnes mellem 3-pulver-, 5-pulverrør og 1-pulverrør. 1-pulverrør benævnes også halofosforrør og er ikke særlig anvendt i Danmark pga. den ringe effektivitet og dårlige farvegengivelse. Derudover er disse rør blevet udfaset fra 2010. 3-pulverrør har en Ra-værdi på 80-85, mens 5-pulverrør har en Ra-værdi på 90-95. 5-pulverrør er ikke helt så effektive som 3-pulverrør.

For alle typer lysstofrør gælder, at [lysstrømmen](#) afhænger af omgivelsestemperaturen.

Det er normalt forbundet med store omkostninger at skifte lyskilder i haller eller andre steder med højt til loftet. I disse tilfælde kan med fordel anvendes såkaldte Long Life rør med levetider op til 90.000 timer. Lysstofrør med forlænget levetid har bl.a. en specielt konstrueret skærm omkring elektroderne, som begrænser den "forbrugte" mængde emissionsmateriale ved start og fordampningen af dette materiale under drift. Indholdet af kviksølv er ofte større i lysstofrør med forlænget levetid.

Aflange lysstofrør beskrives med en kode, der angiver lyskildens effekt, Ra-indeks og [farvetemperatur](#), som vist i figuren.



Det viste lysstofrør har en effekt på 14 W, et Ra-indeks på mellem 80 og 85 og en farvetemperatur på 3.000 K.

T5-lysstofrør

T5-rør har en diameter på 16 mm og findes i to udgaver; HE (high efficiency) og HO (high output). Den optimale omgivelsestemperatur for T5-rør er 35 °C, dvs. ca. 10 °C højere end for T8-rør. Derfor er disse rør særligt velegnede til indendørs anvendelse. HE-rør finder især anvendelse i

kontorbelysning pga. den høje effektivitet på op mod 100 lm/W. Rørene udvikles løbende, og det forventes, at effektiviteten vil stige til over 115 lm/W. Levetiden er typisk 20.000 timer. HE-rørets lysmængde er proportional med rørets længde, idet alle HE-rør har en luminans på 1,4-1,5 Cd/cm². Med HE-rør er det derfor muligt at sammensætte forskellige wattager i lange baner, uden at enkelte rør springer i øjnene.

Med HO-rørene forholder det sig anderledes. De fås i samme længder som HE-rør, men udsender langt mere lys og har også et væsentligt højere effektforbrug. Et 54 W HO-rør har samme længde som et 28 W HE-rør, nemlig 1.149 mm, men både effekten og lumenpakken er vidt forskellige. Mens et 54 W HO-rør udsender 5.000 lumen ved 35 °C, udsender det tilsvarende HE-rør (samme længde) på 28 W kun 3.650 lumen under tilsvarende temperaturforhold. Luminansen af HO-rør varierer og ligger mellem 1,9 og 2,9 Cd/cm². Derfor er det ikke muligt at kombinere forskellige wattager af HO-rør i lange baner. Effektiviteten af HO-rør er 82-90 lm/W.

Nogle typer forkoblinger er kun beregnet til enten HE- eller HO-rør, mens andre selv kan detektere om røret er af den ene eller den anden type.

HO-rør fremstilles i specialversioner med amalgam i stedet for kviksølv Disse rør kendes ved at have særlige betegnelser. Et 54 W rør betegnes jf. LBS som T16-I 54W/xxx G5, mens betegnelsen jf. ILCOS er FDH-54/xx/xx-L/P/LH-G5-16/1149. Disse rør egner sig til meget varme eller meget kolde omgivelser. Lysstyrken er stort set uændret i temperaturintervallet 5 °C -70 °C. Til sammenligning kan sædvanlige lysrør kun opretholde et konstant lysniveau, hvis temperaturen varierer mindre end +/- ca. 7 °C. Alle lysstofrør udsender varme. Hvis armaturet ikke tillader tilstrækkelig ventilation, vil temperaturen omkring lysrøret stige med lavere lysudbytte til følge. I sådanne tilfælde kan det være hensigtsmæssigt at anvende amalgamrør. Mens almindelige lysrør kan [dæmpes](#) lige når de tændes, kan dæmpning af lyset fra amalgamlyskilder først finde sted efter frigørelse af alt kviksølv fra amalgamen, hvilket sker efter 2-3 minutters drift ved fuld styrke.

HO-rør findes også i specialversioner, som giver mulighed for anvendelse i ubrudte rækker af lys, hvor der kun er ganske få mm fra lysrør til lysrør. De kendes under betegnelsen Seamless.

Længde	HE, effekt	HE, Lysstrøm (35 °C)	HE Eco, effekt	HE Eco, lysstrøm (35 °C)	HO, effekt	HO, Lysstrøm (35 °C)	HO,Eco effekt	HO Eco Lysstrøm (35 °C)
555 mm	14 W	1.350 lm	13 W	1.404 lm	24 W	2.000 lm	20 W	1.960 lm
850 mm	21 W	2.100 lm			39 W	3.500 lm		
1.150 mm	28 W	2.900 lm	25 W	2.850 lm	49 W	4.900 lm	45 W	4.905 lm
1.150 mm					54 W	5.000 lm	50 W	5.100 lm
1.450 mm	35 W	3.650 lm	32 W	3.648 m	80 W	7.000 lm	73 W	6.935 lm

Egenskaber, T5 rør. Eco-udgaver bør kun anvendes indendørs, da de virker i et snævert temperaturinterval.

T8-lysstofrør

T8-rør har en diameter på 26 mm og de forskellige wattager knytter sig til bestemte længder. Effektiviteten afhænger af forkoblingstypen og ligger mellem 60 og 90 lm/W, forudsat at der anvendes elektronisk HF-forkobling. Ved drift med konventionel forkobling er effektiviteten lavere.

Den optimale omgivelsestemperatur for T8-rør er 25 °C. Disse rør er derfor mere velegnede til brug ved relativt lave omgivelsestemperaturer, f.eks. i P-kældre og i lagerhaller, end T5-rørene. Ved temperaturer omkring frysepunktet kan med fordel benyttes T8-rør med et ekstra isolerende

yderrør (Ø38 mm).

Kompaktylsstofrør

I løbet af 1980'erne blev kompaktylsstofrør (i daglig tale 'kompaktrør') mere og mere udbredt, fortrinsvis som alternativ til almindelige glødelamper. Kompaktylsstofrørets lave energiforbrug parret med den relativt lille varmeafgivelse og forholdsvis beskedne fysiske dimensioner giver nye muligheder i bl.a. kontorer og industri og også i hjemmets belysning. Opbygningen tager udgangspunkt i et tyndt lysstofrør, der er foldet eller snoet og som forsynes af en ekstern forkobling, som er enten elektronisk eller konventionel. Kompaktrør, som kræver HF-forkobling, er kendetegnet ved at have en sokkel bestående af fire stifter, mens kompaktrør til konventionel drift kun har to stifter og desuden indbygget starter.

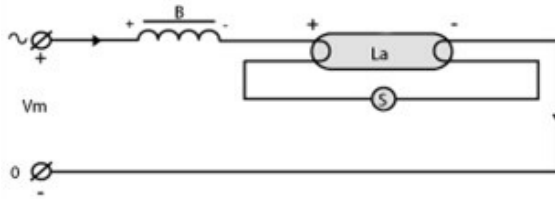


Diagram for kompaktrør med konventionel forkobling og indbygget starter.

Kompaktrør med 4 fingre og 4 stifter	Kompaktrør med 2 fingre og 2 stifter med indbygget starter.	2D rør med 2 stifter og indbygget starter.	Kompaktrør med 6 fingre og 4 stifter med indbygget starter.

De mest almindelige kompaktrør.

Kompaktrør anvendes på steder, hvor der af æstetiske eller pladsmæssige årsager ikke kan benyttes lineære lysstofrør. Effektiviteten for kompaktylsstofrør med HF-forkobling er typisk 50-80 lm/W. Ved drift med konventionel forkobling er effektiviteten lavere.

Cirkulære lysstofrør

Cirkulære lysstofrør findes i flere udgaver, både hvad angår rørets tykkelse og lyskildens diameter og wattage. De fleste versioner er 3-pulverrør med Ra-indeks på 80-85, men enkelte fås desuden i 1-pulverudgaver med ringere farve kvalitet (Ra 50-70).

Produktionsprocessen af de cirkulære rør er mere kompliceret end for aflange lysstofrør, hvilket har betydning for prisen. Cirkulære rør anvendes bl.a. til indendørs gangbelysning og udendørs stibelysning.

Øvrige typer lysstofrør

Udover de gængse udgaver af lysstofrør og kompaktylsstofrør findes følgende typer lysrør til specielle anvendelser:

- Ultraviolette lysstofrør (UV-A, -B og -C rør) til anvendelse i solarier, Behandling af gulsot hos nyfødte, desinfektion og ifm. undersøgelse af fødevarer, mineralogi og andet, hvor fluorescens indgår
- Lysstofrør til plantebelysning, hvis lysudsendelse er en efterligning af dagslysets røde og blå komponenter, som stimulerer fotosyntese. Denne type lysstofrør kan med fordel anvendes i kombination med almindelige lysstofrør.
- Koldkatoderrør (CCFL-rør), som starter uden forvarmning af elektroderne. De benyttes til baggrunds belysning af fladskærms fjernsyn og monitorer.
- Koldstart lysstofrør med ekstern tændstribe på røret, som starter uden forvarmning af elektroderne.

- Farvede lysstofrør til dekorative formål. Grønne og blå farver skabes ved blanding af egnede fosfater, mens røde nuancer fremkommer ved en farvepigmentering mellem rørets glas og selve lyspulverbelægningen.

OPBYGNING

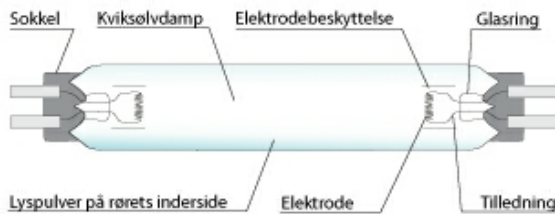
Lysstofrør og kompaktlysstofrør er opbygget af flere elementer, herunder et gasfyldt rør, som på indersiden er belagt med lyspulver, samt af elektroder og sokler.

I det følgende gennemgås de delelementer, der findes i lysstofrør og kompaktlysstofrør.

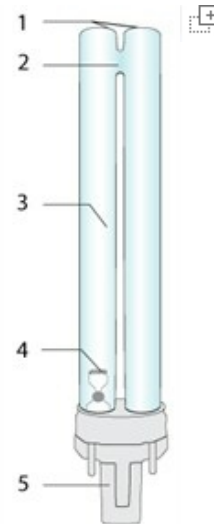
Udladningsrøret

Til fremstilling af aflange lysstofrør anvendes blødt glas, mens bukkede lysstofrør fremstilles af en særlig slags blødt glas kaldet blyglas.

Kun i de tilfælde, hvor røret skal anvendes til UV-stråling (f.eks. i solarier), kræves en speciel glassammensætning.



Lysstofrørets opbygning.



Kompaktlysørrets opbygning:

1. Koldeste punkt
2. Forbindelsesbro
3. Udladningsrør
4. Elektrode
5. Sokkel

Det fluorescerende pulver

Udviklingen af forskellige typer fluorescerende pulver har resulteret i et stort udvalg af lysstofrør. Fra de tidligere halofosfater (1-pulver fosfor) benyttes i dag primært trifosfater (3-pulver fosfor). Variation i pulversammensætningen, som består af blå, grønne og røde fluorescerende pulvere, gør det muligt at skabe næsten enhver tænkelig lysfarve. I lysstofrør med en [Ra-værdi](#) på 90-97 anvendes polyfosfater (5-pulver fosfor). Belægningen påføres rørets inderside, f.eks. ved elektrostatisk påførsel eller ved at gennemskylle røret med en væske, som pulveret er opslæmmet i.

Mens 3-pulver-rør har et [lysudbytte](#), der er ca. 10 % højere end 1-pulver-rør, er lysudbyttet for 5-pulver-rør ca. 30 % lavere end for 3-pulver-rør.

Trifosfater findes nu i 2. generation, som beskytter glaskolben mod angreb fra kviksølv. Dette har øget levetiden betydeligt og samtidig gjort det muligt at reducere mængden af kviksølv i gassen. Samtidig er varmebestandigheden af glasoverfladen øget, hvilket har gjort en reduktion af rørets diameter muligt. Dette er årsagen til, at moderne lysrør kan fås med en diameter på kun 16 mm (T5 typer) i forhold tidligere tiders 26 mm (T8 typer).

Elektroder

Lysstofrørets elektroder har to funktioner; at starte og drive røret. Elektroderne består af en glødetråd, som består af en wolframlegering. Glødetråden er snoet to eller tre gange om sig selv og belagt med et emitterstof, som let frigiver elektroner. Mængden af emitterstof er medbestemmende for rørets levetid.

Elektroder bør forvarmes til ca. 800° C før start, hvilket sker ved at påtrykke røret en høj tændspænding. Manglende forvarmning belaster elektroderne unødigt hårdt, fordi emitterstoffet derved afskydes. Dette forkorter levetiden og bevirker rørets ender svæertes.

Start uden forvarmning foregår hurtigere og kan i nogle situationer være hensigtsmæssig, f.eks. ved trappebelysning. I de tilfælde kan skader på røret minimeres ved at omgive glødetråden med en elektrodebeskyttelse i form af en ring eller et rør, der begrænser afskydningen af emitterstof.



Fluorescerende pulver (lyspulver) til 3-pulver-rør er sammensat af tre fosfortyper, som her er udsat for UV-stråling. Figuren viser, at de tre komponenter hver især omdanner UV-strålingen til lys af farverne blå, rød og grøn. Med en passende vægtning af de tre farver i lyspulveret fås (additivt) farven hvid.



Elektrodebeskyttelse.
Foto: Silla herbst.

I hver ende af et lysstofrør sidder en elektrode. I T5-lysstofrør og tyndere lysstofrør er den ene af elektroderne forskudt en smule fra underlaget. Området bag denne forskudte elektrode udgør det koldeste punkt i røret (cold spot), og her kondenserer kviksølvet.

Gasfyldning

Gassen sammensætning har bl.a. betydning for lysudsendelsen, temperaturfølsomheden, levetiden og strømmen gennem røret.

Under drift vil volumenforholdet mellem kviksølv dampen og den inaktive gasart være omtrent 1 til 3.000. Den inaktive gasart består normalt af lige store dele argon og neon, hvad der nedsætter tændspændingen til et minimum. Særligt effektive lysstofrør, ofte benævnt "energibesparende lysstofrør", er ligeledes tilsat krypton og xenon.

Et korrekt gastryk opnås, når der er balance mellem mængden af flydende og gasformigt kviksølv. En stor del af kviksølvet fordamper, når lampen lyser, mens resten kondenserer til små perler på kolbens koldeste sted. Dette sted kaldes også coldspot, og temperaturen i dette punkt er afgørende for lyskildens ydeevne. Punktet befinder sig midt på et T8-rør og i den ende af et T5-rør, som er mærket med producentens navn.

For at etablere en korrekt dosering af kviksølv fra cold spot, indbrændes alle fluorescense lyskilder ved fuld styrke i 100 timer. Manglende indbrænding vil resultere i lavt lysudbytte, forringet levetid eller "åling", hvor lyset forekommer at bevæge sig i røret.

Kviksølv dampen er desuden meget følsom over for temperatursvingninger, hvorfor der kan tilsættes et eller flere metaller. Herved dannes såkaldt amalgam (en kviksølvblanding), som medfører, at lysstofrøret kan anvendes inden for et stort temperaturområde (omgivelsestemperatur).

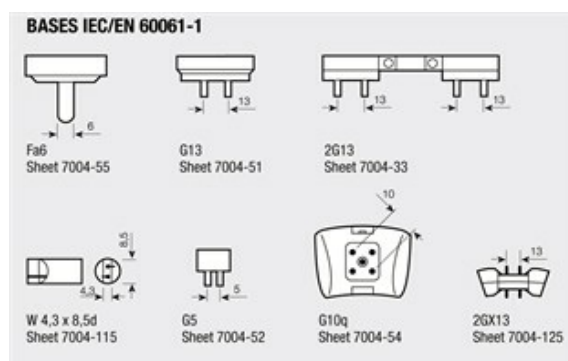
Neonrør er et særligt eksempel på fluorescense lyskilder, som ikke indeholder kviksølv, men i stedet benytter en særlig gas.

Sokler

Sokler til lysstofrør og kompaktlysstofrør er standardiseret efter den internationale standard IEC 60061-1, og notationen følger de regler, som er beskrevet i afsnittet om [halogenlamper](#).

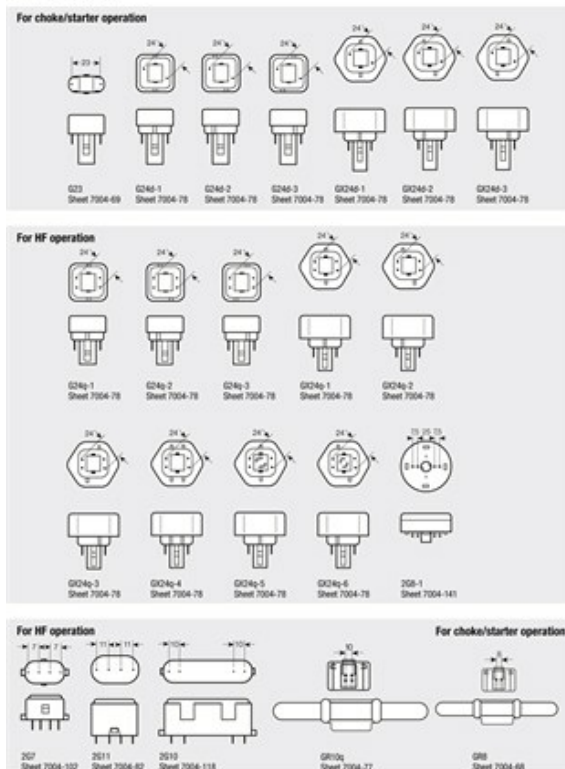
Udvalget af sokler for de lige lysstofrør er begrænset, og har 1,2 eller 4 kontaktstifter, se figuren herunder. Hyppigst anvendes 2-stiftsoklen. Cirkulære og U-formede rør anvender sokler med fire stifter; mens eksplosionssikre rør er forsynet med 1-stiftsokkel.

Til kompaktlysstofrør anvendes derimod mange forskellige sokler. De små, to-fingrede rør har sokler af typen G23 (med indbygget glimtænder) eller 2G7 (uden glimtænder). De firefingrede rør har samme grundform G24, men er forsynet med enten to stifter og indbygget glimtænder ("d") eller fire stifter uden glimtænder ("q"). Derudover er soklerne udført forskelligt alt efter wattage; for rør til og med 13 W hedder typen "1", for rør med 18 W "2" og for rør med 26 W "3". De lange, tofingrede rør er alle forsynet med sokkel 2G11.



Sokler til aflange og cirkulære rør. Fra Osram "Indoor and Outdoor" 2008-2009.

Bases IEC/EN 60061-1

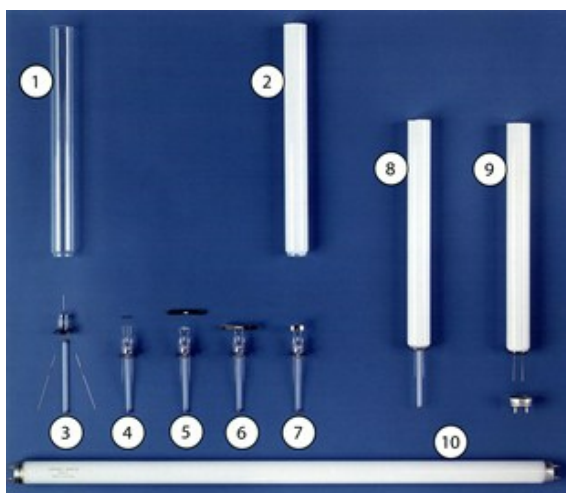


Sokler til kompaktlystofrør. Fra Osram "Indoor and Outdoor" 2008-2009.

Fremstilling af lysstofrør

Ved fremstilling af lysstofrør er det fluorescerende pulver opslemmet i en væske, som påfyldes et klart glasrør og derefter tømmes ud ad røret igen. En efterfølgende opvarmning af røret får bindemidlet i det fluorescerende pulver til at hæfte på den glasflade, der udgør rørets inderside. Elektroder smeltes herefter fast i begge ender af røret, der tømmes for luft og tilsættes gas og kviksølv, inden åbningerne forsegles. En sokkel monteres i begge ender af røret vha. en særlig kit. Efter hærkning af kit indbrændes røret.

Fremstilling af kompaktlystofrør sker efter lignende principper.



Fremstilling af lysstofrør.

1. Afskæring af rør i passende længde
2. Belægning med fluorescerende pulver. Dette kan f.eks. ske ved at gennemskylle røret med en væske, som pulveret er opslemmet i, eller ved elektrostatisk påførsel af lyspulveret.
3. Bærende rør, pumperør, fortrådning
- 4-7. Samling af komponenter omkring bærende rør. Montage af filamenter og elektrodebeskyttelse
8. Forsegling af kolbe til øvrige komponenter
9. Luftudtømmning af kolbe, opfyldning af kolbe med gas og kviksølv samt forsegling af kolbe.

10. Færdigt rør.

LYSTEKNISKE DATA

Lysstofrør og kompaktlysstofrør findes i flere kvaliteter med forskellige farveegenskaber. Levetiden er lang og lysudbyttet er generelt højt.

De fleste lysstofrør og kompaktlysstofrør har et [Ra-indeks](#) på 80-85 og fås i forskellige [lysfarver](#). Lyset udsendes jævnt i mange retninger, og den samlede lysmængde fra disse lyskilder varierer afhængig af størrelse og wattage.

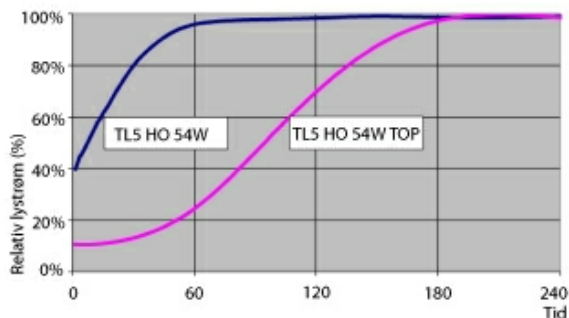
Lysstrøm

For fluorescense lyskilder gælder, at lysstrømmen reduceres gennem lyskildens levetid. Nedgangen i [lysstrøm](#) afhænger bl.a. af typen og effekten af lyskilden, brugsmønstret og af forkoblingen. Reduktionen skyldes bl.a. en ringere effektivitet i lyspulveret forårsaget af kviksølvionernes kemiske angreb. En mindre del af [lysstrømnedgangen](#) skyldes sværtning af røret. Sværtningen består af udslynget emitterstof fra elektroderne.

Der er to måder at teste lysstrømsnedgang på, som giver forskellige resultater. Standarden IEC 60061 annex C1 angiver, at der skal anvendes en konventionel forkobling. Dernæst skal lyskilden være tændt i 2 timer og 3 kvarter og siden slukket et kvarter. Den anden måde at teste på omfatter brugen af en elektronisk højfrekvent forkobling. Ved denne metode skal lyskilden være tændt i 11 timer og slukket i 1 time. De specifikke krav til lysstrømsnedgangen i lysstofrør og kompaktlysstofrør fremgår af EU forordning 245, tabel 11 og 12.

Elektroniske forkoblinger forlænger levetiden væsentligt, fordi opstarten er mere skånsom.

Lysstofrørets nominelle lysstrøm defineres som lysstrømmen efter 100 timers brændetid. Efter start af lysstofrøret går der henved 3 minutter, før kviksølv dampen i røret har nået sit arbejdsstryk. Lysstrømmen stiger støt og roligt i denne periode, fra ca. 20 % umiddelbart efter start, til 100 % efter ca. 3 min. Efter at de 60 % af lysstrømmen er opnået, kan øjet ikke registrere yderligere stigning. Lysstofrør, der indeholder amalgam, f.eks. alle kompaktlysstofrør, har en noget lavere begyndelseslysstrøm og bør ikke anvendes i belysningsanlæg med korte driftsperioder.



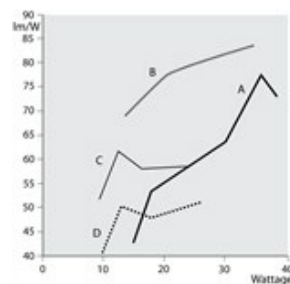
Relativ lysstrøm umiddelbart efter start af lysstofrør med almindelig kviksølv (blå) og kompaktlysstofrør med amalgam (rød). 'TOP'-rørene er en gruppe af rør, som fungerer særlig godt under højere temperaturer

Lysudbytte

[Lysudbyttet](#) for et lysstofrør indbefatter flere faktorer, herunder rørets geometri og driftsbetingelserne. Lysudbyttet kan afhængig af beregningsmetoden angives enten brutto eller netto. Med brutto forstås, at forkoblingens egetforbrug medregnes til rørets effekt. Således bør bruttoværdier altid anvendes ved energi- og økonomiberegninger. Det bør dog bemærkes, at forkoblingsudstyr afhængig af type og fabrikat anvender forskellige effekter. Eksempelvis findes forkoblingsudstyr til et standard 36 W lysstofrør med et eget effektforbrug på mellem 3,5 W og 9 W.

Rørets wattage har betydning for lysudbyttet. Det skyldes, at tabet i elektroderne er nogenlunde konstant, mens varmetabet i forbindelse med lysudsendelse afhænger af lysstofrørets længde. Betydningen af varmetabet i elektroderne er minimalt for lange rør, hvor lysudbyttet derfor er højere end for korte rør. Af den grund har lange lysstofrør en højere effektivitet end korte rør.

Typen af forkobling har betydning for effektiviteten. Elektronisk forkoblede lysstofrør har et højere lysudbytte end rør, der drives med konventionel, induktiv forkobling. Lysudbyttet for gængse typer er vist i figuren. Mindstekravene til lysudbytte for hver type af lyskilde er angivet i EU forordning 245.



Krav til energieffektivitet for systemer med ikke-dæmpbare forkoblinger jf. EU forordning 245.

Brændestillinger

Alle former for lysstofrør og kompaktlysstofrør kan tænde og fungere i fri brændestilling, men er til gengæld følsomme overfor de temperaturmæssige ændringer, de forskellige brændestillinger kan medføre.

Lysstrømmen fra kompaktlysstofrør er afhængig af, hvor soklen er placeret i forhold til rørets [cold spot](#). Nærmere oplysninger for specifikke lyskilder kan indhentes hos leverandørerne.

Levetid

Almindeligvis ophører et lysstofrør med at fungere, enten når rørets fosforlag er slidt, eller alt emitterstoffet på elektroderne er brugt op og har sat sig som en sort belægning (sværtning) på rørets inderside. Mangel på emitterstof medfører en stigende tændspænding, der til slut bliver så høj, at røret ikke længere kan startes.

[Levetiden](#) kan defineres på mange måder. Den nominelle eller gennemsnitlige levetid angives især for de små kompaktlysstofrør og kompaktlysstoflamper, og er ca. 15.000 timer. Den gennemsnitlige levetid angiver antallet af brændtimer indtil halvdelen af de testede lyskilder er ophørt med at lyse.

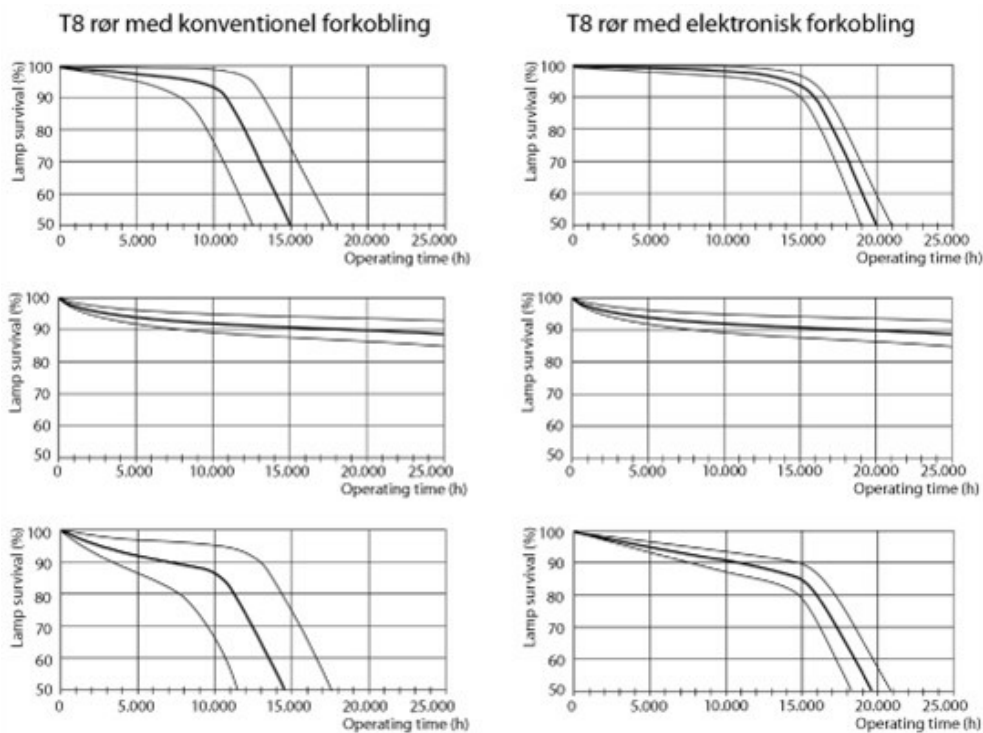
En mere fuldstændig angivelse af levetiden kan beskrives med servicelevetiden (service life). Det er den tid, der går, indtil lysstrømmen er faldet til 80 % som følge af både lyskildeudfald og lysstrømsnedgang. Begrebet "økonomisk levetid" ses også af og til anvendt og dækker sædvanligvis det samme, blot er lysstrømmen i dette tilfælde faldet til 70 %.

Levetider for lysstofrør baseres ofte på en 3 timers tænd-sluk frekvens. Afvigelser fra denne tænd-sluk frekvens har stor betydning for rørets levetid, fordi hver start (eller startforsøg) - uden særlig forvarmning - medfører en ikke uvæsentlig udslyngning af emitterstof fra elektroderne og dermed en forringet levetid. Hvis alle starter var kolde, ville levetiden blive forkortet til en tredjedel. Udfaldskurven i figuren viser faldet af funktionsdygtige rør, efterhånden som tiden går.

Levetider baseret på et 3-timers tændingsinterval (2 t. 45 min. tændt, 15 min. slukket) er beskrevet i 'IEC 60081 Double-capped fluorescent lamps - Performance specifications' og 'IEC 60901 Single-capped fluorescent lamps - Performance specifications'.

Der er dog masser af anvendelser, hvor lyset står tændt hele dagen. I disse tilfælde kan der tages udgangspunkt i en anden levetidstest, hvor lyset er tændt i 11 timer og slukket i en time. Levetider opgjort på den måde er noget højere end ved den tidligere nævnte 3-timers levetidstest.

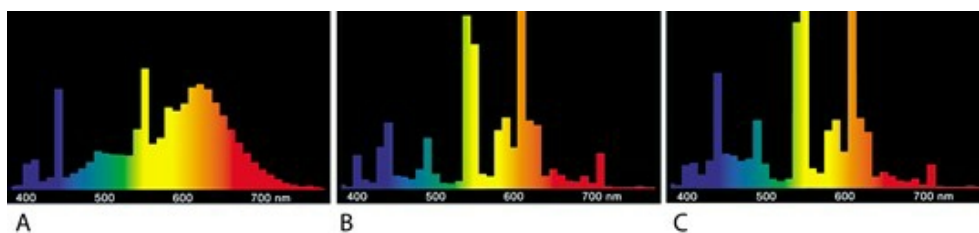
Typen af forkobling er afgørende for lysstofrørens levetid. Brug af elektroniske forkoblinger med forvarmning vil øge levetiderne med 40-80 %, hvilket fremgår af figuren.



Levetid af aflange lysstofrør med hhv. konventionel og elektronisk forkobling. Graferne gælder for en 12 timers cyklus (11 timer on/ 1 time off).

Spektral effektfordeling

Lyset fra lysstofrør udsendes i et såkaldt linjespektrum. I figuren vises eksempler på den [spektrale effektfordeling](#) fra lysstofrør med forskellige typer fluorescerende belægning.



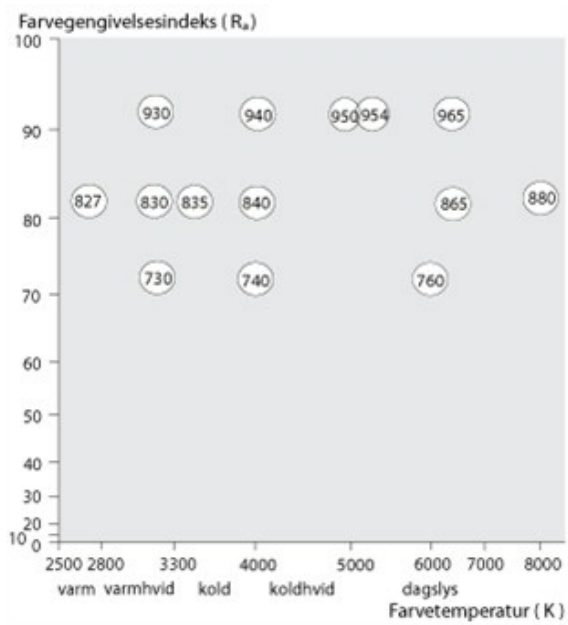
Eksempler på den spektrale effektfordeling fra forskellige typer fluorescerende belægning: 5-pulver 2.700 K (A), 3-pulver 2.700 K (B) og 3-pulver 4.000 K (C).

Effekten måles i inddelinger, hver af 10 nanometers båndbredde. Eventuelle høje spidser for specifikke bølgelængder vil følgelig udjævnes noget pga. denne båndbredde.

Farveegenskaber

Både lysstofrør og kompaktlysstofrør fås i udgaver med varierende farvetemperatur og Ra-indeks. De fleste rør har dog et Ra-indeks på 80-85 og standardlysfarverne er 2.700, 3.000 og 4.000 K. I figuren er de forskellige varianter indført.

Ved regulering af den tilførte effekt fra 0-100 % (i forbindelse med [dæmpning](#)), ændrer farvetemperaturen sig over et område på ca. 150 K. Ved en momentan ændring af den tilførte effekt fra minimum til maksimum vil der i en periode på 30-40 minutter herefter kunne opstå variationer af farvetemperaturen på op til ca. 400 K. Først herefter vil farvetemperaturen have stabiliseret sig.



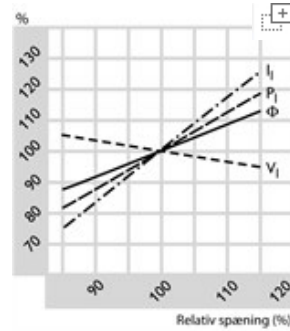
Lysstofrør findes i forskellige farvekvaliteter.

Lysstofrør og kompaktlystofrør er ikke specielt følsomme overfor variationer i forsyningsspænding.

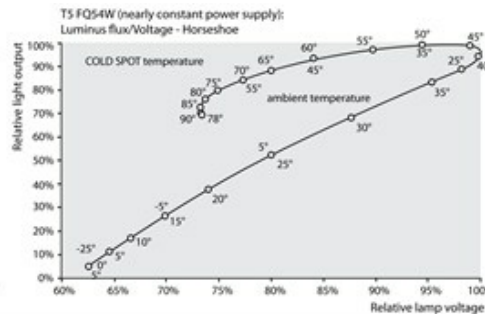
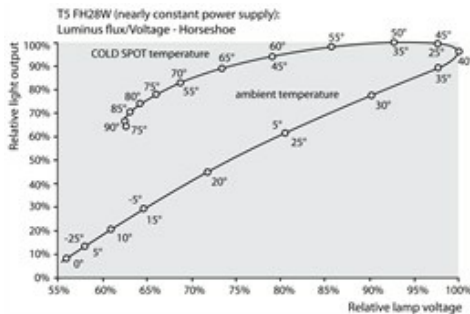
Eftersom de fleste lysrør i dag er forsynet med elektronisk forkobling, giver lyset fra disse lyskilder ikke anledning til synligt flimrer.

Spændingsforhold

Det anvendte forkoblingsudstyr har afgørende indflydelse på, hvordan evt. variationer i netspændingen påvirker lysstofrøret. Påvirkes strømmen i kredsløbet, ændres rørets optagne effekt og dermed gastykket og lysudsendelsen. Under normale forhold vil en 5 % spændingsvariation medføre en variation af [lysstrømmen](#) på under 10 % (se figuren). Levetiden påvirkes ikke nævneværdigt af små spændingsvariationer. Den nødvendige tændspænding afhænger i væsentlig grad af rørets omgivelsestemperatur. Den mindste tændspænding findes ved en temperatur på omkring 20 °C. Ved temperaturer over/under 20 °C stiger tændspændingen og hermed også kravene til starterkredsløbet. Såvel elektrodetemperaturen (skal helst være over 800 °C) som rør- og forkoblingstypen har betydning for starten af lysstofrøret.



Lysstofrørs spændingsafhængighed. Figuren viser, hvordan spændingen har betydning for både strømmen, effekten og lysudbyttet.



Temperaturen i cold spot har indflydelse på rørets driftsspænding. Figuren viser lysstrøm som funktion af driftsspænding, der igen afhænger af temperaturen i cold spot for hhv. et 28 W T5 HE rør og et 54 W T5 HO rør. I begge tilfælde er den optimale temperatur i cold spot ca. 40° C.

Strømforhold

Lysstofrørets lampestrøm har betydning for levetiden. Ved brug af konventionelle forkoblinger og reduceret forsyningsspænding vil lampestrømmen også reduceres. Elektroderne temperatur vil falde, og det vil forringe emitterstoffets evne til at udsende elektroner. Resultatet er en forhøjet spænding over elektroderne og stærkt øget slidtage af emitterstoffet. Lysstofrøret ophører med at fungere, når der ikke er mere emitterstof på elektroderne. Denne mekanisme bevirker en markant levetidsforringelse af lysstofrøret, når lampestrømmen er under 1/3 af den normale lampestrøm. Ved en højere lampestrøm en normalt opvarmes elektroderne mere end de er beregnet til. Det vil bevirke en forøget fordampning af emitterstoffet og en meget uens temperatur ad elektroderne. Resultatet er også i dette tilfælde en forringet levetid. Hvis lysstofrøret forsøges tændt uden forvarmning af elektroderne eller ved mindre lampestrøm end normalt, vil dette også slide uforholdsmæssigt meget på emitterstoffet og resultere i begrænset levetid. Startstrømmens størrelse er afhængig af forkoblingstypen. Når lysstofrøret afbrydes, falder damptrykket i røret øjeblikkeligt. Gentænding af røret kan derfor ske med det samme.

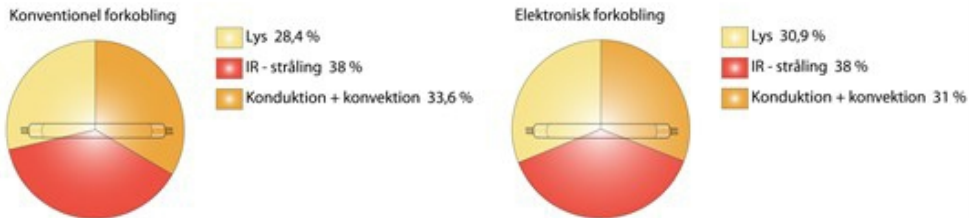
Fasekompensering og effektfaktor

For lysstofrør med en almindelig, induktiv forkobling vil strøm- og spændingskurven ikke være i fase. Dette forhold kompenseres ved at anbringe en kondensator i parallelforbindelse med forkobling og rør. Undertiden monteres en filterspole i serie med forkobling og rør. Dette sker for at dæmpe eventuelle styringsfrekvenser i forbindelse med elektronisk (højfrekvent) forkoblingsudstyr. Ifølge elværkernes fællesregulativ skal effektfaktoren $\cos\phi$ (hvor ϕ er et mål for hvor god fasekompenseringen er) typisk være større end 0,9. Elektronisk forkoblingsudstyr har normalt en $\cos\phi$ større end 0,9. På engelsk kaldes $\cos\phi$ for 'power factor'.

Effektforhold

Figuren viser, hvorledes effekten fordeler sig i et lysstofrør med henholdsvis induktiv og elektronisk forkobling.

Effektforhold i et lysstofrør med henholdsvis konventionel og elektronisk forkobling



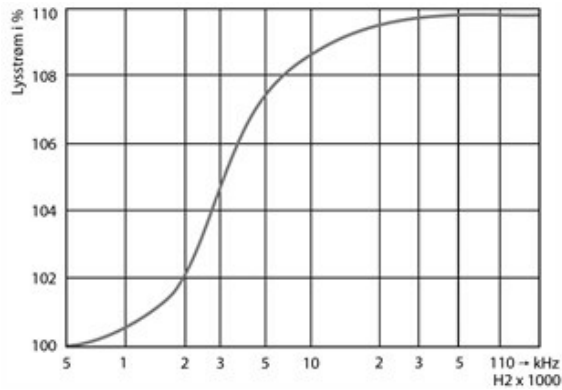
Effektfordeling i lysstofrør med hhv. konventionel og elektronisk forkobling. Konduktion og konvektion er varmeafledning gennem henholdsvis mekaniske dele og omgivende luft.

Flimmer

Udladningen i lysstofrør med konventionel forkobling tænder og slukker 100 gange i sekundet. Lyspulveret er ikke kun fluorescerende, men også fosforiserende, dvs. at det forsinker lysudsendelsen en lille smule. Dette gør de mørke perioder mindre mørke. Når lysstofrøret bliver gammelt, er lyspulveret ikke så fosforiserende, og [flimmer](#) bliver derfor tydeligere bl.a. ved rørets elektroder. Fordeles lysstofrør i et større belysningsanlæg jævnt på tre faser, mindskes flimmervirkningen. Flimmer fra lysstofrør kan elimineres ved at anvende elektroniske forkoblinger.

Frekvensforhold

Brug af højfrekvent spænding til drift af lysstofrør vil give en større effektivitet.



Lysstrømmen ved forskellige driftsfrekvenser. Med samme lampeeffekt øges lysstrømmen med op til 10 % ved en forhøjelse af driftsfrekvensen. Figur: FABA.

FORKOBLINGER

Valg af forkobling bør tage udgangspunkt i hvilken type styring, man ønsker samt lyskildetype og ikke mindst pladsforhold i armaturet.

Da lysstofrøret har negativ modstandskarakteristik, må der tilsluttes en strømbegrænsende enhed. Der findes følgende forkoblingstyper: Elektroniske, induktive, kapacitive og kombinationer af sidstnævnte. De elektroniske typer vinder større og større indpas pga. adskillige fordele, men især fordi effektiviteten af systemet stiger og dermed reducerer driftsomkostningerne. Desuden stilles der i EU forordning 245 krav om effektivitet af forkoblinger, som med tiden kun vil kunne opfyldes af de bedste elektroniske forkoblinger. Forkoblingerne inddeles i energiklasser benævnt A2, A3, B1 og B2. Klasse A2 er mest energieffektiv med et tab på kun ca. 10 %, mens klasse B2 har et tab på ca. 20-40 %. Efter år 2017 vil det ikke længere være muligt at producere eller importere forkoblinger til EU, som ikke opfyldes klasse A2.

Anvendes en induktiv modstand (drosselspole/ spole/reaktor/ballast= " L-kobling"), opstår der en faseforskel mellem henholdsvis lampestrøm og -spænding, således at strømmen er "bagud" i forhold til spændingen.

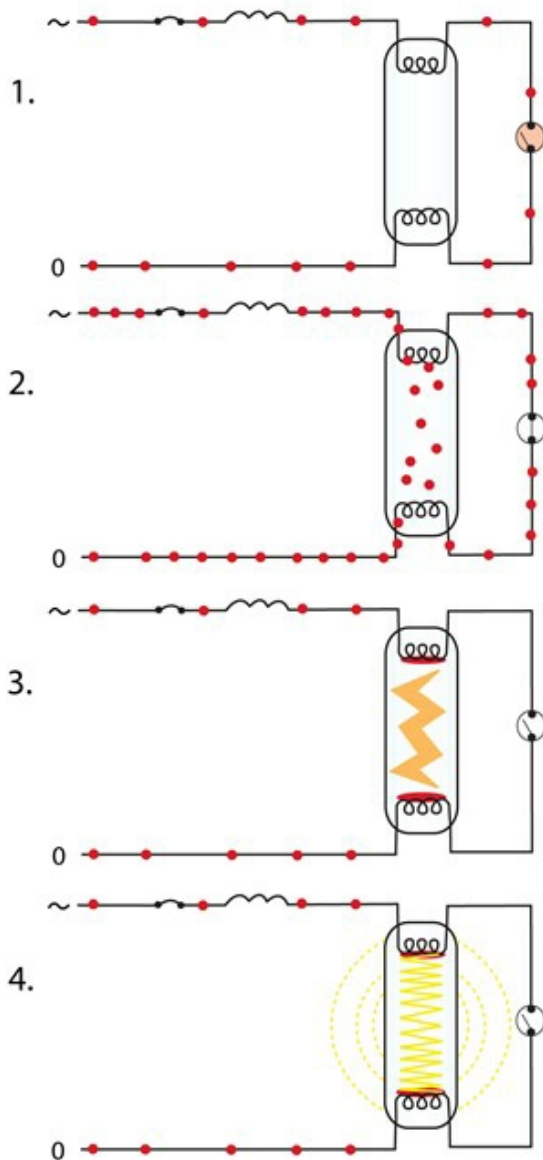
Den elektroniske forkobling erstatter i dag både den konventionelle drosselspole og starterkredsløbet. Funktionsprincippet er en omformning af netspændingsfrekvensen på 50 Hz til en højfrekvent (25-100 kHz) vekselspænding, som derefter driver lysstofrøret. Elektroniske forkoblinger er beskrevet i standarden IEC/EN 60929, AC-supplied electronic ballasts for tubular fluorescent lamps - Performance requirements. Fordelene ved de elektroniske forkoblinger i forhold til de konventionelle er mange:

Elektroniske forkoblinger kan fås i to dæmpbare udgaver, DALI eller 1-10V. Dæmpbare forkoblinger muliggør automatisk styring af lyset afhængig af f.eks. dagslysindfald eller bevægelse i rummet. DALI typer styres digitalt, og kan indgå i et system, hvor hver enhed har en bestemt elektronisk adresse. Det har en række styringsmæssige fordele. Ulempen er, at DALI forkoblingen normalt altid har et effektforbrug, selv når lyset er slukket. Effektforbrug er ca. 0,4 W pr. forkobling. 1-10V typer styres med et analogt signal, som kræver et individuelt signalkabel mellem hver forkobling og tilhørende kontakt. Fordelen er, at der intet effektforbrug er, når lyset er slukket.

Start af lysstofrør

Ved anvendelse af elektroniske forkoblinger er der ikke behov for en ekstern starter.

Start af lysstofrør med konventionel forkobling kan ske på flere måder. De tre hyppigst forekommende er: 1. glimtænderkredsløb 2. starterfri kredsløb 3. koldstart kredsløb. Glimtænder- og starterfri kredsløb anvender forvarmning af elektroderne, hvilket ikke er tilfældet ved koldstart kredsløb.



Startsituationen af lysstofrør med glimtænderkredsløb:

1: Kontakten i glimtænderen er afbrudt ved start. Strømmen tilsluttes, spændingen lægger sig over glimtænderen, og udladningen i glimtænderen finder sted.

2: Udladningen i glimtænderen opvarmer dens bimetalkontakt. Varmepåvirkningen får kontakten til at lukke og glimudladningen til at ophøre. Der kan nu løbe en strøm i lysstofrørets elektroder, som herved opvarmes til ca. 800 °C. Elektroderne er belagt med et materiale, som udsender elektroner ved disse høje temperaturer. Det letter den efterfølgende tænding af lysstofrøret.

3: Bimetalkontakten afkøles og åbner efter kort tid. Strømmen i kredsløbet afbrydes momentant. Resultatet er, at spændingen over drosselspolen stiger til over 1.000 V. Spændingen lægger sig over lysstofrøret og tænder en lysbue.

4: Lysstofrøret tænder. Efter kort tid bliver det et stabilt kredsløb. Ellers må processen starte forfra. Når lysstofrøret først er startet, er kredsløbet til glimtænderen ude af brug, fordi spændingen over glimtænderen da ikke er tilstrækkelig høj til at starte en glimudladning.

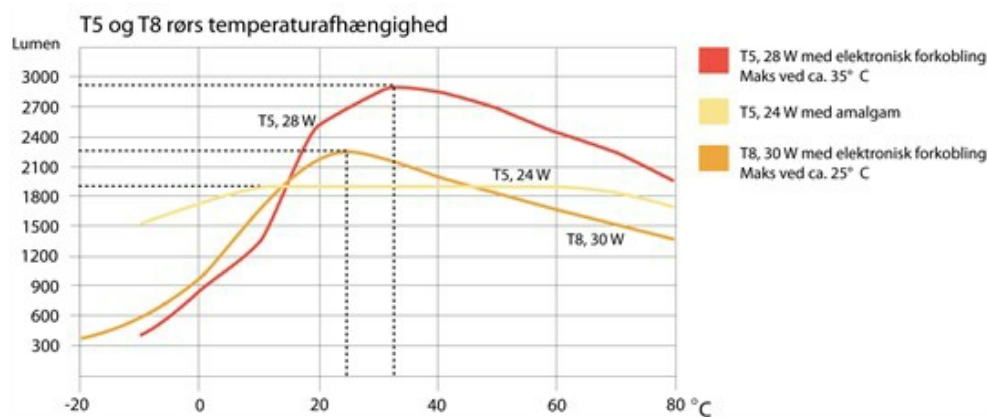
Glimtændere findes i flere varianter afhængig af den rørtype, de skal anvendes sammen med. De to hyppigst forekommende glimtændere er for lampespændingerne 60 og 100 V. Der findes halv- eller helelektroniske glimtændere og glimtændere, der afbryder defekte rør. Glimtændere skal skiftes ved skift af lysstofrør. De er beskrevet i standarden 'EN 60155 Glow-starters for fluorescent lamps'.

TERMISKE FORHOLD

Omgivelsestemperaturen har stor betydning for ydeevnen for både lysstofrør og kompaktlysstofrør. Denne type lyskilder er generelt ikke velegnet til meget lave omgivelsestemperaturer.

Den maksimale lysstrøm fra lysstofrør og kompaktlysstofrør opnås ved en temperatur på ca. 40 °C i rørets cold spot. Et T5-rør har cold spot ved overgangen mellem glas og metalkappe i den ende af røret, som er stemplet med fabrikantens navn. I et T8-rør findes [cold spot](#) midt på røret, mens cold spot i et kompaktlysstofrør normalt findes i den yderste spids af røret.

Mens et T5-rør udsender maksimal [lysstrøm](#) ved en omgivelsestemperatur på 35 °C, er den optimale omgivelsestemperatur for et T8-rør 25 °C. Hvis T5-rør monteres lodret i meget kolde omgivelser, skal stemplet på glasset være øverst for at sikre bedst mulige temperaturforhold, mens lodret montage i varme omgivelser bør ske med stemplet nederst. Forholdet mellem temperatur og lysstrøm er velbeskrevet i figuren.



Temperaturafhængighed for T5 og T8 rør. På abcissen er temperaturen af rørets cold spot.

Under forudsætning af ens driftsbetingelser er lyskilder med amalgam mindre følsomme overfor temperaturpåvirkninger end øvrige typer lysstofrør. Nye typer af lysstofrør benævnt "energibesparende lysstofrør" er derimod mere temperaturfølsomme end øvrige typer. Temperaturen har betydning for farven af det udsendte lys.

DRIFTSPROBLEMER

Fejl på lyskilder kan udgøre en sikkerhedsrisiko og resultere i dårlig belysning.

I visse tilfælde kan fejl på lyskilder desuden give anledning til skader og krav om erstatning. Følgerne af eventuelle skader kan ofte reduceres, hvis fejlen rettes hurtigt.

Nedenfor er listet hyppigt forekommende fejlsituationer i belysningsanlæg med lysstofrør kan være:

- Lysstofrøret starter langsomt eller slet ikke: Defekt rør, forkert rørtype, defekt starter, forkert startertype, dårlige kontaktforbindelser, netspænding for lav, omgivende temperatur for høj eller lav, for stor afstand mellem rør og jordet armaturkasse.
- Lysstofrøret har reduceret levetid: Røret tændes for hyppigt, mange koldstarter, lampestrømmen for høj, omgivelsestemperaturen for høj, forkert rør- eller startertype.
- Lysstofrøret bliver sortsværtet i enderne: Kviksvælvudfældning, dårlig kontaktforbindelse, forkert rørtype, elektroderne er uden ring, defekt eller forkert startertype, forkert netspænding, fejlagtig forvarmning af elektroderne.
- Lysstofrøret blinker: Emmitterstoffet opbrugt, forkert startertype, defekt starter, netspændingen for lav, omgivende temperatur for lav.
- Lysstofrørets lysstrøm er under nominel værdi: Dårlige kontaktforbindelser, netspændingen for lav, for stor afkøling af røret, omgivende temperatur enten for høj eller for lav, regulerings/styringsudstyr defekt.
- Lysstofrøret har forkert/anden lysfarve: Nye og gamle rør sidder ved siden af hinanden, forskellige farvetemperatur eller farvegengivelser, forskellig afkøling af armaturer.
- Lysstofrøret lyser violet: Røret er utæt og har trukket luft ind. Utætheder kan fremkomme ved blot en minimal krakelering i glasset.
- Lysstofrørets lys roterer, populært "åler". Skyldes enten løst lyspulver i udladningen (ses ved nye rør) eller dårligt fungerende HF-dæmpbart forkoblingsudstyr.

TYPISKE ANVENDELSER

Flourescente lyskilder anvendes til mange typer belysningsopgaver, f.eks. på kontorer, i industrien og i butiksmiljøer.

Både lysstofrør og kompaktlysstofrør anvendes i stor stil i mange professionelle miljøer, omend LED-armaturer er den foretrukne løsning i helt nye anlæg. Kompaktlysstofrør er særdeles velegnede i [downlights](#) til f.eks. gangbelysning, mens lysstofrør er velegnet til almenbelysning.

Disse lyskilder har desuden vundet betydelig indpas i private hjem i form af sparepærer i takt med udfasning af glødepæren. Det skyldes meget lave anskaffelses- og driftsomkostninger.

Til gade- og vejbelysning anvendes flourescente lyskilder næsten ikke længere, men optræder i stadig i forbindelse med f.eks. facadebelysning, tunnelbelysning og skilte- og reklamebelysning.

Typiske anvendelser er desuden nævnt i forbindelse med afsnittet om forskellige [armaturtyper](#).



Belysning med lysstofrør i boghandel.
Foto: Astrid Espenhain.



Lysstofrør er velegnede til både indbygning, som her i gelænder, og til almenbelysning, som her i en parkeringskælder. Foto tv: Silla Herbst. Foto th: Thorn.

UDVIKLING OG HISTORIE

De tidligste forsøg med lysstofrør blev foretaget i begyndelsen af det 19. århundrede, men først i 1852 lykkedes det at omdanne ultraviolet stråling til lys.

Det dengang anvendte, meget primitive lyspulver medførte et særdeles lavt lysudbytte. Omkring 1920 lykkedes det med brug af kviksølvgas under lavtryk at frembringe veldefinerede UV-spektrallinjer, hvorfra lys effektivt kunne fremstilles. Frem til 1935 fortsatte udviklingen med såvel elektroderne som det fluorescerende lyspulver, og i samme år kunne det første 2 fod (ca. 60 cm) lange lysstofrør fremvises i en udgave, der hovedsagelig udsendte grønt lys. Det lykkedes i 1938 at fremstille lysstofrør i en hvid og seks farvede udgaver. De første rør fremkom i 15, 20 og 30 W udgaver, som i 1940 blev suppleret med en 40 W udgave (med længden 1.200 mm). Denne udgave havde et [lysudbytte](#) på 52 lm/W og et [Ra-indeks](#) omkring 55 og blev hurtigt populær. I 1952-53 var det den hyppigst anvendte lyskilde til almindelig belysning på kontorer, i lagerområder mv. Udviklingen fortsatte. Ved at anvende bedre elektroder blev levetiden forlænget til 7.500 timer. Den ringe farvegengivelse blev forbedret ved fremkomsten af 'de luxe' rørene med Ra-værdier mellem 80 og 90. Den bedre farvegengivelse medførte dog en samtidig reduktion i lysudbyttet til 36 lm/W. Omkring 1970 fremkom nye pulverbelaegninger, samtidig med at rørdiameteren blev reduceret fra 38 til 26 mm. Herved steg lysudbyttet til ca. 75 lm/W, mens Ra-værdien kom til at ligge mellem 80 og 90. Med denne markante udvikling blev det bl.a. muligt at opnå en god farvegengivelse uden ekstra energiforbrug. Senere blev de tynde rør suppleret med en variant med en bedre farvegengivelse, Ra over 90, svarende til de bedste af 'de gamle lysstofrør'. Dette blev opnået på bekostning af lysudbyttet, der blev reduceret til ca. 50 lm/W. Kompaktlysstofrøret fremkom i sin første udgave i 1979 med en rørdiameter på 12 mm og en forholdsvis høj lysstrøm. Siden er der sket en kraftig udvikling af denne lyskildetype, både for typer med specialsokkel (benævnes fremover som kompaktlysstofrør) og typer med indbygget forkoblingsudstyr og gevindsokkel (benævnes fremover som sparepærer eller kompaktlystoflamper). Ikke mindst udviklingen af højfrekvent forkoblingsudstyr (HF) har betydet større lysudbytte og øget belysningskomfort. T5-røret så dagens lys i 1995. Det udmærker sig ved at være ca. 10 % mere effektive end T8-rør. Samtidig blev diameteren reduceret til kun 16 mm og længden mindsket 50 mm i forhold til T8 rør. De ændrede dimensioner gav store designmæssige og funktionelle fordele, bl.a. fordi det er muligt at styre lyset mere præcist med en reflektor, jo tyndere røret er. Den optimale omgivelsestemperatur på 35 °C var nøje tilpasset den reelle temperatur i et indendørs armatur. Det var et stort fremskridt, fordi temperaturen i indendørs armaturer til lysstofrør ligger tættere på 35 °C end 25 °C, som T5- og T8-rør fungerede bedst ved. En bedre udnyttelse af lysstofrør blev således muliggjort med lavere energiforbrug til følge. Året efter fremkomsten af T5-røret kom T5 HO (high output). Det fås i samme længder som de øvrige typer af T5-rør, men med en dobbelt så høj lysstrøm. Til gengæld var effektforbruget også mere end fordoblet. De kraftigste typer af T5-HO rør er på 80 W og kan udsende en lysstrøm på ca. 7.000 lm.



Cooper-Hewitt lysstofrør årgang 1908. Der var intet lyspulver i røret, så lysudbyttet var meget lavt. Tænding af lysstofrøret skete manuelt ved at vippe røret. Det aktiverede en kviksølv-mekanisme, der fungerede som starter.

INTRODUKTION

En sparepære består af et eller flere tynde og snoede eller bukkede lysstofrør. Mange sparepærer er forsynet med en kappe, der får udseendet til at minde om den klassiske glødepære.

Sparepærer er forsynet med en traditionel sokkel og har indbygget elektronisk forkobling. Det betyder, at de kan erstatte lyskilder med samme type sokkel.



Sparepære.

VIRKEMÅDE

Sparepærer har principielt samme virkemåde som lysstofrør.

Ligesom lysstofrør indeholder sparepærer en kviksølvgas under meget lavt tryk. Lyset fra en sparepære fremkommer også på samme måde som lyset fra et lysstofrør, dvs. via en [udladningsproces](#) i røret, der her er bukket én eller flere gange.

TYPER

Sparepærer kendetegnes ved at være forsynet med en form for standardsokkel, som gør, at de kan benyttes i mange almindelige armaturer.

Sparepærer har enten en standard skrue- eller bajonetsokkel (E27, E14, B22D eller B14D) eller en sokkel, som den vi kender fra [halogenlyskilder](#) med stiftsokler el.lign.

Oftentimes vil en sparepære være forsynet med en kappe, som får udseendet til at minde om den klassiske glødepæres matte glaskolbe. Et mindre udvalg er beregnet til erstatning af halogenlyskilder med indbygget reflektor. Derudover findes cirkulære sparepærer.

	Sparepære med kappe (E27)		Sparepære uden kappe (E27)
	E14		Reflektorsparepære (E27)
	GU10		GX53

Forskellige typer sparepærer.

OPBYGNING

Sparepæren består af flere elementer, hvoraf de centrale er selve røret og den elektronik, der sikrer at røret kan lyse.

I det følgende gennemgås de delelementer, der tilsammen udgør sparepæren, idet funktionen af selve udladningsrøret fungerer som andre lysstofrør.



Opbygning af en sparepære.

Udladningsrøret

De bukkede eller snoede lysstofrør fremstilles af en særlig slags blødt glas, kaldet blyglas. Rørdiameteren er ganske lille, ofte kun ca. 7 mm. Sparepærens elektroder er skjult af sparepærens sokkel.

Det fluorescerende pulver

Udvikling inden for fluorescerende pulver, der kan holde til den høje varmepåvirkning i tynde lysstofrør, har gjort det muligt at fremstille sparepærer. Belægningen af pulver beskytter samtidig glasset mod angreb fra kviksølvet, og det har bl.a. været med til at minimere kviksølvindholdet til 2-3 mg. Nye typer af pulver har også betydet en reduktion af opstartstiden. [Farvegengivelsen](#) bestemmes af sammensætningen af det fluorescerende pulver, og størsteparten af alle sparepærer har et Ra-indeks på 80-85. I sparepærer med højere farvegengivelse end 80-85 består det fluorescerende pulver af flere lag, hvilket nedsætter lyskildens [effektivitet](#).

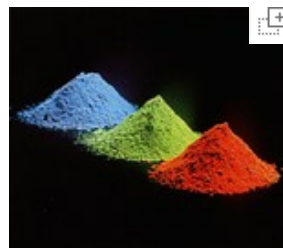
Elektroder

Lysstofrørets elektroder har to funktioner, nemlig at starte og drive røret. Elektroderne består af en glødetråd tilvirket af en wolframlegering. Tråden er snoet to eller tre gange om sig selv og forsynet med et materiale, som udsender elektroner ind i gassen, når der løber strøm i elektroderne. Dette materiale benævnes emitterstof. Mængden af tilstedeværende emitterstof er medbestemmende for rørets levetid. Elektroder bør forvarmes til ca. 800 °C før start med påtrykning af tændspænding. Manglende forvarmning belaster elektroderne unødigt hårdt, fordi emitterstoffet derved afskydes. Det forkorter levetiden og bevirker en sværtning af rørenderne.

Start uden forvarmning foregår hurtigere og er derfor i nogle situationer hensigtsmæssig, f.eks. ved trappebelysning. Skaderne forårsaget af start uden forvarmning kan minimeres ved at omgive glødetråden med en ring eller et rør.

Gasfyldning

Gassen består af en inaktiv gas og en smule kviksølv på dampform. Under drift vil volumenforholdet mellem kviksølvdampen og den inaktive gasart være omtrent 1 til 3.000. Den inaktive luftart består normalt af blandet argon, neon og krypton.



Fluorescerende pulver (lyspulver) til 3-pulver-rør er sammensat af tre fosfortyper, som på billedet her

er udsat for UV-stråling.

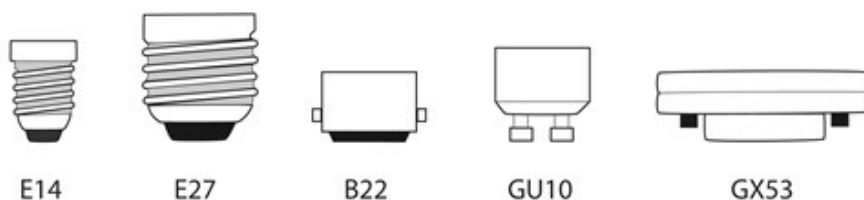
Figuren viser, at de tre komponenter hver især omdanner UV-strålingen til lys af farverne blå, rød og grøn. Med en passende vægtning af de tre farver i lyspulveret fås (additivt) farven hvid.

Et korrekt gastyk opnås først, når der er balance mellem mængden af flydende og gasformigt kviksølv. En stor del af kviksølvet bliver til damp, når lampen lyser, mens resten kondenserer til bittesmå perler på kolbens koldeste sted. Dette sted kaldes også cold spot, og temperaturen i [cold spot](#) er afgørende for lampens ydeevne.

For at etablere en korrekt dosering af kviksølv fra cold spot, skal alle fluorescente lyskilder indbrændes ved fuld styrke i 100 timer. Manglende indbrænding vil i starten af rørets levetid resultere i et lavt lysudbytte, forringet levetid eller "åling", hvor lyset forekommer at bevæge sig i røret. Da kviksølvdampen er meget følsom over for temperatursvingninger, kan der tilsættes et eller flere metaller. Herved dannes såkaldt amalgam (en kviksølvblanding), som medfører, at lysstofrøret kan anvendes inden for et større temperaturområde (omgivelsestemperatur).

Sokkel

Sparepærer findes med skruesokkel (E14 / E27), bajonetsokkel (B22d) eller stiftsokkel (GU10, GU9, GX53).



Sparepærer findes med flere forskellige sokler.

Elektronik

Den indbyggede elektronik skal tænde lysstofrøret med en højspænding for derefter at forsyne lysstofrøret med en passende højfrekvent strøm. Sparepæren har siden introduktionen i 1981 undergået en reduktion af vægten fra ca. ½ kg til ca. 150 g som følge af udvikling af elektronikken.



Fremstilling af sparepære. 1. Afskæring af rør i passende længde 2. Bøjning af rør 3. Belægning af rør med fluorescerende pulver. Fortrådning. Elektrodefilamenter. Pumperør 4. Luftudtømning og påfyldning med gas og kviksølv. Forsegling. 5. Montage af rør på bundplade 6. Samling af alle komponenter 7. Færdig sparepære.

LYSTEKNISKE DATA

Alle sparepærer udsender lys i et linjespektrum. Både levetid og lysudbytte er langt bedre end for gløde- og halogenglødepærer.

Lyset fra sparepærer er ofte varmt og farvegengivelsen er som regel 80-85.

De fleste sparepærer udsender lys i mange retninger og lyskilderne fås i forskellige størrelser lige fra mini-udgaver til såkaldte cluster-versioner til industribrug.

Foredelene ved sparepærer er en relativt lav pris, et lavt energiforbrug (sammenlignet med glødepærer) og længere levetid. Ulemperne er træg opstart, et begrænset spektrum, temperaturafhængighed og et miljøskadeligt indhold af kviksølv.

Lysstrøm

Valg af sparepære foregår normalt efter, hvor meget lys sparepæren udsender, dvs. pærens [lysstrøm](#). Private forbrugere sammenligner ofte med lysstrømmen fra en glødepære. Af figuren fremgår, hvilke sparepærer der kan erstatte hvilke glødepærer, når [lysmængden](#) skal være den samme.

Kravene til mærkning er angivet i tabellen herunder og stammer fra EU forordning 244/2009.

Lysstrøm af sparepære [lm]	Anført tilsvarende effekt af glødelampe [W]
125	15
229	25
432	40
741	60
970	75
1398	100
2253	150
3172	200

Tabellen viser krav til sparepærers lysstøm i forhold til, hvilken glødepære sparepæren ifølge EU forordning 244 kan erstatte (Annex II of 244/2009 | Chapter 3.1).

I lighed med andre typer af fluorescente lyskilder virker en sparepære kun korrekt efter 100 timers indbrændingstid. Først herefter giver det mening at måle lysstrøm, opstartstider mm. Standarden for sparepærer (IEC 60969) foreskriver, at lysstrømmen efter indbrændingstiden skal være mindst 90 % af den værdi, som er angivet på emballagen. Lysstrømmen skal holde sig nogenlunde konstant gennem levetiden, og EU Charter for sparepærer anbefaler, at lysstrømmen efter 2.000 timers drift er større end 88 % af den oprindelige lysstrøm ved start. Dette er også målet for kravene i EU forordning 244/2009, Annex II, part 3.1 og 3.2

Den almindelige forbruger lægger dog nok mest mærke til, hvor lang tid der går efter tænding, til

lysstyrken har stabiliseret sig. Halvdelen af lysstrømmen ved stabil drift opnås efter få sekunder, og fuld lysstrøm indtræder efter en opvarmningstid på op til 4-5 minutter. Nye typer har reduceret opvarmningstiden til ca. 30 sekunder ved brug af forbedret fosforiserende lag og elektrodedesign. Kravene i [EU forordning 244/2009](#), Annex II, part 3.1 og 3.2 er, at 60 % af lysstrømmen opnås inden 60 sekunder. Det er dog tilladt for lyskilder med amalgam at have dobbelt så lang starttid. Opstarttiden er meget temperaturafhængig, og de nævnte tider gælder kun ved indendørs brug, hvor temperaturen er ca. 25 °C.

Hurtigstartende udgaver af sparepærer har næsten fuld lysstyrke inden for 30 sekunder. Dette opnås ved anvendelse af forbedrede typer af det fosforiserende lag, forbedret elektrodedesign samt forbedret elektronik. Hurtigstart slider meget på elektroderne, og det er en stor udfordring både at opnå hurtig start og lang levetid.

Lysudbytte

En sparepæres [effektivitet](#) fremgår af energimærkningen. EU forordning 874/2012, som gælder glødetrådslyskilder, lysstofrør, højtryksdamplympere, diodelyskilder og lysdiodemoduler, beskriver den nødvendige mærkning.

EU stiller krav om ([EU forordning 874/2012](#)), at alle sparepærer skal være mindst A-mærket som angivet på figuren. Dette krav har været gældende siden 2009. Den krævede effektivitet for opnåelse af A-mærket ændrer sig med effekten af sparepæren. De mest effektive typer af sparepærer kan opnå en effektivitet på ca. 70 lm/W, idet de fleste sparepærer til husholdningsbrug ligger på 45-50 lm/W.

I [frostvejr](#) kan man opleve, at lyskilden aldrig kommer op i fuld styrke. Allerede ved 0 °C falder lysudbyttet til 50-70%, og særligt hvis soklen vender opad.

Brændestillinger

Der er stor forskel på lysstrømmen fra en sparepære afhængig af, om soklen vender opad eller nedad. Se også afsnit om [termiske forhold](#).

Levetid

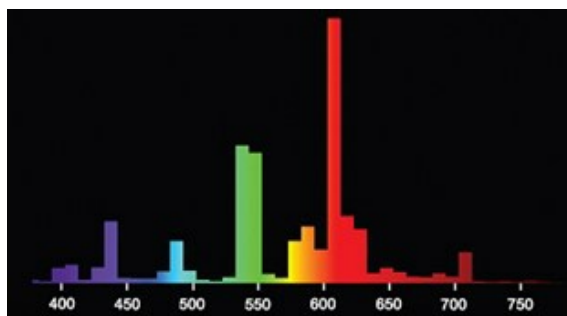
[Levetiden](#) for en sparepære er normalt 6.000-20.000 timer og defineres som den gennemsnitlige totale levetid for mindst 20 lyskilder. Den totale levetid måles fra det øjeblik en lampe tændes og til fuldstændig ophør af lysudsendelse. Driften af sparepærer under test foregår i perioder à 3 timer, hvor lyskilden er tændt i 2¼ time og slukket i ¼ time. Det er kun tiden i tændt tilstand, der tæller med i den totale levetid. Hyppigere tændinger vil normalt forkorte levetiden, mens færre tændinger vil forøge levetiden. Selve antallet af tændinger har også betydning for levetiden.

Levetiden begrænses især af en væskefyldt komponent (elektrolytkondensatoren) i den indbyggede forkobling, som tørrer ud ved længere tids brug. Nedslidning af det fosforiserende lag og afskydning af emitterstoffet på elektroderne vil med tiden også forringe sparepæren til et punkt, hvor den ikke længere kan anses for at fungere normalt. Anvendelse i kolde omgivelser vil besværliggøre start og øge belastningen af højfrekvensdelen af elektronikken.

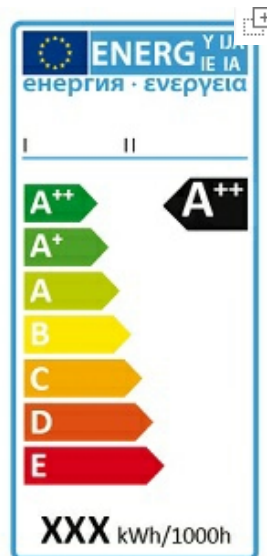
Levetiden er i øvrigt målt for en sparepære anbragt i en nøgen fatning ved omgivelsestemperaturen 25 °C. Som al anden elektronik forkortes levetiden ved høje temperaturer, som kan forekomme i lukkede armaturer, i højloftede rum, og i armaturer anbragt i isolerende omgivelser.

Spektral effektfordeling

Et eksempel på [spektralfordeling](#) for en sparepære er vist i nedenstående figur. Den viste spektralfordeling er typisk for fluorescente lyskilder, som altid udsender lyset i et [linjespektrum](#).



Typisk spektralfordeling for en sparepære.



Energimærke.

Farveegenskaber

Næsten alle sparepærer har et [Ra-indeks](#) på 80-85. [Farvetemperaturen](#) er typisk 2700 K, men der findes også varianter på 3000 K og 4000 K. Den angivne farvetemperatur skal overholde et sæt tolerancer, så brugeren ikke risikerer at få uensartet belysning. Kravet er (jf. IEC 60969), at de [kromatiske koordinater](#) skal ligge indenfor en 5-trins [MacAdam ellipse](#), hvilket betyder, at en synlig forskel på lyset fra lyskilder, der er anført med ens farvetemperatur kan forekomme.

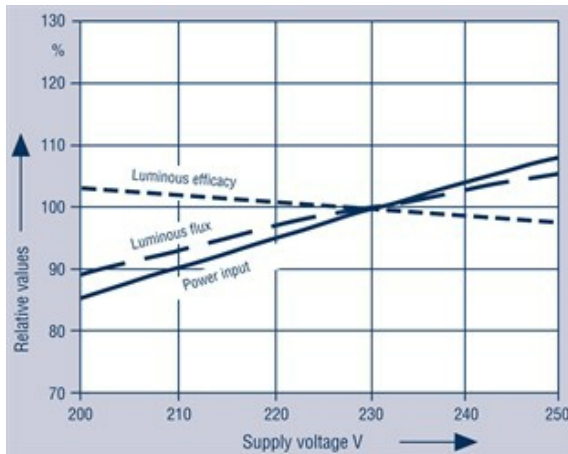
EL-TEKNISKE FORHOLD

Sparepærer er ikke specielt følsomme over for variationer i forsyningsspænding.

Eftersom alle sparepærer i dag er forsynet med elektronisk forkobling, giver lyset fra sparepærer ikke anledning til [flimrer](#).

Spændingsforhold

Sparepærers lysudsendelse påvirkes kun i ringe grad af ændringer i forsyningsspændingen. Som det fremgår af figuren, kan forsyningsspændingen variere op til ca. 10 %, før det får indflydelse på lysudsendelsen.



Sparepærers lysudsendelse påvirkes kun i begrænset omfang af variationer i forsyningsspændingen.

Strømforhold

En ofte anvendt parameter til karakterisering af sparepærer er effektfaktoren (på engelsk 'power factor'). Den angiver graden af forstyrrelse af el-nettet ved tilslutning af sparepærer. En normal sparepære (effekt mindre 25 W) vil give anledning til såvel en forskydning mellem strøm og spænding samt en forvrængning af strømmen. Effektfaktoren kan højst blive 1 svarende til ingen forstyrrelser. En lav effektfaktor giver anledning til eksponentielt stigende strømforbrug. I en normal husholdning har sparepærers effektfaktor ingen betydning for det samlede forbrug. Det skyldes, at husholdningsmaskiner som vaskemaskiner, tørretumbler etc. modvirker den begrænsede forstyrrelse, som sparepærer giver anledning til. Derfor er der ingen grund til at benytte sparepærer med højere effektfaktorer end 0,5. Højere effektfaktorer kræver en mere kompliceret elektronik, der lettere kan fejle og desuden forhøjer lampens pris. Samtidig øges de elektriske tab med nedsat effektivitet til følge, ligesom dimensionerne kan forventes at blive større pga. den forøgede mængde elektronik.

En stor undersøgelse foretaget af USAID sammenfatter globale erfaringer på området og konkluderer, at hverken forbrugere eller elforsyningselskaber har nytte af sparepærer med højere effektfaktorer end 0,5. Samme resultat når ELC til, som er den Europæiske sammenslutning af lampefabrikanter.

Sagen stiller sig anderledes ved brug af sparepærer med effekter over 25 W. Her er der krav om (EU forordning 244/2009), at effektfaktoren skal være mindst 0,9.

Effektforhold

Ca. 28 % af den tilførte elektriske effekt i en sparepære omdannes til lys. Resten afsættes som varme i den indbyggede forkobling (ca. 10 %), opvarmning af gassen (ca. 21 %) og opvarmning af det fluorescerende lag på indersiden af glaskolben (ca. 41 %).



Effektfordeling i sparepærer.

Flimmer

Det menneskelige øje kan ikke opfatte flimmer fra sparepærer pga. den højfrekvente drift af lysstofrørene. I sparepærens barndom eksisterede lavfrekvente sparepærer, som kunne udsende flimmer. Disse forekommer ikke længere. De var kendetegnet ved høj vægt (ca. ½ kg) og dimensioner som et middelstort syltetøjsglas.

Frekvensforhold

Frekvensvariationer i forsyningsspændingen har ingen indflydelse på drift af sparepærer. Det hænger sammen med, at forsyningsspændingens udglattes i en elektrolytkondensator. Normale sparepærer er dimensioneret til, at forsyningsspændingen kan have en variation af frekvensen mellem 50 Hz og 60 Hz.

FORKOBLINGER

Sparepærer kendetegnes ved at have en indbygget forkobling i selve lyskilden.

I alle nye sparepærer er den indbyggede forkobling elektronisk, hvilket betyder, at lyset fra en sparepære er flimmerfrit.

Kun få sparepærer er velegnet til [dæmpning](#). I de tilfælde, hvor en sparepære erstatter [gløde- eller halogenpærer](#), der styres af en lysdæmper, skal man derfor sikre sig at sparepæren er beregnet til dæmpning. Hvis den ikke er det, vil lysdæmperen blive varm og lyset vil blinke. Resultatet er i værste fald, at både sparepære og lysdæmper skal udskiftes.

Det er ikke altid muligt at læse sig til (på databladet eller emballagen), om sparepæren kan dæmpes med en bestemt lysdæmper. Det anbefales derfor at teste dæmpningen i praksis, og sikre sig, at lyskilden kan leveres tilbage, hvis dæmpningen ikke lykkes.

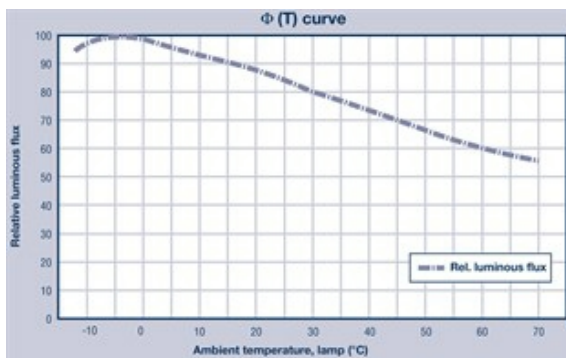
I nogle installationer er kontakten elektronisk. Størsteparten af de elektroniske kontakter virker imidlertid kun korrekt sammen med gløde- eller halogenpærer. Løsningen kan i disse tilfælde være at montere en enkelt halogenpære på samme forsyning, som trækker sparepæren.

TERMISKE FORHOLD

Opstartstiden for sparepærer afhænger både af omgivelsestemperaturen, og af hvilken vej sparepæren vender. Sparepærer er ganske temperaturfølsomme.

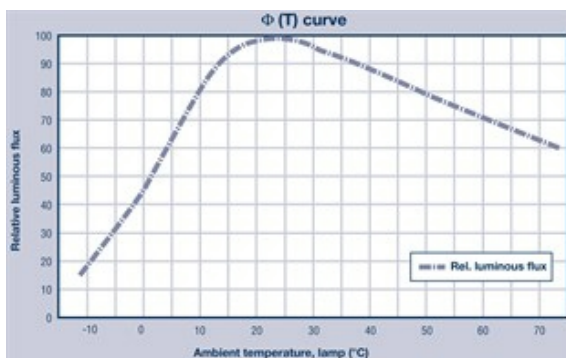
Udendørs brug af sparepærer ved lave temperaturer kan resultere i lange opstartstider.

Hvis soklen vender nedad, vil rørets egenopvarmning sikre, at rørets [cold spot](#) opvarmes til en passende temperatur, hvorved damptrykket i sparepæren stabiliseres. For sparepærer, der er monteret med soklen nedad, vil den største [lysstrøm](#) opnås ved en omgivelsestemperatur på -5 °C.



Lysstrøm som funktion af omgivelsestemperaturen for en sparepære, der er monteret så soklen vender nedad.

Ved indendørs brug af sparepærer bør soklen vende opad. Cold spot er ved denne position af lampen placeret på den yderste spids af røret, dvs. længst væk fra soklen, og stabiliseres ved en temperatur på ca. 45 °C, når omgivelsestemperaturen er ca. 25 °C.



Lysstrøm som funktion af omgivelsestemperaturen for en sparepære, der er monteret så soklen vender opad eller vandret.

TYPISKE ANVENDELSER

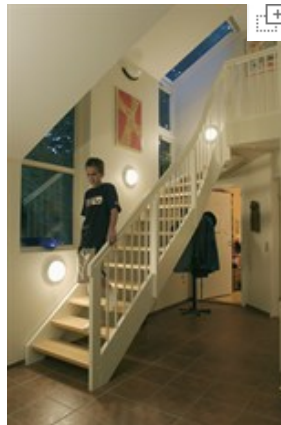
Sparepærer anvendes på steder, hvor det er passende at anvende en energieffektiv lyskilde og pladsen tillader det.

Ved anvendelse af sparepærer er det vigtigt at være opmærksom på lyskildens farvegengivelse og opstartstid.

[Farvegengivelsesindekset](#) er som regel på 80-85. I de sammenhænge, hvor farver skal gengives så korrekt som muligt, bør derfor vælges en lyskilde med bedre farveegenskaber.

Brug af sparepærer til belysning i trappeopgange og udendørs med tænd/sluk-automatik kan være problematisk, hvis opstarttiden er lang. I det tilfælde er der behov for lyskilder, der tænder straks. Hvis man derfor ønsker at anvende sparepærer i en trappeopgang, skal man vælge en type, der egner sig til de særlige tænd/sluk-forhold.

I private hjem er trappebelysning med sparepærer derimod ideel, fordi lyset her er tændt i lang tid ad gangen. Variation af forsyningsspændingen påvirker ikke sparepærer, men kan være medvirkende til en forkortet levetid af [halogen- og glødepærer](#). I de tilfælde er sparepærer at foretrække.



Sparepærer anvendt i vægarmaturer til trappebelysning. Foto: DCL.

UDVIKLING OG HISTORIE

Energikrisen i 1970'erne satte skub i udviklingen af mindre energikrævende lyskilder, der kunne anvendes i de eksisterende skruesokler.

Den første sparepære blev introduceret under stor mediebevågenhed i 1981.

Sparepæren havde et effektforbrug på 18 W og en [lysstrøm](#), der overgik en 60 W glødepære. Udseendet mindede om et omvendt syltetøjsglas og vægten var over ½ kg. Lyskilden repræsenterede ikke desto mindre et teknologisk gennembrud, som var blevet muliggjort af udvikling af en ny type af fosfor. Det lysende rør i en sparepære skal have dimensioner, som tillader en kompakt udformning. En passende diameter af røret var ca. 12 mm. Imidlertid forårsagede den begrænsede diameter, at temperaturen af det fosforisende lag blev så høj, at laget blev beskadiget. Det viste sig ved en hastig nedgang i lysmængden. Nye typer af fosfor muliggjorde levetider, som i første omgang var ca. 6.000 timer.

Få år efter blev vægten og størrelsen reduceret meget betydeligt ved benyttelse af en elektronisk miniatureforkobling i stedet for en konventionel [forkobling](#).

Udviklingen af sparepæren har bl.a. øget levetiden til over 10.000 timer og effektiviteten til ca. 50-70 lm/W for de mest effektive typer. Samtidig er prisen er faldet.

Markedet for sparepærer er gradvis blevet overtaget af LED-pærer, hvorfor udviklingen indenfor forlænget levetid, bedre [lysudbytte](#), mindre dimensioner, lavere [farvetemperatur](#), mulighed for dæmpning og hurtig opstart er stagneret.

INTRODUKTION

Betegnelsen udladningslamper (eller damplamper) anvendes om den gruppe lyskilder, som bl.a. tæller metalhalogenlamper og højtryksnatriumlamper.

Udladningslamper findes i høje wattager helt op til 2.000 W og i kompakte udgaver på kun 20 eller 35 W. Fælles for de fleste typer udladningslamper er, at de er energieffektive og udsender meget lys. Derfor anvendes udladningslamper også primært på steder, hvor man har brug for et relativt højt lysniveau.

De forskellige typer udladningslamper har forskellige [farveegenskaber](#). Både lysfarve og gengivelse af specifikke farver afhænger af de gasarter, der anvendes i de forskellige typer lyskilder. Højtryksnatriumlamper er f.eks. meget velegnede til varme farver og får appelsiner og brød til at se ekstra indbydende ud. Tilsvarende er metalhalogenlamper gode til kolde farver, hvorfor disse med fordel kan anvendes i tøjbutikker der sælger jeans og andet tøj i kølige farvenuancer.



Forskellige typer udladningslamper.

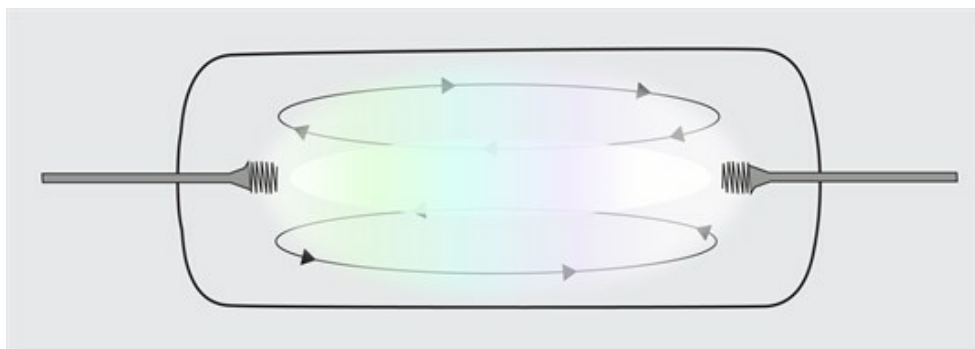
VIRKEMÅDE

Lyset fra udladningslamper udsendes via en udladningsproces i lyskilden, hvor det er selve gassen, som lyser

En udladningslampe består af en ydre glaskolbe, der omslutter og beskytter en gasfyldt beholder, hvori selve [udladningsprocessen](#) sker. Den gasfyldte beholder kaldes lyskildens brænder eller udladningsrør. Elektroder er placeret i hver ende af udladningsrøret og gassen lyser ved elektriske udladninger mellem elektroderne.

Elektroderne i udladningslamper består af wolfram, som er imprægneret med et emitterstof, der let frigiver elektroner.

Da alle udladningslamper har en negativ modstandskarakteristik, må en strømbegrænsende enhed indsættes i serie med lyskilden.



Hjertet i en højtryksdampslampe er brænderen, som indeholder en gas bestående af ren metaldamp. Gassen gennemløbes af en elektrisk strøm fra et sæt elektroder og udsender derved lys. Samtidig cirkulerer gassen i brænderen langs akse mellem elektroderne. Væggene i brænderen afkøler gassen. Lysudsendelsen ophører på dette sted, fordi temperaturen er for lav. Den lave temperatur muliggør i visse tilfælde, at metaldampen går i forbindelse med andre gasser i brænderen, og på den måde bliver uskadelig for brænderens vægge. Metaldamp i ren form er stærkt korroderende.

Metalhalogen

Under drift indeholder udladningsrøret i en metalhalogenlampe gas af typen metalhalogen. I kold tilstand er gassen bundet til et såkaldt metalhalogensalt, som først frigør gassen ved ca. 850 °C. Udladningerne i røret startes vha. af en inaktiv gas i røret, som kan bestå af enten krypton, neon eller argon. Derudover bidrager en smule kviksølv damp til denne proces.

Udladningerne udgår fra elektroderne, der er belagt med et emitterstof og udsender elektroner ved opvarmning. Dette nedsætter kravet til tændspændingens størrelse, som er mellem 500-5.000 V. Efter starten tændes en lysbue, og med stigende temperatur udsender lyskilden forskelligt farvet lys som følge af den fremadskridende fordampning af de forskellige metalhalogener.

Højtryksnatriumlamper

En højtryksnatriumlampe består af et keramisk udladningsrør, som indeholder en natrium/kviksølvforbindelse og er forsynet med elektroder. Udladningsrøret er beskyttet af en yderkolbe, hvortil soklen fastgøres.

Højtryksnatriumlampens elektroder er belagt med en blanding af yttrium, barium og kalciumoxider.

For at starte udladningen kræves en høj spænding over røret. Under opvarmningsforløbet skifter lysfarven fra kviksølvudladningens hvide farve til natriumudladningens gule.

Umiddelbart efter tænding og under det indledende opvarmningsforløb opfører natriumdampene sig som en lavtryksnatriumlampe. Ved et bestemt natriumdamptryk i udladningsrøret optræder imidlertid et fænomen kaldet selvabsorption, som bevirker, at resonanslinjer optræder på begge sider af de såkaldte D-linjer ved 589 nm.

Nyeste udgaver af højtryksnatriumlamper er uden tilsætning af kviksølv, som er erstattet af en anden hjælpegas, der hjælper natriumudladningen i gang.

En særlig variant af højtryksnatriumlampen er White SON, som produceres af Philips. I modsætning til de sædvanlige 10 kPa, er gastrykket her oppe på 95 kPa, hvilket dog stadig er lavere end atmosfærisk tryk.

På engelsk hedder grundstoffet natrium "sodium", hvorfor ordet sodium ingår i mange af lyskildebetegnelserne. Højtryksnatriumlampe kan oversættes til "high-pressure sodium lamp" og natriumlamper generelt til "sodium-vapour lamps".

Lavtryksnatriumlampen

Lavtryksnatriumlampen består af et tolags udladningsrør med elektroder i hver ende. Udladningsrøret er fyldt med natrium i fast form og indeholder desuden en hjælpegas bestående af en blanding af neon og argon.

Når udladningsprocessen startes, stiger temperaturen i udladningsrøret, hvorved en del af det faste natrium smelter og overgår til gasform. Ved 260 °C opnås det optimale natriumdamptryk, hvorefter lysudsendelsen er stabil.

Lyskilden udsender monokromatisk gult lys ved bølgelængden 589 nanometer.

Kviksølvlamper

Kviksøvlampen, som nu er udfaset, består af et kvartsudladningsrør med elektroder i hver ende og fyldt med kviksølv damp under højt tryk. På grund af et lavt tryk i den kolde kviksøvlampe og et stor afstand mellem elektroderne, må en såkaldt hjælpeelektrode starte ioniseringen af gassen, så selve udladningen kan ske.

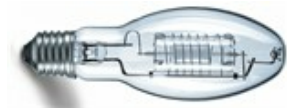
Gassen består primært af kviksølv tilsat en smule argon, som ret let ioniseres. Den opståede udladning breder sig igennem kvartsrøret som følge af det elektriske felt mellem elektroderne. Herved opvarmes elektroderne, og ved en vis temperatur overgår udladningen til en regulær lysbue, som udsender blåligt lys. Ved kollisionen mellem elektroner og kviksølvatomer, bliver der frigjort energi i form af både lys og UV-stråling. UV-strålingen omdannes til lys vha. en fosforbelægning.

Kviksøvlampen lyser først korrekt, når al kviksølv i kolben er fordampet og det optimale damptryk er nået.

TYPER

Udladningslamper findes i mange udformninger og faconer beregnet til forskellige anvendelser.

Mens metalhalogen- og højtryksnatriumlamper fås med både 1 og 2 sokler, har samtlige lavtryksnatrium- og kviksølvlamper kun en enkelt sokkel.



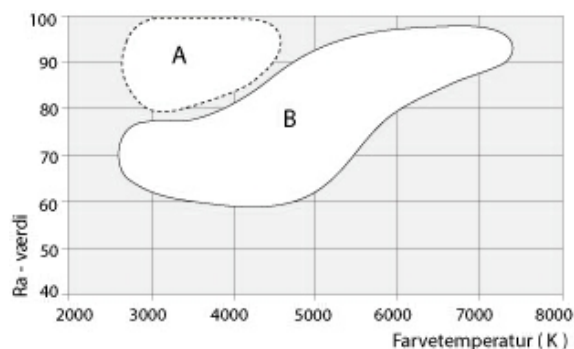
Metalhalogenlampe med ekstra beskyttelse.

Alle typer udladningslamper findes i høje wattager, mens metalhalogen- og højtryksnatriumlamper desuden anvendes i lavere wattager, f.eks. i butiksbelysning. Hos nogle leverandører går disse udgaver under betegnelsen kompakte damplamper, defineret ved at have en [korreleret farvetemperatur](#) (CCT) < 4200 K og en effekt < 250 W for rundstrålende lyskilde eller < 70 W for retningsbestemte lyskilder.

De kompakte damplamper har ofte forbedrede [farveegenskaber](#).

Metalhalogenlamper

Der findes mange typer metalhalogenlamper. Typerne adskiller sig fra hinanden ved deres kolbefaconen (elliptisk, rørformet), sokkeltype- og antal samt elektriske og fotometriske egenskaber. Typerne fordeler sig i to grupper afhængig af brænderens konstruktion.



Figuren viser typiske farveegenskaber for metalhalogenlamper med hhv. keramisk brænder (A) og kvartsbrænder (B).











Lyskilder med keramisk brænder har som regel en høj [Ra-værdi](#) (80-98) og [farvetemperaturen](#) ligger typisk mellem 2800 K og 4500 K. For lyskilder med kvartsbrænder varierer farveegenskaberne meget, hvilket fremgår af figuren. Lyskilder med en [lysstrøm](#) over 50.000 lumen fås stort set kun med kvartsbrænder. Med et effektforbrug på 3.500 W er muligt at opnå 350.000 lumen.

Kompakte udgaver af metalhalogenlyskilder af begge typer fås ned til effekter på 20 og 35 W. Begge typer lyskilder fås med skruesokkel (E27, E40), stiftsokkel (FC2, G12, GX10, PG12-2) og dobbeltsokkel (Rx7s, Rx7s-24). Det meget lille lyspunkt gør det muligt at fremstille meget effektive armaturer til disse lyskilder.

Visse typer er forsynet med en kraftig beskyttelse omkring brænderen, der tilbageholder eventuelle fragmenter som følge af eksplosion af lyskilden. I disse tilfælde stilles der ingen særlige krav til armaturet, og lyskilden kan mærkes med symbolet for tilladt anvendelse i åbne armaturer. I alle andre tilfælde skal armaturer beregnet til metalhalogenlamper være forsynet med en lukket beskyttelsesskærm for at kunne tilbageholde fragmenter ved eventuel eksplosion. Dette skal fremgå af lyskildens mærkning.



Forskellige typer metalhalogenlamper.

Metalhalogenlamper	Ny betegnning	Type	Sokkel
	HIT-DE HIT-DE	Metalhalogenlampe	RX7s, RX7s-24, FC2 RX7s, RX7s-24, FC2
	HIT HIT HIT HIT HIT	Metalhalogenlampe Keramisk metalhalogenlampe (Kun Osram) Keramisk metalhalogenlampe Keramisk metalhalogenlampe Metalhalogenlampe	E40 E27/E40 E27 E27/E40 E40
	HIT	Keramisk metalhalogenlampe	GX10 20,35W
	HIT	Keramisk metalhalogenlampe	GU6,5
	HIT	Metalhalogenlampe	PGJ5 20W
	HIT	Keramisk metalhalogenlampe (kun Philips)	G12
	HIT	Keramisk metalhalogenlampe	G12
	HIT	Keramisk metalhalogenlampe	G8,5
	HIT PAR	Keramisk metalhalogenlampe med reflektor.	E27
	HPI plus BU	Metalhalogenlampe	E40

Oversigt over typer af metalhalogenlamper.

Højtryksnatriumlamper

Højtryksnatriumlamperne kan opdeles i to grupper efter forkobling og natriumtryk:

- Lyskilder forsynet via induktiv forkobling (jernkernespoler) ved 50 Hz (gruppe 1)
- Lyskilder forsynet fra højfrekvent elektronisk forkobling (gruppe 2)





Lyskilderne i gruppe 1 kan opdeles efter trykket i udladningsrøret, som skitseret under [lysudbytte](#). Der findes stadig kun et lille udvalg af lyskilder i gruppe 2.

Udover opdelingen efter forkobling og tryk, fås højtryksnatriumlamper med forskellig typer sokler:

- Typer med skruesokkel. Små wattager har E27 sokkel, store har E40. Kolben er enten rør-, dråbe- eller ellipseformet og kan være klar eller opaliseret.
- Typer med stiftsokkel som f.eks. PG12 sokkel. Kolben er rørformet.
- Typer med to sokler. Typer under 200 W har sokkel Rx7s. Wattager herover har Fc2 sokkel. Kolben er stavformet og fremstilles i klart glas. Denne type anvendes til koblinger med hurtig gentænding.



Forskellige typer højtryksnatriumlamper.

Højtryksnatriumlamper	Ny betegnning	Type	Sokkel
	HSE	Højtryksnatriumdampslampe	E27/E40
	HST	Højtryksnatriumdampslampe/ WhiteSON	PG12-1
	HST	Højtryksnatriumlampe	E27/E40
	HST-DE	Højtryksnatriumlampe	RXs

Oversigt over typer af højtryksnatriumlamper.

Lavtryksnatriumlamper

Samtlige lavtryksnatriumlamper er rørformede og har bajonetsokler af typen By22d.



Lavtryksnatriumlampe.

Kviksølvlamper

Efter 2015 er produktion og import af disse lyskilder i EU jf. EU forordning 245, hvorfor lyskilden nu kun findes nogle få steder i Danmark.

De forskellige typer kviksølvlamper kan inddeles i følgende kategorier:

- 50 W, Ø56 x 130 mm, sokkel: E27
- 80 W, 115 x 72 mm, sokkel: E27
- 250 W, 92 X 227 mm, sokkel: E40

De forskellige typer findes i varianter med klart glas, fosforbelægning eller med reflektor.

Kviksølvlamper med klart glas findes i rør- og ellipseformede udgaver. Disse typer har en høj farvetemperatur omkring 6000 K og en meget ringe Ra-værdi, omkring 15.

Fosforbelægningen, som er medvirkende til lyskildens relativt varmt-røde lys, kan opdeles i tre grupper:

- standard, 4000 K
- special, 3300 K
- de luxe, 3000 K

Udover de beskrevne typer findes følgende:

- reflektorlamper belagt med en reflekterende belægning af titaniumoxid
- blandingslyslamper, som kan anvendes direkte til 230 V uden forkobling
- UHP-lamper til LCD videoprojektorer

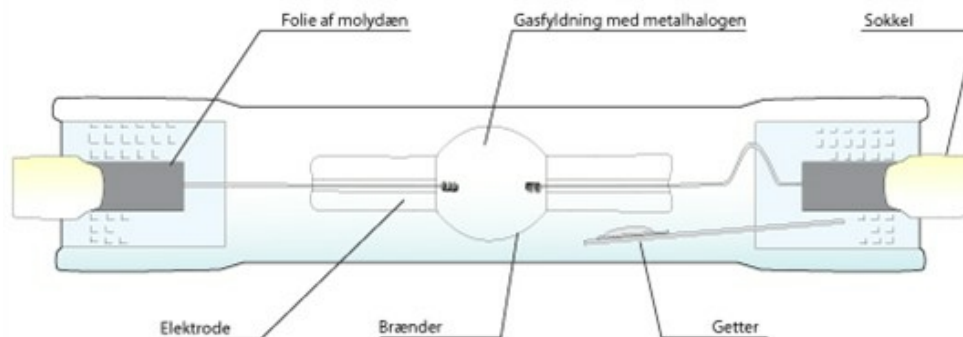


UHP-lampe.

OPBYGNING

Der er mange fællestræk i opbygningen af højtryksdamplamper.

Materialerne i lyskilden skal både kunne modstå høje temperaturer og aggressive gasser og samtidig være i stand til at indgå sammen i en gastæt konstruktion.



Opbygning af metalhalogenlampe.

Brænderen

Brænderen udgør hjertet i en højtryksudladningslampe/en højtryksdamplampe og skal have en meget præcis temperatur for at lyset kan opnå de korrekte egenskaber. Derfor er det anbragt inden i en form for termoflaske, hvor den er fuldstændig isoleret fra omgivelserne. Der må ikke være "kolde" punkter ([cold spots](#)) på udladningsrøret, som skal holde en temperatur omkring 850 °C. For at sikre ensartede temperaturforhold i hele røret, kan en varmerefleksor af zirkondioxid være monteret omkring elektroderne i udladningsrøret.

Afhængig af temperaturen, smelter de forskellige metaller helt eller delvist. Ændring af temperaturen forandrer derfor gassens sammensætning og dermed lysets [farvetemperatur](#).

Udladningsrøret kan være fremstillet af kvarts eller det keramiske materiale PCA (polykrystallinsk aluminium). PCA er mere varmebestandigt end kvarts. Det giver mulighed for mindre brændere, der tåler højere temperaturer, og dermed sikrer højere grad af fordampning af metallerne, hvilket medfører øget [effektivitet](#) og bedre [farvegengivelse](#).

Mindre dimensioner af brænderen vil resultere i en mere ensartet lysfordeling. Samtidig kan PCA fremstilles med større nøjagtighed end kvarts, hvilket forbedrer de elektriske og mekaniske egenskaber. Endvidere er PCA mere resistent overfor kemisk angreb fra de aggressive gasser, og levetiden er således også forbedret.

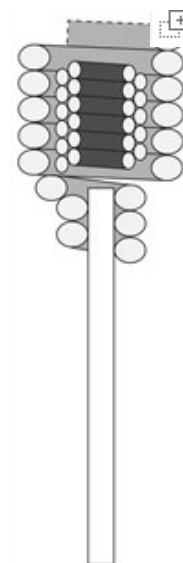
Elektroder

To elektroder er placeret i udladningsrøret. Elektroderne består af metal, som både er varmebestandigt og modstandsdygtigt over for metaldampene i brænderen. For at være gastæt, skal elektrodematerialet have samme termiske udvidelseskoefficient som det materiale, brænderens kolbe består af.

Elektroderne består af et stykke wolfram, hvorom en tynd wolframtråd er snoet. Denne elektrodekonstruktion har en stor overflade, som kan optage store mængder emitterstof. Emmitterstoffets funktion er at øge elektrodernes udsendelse af elektroner i forbindelse med start af lyskilden.

Under driften slides emitterstoffet, hvilket reducerer lyskildens levetid. Emmitterstoffet på elektroder i metalhalogenlamper består af en oxidtype, som afhænger af de anvendte metaljodider i udladningsrøret. I højtryksnatriumlamper består emitterstoffet af en blanding af yttrium-, barium- og kalciumoxider. I kviksøvlamper anvendes typisk yttriumoxid som emitterstoffet.

For at sikre en gastæt gennemføring af tilledningerne gennem yderkolben anvendes enten molybdænofolie (for kvartsbrændere) eller nikkel/niobium (for keramiske PCA brændere). Keramiske brændere er afsluttet i begge ender af kapillarrør, som wolframelektroderne er indført i. Wolframelektroderne er her svejset på et kort stykke spiraliseret molybdæn, der i den anden ende er svejset på en tråd af nikkel eller



Tværsnit af elektrode.

niobium. Nikkel og niobium udvider sig med temperaturen i samme takt som PCA og giver derved mulighed for en gastæt gennemføring af tråden gennem kapillarrøret. Lavtryksnatriumlamper har dog tillæddninger af krom/jern/nikkel, der ikke reagerer kemisk med natrium.

Kolbe

Yderkolben udgør en mekanisk og termisk beskyttelse af brænderen. Kolben kan indeholde en gas som f.eks. nitrogen, der dels hindrer iltning (oxidering) af lyskildens indre dele og dels sikrer mod kortslutning. Den fungerer desuden som filter for UV-B og UV-C stråling.

Kolbens facon er typisk rør- eller ellipsoformet. Den ellipsoformede kolbe belægges undertiden med fosfor, der omdanner en del af lyskildens UV-stråling til rødt lys. Denne metode er dog ikke meget anvendt, da resultatet kun giver få procent mere lys i den røde ende af [lysets spektralfordeling](#).

Kolbens glastype bestemmes af kolbens temperatur. Derfor har metalhalogenlyskilder med effekter under 100 W oftest en kolbe fremstillet af blødt glas, mens øvrige typer benytter kolber af kvartsglas.

Gasfyldning

Gassen har flere funktioner. Den skal først og fremmest kunne lyse og sikre tænding af lampen. Fordampede metaller i ren form lyser, når de tilføres energi fra elektroderne. Mens metalhalogenlamper indeholder en sammensætning af flere metaller, der overgår til dampform under driften, indeholder de øvrige typer udladningslamper blot et enkelt eller få metaller. Sammensætningen af gassen bestemmer lampens effektivitet, tændspænding og driftsspænding samt lysets farvetemperatur og farvegengivelse.



Sammensætningen af gassen i en udladningslampe er bl.a. bestemmende for udladningslampens farvetemperatur.

Gassen i metalhalogenlamper er stærkt korroderende. Dette gælder specielt den del af gassen, som befinder sig i midten af brænderen mellem elektroderne, hvor temperaturen er højest. Gassen cirkulerer hele tiden i brænderen, og vil i den forbindelse komme i kontakt med brænderens vægge, hvor temperaturen og trykket er lavere. Den lavere temperatur og tryk bevirker, at gassen kan indgå i en kemisk forbindelse med jod, hvorved den bliver langt mindre korroderende og dermed ikke skader brænderens vægge. Gassen cirkulerer videre, og når den igen passerer mellemrummet mellem elektroderne, vil den på ny opvarmes, hvorved den kemiske forbindelse med jod splittes, så gassen udelukkende består af ren metaldamp og igen er velegnet til lysudsendelse.

Gassen skal som nævnt sikre tænding af lampen. I kold tilstand er metallerne bundet til metalsalte i fast form eller som kondenseret kviksølv, og kan derfor ikke lede strømmen mellem de to elektroder. Højtryksnatriumdamp lamper benytter en tændgas bestående af xenon, hvorimod de øvrige typer udladningslamper benytter en gas bestående af enten argon i kombination med kviksølv damp eller neon tilsat 1 % argon. Sidstnævnte blanding kaldes en "penning" tændgas.

Tændgassens sammensætning er bestemmende for, hvor høj tændspænding, der er behov for. Tændspændingen er normalt enten 800 V eller 3.500 V. Efter tænding vil gassen opvarmes til ca. 5.000 K, og der vil ske en fordampning af de faste metaller som kviksølv og metalhalogener. Først herefter opnås korrekt gastryk og gassammensætning.

Visse udladningslamper tillader en del af gassen at passere gennem udladningsrøret og gassen bruges i så fald som fyldning mellem udladningsrør og yderkolbe. Yderkolben er enten gasfyldt, fyldt med normalt kvælstof, eller lufttom. Eventuelle brintforekomster (vand) i yderkolben bindes kemisk ved brug af et såkaldt getterstof.

Udladningslampens driftsspænding bestemmes ligeledes af gassens sammensætning. I metalhalogenlamper bruges en kombination af natrium-jod og scandium-jod sammen med kviksølv for at opnå en driftsspænding på 90-100 V.

Sokkel

Metalhalogenlamper fås med forskellige sokkeltyper, herunder skruesokkel, bajonetsokkel, stiftsokkel, dobbeltsokkel (sokkel i begge ender). Nogle typer er blot forsynet med kabelender.

Små typer højtryks-natriumlamper (under 100 W) fremstilles med E27-sokkel, mens større typer har E40-sokkel. De mest almindelige sokler til højtryksnatriumlamper er BY22d, E27, E40, Fc2, G12 og RX7s. Notationen for sokler er beskrevet under [halogenlamper](#).

Lavtryks-natriumlampen er typisk forsynet med enten bajonetsokkel (BY22) eller stiftsokkel (G13).

Kviksøvlamper er forsynet med skrue- eller bajonetsokkel. For wattager til og med 125 W anvendes E27 eller B22d, mens wattager herover benytter en E40 sokkel.

Man skal altså være opmærksom på, at mange udladningslamper har samme sokkel, som lyskilder beregnet til netspænding (f.eks. E27), men ikke kan tåle dette.

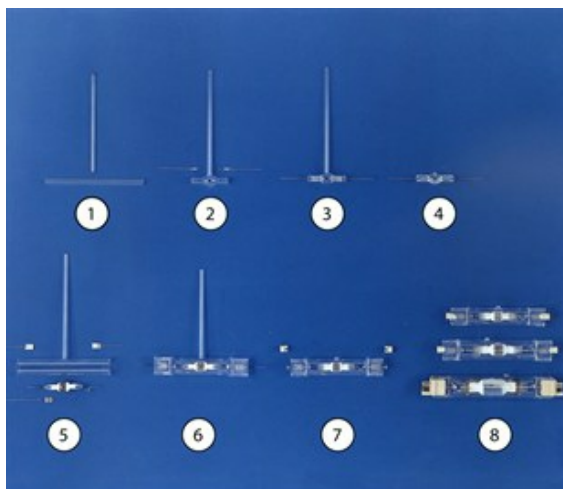


Sokler til udladningslamper. Fra Osram "Indoor and Outdoor" 2008-2009.

Getter

Opretholdelse af vakuum i udladningslampens yderkolbe er afgørende for at sikre en korrekt temperatur af brænderen. Samtidig er det vigtigt at hindre iltten i kolben i at korrodere dele af den nikkel, som tilledningerne ofte består af.

En såkaldt getter bestående af zirkonium indfanger de få iltmolekyler og brintforekomster, som måtte være i kolben.



Fremstilling af metalhalogenlampe med kvartsbrænder. 1. Afskæring af kvartsrør i passende længde. 2. Formning af brænder ud fra kvartsrør. Montage af pumperør på brænder. Påsvejsnings af elektroder på fortrådning 3. Forsegling af elektrodesystem. 4. Luftudtømmning af

brænder, påfyldning af gas og metalsalte. Forsegling af brænder. 5. Montage af pumperør på kvarts kolbe. Påsvejsning af ydre fortrådning til eksisterende fortrådning 6. Forsegling af fortrådning i begge ender af kolben. 7. Luftudtømmning og forsegling af kolbe. 8 færdige lamper med effekterne 70 W, 150 W og 250 W.

LYSTEKNISKE DATA

De lystekniske egenskaber varierer for de forskellige typer af udladningslamper. Derfor egner de sig også til forskellige formål.

Nogle typer udladningslamper/damplamper er langt mere effektive end andre, ligesom der er betydelig variation i [farveegenskaberne](#).

Generelt gælder, at høje wattager har et højere [lysudbytte](#) end lave wattager, ligesom udladningslamper med få linjer i [spektralfordelingen](#) har et højere lysudbytte end typer med mange linjer.

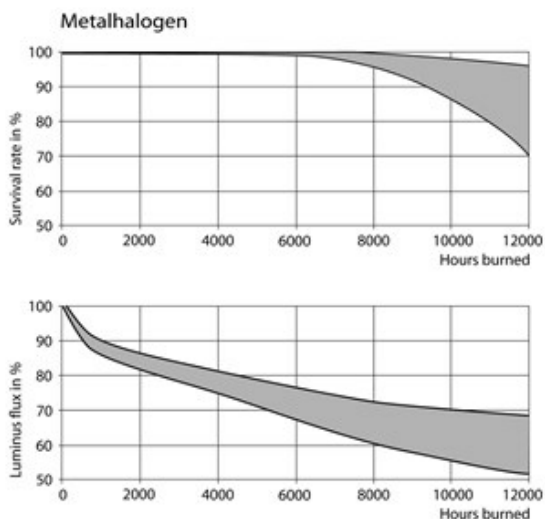
På samme måde kan man som hovedregel regne med, at de største wattager har den længste levetid.

I det følgende gennemgås lystekniske data ([lysstrøm](#), lysudbytte, spektralfordeling og [levetid](#)) for hver af de fire typer udladningslamper.

Metalhalogenlamper

For metalhalogenlamper afhænger både [lysstrømsnedgang](#) og lysudbytte af de anvendte metalhalogener. Metalhalogenlampernes lysstrøm aftager relativt hurtigt i forhold til andre typer udladningslamper, hvilket skyldes en kraftigere sværtning af brænderen.

Metalhalogenlampens nominelle lysstrøm angives efter 100 timers drift. Efter start gennemløber metalhalogenlampen forskellige [lysfarver](#), efterhånden som lyskilden opvarmes. Lyskilden udsender sin fulde lysstrøm efter 2 til 3 minutter.



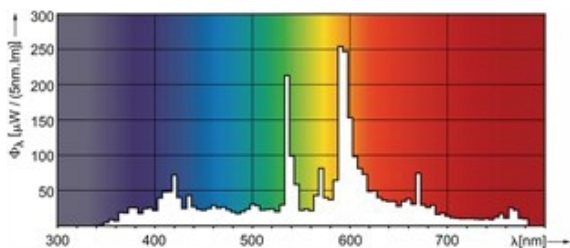
Øverste kurve viser levetiden for metalhalogenlamper. Nederste kurve viser lysstrømsnedgangen henover lyskildens levetid.

Lysudbyttet for metalhalogenlamper er generelt højt og ligger mellem 70 og 100 lm/W afhængig af wattage og spektralfordeling.

Brændestillingen er afgørende for lyskildens lys- og farvemæssige funktion. De fleste metalhalogenlamper skal brænde i horisontal (vandret) stilling, mens nogle få typer skal brænde vertikalt (lodret). Man bør nøje følge producenternes anvisninger.

Metalhalogenlamper kan opdeles i to grupper afhængig af deres spektralfordeling:

- udgaver med få (op til 3) linjer i spektret og højt lysudbytte.
- udgaver med tilsyneladende sammenhængende spektrum (så mange og så tætte linjer, at spektret virker sammenhængende). Disse lyskilder har et relativt lavt lysudbytte.



Typisk eksempel på spektralfordeling for metalhalogenlampe med 3 linjer.

Metalhalogenlampers levetid afhænger af lampestrømmen, der bestemmer temperaturen og dermed fordampningen af emitterstof. Lyskildetyper med få spektrallinjer har en nominal levetid omkring 12.000 timer. Andre typer (med flere spektrallinjer) har en kortere levetid. Den økonomiske levetid varierer mellem 6.000 og 8.000 timer for lyskildetyper med få spektrallinjer.

Det er dog ikke altid den økonomiske levetid, der er afgørende for lyskildens udskiftning. Lyskilden undergår nemlig en ændring i lysfarve, der af kvalitetsmæssige årsager bør føre til en tidligere udskiftning. For visse fabrikater angives derfor en anbefalet levetid, hvor der netop er taget disse hensyn. Den [anbefalede levetid](#) er kortere end den [økonomiske levetid](#).

Levetidskurver for metalhalogenlamper baseres normalt på 12 timers driftsperioder med lyskilden tændt i 11 timer og slukket i 1 time. Ved reduktion af driftsperioden, vil levetiden blive forringet. En halvering af driftsperioden (til 6 timer) reducerer typisk levetiden med 30 %. Konsekvenserne af en levetidsforringelse kan være så forskellige og uoverskuelige, at lyskildeleverandørerne bør konsulteres i hvert enkelt tilfælde.

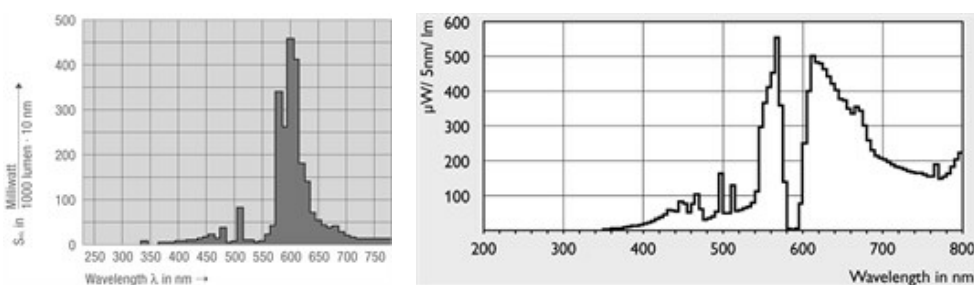
Højtryksnatriumlamper

Lysstrømmen fra højtryksnatriumlamper falder kun lidt gennem lyskildens levetid. Lysstrømsnedgangen skyldes primært sværtning af udladningsrøret som følge af udslynget emitterstof, sekundært en gråtoning af udladningsrøret som følge af en begrænset kemisk reaktion mellem natriumgassen og aluminiumoxiden. Den nominelle lysstrøm angives som lysstrømmen efter 100 timers drift og der går fra 6 til 7 minutter fra lyskilden startes til fuld lysstrøm er nået.

Højtryksnatriumlampernes lysudbytte er bestemt af driftstrykket i lyskilden. Højtryksnatriumlamperne kan opdeles i 3 grupper:

- Lamper med et lavt tryk (10 kPa) og et lysudbytte omkring 98 lm/W
- Lamper med mellemtryk (40 kPa) og et lysudbytte omkring 80 lm/W
- Lamper med højt tryk på ca. 1 atmosfære (95 - 100 kPa) og et lysudbytte omkring 40 lm/W. (White SON)

De fleste højtryksnatriumlamper kan anbringes i en vilkårlig brændestilling. Undtaget er de rørformede, 2-soklede udgave, der kræver horisontal (vandret) brændestilling.



Figuren viser spektrale effektfordelinger for en højtryksnatriumlampe med et Ra-indeks på kun 25 (tv) og for en White SON lyskilde med et Ra-indeks på 80 (th).

Farvetemperaturen spænder fra 2000 til 2500 K. Anvendes højfrekvent [forkoblingsudstyr](#), stiger farvetemperaturen til op i mod 2800 K. Farvegengivelsesindekset, Ra, for de tre lyskildegrupper varierer mellem 20 og 80, hvilket fremgår af figuren. Forøges trykket yderligere i udladningsrøret, vil Ra-værdien falde.

Den nominelle levetid for højtryksnatriumlamper ligger for type A og B omkring 24.000 timer, mens levetiden er noget mindre for lyskildetyper med et højt farvegengivelsesindeks (type C). Når lyskilden er udbrændt, vil den typisk stå og blinke. Udgaver uden kviksølv har ikke denne ulempe. Den økonomiske levetid varierer også efter lyskildetypen og ligger for type A og B mellem 10.000 og 16.000 timer og for type C på 8.000 timer.

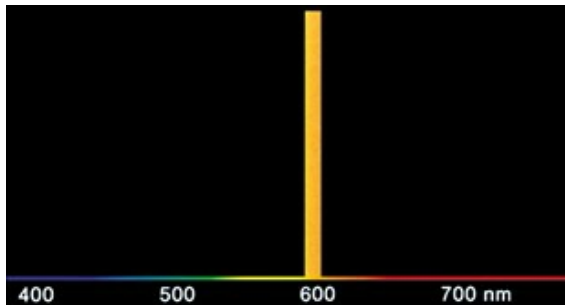
For alle typer gælder, at farvegengivelsesindekset falder gennem lyskildens levetid og den anbefalede levetid er for type C angives til ca. 5.500 timer, hvorefter lyskilden bør udskiftes. Levetidskurver for højtryksnatriumlamper baseres på driftsperioder af 10 timers varighed efterfulgt af mindst 1 times afkøling. Afvigelser herfra har betydning for levetiden. Således giver kortere driftstider en kortere levetid.

Lavtryksnatriumlampen

Sammenlignet med andre lyskilder er lysstrømsnedgangen for lavtryksnatriumlamper meget moderat. Lavtryksnatriumlampen bruger op imod 15 minutter, før den opnår maksimal lysstrøm og den nominelle lysstrøm angives som lysstrømmen efter 100 timers indbrænding.

Lavtryksnatriumlampens monokromatiske lys ved bølgelængden 589 nm sikrer en meget effektiv lyskilde, da det menneskelige øje har sin maksimale følsomhed i netop dette område. Lysudbyttet, der stiger med wattagen, ligger i intervallet 70 til 160 lm/W. Brændestillingen er afgørende for lyskildens levetid. Derfor må producentens anvisninger følges nøje.

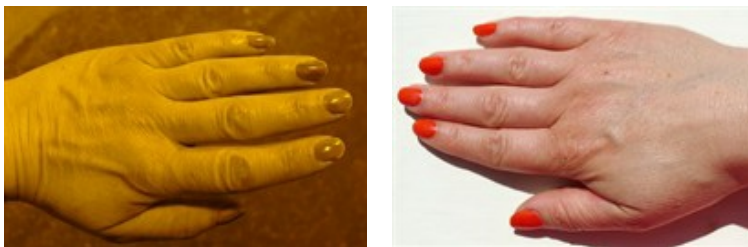
I figuren ses den spektrale effektfordeling. I det synlige område findes udelukkende to meget tætliggende linjer, der samlet benævnes D-linjerne.



Spektral effektfordelingskurve for lavtryksnatriumlampe.

Lyskildens monokromatiske natur gør det vanskeligt at bestemme farvetemperaturen, men typisk angives denne til 1700 K. Forsøger man at udregne [Ra-værdien](#), bliver den negativ, hvilket i lyskildeoversigter normalt fortolkes som et nul, dvs. Ra=0.

Lavtryksnatriumlampens nominelle levetid er omkring 15.000 timer. Levetidsophør skyldes i reglen enten mekaniske fejl (på udladningsrør eller yderkolbe) eller mangel på elektrodernes emitterstof. Lyskildens økonomiske levetid ligger omkring 11.000 timer. Tænd-sluk frekvensen har nogen - men ikke så stor - betydning for levetiden, da elektroderne kun bliver lettere belastet i tændingssituationen.



Alle farver forsvinder i lyset fra lavtryksnatrium (tv). Til højre ses den samme hånd i dagslys.

Kviksølvlamper

Lysstrømsnedgangen hen over levetiden varierer for forskellige typer kviksøvlamper og skyldes generelt, at emittermateriale er kondenseret på udladningsrørets inderside. Kviksøvlampers nominelle lysstrøm angives som lysstrømmen efter 100 timers indbrænding. Efter start af kviksøvlampen er lysstrømmen op til 5 minutter om at nå sin nominelle værdi, fordi alt kviksølv først skal nå at fordampe.

Klare kviksvøvlamper (dvs. uden belægning på kolben) har et lavere lysudbytte end typer med belægning, hvilket skyldes belægningens omdannelse af UV-stråling til lys.

Kviksvøvlampen kan principielt brænde i alle stillinger.

De fleste kviksvøvlamper har en neutral lysfarve (3400-4200 K) og et Ra-indeks 60 eller ringere.

Den nominelle levetid for kviksvøvlamper ligger mellem 16.000 og 24.000 timer.

EL-TEKNISKE FORHOLD

De forskellige typer udladningslamper har varierende følsomhed over for variationer i strøm og spænding.

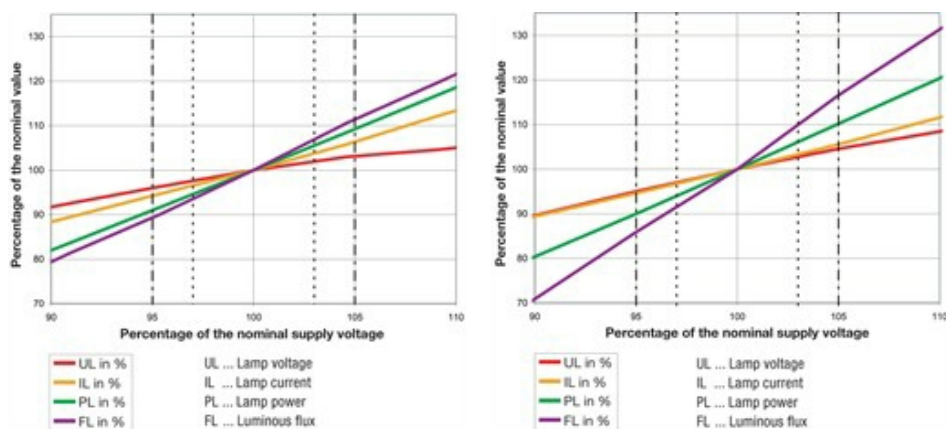
Bortset fra lavtryksnatriumlampen er alle typer udladningslamper følsomme overfor spændingsvariationer, som bl.a. påvirker lyskildens [lysstrøm](#).

De fleste typer udladningslamper, kan ikke tændes straks efter slukning, hvilket skyldes det høje damptryk i udladningsrøret. Først efter et fald i temperatur og tryk kan lyskilden gentændes. Eneste undtagelse er igen lavtryksnatrium.

Metalhalogenlamper

Metalhalogenlamper er følsomme over for spændingsvariationer og spændingsvariationer omkring 10 % giver anledning til tydelige farveforandringer i lyskilden. Spændingsstigninger medfører tillige en reduceret levetid, f.eks. vil en spændingsstigning på 10 % vil forkorte levetiden med ca. 10 %.

Metalhalogenlamperne starter ikke uden en høj tændspænding, mest almindeligt 4-5 kV. Hvis en metalhalogenlampe er forsynet med en eller anden hjælpeforanstaltning, enten i form af specielle elektroder eller en speciel gas, kan den tænde ved lavere tændspænding.



Spændingsafhængighed af metalhalogenlamper med hhv. kvartsbrænder (tv) og keramisk brænder (th).

Metalhalogenlamper er følsomme over for ændringer i lampestrømmen. Således vil en spændingsstigning på 10 % resultere i en lampestrømsstigning på ca. 15 %. Som beskrevet tidligere medfører dette en reduceret levetid som følge af et større slid på lyskildens elektroder. Forkobles metalhalogenlampen induktivt, er startstrømmen mellem 40 og 90 % højere end driftsstrømmen. Efter start normaliseres strømmen i lyskilden efter 2-3 minutter.

Metalhalogenlamper kan ikke gentændes umiddelbart efter slukning, og der må normalt regnes med 15-20 minutter, før gentænding er mulig. Stavformede typer med dobbeltsokkel kan forsynes med et specielt tændaggregat, der gør øjeblikkelig gentænding mulig ved tændspændinger op imod 60 kV. Dette kræver specielle kontakter og isolering.

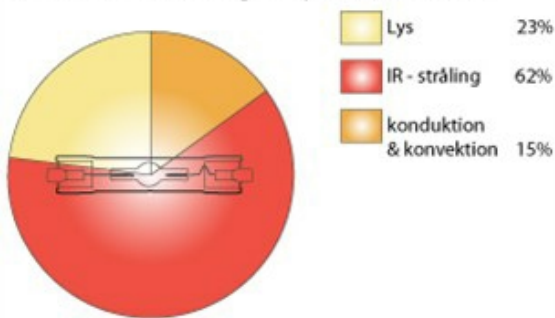
En høj strømtopfaktor er også med til at forkorte lampens levetid. Derfor kan der ikke anvendes en forkobling udelukkende med kapacitiv modstand.

For metalhalogenlamper ligger faseforskydningen, $\cos\phi$, for induktive forkoblinger mellem 0,5 og 0,7, hvorfor fasekompensering er nødvendig. Hertil anvendes en kondensator med en værdi angivet af lampefabrikanten.

De mange forskellige typer af induktivt forkoblede typer betyder, at der forekommer flere forskellige værdier af overharmoniske strømme. Den totale overharmoniske strøm varierer således mellem 2 % og 25 % af strømmen ved netfrekvensen 50 Hz.

Effektforhold i en metalhalogenlampe inkl. forkoblingsudstyr. Al tilført elektrisk effekt omsættes i metalhalogenlampen/forkoblingen, og omsætningen sker forskellige steder, som vist i figuren for metalhalogenlamper med mange spektrallinjer (gruppe b). Den resulterende lysstrøm er ikke imponerende, da strålingen udsendes i de områder af [det synlige spektrum](#), hvor [øjets spektrale følsomhed](#) er mindst

Effektforhold i en metalhalogenlampe, Ra >90, 4100K, 400W



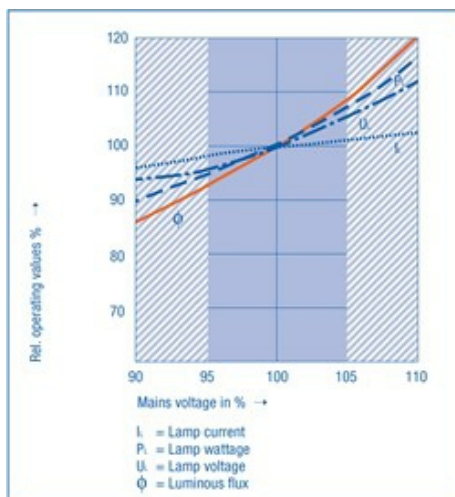
Effektfordeling i metalhalogenlampe.

[Flimmer](#) fra metalhalogenlamper afhjælpes bedst ved at anvende elektroniske HF-forkoblinger. Alternativt kan lyskilderne fordeles jævnt på anlæggets 3 faser.

Tilsluttes metalhalogenlamper af de større typer en sinusformet højfrekvent spænding, opstår et antal resonansfrekvenser. Disse kan forekomme fra 4 kHz og er ikke ens for de forskellige wattager. Resonansfrekvenserne afhænger af brænderens dimensioner og elektrodeplaceringen. Anvendes i stedet en firkantet forsyningsspænding kan resonanserne undgås. Lyskildens elektriske data ændrer sig i så fald kun minimalt, hvorimod de lystekniske egenskaber forbedres (reduceret [lysstrømsnedgang](#), mere stabil [lysfarve](#) og længere levetid). Der er fremkommet en række konstruktionstekniske forbedringer af metalhalogenlamperne i de senere år. Dette gælder især for små wattager og fortrinsvis typer med stiftsokkel eller to sokler. Denne nye type er udviklet således, at resonans forhindres ved at anvende elektroniske forkoblinger, der er fremstillet netop til den pågældende lyskilde.

Højtryksnatriumlamper

Højtryksnatriumlamper påvirkes af netspændingsvariationer, idet disse påvirker både lampespændingen og -effekten. Da der er amalgam i udladningsrøret, påvirkes lampespændingen let af både for høje temperaturer og for høj netspænding. Lampespændingen stiger imod lyskildens levetidsophør. Ved lampespændinger over 160% af nominal værdi slukker lyskilden helt. Tændspændingen afhænger af lyskildens wattage og temperaturen i udladningsrøret, og ligger typisk mellem 1,5 og 5 kV (ved en omgivelsestemperatur på ca. 250 °C). Laveste tændspænding fås ved en temperatur på 280 °C i gassen.



NAV® 4Y®: 150- 400 W
 NAV®: 150-1000 W
 NAV® SUPER 4Y®: 100- 600 W

Spændingsafhængighed af højtryksnatriumlamper med effekter på 100-1000W.

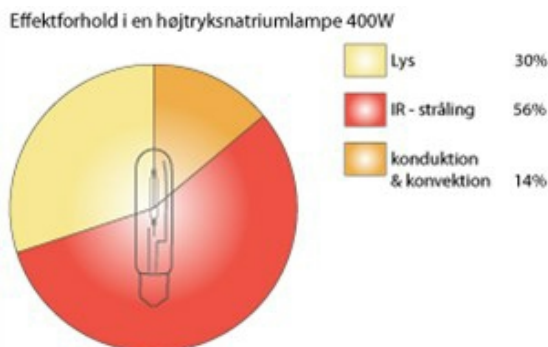
Er lampestrømmen for høj, vil det reducere levetiden. Anvendes induktiv forkobling bliver startstrømmen omtrent 25 % højere end den tilsvarende driftsstrøm.

Højtryksnatriumlampen kan normalt gentændes inden for omkring et minut afhængig af type og

tryk i brænderen. Typer med indbygget starter med bimetalkontakt kræver dog op imod 15 minutters afkøling, før nedkølingen er tilstrækkelig til gentænding. For de 2-soklede, typer findes en højspændingsstarter (tændspænding over 20 kV), som gør øjeblikkelig gentænding mulig. Endvidere findes specielle typer, der er udstyret med to ens udladningsrør, hvor det "kolde" rør straks går i gang, hvis der indtræffer et kort strømsvigt.

For højtryksnatriumlampen er faseforskydningen, $\cos\phi$, ved induktive forkoblinger mellem 0,4 og 0,5, hvilket i normale installationer kræver fasekompensation.

For induktivt forkoblede højtryksnatriumlampen vil de overharmoniske strømme udgøre mellem 15 % og 30 % af den samlede strøm.



Eksempel på effektforhold i en højtryks-natriumlampe inkl. forkoblingsudstyr. Al tilført elektrisk effekt omsættes i højtryks-natriumlampen/ forkoblingen, og omsætningen sker forskellige steder

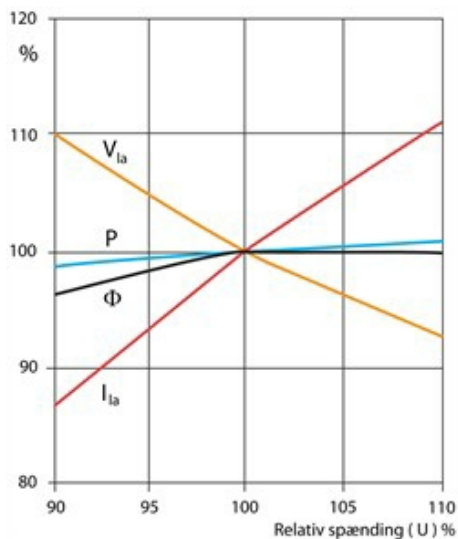
Flimmer forekommer kun sjældent i højtryksdamplampen, fordi natriumudladningen har en efterglød, der begrænser de mørke perioder ved 50 Hz.

Tilsluttes en almindelig højtryksnatriumlampe en sinusformet højfrekvent spænding, kan der opstå resonanspunkter i lyskilden fra 2 til 20 kHz. De mange og forskellige resonanspunkter skyldes det lange og tynde udladningsrør. Anvendes derimod en firkantspænding, forsvinder samtlige resonanspunkter. Det betyder både en levetidsforlængelse og en mindre lysstrømsnedgang end ellers. Der findes højtryks-natriumlampen med små wattager, som fremstilles til samhørende elektroniske forkoblinger. En firkantspænding med frekvensen 400 Hz kan ved hjælp af kraftige og kortvarige impulser få en lampe (meget lig type a) til at opnå kraftigt forbedrede egenskaber, såsom et [Ra-indeks](#) over 80 og øget [farvetemperatur](#). [Lysudbyttet](#) daler til godt 50 lm/W

Lavtryksnatriumlampen

I lavtryksnatriumlampen har netspændingsvariationer kun ringe indvirkning på udladningsrørets elektrodespænding og -strøm. Det betyder, at såvel lysstrøm som lampeeffekt nærmest forbliver konstant. Ved faldende netspænding stiger lampespændingen. Det gælder også, når lyskildens levetid nærmer sig sin afslutning.

Tændspændingen afhænger af lyskildens wattage og ligger typisk mellem 500 og 1.500 V. Lyskilder tænder selv ved lave temperaturer og ofte ned til -40 °C.



Lavtryks-natriumlampers spændingsafhængighed beskrevet med netspændingens indflydelse på lampestrømmen (I_{la}), lampespændingen (V_{la}), effekten (P) og lysstrømmen (Φ).

Lavtryksnatriumlampen kan startes umiddelbart efter, den er slukket, hvis den er tilsluttet et kredsløb med starter. I modsat fald varer gentænding et par sekunder.

Faseforskydning afhænger af den anvendte forkoblingstype. For små wattager anvendes simpelt opbyggede induktive forkoblinger. Til større wattager benyttes mere kompleks opbyggede induktive forkoblinger. Typisk ligger faseforskydningen for de simpelt opbyggede typer, $\cos\phi$, mellem 0,3 og 0,5, for komplekse typer omkring 0,9.

De forskellige forkoblingstyper medfører en bred variation af indholdet af overharmoniske strømme, typisk mellem 15 % og 70 %. I et almindeligt 3-faset belysningsanlæg skal der derfor tages hensyn til strøm i nul-lederen.

Flimmer kan reduceres eksempelvis ved at fordele et belysningsanlægs lyskilder på de forskellige faser i et tre-faset system.

Ved højfrekvens drift af lavtryksnatriumlampen har det vist sig, at lysudbyttet stiger med ca. 15 % ved 500 kHz.

Kviksøvlamper

Spændingsvariationer fra el-nettet påvirker spændingen over udladningsrøret og dermed lysudsendelsen og lampestrømmen. Men modsat andre udladningslamper kan kviksøvlampen tåle store udsving og stadigvæk fungere acceptabelt. Tændspændingen afhænger af temperaturen i udladningsrøret. Den mindste tændspænding på ca. 110 V fås ved en rørtemperatur på henved 70 °C. Ved temperaturer over/under 70 °C stiger tændspændingen langsomt, således at tændspændingen er 250 V ved henholdsvis -40 °C og +210 °C.

Kviksøvlampers spændingsafhængighed er beskrevet ved spændingens indflydelse på lampestrømmen (I_{la}), effekten (P) og lysstrømmen (Φ).

Kviksøvlampens effektforbrug, og dermed også lysstrømmen, ændrer sig som følge af ændringer i lampestrømmen. De heraf følgende temperaturændringer i udladningsrøret har ingen indflydelse på lyskildens levetid.

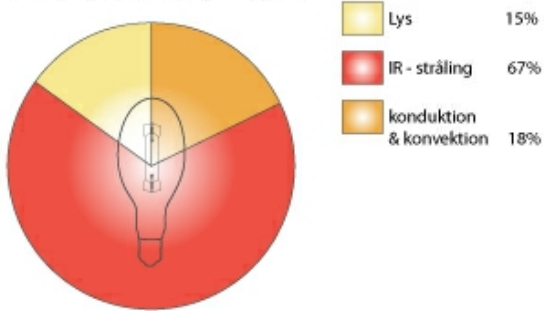
Forløbet af kviksøvlampers startstrøm (I_{la}) og startspænding (V_{la}) i minutterne efter start. Startstrøm og startspænding måles her i procent af den resulterende lampestrøm og lampespænding.

Kviksøvlampen kan ikke tændes straks efter slukning, hvilket skyldes det høje kviksølv damptryk i udladningsrøret. Først efter et fald (varighed 5-6 minutter) i såvel temperatur som tryk kan lyskilden gentændes.

Kviksøvlamper har en forskydning af strøm- og spændingskurven ved induktiv forkobling. Typisk vil denne faseforskydning have en $\cos\phi$ mellem 0,5 og 0,7. Det er derfor nødvendigt med fasekompensation, hvorved $\cos\phi$ forbedres til en værdi større end 0,85. Blandingslyslampen giver ikke anledning til nogen faseforskydning.

Lampespændingens form resulterer i harmoniske strømme (især 3. og 5. overharmoniske). Disse overharmoniske strømme betyder, at der kan forekomme strøm i et 3-faset systems nulleder. Ved forsyningsfrekvensen 50 Hz kan de overharmoniske strømme udgøre op imod 25 % af den totale strøm.

Effektforhold i en kviksløvlampe 400W



Effektforhold i en kviksløvlampe med fosforbelægning ink. forkoblingsudstyr. Al tilført elektrisk effekt omsættes i kviksløvlampen og forkoblingen, og omsætningen sker forskellige steder, som vist i figuren.

Tilsluttes kviksløvlamper forsyningsnettet med netfrekvensen 50 Hz, kan flimmer opstå som følge af strømmens 100 nulgennemgange pr. sekund. Flimmer kan reduceres f.eks. ved en fordeling af et belysningsanlægs lyskilder på de forskellige faser i et tre-faset system. Dertil kommer et andet flimmerfænomen, der er specielt for kviksløvlamperne. Der kan opstå ukontrollerede variationer i lysbuen og hermed i lysudsendelsen. Dette flimmer kan være generende og kræver en ombygning af belysningsanlægget, evt. jævnstrømsdrift.

Tilsluttes kviksløvlampen en højfrekvent, sinusformet spænding, kan der forekomme akustisk resonans. Resonansfrekvenserne opstår fra 3 kHz og opefter og bestemmes af flere faktorer, heriblandt udladningsrørets opbygning og længde. Forsynes lyskilden med en firkantformet højfrekvent spænding, kan resonansfænomener helt undgås. Lyskildens elektriske data forringes ikke nævneværdigt herved.

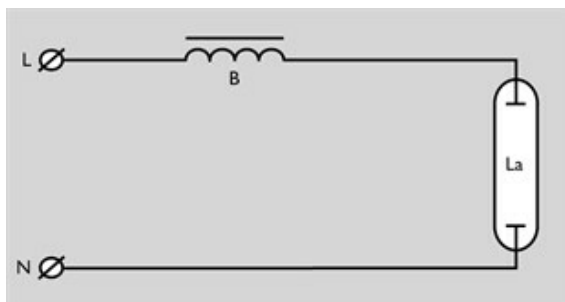
FORKOBLINGER

Udladningslamper har en negativ modstandskarakteristik og kræver derfor tilslutning til en strømbegrænsende forkoblingsenhed.

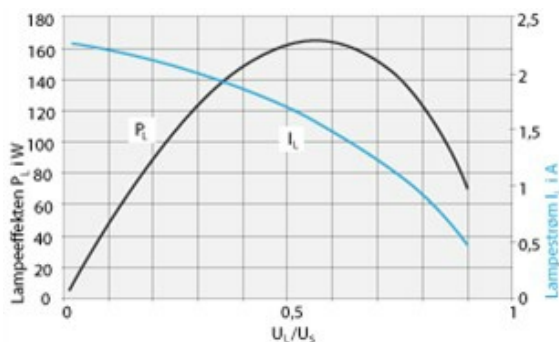
Spændingen over en udladningslampe falder, når strømmen stiger. Uden en begrænsning af strømmen vil den vokse til en værdi, som kan være ødelæggende for både lyskilden og det elektriske system. Strømmen kan begrænses af en elektrisk spole eller af en elektronisk forkobling. Først skal lampen dog tændes med en høj spænding, som typisk er flere tusinde volt.

Strømbegrænsning

Alle udladningslamper er forberedt til brug sammen med en strømbegrænsende spole, der kan sidde i serie med lampen som vist på nedenstående figur.



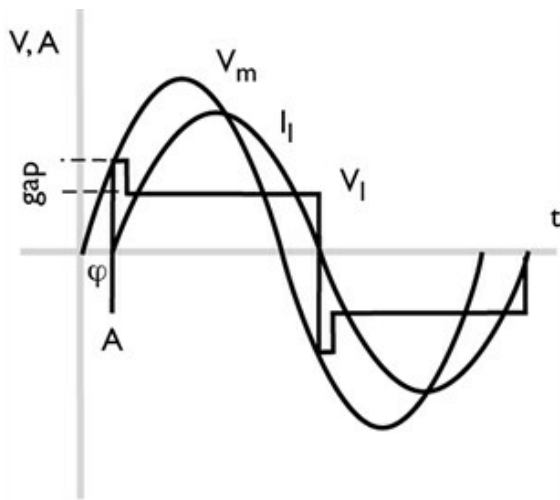
B er den strømbegrænsende spole (der også ofte betegnes som ballast). La er lampen.



Størrelsen af lampeeffekten P_L og af lampestrømmen I_L som funktion af forholdet mellem lampespændingen U_L og forsyningsspænding U_S . Eksemplet er for en 150 W metalhalogenlampe forsynet med spole, der har en impedans på 99 ohm. Alle udladningslamper udviser en lignende karakteristisk.

Det er hensigtsmæssigt at konstruere lampen, så forholdet mellem forsynings- og lampespænding er lidt større end 0,5. Derved får små variationer af lampespændingen ikke indflydelse på lampeeffekten (se kurve herover).

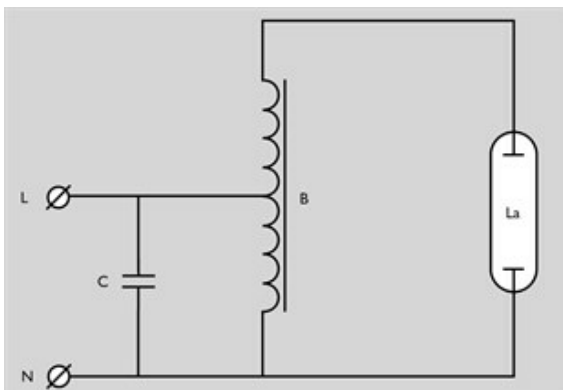
Alle lyskilder forsynes med vekselstrøm og slukker i det øjeblik, strømmen når en nul-gennemgang. I dette øjeblik vil spændingen over lampen være den samme som forsyningsspændingen. Det fremgår af kurven herunder.



Det normale tidsmæssige forløb af lampestrøm I_l , lampespænding V_l og forsyningsspænding V_m . Benyttelse af en ballast giver en tidsmæssig forskydning af lampestrømmen i forhold til forsyningsspændingen. Denne forskydning kaldes faseforskydningen og er i figuren betegnet med φ .

Herefter tændes lyskilden igen, når spændingen overstiger et kritisk niveau. Dette niveau afhænger af afstanden mellem elektroderne i brænderen. Elektroderne nedbrændes med tiden, og det forøger afstanden mellem dem. Den krævede spænding for tænding øges, og på et tidspunkt vil der være behov for en større spænding, end der er til rådighed. Lampen ophører da med at lyse og skal skiftes.

Elektroniske forkoblinger forsyner lampen med en firkantformet strøm og -spænding, der samtidig har en høj frekvens. Derved nedkøles lampen ikke så meget ved 0-gennemgang af strømmen, og det letter gentændingen betydeligt. Gentænding kan finde sted ved langt lavere spændingsniveauer.



Lavtryksnatriumlampers lampespænding er større end for andre typer udladningslamper, og gentænding kan af den grund ikke finde sted ved brug af det tidligere angivne simple kredsløb. I stedet anvendes i de tilfælde et særligt kredsløb, der hæver spændingen over lampen.

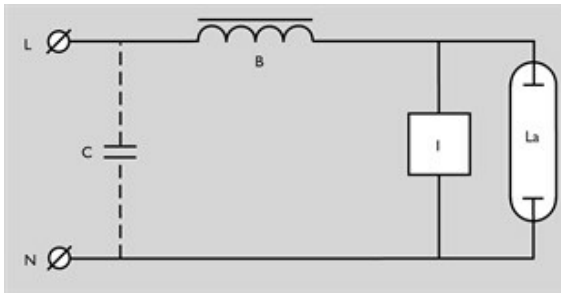
For lavtryksnatriumlamper er der monteret en kondensator (C) for at kompensere for faseforskydningen i forkoblingen samt dæmpe den elektriske støj.

Tænding

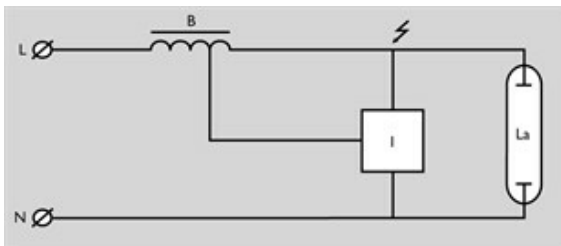
Kviksøvlampen kræver ikke starter, da den på grund af sin hjælpoelektrode starter øjeblikkeligt.

For øvrige typer udladningslamper gælder, at den afkølede udladningslampe tændes ved at påtrykke en spænding på typisk 5.000 V over elektroderne, medmindre der er indbygget starter i lyskilden. Hvis lyskilden ikke forinden er afkølet, skal tændspændingen dog op på ca. 60.000 V. Det er imidlertid kun i særlige situationer, at sådanne behov findes, og kredsløb til sidste type af tænding vil ikke blive gennemgået herunder.

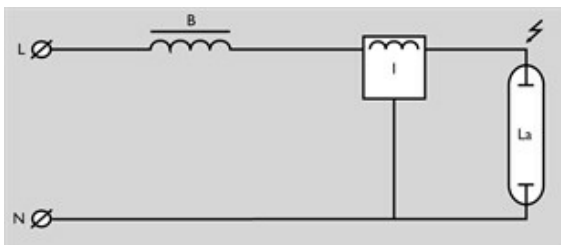
Der er tre hovedtyper af kredsløb: parallelt kredsløb, halvparallelt kredsløb og kredsløb med overljet tænding. Kredsløbene er beskrevet i nedenstående figurtekster.



Parallelt starterkredsløb. Starteren sidder i parallel med lampen. Sædvanligvis er tændspændingen fra starteren under 1.500 V, og kredsløbet kan kun anvendes til udladningslamper med særlig lav tændspænding. Tændpulsens forplanter sig til kablet mellem lampe og ballast. Kablet bør ikke have en kapacitans på over 1000 pF, dvs. kortere end ca. 15 m.



Halvparallelt starterkredsløb. En del af ballasten anvendes af starteren og udsættes derfor for højspænding. Ballasten skal af den grund være godt isoleret. Ved at fordele en del af starterens funktion på ballasten gøres kredsløbet billigere, samtidig med at der opnås et højere energiindhold i startpulsens. Det giver en mere pålidelig start. Kablerne mellem ballast og starter bør ikke have en længde, der overstiger 15 m. Det skyldes, at kablets kapacitans ellers vil forstyrre tændpulsens.



Kredsløb med overlejet tænding. Højspændingspulsens fra starten er kun til stede over selve lampen. Lampestrømmen gennemløber starteren, og det kan give anledning til større effekttab end i de øvrige skitserede kredsløb. I denne type kredsløb kan tændpulsens forstyrres af kapaciteter på kun 100 pF svarende til kabellængde på ca. 1,5 m.

Elektroniske forkoblinger

Der er mange fordele med elektroniske forkoblinger, som kan erstatte både ballast og starter for lamper op til ca. 400 W. Levetiden af lamperne forlænges med ca. 10 %, opstart af lamper sker ca. dobbelt så hurtigt, [farvekoordinater](#) er mere konstante gennem levetiden, lampen afbrydes i tilfælde af fejl, der forekommer ikke synlig [flimmer](#) og lampens effekt fastholdes under hele lampens levetid. De fleste elektroniske forkoblinger er også kompenseret for tidligere omtale faseforskydning, og belaster dermed ikke det elektriske forsyningsnet unødigt.

De nyeste typer åbner tilmed mulighed for ekstern styring af lampens effekt. En nedsættelse af effekten vil betyde ændrede [farveegenskaber](#) af lyset og i visse tilfælde også forringet levetid. Det er ikke alle lamper, som kan tåle en effektnedsættelse. Imidlertid er der her et stort besparelsespotentiale.

TERMISKE FORHOLD

Omgivelsestemperaturen har kun en meget ringe betydning for udladningslampers lysudbytte, hvilket skyldes at brænderen i højtryksdampslamper er termisk afskærmet fra omgivelserne.

Tænding og lysudsendelse sker uproblematisk ved selv meget lave omgivelsestemperaturer.

Temperaturen i selve brænderen er helt afgørende for lysets [farveegenskaber](#). Derfor er brænderen placeret i en konstruktion, der minder om en termoflaske, hvor indflydelsen fra omgivelsestemperaturen er minimal. Eventuelle angivelser af maksimale temperaturer på kolbe eller sokkel er udelukkende oplyst af materialemæssige hensyn.

Brænderen kan dog blive for varm, hvis strålingen herfra reflekteres tilbage i brænderen. Dette kan forekomme i uheldigt udformede armaturer.

DRIFTSPROBLEMER

Fejl på lyskilder resulterer i dårlig belysning og kan udgøre en sikkerhedsrisiko.

I visse tilfælde kan fejl på lyskilder desuden give anledning til skader som kan kræve erstatning. Hvis fejlen rettes hurtigt, vil det ofte mindske følgerne af eventuelle skader.

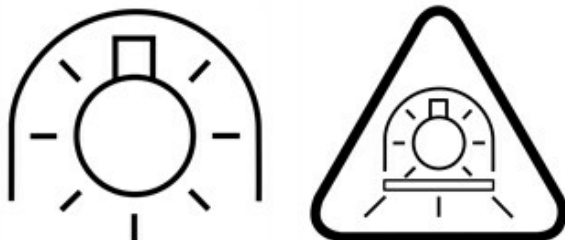


Metalhalogenlampe med utæt brænder. Gasser er kondenseret på indersiden af den ydre kolbe.
Foto: Michael Raunkjær.

Nedenfor er listet fejlsituationer for forskellige typer udladningslamper.

Hyppigt forekommende fejlsituationer for metalhalogenlamper:

- Lyskilden starter ikke. Skyldes defekt lyskilde, forkobling eller starter, dårlige kontaktforbindelser eller for høj kapacitet i kabel.
- Lyskilden blinker eller slukker efter kort tid. Skyldes lav netspænding, dårlige kontaktforbindelser eller at lyskilden er udtjent.
- Vanskelig tænding. Kan skyldes lav forsyningspænding eller at lyskilden er udtjent som følge af nedbrændte elektroder. Andre fejlårsager kan være forkert anvendelse af forkoblingen eller ukorrekt montage af lampen i soklen.
- Lampen skiftevis tænder og går ud igen. Høj temperatur i gassen øger den krævede spænding for tænding. Temperaturforøgelsen vil efter kort tids drift hindre tænding. Efterfølgende afkøling kan resultere i tænding hvorefter processen gentages. Andre fejlårsager kan relateres til forkoblingen, kondensatoren eller armaturet.
- Lyskildens lysstrøm er lavere end nominel værdi. Skyldes lav netspænding, forkert forkobling eller at lyskilden er tæt på at være udtjent.
- Variation i lyskildens lysfarve. Skyldes varierende netspænding, forkert forkobling eller for stor tolerance i samme, forskellige lyskildetyper i anlægget (nye og gamle lyskilder sidder ved siden af hinanden) eller forkert brændestilling.
- Lyskildens levetid er forkortet. Lyskilden tændes/slukkes for hyppigt, defekt forkobling, forkert netspænding eller at kondensatoren er forbundet parallelt med lyskilden.
- Sværtning af lampe. Brænderen indeholder aggressive gasser under højt tryk og ved høje temperaturer. Ved selv den mindste svaghed i konstruktionen, vil der opstå en utæthed og gasserne vil sive ud. Dette vil i starten vise sig ved en ændring af farven af det udsendte lys.
- Eksplosion. Metalhalogenlampens brænder kan eksplodere og derved udslynge varme fragmenter af glas og keramisk materiale. Risiko for eksplosion er nævnt i standarderne IEC 61167 Metal halide lamps og IEC 62035 Discharge lamps - Safety specifications. Armaturet eller lyskilden skal sikre at eventuelle fragmenter tilbageholdes. Mærket til venstre herunder betyder at lyskilden er ekstrabeskyttet og må anvendes i åbne armaturer. Mærket til højre betyder at lyskilden kun må anvendes i lukkede armaturer.



- Ensrettereffekt. Lampen kan under uheldige forhold virke som en strømrensretter, og det kan medføre en voldsom overophedning af en konventionel forkobling. Der er derfor krav om, at alle konventionelle forkoblinger skal udstyres med en termosikring, som afbryder kredsløbet ved overophedning, se 60598-1 § 12.5.1 (også kendt som Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 138-1 Belysningsarmaturer). Fænomenet er også omtalt i IEC 62035 discharge lamps safety standard og IEC 61167 Metal halide lamps.

Det skyldes enten uens opvarmning af elektroderne under opstart eller en afbrudt elektrode. Enkelte lyskilder med effekter over 1000 W har ikke dette problem.

Hyppigt forekommende fejlsituationer for højtryksnatriumlamper

- Lyskilden starter ikke. Defekt lyskilde, defekt forkobling, defekt starter, dårlige kontaktforbindelser, for stor kabelkapacitet.
- Lyskilden blinker. Skyldes lav netspænding, dårlige kontaktforbindelser, for høj spænding pga. udtjent lyskilde eller at omgivelsestemperaturen er for høj.
- Lyskildens lysstrøm er mindre end nominel værdi. Skyldes lav netspænding, forkert forkobling, lyskilden er ved at være udtjent, eller lyskilden er forkert monteret.
- Lyskildens levetid er forkortet. Skyldes netspændingsafvigelser, forkert forkobling, forkert monteret kondensator, for høj temperatur i lyskilden, defekt forkobling eller lyskilden tændes for hyppigt.
- Ensrettereffekt. Se forklaring under [hyppigt forekommende fejl for metalhalogenlamper](#). Fænomenet er også omtalt i IEC 62035 discharge lamps safety standard og i EN 60662:1993 High-pressure sodium vapour lamps.

Hyppigt forekommende fejlsituationer for lavtryksnatriumlamper

- Lyskilden starter ikke. Skyldes forkert netspænding, dårlige kontaktforbindelser, forkert forkobling eller starter.
- Lyskildens levetid er forkortet. Skyldes forkert brændestilling, forkert forkobling eller forkert kondensator.
- Lyskilden blinker. Skyldes lav forsyningsspænding eller dårlige kontaktforbindelser.
- Lyskilden udsender rødt lys. Skyldes lav forsyningsspænding, defekt lyskilde (utæt yderkolbe), forkert forkobling, fortrængt natrium på grund af mekaniske rystelser eller at lyskilden er ved at være udtjent.

Hyppigt forekommende fejlsituationer for kviksølvlamper

- Lyskilden starter ikke. Skyldes defekt lyskilde, defekt forkobling, dårlige kontaktforbindelser, for lav temperatur som følge af lav netspænding eller kortslutning mellem hoved- og hjælpeelektrode.
- Lyskilden har reduceret levetid. Skyldes at lyskilden tændes for tit, forkert forsynings- eller netspænding, at kondensatoren er forbundet parallelt med lyskilden, forkert forkobling eller forkert brændestilling (gælder kun blandingslyslampen).
- Lyskilden blinker. Skyldes for lav netspænding, løse forbindelser i lyskilde eller kredsløb, netspændingsvariationer eller forkert brændestilling (gælder kun blandingslyslampen).
- Lyskildens lysstrøm er mindre end nominel værdi. Skyldes udtjent lyskilde, for lav lampestrøm eller forkert forkobling.
- Farveforskelle på de enkelte lyskilder. Skyldes at nye og gamle lyskilder eller forskellige wattager anvendes i samme anlæg.

TYPISKE ANVENDELSER

Udladningslamper udsender generelt store mængder lys og anvendes derfor i sammenhænge, der kræver meget lys eller på steder med stor afstand mellem armaturet og den belyste flade, f.eks. vejbelysning.

Udladningslamper er desuden velegnede på steder, hvor der er behov for præcis styring af lyset og anvendes både udendørs og indendørs.

Metalhalogen

Metalhalogenlamper anvendes både ude og inde.

Da metalhalogenlamper giver mulighed for at styre lyset præcist, anvendes disse lyskilder til vejbelysning og i spots til butiksbelysning. Da metalhalogen har en relativt kold lysfarve og er særligt velegnet til at gengive blå og grønne nuancer, anvendes den bl.a. i tøjbutikker, til jeans og lignende.

Derudover anvendes metalhalogenlamper til belysning af idrætsarealer, industri- og ankomsthaller, atrier og andre højloftede steder, hvor den høje lysstrøm er en fordel.

I visse tilfælde anvendes armaturer bestykket med både metalhalogenlamper og højtryksnatriumlamper. Denne kombination giver mulighed for at variere lysets farvetemperatur.



Kompakte udladningslamper anvendes ofte i butiksbelysning. Foto: Astrid Espenhain.



Metalhalogenlamper er særdeles velegnede i højloftede lokaler. Foto: Glamox.

Højtryksnatriumlamper

Højtryksnatriumlamper er særligt velegnede til belysning af steder uden særlige krav til farveegenskaber. Derfor anvendes disse lyskilder ofte til vej- og pladsbelysning, hvor den begrænsede udstrækning af det lysende punkt i lyskilden og den høje lysstrøm giver mulighed for at styre lyset præcist.

Kompakte højtryksnatriumlamper har farveegenskaber, der gør dem velegnede til visse typer butiksbelysning. Det gælder f.eks. belysning i bagerforretninger, grøntsagsafdelinger i supermarkeder og lignende steder, hvor de dominerende farver er varme.



Belysning med højtryksnatriumlamper. Foto: Silla Herbst.

Lavtryksnatriumlampen

Lavtryksnatriumlampens manglende evne til at gengive farver betyder, at lyskilden stort set ikke anvendes i Danmark. De få steder den anvendes begrænser sig til flugtveje og nødudgange, hvor lyset skal brænde hele natten. Den usædvanlige høje effektivitet sammenlignet med øvrige lyskilder giver meget lave driftsomkostninger.



Belysning med lavtryksnatriumlamper. Foto: Silla Herbst.

Kviksølvlamper

Efter 2015 er produktion og import af disse lyskilder i EU jf. EU forordning 245.

Kviksølvlamper anvendes imidlertid fortsat på mange mindre kommunale veje. I modsætning til alle andre typer højtryksudladningslamper anvender kviksølvlamper ikke en starter. Alternativet til disse kviksølvlamper skal derfor have en indbygget starter, medmindre armaturet ombygges med ny forkobling.

UDVIKLING OG HISTORIE

Udviklingen af de forskellige typer udladningslamper er sket i første halvdel af det 20. århundrede.

Kviksølvlampens princip har været kendt allerede fra starten af dette århundrede. Udviklingen stagnerede imidlertid, og først omkring 1930 kunne en stabil kviksølvlampe fremstilles.

I 1923 så den første natriumlyskilde dagens lys, men først 10 år senere blev en egentlig masseproduktion praktisk mulig.

Omkring 1950 lykkedes det at konstruere et udladningsrør med keramiske egenskaber, der ikke bliver ødelagt af det kemisk aggressive natrium.

En gennemgang de specifikke typer udladningslampers udvikling og historie findes i det følgende.

Metalhalogen

Omkring 1930 udførtes et antal forsøg med kviksøvlamper, hvor forskellige metaller blev tilsat kviksølvet i brænderen for at øge antallet af farver i lysets [spektralfordeling](#). Gastrykket var imidlertid for lavt, og metallerne angreb brænderens glasvægge. Dette forhindrede, at man kunne fremstille en holdbar lyskilde.

Først omkring 1960 fandt man ud af, at metallet ikke skulle anvendes i ren form, men kemisk bundet til et halogen, dvs. forbindelser med jod, fluor, brom eller klor. Den høje temperatur i nærheden af elektroderne spalter de kemiske forbindelser, så der på dette sted forekommer metaller i ren form. Temperaturen falder med afstanden fra elektroderne, og på overfladen af brænderen er temperaturen så lav, at metallerne igen indgår i en stabil forbindelse med halogenerne. Denne metalhalogenforbindelse er langt mindre skadelig for glasset i brænderen.

Der findes over 50 forskellige metalforbindelser (betegnet metalhalogener), som alle resulterer i forskellige spektrallinier og -fordelinger. De mest avancerede forbindelser benytter en del af metallerne, som hører til de sjældne jordarter, dvs. holmium, dysprosium, thulium og cæsium. Det er således muligt at opnå lysudbyttet op til 100 lm/W for 100 W typer, farvetemperaturer på mellem 2600K og 6000K og et farvegengivelsesindeks Ra der spænder fra 60 til 95.

I slutningen af 1990'erne fremkom brændere af en keramisk mat materiale kaldet PCA (polykrystallinsk aluminium). PCA blev opfundet i allerede i 1955 af Robert Coble, men er svært at håndtere i en produktion, og hermetisk forsegling af brænderen var også vanskelig. PCA kan modstå højere temperaturer end kvartsglas, er mere korrosionsbestandigt og kan fremstilles med finere produktionstolerancer. Den højere temperatur i brænderen medførte en mere effektiv kemisk proces med bedre lysmæssige egenskaber.

Højtryksnatriumlamper

Det har været kendt i en årrække, at natrium under tryk i udladningslamper forbedrede de lystekniske egenskaber. Først omkring 1950 lykkedes det imidlertid at konstruere et udladningsrør med keramiske egenskaber, der ikke bliver ødelagt af det kemisk aggressive natrium. Natriums aggressivitet er i øvrigt stigende med damptrykket.

Efter yderligere 10 års udvikling af det relativt skrøbelige udladningsrør kom de første typer af højtryksnatriumlamper på markedet.

I modsætning til lavtryksnatriumlampens monokromatiske lys udmærkede højtrykstypen sig ved en spektralfordeling med spektrallinjer fordelt i hele det synlige spektrum. Man kunne således opnå en forbedring af farvegengivelsen og samtidig få en varm farvetemperatur fra 2000-2500K. Konsekvensen var dog et noget lavere lysudbytte end lavtryksnatriumlampens.

De fortsatte kvalitetsforbedringer af lyskilden har medført et farvegengivelsesindeks over 80 samt en farvetemperatur, der kan nå op omkring 2900 K. Det (for højtryksnatrium) høje farvegengivelsesindeks på 80 sænker dog effektiviteten til ca. 50 lm/W, samtidig med at levetiden reduceres til ca. 10.000 timer. En af de få kommercielt tilgængelige udgaver af denne lampetype stammer fra 1986 og er White SON fra Philips, der har en farvetemperatur på 2500 K.

Lavtryksnatriumlampen

I 1920 lykkedes det at fremstille glas, der kunne modstå det kemiske angreb fra metallet natrium. Det førte i 1923 til konstruktion af den første natriumlyskilde.

Først 10 år senere blev en egentlig masseproduktion praktisk mulig. Lyskilden var oprindeligt fremstillet for jævnspændingsdrift og havde et lysudbytte på 50 lm/W. De følgende år udvikledes udladningsrørets form, og der kom vakuum imellem røret og yderkolben.

Disse landvindinger bragte i 1950 lysudbyttet op omkring 70 lm/W. Senere blev der til udladningsrøret udviklet en coating (belægning), der virker varmereflekterende. Lysudbyttet kunne

herved forbedres til 160 lm/W. Dermed er lavtryks-natriumlampen den mest effektive elektriske lyskilde, der findes.

Kviksølvlamper

Kviksøvlampens princip har været kendt allerede fra starten af dette århundrede. Undersøgelser viste, at lysudbyttet steg kraftigt ved et tilstrækkeligt højt kviksølvtryk i kolben, fordi en stor mængde UV-stråling nu blev til stråling i den synlige del af spektret.

Udviklingen stagnerede imidlertid, og først omkring 1930 kunne en stabil kviksøvlampe fremstilles. På dette tidspunkt lykkedes det at producere dels wolframelektroder med emitterstof, dels at få kolbeglasset til at slutte tæt omkring tilledningerne og dels at dosere kviksølv mængden korrekt. Kviksølvtrykket i lampen var omkring 10^5 Pa svarende til 1 atmosfæres tryk, hvorved det resulterende lysudbytte blev 60 lm/W. Imidlertid voldte lyskilden stadig problemer, da en vandret brændestilling forudsatte anbringelse af et par magneter i selve brænderen. I modsat fald smeltede glasset på udladningsrøret under drift.

Et andet problem var lysfarven. Det blågrønne, hvide lys uden indhold af orangerødt, fik folk til at se ud som om de var "mere døde end levende". I begyndelsen af 1950'erne blev det muligt at fremstille udladningsrøret i kvartsglas. Næsten samtidig kunne man belægge glaskolbens inderside med et fosforpulver, som ændrede UV-strålingen til rødt lys. Herved blev det muligt at komme fra den klare kolbes farvetemperatur på 6000 K ned på en varm hvid farve på 3000K.

I dag er tiden ved at rinde ud for disse højtrykskviksøvlamper, fordi effektiviteten af dem er meget ringe i forhold til metalhalogen-alternativerne. I 2009 kom dødsstødet i form af EU kommissionens forordning 245/2009. Den angiver en plan for udfasning af lamper. Efter år 2015 er produktion og import af disse lamper i EU forbudt. Teknologien lever dog videre i forbedret form i UHP (ultra high pressure) lamperne, der fremkom i 1998. Gastrykket under drift er ca. 200 gange atmosfærisk tryk og lysbuen kun ca. 1mm. Det høje gastryk giver et næsten kontinuert spektrum af det udsendte lys. Denne punktformede lyskilde er kun beregnet til LCD videoprojektorer, hvor den udmærker sig ved en ekstrem høj luminans (1 GCd/m^2). UHP lamper har erstattet tidligere anvendte laveffekt xenon- og metalhalogenlamper, der ikke havde så høj en luminans.

INTRODUKTION

Udover de lyskildetyper, der anvendes i stor stil, herunder halogenlamper og lysstofør, findes specielle typer lyskilder til særlige anvendelser.

De mere specielle lyskildetyper tæller bl.a. induktionslamper, xenonlampen, UV-lamper og neonrør. Her er udvalgt to typer specielle lyskilder, som gennemgås i hver sit afsnit:

- [Induktionslamper](#)
- [Xenonlamper](#)



Belysning med 10 kW Xenon projektører (Syncrolite SX10K) ved Olympiaden i Vancouver 2010.

INDUKTIONSLAMPER

En induktionslyskilde fungerer uden elektroder, idet energien tilføres via en elektromagnetisk proces.

Induktionslamper har lange levetid hvilket gør dem velegnede til anvendelse på stedet, hvor det kan være svært at komme til at skifte lyskilde, f.eks. tankstationer

Typen

En induktionslampes kolbe og sokkel er normalt ikke blandt standardiserede typer, og kan derfor kun anvendes i specialiserede armaturer udelukkende beregnet til induktionslamper.



Eksempler på induktionslamper: Philips QL-lampe (tv) og Osrams Endura (th).

Typiske anvendelser

Den meget lange levetid på over 60.000 timer gør induktionslampen velegnet til anvendelse på vanskeligt tilgængelige steder, fordi vedligeholdelsesomkostninger derved bliver minimale.

Mange benzinstationer i Danmark benytter lyskilderne til pladsbelysning og i udlandet anvendes de til belysning af stadioner, tunneler, metrostationer og fabrikshaller.

Opbygning

Der findes to hovedprincipper for opbygning af induktionslamper. Opbygningen af den ene type minder om opbygningen af Philips QL lampe, mens opbygningen af den anden type minder om opbygningen af Osrams Endura.

Principskitse over bestanddele i en induktionslampe af typen Endura. Der er viklet et par spoler omkring et rør med toroide facon. Rør og spole virker som en transformator, hvor spolerne udgør den ene vikling og gassen i røret udgør den anden vikling. Driftsfrekvensen er 250 kHz.

Lystekniske data

Den nominelle [lysstrøm](#) for en 150 W induktionslampe er 12.000 lumen. Da lyskilden ikke indeholder elektroder, der kan sværte og nedbrydningen af lyspulver er moderat, er [lysstrømsnedgangen](#) henover lyskildens levetid begrænset.

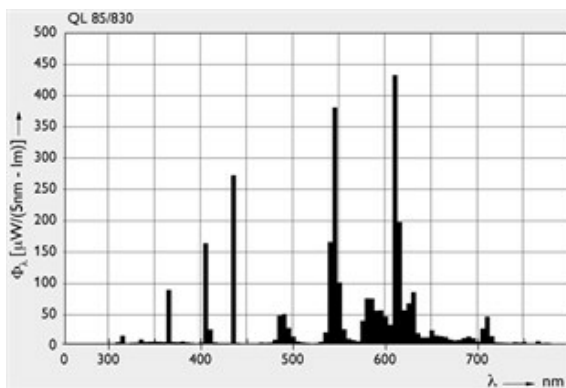
Mere end 30 % af lysstrømmen indtræder øjeblikkelig efter start, mens over 80 % opnås efter 1 min.

For de eksisterende typer er [lysudbyttet](#) ca. 80 lm/W., hvorfor induktionslamperne stort set udkonkurreres af LED, som har samme gode farveegenskaber og levetid, men er mere effektiv.

Lyskildens ydeevne påvirkes ikke af dens brændestilling.

Levetiden er 60.000 timer, hvorefter man forventer mindre end 20 % lampeudfald og under 30 % lysstrømsnedgang. Levetiden er uafhængig af lyskildens tænd-sluk frekvens.

Induktionslamper har en [farvetemperatur](#) på 3000K eller 4000K og [farvegengivelsesindekset](#) er bedre end 80.



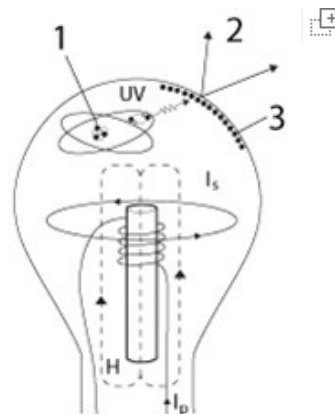
Spektral effektfordeling for Induktionslampen QL.

Virkemåde

Induktionslamper virker på samme måde som fluorescente lyskilder (f.eks. [lysstofrør](#)), blot tilføres strømmen via en antenne eller en spole, som er placeret udenfor den gastætte kolbe.

Induktionslamper findes i flere udgaver. En af disse er QL-lampen, som er baseret på en lavtryks-kviksølvlampe ligesom lysstofrørene. Til denne udgave er valgt en kolbeform, som mest af alt ligner en forstørret glødelampe.

Det eksterne forkoblingsudstyr er en elektronisk højfrekvensgenerator, der producerer en spænding med en frekvens på 2,65 MHz. En spænding påtrykkes videre til en snoet antenne. Når antennen føres (gastæt) ind i kolbens midte opstår en strøm i kolben. Kviksølv molekylerne anslås af elektronstrømmen og udsender (primært) UV-stråling, der via et lyspulver omdannes til lys.



Figuren viser, hvordan induktionslampen virker. (I_p) er den strøm, der føres ind i antennen.

Eltekniske forhold

Induktionslamper og tilhørende forkoblingsudstyr opfylder givne specifikationer ved en netspænding mellem 185 og 255V. Lyskilden er beregnet til at fungere optimalt ved netspænding med en frekvens mellem 50-60Hz, men kan fungere inden for intervallet 47-63Hz.

Induktionslamper kan gentændes efter 0,5 sekunder. Effektfaktoren $\cos\phi$ er 0,85.

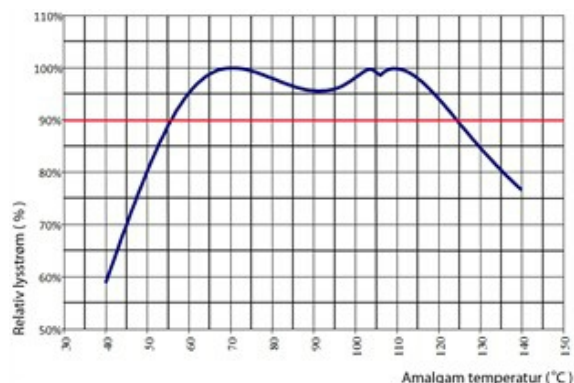
Forkoblinger

Der findes specifikke typer forkoblinger, som er beregnet til de forskellige typer induktionslamper. Fælles for dem alle er, at de er elektroniske, dvs. HF-forkoblinger.

For induktionslamper baseret på en H-udladning (magnetisk felt) kan selve lyskilden opfattes som den ene del af en transformator, mens forkoblingen udgør den anden del af samme transformator. Det giver nogle konstruktionsmæssige fordele, som f.eks. mulighed for en meget lang afstand (maks. 20 m) mellem forkobling og lyskilde. Forkoblingen indeholder en højfrekvensoscillator og diverse beskyttelseskredsløb, som hindrer udsendelse af elektrisk støj.

Termiske forhold

Induktionslampen udmærker sig ved at udsende en maksimal lysstrøm over et meget bredt temperaturinterval, der typisk ligger mellem 55-125 °C.



Induktionslampen udsender maksimal lysstrøm over et meget bredt temperaturinterval. Figur: Osram.

Udvikling og historie

Omkring 1880 udviklede man teorien om udladningslamper i et elektrisk felt. Flere forskellige typer induktionslamper blev forsøgsfremstillet i perioden 1890 til 1930. Fælles for dem alle var termisk ustabilitet, der trods en positiv modstands karakteristik førte til en kort levetid.

I perioden 1960 til 1980 blev der igen udført et antal forsøg, men resultatet var atter ustabil drift samt en forkobling mange gange større end lyskilden selv. Alligevel fortsatte udviklingen, fordi lyskilden, hvis den er rigtigt konstrueret, har en række fordele, såsom lang levetid, øjeblikkelig gentænding og mulighed for dæmpning.

Den rivende udvikling af pålidelig mikroelektronik i 80'erne har gjort det teknisk muligt at omsætte en gammelkendt teknisk ide til praksis. I 1991 præsenterede Philips den første udgave i to versioner (kaldet QL-lampen). I 1992 præsenterede det amerikanske firma Intersource en version til 110 V med integreret elektronik og E27 sokkel ("E" -lampen). Kort efter introducerede GE induktionslampen "Genura". Det var en reflektorlampe med R80 kolbe, der udmærkede sig ved kompakte dimensioner i forhold til tilsvarende sparepærer. Effektiviteten var ca. 50 lm/W og levetiden ca. 15.000 timer (svarende til et fald i lysstrømmen på 25 %).

En ny variant af induktionslampen blev introduceret i 1994, hvor gassen bestod af svovlplasma, der blev tilført energi fra en mikrobølgeenhed ved frekvensen 2,45 GHz. Derved blev lyskildens svovlplasma omdannet til en særlig type molekyler kaldet dimars. Disse molekyler udsendte dernæst lys i et næsten kontinuert spektrum i det synlige område, og farvegengivelsen var relativt god. Lysstrømmen var 135.000 lumen, effektiviteten 95 lm/W og farvetemperaturen 6.000 K. Den var tiltænkt som en central lyskilde, der via lysledere kunne oplyse store arealer. Systemet har dog aldrig vundet udbredelse. Det har senere vist sig, at systemet formentlig kunne forstyrre trådløst internet og trådløse telefoner.

XENONLAMPER

Xenonlampen er en udladningslampe. I modsætning til alle andre typer udladningslamper tænder den øjeblikkelig uanset om den er varm eller kold.

Da det lysende punkt i en xenonlampe er meget lille, opfattes lyskilden som en næsten perfekt punktskykilde. Desværre er lyskilden ikke særlig effektiv, hvorfor anvendelsen heller ikke er særlig udbredt.

Typer

Der findes adskillige typer af xenonlamper, der er beregnet til hver deres anvendelse. De laveste wattager af xenonlamper er ca. 10 W og anvendes til mikroskop-belysning, mens de højeste wattager er på ca. 30 kW og anvendes til militære projektører. Størsteparten anvendes som lyskilder i biografprojektorer.

Typiske anvendelser

Da xenonlampen udsender et meget præcist rettet lys, anvendes den i stor stil til biografprojektorer og i nogen grad til scenebelysning. Det høje [farvegensvelsesindeks](#) gør desuden lampen anvendelige som lyskilde til endoskoper, der bruger ved kikkertoperationer på hospitaler samt til mikroskopbelysning.

Ved en [farvetemperatur](#) på 6200 K er [spektralfordelingen](#) er tæt på [dagslys](#) og [lysstømmen](#) kan blive meget høj, hvilket gør lyskilden velegnet til brug som kunstig sol i forbindelse med dagslyssimulatorer til afprøvning af bl.a. solceller.

Også til kraftige projektører på skibe anvendes xenonlampen, ligesom den anvendes i en meget mindre udgave til bilers forlygter, hvor xenon dog kun indgår i lampen for at lette opstarten. Selve gassen i disse forlygter består af natrium og scandium. Forlygterne er temmelig kostbare og har kun har vundet indpas i europæiske og japanske luksusbiler.

Virkemåde

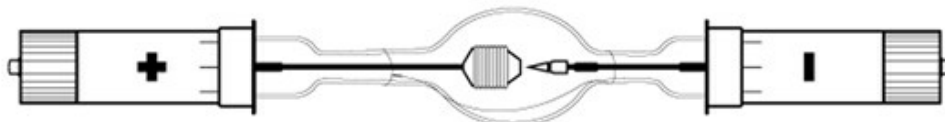
Xenonlamper udsender lys fra en lysbue (en slags vedvarende gnist) i ren Xenon gas. Gastrykket er meget højere end for andre udladningslamper, og håndtering af lampen bør derfor altid foregå med stor forsigtighed og ved benyttelse af beskyttelsesudstyr. Det høje gastryk er nødvendigt for at opnå en lav driftsspænding og et så lille lysende punkt som muligt.

Den tilspidsede elektrode (katoden) udsender en strøm af elektroner, som modtages af den anden elektrode (anoden). Udstrækningen af lyspunktet i en xenonlampe bestemmes bl.a. af de termiske og elektromagnetiske forhold omkring udladningen. Selv ved effekter på flere kW er lysbuenes længde kun ganske få mm.

Krav til Xenon lamper er angivet i standarderne IES 61549, "Miscellaneous lamps" og i IES 62035, " Discharge lamps (excluding fluorescent lamps) - Safety specifications".

Opbygning

Xenonlamper består af en xenonfyldt glaskolbe, der omslutter to kraftige elektroder. Kolben er forsynet med en "næse", der anvendes under fremstillingen til påfyldning af gas. Afstanden mellem elektroderne svarer til længden af den elektriske lysbue under drift. Elektroderne er hermetisk forseglede til glaskolben. Den tilspidsede elektrode benævnes katoden (negative pol), mens den anden elektrode benævnes anoden (positive pol). Jo mindre katode desto større anode. Den store overflade er nødvendig for at undgå overophedning af elektroden, idet varmen udstråles som infrarød strålingsvarme fra anodens relativt store overflade. Levetiden af anoden afhænger af dens facon samt wolframlegeringens struktur og sammensætning.

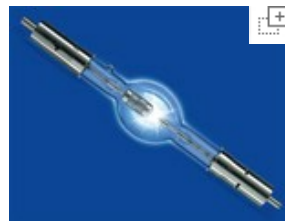


Xenonlampens opbygning. Figur: Osram.

Begge elektroder fremstilles af wolframlegeringer. Elektroderne er forlænget til kraftige stænger, der tilsluttes forsyningspændingen og desuden anvendes til montage af lyskilden. Kolben er omviklet med en tynd tråd, der fungerer ved tænding af lyskilden. Tråden benævnes tændtråden.



Xenonlamper til mikroskop.
Foto: Philips.



Xenonlampe til biografprojektor.
Foto: Osram.

Til fremstilling af kolben anvendes kvartsglas, idet glasset både skal holde til et meget højt gastryk samt overfladetemperaturer over 700 °C. Det tynde glas (få mm) er af typen suprasil, som udmærker sig ved meget høj optisk kvalitet. Derved opnås størst mulig ensartethed i lysfordelingen. Afskærmning af ultraviolet lys fra lysbuen sker ved enten at tilsætte glasset særlige uv-absorberende materialer eller at anvende en belægning på glassets overflade. Uafskærmet ultraviolet lys er i stand til at omdanne luften til ozon, som i større mængder kan være helbredsskadelig.

Det er vigtigt at der ikke slipper luft ind i kolben, hvorfor en lufttæt forsegling af elektroderne er nødvendig. Elektroderne består imidlertid af wolfram, mens glasset består af kvarts. I modsætning til wolfram, udvider kvarts sig meget ved opvarmning, hvilket er årsagen til, at det ikke umiddelbart kan lade sig gøre blot at støbe kvartsglasset omkring elektroderne. Glasset vil i det tilfælde knuses af metallet, når det opvarmes. Problemet er det samme som for halogenlamper, hvor det løses ved at svejse elektroderne fast på tyndt molybdæn folie, der er indkapslet i kvartsglasset. En lignende løsning kan anvendes vil xenonlamper med lav effekt. De fleste xenonlamper har dog en så høj effekt, at denne løsning er upraktisk. I de tilfælde anvendes ofte flere typer glas med varierende termiske udvidelseskoefficienter, der kan tilpasses den termiske udvidelse af wolfram. Dette giver en robust og pålidelig konstruktion, der egner sig til det høje gastryk.

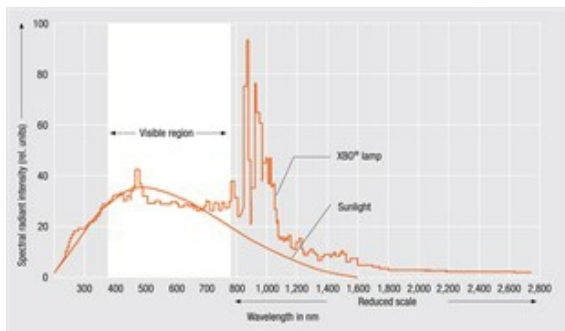
Den høje strøm på typisk 200 A udelukker brugen af standardsokler. I stedet anvendes kraftige kabler, skruegevind eller runde metalstænger, der har forbindelse til hver af elektroderne.

Tænding af lampen lettes i væsentlig grad af en jern-nikkel tråd omviklet kolben. Tråden ændrer det elektriske felt mellem elektroderne, så det bliver mindre ensartet. Dette bevirker, at en udladning lettere kan finde sted mellem elektroderne. Desuden kan der ske en delvis udladning på selve tråden. Dette bevirker en forøget udsendelse af elektroner fra katoden, hvilket også er med til at få en udladning til at finde sted.

Xenongas anvendes i ufortyndet og helt ren form i kolben. Xenon er en gasart, der er tilstede i atmosfærisk luft i meget små koncentrationer (mindre end < 0.00001 %). Det tilsættes lampen i frossen tilstand. Ved stuetemperatur er gastrykket 5-15 bar, men stiger til det fire-dobbelte under drift.

Lystekniske data

Med et [Ra-indeks](#) på ca. 100 er farvegengivelsen tæt på det optimale. [Farvetemperaturen](#) minder om dagslysets (ca. 6200K) og lampen kan dæmpes. Disse egenskaber er konstante for alle Xenonlamper uanset effekt, type, levetid eller graden af dæmpning.



Spektral effektfordeling for Xenonlamper. Figur: Osram.

En xenonlampe udmærker sig ved i modsætning til alle andre udladningslamper at kunne tændes øjeblikkelig uanset om den er varm eller kold. Fuld lysstrøm opnås ligeledes så snart lyskilden tændes.

Lysstrømmen fra xenonlamper varierer, men lyskilden er en af de lamper, der har højst [luminans](#). Luminansen ligger mellem 20.000 og 500.000 cd/cm². [Effektiviteten](#) er typisk på højde med gode [halogenlamper](#), og ligger typisk mellem 15 lm/W og 50 lm/W. Effektiviteten falder med effekten af lampen og tætheden af elektroderne.

Lodret position af lyskilden med anoden øverst giver en perfekt rotationssymmetrisk lysbue. Ved anvendelse i biografprojektorer kan det optiske system dog bedre udnyttes ved vandret montage af lyskilden. Vandret position giver en lysbue med en svagt opadgående afvigelse som følge af konvention i xenon gassen. Afvigelsen afhænger af elektrodeafstanden og strømmen. Ustabilitet indtræder for lodret lysende lamper, hvis hældningen af lampen overstiger 30°. Strømmen af elektroner i lysbuen er påvirkelig af magnetfelter. En ganske normal permanent magnet kan derfor anvendes til at korrigere positionen af lysbuen.

[Levetiden](#) for xenonlamper er i bedste fald 2.000-3.000 timer.

Som det fremgår af kurverne, minder lyset fra en xenonlampe om [dagslys](#).

Det er vanskelig at finde en lyskilde med bedre farveegenskaber end xenon lampen. Farvegengivelsen er over 95 ved en farvetemperatur på ca. 6200K. Variationer i farvetemperatur på +/-250K kan forekomme som følge af slitage af anoden, men ellers er både farvegengivelse og farvetemperatur uafhængig både [dæmpning](#) og brændtid.

80 % af den tilførte elektriske effekt omdannes til stråling fra lysbuen, anoden og glasset i kolben, hvis temperatur er ca. 700 °C. De resterende 20 % afsættes som varme i form af konvektion (afkøling via luftstrømningen) og konduktion (afkøling ved varmeledning). 60 % af den tilførte effekt udsendes som stråling fra lysbuen. Heraf er størsteparten infrarød stråling.

Eltekniske forhold

Lampen forsynes af jævnstrøm på ca. 200 A ved en spænding i størrelsesordenen 20-30 V, hvilket er anderledes end for andre udladningslamper, som typisk forsynes med en vekselstrøm på få ampere ved en spænding på 100-200 V.

Spændingen følger lampens effekt. En forøgelse af effekten forøger spændingen tilsvarende.

Umiddelbart efter tænding af lyskilden forøges både strømmen og spændingen brat, men stiger derefter i et langsomt forløb. Hvis lyskilden betragtes som en ohmsk modstand, falder modstanden fra uendelig til få tiendedele af en ohm over ganske kort tid.

Lysstrømmen er forholdsvis følsom over for ændringer i den elektriske strøm. En forøgelse af strømmen forøger samtidig lampespændingen, den elektriske effekt, temperaturen og trykket i lyskilden.

Øjeblikkelig gentænding kan altid finde sted, uanset om lyskilden er varm eller kold.

Lysudsendelsen hænger nøje sammen med driftsstrømmen. En ustabilitet i den tilførte strøm vil straks vise sig som flimrer. Desuden kan flimrer nemmere opstå ved lave driftsstrømme, hvilket skyldes, at lysbuen opstår fra et mindre område af katoden, som derfor bliver uens opvarmet. Dette giver anledning til lokale defekter i overfladen, som forstyrrer dannelsen af lysbuen.

En xenonlampe egner sig kun til drift med jævnstrøm.

Forkoblinger

Forkoblingen til en xenonlampe skal kunne levere en meget høj jævnstrøm fra enten en sinusformet netspænding eller et batteri. Den simpleste måde er at anvende kraftige ensrettere, men elektroniske forkoblinger er også en mulighed ved mindre wattager. Ensrettere kan med fordel suppleres af et hjælpe kredsløb, som i et kortvarigt øjeblik kan afgive så høj en spænding, at lyskilden kan tændes.

I kold tilstand er en xenonlampe en fremragende isolator. Tænding af lyskilden kræver høj spænding i tilstrækkelig lang tid, høj energi af tændpulsens og hurtig reaktion i ensretterkredsløbet. Umiddelbart efter etablering af en lysbue skal lyskilden forsynes med driftsstrøm ved en spænding, der er 3-4 gange højere end driftsspændingen i stabil tilstand. Konventionelle tændsystemer udsender en serie højspændingspulser ved f.eks. 300 Hz over en periode på mindre end ½ sekund. Herunder er vist et eksempel på et kredsløb. Det benytter sig af en gnistgab, som slides og skal udskiftes med regelmæssige mellemrum.

Elektroniske forkobling slides ikke og tænder sædvanligvis lampen med en enkelt højspændingspuls. Det giver stærk reduceret elektrisk støj i forhold til konventionelle tændsystemer.

Driftsproblemer

Hypptigt forekommende fejlsituationer i belysningsanlæg med xenonlamper :

- Kort levetid. Skyldes ofte for høj eller for lav strøm, for høj startstrøm, utilstrækkelig udglatning af strømmen, forkert brændestilling, forkert anvendelse af magnetisk stabilisering eller utilstrækkelig køling.
- Lyskilden kan ikke tændes. Skyldes ofte forkert tændspænding fra starteren eller forkert frekvensen af startpulserne.
- Lampen tændes vanskeligt. Årsagen er ofte defekt gnistgab, defekt kondensator i starteren, udladning fra eller forkert montage af fra kablet mellem starter og lyskilde, for lang afstand mellem starter og lyskilde, lyskilden er i slutningen af sin levetid eller forkert monteret, forsyningskablet er ikke korrekt monteret.
- Flimrer. Opstår sædvanligvis ved defekter i lyskilden eller forkoblingen, men kan desuden skyldes hyppige tændinger samt kraftig eller asymmetrisk køling af lyskilden.
- Lyskilden eksploderer. Gastrykket under drift er ca. 40 bar. En svaghed i glaskolben kan medføre en kraftig eksplosion af lampen.

Termiske forhold

Temperaturen af soklen må ikke overstige 230 °C, og kølingen skal være jævn over hele glaskolbens overflade, idet en asymmetrisk køling vil forstyrre lysbuen. Den bedste metode til at

sikre dette, er at sørge for god ventilation omkring lyskilden. Xenonlamper med høje effekter har dog behov for forceret luftkøling fra en ventilator, mens typer med effekter over 20 kW kan have behov for vandkøling af elektroderne. Termisk stabilisering indfinder sig efter 5-10 minutters drift.

Udvikling og historie

Xenonlamper blev udviklet omkring 1950'erne. De fandt hurtig anvendelse i biografer, hvor de over kort tid erstattede kulbuelamper. De kunne dog kun anvendes i lodret position, hvilket førte til en lidt kompliceret konstruktion af det optiske reflektorsystem. I 1970'erne blev det muligt at konstruere xenonlamper, der kunne anvendes i både vandret og lodret brændeposition. Denne udvikling førte til fremkomsten af mere effektive filmprojektorer, der øgede luminansen af lyset på et biograflærred med ca. 30 % med samme effekt.

I forhold til tidligere udgaver, hvor elektroderne bestod af rent wolfram i en særlig tung udgave, er levetiden samt elektriske og fotometriske forhold er forbedret ved brug af metallegeringer. Xenonlamper til brug i biografer kan fås i adskillige typer med effekter fra 75 W til 12 kW.

En særlig udgave til bilers forlygter fremkom i 1991. Effekten var ca. 35 W og effektiviteten tæt på 100 lm/W. Det særlige udstyr til forkobling betyder, at priser en væsentlig højere end for almindelige halogenforlygter, og derfor ses xenon forlygter typisk kun i dyrere biler.

INTRODUKTION

Med armaturer menes i denne sammenhæng belysningsarmatur, i almindelig tale også kaldet lamper.

I afsnittet om [armaturets bestanddele](#) behandles de forskellige delelementer, som armaturer typisk består af. Disse omfatter bl.a. armaturhus, elektriske dele, evt. reflektor eller andre lysstyrende dele samt blændingsafskærmning.

Når man skal vælge armatur(er) til en bestemt belysningsopgave, bør valget ske ud fra hensyntagen til flere parametre, herunder [armaturets lysfordeling](#), [virkningsgrad](#) og forhold vedrørende [vedligeholdelse](#).

Den britisk engelske betegnelse for armatur er luminaire (eller light fitting), den amerikanske er (lighting) fixture.



Belysning på tunnelbanestation i Stockholm. Foto: Astrid Espenhain.

INTRODUKTION

Armaturer består af flere delelementer, som har betydning for hvordan lyset fra armaturet virker.

Udover at armaturet skal fordele lyset på passende vis, er armaturets opgave at

- skabe den elektriske forbindelse mellem lyskilden og lysnettet
- fastholde og beskytte lyskilden og evt. forkoblingsudstyr
- dirigere lyset derhen, hvor det skal bruges
- skjærme af for indkig til lyskilden og beskytte mod blænding
- bortlede varme
- se pænt ud



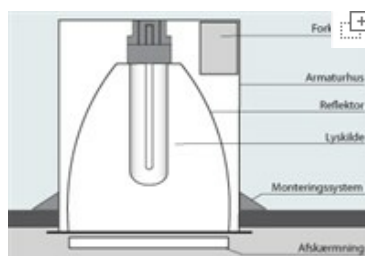
Foto: Astrid Espenhain.

Armaturets opbygning afhænger i høj grad af, hvilken lyskilde det er designet til.

Nogle [armaturtyper](#) er opbygget af simple elementer, og andre består af mere komplicerede lystekniske konstruktioner, som bidrager til en præcis lysstyring og en effektiv [blændingsafskærmning](#) og i øvrigt er afgørende for armaturets [lysfordeling](#) og [virkningsgrad](#), dvs. energieffektivitet.

De typiske grundlæggende elementer i et armatur er:

- armaturhus
- evt. fatningssystem
- lyskilde
- reflektor eller andre optiske dele
- afskærmning
- evt. forkoblingsudstyr
- evt. anden elektronik
- evt. kølesystem mv.
- evt. monteringsystem
- evt. forsegling, tætning o.lign.
- evt. fotocelle eller bevægelsesmelder
- diverse interne ledninger og forbindelsesdele



Armaturets grundlæggende elementer.

ARMATURHUS OG FATNINGSSYSTEM

Armaturhuset har flere funktioner. Det fungerer som indpakning og skal beskytte lyskilder, fatninger og andet tilbehør. For nogle typer armaturer bidrager armaturhuset desuden til at holde temperaturfølsomme lyskilder varme eller kolde.

Nogle typer armaturer er mere udsatte end andre. Det gælder f.eks. armaturer til [park- og stibelysning](#), [udendørs projektører](#) samt nogle [industriarmaturer](#). I disse tilfælde er det ekstra vigtigt, at armaturhuset er udformet som en robust enhed, der beskytter indvendige dele mod udefra kommende påvirkninger i form af vand, snavs, slag, spark, rystelser mv.

Endelig skal armaturet se pænt ud eller på anden måde have en visuel fremtoning, som passer til dets anvendelse.

Materialer

Ved fremstilling af armaturhuse anvendes materialer som stål, aluminium, messing, glas, kunststof (akryl, polycarbonat, polyethylen, polyester etc.), gummi, papir og i enkelte tilfælde træ.

I nogle armaturer, f.eks. visse pendeltyper, fungerer armaturhusets inderside som reflektor, hvilket har stor betydning for armaturets [lysfordeling](#) og [virkningsgrad](#), dvs. hvordan lyset fra armaturet udsendes og hvor effektivt armaturet er. I mange af disse tilfælde er indersiden af armaturhuset enten diffust hvid eller har en mere eller mindre blank metaloverflade. I andre tilfælde er der anvendt transparente materialer, som f.eks. ætset glas eller opale plastmaterialer.

Når der er tale om armaturer til udendørs brug, udføres armaturhuset ofte i Bestandige materialer, som ikke korroderer eller nedbrydes af solen, dvs. materialer som f.eks. plast, aluminium eller galvaniseret stål.

Design og dimensioner

Når man vælger et armatur til en bestemt anvendelse sker det bl.a. ud fra armaturets ydre form og udseende og det er væsentligt, at armaturhuset har et design, som passer til den arkitektur og indretning, det skal placeres i. Men armaturhusets design og dimensioner har stor betydning for armaturets lysfordeling, virkningsgrad og forhold vedr. [blænding](#). En lille eller meget smal lysåbning kan f.eks. give anledning til blændingsproblemer.

Til nogle typer anvendelse er det desuden væsentligt, at armaturet er robust og gedigent, så det kan klare en del uden at komme til at se slidt ud. Når det gælder [arbejdslamper](#), [vægarmaturer](#) og lign. er det desuden vigtigt, at armaturet er nemt at justere.

Fatningssystem

De fleste LED-armaturer til professionel brug har en fast indbygget lyskilde uden fatning, men alle andre armaturer har brug for forbindelse (mekanisk/elektrisk/termisk) med armaturet. Eftersom mængden af sokkeltyper til lyskilder er temmelig stor, gælder dette også for fatninger og fatningssystemer. I de armaturer, der er beregnet til lyskilder med skruesokkel (E14 eller E27) findes selvfølgelig en skruefatning.

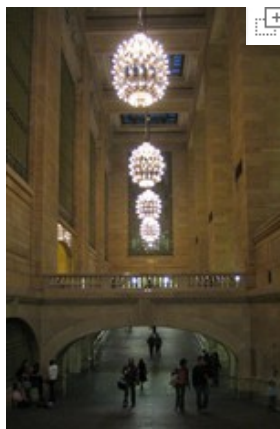
Armaturer, der er beregnet til lyskilde med en anden type sokkel end skruesokkel, er monteret med fatninger der passer til netop denne specifikke sokkeltype. Dog kan enkelte typer [kompaktlysstofrør](#) og [reflektorhalogenlyskilder](#) anvendes i flere typer fatninger. Det gælder f.eks. reflektorhalogen med GU10, som også kan monteres i en fatning beregnet til GZ10.



Et armatur skal bl.a. beskytte lyskilden.
Foto: Astrid Espenhain.



Indbyggede armaturer.
Foto: Astrid Espenhain.



Armaturets dimensioner skal passe til rummet. Foto: Astrid Espenhain.



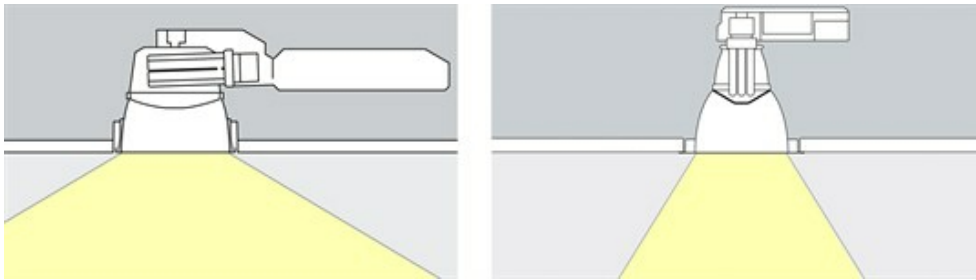
Sokkel og fatning skal passe sammen.

Armaturer til aflange eller U-formede [lysstofrør](#) har to fatninger, mens cirkulære lysstofrør og de mange typer kompaktlysstofrør typisk har en enkelt sokkel.

I nogle typer armaturer, for eksempel nogle typer [downlights](#), er armaturet desuden udstyret med en ekstra fatning for [nødbelysning](#).

[Damplamper](#) i større wattager er normalt forsynet med skruesokkel, og defekte lyskilder kan derfor skiftes uden brug af værktøj. I nogle typer [vejbelysningsarmaturer](#) kan reflektor og/eller fatning i øvrigt indstilles i forhold til hinanden, så forskellige lysfordelinger kan opnås.

I de fleste typer armaturer er fatningen eller fatningerne placeret symmetrisk i armaturet. I nogle typer armaturer, f.eks. downlights eller tavlebelysningsarmaturer, kan fatningen dog være placeret asymmetrisk i armaturet, hvilket enten skyldes, at man har ønsket at reducere armaturets indbygningshøjde (downlight), eller at armaturet skal have en asymmetrisk lysfordeling.



Indbygningshøjden kan reduceres ved at placere kompaktlysstofrøret vandret og dermed asymmetrisk i armaturet. Denne placering medfører desværre, at armaturets lysfordeling ikke er helt symmetrisk. Figur: ERCO.

REFLEKTOR

Mange armaturer er forsynet med reflektor, hvis opgave er at styre lyset ud ad armaturet.

Reflektoren har stor indflydelse på armaturets [lysfordeling](#) og [virkningsgrad](#).

De fleste reflektorer er symmetriske og giver en symmetrisk fordeling af lyset. I nogle typer armaturer anvendes dog en asymmetrisk reflektor, som giver en asymmetrisk fordeling af lyset fra armaturet. Det gælder for eksempel armaturer til belysning af gader, tavler og reoler.

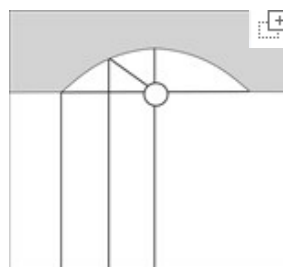
En reflektor enten spejlende, diffuserende eller en mellemtung. Spejlende reflektortyper fremstilles primært i aluminium og plast og kan have en helt blank overflade (højglans), en helt mat f.eks. hvid overflade (diffus), eller en mellemtung mellem de to (semidiffus). En diffuserende reflektor vil typisk have en mat, hvid overflade og består ofte af plast eller hvidlakeret metal. For nogle typer armaturer, for eksempel en almindelig pendel, vil indersiden af armaturet udgøre en sådan diffuserende reflektor.

Armaturer med spejlende reflektorer resulterer normalt i bedre lysstyring og dermed højere virkningsgrad (60-90 %) end armaturer med diffuserende reflektorer (50-60 %). Armaturer med diffuserende reflektor giver et blødere lys end armaturer med spejlende reflektor.

I armaturer med meget blanke reflektorer med en meget skarp afskæring af lyset mod siderne (kaldet dark-light) bør man være særlig opmærksom på blændingsafskærmningen, da der ofte er stor variation i [luminansen](#) (og blændingsfornemmelse) fra disse armaturer afhængig af position og synsretning i forhold til armaturet.



De specialudviklede armaturer på perron 5 på Københavns Hovedbanegård sørger for at lyset falder præcist på perronen.
Foto: Astrid Espenhain.



Parabolsk reflektor med lyskilden placeret i parablens brændpunkt.

AFSKÆRMNING

Armaturets afskærmning er ofte afgørende for armaturets æstetiske udtryk og skal i øvrigt begrænse indkig direkte til den nøgne lyskilde og derved begrænse blænding fra armaturet. Derudover vil afskærmningen ofte bidrage til at udjævne og/eller styre lyset.

Der findes mange typer afskærmninger, herunder forskellige former for gitre, opale glas- eller plastafskærmninger samt prismatiske afskærmninger i akryl. De forskellige typer afskærmninger har forskellige egenskaber med hensyn til lysstyring og blændingsbegrænsning. Nogle gittertyper er udført i en simpel gitterstruktur, mens andre f.eks. enkelt- og dobbeltparabolske gitre er mere sofistikerede og bidrager væsentligt til selve lysstyringen i armaturet.

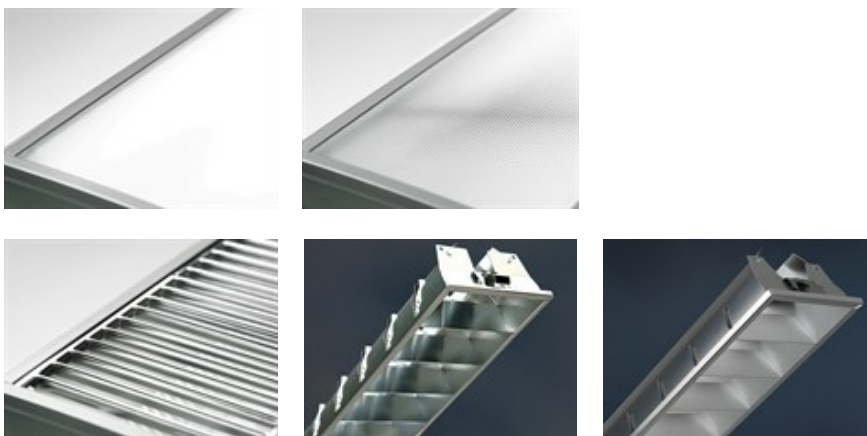
Da afskærmning ofte medfører et lystab, har valget af afskærmning stor indflydelse på [armaturvirkningsgraden](#).

Gitre og prismeafskærmninger anvendes hovedsagelig i armaturer til [LED](#), [lysstofrør](#) og [kompaktlysstofrør](#), mens opale afskærmninger anvendes i stort set alle armaturer typer.

I armaturer uden egentlig blændingsafskærmning, herunder f.eks. [pendler](#), vil selve armaturets udformning ofte indeholde afskærmende elementer.



Opale cafe-pendler. Foto: Astrid Espenhain.



Typiske armaturafskærmninger. Øverst; opalafskærmning (tv) og prismatisk afskærmning (th). Nederst; lamegitter (tv), dobbeltparabolsk (m) og enkeltparabolsk gitter (th). Fotos: Thorn (øtv, øth, ntv) og Fagerhult (nm og nth).

FORKOBLINGSUDSTYR OG ANDEN ELEKTRONIK

Nogle typer lyskilder kræver forkoblingsudstyr, som sikrer passende start- og driftsbetingelser for lyskilden.

[LED'er](#) kræver forkobling, som kaldes en driver (udtales på engelsk), og som sørger for at opretholde den korrekte jævnstrøm til lyskilderne. I armaturer med lysdioder vil driveren enten være indbygget i armaturet eller følge med armaturet.

I armaturer til [lysstofrør](#), [kompaktylstofrør](#) og øvrige typer [damplamper](#) har forkoblingen til opgave at begrænse strømmen igennem lyskilden. Forkobling og eventuel starter vil typisk være monteret i selve armaturet. Forkoblinger fås i mange udgaver til forskellige formål. F.eks. kan nogle forkoblinger dæmpes, andre ikke. Mange armaturer fås i flere udgaver med forskellige forkoblinger, og det er vigtigt at bestille armaturet med den rette type forkobling.

[Lavvolt halogenlyskilder](#) skal forkobles med en transformer, som begrænser spændingen over lyskilden. Transformatoren vil som regel ikke være monteret i selve armaturet, men vil indgå som en del af de komponenter der følger med, når man køber det.

Fotocelle og bevægelsesmelder

I nogle armaturer er monteret fotocelle til [dagslysstyring](#) eller [bevægelsesmelder](#) (PIR sensor).

I armaturer til sikkerhedsbelysning kan en fotocelle f.eks. sikre, at lyset altid er tændt i de mørke perioder. Men også armaturer til mere gængse anvendelser kan være monteret med en fotocelle, som sørger for at belysningen reguleres efter mængden af [dagslys](#).

En del armaturer er monteret med en bevægelsesmelder, så lyset kun er tændt, når der er brug for det. Det gælder f.eks. armaturer til belysning af indgangspartier i private boliger og offentlige miljøer. Derudover fås nogle armaturer til bl.a. lysstofrør med indbygget bevægelsesmelder.

Anden elektronik

Endelig kan armaturet være forsynet med forskelligt kommunikationsudstyr, der gør det muligt f.eks. i gadebelysning at fjernstyre funktionen og få tilbagemelding om armaturets driftstilstand ("Smart Light"). Nogle armaturer kan også huse offentlig WIFI, overvågningsudstyr og lignende.

MONTERINGSSYSTEM

Der findes et utal af forskellige monteringsystemer til armaturer. Indendørs armaturer er typisk indbygget i loft, påbygget væg eller loft eller nedhængt i wirer eller lign. Andre (f.eks. spots) er monteret på et skinneresystem i loftet. Derudover kan armaturet være monteret på arm (f.eks. arbejdslamper) eller stander.

Hvis montering er nødvendig, skal der medfølge en monteringsvejledning i armaturets emballage. Udover at forklare korrekt mekanisk og elektrisk montering, redegøres også for eventuelle indstillingsmuligheder, forklaring på korrekt [vedligeholdelse](#) og rengøring.

Ved monteringen er det vigtigt at tage stilling til, om der skal autorisation til at udføre arbejdet sikkert.

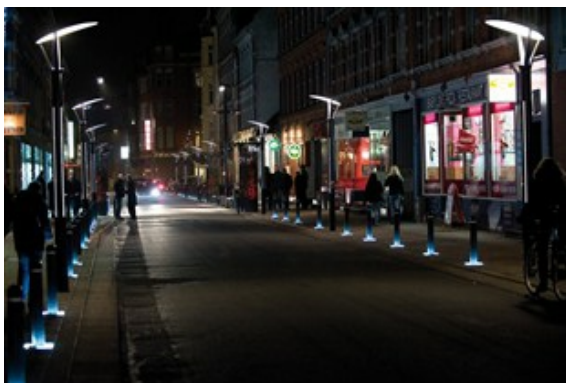
Mekanisk montering

Udendørs armaturer til mindre veje, stier og lignende vil typisk enten være monteret på mast, nedgravet eller nedfældet i terræn. Større armaturer til egentlig vejbelysning er typisk monteret på mast eller wire. Andre mindre udendørsarmaturer, f.eks. spots eller armaturer til privat brug, indmures eller monteres typisk på væg eller indbygges i et udhæng eller lignende.

Monteringsystemet er en del af armaturløsningen, og skal være mekanisk sikker, dvs. kunne optage til de fysiske påvirkninger, som armaturet udsættes for i sin levetid.

Monteringen skal helst også være brugervenlig. Herved forstås, at monteringen skal være

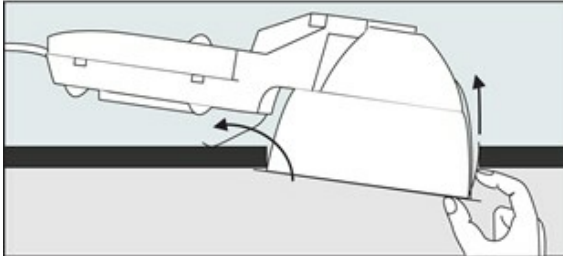
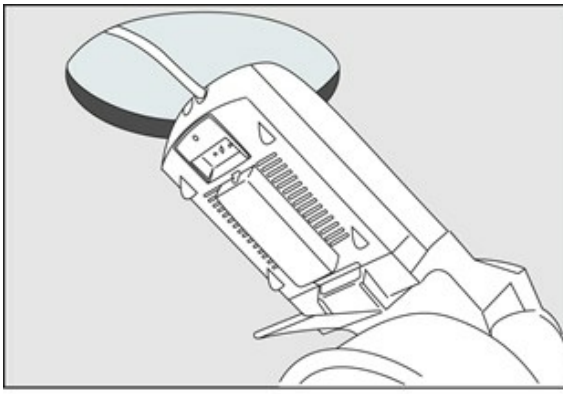
- selvforklarende, logisk og entydig
- kræve et minimum af værktøj



Esbjerg gågade. Foto: Philips.

Der kan være meget stor forskel på de enkelte leverandørers monteringsystemer, både hvad angår eventuelt udseende og selve monteringen, herunder hvor nemt, hurtigt og robust systemet er at anvende. Derfor kan monteringsystem være en afgørende parameter for valg af armatur.

For armaturer, der indbygges eller monteres på brændbart underlag, findes der regler i [Stærkstrømsbekendtgørelsen](#), som skal følges. Se i den forbindelse eventuel mærkning på armaturet.



Montering af downlight. Figur: Fagerhult.

Elektrisk montering

Generelt findes der fire forskellige måder, som armaturerne kan forbindes til lysnettet via:

- stikprop (som bordlamper) til udtag i væg eller loft
- skinnemontering, hvor armaturet kobles direkte på en strømførende skinne monteret på loftet eller nedhængt fra dette
- stikforbindelser- specifikke han/hun-forbindelsessystemer, som ofte anvendes ved loftsmonteret kontorbelysning
- klemrække på monteringsstedet. Sådan forbindes pendler typisk til udtag i loft, og gadebelysning til sikringsbokse i mastefoden. Hvis armaturet leveres uden tilledning, kan der tilsvarende være en klemrække på armaturet. Sådan er det ofte med vægmonterede armaturer.

FORSEGLING OG TÆTNING

For nogle typer armaturer er det vigtigt, at armaturets komponenter beskyttes mod unødigt tilsmudsning og slitage samt eventuelt vand og andet, der kan trænge ind i armaturet. Derfor anvendes forskellige former for tætningsmaterialer.

Afhængig af armaturets benyttelse, dvs. om det benyttes inde eller ude, i rene eller beskidte omgivelser, med risiko for vandsprøjt, olietåger, eksplosion osv., stilles forskellige krav til armaturets forsegling og tætning.

I [Stærkstrømsbekendtgørelsen](#) opererer man med såkaldte kapslingsklasser også kaldet IP-klasser, som gælder for elektrisk materiel, herunder belysningsarmaturer. Med to cifre angiver IP-klassen armaturets beskyttelse mod støv, faste genstande og fugt.

Det første af de to cifre angiver armaturets beskyttelse over for støv, urenheder og andre fremmedlegemer, samt beskyttelsen af personer mod berøring af armaturets elførende dele. Det andet ciffer angiver armaturets beskyttelse over for indtrængen af fugt eller væske. IP-klassen tjener således to formål, nemlig at beskytte både bruger og armatur.

Som det fremgår af tabellen, er den laveste kapslingsklasse IP00, som betyder at armaturet er ubeskyttet, og den højeste IP68, der betyder, at armaturet er støv-, vand- og tryktæt.

<i>IP klasser</i>	<i>Andet ciffer</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Første ciffer</i>	Ubeskyttet	Dryptæt	Regntæt	Stænktæt	Stråletæt	Vandtæt	Tryktæt
Beskyttet mod berøring af hånd	IP 00	IP 01	.	.	.	.	.
Beskyttet mod berøring af finger	IP 10	IP 11	IP 13	.	.	.	.
Beskyttet mod berøring af tråd	IP 20	IP 21	IP 23	.	.	.	.
Berøringssikkert	IP 40	IP 41	IP 43	IP 44	IP 45	.	.
Støvfaskærmet	.	.	.	IP 54	IP 55	.	.
Støvtæt	.	.	.	.	IP 65	IP 67	IP 68

I sin simpleste form er forseglingen med almindelige skruer og kan afmonteres med almindeligt værktøj. I mere vedligeholdelsesvenlige armaturer anvendes tætninger, der både kan løsnes og monteres uden værktøj. For mange moderne armaturer kan skift af lyskilder (og glimtændere) foregå uden brug af værktøj, mens adgangen til eksempelvis spoler, kondensator og andet [forkoblingsudstyr](#) med længere levetid normalt kræver værktøj.



Billedtekst: IP-klassen for dette industriarmatur er 65, hvilket betyder at armaturet er både støvtæt og stråletæt i forhold til vand.

Til selve tætningen anvendes elastiske, formstabile kunstmaterialer, der låses med f.eks. hasper eller lign. af fjederstål (bladfedre). Ved store temperatursvingninger, hvor især metaller udvider sig eller trækker sig sammen, er en dynamisk samling ofte nødvendig. Derfor anvendes elastiske lister af syntetisk filt i kritiske samlinger mellem de hårde, temperaturfølsomme materialer.

[Vejbelysningsarmaturer](#), [udendørs projektører](#) og [nedgravningsarmaturer](#) er i reglen forseglet med hærdet frontglas eller, for vejbelysningsarmaturers vedkommende, en skærm af kunststof. Frontglas eller anden afskærmning er fastgjort med rustfri lukkebeslag og tætnet med pakninger (f.eks. silikonegummi). Lukkebeslagene giver mulighed for en nem udskiftning af lyskilden i armaturet. Beskyttelsesklassen for vejbelysningsarmaturer er IP23 (regntæt) eller højere, mens projektørerne typisk er udført i minimum beskyttelsesklasse IP 54, hvilket betyder, at de er støvafskærmede og beskyttet mod oversprøjtning. For denne type armaturer stilles desuden specielle krav til den elektriske installation, specielt hvis armaturet skal nedfældes i terræn, og der derfor kan stå vand i hullet omkring. Krav til isolationsklasser fremgår af Stærkstrømsbekendtgørelsen.

Er helt tæt en mulighed?

Armaturets dele og luften inde i et armatur kan udvide sig og trække sig sammen i takt med varmpåvirkningen fra brugen af armaturet eller med vejrpåvirkning. Af denne grund er det rigtig svært at lave armaturer som er helt tætte, og armaturet vil "ånde" med sine omgivelser afhængigt af temperaturen. Dette kan give anledning til betydelige kondensproblemer, og det kan være så grelt, at armaturet over tid kan samle flere deciliter vand inden i. Hvis formålet med en høj tætningsklasse er at holde fugt ude, er det selvsagt ikke formålstjenligt.

I mange udendørs løsninger er der derfor rigeligt med tæthedsklasse IP54, og man kan så til gengæld forsyne armaturet med en "kontrolleret" måde at ånde på, f.eks. gennem et lille filter, således at snavs og insekter holdes ude, samtidig med at armaturet kan slippe af med eventuel fugt.

TEMPERATURREGULERING

Alle typer lyskilder afgiver varme. De forskellige typer lyskilder har desuden også en optimal omgivelsestemperatur, ved hvilken lysudsendelsen er maksimal.

Nogle typer lyskilder tåler ikke kulde, mens andre er følsomme over for høje temperaturer. Derfor er det vigtigt, at temperaturen i et armatur kan holdes på et nogenlunde stabilt niveau.

I mange tilfælde giver temperaturforholdene i et armatur slet ikke anledning til problemer, bl.a. fordi der i mange armaturer er en naturlig ventilation. I de armaturer, hvor varmen kunne have været et problem, har man sørget for at skabe passende åbninger i armaturhuset, som sikrer tilstrækkelig gennemstrømning til naturlig køling. Det gælder f.eks. nogle typer [lysrørsarmaturer](#).

Mens andre lyskilder udsender en del af varmen i form af varmestråling, bliver varmen fra en [LED-løsning](#) (lysdioder) sendt bagud til det underlag, lysdioden er monteret på. Hvis LED'en ikke køles, vil temperaturen meget hurtigt stige til over 100 °C, og LED'en vil brænde af. Desuden falder LED'ens lysudbytte med stigende temperatur. I armaturer med LED er det derfor meget vigtigt at varmen ledes effektivt væk. I nogle typer er armaturet udformet, så selve armaturhuset fungerer som køling for de LED'er, der er i armaturet. Endelig falder også LED'ers levetid ved forhøjede temperaturer.

I nogle typer armaturer kan kulde være et problem. Det gælder f.eks. [vejbelysningsarmaturer](#). Derfor er disse ofte kapslet på en måde, som netop holder på varmen og sørger for at der ikke bliver for koldt omkring lyskilden.

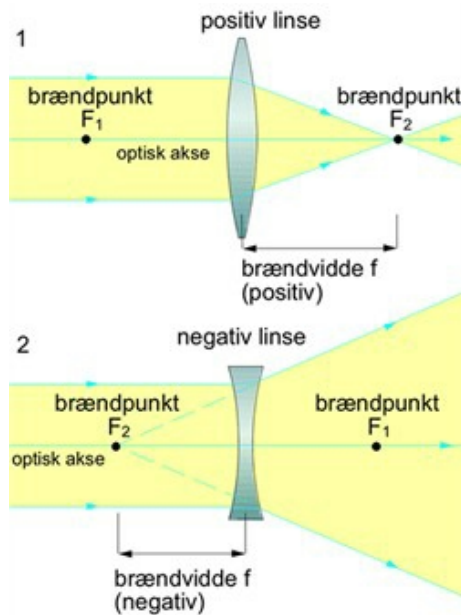
ARMATURTILBEHØR

En del tilbehør til armaturer minder om det tilbehør, man anvender på teateret til at dirigere, afgrænse eller farve lyset.

Typisk tilbehør er linser, goboer og diverse afskræmningselementer samt farvefiltre. Derudover findes tilbehør af mere dekorativ karakter, f.eks. til [downlights](#).

Linser

En linse anvendes til at ændre lyskeglen fra en spot, så den bliver enten smallere eller bredere. Nogle linsetyper bevirker desuden, at lyskeglen blødes op og afgrænsningen bliver mindre præcis. Til armaturer med justerbare spredningsvinkler findes desuden såkaldte fresnellinser med trinvis justering.



Linse. 1 Positiv linse (samlelinse). 2 Negativ linse (spredelinse). En linses styrke er karakteriseret ved dens brændvidde, som er afstanden fra linsens midtpunkt til brændpunkterne F_1 og F_2 . Brændvidden regnes positiv for en samlelinse og negativ for en spredelinse. En lysstråle parallel med den optiske akse vil efter afbøjning i en positiv linse passere gennem brændpunktet efter linsen. I en negativ linse vil strålen efter afbøjning have en retning, som om den kom fra brændpunktet foran linsen. Figur: www.denstoredanske.dk.

Goboer

En gobo er en lille aluminiumsplade, hvori der er udstanset et mønster. Goboer anbringes foran lyskilden som en slags filter, hvorved lyset udsendes i et bestemt mønster, som aftegnes på den flade, som lyset rammer. Goboer anvendes primært til scenelys, men vinder også mere og mere indpas i f.eks. udendørs belysning.



Fresnel-linser anvendt foran lyskilden i et fyrtårn. Denne linsetype er specielt velegnet her, idet der kræves et stort linseareal og pga. pladsforholdene en lille brændvidde. Figur: Gyldendal / www.denstoredanske.dk.



Nyborgbroerne belyses i de mørke timer af armaturer monteret med goboer. Foto: ÅF Lighting/Lars Bahl.

Farvefiltre

Farvefiltre består enten af varmeresistent, ikke-brændbar plast eller af glas og monteres ligesom goboer foran lyskilden. Den største termiske modstandsdygtighed opnås med glasfiltre.

Farvefiltre farver lyset i filtrets farve og benyttes bl.a. i butiksbelysning, udendørs belysning og selvfølgelig til scene- og teaterbelysning.

Dekorativt tilbehør

Til nogle armaturtyper, herunder [spotlights](#) og downlights, findes forskelligt dekorativt tilbehør. Ofte er designet for disse armaturer enkelt, men kan ændres ved hjælp af afslutningsringe eller andre dekorative elementer, som kan give armaturet en helt anden karakter. Mange af sådanne tilbehørsdele har også en funktion, som f.eks. at mindske blænding eller at diffusere lyset i bestemte retninger.



Eksempler på tilbehør til downlights. Fotos: Riegens.

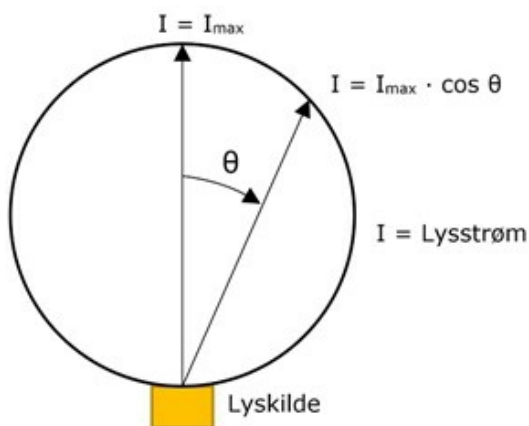
LED OPTIK - SEKUNDÆR OPTIK

Næsten alle LED-løsninger indeholder en eller anden form for optisk løsning, der styrer lyset fra den nøgne LED. LED'ens egen lysudsendelse udgør den primære optik, mens linser, refraktorer, reflektorer og prismer under ét kaldes sekundær optik.

Sekundær optik har ofte to formål:

- At styre lyset, så der opnås en hensigtsmæssig og effektiv [lysfordeling](#)
- At bidrage til den visuelle oplevelse af armaturet og hindre blænding

Nøgne LED-chips har næsten altid en lysfordeling, som følger Lamberts cosinus-lov (på engelsk kaldet "Lambertian") - parallel til fordelingen for [ideelt diffus refleksion](#):



Figuren viser en "Lambertian" lysfordeling, hvor det meste lys udsendes vinkelret frem for lyskilden.

Denne lysfordeling, hvor hvor hovedparten af lyset udsendes lige frem for lyskilden, er ikke altid optimal. Derfor er der brug for en sekundær optik, der dirigerer lyset derhen, hvor det skal bruges (f.eks. langt ud til siderne som i gadebelysning) og sikrer mod blænding i visse vinkler.

Sekundære optikker kan være linser (refraktorer), reflektorer eller prismer. Reflektorerne udføres normalt i aluminiumsbelagt plast eller aluminium, mens linser og prismer mest udføres i akryl. Linser i glas, optisk silikone eller andre plasttyper er også muligt.

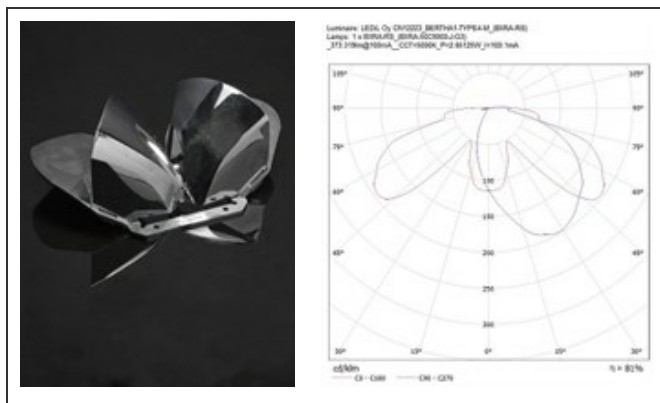
Reflektorer

Mange LED'er er ganske små, så reflektorerne kan tilsvarende også gøres meget mindre, end f.eks. til et kompaktlysør. Ikke meget af lyset kommer ud til siderne og rammer reflektoren, så derfor kombineres reflektorer til LED ofte med linser til behandling af hovedparten af lyset. LED reflektorer er dermed gode til at samle lyset i en smalt strålebunt, men ikke til at sprede lyset.



En LED-reflektor (Ø70 mm) passende til en COB LED med en diameter på ca. 31 mm. Her sikrer

reflektoren en udstrålingsvinkel på 28°, som passer til f.eks. spots til butiksbelysning. Kilde: Ledil Oy



En assymetrisk LED-reflektor som opdeler lyset fra en COB-linse i tre fraktioner - lige ned, og til begge sider - passende til f.eks. vejbelysning. Kilde: Ledil Oy

TIR-linser eller Collimatorlinser

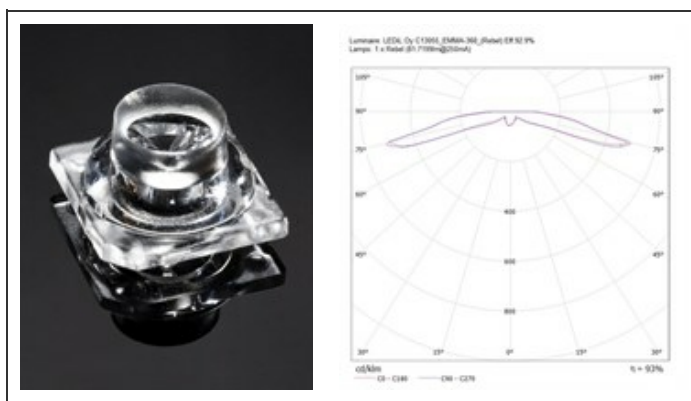
Gennemsigtige plastmaterialer kan også fungere som en slags reflektor, når lyset møder plastoverfladens inderside i en tilpas flad vinkel. Samme princip udnyttes i lysledere. Lys, der rammer en linses overflade indefra under en vinkel, der er mindre end en vis kritisk værdi, bliver totalreflekteret. Sådanne linser kaldes TIR-linser (Total Internal Reflection). TIR-linser kaldes også for kollimatorlinser eller kollimatorer.

Linser og refraktorer

En anden egenskab ved linser er, at lysets brydning i linsens overflader kan lyset til at skifte retning - den såkaldte refraction, som er knyttet til materialets brydningsindeks. Nogle linser er kun "refraktorer" (såsom almindelige brilleglas), andre udnytter både refleksion (TIR-princippet) og refraction i sin behandling af lyset.

Moderne LED-armaturer til f.eks. gadebelysning fås med forskellige lysfordelinger. Her udnytter man, at alle armaturdele inkl. LED-lyskilderne er helt ens, men at lysfordelingen kan ændres ved blot at udskifte den sekundære optik.

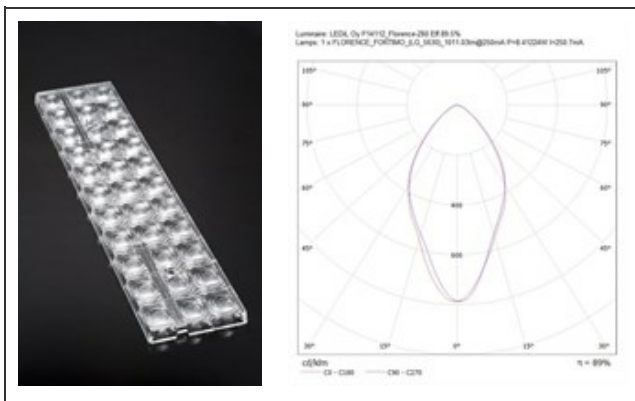
Som med reflektorer udnytter LED-linser, at LED'en selv er ganske lille, og således kan linserne også blive små. Desuden er linserne mest effektive, hvis de sættes så tæt op at LED'en som muligt. Herved undgås lystab, og de små akryllinser er hurtigere og billigere at sprøjtstøbe nøjagtigt.



Et eksempel på en ganske lille LED-linse (10x10 mm), som kan dirigere så godt som alt lyset ud til siderne (en "side-emitter" linse). Her udnyttes TIR-princippet i linsens kegleformede midte, mens refraction er styrende for udformningen af linses let hvælvede sider. Kilde: Ledil Oy

Mange linser passer ikke bare til en enkelt LED, men til en gruppe af LED'er, sådan som de leveres på boards fra LED-leverandørerne. Herved gøres hele monteringen lettere og mere

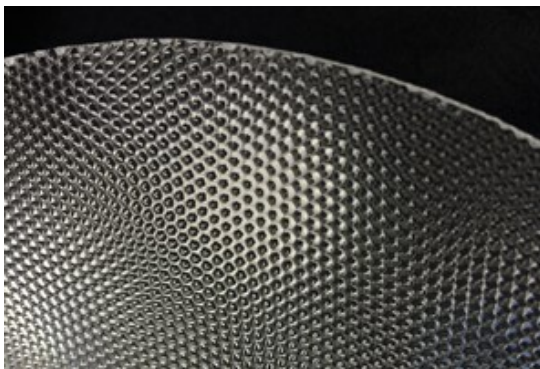
præcis.



Et eksempel på en stor gruppe LED-linser (11x3 stk), som samlet set giver den viste lysfordeling.
Kilde: Ledil Oy

Mikroprismer

Hele armaturåbningen kan forsynes med et mikroprismatisk materiale. Her er fordelene, at lyset fra mange lyskilder (også fra f.eks. lysrør) kan styres på en gang - omend knap så præcist. F.eks. kan lys i vinkler, der giver anledning til blænding, omdirigeres. Samtidig er kan den mikroprismatiske afdækning give et mere ensartet visuelt udtryk end mange små, separate linser. Jo mindre prismer, desto mere ensartet. Men jo mindre prismer, desto sværere er fremstillingen også, da prismerne skal stå så skarpt som muligt. Nogle mikroprismatiske afdækninger kan desuden også give anledning til interferensmønstre og indimellem også iridisering (brydning i regnbuefarver). Disse effekter kan ofte forhindres ved at kombinere den mikroprismatiske afdækning med en opaliserende film.



Et eksempel på et stykke akrylplade med mikroprismer på den ene side. Prismerne er ca. 1,5 mm i diameter. Foto: Anne Bay

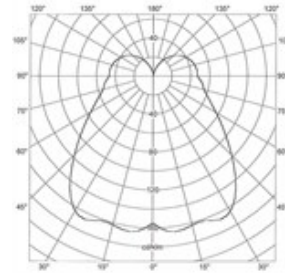
INTRODUKTION

Et armaturets lysfordeling beskriver, hvordan lyset fra armaturet udsendes. Lysfordelingen har betydning for, hvordan lyset virker i et rum og hvor effektivt armaturet er.

Et armaturets lysfordeling fremstilles ofte grafisk i en [lysfordelingskurve](#), som viser [lysstyrken](#) fra armaturet i forskellige retninger. Ud fra lysfordelingskurven kan man beregne sig til, hvor meget lys, der forlader armaturet i en bestemt retning. Udover lysfordelingskurven anvendes en række begreber, som bidrager til at beskrive og forklare armaturets lysfordeling. Man taler f.eks. om smalstrålende og bredstrålende armaturer, hvilket henviser til, hvor smal eller bred armaturets lysfordeling er.

Lysfordelingskurver danner grundlag for lysteknisk dokumentation og beregning og vises derfor ofte i datablade for armatur og i belysningskataloger.

Herunder er vist en typisk lysfordeling for et rotationssymmetrisk armatur, dvs. et armatur, hvis lysudsendelse er ens både på langs og på tværs af armaturet.



Lysfordeling for Louis Poulsens loftarmatur Pulsar 135, som er vist på billedet .

Foto og figur: Louis Poulsen.

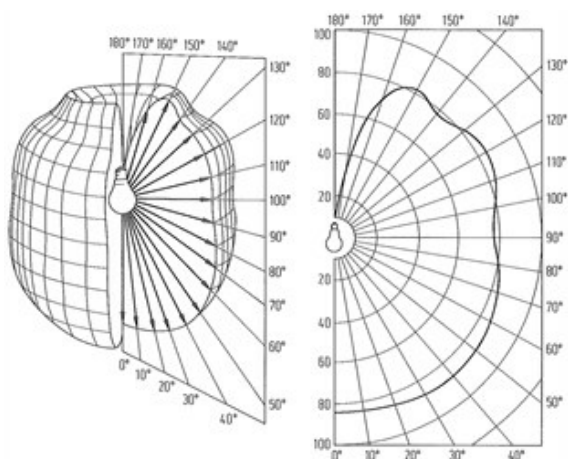
LYSFORDELINGSKURVER

Med et armatur (eller en lyskilde) lysfordeling menes den samling af lysstyrker fra armaturet, der tilsammen beskriver armaturets lysudsendelse i forskellige retninger i forhold til armaturet. Lysfordelingskurven er en afbildning af armaturets lysfordeling i et udvalgt lodret plan.

I lysfordelinger for armaturer til belysning af arbejdslokaler, veje mv. optegnet kurven med udgangspunkt i de målte lysstyrker normeret med lyskildens nominelle [lysstrøm](#). Således fås samme lysfordelingskurve uanset hvilken udgave af lyskilde, der benyttes. I [LED-armaturer](#), hvor LED-enheden ikke kan fungere uden armaturet, sættes lyskildens lysstrøm til at være identisk med armaturets lysstrøm, dvs. at armatur inkl. lyskilde betragtes som én, stor lyskilde med en [armaturvirkningsvirkningsgrad](#) på 100%.

[Lysstyrker](#) i en lysfordeling udtrykkes normalt i enheden candela pr. 1.000 lumen (cd/1.000 lm eller candela per kilolumen, cd/klm). Denne enhed giver passende talværdier, ofte mellem 0 og 1.000, der uden væsentlige fejl kan opgives som heltal.

Lysfordelingskurven for en uafskærmet lyskilde er vist på figuren herunder i en [polær afbildning](#). Da lyskilden her er rotationssymmetrisk, opgives lysfordelingen kun for et enkelt lodret plan, så lysfordelingen kun er en enkelt kurve. På figuren for den uafskærmede lyskilde er diagrammet inddelt i enheder á 20 cd/klm og lysstyrken fra lyskilden ligger omkring 80cd/klm i stort set alle retninger.



Lysfordelingskurven for en uafskærmet lyskilde. Her en glødepære, som er næsten rundstrålende. Kun kommer er næsten ikke noget lys ud i soklens retning.

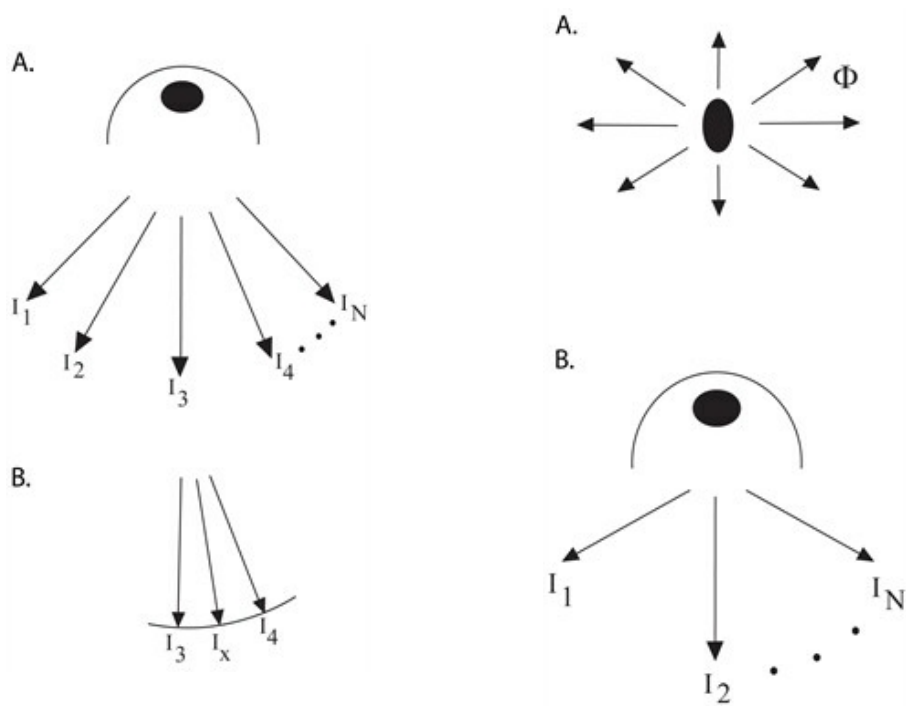
Lysfordelingen forudsætter, at armaturet selv er at betragte som et punkt, eller målt i meget lang afstand. Af samme grund udføres lysmålingerne i [fotogoniometer](#) i praksis sådan, at målecellen befinder sig i en afstand, som mindst svarer til 10 gange armaturets største dimension. Af samme grund vil lysudsendelsen selv fra et meget langt armatur blive afbildet som udgående fra ét punkt i midten af lysfordelingsdiagrammet.

Udover den polære afbildning findes også andre typer grafiske afbildninger, herunder [iso-diagrammer](#), ligesom en lysfordeling også kan være givet i en tabel eller et andet dataformat.

Lysfordelingens vinkelområde

Uanset hvilken type lysfordeling der anvendes, skal lysfordelingen beskrive armaturets (eller lyskildens) lysudsendelse tilstrækkeligt præcist. Det betyder, at lysfordelingens retninger skal dække hele det vinkelområde, som er relevant for armaturet. For nogle armaturer er dette vinkelområde hele rummet (360 °), mens det for andre armaturer er bestemte udsnit heraf (f.eks. 180 °). Antallet af retninger i lysfordelingen skal være så stort, at lysstyrkernes variation beskrives tilstrækkeligt godt. Et kriterium for, at dette er opfyldt er, at en lysstyrke i en bestemt retning kan findes ved interpolation mellem værdier i nærliggende retninger i lysfordelingen.

Ligeledes skal valget af lodrette måleplaner passe til lysfordelingens kompleksitet. For en rundstrålende lyskilde som glødepæren ovenfor er et enkelt lodret måleplan nok. For de fleste kontorbelysning vil to, ortogonale planer i hovedlysretningerne ('på langs' og 'på tværs') være passende, mens visse, assymetriske gadebelysningsarmaturer har hovedlysretninger, der fordrer 3 lodrette måleplaner.



Figurer til venstre: En lysfordeling er en samling af lysstyrker i retninger i forhold til armaturet (eller lyskilden), der tilsammen beskriver armaturets lysudsendelse. Hertil kræves, at retningerne dækker det vinkelområde, som er relevant for armaturets anvendelse, og at retningerne ligger så tæt, at lysstyrkerne i andre retninger kan findes ved interpolation.

Figurer til højre: Ved måling af lysfordelinger for armaturer til belysning i arbejdslokaler, vejbelyst m.v. foretages først en måling af lyskilden(ernes) lysstrøm (a) og dernæst af armaturets lysstyrker (b) under standardiserede betingelser. Armaturets evt. forkoblingsudstyr benyttes ved begge målinger. Lysstyrkerne normeres, så enheden er cd pr. 1.000 lm (cd/klm).

Nominelle værdier

De opgivne lysstyrker i en lysfordeling gælder for lyskildens nominelle lysstrøm ved standardbetingelser og værdier for lysstyrken fra armaturet med nominel lysstrøm betegnes armaturets nominelle lysstyrker.

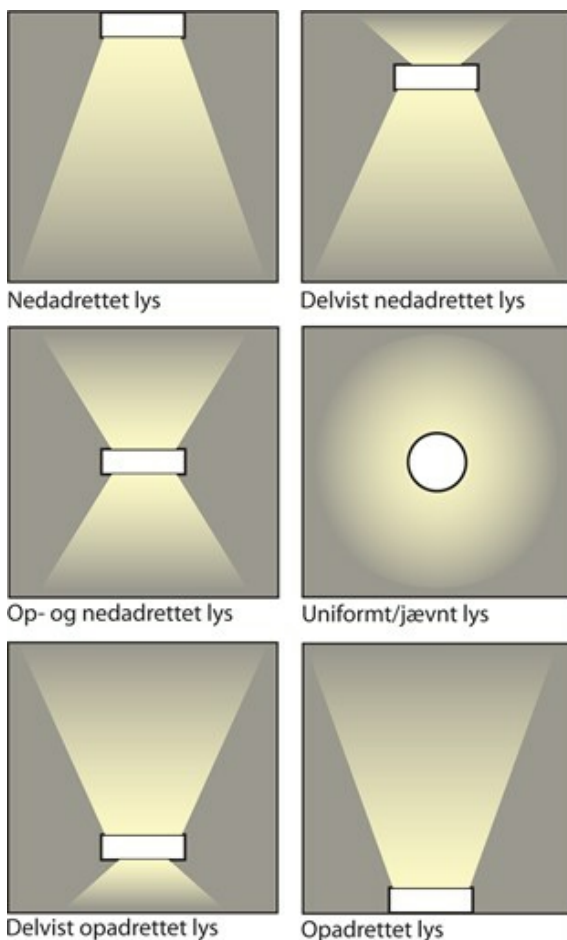
I praksis vil et armatures lysstyrker afvige fra de nominelle værdier, hvis lyskildens lysstrøm ikke har sin nominelle værdi. Dette kan skyldes den individuelle lyskilde, armaturets [forkoblingsudstyr](#) eller kombinationer af disse. Desuden kan lysstyrkerne afvige fra de nominelle værdier, når armaturet monteres under andre betingelser end standardbetingelserne, f.eks. en højere eller lavere omgivelsestemperatur. Endelig spiller strømforsyningens spænding en rolle, ligesom der vil være en nedgang i lyskildens lysstrøm i løbet af levetiden. Normalt anvendes nyværdier for armaturets nominelle lysstyrker og der tages højde for [lysstrømsnedgangen](#) i [projekteringen](#) af et belysningsanlæg.

LYSFORDELINGSKLASSER

Armaturer til både indendørs og udendørs brug kan klassificeres efter deres lysfordeling. Klassifikationen afhænger bl.a. af fordelingen af oplys hhv. nedlys.

Armaturer til indendørs brug kan inddeles i såkaldte lysfordelingsklasser. De 6 lysfordelingsklasser er internationalt fastlagt af CIE (den internationale belysningskommission: Commission Internationale de l'Éclairage). Inddelingen sker med udgangspunkt i lysudsendelsen henholdsvis opad (øvre del af lysfordelingen) og nedad (nedre del af lysfordelingen) i forhold til et vandret plan gennem armaturet. De seks kategorier er:

- Direkte nedadlysende
- Fortrinsvis nedadlysende
- Ensartet lysende (spredter lyset meget jævnt ud i rummet.)
- Op- og nedadlysende
- Primært opadlysende
- Direkte opadlysende



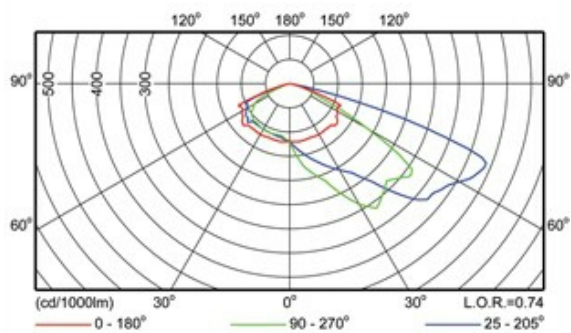
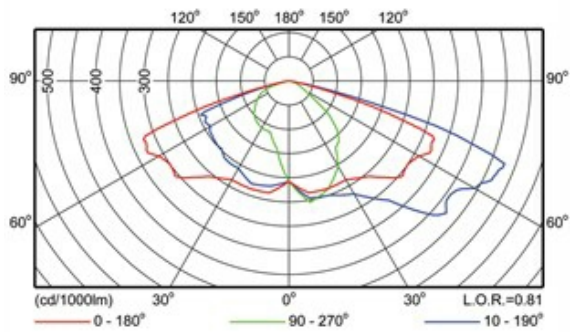
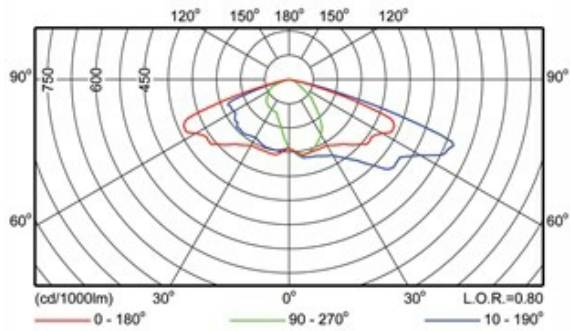
Typiske lysfordelinger til klassifikation af indendørs armaturer.

Udelysarmaturer

Armaturer til udendørs anvendelse inddeles efter armaturets symmetriegenskaber. Her skelnes mellem symmetrisk, asymmetrisk og rotationssymmetrisk (rundstrålende).

De armaturer, der er beregnet til vejbelysning, har som regel en asymmetrisk lysfordeling, hvor den maksimale [lysstyrke](#) findes i et plan, der ligger mellem planet på langs og på tværs af armaturet. Asymmetrivinklen, dvs. vinklen for det plan, der indeholder maksimal lysstyrke, bruges i nogle tilfælde til at beskrive graden af asymmetri.

For asymmetrisk lysende armaturer, indeholder lysfordelingen et symmetriplan, nemlig det lodrette plan på langs af armaturet/lyskilden, dvs. på tværs af vejen ved normal montering. Lysfordelinger for asymmetriske armaturer indeholder normalt tre kurver, som vist i figuren herunder.



Lysfordelinger for i Philips vejbelysningsarmaturer Iridium.

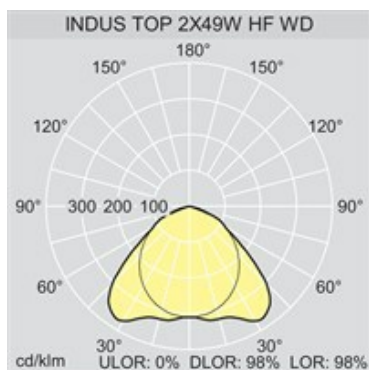
Som for øvrige typer armaturer, indeholder også rotationssymmetriske og symmetriske lysfordelinger henholdsvis mange (alle lodrette planer) og to symmetriplaner.

Udover denne inddeling efter symmetriegenskaber, inddeles udelysarmaturer i [klasser](#) efter afskærmning (G-klasser) og blændingsbegrænsning (D-klasser). G-klasser anvendes primært i forbindelse med armaturer til belysning af trafikveje, mens D-klasser primært knytter sig til armaturer til belysning af boligveje og stier. De højeste G-klasser indebærer, at armaturet er forsynet med en plan skærm.

TOLKNING AF LYSFORDELINGSKURVER

Lysfordelingskurven viser et armatures lysudsendelse og kan give et hurtigt indtryk af, hvordan lyset fra armaturet fordeler sig i rummet.

En lysfordeling i tabelform kan vise den øvede lystekniker en del om lysudsendelsens karakter og antyde noget om armaturets formåen i forskellige belysningssituationer, men det er ikke velegnet til at give et umiddelbart indtryk af armaturets lysudsendelse. Til dette formål benyttes derfor lysfordelingskurven samt forskellige begreber, herunder armaturets effektivitet angivet i lm/W eller som en [armaturvirkningsgrad](#).



Armaturets lysfordelingskurve er ofte suppleret med oplysninger om armaturets virkningsgrad i datablade og lign. I den viste lysfordeling er anvendt engelske forkortelser; LOR (Light Output Ratio), som angiver virkningsgraden for armaturet som helhed, ULOR (Upward Light Output Ratio), som angiver lysandelen opad og DLOR (Downward Light Output Ratio), som angiver lysandelen nedad.

Fordeling op/ned

Af lysfordelingskurven kan man hurtigt få et indtryk af, hvordan lyset udsendes fra armaturet i retninger over og under vandret. For armaturer til [almenbelysning](#) knytter sig særlige begreber til beskrivelse af lysudsendelsens fordeling i de to retninger. Begreberne, som taler for sig selv, svarer til dem, der benyttes til at beskrive de 6 internationalt fastlagte [lysfordelingsklasser](#), nemlig

- Direkte nedadlysende
- Fortrinsvis nedadlysende
- Ensartet lysende (spredt lyset meget jævnt ud i rummet.)
- Op- og nedadlysende
- Primært opadlysende
- Direkte opadlysende

Maksimal lysstyrke

Lysfordelingens maksimale lysstyrke kan give væsentlig information om armaturets funktion. Den maksimale lysstyrke fra en lyskilde, der ikke har en retningsbestemt, lysudsendelse, er ca. 100 cd/klm (100 candela per 1.000 lumen), afhængig af lyskildens type. Hvis armaturets maksimale [lysstyrke](#) er mange gange højere end denne værdi, betyder det, at armaturet bevirker en kraftig omdirigering af lyset fra lyskilden. En stor maksimal lysstyrke antyder desuden, at armaturet kan belyse planer på stor afstand.

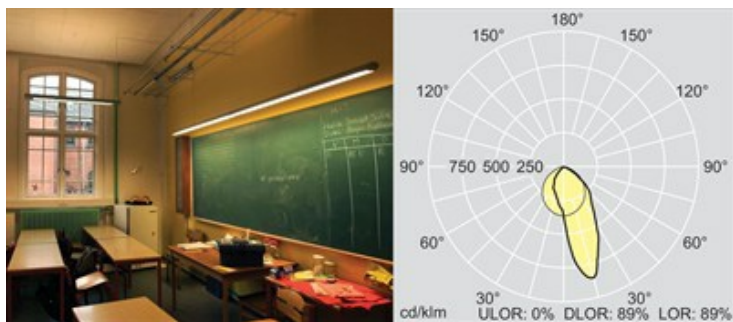
For nogle spot- eller projektørlignende armaturer samt for nogle reflektorlamper, er den maksimale lysstyrke en vigtig parameter til beskrivelse af lysfordelingen.

For visse typer armaturer, f.eks. [vejbelysningsarmaturer](#), benyttes den maksimale lysstyrke og den tilhørende retningsvinkel i nogle tilfælde til at beskrive armaturet.

Symmetriegenskaber

Til forskellige typer armaturer knytter sig forskellige symmetriegenskaber. Nogle armaturer, f.eks. mange pendler, er rotationssymmetriske, mens andre typer, f.eks. armaturer til lysstofør, sædvanligvis har to symmetriplaner, som ligger hhv. på langs og på tværs af armaturet. Andre armaturer kan have en asymmetrisk lysfordeling. Dette gælder mange typer [arbejdslamper](#), armaturer til [tavle- og reolbelysning](#) samt [wallwash-armaturer](#) og vejbelysningsarmaturer.

Hvis armaturets symmetriegenskaber ikke adskiller sig fra normen, er det som regel ikke nødvendigt at angive disse. Af samme grund benyttes ordet "asymmetrisk" i forskellige betydninger til at betegne, at armaturet ikke har den sædvanlige symmetri. For en arbejdslampe vil asymmetrisk betyde, at lysfordelingen ikke er rotationsymmetrisk. Vejbelyningsarmaturer, som ingen symmetriplaner har, kaldes usymmetriske.

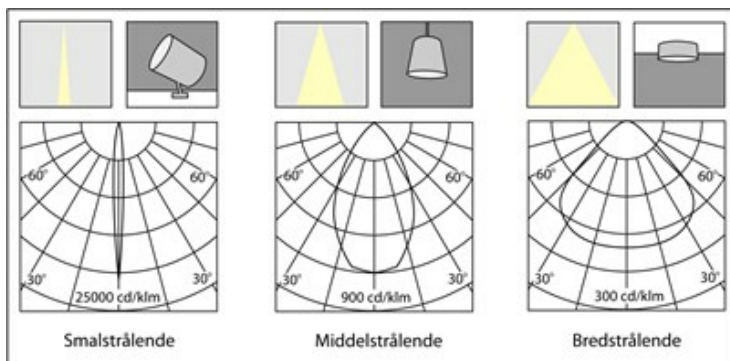


Armaturer til tavlebelysning har en assymetrisk lysfordeling.

Lysfordelingens form

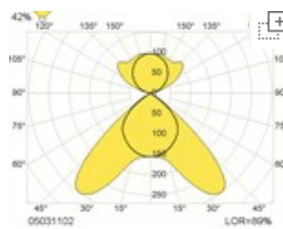
Til beskrivelse af forskellige typer armaturers lysudsendelse anvendes betegnelser som smalstrålende, bredstrålende og rundstrålende. Betegnelserne er ikke præcist defineret og kan have forskellige betydninger til forskellige armaturtyper. Et andet eksempel på en beskrivende betegnelse er 'rettet' eller 'spot-agtig', som anvendes i forbindelse med meget smalstrålende armaturer. Jo mere smalstrålende lysfordelingen bliver, jo større bliver den maksimale lysstyrke.

Jo mere smalstrålende lysfordelingen bliver, jo større bliver den maksimale lysstyrke.



Lysfordelingskurver for forskellige armaturer

Man kan også støde på begrebet bat-wing, som betegner en lysfordeling, der ikke har maksimal lysstyrke i armaturets reference-retning (0°), men udsender lyset i en slags vingeform, deraf bat-wing. Typiske armaturer med bat-wing lysfordeling er armaturer til lysstofrør. Bat-wing fordelinger vil kunne give en meget jævn oplysning af gulv eller arbejdsplan. Da lyset aftager med kvadratet på afstanden, skal lysstyrker i vinkler forskellige fra 0° øges for at give samme belysningsstyrke, som lige under armaturet.



Eksempel på bat-wing lysfordeling. Figur: Glamox.

Afskærmnings- og udstrålingsvinkel

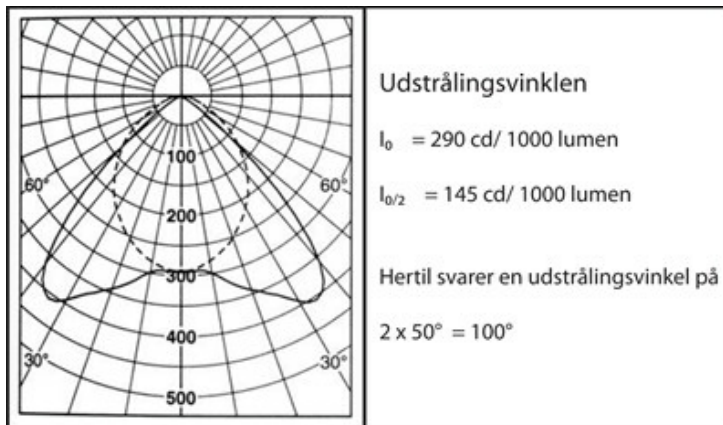
Til et armatures lysfordeling knytter sig nogle vinkelbegreber, herunder optisk afskærmningsvinkel og udstrålingsvinkel. Mens afskærmningsvinklen primært har betydning for armaturets blændingsegenskaber, fortæller udstrålingsvinklen om, hvor bredstrålende armaturet er.

Armaturets optiske afskærmningsvinkel, også kaldet afskæringsvinkel eller cut-off angle, er den største vinkel, under hvilken der er direkte indkig til lyskilden eller stærkt lysende dele i armaturet. Vinklen måles i forhold til armaturets reference-retning (0°). I nogle lande benyttes dog andre definitioner.

Nogle armaturer er indrettet til at have en meget lav [luminans](#) overalt i lysåbningen ved retninger, der ligger over afskærmningsvinklen. Dette betegnes dark-light, idet denne type armaturer ved

normale synsretninger er mørke og ser ud som om de er slukkede, selvom de er tændt.

Ud fra lysfordelingskurven kan man aflæse armaturets udstrålingsvinkel. Udstrålingsvinklen er defineret som den vinkel i armaturets lysfordeling, ved hvilken lysstyrken er lig med halvdelen af I_0 , hvor I_0 er lysstyrken i armaturets reference-retning (0°).



Beregning af armaturets udstrålingsvinkel ud fra lysfordelingskurven. Den halve referencelysstyrke findes i en vinkel på ca. 50° til hver side, hvorfor udstrålingen primært foregår i en vinkel på 100° .

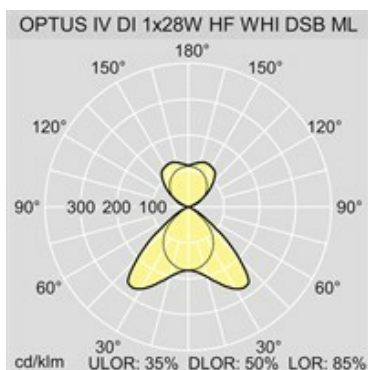
ARMATURVIRKNINGSGRAD OG BELYSNINGSVIRKNINGSGRAD

Armaturets effektivitet kan angives på forskellige måder. For mange armaturer giver det mening at angive effektiviteten ved en armaturvirkningsgrad, for andre udtrykkes effektiviteten bedst i lm/W.

[Armaturvirkningsgraden](#) fortæller, hvor stor en del af det lys, som lyskilderne i armaturet udsender, der rent faktisk udsendes fra armaturet. Armaturvirkningsgraden angives derfor i % og knytter sig alene til armaturets evne til at styre lyset fra lyskilden ud ad armaturet. Armaturvirkningsgraden siger derimod ikke noget om lyskildens effektivitet.

Armaturvirkningsgraden bestemmes ved en omgivelsestemperatur på 25 °C og angives i produktblade og lysfordelingskurver med det græske bogstav η (eta).

Den engelske betegnelse for armaturvirkningsgraden er Light Output Ration, som forkortes LOR.



I den viste lysfordeling er armaturets virkningsgrad angivet til 85 %. Derudover er angivet virkningsgraderne opad og nedad, som er hhv. 35 % og 50 %.

Armaturvirkningsgrad og LED

Begrebet armaturvirkningsgrad bygger på den forudsætning, at man kan måle den nøgne lyskilde for sig, og dernæst sammenligne med samme lyskildes funktion i et givet armatur.

For armaturer med indbyggede [lysdioder](#) holder denne forudsætning ikke: Kølingen af LED-enheden, som er vigtig for [lysudbyttet](#), er her en del af armaturet, hvorfor man ikke kan måle den nøgne lyskilde for sig. Begrebet armaturvirkningsgrad (i %) er derfor uden mening, og det er derfor blevet en konvention for sådanne armaturer, at armaturvirkningsgraden sættes til 100 %. Dette svarer til, at man sætter hele armaturet inklusive lyskilden til at være én stor lyskilde.

Til gengæld kan armaturvirkningsgraden for armaturer med integreret LED med fordel udtrykkes i lumen pr. Watt, idet 'lumen' er det totale lumenudbytte fra armaturet inkl. LED-lyskilde, og 'Watt' den samlede systemeffekt.

Andre belysningsløsningers virkningsgrad kan også omregnes til lumen/watt (lm/W), hvorved en fornuftig sammenligning mellem LED-armaturer og armaturer med konventionelle lyskilder kan foretages:

$$\text{Effektivitet [lm/W]} = \eta \cdot I_{\text{lyskilde}} / (P_{\text{lyskilde}} \cdot (L_{\text{forkobling}} + 1))$$

- η = Armaturvirkningsgraden [LOR%]
- I = Lyskildeudbytte [lm]
- P_{lyskilde} = Lyskildens effekt [W]
- $L_{\text{forkobling}}$ = Effekttab i forkoblingen [%]

Denne måde at angive effektiviteten på forventes at blive mere udbredt, evt. i kombination med armaturvirkningsgraden.

Effektive armaturer

For de armaturer, hvor effektiviteten angives i lm/W, vil de mest effektive armaturer ligge på 80-120 lm/W, mens de mindst effektive vil have en effektivitet under 15 lm/W.

For de armaturer, hvor effektiviteten angives ved en armaturvirkningsgrad, gælder, at armaturet

betragtes som meget effektivt, hvis det har en virkningsgrad over 90 %, mens meget ineffektive armaturer, som for eksempel lukkede armaturer med [opal afskærmning](#), har en virkningsgrad langt under 50 %.

For nogle typer armaturer, som både sender lys opad og nedad, kan angivelsen af virkningsgraden være fordelt på nedre og øvre virkningsgrad.

For [vejbelysningsarmaturer](#) har man ikke meget gavn af den [lysstrøm](#), der udsendes over vandret. For disse armaturer opgives derfor som regel kun den nedre virkningsgrad.

Væsentlige effektivitetsparametre

Et armaturs effektivitet afhænger af flere forhold, herunder:

- Armaturets reflektor
- Armaturets blændingsafskærmning
- Armaturets form, f.eks. om lysåbningen er stor eller lille, smal eller bred
- Armaturets materialer, f.eks. om disse er matte eller blanke

For [LED-armaturer](#) afhænger effektiviteten desuden af, hvordan lyskilden drives, herunder temperatur- og strømforhold.

Krav til armatureffektivitet











I regler og udbud stilles der somme tider krav til de anvendte armaturers effektivitet, f.eks. at armaturet skal have en effektivitet på minimum 70 lm/W eller en armaturvirkningsgraden på minimum 70 %.

I [Bygningsreglementet](#) (BR18 - Bygningsreglementets vejledning om lys og udsyn) stilles der det krav, at "arbejdsrum mv. og fælles adgangsveje skal forsynes med energieffektiv belysning". I vejledningsteksten tolkes dette til at "energieffektiv belysning indebærer bl.a. anvendelse af lyskilder med en virkningsgrad for almenbelysningen på over 50 lm/W og effektbelysning samt arbejdslamper på over 15 lm/W". Her er det vel at mærke lyskildens effektivitet, der stilles krav til.

Belysningsvirkningsgrad

[Belysningsvirkningsgraden](#) er et mål for, hvor stor en del af lyset fra lyskilderne i et armatur, der rammer en flade 0,85 meter over gulvplan. Belysningsvirkningsgraden knytter sig altså til både lyskilderne, armaturet og det rum, armaturet er placeret i, idet den indeholder både det direkte og den indirekte (interreflekterede) belysningsbidrag.

Belysningsvirkningsgraden angives med η_B .

Armatortype & lysfordeling	Virkningsgrad i pct.		
	Armatortype	Rum	
		Lyse farver	Mørke farver
Ensartet lysende			
 Uden afskærmning	95	70	45
 Opal afskærmning	80	60	40
Direkte opadlysende			
 Med reflektor	80	40	15
 Uden reflektor	50	25	10
Fortrinsvis nedadlysende			
 Med reflektor, 5 % oplys, uden gitter	90	80	70
 Med reflektor, 20 % oplys, med gitter	75	65	45
 Uden reflektor, 20 % oplys, med gitter	65	55	40
Direkte nedadlysende			
 Med reflektor, uden gitter	85	80	70
 Med reflektor og gitter	70	70	60
 Uden reflektor, med gitter	50	50	40

Eksempler på armatur- og belysningsvirkningsgrader for forskellige lysrørsarmaturer i et

belysningsanlæg med regelmæssig belysning i et typisk middelstort rum. Kilde: SBI-anvisning 184, Bygningers energibehov.

Ved en energimæssig vurdering af et belysningsanlæg er belysningsvirkningsgraden en vigtig parameter, som kan være meget forskellig fra armaturets effektivitet. Da en del af lyset reflekteres i lokalet, inden det rammer arbejdsplanet, er både rummets form og dets farver og materialer afgørende for belysningsvirkningsgraden.

Jo lysere farverne i rummet er, jo højere er reflektansen i rummet og dermed også belysningsvirkningsgraden.

Et armatur med en høj effektivitet kan godt medføre en dårlig belysningsvirkningsgrad, hvis det placeres uhensigtsmæssigt. Det sker f.eks. hvis man anvender et opadlysende armatur i et lokale med et mørkt loft.

POLÆR AFBILDNING

Den mest almindelige fremstilling af et armatures lysfordeling er en lysfordelingskurve i polær afbildning. Denne type lysfordelingskurve viser lysstyrkerne i et eller flere plan gennem armaturet. Kurverne viser lysstyrken fra armaturet som funktion af udstrålingsvinklen.

En [lysfordelingskurve](#) kaldes også en polarkurve eller et polardiagram.

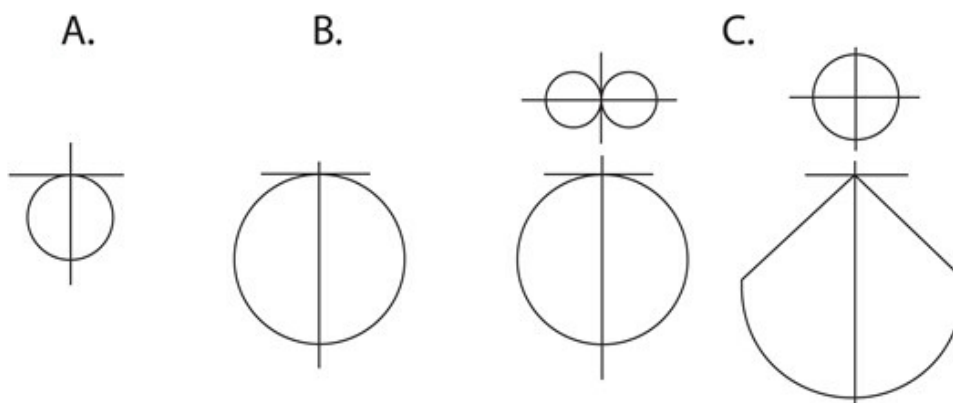
Lysfordelingen i en polær afbildning er tilpasset armaturets symmetriegenskaber. Når lysfordelingen er rotationssymmetrisk, er en enkelt kurve tilstrækkelig til at fastlægge lysfordelingen. Hvis ikke lysfordelingen er rotationssymmetrisk, kræves i realiteten mange lysfordelingskurver, men i praksis benyttes kun et udvalg, som er tilstrækkeligt til at vise lysfordelingens karakter.

For [armaturer til lysstofrør](#) benyttes kurver for armaturenes to hovedplaner, på langs og på tværs af armaturet. For vejbelysningsarmaturer benyttes sædvanligvis kurver for flere planer, inklusive det plan, som indeholder retningen for maksimal lysstyrke (hovedlysretningen). Kurverne indtegnes enten i samme diagram eller i hvert sit diagram.

Polære lysfordelingskurver er i de fleste henseender gode til at give et indtryk af lysfordelingen. Hvad angår armaturets samlede [lysstrøm](#) og dennes fordeling på forskellige vinkelområder er der dog nogle forhold, man må være opmærksom på for at kunne bedømme kurverne korrekt.

Man er f.eks. tilbøjelig til at bedømme den lysstrøm, som kurven svarer til, ud fra det areal, der omslutes af kurven. Dette er imidlertid ikke rimeligt, hvilket fremgår af en kurve optegnet i dobbelt målestok og som derfor omslutter et firedoblet areal.

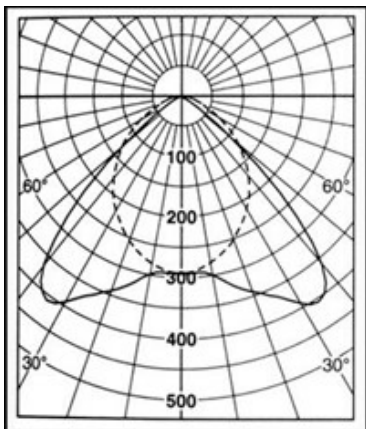
Man er desuden tilbøjelig til at tillægge [lysstyrker](#) for forskellige retninger samme vægt, hvilket heller ikke er rimeligt, da lysstyrkerne i forskellige retninger ikke bidrager med lige stor vægt til belysning af en flade, f.eks. et bord.



A: Polær lysfordelingskurve. B: Samme kurve som A, men optegnet i dobbelt skala. Kurven omslutter et firedoblet areal og giver derfor indtryk af en forøget lysstrøm. C: Forskellige rotationssymmetriske fordelinger, som svarer til samme lysstrøm. De omslutede arealer er vidt forskellige.

Eksempel på aflæsning af polær afbildning

Lysfordelingskurven herunder stammer fra et lysstofrørsarmatur. Kurven viser lysstyrken i candela pr. 1.000 lm (= cd/klm), dvs. den lysstyrke lyskilden eller armaturet vil have, hvis lyskilden har en lysstrøm på 1.000 lumen. Den stiplede kurve viser lysfordelingen på tværs af armaturet, mens den optrukne kurve viser lysfordelingen på langs. Kurverne forudsætter, at armaturet betragtes på så lang afstand, at det ser ud som et punkt, hvilket er grunden til, at kurven på langs af armaturet er rund og ikke aflang som et lysstofrør.



Diagrammet herover er inddelt i enheder á 50 cd/1.000 lm og lysstyrken i 0°, dvs. i armaturets referenceretning lige under armaturet, kan aflæses til ca. 290 cd/1.000 lm. Hvis lyskilden i armaturet er et almindeligt 28 W lysstofrør, som typisk har en lysstrøm på 2.900 lm, vil lysstyrken i 0° være.

$$I_0 = 290 \text{ cd} / 1.000 \text{ lm} \cdot 2.900 \text{ lm} = 290 \text{ cd} \cdot 2,9 = 841 \text{ cd}$$

I en udstrålingsvinkel på 30° fås tilsvarende

$$I_{30} = 395 \text{ cd} / 1.000 \text{ lm} \cdot 2.900 \text{ lm} = 395 \text{ cd} \cdot 2,9 = 1.146 \text{ cd}$$

ISO-DIAGRAMMER

For nogle typer armaturer giver den polære lysfordelingskurve ikke en optimal afbildning af armaturets lysfordeling.

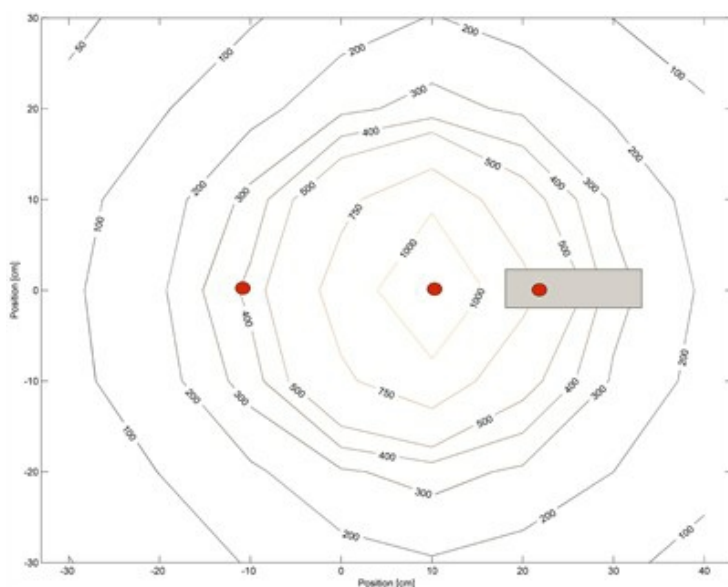
Den polære afbildning af et armatures lysfordeling passer til mange armaturer. Til andre giver det mening at anvende en anden type afbildning, herunder afbildning i såkaldte ISO-diagrammer.

ISO-diagrammer, ISO-luxdiagrammer eller ISO-luxkurver

Et ISO-diagram er en grafisk fremstilling af fordelingen af en bestemt parameter, f.eks. [belysningsstyrken](#) i et plan. I fremstillingen angives kurver for de steder, hvor parameteren har bestemte værdier.

Hvis belysningsstyrker fra et armatur afbildes i et ISO-diagram, kaldes diagrammet for et ISO-luxdiagram.

ISO-luxdiagrammet gælder kun for den aktuelle afstand og hældning af armaturet i forhold til diagrammets plan. Hvis der er tale om armaturer, som kan benyttes med flere hældninger, f.eks. [vejbelysningsarmaturer](#) og [arbejdslamper](#), hører der et ISO-diagram til hver hældning.



ISO-luxdiagram.

MÅLING AF LYSFORDELING

Et armatures lysfordelingskurve optegnes med udgangspunkt i en lysteknisk måling, som ofte er både teknisk og pladskrævende.

De fleste målinger af et armatures lysfordeling foretages i et [spejlgoniometer](#).

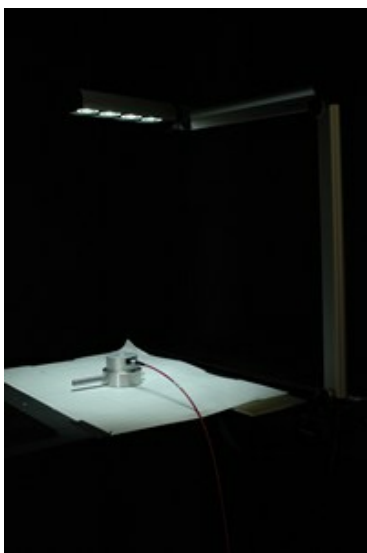
Opmåling til ISO-diagrammer

Hvis man ikke har mulighed for at udføre en måling af et armatures lysfordeling i et goniometer eller tilsvarende, kan man foretage en simplere måling af armaturets lysudsendelse med henblik på afbildning i et [ISO-diagram](#), typisk et ISO-luxdiagram.

Ved opmåling af belysningsstyrker til et ISO-luxdiagram placeres armaturet i en passende afstand til den flade, der skal belyses, hvorefter [belysningsstyrker](#) måles i et net med passende lille afstand mellem målepunkterne. Efterfølgende omsættes de målte værdier til et ISO-luxdiagram som vist her.

Et ISO-diagram gælder kun for den aktuelle hældning af armaturet i forhold til diagrammets plan. Hvis der er tale om armaturer, som kan benyttes med flere hældninger, f.eks. [vejbelysningsarmaturer](#) og [arbejdslamper](#), hører der et ISO-diagram til hver hældning.

Et ISO-diagram gælder endvidere principielt kun for den aktuelt benyttede armaturhøjde over diagrammets plan, h_1 . Diagrammet kan dog også benyttes for andre armaturhøjder, h_2 hvis [afstandsloven](#) gælder for begge de to højder. I så fald er diagrammets målestoksforhold effektivt formindsket med faktoren h_2/h_1 og dets værdier efter aflæsning skal multipliceres med $(h_1/h_2)^2$.



Opmåling af et isolux-diagram. Foto: Carsten Dam Hansen.

INTRODUKTION

Mens reflektoren i et armatur bidrager til at styre lyset så effektivt som muligt ud ad armaturet, kan armaturafskærmningen sørge for at det sker på en måde, så lyset ikke giver anledning til unødige blændingsgener.

Der er primært to komponenter i et armatur, der har betydning for armaturets lystekniske data, nemlig reflektoren og afskærmningen. For LED-armaturer benyttes dog også forskellige typer [linser](#).

Reflektorens, hvis hovedopgave er at sende lyset ud i givne retninger eller på en bestemt måde, kan være [spejlende](#) eller [diffuserende](#). Afskærmningen kan ligeledes være udformet på forskellige måde, men har til opgave at hindre lyset i at blive udsendt i bestemte retninger.

Både reflektor og afskærmning har indflydelse på armaturets [lysfordeling](#) og [virkningsgrad](#), ligesom de begge betyder meget for den komfort, man kan opnå ved at anvende armaturet, herunder forhold vedr. [blænding](#).

En belysningsopgave kræver dog ikke altid fuld udnyttelse af lyskildens [lysstrøm](#). F.eks. kan det være hensigtsmæssigt bevidst at reducere et armatures virkningsgrad, fordi alternativet ville være generende spildlys eller blænding. Somme tider kan der være andre forhold, der vejer tungere end armaturets virkningsgrad, og andre forhold kan diktere armaturets størrelse og virkemåde.

I nogle armaturer findes ikke en egentlig reflektor. Her fungerer indersiden af armaturet som reflektor og muligheden for at styre lyset er derfor begrænset. Eksempler på armaturer, der sjældent er udstyret med en reflektor, er simple kassearmaturer, arbejdslamper samt væg- og gulvarmaturer. Tilsvarende kan afskærmningen være enkel og f.eks. bestå af en klar glasafskærmning, en dekorationsring eller en simpel lampeskærm. For disse armaturer er der ofte en tæt og let forståelig sammenhæng mellem armaturets ydre form og armaturets lysfordeling.

Lysåbningens dimensioner

Også lysåbningens dimensioner har betydning for armaturets lysudsendelse.

Med tiden er diameteren på lysstofrør blevet mindre. Det betyder at rørens overfladeareal også er reduceret, hvilket er en fordel i forhold til muligheden for at opnå en høj armaturvirkningsgrad. Årsagen er, at større rør i højere grad selv spærre for lyset end mindre rør, og selv absorberer lys.

Små armaturer, dvs. armaturer hvis dimensioner er små i forhold til lyskildens dimensioner, fører generelt til nogen reduktion af virkningsgraden. Her hjælper det ikke meget på virkningsgraden at indskyde en spejlende reflektor. Det er dog vigtigt at huske på, at disse armaturtyper har en væsentlig værdi i forhold til visse anvendelser, f.eks. over en skranke el.lign.

Armaturer, som skal have en stor maksimal [lysstyrke](#), skal også have en lysåbning med et stort areal. Hvis man skal undgå lysspild i bestemte retninger, skal lysåbningen ofte være endnu større eller man skal korrigere på anden vis.

Linser og reflektorer til LED

Der findes en særlige reflektorer, der knytter sig til [lysdioder](#), og som adskiller sig væsentligt fra andre reflektorer, i og med at de udvikles specielt til en specifik lysdiode. Dertil kommer at såvel størrelse, materiale og placering er anderledes.

Det lille lyspunkt fra en LED muliggør en nøjagtig styring af lysets fordeling ved hjælp af enten linser eller reflektorer. Det kan være vanskeligt at opnå et større lysende område.

Linserne designes og udvikles specifik til hver enkelt type lysdiode og findes i varianter til både en enkel diode og/eller flere dioder samlet i en gruppe. Linser til lysdioder fremstilles typisk i akryl eller polykarbonat.

En typisk LED-reflektor består af metalliseret plast. Den monteres enten på samme underlag som LED'en eller ophænges i et profil, der omslutter hele systemet.

SPEJLENDE REFLEKTOR

De spejlende reflektorer udnytter den direkte refleksion, hvor udfaldsvinklen er lig indfaldsvinklen. Reflektorens overflade har en høj reflektans og en refleksion, som i væsentlig grad kan karakteriseres som spejlende.

Den spejlende reflektor har en form der sikrer at det lys, der rammer reflektoren, i hovedsagen reflekteres ud i ønskede retninger. Dette opnås ved at formen fastlægges under hensyn til flere forhold:

- den ønskede lysudsendelse
- lyskildernes placering, form, størrelse
- evt. øvrige flader i armaturet, som kan belyse reflektoren ved refleksion, f.eks. diffuse flader eller reflektoren selv

Spejlende reflektorer fremstilles normalt i højsglanspoleret, eloxeret (anodiseret) aluminium, men også ofte i kunststof, som pådampes en spejlende og en korrosionsbeskyttende hinde. Sidstnævnte kaldes metalliserede reflektorer.

I praksis findes der ingen ideelt spejlende reflektorer, men de materialer, der anvendes til fremstilling af spejlende reflektorer har refleksionsegenskaber, som i større eller mindre grad afviger fra spejlende [refleksion](#). Som udgangspunkt antages det, at overfladen af en spejlende reflektor er ideelt spejlende med en [reflektans](#), ρ . Selvom dette udgangspunkt kan føre til unøjagtige vurderinger af f.eks. reflektorer med en meget koncentreret lysudsendelse, er antagelsen i de fleste tilfælde både rimelig og i øvrigt nødvendig af hensyn til gennemførelsen af beregninger.

Spejlglas er ikke så effektive reflektorer, da lyset ud over refleksionen i spejlets metalliserede bagside også skal passere glasset to gange.

Den spejlende reflektors virkemåde

I modsætning til diffuserende reflektorer er det overvejende formen af den spejlende reflektor, der er bestemmende for armaturets [lysfordeling](#).

Reflektorens overflade kan i princippet opdeles i delflader, der er så små, at hver delflade er plan. I den enkelte delflade kan man se et spejlbillede af lyskilden(erne), reflektoren selv, lysåbning mv.

På en delflades sted ses derfor i en given retning den del af spejlbilledet, som er synlig inden for delfladens begrænsninger i den givne retning. Hvis man, set fra en given retning, ser et spejlbillede af lyskildens lysende overflade, siger man at delfladen er opflammet af lyskilden i denne retning. Spejlbilledet kan enten være et direkte spejlbillede, eller det kan være et spejlbillede som ses via yderligere en eller flere spejlinger i reflektoren.

Tilsvarende kan delfladen være opflammet af en diffus belyst flade eller den kan være uopflammet. Med uopflammet menes, at delfladen viser et spejlbillede af lysåbningen, dvs. af det mørkere rum uden for armaturet.

Hvis det, der ses i spejlet i delfladen har [luminansen](#) L og det totale antal spejlinger er n ($n = 1$ ved direkte spejling, $n = 2$ ved dobbelt spejling osv.) fås delfladens luminans, $L_{\text{reflekteret}}$ af:

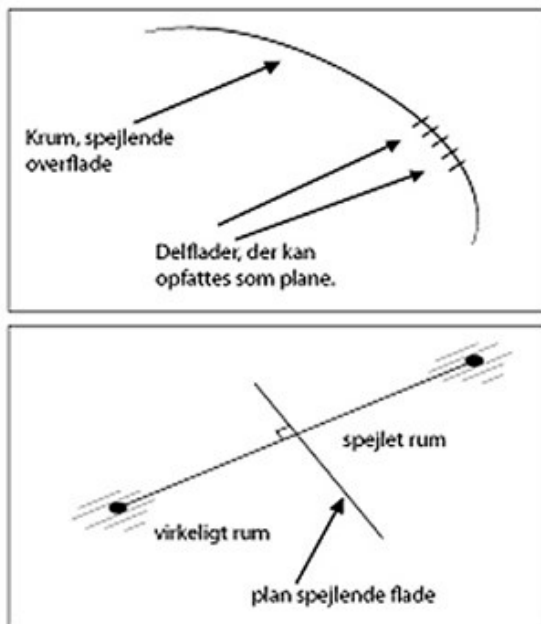
$$L_{\text{reflekteret}} = \rho^n \cdot L$$

hvor L er lyskildens luminans.

Delfladens luminans er altså lig med spejlbilledets luminans nedbragt pga. refleksionstab. Delfladen bidrager til armaturets [lysstyrke](#) i den pågældende retning, som om den i sig selv lyste med luminansen, $L_{\text{reflekteret}}$. Mere konkret er bidraget til armaturets lysstyrke lig med delfladens luminans gange dens tilsyneladende areal.

Reflektorens bidrag til armaturets lysstyrke i en bestemt retning er summen af bidragene fra de delflader, som er opflammende og som er synlige i netop denne retning. Delflader, som er skjult af reflektoren, lyskilden, et gitter eller andre armaturdele, er naturligvis ikke synlige.

Andre bidrag til armaturets lysstyrker i den pågældende retning kan stamme fra synlige dele af lyskilden eller af [diffust reflekterende](#) flader. En spejlende reflektors virkemåde er derfor i princippet simpel og reflektorens bidrag til armaturets lysstyrker kan, ligeledes i princippet, beregnes ud fra simple grundsætninger.



En krum, spejlende overflade virker som om den er sammensat af små, plane delflader (øverst). I et plant spejl ses et spejlbillede af det virkelige rum (nederst). Spejlbilledets luminans er nedbragt med reflektansen for spejling p i forhold til det virkelige rums luminans. Ved gentagne spejlinger nedbringes luminansen yderligere. Figur: DCL.

Opflamningsvariationer

Den spejlende reflektors virkemåde betyder, at lysåbningen for et armatur med en spejlende reflektor fremtræder med hårde overgange mellem opflammede partier med høj luminans og mørke partier. Denne fremtræden er mindre behagelig end hos armaturer med en [diffuserende reflektor](#). Men det kan være nødvendigt for at opnå en god lysstyring. Opflamningens størrelse og dens variation med retningen er netop et billede af lysets retningsfordeling. Under alle omstændigheder vil det være en fordel at undgå mørke striber og opflamningsvariationer, som ikke har betydning for reflektorens virkemåde.

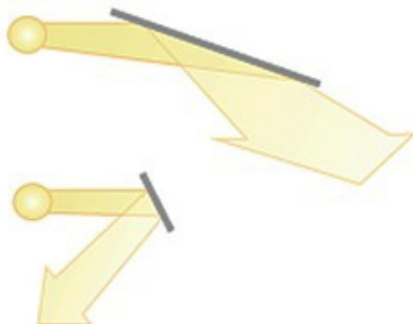
En reflektor, der er for stor i forhold til lyskilden og det ønskede vinkelområde for lysudsendelse, må nødvendigvis have udprægede opflamningsvariationer. Disse kan vise sig som mørke bånd eller som stærke variationer i lysfordelingen.

For armaturer med meget blanke reflektorer bør man være særlig opmærksom på at sikre en god [blændingsafskærmning](#), da denne type armaturer ofte resulterer i stor variation i luminans (og blændingsfølelse) i forskellige positioner og synsretninger. Hvad angår mere specifikke krav til blændingsbegrænsning, henvises til [DS/EN 12464 Lys og belysning - Belysning ved arbejdspladser - Del 1: Indendørs arbejdspladser](#)

Små eller store ændringer af belysningsretning

Den spejlende reflektors virkemåde betyder, at denne reflektor type er bedst egnet til at ændre belysningsretninger med store vinkler. I de fleste spejlende reflektorer krydser belysningsretningerne derfor hinanden under lysåbningen.

Der findes dog reflektorer, hvor dette princip fraviges, fordi andre hensyn har haft højere prioritet. For eksempel har det for en del asymmetriske arbejdslamper været vigtigere at begrænse reflektorens højde end dens længde.



En spejlende reflektor bliver stor og upraktisk, hvis den skal ændre belysningsretningerne med små vinkler. De fleste spejlende reflektorer er derfor udformet til store ændringer af belysningsretningerne og ofte krydser retningerne hinanden under eller foran lysåbningen. Figur: DCL.

(Indholdet i dette afsnit er baseret på hæfterne 6 Spejlende reflektorer, Kai Sørensen, 1982 og 2 Optiske komponenter i armaturer, Kai Sørensen, 1985)

FACETTEREDE REFLEKTORER

Reflektorer, hvis spejlende overflade er opbygget af plane flader, kaldes facetterede reflektorer. Facetterede reflektorer kan ligesom andre reflektorer opdeles i grupper i henhold til deres symmetriegenskaber mv. I praksis fremstilles sådanne reflektorer ved plastsstøbning eller bukning af en plan plade, hvor alle bukkelinjerne løber parallelt med reflektorens akse.

Der findes desuden facetterede reflektorer, der kan opfattes som tilnærmelser til rotationssymmetriske former, f.eks. til parabler. Her er facetterne ofte relativt små og trekantede, og kan i visse tilfælde også fremstilles ved metaltrykning.

Andre facetterede reflektorer har en lavere grad af symmetri og kan have større facetter, hvis form og orientering er valgt individuelt.

Der kan være forskellige begrundelser for anvendelse af facetterede reflektorer. En begrundelse er, at en facetteret reflektor er lettere at fremstille end en krum reflektor med tilsvarende virkemåde.

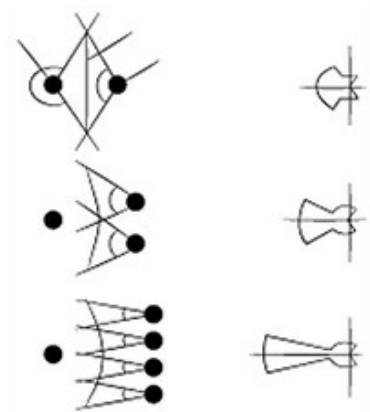
Facetterede reflektorens virkemåde

Den simplest mulige reflektor er et plant spejl, som er anbragt bag lyskilden. Et armatur med en sådan reflektor har lysstyrker i fremadgående retninger, som skyldes dels lyskilden selv, dels dens spejlbillede. Lyskildens spejlbillede lyser i de retninger, hvor det kan ses i spejlet, dog undtaget den eller de retninger, hvor spejlbilledet er helt eller delvist skjult bag selve lyskilden.

Det plane spejl medfører en forøgelse af armaturets [lysstyrker](#) i nogle retninger. I andre retninger, hvor spejlet skygger for lyskilden, fås en reduktion af lysstyrkerne.

Det er indlysende at videreføre dette princip ved at anvende flere plane spejle, således at der er flere spejlbilleder, der lyser i de retninger, hvor der ønskes store lysstyrker.

I sammenhæng med reflektorer, taler vi snarere om facetter end egentlige plane spejle. Jo flere og mindre facetter der anvendes, jo mindre vinkelområde for lysudsendelse får hvert enkelt facet og desto mere ligner lysfordelingen den, som ville findes hos den jævnt krummende reflektor.



Når en reflektor forsynes med et stigende antal facetter, der alle har samme hovedbelysningsretning, fås større og større lysstyrker i et mindre og mindre vinkelområde. Grænsen herfor nås, når facetterne bliver mindre end lyskilden. Figur: DCL.

*(Indholdet i dette afsnit er baseret på hæftet *Armaturer - 6 Spejlende reflektorer*, Kai Sørensen, 1982)*

DIFFUSE REFLEKTORER

Den diffuse reflektor giver en jævn fordeling af lyset fra armaturet.

Lys, der rammer en mat flade, reflekteres diffust, hvilket vil sige, at det kastes tilbage i alle tænkelige retninger efter princippet om [diffus refleksion](#). Med en ideel diffus reflektor, dvs. en reflektor hvis overflade er hvid og helt mat, opnås et blødt lys. Det er derfor ikke muligt at styre lyset fra en ideelt diffus reflektor. I praksis anvendes imidlertid sjældent ideelt diffuse reflektorer. Ofte er reflektoren kun næsten mat og det er muligt at opnå en beskeden styring af lyset.

Mens den diffuse reflektors form kun har ringe indflydelse, er det hovedsageligt reflektorens størrelse og lyskildens indbygningsdybde, der har betydning for [armaturets effektivitet](#) og [lysfordeling](#).

Den diffuse reflektors styrke er, at den er velegnet til at frembringe reducerede [luminanser](#). En af svaghederne er imidlertid at tilbagerefleksion på lyskilden og gentagne refleksioner i armaturet ikke kan undgås. Disse fører til tab, som sætter en grænse for armaturets effektivitet.

Selvom den diffuse reflektor ikke er lige så effektiv som den spejlende, anvendes den stadig i nogle armaturer. Det gælder f.eks. mange pendler eller simple kassearmaturer, som bl.a. anvendes i supermarkeder. Armaturer uden reflektorer har typisk virkningsgrader på omkring 40-50 %.

Armaturer med diffus refleksion er sjældent udstyret med en egentlig separat reflektor. Ofte består reflektoren bare af armaturkassens inderside, der er lakeret hvid.

Den diffuse reflektors virkemåde

En diffust reflekterende armaturdel viser et udvisket billede af lyskilden, der bl.a. indeholder den mørke lysåbning. Armaturdelens luminans er i bedste fald lige så høj som lyskildens, men i praksis dog væsentligt lavere og lystabet i armaturet derfor relativt stort.

Diffuse reflektorer egner sig fint til kontrol med luminanserne i armaturets lysåbning. Derimod er de mindre egnede til lysstyring, idet store [lysstyrker](#) forudsætter kraftig interrefleksion i armaturet, hvorved tabene øges. Selv da er det begrænset, hvad der kan opnås.

REFLEKTORDESIGN

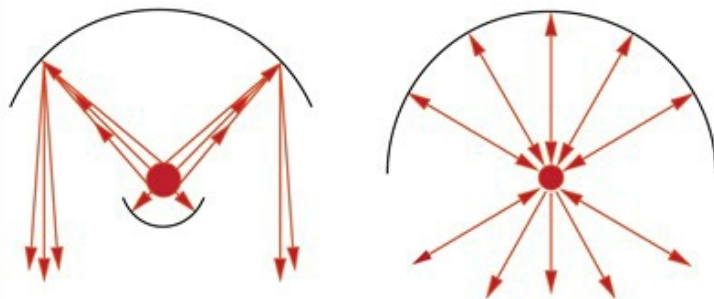
Reflektordesign tager typisk udgangspunkt i klassiske kurver som f.eks. cirklen. Da udviklingen af en reflektor skal tilgodese designmæssige overvejelser og samtidig tage hensyn til armaturets anvendelse, stiller design af reflektorer krav til både designere, ingeniører og produktionsfolk.

De klassiske lystekniske kurver er cirkler, ellipser, parabler og hyperbler. I det følgende gives først en overordnet gennemgang af de klassiske reflektorformer. Derefter følger en mere teoretisk gennemgang af tre af de lystekniske kurver; cirkler, ellipser og parabler.

Cirkelreflektoren

I en cirkelreflektor bliver lyset fra lyskilden, forudsat at denne befinder sig i reflektorens centrum, atter reflekteret i retning af lyskilden. Cirkelreflektoren giver en lysfordeling som minder om den, der opnås med en [diffus reflektor](#), dog med en meget bedre [virkningsgrad](#).

Ofte anvendes den cirkelformede reflektor i punktlysende armaturer og projektører i en kombination med den paraboliske reflektor. Her bliver lyset fra lyskilden reflekteret fra den kugleformede reflektor til den paraboliske reflektor, for derefter at forlade armaturet. På denne måde opnås en præcis lysstyring og en markant lys/mørkegrænse.

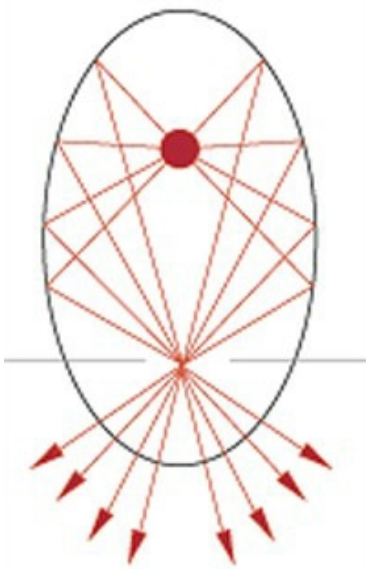


Cirkelreflektor. Figur DCL.

Den elliptiske reflektor

I en elliptisk reflektor er lyskilden placeret i ellipsens første brændpunkt, og de reflekterede lysstråler samles derfor i ellipsens andet brændpunkt, hvorefter de samlet forlader armaturet. Med den elliptiske reflektorer er det muligt, at lede en stor mængde lys gennem en lille åbning, hvilket kan udnyttes i indbygningsdownlights, hvor man ønsker en lille åbning i loftet. Med en elliptisk reflektor kan lyset således fokuseres på små arealer.

I ellipsens andet brændpunkt bliver ikke kun [synligt lys](#), men også infrarød stråling koncentreret, og der kan derfor opstå meget høje temperaturer på dette sted. Lyskilden skal derfor være nøjagtigt centreret i reflektoren og åbningen skal beklædes med varmebestandigt materiale.



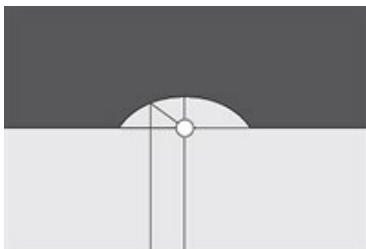
Eksempel på elliptisk reflektor. Figur: DCL.

Den paraboliske reflektor

Den paraboliske reflektor er den mest anvendte og giver mulighed for at lede lyset på forskellig vis fra smalstrålende til bredstrålende eller asymmetrisk. Den paraboliske reflektor giver desuden mulighed for en direkte blændingsbegrænsning. Ved paraboliske reflektorer, hvor lyskilden er placeret i parablens brændpunkt, bliver lyset reflekteret parallelt med parabolens hovedakse.

Drejes den paraboliske kurve omkring hovedaksen opstår en elliptisk paraboloid (som i billygter, projektører o. lign), hvor lyset sendes ud i én retning langs hovedaksen.

Mens brændpunktet i en reflektor er meget lille, har lyskilder typisk en vis udstrækning og det er umuligt at placere hele lyskilden i selve brændpunktet. Alligevel anvendes relativt store lyskilder, f.eks. [kompaktlystofrør](#), i paraboliske reflektorer.



Parabolisk reflektor. Figur: DCL.

I nogle armaturer ønskes en lysfordeling, som følger et bestemt mønster eller er mere jævn end lyset fra lyskilden. En forbedring og udjævning af lysfordelingen sikres ofte ved såkaldt facettering eller hammerslåning af parabolen.

Lysspredning eller mere detaljeret lysstyring kan desuden opnås ved at forsyne armaturet med en [prisme, linse eller andet](#).

Udover paraboliske reflektorer anvendes parablen til [paraboliske gitre](#).

(Indholdet i dette afsnit er delvist baseret på hæftet Armaturer - 6 Spejlende reflektorer, Kai Sørensen, 1982)

TRANSMITTERENDE ARMATURDELE

I forbindelse med udviklingen af et armaturs lysstyrende komponenter, kan det være ønskeligt at benytte andre principper end refleksion. Et andet og hyppigt anvendt princip er brydning af lyset i transmitterende dele.

Lys, der passerer grænselaget mellem to forskellige materialer med forskellige brydningsforhold skifter retning. Dette fænomen kaldes [brydning](#). Et af de steder, hvor vi oplever fænomenet er i forbindelse med vand, hvor f.eks. armen ser ud som om den får et 'knæk', når vi dypper den i vand. Brydningen af lyset sker i dette tilfælde i grænselaget mellem vand og luft.

I denne sammenhæng dækker begrebet brydende systemer de armaturdele, der udnytter brydningsprincippet, dvs. afskærmninger, linser mv.

Lysbrydende systemer

I lysbrydende systemer udnyttes den refraktion, der finder sted, når en lysstråle passerer grænsefladen mellem to klare materialer med forskelligt brydningsforhold. Det ene af de to materialer er som regel luft.

Brydning udnyttes ved afbøjning i prizmer. Afbøjningen resulterer i, at man gennem prismet ser et forskudt billede af rummet bag prismet.

Når der ses bort fra tabene ved [refraktionen](#), gælder ligesom ved den spejlende refleksion, at [luminansen](#) af lyskildens billede er lig med lyskildens luminans. Tabene består dels af [absorption](#) ved lysets passage gennem materialet, og dels af refleksion ved grænsefladerne. I modsætning til hvad der er tilfældet ved de spejlende reflektorer, afhænger [refleksionsfaktoren](#) af lysets indfaldsvinkel og af [brydningsforholdet](#). På figuren er vist, hvordan denne afhængighed er for overgangen luft-glas og for glas-luft. Hvis brydende systemer konstrueres med for store indfaldsvinkler, kan dette forhold bevirke en betragtelig nedgang i luminansen.

Figuren viser en klassisk anvendelse af et lysbrydende system, en projektør bestående af en lyskilde og en samlelinse. Hvis der ses bort fra absorption i linsen, er projektorens [lysstyrke](#):

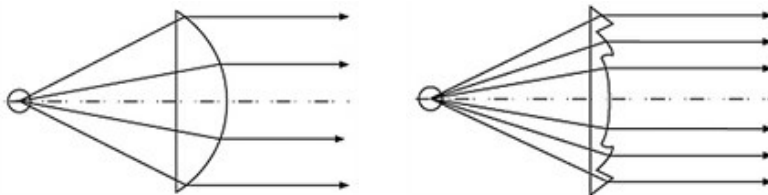
$$I = L \cdot A'$$

hvor L er lyskildens luminans og A' linsens tilsyneladende areal.

En samlelinse er som regel plan på den ene side, men kraftigt krummende på den anden, så den dækker en størst mulig andel af rumvinklen omkring lyskilden, der anbringes i eller i nærheden af brændpunktet. Linsens brændvidde har ingen betydning for projektorens maksimale lysstyrke. Derimod har den betydning for, hvor stor projektørens spredning er.

Linser med lille brændvidde og stor diameter bliver nødvendigvis meget tykke på midten. Derfor har samlelinsen den ulempe, at den i stor udgave bliver tung og dyr.

En materialebesparelse kan opnås ved at benytte en Fresnellinse. En projektør med Fresnellinse kan dog ikke give samme lysstyrke, som en projektor med normal linse med samme diameter.



Lysets vej gennem samlelinse (tv) og Fresnellinse (th). Figur: DCL.

Til ændring af lysets retning anvendes såkaldte refraktorplader eller prismekontrol plader. Refraktorplader vil som oftest være plane på den ene side, mens prizmerne ligger som en profilering på den anden. Virkningen af en refraktorplade afhænger af, om prizmerne vender mod lyskilden eller bort fra den.

I figuren ses en refraktorplade, hvis prizmer vender bort fra lyskilden. Som det fremgår af tegningen, vil systemet kunne afbøje alt indfaldende lys i den ønskede retning (bortset fra det, der reflekteres fra overfladerne). Dog er det ikke hele prismesystemets overflade der virker lysende i denne retning, idet der bliver "blinde" områder. Ved beregning af et prismesystems lysstyrke i en

gIVEN retning må der tages hensyn til denne nedgang i størrelsen af det effektive, lysende areal.

I figuren er vist, hvorledes en refraktorplade fungerer, hvis prizmer vender mod lyskilden. I dette tilfælde kan hele prismesystemets tilsyneladende areal gøres lysende i den ønskede retning, men det kan ikke undgås, at noget af lyset afbøjes i andre retninger. Kun i det grænsetilfælde, hvor der er tale om retvinklede prizmer og lysets indfaldsvinkel er 0° , kan denne, som regel uønskede, sekundære afbøjning undgås.

I det foregående er det forudsat, at lysets indfaldsvinkel for hvert prisme er den, prismet er beregnet for. Hvis lyskilden har stor udstrækning i forhold til afstanden fra prismet og prismets størrelse, vil lyset imidlertid ramme prismet under forskellige indfaldsvinkler, hvorved der på grund af refleksion fra prismernes flader kan fremkomme en betydelig spredning.

Ved beregning af lysfordelingen fra et armatur med prismesystemer må hvert prisme behandles for sig, idet der tages hensyn til det tilsyneladende lysende areal, til den nedgang i lyskildens luminans, der forårsages af refleksion fra prismernes overflader samt til det lys, der udgår i andre retninger på grund af denne refleksion.

Af hensyn til rengøring bør prizmer o.lign. kunne anbringes på indersiden af en skærm. Som illustreret fører dette dog ofte til uacceptable tab på grund af belysning på prismets tredje flade. Prizmer anbringes derfor ofte på ydersiden, hvor de optisk set fungerer bedst.

*(Indholdet i dette afsnit er baseret på hæftet *Armaturer*, Ib Ovesen, 1967)*

ARMATURAFSKÆRMNING OG GITTERTYPER

Formålet med armaturafskærmninger er at afskærme lyset fra lyskilden og styre lyset. Afskærmningens lystekniske virkning afhænger af flere forhold, herunder armaturets dimensioner, afstanden mellem gitter og lyskilde samt lyskildetyper.

Gitre, prismeplader, opalafskærmninger mv. begrænser muligheden for at kigge direkte ind på den nøgne lyskilde. Ved at udjævne og/eller styre lyset bidrager afskærmningen desuden til at begrænse gener i form af [blænding](#).

Forskellige typer blændingsafskærmning har forskellige egenskaber med hensyn til lysstyring og blændingsafgrænsning. Da gitre og andre typer afskærmninger ofte er forbundet med et lystab, har valget af afskærmning desuden indflydelse på [armaturvirkningsgraden](#).

Gitterafskærmninger bruges hovedsageligt i [armaturer til lysstofrør og kompaktlysstofrør](#). I moderne armaturer til skoler og kontorer anvendes normalt gitre med integreret reflektorfunktion, dvs. enten enkelt- eller dobbeltparabolske.

Simple lamelafskærmninger anvendes primært til [industriarmaturer](#). Disse armaturer er kendetegnet ved høj virkningsgrad og effektiv afskærmning langs lyskilden.

Til [downlights](#) findes forskellige typer afskærmninger, som dels har til formål at reducere risikoen for blænding og dels kan have en æstetisk, dekorativ funktion.

Enkeltparabolsk gitter

Det enkeltparabolske gitter, også kaldet EP gitter, har parabolske sidereflektorer sammenbygget med almindelige (ikke parabolske) tværlameller. Sidereflektorerne er typiske halvblanke, mens tværlamellerne typisk er enten halvblanke eller har hvid mat overflade.

Afstanden mellem tværlamellerne kan variere. Jo tættere lamellerne sidder, jo bedre er den afskærmende effekt i forhold til indkig til lyskilden, og jo dårligere vil armaturets virkningsgrad samtidig også være.

Gitteret er bredstrålende, hvilket giver mulighed for stor armaturafstand. Armaturer med enkeltparabolsk afskærmning anvendes ofte til skoler, kontorer og offentlige områder - både som belysning ved den enkelte arbejdsplads og som [almenbelysning](#). De fleste lysrørsarmaturer til kontorer, skoler og industrilokaler fås i udgaver med enkeltparabolsk gitter.

Virkningsgraden for armaturer med enkeltparabolsk afskærmning er middel til høj.

Dobbeltparabolsk gitter

I et dobbeltparabolsk gitter, også kaldet DP gitter, er både sidereflektorer og tværgående lameller parabolske. Side- og tværeflektorer i halvblank eller mat, metalliseret aluminium med gode refleksionsegenskaber.

Som i et EP gitter kan afstanden mellem tværlamellerne variere. Jo tættere lameller sidder, jo bedre er afskærmningen i forhold til indkig til lyskilden.

Det dobbeltparabolske gitter styrer lyset effektivt til mindre blændingsfølsomme områder og giver et velafbalanceret lys med god komfort. Det er imidlertid vigtigt, at lyskilden er placeret højt i reflektoren, ligesom afstanden mellem lamellerne eller de enkelte lamellers højde skal være tilstrækkelig til, at gitteret lukker for indblik til lyskilderne i forhold til normale synsretninger.

Armaturer med DP gitter anvendes i kontorer, butikker og ved skærmarbejdspladser, hvor det reducerer risikoen for reflekser i skærmen.

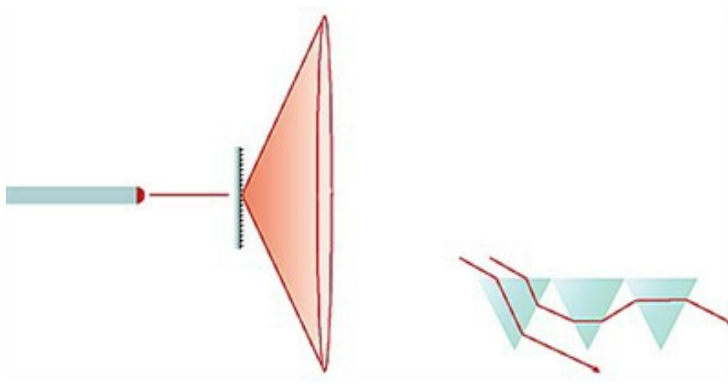
Virkningsgraden for armaturer med dobbeltparabolsk afskærmning er høj.

Mikroprismatisk afskærmning

En mikroprismatisk afskærmning består af en plade med mikroprismatiske strukturer, som sikrer høj effektivitet og god blændingskontrol.

Mikroprismatisk afskærmning fremstilles bl.a. i akryl med høj transmittans og fås i både klare og tonede materialer. Den prismatiske afskærmning er udformet så strukturen består af et stort antal prisme, langsgående refraktorer e.lign., hvis vinkler er nøje beregnet i forhold til at undgå blænding.

Armaturer med mikroprismatisk afskærmning anvendes specielt i kontorer til både almen- og arbejdspladsbelysning. Virkningsgraden for armaturer med mikroprismatisk afskærmning er høj.



Brydning i prismeafskærmning. Figur: DCL, Kilde: Glamox-Luxo.

Lamelgitter

Et lamelgitter afskærmer effektivt på langs af armaturet, men ikke på tværs. Lamelgitre fås i flere udgaver, herunder hvide, diffuse samt aluminium. Afskærmningen i forhold til indkig til lyskilden varierer afhængig af afstanden mellem lamellerne.

Lamelgitteret er velegnet til symmetriske og asymmetriske armaturer, f.eks. i gange eller industri- og lagerlokaler, hvor der ikke stilles særlige krav til begrænsning af blænding.

Virkningsgraden for armaturer med lamelgitter er middel til høj.

Opal afskærmning

Opal afskærmning er udført i glas eller kunststof. Armaturer med opalafskærmning giver et blødt, diffust lys i alle retninger, og dermed også i retninger, som kan give anledning til blænding.

Opale afskærmninger anvendes fortrinsvis i normaltætte armaturer på steder, hvor man ønsker en diffus belysning.

Virkningsgraden for armaturer med opal afskærmning er lav. Med henblik på at begrænse lystabet bør afskærmningen have så høj transmittans som muligt.

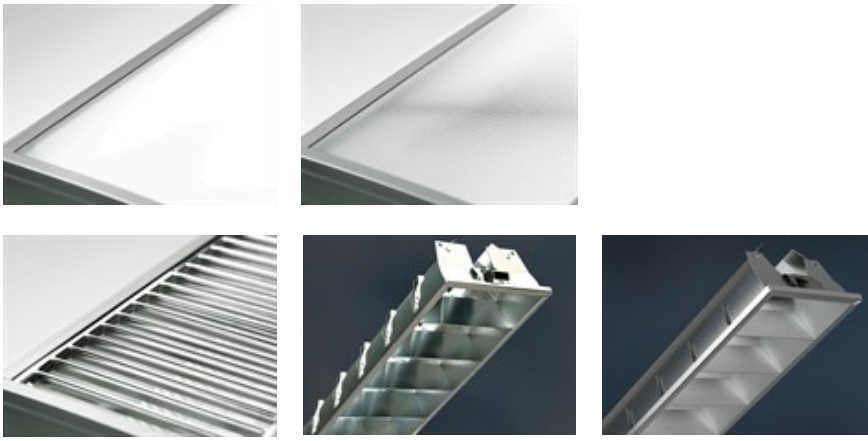
Øvrige typer afskærmning

Udover de afskærmninger, der er beskrevet herover, anvendes bl.a. følgende typer:

- Terrassegitter i metal med trappeformede lameloverflader. Dette gitter har ofte store masker og giver en vis styring af lyset nedad, så blændende lys skråt ud i lokalet undgås.
- Rudegitter, typisk udført i aluminium. Dette gitter afskærmer lyskilden på langs og tværs af armaturet i større eller mindre grad afhængig af rudestørrelsen. Gitteret anvendes til almenbelysning i lagerbygninger, industri og supermarkeder. Virkningsgraden er middel til høj.

Derudover findes afskærmningstyper, som ikke anvendes i nye armaturer, men stadig anvendes i belysningsanlæg med armaturer af ældre dato. Det gælder f.eks.:

- Gitter i opalplast. Dette gitter udjævner lyset over hele armaturets underside, så områder med høj luminans undgås. Virkningsgraden afhænger af højden af gitterets lameller, men er generelt lav.
- Lavluminansgitter, også kaldet datagitter. Dette gitter er meget blændingsbegrænsende pga. dets meget lavere luminans. Armaturet ser helt mørkt ud, når man befinder sig uden for lyskeglen. Lavluminansgitre anvendtes tidligere i kontorer med dataskærme, hvor den markante afskærmning gav anledning til færrest reflekser i skærmene. Armaturer med lavluminansgitre har en lav virkningsgrad.



Typiske armaturafskærmninger. Øverst; opalafskærmning (tv) og prismatisk afskærmning (th). Nederst; lamegitter (tv), dobbeltparabolsk (m) og enkeltparabolsk gitter (th). Fotos: Thorn (øtv, øth, ntv) og Fagerhult (nm og nth).

INTRODUKTION

I kataloger og lignende opdeles armaturerne typisk i grupper med udgangspunkt i armaturets benyttelse, placering, montering mv.

I de følgende afsnit gennemgås de forskellige typer af armaturer.

Som det fremgår af gennemgangen, kan der være overlap mellem forskellige armaturtyper. F.eks kan nogle bordlamper fungere som [arbejdslampe](#), ligesom en [downlight](#) kan være monteret på væggen og derfor også kan kaldes et [vægarmatur](#).



LED-armaturer i Århus Musikhus.
Foto: Astrid Espenhain.

LED-ARMATURER

I dag ligner mange armaturer med lysdioder de armaturer, vi hidtil har anvendt til traditionelle lyskilder.

Anvendelse af [LED](#) til belysning giver nye muligheder og stiller andre krav til udformningen af armaturer. I fremtiden vil vi derfor se flere og flere armaturer i helt nye udgaver, der ikke minder om den traditionelle måde at belyse på.

Nogle af de armaturer med LED, der har en traditionel udformning, er arbejdslamper og downlights. Der er imidlertid allerede mange eksempler på helt nye udformninger, som armaturerne herunder.



Armaturet Water lily er et godt eksempel på et armatur udviklet til netop LED. Foto: I-no.

OLED

Også [OLED](#) giver nye muligheder for design af armaturer med store lysende flader. Eksempler på armaturer er vist herunder.

Lysfordeling

Da lyset fra lysdioder er fremadrettet, har armaturer med LED ofte en fremadrettet [lysfordeling](#). Lyset fra armaturer med LED er typisk relativt rettet og man bør derfor være opmærksom på at undgå [blændingsgener](#). Armaturer med LED fås dog også i udgaver med [opal- eller prismeafskærmning](#), som giver en diffus lysfordeling.

Lyskilder

Lyskilderne i LED-armaturer er naturligvis LED, som ofte vil være indbygget i selve armaturet og derfor ikke kan udskiftes. Antallet af lyskilder varierer og afhænger af armaturets funktion og dimensioner samt LED-typen. I arbejdslamper kan der f.eks. være tre stk. lysdioder, mens et LED-armatur beregnet til [almenbelysning](#) kan være bestykket med et større antal lysdioder.

Lysdioderne i et LED-armatur er ikke nødvendigvis ens. I nogle armaturer anvendes f.eks. en kombination af lysdioder med forskellig farvetemperatur.

Lysdioder kræver forkobling med en [driver](#), som enten findes i selve armaturet eller i en separat enhed, som leveres med armaturet.

Armaturhus

Armaturhuset skal fungere som indpakning og beskyttelse af lyskilder, driver mv.

Ved fremstilling af armaturhuse til LED-armaturer anvendes pt. materialer som aluminium og kunststof (polycarbonat, polyethylen, polyester etc.). En væsentlig detalje ved udformningen af et LED-armaturhus er imidlertid, at materialer og udformninger er velegnede til at lede varmen fra LED-lyskilderne væk fra armaturet.

Reflektorer og linser

I armaturer med LED vil [reflektorer og linser](#) ofte være indbygget i selve [LED-lyskilden](#).

Afskærmning

Som tidligere nævnt har nogle LED-armaturer en opal afskærmning.

Mange LED-armaturer har ikke nogen egentlig blændingsafskærmning, hvilket kan skyldes LED-komponenternes indbyggede [optik](#) (linser m.v.). Der findes dog flere eksempler på LED-



Armaturet O-Leaf er udviklet til OLED. Foto: Philips.

armaturer, som ikke er tilstrækkeligt afskærmede og derfor medfører væsentlige blændingsgener.

Effektivitet

Da lyset fra lysdioder er fremadrettet, har mange LED-armaturer en relativ høj [virkningsgrad](#), som i nogle tilfælde er over 90 %. Hvis armaturet har en opal afskærmning, vil virkningsgraden dog typisk være 50-60 %.

Anvendelser

Belysning med LED er idag det mest almindelige i nye anlæg til professionel brug. Blandt de mest almindelige armaturtyper med LED er [arbejdslamper](#), [downlights](#), [pendler](#) samt [parkarmaturer](#), [pullerter](#) og [nedgravningsarmaturer](#).



LED-belysning på Rytterstatuen i København (tv) og på løbølje i Ålborg (th). Fotos: Steen Traberg-Borup (tv) og Gunver Hansen (th).

Derudover anvendes LED til forskellige typer særbelysning, herunder belysning i kølemøntre samt skiltebelysning og dekorative belysningsløsninger. Endelig anvendes lysdioder i forskellige typer trafiklys.



Torontoblink med LED. Foto: Katrin Barrie Larsen.

Levetid for LED-armaturer

Der findes to internationale standarder, IEC 62717 og IEC 62722-2-1, der beskriver hvordan levetid for LED-armaturer skal deklareres. Fagerhult har udgivet [en vejledning](#) (juni 2016), som forklarer hvordan man udregner og deklarerer levetiden for LED-armaturer.

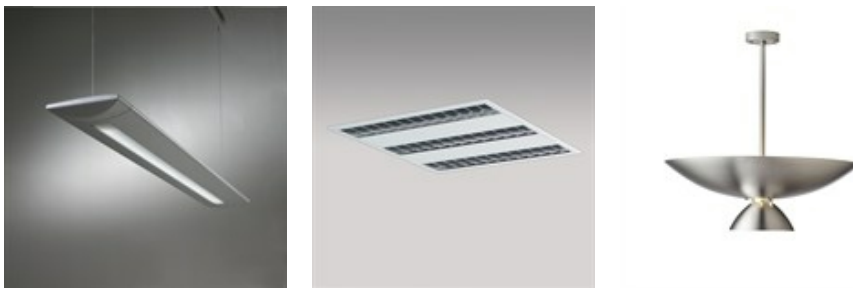
LYSRØRSARMATURER

Til denne gruppe hører loftarmaturer til aflange og cirkulære lysstofrør samt kompaktlysstofrør.

Loftarmaturer med lysstofrør er ofte aflange eller kvadratiske. Derudover findes runde loftarmaturer til cirkulære [lysstofrør og kompaktlysstofrør](#).

Langt de fleste typer loftarmaturer til lysstofrør er beregnet til professionel brug. De forskellige typer kan være mere eller mindre dekorative, men der er som regel gjort meget ud af armaturets lysudsendelse, herunder effektiviteten, også kaldet lysudbyttet.

Alt efter hvor og hvordan armaturet monteres, skelner man mellem indbyggede, påbyggede og nedhængte armaturer. Mange armaturer findes i udgaver, som både er velegnet til påbygning og nedhængning.



Lysrørsarmaturerne Loop (tv) og 60x60 armaturet EBRME (m) er typiske lysrørsarmaturer. Pendlen Mini Faidon (th) er bestykket med kompaktlysstofrør og en halogenglødelampe. Fotos: Fagerhult (tv), Luminex (m) og Asger BC.

Lysfordeling

Loftarmaturer til lysstofrør kan have meget forskellige [lysfordelinger](#).

Nedhængte armaturer findes i både nedadlysende og opadlysende udgaver samt i udgaver med lysfordelinger, som kombinerer op- og nedlys i forskellige forhold, for eksempel 20 % oplys og 80 % nedlys.

Nedadlysende armaturer med en vis mængde supplerende oplys giver en passende belysning af loftet, og dermed en jævn almenbelysning uden mørke huller. I mange armaturer kan forholdet mellem det direkte og indirekte lys reguleres evt. ved individuel tænd/sluk eller dæmpning af de enkelte lyskilder.

For armaturer med meget oplys bliver loftet sekundær lysgiver, og det er vigtigt, at armaturenes nedhæng fra loftet er tilstrækkeligt til at lyset fordeles jævnt over loftsfladen.

Påbyggede armaturer har ligeledes en nedadlysende lysfordeling, evt. med en lille smule lys på loftet, som bløder grænsen mellem armaturets lysende flade og loftet op.

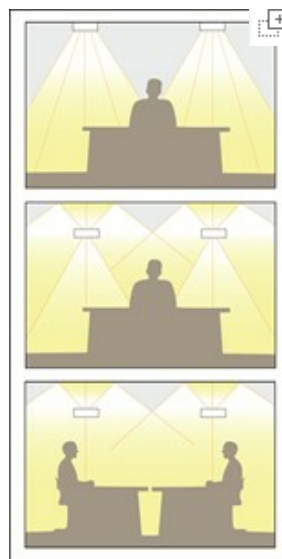
Indbyggede armaturer vil enten have en direkte nedadlysende lysfordeling eller en såkaldt indirekte lysfordeling, hvor lyset dirigeres ud ad armaturet via en diffus topreflektor.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

Lyskilderne i loftarmaturer vil enten være lysstofrør, dvs. aflange eller cirkulære rør, eller kompaktlysstofrør. Antallet af lyskilder er typisk 1-4 stk. og mange armaturer findes i flere udgaver og til forskellige wattager.

Normalt kombinerer man ikke forskellige lyskildetyper eller wattager i samme armatur. En undtagelse er dog armaturer bestykket med lysstofrør i kombination med en eller flere [halogenlyskilder](#).

Nogle armaturer med lysstofrør er kan anvendes til såkaldt [dynamisk belysning](#). Denne type armaturer er bestykket med flere lysstofrør med forskellige [farvetemperaturer](#), hvilket giver



Den generelle almenbelysning består ofte af enten direkte nedadlysende armaturer (øverst) eller direkte/indirekte lysende armaturer (i midten og nederst).

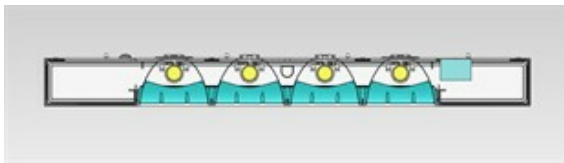
mulighed for at variere lysets farvetemperatur.

Fatninger i denne type armaturer er gængse fatninger til lysstofrør og kompaktlystofrør, f.eks. G5 eller 2G11. Defekte lyskilder kan normalt skiftes uden brug af værktøj. Det vil lette arbejdet, hvis gitre eller anden afskæmning kan blive hængende under armaturet ved udskiftning af lyskilderne.

Eftersom lysstofrør og kompaktlystofrør kræver [forkobling](#), vil denne type armaturer være monteret med forkoblingsudstyr, som ofte er monteret i selve armaturhuset. For nogle indbygningsarmaturer kan forkoblingsudstyret dog være en løsdel, som er koblet til selve armaturet via et kabel.

Armaturhuset

Udover at se "pænt ud" skal armaturhuset fungere som indpakning og beskyttelse af lyskilder, fatninger og andet tilbehør. I armaturer uden separat [reflektor](#) fungerer indersiden af armaturhuset desuden som reflektor.



Tværsnit af 60X60 armatur. Figur: Glamox.

Ved fremstilling af armaturhuse til lysstofrørsarmaturer anvendes materialer som stål, aluminium, messing og kunststof (polycarbonat, polyethylen, polyester etc.).

Mens påbyggede armaturer monteres til loftet ved hjælp af skruer eller en form for beslag, anvendes ofte wireophæng eller pendelrør til nedhængte armaturer. Indbygningsarmaturer kan ofte fås til et eller flere af de mange typer systemlofter på markedet.

Reflektor

Næsten alle aflange og kvadratiske armaturer er i dag forsynet med separate reflektorer, hvis opgave er at styre lyset ud ad armaturet. Lystabet i et moderne lysrørsarmatur med en god reflektor er relativt begrænset og [virkningsgraden](#) derfor høj. For nogle armaturtyper er risikoen for [blænding](#) til gengæld større pga. den mere koncentrerede lysudsendelse.

I armaturer til aflange lysstofrør vil reflektoren styre lyset i retninger på tværs af lysstofrøret. De fleste reflektorer er symmetriske og giver en symmetrisk lysudsendelse omkring armaturets længdeakse. Nogle lysrørsarmaturer findes med asymmetrisk reflektor, som styrer lyset til den ene side, hvilket udnyttes i armaturer til belysning af tavler, reoler ol. Med andre reflektortyper kan man styre lyset direkte nedad mod arbejdspladsen og forhindre lys i retninger, der kan give anledning til gener, som f.eks. blænding eller [reflekser i computerskærme](#).

Reflektorer kan være spejlende eller diffuserende. Spejlende reflektortyper fremstilles primært i højglanspoleret eller eloxeret (anodiseret) aluminium. Reflektoren kan have en helt blank overflade (højglans), en mere matteret overflade (diffus), eller en mellemting (semidiffus). Diffuse reflektorer er typisk fremstillet af hvidlakeret metal og benyttes ofte som overskærme i kvadratiske indbygningsarmaturer. Armaturer med spejlende reflektorer tillader normalt bedre lysstyring og dermed højere virkningsgrader end armaturer med hvidlakerede reflektorer.

Afskærmning

[Blændingsafskærmningen](#) i loftarmaturer til lysstofrør består typisk af en type gitterafskærmning, prismeplade eller opalafskærmning, som i større eller mindre grad begrænser direkte indsyn til den nøgne lyskilde. Afskærmningen vil ofte bidrage til at styre og/eller udjævne lyset.

Specifikke krav til blændingsbegrænsning kan ses i [DS/EN 12464-1 Lys og belysning - Belysning ved arbejdspladser - Del 1: Indendørs arbejdspladser](#).

Mens armaturer uden reflektorer har virkningsgrader på omkring 40-50 %, har armaturer med spejlende reflektorer virkningsgrader på 60-90 %. Virkningsgraden for armaturer med hvidlakerede reflektorer er 50-60 %.

Anvendelser

Loftarmaturer til lysstofrør anvendes i udstrakt grad til almenbelysning i kontorer, institutioner og skoler og mange andre steder, hvor man har brug for en jævn belysning med et lavt energiforbrug. Derudover anvendes disse armaturer som egentlig arbejdsbelysning nedhængt over skranke, arbejdsborde, maskiner og lignende.

En del lysrørsarmaturer er udviklet direkte til belysning i kontorer med computerskærme. Disse armaturer er afskærmet således, at lyset ikke spredes ud over en vinkel på 50° eller 60° fra lodret, hvilket betyder, at risiko for spejlinger og reflekser i skærme kan undgås, forudsat at

armaturer er placeret korrekt i forhold til arbejdspladser. I disse armaturer anvendes overvejende dobbeltparabolske reflektorer af højglanspoleret eller svagt matteret aluminium, som giver mulighed for god lysstyring og høj virkningsgrad. Armaturer med supplerende oplys vil udjævne den lidt hårde skyggedannelse og ofte give en mere behagelig rumoplevelse.

Asymmetriske lysrørsarmaturer anvendes til belysning af lodrette flader f.eks. tavler og reoler. Lodrette flader kan belyses ensartet fra loft til gulv, hvis armaturer placeres parallelt med disse.



Typiske anvendelser af lysrørsarmaturer. Fotos: Thorn/Mads Skamris (tv) og Astrid Espenhain (th).

DOWNLIGHTS

Betegnelsen downlight bruges om en bred produktgruppe, som består af armaturer, som udsender en nedadrettet og ofte præcis lyskegle.

De fleste downlights er indbygget i loftet og har en cirkulær lysåbning. Firkantede downlights forekommer dog også, ligesom nogle typer downlights fås til påbygning, nedhængning eller montering på væg.

Som det vil fremgå af gennemgangen, er grænsen mellem downlights og loftarmaturer ikke helt skarp.

Lysfordeling

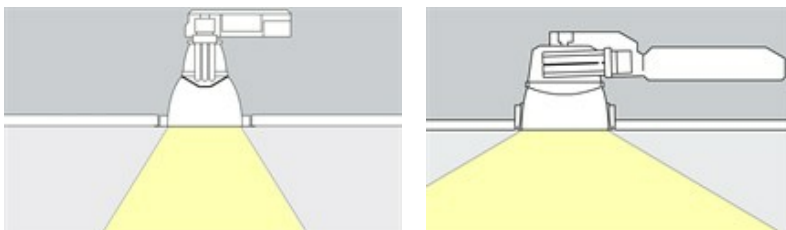
Lysudsendelsen fra en downlight er altid rettet nedad.

Downlights har en tilnærmelsesvis rotationssymmetrisk [lysfordeling](#), som kan variere fra en meget smalstrålende, kegleformet lysfordeling til en mere bredstrålende.

For at begrænse muligheden for at se direkte ind på lyskilden eller spejlbilleder af denne, fås downlights med forskellige afskærmningsvinkler. Smalstrålende downlights, der kun belyser et lille område, blænder mindre end de mere bredstrålende downlights, der typisk benyttes som [almenbelysning](#).

Downlightens evne til at styre lyset afhænger i høj grad af lyskildens dimensioner i forhold til [reflektorens](#). Jo mindre lyskildens dimensioner er i forhold til reflektoren, jo mere præcist kan lyset styres ud ad armaturet og jo mere skarp kan lyskeglens afgrænsning blive.

Downlights findes desuden i såkaldte wallwasher-udgaver med asymmetrisk lysfordeling. Derudover fås mange mindre downlights med reflektorhalogenlyskilder i kippbare udgaver.



Downlightens lysstyring afhænger bl.a. af lyskildens dimensioner og placering i forhold til reflektoren. Figur: ERCO.

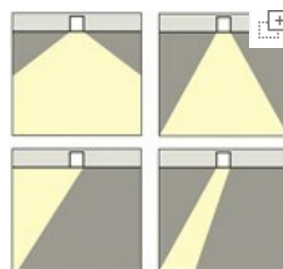
Lyskilder

Til downlights anvendes mange forskellige typer lyskilder, dvs., [LED](#), [kompaktlystofrør](#), [sparepærer](#), [halogenglødelamper](#) og [damplamper](#). Sidstnævnte er velegnet til brug i rum med stor loftshøjde.

Lyskilden kan være monteret lodret eller vandret i downlighten, hvilket har betydning for indbygningshøjden, dvs. den plads der er til rådighed over det nedhængte loft. Indbygningshøjder for downlights med LED-lyskilder kan indimellem være mindre end for øvrige lyskildetyper.



Downlights kan være indbygget, påbygget, nedhængt eller monteret på væg. Figur: Silla Herbst.



Lysfordelingen fra en downlight kan være smal, bred, symmetrisk eller asymmetrisk. Figur: Silla Herbst.

Fortimo LED-lyskilden er velegnet til downlights. Foto: Philips.

I downlights til kompaktlysstofrør monteres [forkoblingen](#) som regel i eller på armaturhuset. Derimod er [transformeren](#) sjældent indbygget i downlights til lavvoltagehalogenlyskilder. Transformeren monteres separat og kan deles af flere armaturer. Forkoblingsudstyret til downlights med højtryksnatriumlamper leveres også oftest i en separat boks. Det samme gælder ofte [driveren](#) til en downlight med LED.

Tit kan udskiftning af lyskilder ske nedefra uden brug af værktøj.

Armaturhus (inkl. montering)

De fleste downlights indbygges i loftet. Derfor gøres der normalt ikke meget ud af armaturhusets udseende, hvorimod armaturets tilslutning til loftet (som ses nedefra) ofres langt større opmærksomhed. Hvad angår downlights til påbygning er armaturhusets design ofte meget enkelt.

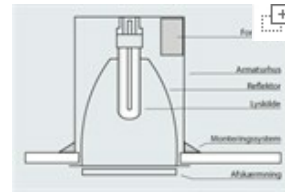
Til armaturhuset anvendes typisk materialer som stål, aluminium, messing og kunststof (polycarbonat, polyethylen, polyester etc.).

Downlights til indbygning monteres med monteringsbøjler eller anden anordning på siden af armaturhuset. Til korrekt og holdbar montage i f.eks. planforsænkede betonlofter eller betonindstøbningshuse findes desuden diverse tilbehør, som f.eks. indmuringsringe.

Ved opsætning af downlights er det vigtigt at overholde de afstande mellem armatur og omgivende bygningsdele, der findes i monteringsvejledningen. For de fleste typer indbygningsdownlights kræves en vis fri-afstand omkring og over det monterede armatur. Kravene fremgår af [Stærkstrømsbekendtgørelsen](#).

Downlights, som ikke er beregnet til indbygning, monteres ved hjælp af ophæng, beslag eller lignende, som leveres med armaturet.

Det er meget almindeligt, at der findes et større udvalg af løse afslutningsringe og dekorative elementer som standardtilbehør til downlights.



Tværsnit af downlight.



Downlight monteret i skråt loft (tv) og nedhængt (th). Fotos: Fagerhult.

Reflektor

Reflektoren i en downlight er ofte enten blank (højglans) eller mat (diffus eller semidiffus), men kan også være højglans facetteret. Den blanke reflektor vil give en præcis lysstyring, som minimerer risikoen for blænding, mens en semidiffus reflektor vil bløde lyset mere op.

Reflektoren kan være fremstillet i aluminium eller plast med pådampmet metalbelægning.



Downlights med mat reflektor (tv) og blank reflektor samt ringgitter (th). Fotos: Glamox (tv) og Solar (th).

Afskærmning

Selvom der findes mange typer [blændingsafskærmning](#) til downlights er mange ikke monteret med en egentlig afskærmning.

Blandt de mest almindelige blændingsafskærmninger er afskærmningsringe og opale afdækninger, som monteres i eller omkring armaturets lysåbning. Disse typer afskærmning bidrager til at udjævne lyset og dermed mindske risikoen for blænding.

Derudover findes forskelligt dekorativt tilbehør, som ligeledes monteres lysåbningen. Både afskærmende og dekorative elementer kan bidrage til at give belysningsanlægget identitet og karakter.

Effektivitet

[Virkningsgraden](#) for downlights varierer meget og afhænger primært af reflektorens udformning og overflade samt i hvor høj grad lyskilden skygger for lyset, dvs. lyskildens eller lyskildernes størrelse og placering i forhold til reflektoren.

Virkningsgraden for downlights vil typisk ligge mellem 45 og 80 %. For downlights med LED-lyskilder kan virkningsgraden dog være over 80 %.

Anvendelser

Downlights anvendes i mange sammenhænge. Når man ønsker en diskret og effektiv belysning i et gangareal anvendes ofte downlights med kompaktlystofrør.

Downlights med halogenglødelyskilder anvendes ofte i repræsentative lokaler og i boliger, mens downlights med dampplamper fortrinsvis anvendes til almenbelysning i højloftede lokaler, som f.eks. aulaer, afgangshaller, atrier og lignende.

Downlights kan desuden anvendes til almenbelysning i et kontorområde, hvor den såkaldte darklight-reflektor giver en næsten usynlig jævn belysning af arbejdsplan og gulv.

Wallwashere anvendes til belysning af lodrette flader, f.eks. i udstillinger og butikker.

Ved valg af downlight har indbygningshøjden stor betydning. I moderne byggeri kappes belysningsarmaturerne med ventilations- og varmerør og alle de øvrige bygningsinstallationer om pladsen over det nedhængte loft.



Belysning med downlights på Flintholm Station i København.
Foto: Silla Herbst.

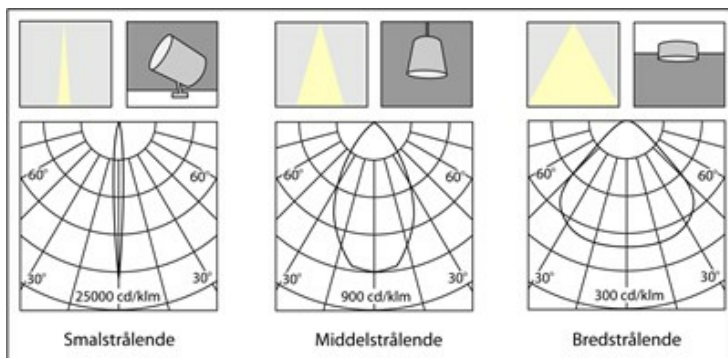
SPOTLIGHTS

Betegnelsen spotlight dækker armaturer, hvis kraftige styring af lyset resulterer i en effektiv belysning af en afgrænset genstand eller et område.

Der findes mange forskellige spotlights på markedet. Mange har en diskret udformning eller et hightech- eller teaterpræget design. Næsten alle typer spotlights kan drejes 360° om den lodrette akse og kippes i en vinkel på 90°.

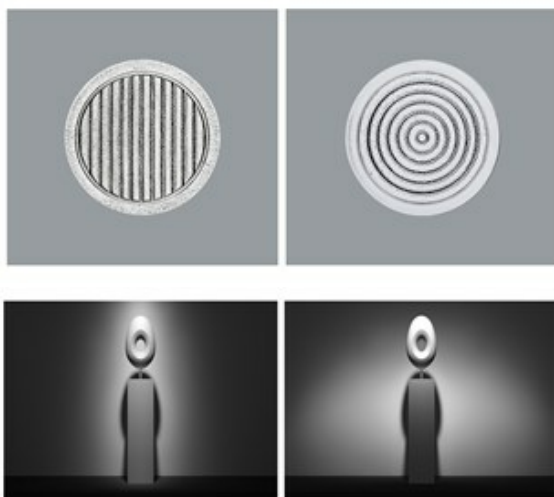
Lysfordeling

Spotlights fås med forskellige [lysfordelinger](#). I leverandørkatalogernes anvendes typisk betegnelser som smalstrålende, middelstrålende og 'bredstrålende'. En smalstrålende spot udsender en snæver lyskegle, som gør det muligt at belyse små områder, også over større afstande.



I spotlights med små lyskilder er der, takket være lyskildens små dimensioner, gode muligheder for at styre lyset med en [reflektor](#) af begrænset størrelse.

Til nogle spotlights fås forskelligt tilbehør, herunder linser, filtre, goboer samt diverse afskærmningselementer. Tilbehøret giver mulighed for at dirigere eller farve lyset, eller for at projicere mønstre og andet på den belyste flade.



Skulptur- (øtv) og floodlinse (øth) samt figur belyst med spot monteret med skulptur- (ntv) og floodlinse (nth). Fotos: www.licht.de (ø) og Erco (n).

Lyskilder og forkoblingsudstyr

I nogle typer spotlights benyttes reflektorlyskilder som [halogenreflektorlamper](#) og [metalhalogenlamper](#) eller [LED](#). I disse typer er selve spotlighten ikke monteret med en reflektor.

I andre typer spotlights benyttes lyskilder uden reflektor. Her er reflektoren indbygget i spotlighten.

Lyskilderne i denne type spotlight er [stifthalogenlamper](#), kompakte metalhalogen- og højtryksnatriumlamper i relativt små wattager samt i visse tilfælde [kompaktlystofrør](#), [sparepærer](#) og [glødelamper](#).

I spotlights til lyskilder, der kræver [forkobling](#), er denne som regel indbygget i eller på armaturhuset. I pendler til lavvolthalogen eller LED-lyskilder er [transformeren](#) eller [driveren](#) derimod sjældent indbygget men monteres separat og kan deles af flere armaturer.

Defekte lyskilder kan normalt udskiftes uden brug af værktøj.

Armaturhuset

Armaturhuset fungerer som indpakning og beskyttelse af lyskilder, fatninger og andet tilbehør. Da spotlights ofte anvendes i udstillinger, butikker og lignende steder, spiller armaturhusets design ofte en væsentlig rolle. Ved fremstilling af armaturhuse til spotlights anvendes hovedsageligt materialer som aluminium og plast.

Mange spots til professionel brug monteres til strømførende skinner på loftet. Andre typer kan være monteret i flåder eller andre anordninger, mens spotlights til lavvolthalogener ofte er monteret på strømførende wire.

Tilbehør til spotlights monteres typisk i særlige udtræksrammer. Alternativt kan tilbehøret være fastgjort til armaturhuset.



Justerbar spot til montering i strømskinne. Foto: Deltalight.

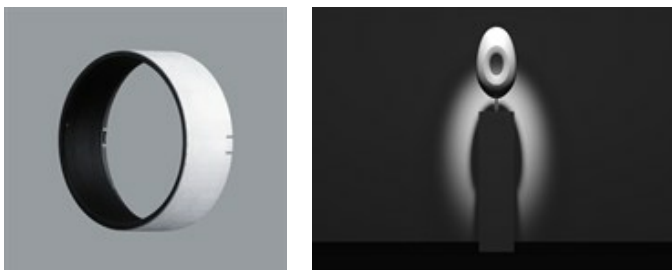
Reflektor

I spotlights med egen reflektor er denne som regel spejlende, så man opnår en kontrolleret styring af lyset og en høj virkningsgrad. Den spejlende reflektor sikrer desuden en skarp overgang mellem det belyste område og omgivelserne.

Afskærmning

For at begrænse muligheden for direkte indsyn til lyskilden, kan nogle spotlights monteres med forskellige [blændingsafskærmninger](#), som vist i figuren.

Anvendelse af gitre, afblændingscylindre, rilleblænder eller justerbare afblændingsblade (også kaldet læber eller barn doors), vil skærme for indblik i lyskilden og begrænse lysudsendelsen til ønskede retninger.



Afspærmningscylinder (tv) og figur belyst med spot monteret med afskærmningscylinder (th). Fotos: www.licht.de (tv) og Erco (th).

Effektivitet

[Virkningsgraden](#) for spotlights er generelt høj og ligger ofte mellem 70 og 90 %.

Anvendelser

Spotlights med kraftig lysstyring giver en kraftig og effektiv belysning og anvendes til at fremhæve mindre genstande og områder eller skabe specielle lyseffekter.

Anvendelse af spotlights giver desuden mulighed for en fleksibel belysning, som kan justeres efter behov, hvilket gør dem velegnede i udstillinger og butiksmiljøer.



Spotbelysning med LED, Museum Zeughaus. Foto: Lightmakers.

PENDLER

Betegnelsen pendel anvendes om et nedhængt armatur som f.eks. en lampe over et spisebord. En pendel kan være dekorativ, funktionel eller både og.

Pendler kan være meget forskellige både, hvad angår design og lysudsendelse. Nogle pendler er velegnede i private hjem, mens andre er beregnet til professionel brug.

Lysfordeling

En pendels [lysfordeling](#) afhænger dels af pendlens udformning, dels af hvilket materiale, den er fremstillet af, herunder materialets transmittans.

Der findes pendler i så mange forskellige udformninger, at det er svært at sige noget generelt. Mange pendler udsender dog lyset i en rotationssymmetrisk og helt eller fortrinsvist nedadrettet lysfordeling med bløde overgange mellem lys og skygge, mens andre har en lysfordeling med lige dele nedlys og oplys.

Endelig findes såkaldte oplyspendler til indirekte belysning. Oplyspendlerne sender størstedelen af lyset opad, hvorefter det reflekteres af loftet. Lyset fra oplyspendlerne er ligeledes blødt og uden bratte overgange. Som for alle andre armaturer til indirekte belysning, er det vigtigt, at oplyspendlernes afstand til loftet er tilstrækkelig til at lyset fordeles jævnt over loftsfladen, hvis reflektans også bør være høj.



Pendlen Cumulus C i indgangsparti. Foto: Deltalight.



Pendlerne Gren (tv), PH 4½-4 (m) og Cannonball (th). Fotos: Okholm Lighting (tv) Louis Poulsen (m) og Deltalight (th).

Lyskilder og forkoblingsudstyr

I pendler til anvendelse i private hjem er de typiske lyskilder [gløde- og halogenglødepærer](#) samt [sparepærer](#). I pendler til professionelt brug anvendes ofte [kompaktlysstofrør](#) eller [damplympær](#). Derudover er antallet af pendler med [LED-lyskilder](#) stigende.

I pendler til lyskilder, der kræver [forkobling](#), er denne som regel indbygget i armaturhuset, men kan også være en selvstændig enhed til montage på loftet. I pendler til lavvoltage halogen eller LED-lyskilder er [transformeren](#) eller [driveren](#) derimod sjældent indbygget men monteres separat og kan deles af flere armaturer.

Defekte lyskilder kan normalt udskiftes uden brug af værktøj. I armaturer med LED-lyskilder, kan lyskilden dog udgøre en fast del af armaturet, som ikke kan udskiftes.

Armaturhuset

Pendler har en tydelig tilstedeværelse i rummet, og vælges ofte efter ydre form og udseende. Derfor er det væsentligt, at armaturhuset har et godt design, som passer til den arkitektur og indretning, det skal placeres i.

Udover at armaturhuset skal fastholde og beskytte lyskilde og tilbehør, skal det rette lyset derhen, hvor der er brug for det, uden at give anledning til generende blænding. Faktisk vil armaturets lysfordeling ofte være mindst lige så vigtig som dets udseende.

I skoler, institutioner og lignende har det stor betydning, at armaturet er robust og gedigent og

ikke hurtigt kommer til at se slidt ud.

Armaturhuset kan f.eks. være fremstillet i metal med hvidmalet diffus inderside eller i transparente materialer, såsom ætset glas eller opale plastmaterialer. Da der sjældent bruges løse reflektorer i pender, er der ofte en tæt og let forståelig sammenhæng mellem pendlens ydre form og dens lysfordeling.

Pendler nedhænges fra loftet via loftsudtag eller kontaktskinner. Pendler over et bord placeres normalt ca. 55-65 cm over bordpladen.



Pendlerne Le Klint model 130 (tv) og Taraxacum Cacoon (th). Fotos: Le Klint (tv) og Flos (th).

Reflektor

Der benyttes sjældent løse eller blanke [reflektorer](#) i pender. Armaturhusets inderside er oftest det lysstyrende element sammen med eventuelle diffust transmitterende armaturdele.

Afskærmning

For mange pender giver armaturhuset i sig selv den nødvendige [blændingsafskærmning](#).

For lavthængende pender, f.eks. over et bord, vil blændingsbegrænsningen afhænge af, at lyskilden er tilstrækkeligt højt placeret i armaturhuset.

For højt placerede pender, som f.eks. pender til [almenbelysning](#) af et større lokale kan et ringlamelgitter eller en opalplade i bunden af pendlen begrænse muligheden for direkte indkig til lyskilden og derved afskærme tilstrækkeligt.

Effektivitet

Der er stor variation i [virkningsgraden](#) for pender. Pender til professionel anvendelse er typisk mere effektive end pender til anvendelse i private.

Anvendelser

Pendler anvendes ofte på steder, hvor æstetik og design har stor betydning, og hvor man ønsker at give omgivelserne et mere 'privat', 'hjemligt' eller 'eksklusivt' præg. Derudover anvendes pender i udstrakt grad til almenbelysning i mange typer institutioner, butikker og boliger samt over skranke og lignende. Endelig er de såkaldte storrumpender med effektiv lysstyring god i højloftede rum som auditorier, atrier og foyerer, hvor man ønsker belysning og stemning.



Opale glaspendler, Paustian.
Foto: DCL.

VÆGARMATURER

Vægarmaturer findes i mange udformninger og armaturets design spiller ofte en stor rolle, da disse armaturer tit har en dekorativ funktion.

Vægarmaturer designs ofte i serier med [pendler](#), [bordlamper](#) og [gulvarmaturer](#), som så kan anvendes til forskellige belysningsformål i samme lokale, uden at der opstår stilforvirring. Nogle loftarmaturer er desuden velegnede som vægarmaturer.

Vægarmaturer findes desuden til udendørs anvendelse, somme tider som en del af en armaturserie.



Vægarmaturer; AJ Væg (tv), Outfit (mtv), Eykon (mth) og Iteka (th). Fotos: Louis Poulsen (tv), Veksø (mtv), Thorn (mth) og iGuzzini (th).

Lysfordeling

Et vægarmaturs [lysfordeling](#) vil som regel indeholde en vis symmetri og ofte være enten opadrettet, nedadrettet eller op/nedadrettet. Hvis et loftarmatur anvendes som væglampe, vil lysfordelingen være rotationssymmetrisk. Vægarmaturs lysfordeling er i langt de fleste tilfælde blød uden bratte overgange mellem lys og skygge.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

I vægarmaturer til indendørs brug benyttes [kompaktlystofrør](#) og [cirkulære lysstofrør](#) samt [lysdioder](#), [sparepærer](#), [gløde-](#) og [halogenglødepærer](#). I væglamper til anvendelse udendørs eller i store højloftede rum benyttes enten kompaktlystofrør, [damplamper](#) eller lysdioder.

I vægarmaturer til lyskilder, der kræver [forkobling](#), [transformer](#) eller [driver](#), er denne som regel indbygget i armaturhuset.

Defekte lyskilder kan normalt skiftes uden brug af værktøj. I armaturer med LED-lyskilder, kan lyskilden dog udgøre en fast del af armaturet, som ikke kan udskiftes.

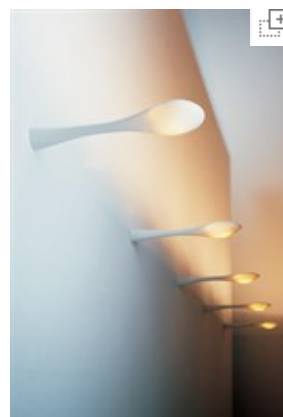
Armaturhuset

Vægarmaturer har en tydelig tilstedeværelse i rummet vælges ofte efter udseende. Det er vigtigt, at armaturhusets design passer til indretningen og samtidig giver et passende og tilstrækkeligt lys.

Derudover skal armaturhuset fungere som indpakning og beskyttelse af lyskilder, fatninger mv.

I armaturer uden separat [reflektor](#) fungerer armaturhusets inderside som det lysstyrende element sammen med eventuelle diffust transmitterende armaturdele.

En del vægarmaturer er fremstillet af metal med hvidmalet, diffus inderside eller af transparente materialer, så som glas, opale plastmaterialer eller papir. Derudover findes vægarmaturer til indbygning enten indendørs eller udendørs. Disse vil ofte være fremstillet i aluminium.



Vægarmaturet Anta Spoon.

Vægarmaturer monteres som regel direkte på væggen evt. ved hjælp af et beslag. Hvis der er tale om et vægarmatur til indbygning, monteres dette typisk vha. en indbygningsboks.

Reflektor

Vægarmaturer er sjældent udstyret med en egentlig reflektor. Derfor er der ofte en tæt og let forståelig sammenhæng mellem armaturets ydre form og armaturets lysfordeling.

Afskærmning

Nogle vægarmaturer er opalafskærmede, hvilket bidrager til en udjævning af lyset og mindsker risikoen for [blænding](#). Mange vægarmaturer har ikke direkte indsyn til den nøgne lyskilde og en egentlig [blændingsafskærmning](#) er derfor ikke nødvendig.

Effektivitet

Der er stor variation i vægarmaturers [virkningsgrad](#), som bl.a. afhænger af hvor velafskærmet lyskilden er og typisk ligger mellem 50 og 90 %.

Anvendelser

Både udendørs og indendørs vægarmaturer anvendes ofte i sammenhænge, hvor æstetik og design har stor betydning eller på steder, hvor væggen er eneste mulighed for at montere armaturer.

Indendørs anvendes vægarmaturer i udstrakt grad til almenbelysning i gange og trapperum eller som supplement til almenbelysningen.

BORDLAMPER OG GULVARMATURER

Bordlamper og gulvarmaturer findes i mange størrelser og udformninger. Ligesom for pender, er designet ofte i fokus, da disse armaturer ofte har en dekorativ funktion.

Mange bordlamper og gulvarmaturer udvikles som en del af en hel serie af armaturer, som så kan anvendes sammen eller hver for sig.

Begrebet bordlamper dækker i nogle sammenhænge også [arbejdslamper](#), som dog behandles i et selvstændigt afsnit.



Snowdrop gulv- og bordlampe. Fotos. Le Klint.

Lysfordeling

Bordlamper og gulvarmaturer vil som regel have en rotationssymmetrisk [lysfordeling](#) som er opadrettet (indirekte belysning), nedadrettet eller både og. Armaturenes lysfordeling er i mange tilfælde blød og uden bratte overgange mellem lys og skygge.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

I bordlamper og gulvarmaturer benyttes [kompaktlystofrør](#) og [lange eller cirkulære lysstofrør](#) samt [lysdioder](#), [sparepærer](#) og [gløde- og halogenlyskilder](#).

I bordlamper og gulvarmaturer til lyskilder, der kræver [forkobling](#), [transformer](#) eller [driver](#), er denne enten indbygget i armaturhuset eller findes i en separat boks, som leveres med armaturet.

Defekte lyskilder kan normalt skiftes uden brug af værktøj. I armaturer med lysdioder, kan lyskilden dog udgøre en fast del af armaturet, som ikke kan udskiftes.

Armaturhuset

Både bordlamper og mange gulvarmaturer vælges ofte efter ydre form og udseende. Derfor er det væsentligt, at armaturhuset har et design, som passer til den arkitektur og indretning, det skal placeres i.

Udover at armaturhuset skal fastholde og beskytte lyskilde og tilbehør skal det at rette lyset derhen, hvor der er brug for det, uden at give anledning til generende [blænding](#). Faktisk vil armaturets lysfordeling ofte være mindst lige så vigtig som dets udseende.

I nogle typer bordlamper og gulvarmaturer, vil der være en egentlig [reflektor](#), som styrer lyset ud ad armaturet. I nogle armaturer uden separat reflektor kan armaturhuset i sig selv fungere som reflektor.

En del bordlamper og vægarmaturer er fremstillet af metal eller transparente materialer, så som glas, opale plastmaterialer eller



Gulvlampen AJ Gulv.
Foto: Louis Poulsen.

papir.

Både bordlamper og gulvarmaturer er som regel monteret på en stander eller anden form for tøjning eller stor fod. Det er vigtigt at armaturet ikke vælter ved en fejl, og eventuelt bliver farligt.

Reflektor

Bordlamper og gulvarmaturer er sjældent udstyret med en egentlig reflektor, hvorfor der ofte er en tæt og let forståelig sammenhæng mellem armaturets ydre form og armaturets lysfordeling.

Afskærmning

For mange bordlamper og gulvarmaturer giver armaturhuset i sig selv den nødvendige [blændingsafskærmning](#). En del bordlamper og gulvarmaturer har desuden en transparent skærm, som bidrager til en udjævning af lyset og mindsker risikoen for blænding.

Effektivitet

Der er stor variation i [virkningsgraden](#) for bordlamper og gulvarmaturer. De typer, der er beregnet til professionel anvendelse er typisk mere effektive end dem, der er beregnet til anvendelse i boligen.

Anvendelser

Ligesom pendler anvendes bordlamper og gulvarmaturer ofte sammenhænge, hvor æstetik og design har stor betydning, og hvor man ønsker at give omgivelserne et "hjemligt" eller "eksklusivt" præg.



Le Klint model 342.
Foto: Le Klint.

ARBEJDSLAMPER

I dette afsnit gennemgås arbejdslamper, dvs. fastmonterede eller bevægelige armaturer som er beregnet til at supplere almenbelysningen ved f.eks. kontor- og industriarbejdspladser.

Arbejdslamper fås i mange udgaver, både hvad gælder udformning, [lysfordeling](#) og mulighed for justering.

Lysfordeling

Arbejdslamper har enten asymmetrisk eller rotationssymmetrisk lysfordeling. Lysfordelingen kan desuden være mere eller mindre rettet alt efter, hvad arbejdslampen skal anvendes til. Udover de gængse typer arbejdslamper, findes såkaldte [storfladearmaturer](#), som udsender et diffust lys fra en stor lysende flade. Disse typer armaturer anvendes i forbindelse med synsopgaver, hvor man har brug for at kunne se rumlige eller matte detaljer på en blank flade.

For arbejdslamper vises lysfordelingen ofte i et såkaldt [ISO-luxdiagram](#). Af ISO-luxdiagrammet fremgår det, hvor stor belysningsstyrken i arbejdsfeltet vil være, når arbejdslampen er placeret i en bestemt afstand fra bordet eller fladen og bestykket med en bestemt lyskilde.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

I arbejdslamper anvendes hovedsageligt [lysdioder](#), [kompaktlysstofrør](#) eller [gløde- og halogenlødelyskilder](#).

Kompaktlysstofrør, LED- og lavvolt halogenlyskilder kræver [forkobling](#), [driver](#) eller [transformer](#), som enten er indbygget i armaturhuset eller findes i en separat boks, som leveres med armaturet.

Defekte lyskilder kan normalt skiftes uden brug af værktøj. I armaturer med LED-lyskilder, kan lyskilden dog udgøre en fast del af armaturet, som ikke kan udskiftes.

Armaturhuset

Da arbejdslamper er meget synlige kan armaturhusets udformning, materialer, fysiske størrelse og design have stor betydning for en arbejdslampes succes.

Udover at beskytte lyskilder og fatninger mod slag og stød skal armaturhuset være udformet på en måde, så det er nemt og ikke for varmt at "tage ved", når arbejdslampen skal justeres eller trækkes hen, hvor der er brug for lyset. I industrien skal armaturhuset sammen med en evt. bundplade også kunne beskytte det indre af arbejdslampen mod indtrængen af vand og snavs.

I simple og billige arbejdslamper uden separat [reflektor](#) er armaturhuset ofte hvidmalet indvendigt for at give en bedre refleksion, lysstyring og [blændingsbegrænsning](#).

Arbejdslamper monteres som ofte i en form for holder, fod eller anordning til montering på bord eller væg. I visse tilfælde monteres arbejdslamper i en skinne eller lignende, så den er nem at flytte rundt på indenfor et bestemt område.

Reflektor

Mange arbejdslamper er monteret med en blank reflektor, som bevirker, at man kan opnå en kontrolleret lysfordeling og en effektiv styring af lyset. Jo mere præcis lysstyringen er, jo bedre kan man undgå utilsigtet lys på dataskærme eller spejlinger og reflekser i papirer på skrivebordet.

I arbejdslamper med indbyggede lysdioder vil hver enkelt lille LED-enhed ofte være udstyret med en lille reflektor, som ligeledes giver en optimal lysstyring.

Afskærmning

Mange arbejdslamper er beregnet til placering under øjenhøjde og har derfor ikke nogen blændingsafskærmning. I de tilfælde hvor der er risiko for direkte indkik til lyskilden, kan arbejdslampen dog være udstyret med en form for gitter eller lignende.

Effektivitet

Der er stor variation i vægarmaturers [virkningsgrad](#), som bl.a. afhænger af hvor velafskærmet



Arbejdslampen Fortebraccio.
Foto: Luceplan.



Arbejdslampen MR Original.
Foto: Møller og Rothe.

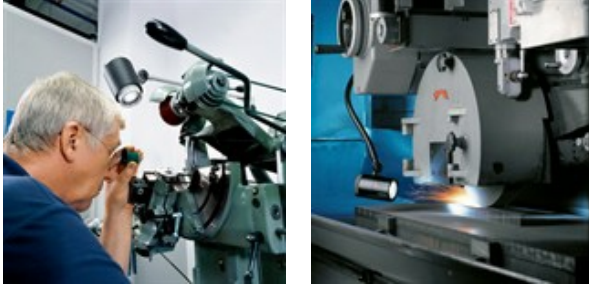


Industriarbejdslampen ABLTL.
Foto: Højager Belysning.
Billedet må udelukkende benyttes i undervisningssammenhæng og kun med angivelse af kilde.

lyskilden er og typisk ligger mellem 50 og 90 %. De typer, der er beregnet til professionel anvendelse vil ofte være mest effektive.

Anvendelser

På mange kontor- og industriarbejdspladser er der behov for supplerende og justerbar arbejdsbelysning fra fastmonterede eller flytbare arbejdslamper. Arbejdslamperne skal bidrage med den nødvendige belysningsstyrke og belyse arbejdsfladerne på en sådan måde, at man tydeligt og ubesværet kan se væsentlige detaljer. Udgangspunktet for valg af arbejdslampe bør altid være, at lampens lysfordeling passer til det arbejde, der skal udføres. Derudover er det vigtigt, at lamperne harmonerer med indretningen af de lokaler, hvori de skal placeres.



Eksempler på industriarbejdslamper. Fotos: Højager Belysning. Billederne må udelukkende benyttes i undervisningssammenhæng og kun med angivelse af kilde.

Arbejdslamper anvendes typisk på steder, hvor:

- krævende synsopgaver udføres på et afgrænset område
- ældre og andre personer med nedsat syn har behov for et højere belysningsniveau
- enkelte personer finder det gavnligt og lettere med mere lys
- den øvrige belysning giver for store kontrastreduktioner
- der arbejdes med mørke genstande

INDUSTRIARMATURER

Begrebet industriarmaturer dækker effektive armaturer til almenbelysning i forskellige typer industriarbejdspladser, herunder industrihaller og lignende.

Armaturer til anvendelse i industrien skal være effektive og er derfor bestykket med effektive lyskilder i høje wattager. Samtidig stiller nogle typer industriarbejde særlige krav, for eksempel til [tænding](#) eller armaturernes [kapsling](#).

I store industrihaller arbejdes ofte mellem maskiner, opstabilede materialer og på lodrette flader. Derfor vil det ofte være nødvendigt at supplere almenbelysningen med passende arbejdslamper.



Typiske industriarmaturer: Monsun (tv), Delta (m) og Sitec (th). Fotos: Solar (tv og th) og Resolux (m).

Lysfordeling

Industriarmaturer har en nedadrettet [lysfordeling](#), eventuelt med en lille smule oplys, hvis der er tale om et industriarmatur til lysstofrør.

Industriarmaturer med [damplamper](#) er ofte runde med en deraf rotationssymmetrisk lysfordeling, men fås også i kasseformede udgaver til ind- eller påbygning og med symmetrisk eller asymmetrisk lysfordeling omkring de to armaturakser.

Lysfordelingen for industriarmaturer til [lysstofrør](#) er som regel symmetrisk omkring armaturets akser. Nogle fås desuden i en asymmetrisk udgave.

Industriarmaturer skal som regel bidrage til en jævn rumbelysning. Hvor smal-, middel- eller bredstrålede lysfordelingen er, afhænger derfor af, hvilken lofthøjde armaturet er beregnet til.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

I industriarmaturer anvendes typisk lysstofrør eller damplamper, dvs. højtryksnatrium- eller metalhalogenlampe. Derudover kan industriarmaturer med [induktionslamper](#) forekomme.

Da det normalt tager flere minutter, før damplamper kan gentændes efter afbrydelse af strømmen, opsættes industriarmaturer med denne type lyskilder somme tider parvis eller i udgaver, hvor hvert armatur er forsynet med 2 uafhængige lyskilder.

Både lysstofrør og damplamper kræver [forkobling](#), som enten er indbygget i armaturet eller monteres separat i nærheden af armaturet.

Damplamper i større wattager er normalt forsynet med skruesokkel, typisk E27 eller E40, og armaturet er derfor monteret med en skruefatning. Industriarmaturer til lysstofrør har G5- eller G13-fatning.

Defekte lyskilder kan normalt skiftes uden brug af værktøj. Hvis armaturet er monteret med gitter eller anden afskærmning vil det lette arbejdet, hvis denne kan blive hængende under armaturet ved udskiftning af lyskilderne.

Armaturhuset

Armaturhuset fungerer som beskyttelse af lyskilde og fatning mv. For industriarmaturer med høj kapslingsklasse danner armatur, bundskærm og forseglinger en robust enhed overfor tilsmudsning og andre påvirkninger.

Vedr. forsegling og tætninger, leveres industriarmaturet i forskellige beskyttelsesklasser afhængig af, om armaturet er udført med eller uden forsegling og/eller tætninger. Almindeligvis leveres industriarmaturer uden forsegling i beskyttelsesklasse IP 23.

Industriarmaturer fås både til nedhængning i wire, påbygning på loft eller skinnesystemer og til indbygning.

Reflektor

De fleste industriarmaturer er forsynet med en [reflektor](#), der dirigerer lyset kraftigt nedad i arbejdslokalet. I nogle tilfælde er reflektoren fuldt synlig og udgør en væsentlig del af armaturhuset.

Afskærmning

De fleste industriarmaturer har ikke nogen egentlig [blændingsafskærmning](#). I enkelte tilfælde kan industriarmaturer dog være forsynet med et afskærmningsgitter, som ofte betragtes ekstra tilbehør.

I armaturer, der er forsynet med bundskærm eller lignende, vil denne som regel afhjælpe eventuel [blænding](#).

Effektivitet

For de fleste industriarmaturer ligger [virkningsgraden](#) mellem 65 og 90 %.

Da virkningsgraden i høj grad afhænger af hvor afskærmet lyskilden er, vil de typer, der er beregnet til særlige formål, f.eks. eksplosionsfarlige områder, have en lavere virkningsgrad.

Anvendelser

Mange industriarmaturer er beregnet til anvendelse i store lokaler med højt til loftet, hvor der ønskes en jævn belysning på gulv eller lodrette lagerreoler med et relativt lille antal armaturer.

Hvis dagslystilgangen er rigelig, kan man med fordel anvende industriarmaturer med lysstofrør og HF-forkobling, så kunstlyset kan reguleres efter dagslyset. Hvis der ikke er tilgang af dagslys i lokalet, kan man med fordel anvende industriarmaturer med højtryksdamplamper. Dog skal man være opmærksom på at farvegengivelsesindekset for højtryksdamplamperne er under 80.



Eksempler på industribelysning i lagerhal og på slagteri. Fotos: Thorn (tv) og DCL (th).

NØD- OG PANIKARMATURER

Nød- og panikarmaturer skal sikre, at flugtveje og lignende er synligt markerede og oplyst i tilfælde af strømsvigt, brand eller lignende.

Nødbelysning består af to typer armaturer; flugtvejsarmaturer og panikarmaturer. Flugtvejsarmaturerne, også kaldet udgangs- og henvisningsarmaturer, er udstyret med piktogrammer, der viser vej til nærmeste nødudgang, mens panikarmaturerne belyser selve flugtvejen. Panikarmaturer skal tænde, når strømmen går, henvisningsarmaturer skal være tændt eller belyst hele tiden.

Til flugtvejsbelysning anvendes ofte specielle panikarmaturer, f.eks. med LED. Alternativt kan nogle armaturer, f.eks. [downlights](#) eller [lysstofrørsarmaturer](#), udstyres med en ekstra fatning for nødbelysning.



Flugtvejsarmatur (tv) og simulering af gang belyst af nødbelysning (th9). Fotos: Safeexit.

Flugtvejsbelysningen skal kunne opretholde en [belysningsstyrke](#) på minimum 1 lux efter strømsvigt i det tidsrum, det er nødvendigt for at sikre bygningens evakuering, hvilket typisk vil være i 30-60 minutter fra en utilsigtet afbrydelse af den almindelige belysning. Hvis der er tale om et højrisikoområde, kan det være nødvendigt at forlænge denne periode.

Lysfordeling

Hvad angår henvisningsarmaturer findes der grundlæggende to typer, nemlig gennemlyste og belyste. Gennemlyste skilte anses alt andet lige for at være de mest tydelige.

Panikarmaturer har typisk en nedadrettet lysfordeling.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

Da et nødbelysningsanlæg skal nå op på 50 % af det krævede belysningsniveau inden 5 sekunder, er alle typer lyskilder ikke lige velegnede. Derfor kan [dampplamper](#) og visse typer [sparepærer](#) ikke anvendes. I dag anvendes [LED](#), [T5 eller T2 lysstofrør](#) og [kompaktlysstofrør](#) i mange nødbelysningsarmaturer. Defekte lyskilder kan normalt skiftes uden brug af værktøj.

Et nødlyssystem kan enten være strømforsynet centralt eller decentralt eller bestå af lysarmaturer med egen forsyning. Mange panikarmaturerne fås desuden med eller uden autotestfunktion.



Lyskilden i nødbelysningsarmaturet emLED er en LED. Foto: fagerhult.

Armaturhuset

For panikarmaturer har armaturets design ofte ikke den store betydning. Panikarmaturer monteres typisk i, på eller nedhængt fra loftet.

Henvisningsarmaturer findes ofte i forskellige størrelser afhængig af nødvendig synsafstand. Disse armaturer eller skilte monteres typisk på vægge eller lofter.

Nød- og panikarmaturer er som regel fremstillet kunststof.

Henvisningsarmatureernes informationer er trykt på en folie, som sættes direkte på armaturet, eller på en akrylplade, der sættes foran eller under armaturet og derved gennemlyses.

Afskærmning

Da formålet med panikbelysning er at reducere risikoen for panik, skal [blænding](#) begrænses. I henvisningsarmatur er lyskilden afskærmet af en akrylplade, som sikrer at armaturet ikke giver anledning til blænding.

Effektivitet

De lyskilder, der anvendes i dagens nød- og panikarmaturer har som regel en høj energieffektivitet.

Anvendelser

Nødbelysning anvendes i bygninger og områder, hvor dette er krævet i Bygningsreglementet, af Beredskabsstyrelsen og kommunale myndigheder eller af Arbejdstilsynet.

VEJBELYSNINGSARMATURER

Vejbelysnings armaturer er armaturer beregnet til belysning af trafikveje og boligveje.

Vejbelysning tjener i vidt omfang til at opretholde fremkommelighed, trafiksikkerhed og tryghed i forbindelse med mørkekørsel i byer og bynære områder.

Der findes to typer vejbellysningsarmaturer:

- egentlige vejbellysningsarmaturer, som bruges i kryds og på store veje med megen og hurtigt trafik
- armaturer til bymæssig belysning, som anvendes på boligveje, byveje o.lign.



Vejbelysningsarmaturet Iridium.
Foto. Philips.

Vejbelysningsarmaturer er funktionelle, skal være robuste og kunne tåle mange slags vejr.

Lysfordeling

Vejbelysningsarmaturer til brug på store veje har som regel en meget præcist afgrænset [lysfordeling](#) med en mere eller mindre smalstrålende lysudsendelse. I nogle vejbellysningsarmaturer kan spejlreflektor og/eller fatning justeres i forhold til hinanden, så det samme armatur kan give forskellige lysfordelinger. Denne fleksible optik, kaldet POT-optik, giver mulighed for at tilpasse samme armatur til forskellige vejforhold og derved reducere mængden af spildlys fra belysningsanlægget.

Armaturer til bymæssig belysning har typisk en blødere lysfordeling, der som regel er rotationssymmetrisk eller asymmetrisk. Da opfattelsen af vejrummet afhænger af, at lyset på bygninger, afgrænsninger mv. er passende og begrænset udsendes lyset fra disse armaturer derfor ofte i både lodrette og skrå retninger til belysning af fodgængere, cyklister og eventuelle husfacader.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

Til vejbellysning anvendes lyskilder og [forkoblinger](#), der kan starte ved lave udendørs temperaturer.

Til belysning af motorveje og andre større veje anvendes ofte [højtryksnatriumlamper](#) med højt lysudbytte. Da højtryksnatriumlamper som regel står og blinker, når de er ved at være udbrændte, leveres mange armaturer med en cut-off komponent, som afbryder lyskilden, hvis den ikke tænder korrekt.

På veje i byer og boligområder anvendes flere typer lyskilder, herunder [kompaktlysstofrør](#), højtryksnatrium- eller [metalhalogenlamper](#). I eksisterende armaturer anvendes i øvrigt [kviksøvlamper](#), som dog er under udfasning i hele EU og fjernes fra markedet fra 2015. I nogle boligvejsarmaturer anvendes også [induktionslamper](#), ligesom også [LED](#) vil være en udbredt lyskilde i fremtidens vejbellysnings.

Forkoblingsudstyret kan være indbygget i armaturet eller i den tilhørende mast.

I moderne vejbellysningsarmaturer kan lyskilder skiftes uden brug af værktøj, hvilket er en stor fordel, da udskiftning foregår fra lift.



Komponenter i armaturhuset SQ50. Foto: Siteco.

Armaturhuset

Armaturhuset tjener primært som indpakning og beskyttelse af lyskilder, fatninger og andet tilbehør inde i armaturet og skal holde eventuelle temperaturfølsomme lyskilder varme. Armaturhuset er som oftest udført i aluminium eller kunststof og kan have en dekorativ funktion. Vejbelysningsarmaturets materiale, form og farve kan være tilpasset vejens øvrige udstyr.

Vejbelysningsarmaturer er ofte forseglede med hærdet frontglas eller en skærm af kunststof, der via et rustfrit lukkebeslag gør det let at udskifte lyskilder fra bagsiden af armaturet. Ligesom projektører er vejbelysningsarmaturer som regel tætnet med pakninger (f.eks. neopren eller gummi). Beskyttelsesklassen for disse armaturer er IP 23 (regntæt) eller højere. Afhængig af ophængningshøjde leveres armaturerne i IK klasse 10 (impact protection) eller højere, hvilket betyder, at armaturet kan modstå hårde slag og kast. Tidligere brugte man betegnelsen 'vandalklasser'.

Armaturer til belysning af motorveje og andre større veje er enten ophængt i wire højt over kørebanen eller på master i midter- eller siderabatten. Armaturer til belysning af trafik-, by- eller boligveje monteres på master af variabel højde.

Reflektor

Moderne vejbelysningsarmaturer er udstyret med blanke [reflektorer](#), der meget præcist styrer lyset ud ad armaturet. I armaturer til belysning af større veje vil den præcise lysstyring sikre at lysudsendelsen alene er rettet mod vejbanen og at lyset er velafskærmet og ikke blænder bilister og øvrige trafikanter.

Lysstyringen i armaturer til bymæssig belysning har typisk en lidt blødere afgrænsning.

Afskærmning

Afskærmningen i vejarmaturer er højere grad en sikkerhedsafskærmning end en blændingsafskærmning. De hyppigst anvendte afskærmninger til vejbelysningsarmaturer, er skærme af klart kunststof, f.eks. polycarbonat eller plane glasskærme. Til nogle anvendelser kan det være væsentligt, at skærmen er udformet, så den lysende armaturåbning ikke ses fra større afstande, dvs. som en plan afskærmning.

Effektivitet

Den præcise lysstyring i vejbelysningsarmaturer bevirker at [virkningsgraden](#) for disse armaturer er høj, typisk over 70 %.

Anvendelser

Vejbelysning anvendes på den del af vejnettet, hvor belysning tjener til at opretholde fremkommelighed, trafikikkerhed og tryghed om natten.

Ved valg af vejbelysningsarmaturer skal der ifølge vejreglerne tages hensyn til vejbelysningens indvirkning på vejbilledet og dens visuelle fremtræden i omgivelserne både om natten og om dagen. Derudover bør eventuelt spildlys mod nattehimlen begrænses.



Brobelysning. Foto: Philips.

PARK- OG STIBELYSNINGSARMATURER

I dette afsnit behandles park- og stiarmaturer, også kaldet lygter, dvs. armaturer monteret på relativt lave master til anvendelse i parker, gågader, bykerne o.lign.

Park- og stibelysningen skal sikre tilstrækkelige synsbetingelser, så personer kan færdes trygt og sikkert på cykel, til fods el.lign. Se i øvrigt afsnit om [pullerter](#).



Park- og stiarmaturer; Albertslund Lygten (tv), Nyx (mtv), Pin 304 (mth) og Ballo 807 (th). Fotos: Louis Poulsen (tv), Focus Lighting (mtv), Veksø (mth og th).

Lysfordeling

Som for boligvejsarmaturer gælder det, at park- og stiarmaturer skal bidrage med et jævnt lys på færdselsområdet og desuden belyse bygninger, afgrænsninger mv. i passende omfang. Derfor har parkarmaturerne ofte en blød og mere eller mindre rotationssymmetrisk [lysfordeling](#), som bevirker at også hække, hegn og det nederste af bygninger opnår en passende og begrænset belysning. Også en vis portion vertikalt lys, der oplyser fodgængeres og cyklisters ansigter på en tryghedsskabende måde, er vigtigt.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

I park- og stibelysning prioriteres [farvegengivelsen](#) højere end i almindelig vejbelysning. I disse armaturer anvendes derfor typisk [kompaktlýsstofrør](#), [induktionslamper](#), [LED](#) og [damplamper](#) i små wattager.

[Forkoblingsudstyret](#) kan være indbygget i armaturet eller i den tilhørende mast.

Park og stiarmaturer er reelt lave og anvendes ofte i offentlige byrum, som er tilgængelige på alle tider af døgnet. Af hensyn til hærværk, sikkerhed mv. kræves som regel brug af værktøj til udskiftning af lyskilde samt anden vedligeholdelse af armaturet.

Armaturhuset

Armaturhuset tjener primært som indpakning og beskyttelse af lyskilder, fatninger og andet tilbehør og skal desuden holde eventuelle temperaturfølsomme lyskilder varme eller kolde. Park- og stiarmaturer ses i et hav af forskellige udformninger og i mange tilfælde er armaturet udformet, så det både er funktionelt og dekorativt. Armaturerne er som regel udført i aluminium, andre metaller eller kunststof.

Armaturet bør passe til omgivelserne og dets form og farve kan bl.a. være bestemt af, at det skal indgå i en gennemgående designserie for en by eller bydels torve og gågader.

Da armaturerne skal kunne tåle stænk, vandsprøjt mv., er beskyttelsesklassen IP 23 (regntæt) eller højere. Afhængig af ophængningshøjden leveres armaturerne desuden i IK klasse 10 (impact protection) eller højere, hvilket betyder, at armaturet kan modstå hårde slag og kast. Førhen brugte man betegnelsen 'vandalklasser'.

Armaturerne monteres ofte på relativt lave master eller holdere. I nogle park- og stiarmatur serier findes desuden udgaver til montering på vægbeslag.

Reflektor

Styringen af lyset fra park- og stiarmaturer er som regel blødere end i vejarmaturer. Armaturerne udsender ofte mere lys i skrå retninger til belysning af fodgængere, cyklister og eventuelle husfacader. De anvendte [reflektorer](#) er ikke nødvendigvis spejlende og der anvendes ofte opale [afskærmninger](#), der spreder lyset diffust til omgivelserne.

De lysstyrende dele kan enten bestå af en traditionel reflektor eller af andre lysstyrende elementer, som desuden kan have en dekorativ effekt. De anvendte reflektorer er ikke nødvendigvis spejlende.



Parkarmaturet SM 300.
Foto: Siteco.

Afskærmning

Afskærmninger i park- og stiarmaturer kan være meget forskellige og skifter til dels med udtryk, der kan være modeprægede. I en del armaturer består afskærmningen af en opal diffuserende afskærmning, der skjuler lyskilder og spreder lyset blødt til omgivelserne. Andre armaturer har skærme af klart kunststof i kombination med øvrige blændingsafskærmende elementer.

Effektivitet

[Virkningsgraden](#) for park- og stiarmaturer varierer indenfor et stort interval. Nogle armaturer har en ringe virkningsgrad på kun ca. 30 %, mens virkningsgraden for andre er i top, hvilket i nogle tilfælde vil sige over 90 %.

Anvendelser

Park- og stibelysningen skal sikre tilstrækkelige synsbetingelser, så personer kan færdes trygt og sikkert i bykerner, parker, på stier mv. Som for vejbelysningen gælder ifølge vejreglerne at der skal tages hensyn til belysningens indvirkning på vejbilledet og dens visuelle fremtræden i omgivelserne både om natten og om dagen. Eventuelt spildlys mod nattehimlen bør begrænses.

Hvad angår selve lyset, foretrækker mange hvidt lys med en god farvegengivelse frem for det mere gule lys fra højtryksnatriumslamper.

Private udendørsarealer med fordel belyses så beboere og besøgende kan færdes trygt og sikkert.



Esbjerg gågade. Foto: Philips.

PULLERTER OG NEDGRAVNINGSSARMATURER

En pullert betegner en lav stolpe, der kan have forskellige formål. I denne sammenhæng dækker begrebet lave stolpeformede armaturer til udendørs belysning i parker, bykerner, gågader mv.

Udover pullerter omhandler dette afsnit øvrige nedgravningsarmaturer, herunder planforsænkede armaturer, som typisk anvendes som såkaldt ledelys på pladser, gågader og lignende steder, eller i form af nedgravede projektorer og uplights under træer eller andre elementer i bybilledet, man ønsker at fremhæve.

Pullerter og andre nedgravningsarmaturer anvendes i mange sammenhænge ligesom den øvrige udendørs belysning til at sikre at personer kan færdes trygt og sikkert i de områder, hvor de anvendes. Mange nedgravningsarmaturer anvendes desuden til dekorative formål.

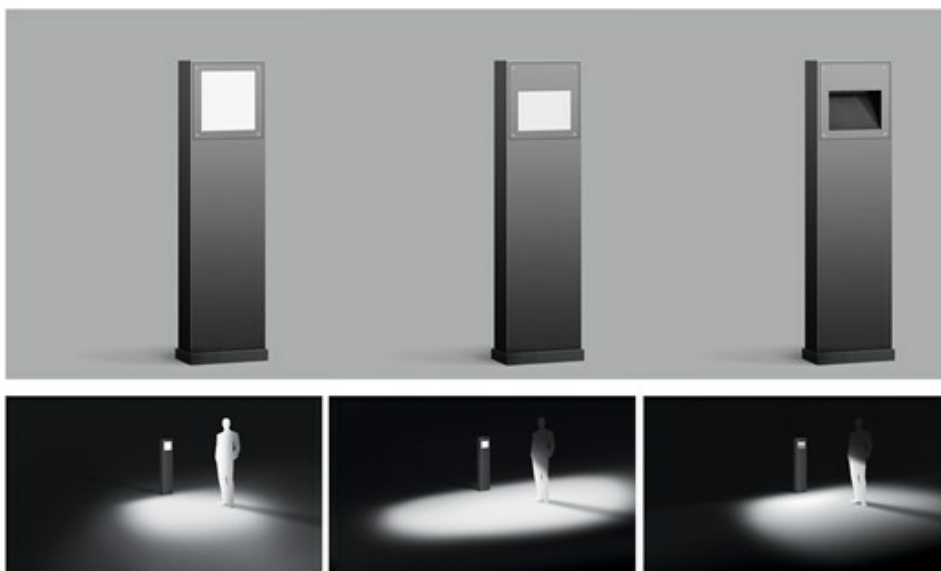
Lysfordeling

Pullerter udsender lyset skråt nedad, så sti eller lignende belyses. Mange pullerter få i forskellige udgaver med symmetrisk eller asymmetrisk [lysfordeling](#). Nogle pullerter giver et skarpt rettet lys, mens andre udsender et mere blødt lys. Der kan i øvrigt være stor forskel på, hvor meget lys en pullert udsender. Nogle typer egner sig alene til markering af et område eller en sti.

De planforsænkede nedgravningsarmaturer har ofte en diffus, blød og rotationssymmetrisk lysudsendelse. Lysmængden fra disse udgaver er ikke voldsom og de anvendes primært til markering. Andre udgaver har en rettet og i nogle tilfælde meget kraftig lysudsendelse, som er enten rotationssymmetrisk eller asymmetrisk. Disse udgaver anvendes typisk til dekorative formål, som for eksempel oplys under træer, langs en mur el. lign.



Nedgravningsarmaturerne Plano Mega i forskellige udgaver.
Foto: Simes/Fagerhult.



Lyset fra forskellige udgaver af pullerten Bega udsendes meget forskelligt. Fotos: Lightmakers.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

I både pullerter og nedgravningsarmaturer anvendes typisk [kompaktlystofrør](#), [metalhalogen](#) og [LED](#). I aflange nedgravningsarmaturer anvendes desuden [lystofrør](#). [Forkoblingsudstyret](#) er indbygget i armaturet.

Som for park- og stiarmaturer anvendes armaturerne ofte i et offentligt byrum, som er tilgængeligt på alle tider af døgnet. Af hensyn til hærværk, sikkerhed mv. kræves derfor brug af værktøj, i visse tilfælde specialværktøj, til udskiftning af lyskilden og vedligeholdelse af armaturet i øvrigt.

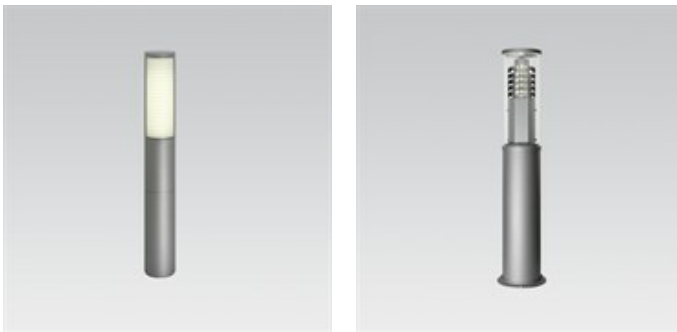


Lineære nedgravningsarmaturer Linealuce med LED. Fotos: iGuzzini.

Armaturhuset

Armaturhuset skal beskytte lyskilder, fatninger og andet tilbehør samt holde eventuelle temperaturfølsomme lyskilder varme. Pullerter er som regel udført i aluminium og kunststof. I nedgravningsarmaturer er glasafdækninger udført i hærdet glas. Armaturernes udformning er ofte både funktionel og dekorativt og bør i øvrigt passe til omgivelserne.

Da både pullerter og nedgravningsarmaturer skal kunne tåle stænk, vandsprøjt mv., er beskyttelsesklassen minimum IP 23 (regntæt) og ofte højere. IK klasse 10 (impact protection) eller højere, hvilket betyder, at armaturet kan modstå hårde slag og kast. Tidligere brugte man betegnelsen 'vandalklasser'.



Pullerter CL Bollard og City Light LED. Fotos: Siteco.

Reflektor

Mange pullerter og nedgravningsarmaturer er udstyret med en [reflektor](#), der styrer lysudsendelsen og sikrer at lyset sendes derhen, hvor der er brug for det, for eksempel på en gangsti. De reflektorer, der anvendes i pullerter og nedgravningsarmaturer er ikke nødvendigvis spejlende.

Afskærmning

[Afskærmninger](#) i pullerter og nedgravningsarmaturer kan være meget forskellige. Nogle armaturer er udformet, så armaturhuset i sig selv virker blændingsafskærmende. I andre består afskærmningen af en form for lameller, som ligeledes kan være en del af designet. Derudover anvendes både klar eller diffuserende afskærmning.

Effektivitet

[Virkningsgraden](#) for pullerter og nedgravningsarmaturer varierer og afhænger bla. af armaturets dimensioner og udformning.

Anvendelser

Alt efter, hvor de benyttes, skal pullerter og nedgravningsarmaturer enten sikre tilstrækkeligt lys til at personer kan færdes trygt og sikkert i de områder hvor de benyttes, f.eks. en gangsti, eller de skal markere en færdselsåre eller lignende.



Eksempler på anvendelse af nedgravningsarmaturer. Fotos: Thorn (tv) og Simes/Fagerhult (th).

UDENDØRS PROJEKTØRER

Udendørs projektører minder om spotlights, men adskiller sig ved typisk at udsende et mere kraftigt lys, ligesom anvendelsen ofte er en helt anden.

Udendørs projektører vil som regel have en høj [lysstrøm](#) og er desuden udformet til at kunne klare de belastninger, som vejr og andre påvirkninger giver. Udendørs projektører anvendes for eksempel til dekorative formål og som sikkerhedsbelysning, dvs. til belysning af udendørs områder som f.eks. byggepladser, oplagspladser og lignende.

I forbindelse med projektører anvendes ofte begrebet floodlight. Floodlight betegner et armatur, der er beregnet til at belyse et større objekt eller område, f.eks. en facade eller et stadion, så dets belysningsniveau bliver betragteligt højere end det niveau, der findes omkring objektet eller området.



Udendørs spots Maxi Woody. Foto: iGuzzini.

Lysfordeling

Udendørs projektører kan have en smal-, medium- eller bredstrålende [lysfordeling](#). Derudover kan lysfordelingen være rotationssymmetrisk, dobbeltsymmetrisk (symmetrisk omkring to akser) eller asymmetrisk.

Ofte vil lysfordelingen være afbildet i et vinkelret koordinatsystem, idet den sædvanlige polære afbildning ikke er tilstrækkelig. Som regel vil den maksimale [lysstyrke](#) I_{max} og spredningvinklen være opgivet i leverandørernes kataloger.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

I projektører benyttes lyskilder med et relativt lille lyspunkt og høj lysstrøm, nemlig som oftest rørformede [halogenlyskastere](#) eller [damplympner](#). Det lille lyspunkt bevirker, at lyset bedre kan styres ud ad armaturet og rettes mod det der skal belyses.

Damplympner kræver en [forkoblingsenhed](#), som enten er indbygget i projektøren eller monteres i en separat stænkæt eller vandtæt kasse.

Projektører med rørformede halogenlyskastere kan tilsluttes nettet direkte.

Armaturhuset

Armaturhuset er udformet som en robust enhed, der fastholder og beskytter lyskilder, fatninger og andet tilbehør mod udendørs påvirkninger i form af vand, slag eller spark og rystelser. Armaturhuset udformes derfor ofte i bestandige og formstabile materialer, som ikke korroderer, dvs. materialer, som f.eks. galvaniseret stål.

Projektører er i hovedreglen forseglet med hærdet frontglas, der er fastgjort med rustfri lukkebeslag og tætnet med pakninger (f.eks. silikonegummi). Lukkebeslagene giver mulighed for en nem udskiftning af lyskilder fra bagsiden af projektøren. Projektørerne er almindeligvis udført i beskyttelsesklasse IP 54 eller højere beskyttelsesklasse, hvilket betyder, at de som minimum er støvafskærmede og beskyttet mod oversprøjtning.

Der stilles desuden specielle krav til den elektriske installation af udendørs projektører, specielt hvis de skal nedfældes i terræn og der derfor kan stå vand i hullet omkring projektøren.

Da projektører ofte vil have en høj overfladetemperatur når de er tændt, bør de anbringes udenfor normal berøringsafstand og med passende stor afstand til brændbart materiale. Samtidig bør projektørerne ikke anbringes så de er svært tilgængelige, da nogle af de lyskilder, der anvendes, har en relativt kort levetid (ca. 2.000 timer) og derfor skal skiftes regelmæssigt.

Udendørs projektører leveres ofte med klibare montagebøjler, som kan låses fast i en

passende position.

Reflektor

Næsten alle projektører er forsynet med blanke spejlende reflektorer i aluminium. Reflektoren kan være blank eller facetteret så der opnås en passende smal lysfordeling med en skarp afgrænsning. Eller den kan være udført i hamret aluminium, hvilket udjævner lyset og skjuler eventuelle unøjagtigheder i reflektorens form.

Afskærmning

For at undgå [blænding](#) af forbipasserende kan anvendes faste eller drejbare lameller eller afblændingsplader, også kaldet læber. Både lameller og læber monteres på armaturhuset ved hjælp af særlige beslag. Lameller reducerer indblikket til lyskilderne fra passende vinkler uden for lysets hovedretning. Læberne samler lyset fra projektøren, så det kun et afgrænset område belyses. På den måde undgår man en uønsket spredning af lyset og eventuelle blændingsgener minimeres.

Effektivitet

[Virkningsgraden](#) for udendørs projektører er generelt høj.

Anvendelser

Udendørs projektører benyttes i mange forskellige sammenhænger, herunder belysning af:

- større genstande som skilte, kunstværker, beplantning o.lign.
- butiksfacader og -udstillinger
- bygningsdetaljer eller hele bygningsfacader

Derudover anvendes udendørs projektører til stadionbelysning samt belysning af lagerpladser, byggepladser, rangerarealer o.lign.

FIBERLYSSYSTEMER

Fiberlys er en speciel belysningsform hvor lyskilde og armatur er adskilt. Lyset fra én lyskilde fordeles via fiberkabler til et eller flere lysudtag.

I et fiberlyssystem transmitteres lyset fra en lyskilde gennem et antal fibre frem til det sted, hvor lyset skal bruges. Da lyset fra en enkelt lyskilde fordeles til et antal lyspunkter er lysmængden fra hvert punkt relativt lille.

Fiberlys er en belysningsform, der kan anvendes både ude inde.

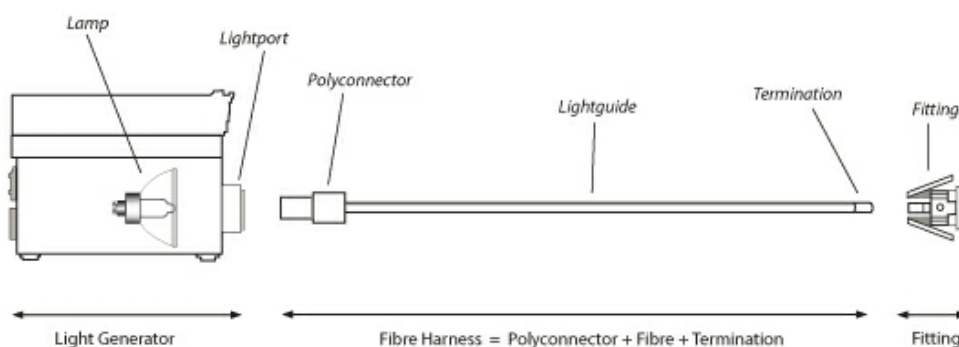


Fiberlyssystem (tv) og fiberlysfittings (th). Foto: ©Roblon A/S. (Ved anvendelse af foto angives kreditering: ©Roblon A/S)

Fibersystemets opbygning

Et fiberlyssystem består af 2 eller 3 komponenter:

- en lysgiver, dvs. en lyskilde
- et fiberbundt
- evt. armaturer på fiberenderne



Principskitse for et fibersystems opbygning.

Lyskilden er placeret i en såkaldt Light Generator, der sender lyset ind i et bundt af fibre. Selve fiberbundtet består af glas- eller plastfibre. Via fibrene fordeles og ledes lyset fra lyskilden. Alt efter hvilken type fiber der anvendes vil lyset enten stråle ud af fibrenes ender (endelys) eller ud gennem siden af fibrene (sidelys). I fibrenes ender kan monteres såkaldte bøsninger. Derudover monteres i nogle tilfælde et armatur, også kaldet fitting, som vil udgøre den synlige del af systemet. I forhold til traditionelle armaturer er disse fittings både små og diskrete.

Antallet af fibre i fiberbundtet afhænger bl.a. af de anvendte fibres diameter. Ved dimensionering af fiberlyssystemer er det i desuden vigtigt at respektere de begrænsninger, der er forbundet med fiberlys, herunder begrænsninger vedr. længder på de enkelte fibre.

Lyskilder og forkoblingsudstyr

Til belysning med fiber anvendes [halogen](#), [metalhalogen](#) eller [LED](#). Hvis der anvendes en halogenlyskilde, giver det mulighed for at dæmpe lyset i fiberen.

Den del af fiberlyssystemet, hvor lyskilden sidder leveres i ofte forskellige IP-klasser, typisk IP20 og IP44. Det er vigtigt at være opmærksom på at denne del af systemet afgiver varme og derfor skal placeres med luft omkring sig.

Lysfarven fra fiberen ændres med længden af fiberen. Farveændringen afhænger af hvilken type fiber der benyttes. Ved installationer, hvor der stilles strenge krav til [farvetemperaturen](#), betyder dette ofte, at der skal bruges kortere fiberkabler og flere lysgivere. Glasfiberkabler giver mindre, men varmere lys end plastfibre.

Lysfordeling

Lyset fra en fiberende er fremadrettet. Spredningsvinklen afhænger af om fiberenden er planslebet eller stjerneslebet (se figur).

Hvis fiberenden er planslebet er lyset relativt diffust og spredningsvinklen op til 60°. Hvis fiberenden er stjerneslebet er lyset mere rettet og spredningsvinklen smal. Ved stjerneslibning tabes ca. 10-20 % af lyset, fordi en del af lyset reflekteres tilbage i fiberen i stedet for at stråle ud af fiberen.

Lyset fra en sidelysende fiber er jævnt fordelt over hele fiberens flade.



Typiske fiberafslutninger; planslebet (tv) og stjerneslebet (th).

Bøsninger og fittings

Endelysende fibre kan monteres med forskellige standard fiberafslutninger, som kan opdeles i to typer. Den ene type fiberafslutning er en aluminiumsbøsning, der limes på fiberkablet. Derudover kan specialafslutninger fremstilles efter ønske.

Der findes et bredt program af fiberlysmaturationer, også kaldet fittings, som alle er fremstillet i metal: Aluminium, messing eller rustfrit, korrosionsbestandigt stål. Armaturer leveres med eller uden optik (linse) og fås desuden i klibbare udgaver.

Effektivitet

Hvor effektiv en fiberlysløsning er, afhænger af systemet.

I et fiberlyssystem indgår nemlig dels et overgangstab mellem lysgiver og fiber og et transmissionstab i selve fiberen. Jo længere fiber, jo større tab.



Lystransmissionstab i fiber af hhv. plastfibre/PMMA (P) eller glas (G).

Anvendelser

Fiberlys er velegnet på steder hvor det er en fordel at adskille lysgiver og lyspunkt. Fordelene ved denne adskillelse er at:

- lyset ikke medfører varme og UV-stråler
- man kun har én lyskilde til mange lyspunkter
- strømmen kun findes ét sted i systemet, nemlig i lysgiveren
- lysgiveren kan placeres, så den nemt kan serviceres

Fiberlys anvendes bl.a. til facadebelysning, effektbelysning og objektbelysning og i nogle tilfælde også almindelig rumbelysning.



Fiberlys på Helsingborg strandpromenade. Foto: ÅF Lighting.

TEATERLAMPER

På teatre anvendes for skellige typer teaterlamper, også kaldet projektører.

De forskellige typer projektører har hver sine karakteristika og funktioner. Nogle af typerne gennemgås kort i det følgende.

Fresnel-lampe

Lysset fra en fresnelprojektør er blødt. Lyskeglens intensitet er kraftigst i midten og jævnt aftagende med en diffus afgrænsning. Spredningen kan reguleres ved at justere spejlets og lyskildens position i forhold til linsen. Fresnel-lamper anvendes på relativt kort afstand og giver bløde skygger. Lampen kan monteres med afskærmninger, kaldet læber eller barndoors, der anbringes i lampens farvefilterholder og anvendes til at afmaske lyset til det ønskede område.

Profilspot

Profilspot findes i to versioner med fast spredningsvinkel eller med zoomoptik. En profilspot giver et jævnt lys over hele fladen, og kanterne kan justeres, så de enten er skarpe eller bløde. I begge udgaver kan anvendes gobo eller irisblænde til justering af keglen størrelse. I en profilprojektør med zoomoptik anvendes den forreste linse til indstilling af spredningsvinkel og den bageste til at justere fokus og randskarphed.

Følgespot

En følgespot er i princippet en stor profilspot. Følgespotten bruges især, når lyskeglen skal flyttes eller følge nogen eller noget på scenen. Følgespots er normalt håndbetjent under brug, men der findes også fjernbetjente udgaver. Følgespots med kraftige lyskilder ([udladningslamper](#)) kan anvendes på stor afstand og giver en meget gennemtrængende lyskegle. Følgespots med almindelige [halogenlamper](#) kan anvendes på afstande omkring 30 m.

PAR-lamper og LED-lamper

De såkaldte PAR-lamper (Parabolic Aluminized Reflector) findes i flere udgaver med halogenlyskilder. PAR 64 er den største og mest anvendte, f.eks. til koncerter, på teatre o.lign. Efterhånden ses imidlertid flere og flere teaterlamper i udgaver med [LED](#). Mens PAR-lamper ofte anvendes med farvefilter, som indsættes i en holder forrest på lampen, kan lyset fra teaterlamper med LED skifte i forskellige farvenuancer.

Anvendelse

Teaterlamper anvendes primært til scenebelysning, dvs. på teatre eller musikscener. Denne type armaturer anvendes dog også i andre sammenhænge, for eksempel til belysning ude eller inde, hvor man ønsker at anvende goboer.



Profilspot Mac 3 Performance.
Foto: Martin Professional.



Udendørs parlampe.
Foto: Silla Herbst.



Scenelamper med LED. Foto: Kenneth Munck.

INTRODUKTION

Armaturer består ofte af mange delelementer. Derfor kan design af et belysningsarmatur være en kompleks proces, hvor man er nødt til at tage højde for mange forhold og gå på kompromis med andre.

I afsnittene om armaturdesign gennemgås de væsentligste dele af designprocessen. Derudover findes en [tjekliste](#), som sikrer at designeren kommer hele vejen rundt, ligesom et afsnit indeholder [gode råd](#) til, hvad man gør, når man ønsker at designe et armatur og få sat det i produktion.



Arkitekten Kåre Klint står bag designet af flere markante Le Klint Lamper. Foto: Le Klint.

ET VELLYKKET BELYSNINGSARMATUR

Der er forskel på at skabe funktionelt og dekorativt lys. Et godt belysningsarmatur er kendetegnet ved, at der bevidst er arbejdet med lyset, og hvad lyset skal kunne under givne omstændigheder.

Et eksempel kunne være en [arbejdslampe](#), hvor lyset skal rettes mod en klart defineret flade på bordet. Samtidig er det vigtigt at huske, at lyset og armaturet skal indgå i en sammenhæng med rummet og de mennesker, der er i rummet og anvender lyset.

Dekorativt, funktionelt eller både og

Et vellykket armaturs form og æstetik fremkommer ved, at man som designer tager udgangspunkt i at definere, hvordan lyset skal være. Derfor er funktionen bestemmende for, hvordan armaturet kommer til at se ud. Funktion og æstetisk skal gå op i en højere enhed.

Der er en høj grad af kompleksitet forbundet med at designe et godt belysningsarmatur. Det drejer sig ikke udelukkede om objektet i sig selv, men i høj grad også om den sammenhæng, det skal indgå i, dvs. i relation til omgivelser og mennesker.

Dekorativt lys kan bedst kategoriseres som et lysende objekt, dvs. at formen ikke fremkommer via en analyse af, hvilken [lyskarakteristik](#) man ønsker, men i højere grad er et kunstnerisk udtryk skabt af designeren.



Arbejdslampe Otto.
Foto: Luceplan.



Armaturet Illumesa har en diameter på 78 cm og kan anvendes både ude og inde. Foto: Verpan.

Dekorativt lys kan også forekomme i andre sammenhænge hvor f.eks. formen er bestemt, før lyset placeres i produktet.

ANVENDELSESOMRÅDE

Belysningsarmaturer kan være meget forskellige og egner sig som regel ikke til alle typer anvendelser, i fagsprog også kaldet applikationer.

Der findes et utal af anvendelsesområder, både ude og inde. Før man går i gang med at designe et nyt armatur, bør man gøre sig klart, hvilken anvendelse armaturet er tænkt til.

Eksempler på anvendelsesområder ude og inde:

Udendørs

- Gader og veje
- Parker, stier, torve o.lign.
- P-pladser
- Lufthavne, banegårde o.lign.
- Stadionanlæg
- Tankstationer

Indendørs

- Kontorer
- Butikker og indkøbscentre
- Skoler og institutioner
- Hoteller og restauranter
- Trapper og gange
- Køkkener
- Hospitaler o.lign.
- Museer
- Industri
- Private hjem



Vejbelysning. Foto: Philips.

Lyskultur

Når det gælder anvendelsen af lys, skal man være opmærksom på, at man har forskellige lyskulturer i forskellige dele af verden. I Skandinavien er man generelt fokuseret på at skabe lys i tilstrækkelige mængder og anvender ofte relativt varme [lysfarver](#). Det kunne tyde på, at vi kompenserer for det kolde klima gennem vores måde at lyssætte på.

I varmere kulturer forholder det sig modsat, her anvendes koldere lys og i større mængder.



Panton Embassy.

FORSKELLIGE TYPER ARMATURER

Belysningsarmaturer kan opdeles i armaturtyper. Også i den sammenhæng giver det mening at skelne mellem ude og inde.

Under de to hovedkategorier, udendørs og indendørs, finder man de forskellige produkttyper. Det vigtigste produkt, når det gælder udendørsbelysning, er lygter. Når det gælder indendørsprodukter, er penderen i mange sammenhænge den mest anvendte i vores kultur.

Udendørs:

- [Park- og stiarmaturer](#)
- [Pullerter](#)
- [Vægarmaturer](#)
- [Nedgravede armaturer](#)
- [Udendørs projektører](#)

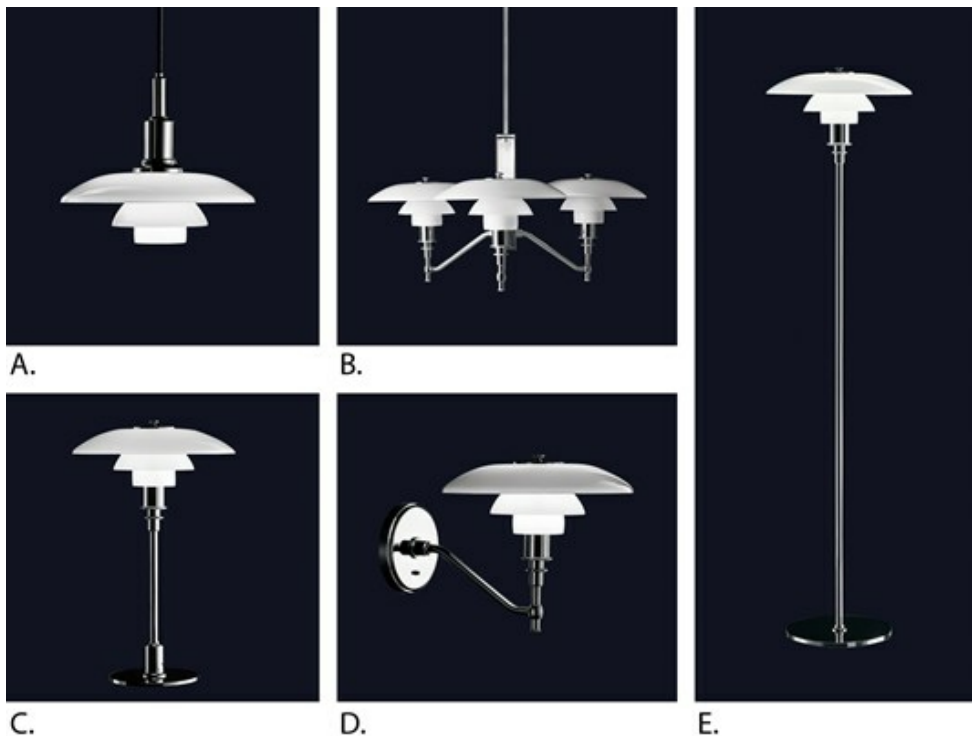
Indendørs:

- [Pender](#)
- [LED-armaturer](#)
- [Lysrørsarmaturer](#)
- [Vægarmaturer](#)
- [Arbejdslamper](#)
- [Bordlamper og gulvarmaturer](#)
- [Spotlights](#)

Den største forskel mellem armaturer til anvendelse ude og inde, har med armaturets robusthed at gøre. Udendørsarmaturer skal kunne tåle alt slags vejr - både meget koldt og meget varmt.

Produktfamilier

Det kan ofte være en god idé at overveje at udvikle en familie af produkter, dvs. at man til indendørs anvendelse udvikler både en pender, en væglampe og en loftslampe. Det gør brugeren i stand til at lyssætte hele rummet med armaturer, der har det samme designudtryk. Det skaber balance og ro i rummet.

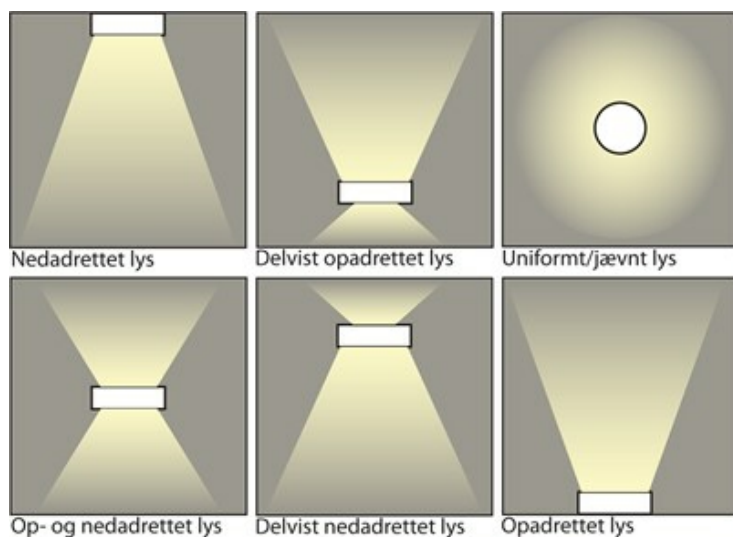


En af de produktfamilier, vi kender bedst i Danmark, er PH-lamperne. Fotos: Louis Poulsen.

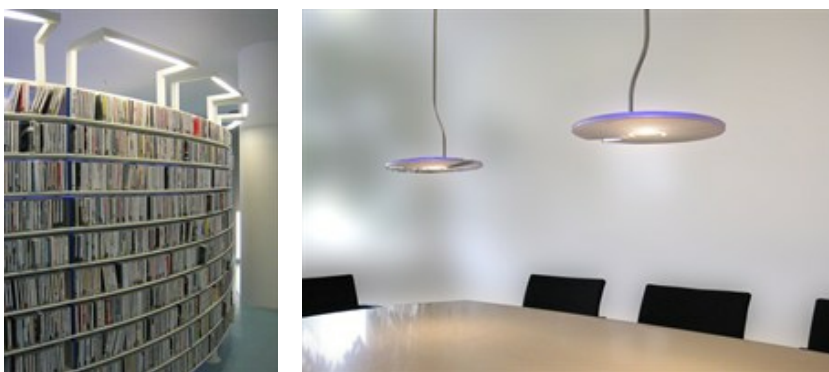
ARMATURETS LYSUDSENDELSE

Armaturets lysudsendelse vises som regel i en såkaldt lysfordelingskurve. Kurven viser blandt andet, i hvilke retninger lyset udsendes fra armaturet.

Når man skal designe et nyt armatur, må man være bevidst om, hvordan lyset skal komme ud af armaturet. Med udgangspunkt i, hvordan lys kan komme ud af armaturet, inddeler man armaturene i nedenstående 6 hovedkategorier:



Udover de 6 hovedkategorier kan lyset være enten symmetrisk eller asymmetrisk. Selve styringen af lyset sker typisk ved hjælp af [reflektorer](#) og/eller [linser](#) i armaturet.



Asymmetrisk reolbelysning (tv) og LED-pendlerne Waterlily (th). Foto: Astrid Espenhain (tv) og I-no (th).

Endvidere taler man om at lyset er [rettet](#) eller [diffust](#), hvilket i høj grad defineres af de reflektorer og linser, som man anvender i sit design, men også af de materialer man vælger at anvende.

Lysudsendelsen og styringen af lyset betyder meget for to vigtige parametre, som i høj grad handler om menneskets interaktion med armaturet, nemlig kontrast og blænding.

Kontrasten mellem armaturets lysende flade og de omgivende flader er vigtige for den måde man opfatter formen på armaturet. Formen skal stå klart, både når armaturet er tændt, og når det er slukket.

Blænding fra armaturet skal undgås, da det giver stort ubehag for brugeren af armaturet.

LYSKILDER

Valg af lyskilde har betydning for flere forhold, bl.a. armaturets størrelse og lysfordeling. Derfor bør lyskildetypen lægges fast som noget af første i forbindelse med design af et nyt armatur.

I disse år er der stor fokus på [LED](#), som uden tvivl er fremtidens lyskilde. Det, der gør LED så anderledes i forhold til de mere traditionelle lyskilder, er bl.a. deres lyskarakteristik. LED giver nogle formmæssige muligheder, som man ikke tidligere har haft. En af årsagerne er, at der med LED ikke er tale om en central lysgiver, men en mængde af flere lyskilder/lyspunkter, som man frit kan placere i en form.

Der vil dog fortsat blive udviklet nye armaturer med traditionelle lyskilder. Når man vælger lyskilde, skal man være opmærksom på, at der ofte følger andre komponenter med, som også skal integreres i designet, f.eks. fatning, [forkobling](#), [driver](#) og evt. anden elektronik.



Når man designer en spot til en metalhalogenlampe, skal man huske at tage højde for at denne lyskilde kræver en forkobling, som her findes i den boks, som selve spotten er monteret på. Foto: Deltalight.

MATERIALER

Ved design af et nyt armatur skal man være bevidst om, hvordan materialevalget påvirker lysudsendelsen, miljøet og armaturet over tid.

Der findes et utal af materialer at vælge imellem. Herunder er listet nogle af de typiske materialer og deres umiddelbare betydning for lyset.

Mat eller blank metalreflektor: Den matte reflektor giver et mere diffust lys end den blanke, som giver et rettet lys.

Opal plast eller glas: Begge dele giver diffust lys. Opal plast kan ændre farve over tid, mens glassets farve er stabil.

Farver: Nogle farver reflekterer lyset bedre end andre. Tag også hensyn til lyset [spektralfordeling](#) og [farveegenskaber](#), når du vælger farve.

Alle lyskilder afgiver varme. Når man vælger materialer skal man derfor huske at eventuel varmeudvikling og temperaturændringer bør have indflydelse på materialevalget.

Også af hensyn til miljøet, bliver det hele tiden vigtigere at være bevidst i sit valg af materialer.

Simple modeller

Det anbefales, at man allerede tidligt i designprocessen laver simple modeller med de tilnærmelsesvist rigtige materialer og lyskilder, først da kan man se, hvordan de to elementer spiller sammen - eller ikke.



Aluminiumreflektorer til downlights.
Foto: Silla Herbst.



Armaturer udført i forskellige materialer. Fotos: Deltalight (tv), Verpan (m) og Flos (th).

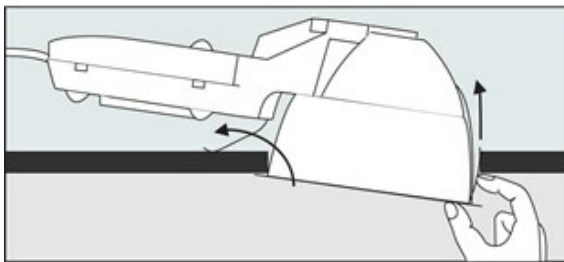
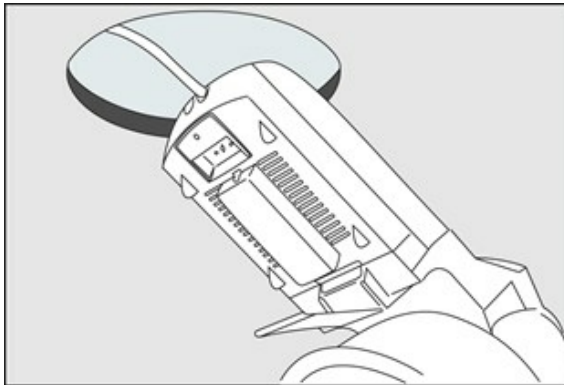
MONTERING AF ARMATURET

Hvordan et armatur skal monteres, om det f.eks. er nemt eller besværligt, kan være afgørende for om armaturet får succes.

Husk allerede fra de første skitser at tænke monteringen af produktet ind i designet.

Oftentimes betyder det ikke så meget, hvor lang tid det tager at sætte en enkelt lampe op i hjemmet, det skal dog stadigvæk være rimeligt simpelt og letforståeligt.

Men, når man begynder at se på, hvordan det forholder sig, når der skal monteres belysning i en kontorbygning på 20.000 m², bliver det pludseligt meget væsentligt, at det er så enkelt så muligt. Hvis der skal bruges uforholdsmæssigt mange arbejdstimer på montering af armaturerne, bliver omkostningerne ved installationen alt for høje og dermed bliver det vanskeligt at sælge produktet.



Monteringskitse. Figur: Fagerhult.

KRAV, LOVE OG REGLER

Der findes krav og regler, som armaturer skal leve op til.

Det er vigtigt at have kendskab til de regler, der gælder for forskellige armaturtyper. I den forbindelse vil det som oftest være relevant at sætte sig ind i følgende standarder, reglementer mv.:

- Standarder og normer, f.eks. [DS/EN12464-1](#) Om lys i arbejdslokaler
- [Stærkstrømsbekendtgørelsen](#) - om installationspraksis
- IP klassificering iflg. DIN 40050
- IK klassificering iflg. EN 50102
- CE-godkendelse, herunder:
 - ◊ Lavspændingsdirektivet (LVD) - om elektrisk produktsikkerhed
 - ◊ EMC-direktivet om reduktion af elektromagnetisk støj
 - ◊ Økodesigndirektivet (primært om effektivitet og mærkning, men også om forberedelse for genanvendelse)
 - ◊ WEEE direktivet (også kaldet affaldsdirektivet)
 - ◊ RoHS direktivet (om at undgå farlige indholdsstoffer)



Den europæiske belysningsstandard DS/EN 12464-1

TJEKLISTE

Der er mange forhold at tage højde for, når man skal i gang med at designe et nyt armatur. Her er en nyttig tjekliste:

Hvilken type anvendelse vil du udvikle til?

Hvilken armaturtype(r) vil du lave?

Hvilken lyskarakteristik vil du opnå?

- [lysfordeling](#)
- symmetrisk / asymmetrisk
- rettet lys / diffust lys
- [kontrastforhold](#)
- [blændingsforhold](#)

Hvilken lyskilde vil du bruge?

- [farveegenskaber](#)
- [energiforhold](#)
- [økonomi](#)
- [levetid](#)

Er der plads nok til alle komponenterne?

Har du taget stilling til følgende?

- [Materialer](#)
- [Farver](#)
- [Overflader](#)
- Produktionsteknikker

Hvordan monteres produktet?

Hvilke krav stilles der til den type produkt, du har valgt at designe?

- CE mærkning
- IP klasse
- Vandaltest
- Særlige funktionskrav

FÅ SAT DIT ARMATUR I PRODUKTION

Når man har designet et nyt armatur, er det oplagt at tage kontakt til producenter af belysningsarmaturer.

Når man ønsker at få et armatur sat i produktion, er det vigtigt, at man sætter sig ind i, hvad de forskellige virksomheder står for. Derefter kan man udvælge den eller de virksomheder, som man tror på, og som bedst vil kunne passe produktforslaget ind i deres produktportefølje.

Når man kontakter en virksomhed, er det en god idé enten at tale med en designchef eller en produktchef, som er ansvarlig for den type produkter, som man har et forslag til.

Producenter af armaturer kan f.eks. findes på www.faba.dk eller i [DCL's leverandøroversigt](#)