



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

Dagslyset er det naturlige lys, som vores øjne er tilpasset gennem mange tusind år. Dagslyset gør os i stand til at se og bidrager samtidig til den rumlige oplevelse af omgivelserne, hvad enten vi er ude eller inde. Dagslyset er det kraftigste og mest varierede lys vi har, og er det lys vi allerhelst vil have i vores bygninger.

Dagslys har en signifikant positiv indvirkning på menneskets velbefindende og bidrager med en stemning af glæde og lethed. Dagslysets variation og tilstedeværelsen af sollys har derfor høj prioritet i de fleste typer bygninger. Det samme gælder udsyn til omverdenen.

Dagslysets primære funktion i bygninger er at bidrage med tilstrækkeligt lys til at se ved. Ofte har vi et ønske om at have både diffust dagslys og sollys. Både dagslyset og det direkte sollys er fantastisk. Når bygningens dagslysindfald er optimalt, er der også taget højde for forhold vedr. varme og [blænding](#).

Tilrettelæggelsen af dagslyset og fordelingen af [lysåbninger](#) har vidtrækkende konsekvenser for en bygnings udseende og form, og for oplevelsen af bygningens rum.

Når dagslysmængden er tilstrækkelig, kan [kunstlyset](#) reguleres efter mængden af dagslys og dermed give væsentlige energibesparelser. Der findes en række strategier for styring af kunstlyset efter dagslysmængden. Valg af styringsstrategi bør altid sigte mod en forbedring af den [visuelle komfort](#). Her spiller [blændingskontrol](#) en central rolle.

Beslutninger vedrørende en bygnings arkitektur og valg af bygningskomponenter er afgørende for brugernes trivsel og bygningens energiforbrug og indeklima. Derfor har den fulde arkitektoniske løsning fokus på både bygningens æstetiske udformning og dens energiforbrug.

De danske krav til dagslysets kvalitet og mængde fremgår af det danske [bygningsreglement](#), som man frit kan downloade.

Yderligere frivillige retningslinjer findes i den fælleseuropæiske standard DS/EN 17037 Dagslys i bygninger. Her introducerer en klimabaseret dagslysfaktor, som tager hensyn til bygningens geografiske placering. Det er fx ikke uvæsentligt for kravene til dagslys, om bygningen er placeret i København eller Rom.

Dagslysforholdene i en bygning kan dokumenteres på flere måder og mere eller mindre detaljeret. En simpel dokumentation kan være baseret på forholdet mellem vindues- og gulvareal eller dagslysfaktorer, mens en detaljeret kortlægning af dagslysforholdene ofte baserer sig på [computersimuleringer](#). I nogle projekter kan det være en god idé at opbygge et [fuldskala testrum](#) eller [en mock-up](#).



Dagslysindfald fra ovenlys.
Foto: AE.

INTRODUKTION

Så længe, der har eksisteret bygninger, har dagslys været en implicit og kritisk faktor i bygningsdesign. Udviklingen af vinduet, i forhold til funktionelle behov, tekniske muligheder og kulturel indflydelse, har ændret og forbedret vores oplevelse af arkitektur gennem tiden.

Gennem tiderne har man flirtet med [kunstlys-teknologier](#) som en erstatning for vinduer. [Lysstofrør](#) og billig elektricitet har desværre resulteret i mange dybe fleretagesbygninger med begrænsede ydervægge i forhold til det udnyttede gulvareal. Ansatte har været udsat for rum med lidt eller ingen dagslys, eller ingen udsyn til udendørsarealer.

Heldigvis har de fleste arkitekter opgivet denne byggemåde, og åbenhed er igen blevet en del af bygningsdesignet. Vi må nu passe på, at vinduets glas/ramme-forhold ikke bevæger sig over i den modsatte grøft.

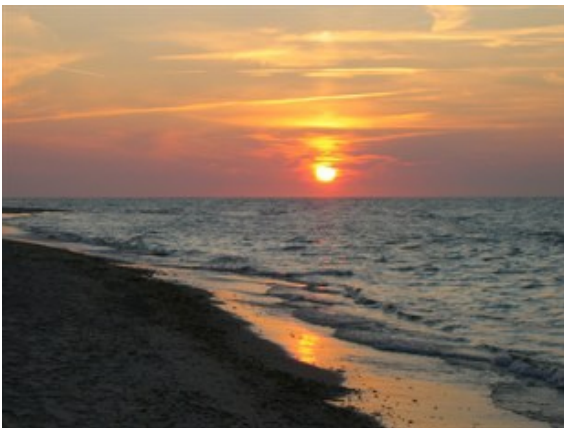


Central lysåbning i Pantheons kuppel, Rom. Foto: Werner Osterhaus.

"Even a space intended to be dark should have just enough light from some mysterious opening to tell us how dark it really is." Louis I. Kahn.

Dagslydsdesign har gennem det meste af historien været arkitekternes domæne. På den anden side har design af kunstlys været overladt til lysdesignere eller belysningsingeniører og i nogle tilfælde elingeniører eller elinstallatører. Derfor har integrationen af de to hovedlyskilder ikke altid været så vellykket, som den kunne have været. Ser man bort fra boliger, udgør kunstlys 25-60 % af elforbruget. Det er derfor vigtigt, at dagslys inkluderes i de tiltag, der skal reducere [energiforbruget](#).

Dagslys opfattes generelt som en meget velkommen del af indendørsbelysningen i en bygning. Dets primære funktion er at sætte folk i stand til at se, men dagslyset bidrager også til den rumlige oplevelse af et rum eller en bygning. Brugerne har et stort ønske om både at have diffust dagslys og sollys i en bygning.



Lys umiddelbart før solnedgang på en augustdag. Grenen, Skagen. Foto: Werner Osterhaus.

Alt dagslys kommer naturligvis fra solen, som er den mest kraftfulde og dynamiske lyskilde af alle. Det er indiskutabelt, at en af solens største kvaliteter er variationen.



Lys ved solnedgang, Østerlars Rundkirke, Bornholm. Foto: Werner Osterhaus.

Mennesket sætter pris på dagslysets variation, nyder sollysets tilstedeværelse i en bygning og ønsker at have udsyn til verden uden for de vægge, som de bor og arbejder bag.

Dagslys skaber en stemning af glæde og lethed, som kan have en signifikant positiv indvirkning på de personer, der befinder sig i en bygning. Sollys er også ønskeligt, så længe lysmængde, blænding eller varme ikke forstyrrer de aktiviteter, der skal foregå.



Udstilling af mundblæste glas på skole for glaskunst, Bornholm. Foto: Werner Osterhaus.

Behov for sollys

Behovet for sollys ser ud til at afhænge af bygningstype. En undersøgelse viser, at behovet for direkte sollys varierer fra 90 % i boliger og patientrum i hospitaler til 73 % i kontorer og 42 % i klasseværelser. Omvendt, varierer procentdelen af ansatte, der finder direkte sollys generende fra 62 % blandt hospitalsansatte, 52 % blandt undervisere, 42 % blandt kontoransatte til 4 % af beboere i private boliger. ('The availability of sunshine and human requirements for sunlight in buildings', Longmore, J. and Neeman, E., Journal of Architectural Research. Vol.3 No. 2, 1974, pp. 24-29)

"Daylight can affect the functional arrangements of spaces, occupant comfort (visual and thermal), structure, and energy use in the building [...]. In fact, if daylight is considered a viable source of light in buildings, its use can have many ramifications for all aspects of the building design process, from urban planning to interior design, from predesign analysis and programming to specification writing and construction. No phase of the building design process will be unaffected."

Source: Claude Robbins, Daylighting: Design and Analysis, 1986, p.3.



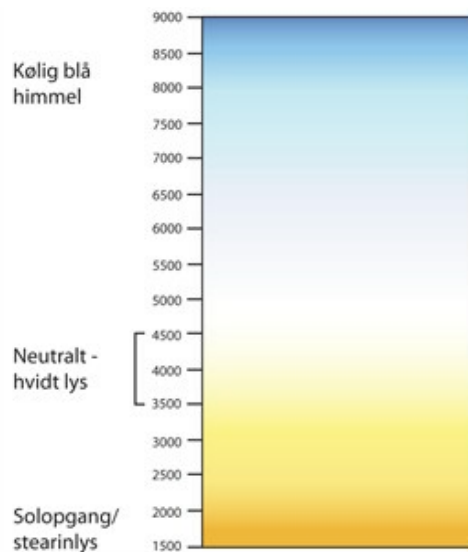
Glasbygning med dobbelt facade designet af det tidligere Goetz Façade Construction Company i Wuerzburg. Foto: Werner Osterhaus.

DAGSLYSETS SAMMENSÆTNING

Lys er elektromagnetisk stråling med bølglængder mellem 380 og 780 nanometer. Alt efter hvordan lyset er sammensat, vil det have forskellige egenskaber.

Vi omgiver os med en bred vifte af naturlige og menneskeskabte energikilder, som udsender energi i et varieret bånd i [det elektromagnetiske spektrum](#). Lysenergi er ikke meget forskellig fra radio- og tv-signaler, varme eller røntgenstråling. Alle består af bølger af energi, der bøjer sig, blander sig med hinanden, og reagerer på forhindringer i de fleste tilfælde på samme måde som vandbølger.

[Elektromagnetisk stråling](#) kan være synlig eller ikke-synlig. Sollys indeholder også elektromagnetisk stråling i forskellige dele af spektret. At skaffe tilstrækkelig med dagslys i bygninger er primært forbundet med den del af solens spektrum, som er synligt for [det menneskelige øje](#), dvs. i bølglængdeområdet fra omkring 380nm til 780nm.



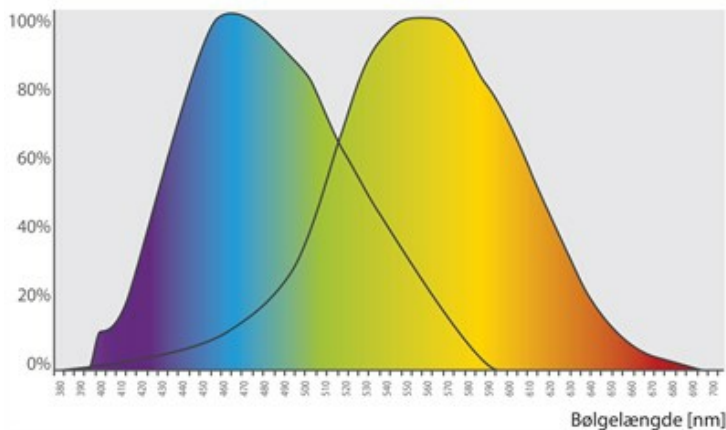
Farvetemperaturskala med angivelse af dagslysets typiske farvetemperatur ved solopgang og for en kølig blå himmel.

Om dagen, eller ved [fotopisk syn](#), er det menneskelige øje mest følsomt for bølglængder i området omkring 555nm. Dette lys opfattes som lys med en grønlig farve, der minder om sollys, som filtreres gennem blade på et træ. Man mener, at det menneskelig syns følsomhed topes i dette område pga. den lange periode i menneskets udvikling, hvor mennesket levede under en baldakin af træer. Om natten, eller ved [skotopisk syn](#), topes øjets følsomhed ved 505nm.



Allé på Rosenholm Slot, Hornslet ved Århus. Foto: Ingrid Schreiner.

Når det kommer til lysfølsomheden i [det menneskelige biologiske ur](#) (circadian system) topper den ved en helt anden bølgelængde, nemlig omkring 460nm. Måske skyldes dette, at det diffuse lys fra en blå himmel har størst indflydelse på vores daglige rytme.



Kurven til venstre viser gangliacellernes følsomhed overfor lys. Kurven til højre er V-lambda-kurven, dvs. øjets følsomhedskurve, som gælder for fotopisk syn (dagsyn). Figur: DCL, source: Velux Daylight, Energy and Climate, Basic Book 2nd Edition .

Hvis man vil undgå unødvendige sideeffekter som bygningsmaterialer, der falmer pga. UV-stråling og overophedning i dagslysoplyste rum pga. infrarød stråling (varme), må man imidlertid også se på den del af sollysets spektrum, der ligger i området for ultraviolet (UV under 380 nm) og infrarød (IR under 780nm) stråling.

Fordi dagslys indeholder ultraviolet lys, kan det hurtigt få [farvepigmenter](#) til at falme. Lys, hvad enten det er dagslys eller kunstlys, kan også tilføre varme til en bygning. Mange belysningsystemer er meget ineffektive til at producere lys og producerer desuden varme. Lyset fra [gløde- og halogenglødelamper](#) udsender kun ca. 5 % af sin energi som lys, resten bliver omformet til varme, oftest i et område nær det infrarøde spektrum.

STRÅLINGSENERGI FRA DAGSLYSET

Dagslys tilfører varme til en bygning: Omkring 55 % af solens stråler bliver udsendt som varme og kan nå ind i bygningen via vinduesruder og andre dele af bygningens facade.

Da dagslyset er mere effektivt til at producere lys end de fleste [elektriske lyskilder](#) - omkring 40 % af dets energi ligger i [det synlige spektrum](#) - producerer dagslyset mindre varme ved den samme mængde lys.

Betragter vi hele det synlige spektrum, svarer strålingsenergien fra dagslyset i forhold til det menneskelige syn, dvs. dagslysets [lysudbytte](#) til ca. 111 lm/W ved en skyfri dagslyshimmel og ca. 110 lm/W for en totalt overskyet dagslyshimmel. I det område, hvor det menneskelige syn er mest følsomt (555 nm), ligger dagslysets lysudbytte på 683 lm/W. (Claude Robbins, 1986 baseret on UK research by Walsh, 1958).

Målinger i Danmark (Erwin Petersen, 1982) resulterede i lysudbytter på henholdsvis 146 lm/W for en skyfri dagslyshimmel og 121 lm/W for en totalt overskyet daglyshimmel. Det direkte bidrag fra solen er ikke medregnet i de ovennævnte eksempler.

Danmark	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	I alt
København og Nordsjælland	46	65	138	101	245	266	327	161	210	81	57	39	1736
Vest- og Sydsjælland	70	58	131	116	243	258	357	178	202	73	58	34	1778
Syd- og Sønderjylland	61	45	127	97	199	214	294	173	169	65	48	33	1525
Midt- og Vestjylland	61	43	141	115	223	232	311	115	169	69	60	29	1568
Fyn	69	52	124	118	230	253	332	159	198	71	59	31	1696
Østjylland	63	45	125	112	209	226	311	160	187	85	59	34	1616
Nordjylland	63	54	164	139	245	272	305	163	184	106	59	40	1794
Bornholm	48	49	137	147	282	293	373	169	233	101	56	46	1934

Sollystimer registreret på forskellige lokaliteter i Danmark i 2006. Kilde: <http://www.solarventi.dk/generelt/vejr.htm>.

Måned	Normal 1961-1990 (minutter)	Gennemsnit. 1961-1990, af nye serie (minutter)	Sammenligning: 'Gennemsnit' i procent af 'normal' (%)	Normal 1961-1990 (timer)	Gennemsnit 1961-1990, af nye serie (timer)
1	2566	2560	99,7	43	43
2	4159	4089	98,3	69	68
3	6618	6517	98,5	110	109
4	9717	9629	99,1	162	160
5	12511	12412	99,2	209	207
6	12559	12431	99,0	209	207
7	11741	11506	98,0	196	192
8	11146	11027	98,9	186	184
9	7655	7535	98,4	128	126
10	5219	5157	98,8	87	86
11	3269	3225	98,6	54	54
12	2556	2545	99,6	43	42
13	89716	88632	98,8	1495	1477

Landstal for solskin (Starryanometer-niveau). Sammenligning af gældende landstalsnormal, 1961-1990 med gennemsnit, 1961-1990 af nye serie. For overskuelighedens skyld er tallene foruden i minutter også angivet i hele timer. Kilde: Laursen, Ellen Vaarby and Rosenborn, Stig (2003). Landstal af solskintimer for Danmark; 1920-2002. Technical Report 03-19, Danish Meteorological Institute (DMI), side 15.

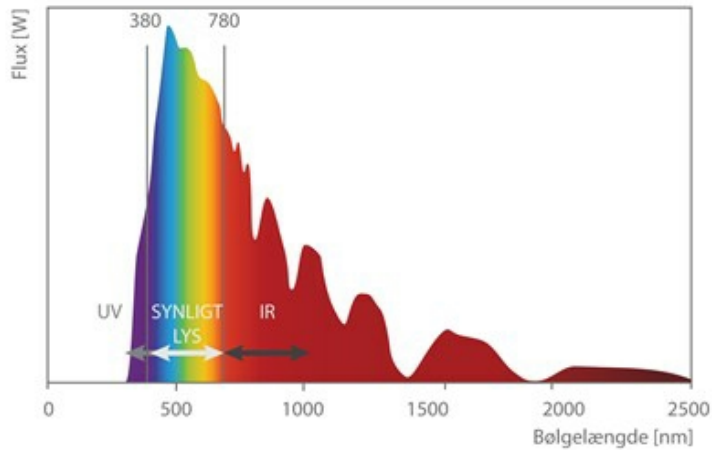
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Total
Klar himmel	24	21	33	42	40	35	37	44	41	27	20	23	34
Delvist overskyet himmel	40	40	36	32	29	36	38	38	38	44	47	43	38
Helt overskyet himmel	36	39	31	26	31	29	25	18	21	29	33	34	28

Figuren viser den procentvise fordeling af hhv. klar, delvist overskyet og helt overskyet himmel i Danmark i dagtimerne. Fordelingen er baseret på registreringer foretaget i 1996-2000. Kilde: S@tel-Light Measurement Program.

Den årlige mængde energi fra solens stråler er i Danmark ca. 900 kWh/m². Det svarer til lige over en tredjedel af den årlige mængde energi fra solen over Ækvator (2.500 kWh/m²). 75 % af denne mængde energi modtages mellem forårsjævndøgn og efterårsjævndøgn (21. marts til 23. september), dvs. henover sommerhalvåret.

Strålingsintensiteten for overflader, der er vinkelret på strålingen ligger mellem 0,02 and 0,1

kW/m^2 på fuldstændig overskyede dage, mellem 0,2 og 0,3 kW/m^2 på let skyede dage og omkring 0,9 kW/m^2 på skyfri dage.



Den synlige del, dvs. lys, udgør kun en lille del af det elektromagnetiske spektrum. Figur: DCL, source: Velux Daylight, Energy and Climate, Basic Book 2nd Edition.

Dagslyset er [fuldspektret](#). I sammenligning med mange elektriske lyskilder indeholder det alle bølgelængder i det synlige spektrum. Dagslys modsvarer næsten det menneskelige synsbehov. [Menneskets øje og syn](#) har udviklet sig over millioner af år og alle lyskilder måles op mod dagslyset som reference.

En anden kvalitetsparameter er [farvegengivelse](#). De fleste mennesker har prøvet at sætte tøj i forskellige farver sammen i kunstlys for senere at opleve, at farverne ikke passer sammen, når de ses i dagslys. Det menneskelige øje justerer sig hurtigt efter enhver lyskilde og ændrer [perceptionen](#), så den svarer til lyskildens spektrale sammensætning. Derfor kan den oplevede farve på tøj og andre objekter afhænge af lyskilden. Dagslys betragtes som den bedste lys for en god farvegengivelse. (Kilde: Claude Robbins, p. 4).

DAGSLYSETS ROLLE I ARKITEKTUREN

Under en skyfri himmel kan dagslys blive indfanget som et direkte eller reflekteret element. En bygnings geometriske udformning kan skabe muligheder for at udnytte styrken i disse elementer.

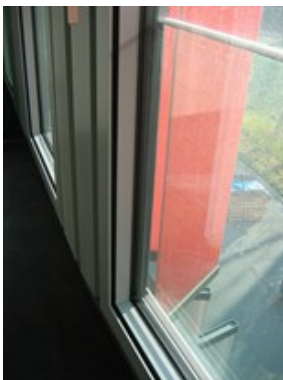
Vinduer, ovenlys, ruder, lyshylder, lameller og skærme samt indendørs overflader udsender og omdirigerer sollyset. Statiske og flytbare bygningselementer interagerer med sollysets meget dynamiske kraft.

Arkitektonisk fotografi skildrer ofte øjeblikke, hvor sollyset rammer en bygnings forskellige overflader og derved skaber en stærk kontrast, der forstærker den tredimensionelle opfattelse af rummet.

Når man taler om arkitektonisk lysdesign, kan man klassificere dagslyskilder som enten direkte eller indirekte. Direkte kilder kan være direkte sollys og diffust sollys fra himlen. Indirekte kilder består af [reflekterende](#) eller transparente overflader, der bliver belyst af en anden direkte eller indirekte kilde og som omdirigerer denne kildes lys ved [refleksion](#) eller [transmission](#).



Morgenlys i en blå tone fra en diffus himmel gennem ovenlys i offentligt bibliotek i Wolfsburg. Biblioteket er tegnet af den finske arkitekt Aalto. Foto: Werner Osterhaus.



Morgensollys gennem perforeret vertikal afskærmning i ovalt kontor i Köln. Foto: Werner Osterhaus.

Diffust og direkte lys skaber meget forskellige oplevelser af rum og de objekter der er i rummet. Forskellen på det diffuse lys fra himlen og de direkte solstråler kan tydeligt ses på de billeder, som Henry Plummer har taget af Le Thoronet Abby, et cistercienserkloster i Sydfrankrig (Plummer, Henry: The Poetics of Light, Architecture and Urbanism). Der, hvor det direkte sollys rammer en overflade, reflekteres lyset fra overfladen med en gylden glød. Der, hvor det diffuse lys fra den blå himmel rammer en overflade, har lyset, der reflekteres fra overfladen, en synlig blå tone.

DAGSLYS, SOLLYS OG SKYGGE

Et objekt, der udsættes for lys, omdirigerer ikke blot lysstrålerne ved refleksion fra overfladen, men skaber også et fænomen, som er fundamental for synsperceptionen, nemlig skyggen.

Når et objekt rammes af lys, får skyggerne og objektets overflade dimensionerne og formen til at træde frem. På samme tid kaster objektet skygge på andre overflader, som blokerer for lyset.

Der er en kvalitativ forskel på de [skygger](#) lyset skaber, som afhænger af vinklen mellem det direkte og indirekte lys, der rammer et objekt. Direkte lys, f.eks. fra stærkt sollys, skaber meget distinkte skygger, der er karakteriseret ved skarpt optrukne linjer og høj kontrast til det oplyste omkringliggende område. Skyggerne fremstår nærmest sorte. Indirekte lys, f.eks. fra en overskyet himmel, skaber lyse og grå skygger med bløde overgange mellem områder, der er belyst direkte fra himmellyset og områder, der kun er belyst ved reflekteret lys fra andre overflader. Disse skygger er knapt synlige.

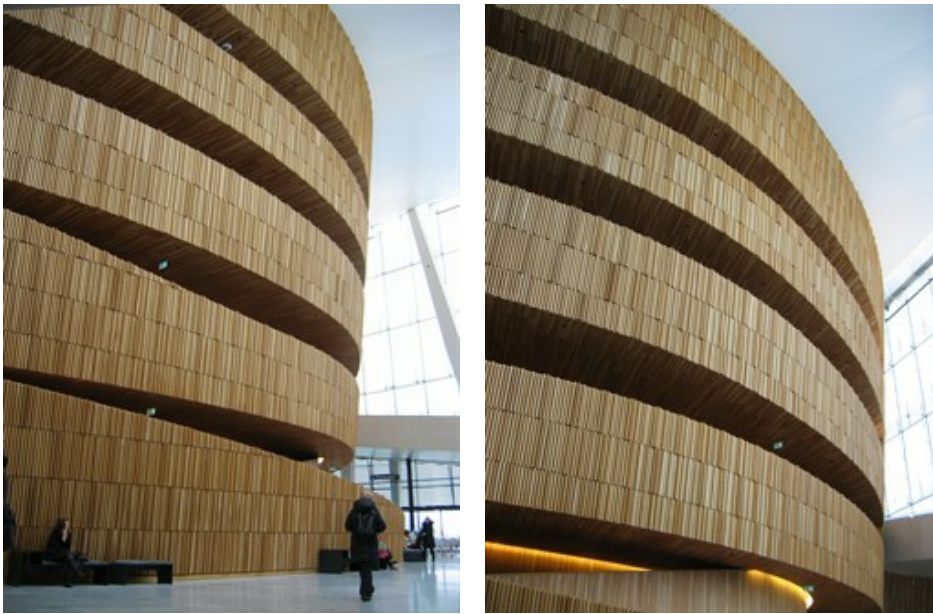


Form og skygge som resultat af hhv. rettet, diffust og blandet (kombination af rettet og diffust) lys.
Fotos: Sophus Frandsen.

Lysdesignere, malere og fotografer taler også om [selvskygger](#) og [slagskygger](#). Overflader, der vender væk fra lyskilden og derfor kun rammes af indirekte lys, betegnes at have selvskygger.

En selvskygge hører derfor til de overflader på objektet, der ikke bliver belyst. En slagskygge er en skygge, der kastes fra et objekt på et andet objekts overflade. Denne form kaldes derfor også for kasteskygge. Når slagskygger har skarpe grænser, skaber de perceptionel information om rumlig dybde. På samme måde, som objekter formindskes, jo længere væk de er i rummet, mindskes deres skygges størrelse også. Der er få andre designelementer, der er mere vigtige for skabelsen af kunst og arkitektur end kombinationen af lys og skygge.

[Tekstur](#) er tæt forbundet med lys og skygge. Tekstur og [lyshed](#) følges ad. Lys, som falder på en overflade med tydelig tekstur, skaber [kontraster](#) mellem det fremhævede og skygger. Den relative størrelse, dybde og tæthed i de teksturelle elementer højner eller mindsker opfattelsen af overfladens lyshed afhængig af skyggernes proportionelle effekter. Direkte lys, der strejfer en overflade, fremhæver tekturen ved at skabe længere skygger end lys, der falder vinkelret på overfladen.

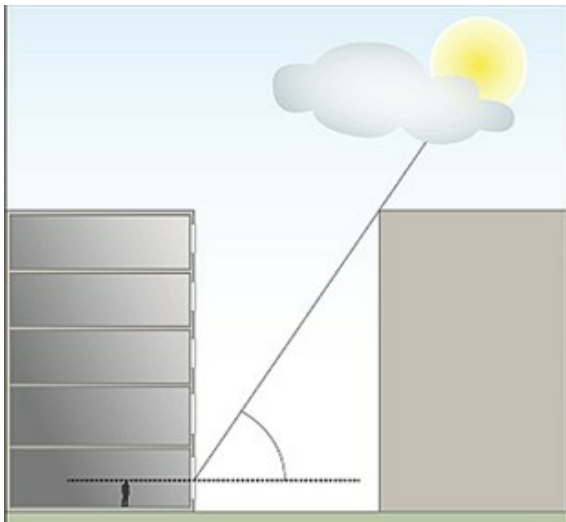


Tekstur i den norske nationaloperas træfacade, Oslo. Foto: Werner Osterhaus.

DAGSLYS I EN GEOGRAFISK KONTEKST

Dagslyset i en bygning er fuldstændig afhængigt af udendørs lysniveauer og af den retning, hvorfra sollyset kommer.

Dagslytsdesign handler både om optimal udnyttelse af den del af solens energi, der omsættes til lys, og om at kontrollere, hvordan de forskellige kvalitative facetter af denne energi kan spille sammen med de brugernes behov, arkitektoniske elementer og overflader i rum, bygninger og omgivelser. Forståelse for alle aspekter er en afgørende forudsætning for godt dagslytsdesign.

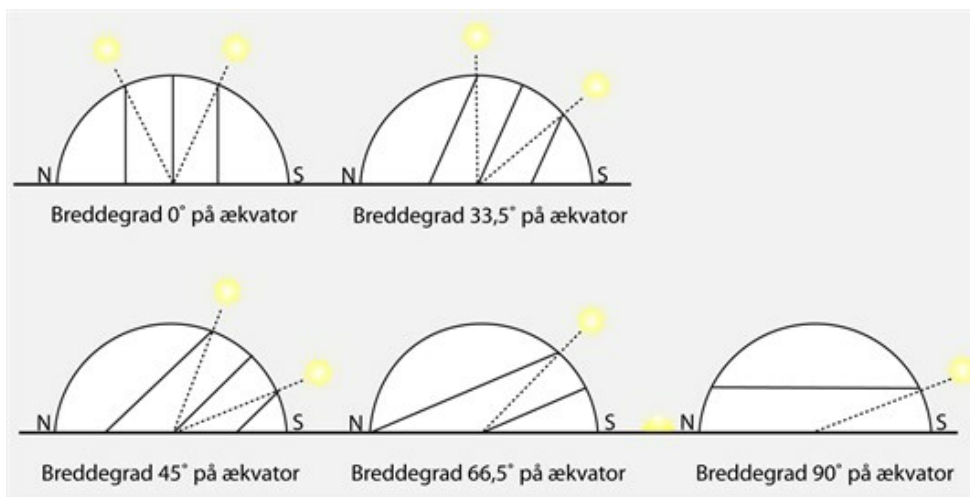


Højdevinklen måles fra midten af vinduet i et aktuelt rum til overkanten af den modstående bygning. Figur: DCL.

For næsten alle breddegrader gælder det, at solens højdevinkel (altitude) er størst om sommeren, mindst om vinteren og midt i mellem om foråret og om efteråret. I kombination med de kortere vinterdage, resulterer dette i en tilsyneladende hurtigere bevægelse af solen henover horisonten om vinteren og en tilsyneladende langsommere bevægelse om sommeren.

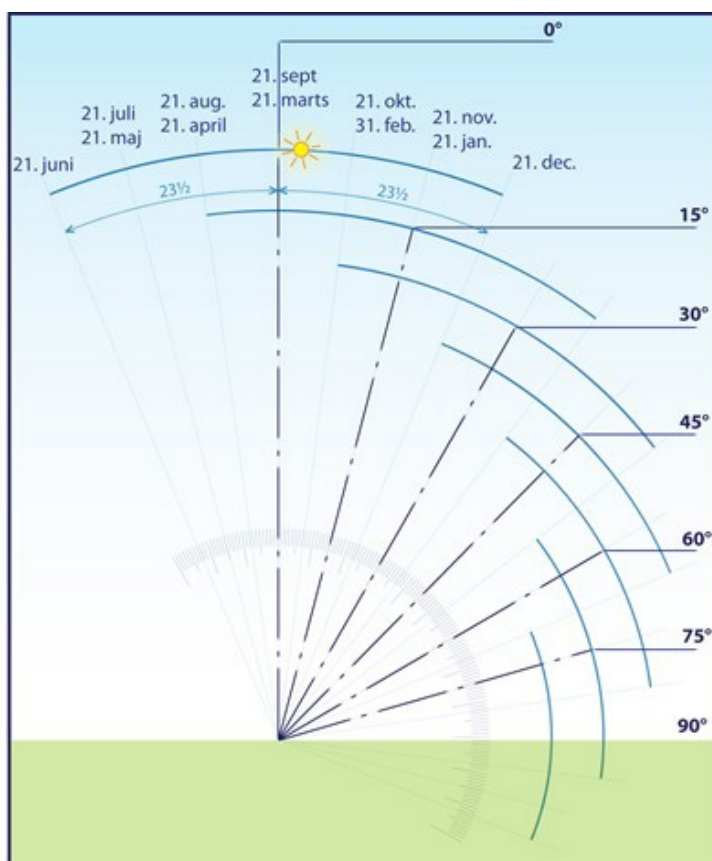
En undtagelse er området mellem ækvator og Krebsens Vendekreds (23.5° N) og mellem ækvator og Stenbukkens Vendekreds (23.5° S). Ved ækvator står solen højest ved jævndøgn, mens den i de to vendekredse står højest ved sommersolhverv. Afhængig af et områdes breddegrad, står solen højest mellem jævndøgn og sommersolhverv.

Jo nærmere et område ligger på ækvator, jo højere er solens daglige maksimale højde på himlen. Højden varierer hen over året, og variationen er den samme for alle breddegrader, dog med undtagelse af de mest nordlige og sydlige breddegrader, hvor solen står over eller under horisonten i lange perioder. Dette påvirker ikke kun de udendørs lysniveauer, men har også udtalte effekter på design og effektivitet af solafskærmninger. (Stein and Reynolds, MEEB, Ch. 19)



Solens position ved forskellige breddegrader. Figur: DCL, source: Aladar Olgyay and Victor Olgyay (1957), Solar Control and Shading Devices.

Ved vurdering af en bygnings orientering, eksponering og skyggevinkler er det vigtigt at tage højde for solens horisontale vinkel (azimuth), som udelukkende er bestemt af tidspunktet på dagen. I det horisontale plan (azimuth) ændrer solens position i forhold til jorden sig 15 grader i timen og 360 grader på en hel dag.



Solopgangsvinkel for forskellige breddegrader. Figur: DCL, source: Aladar Olgyay and Victor Olgyay (1957), Solar Control and Shading Devices.

Det regionale dagslysklima

Den såkaldte skydækkfaktor kan, i modsætning til solens position, kun forudsiges statistisk på baggrund af udvidede vejrdatoobservationer for det enkelte område.

Den tredje faktor, nemlig det lokale terræn og bygninger, som enten reducerer dagslysmængden ved at skygge eller øger den ved [refleksion](#), er så speciel og individuel, at den må behandles fra

sag til sag.

Direkte sollys belyser en overflade vinkelret på dens egen retning med ca. 5.000 til 100.000 lux, afhængig af tidspunkt på dagen og årstid. Det regionale dagslysklima afhænger først og fremmest af stedets breddegrad og af skydækket. Atmosfæriske forhold som forurening og reflekteret dagslys fra det omgivende miljø påvirker også dagslysklimaet på en mere lokal skala.

Typiske anbefalede indendørs belysningsniveauer spænder fra 50 til 2.000 lux afhængig af hvad, der skal belyses. Til mange formål er direkte sollys ikke ønskværdigt og kan forårsage store [luminansforskelle](#) og skabe generende [blænding](#).

Vejrforhold	Belysningsstyrke	
	(ftcd)	(lux)
Solskin	10.000	107.257
Fuldt dagslys	1.000	10.725
Overskyet dag	100	1.075
Meget mørk dag	10	107
Tusmørke	1	10,8
Dybt tusmørke	0,1	1,08
Fuldmåne	0,01	0,108
Kvartmåne	0,001	0,0108
Stjerneklart	0,0001	0,0011
Overskyet nat	0,00001	0,0001

Typiske belysningsstyrker ved forskellige vejrforhold. Tabellen oversætter mellem den amerikanske enhed for belysningsstyrke ftcd (footcandle) og lux.

Oversat fra www.engineeringtoolbox.com/light-level-rooms-d_708.html

Den udvendige horisontale [belysningsstyrke](#) direkte fra en overskyet himmel varierer med solens højde, uafhængig af azimuth. En formel, som er i god overensstemmelse med, hvad man kan måle, er givet af Krochmann (1963): $E_H = 300 + 21.000 \times \sin(\text{breddegrad})[\text{lux}]$. (Ueber die horizontale Beleuchtungsstärke der Tagesbeleuchtung, Krochmann, Juergen (1963), Lichttechnik, Vol. 15, No. 11)

Under CIE's International Daylight Measurement Programme (IDMP) indsamlede forskere fra hele verden data fra dagslysvariationer udtrykt gennem globale og diffuse belysningsstyrkeværdier. Efterfølgende er disse data blevet statistisk behandlet, så de kan benyttes af dagslysgenere.

Forskellige belysningsstyrkeniveauer fra himlen kan findes under samme sollysforhold, og, selv

når skydækket er det samme, kan belysningen fra solen stige eller falde som følge af en forbigående uklarhed eller spredning af sollys i partikler. Baseret på 15 nye himmelstandarder har Kittler et al. (1999) introduceret et forslag til en universel himmelmodel som dagslysreference, som er blevet godkendt af CIE (CIE, 2003). Det universelle dagslyssystem gør det muligt at sammenligne og karakterisere et dagslysklima på alle lokaliteter, enten ved at analysere målte data eller ved at simulere belysningsforhold ved at benytte de 15 himmelstandarder.

(Kittler, R., Perez, R., Darula, S. Universal models of reference daylight conditions based on new sky standards. Proceedings of the 24th Session of the CIE, pp. 243-248, 1999.)

(Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Spatial distribution of daylight - CIE Standard.)

(General Sky. CIE Standard S 011/E:2003, CIE, Vienna, 2003.)

(Flere referencer vedr. beregning af horisontal belysningsstyrke ved forskellige himmeltyper kan ses i SBI-Anvisning 219, s.26-28.)

INTRODUKTION

Tilrettelæggelsen af dagslyset og fordelingen af vinduer har vidtrækkende konsekvenser for en bygnings udseende og form, både som helhed og i de enkelte rum.

Det ugenerede kig ud ad et lille vindue eller en stor glasfacade har muligvis begge deres plads i dagslydesign, og de er begge med til at slå tonen an for det arkitektoniske udtryk, både set indefra og udefra.

På forskellig måde vil proportionerne af direkte og indirekte dagslys have stor indvirkning på bygningens karakter. En høj andel af direkte lys vil resultere i en tydelig formgivning og en dramatisk karakter af rummet. Et rum med en høj andel af indirekte lys vil være mindre kontrastfyldt med et blødere og mere afslappet præg.

Udsigten fra et vindue er også en bestemmende faktor for rummets karakter. Vinduer er normalt placeret, så man ikke kun kan se ud ad vinduerne fra alle steder i rummet, men også så et vindue, hvor det er muligt, giver et naturligt udkig til en interessant udsigt. Overdrevent vandrette eller lodrette vinduesåbninger beskærer normalt udsigten på en unaturlig måde. I nogle tilfælde kan dette dog være nyttigt, hvis man vil indramme en særlig udsigt.

(Hopkinson and Kay (1969), *The Lighting of Buildings*, pp. 78-79.)

Udsyn

De fleste mennesker foretrækker et vindue, som er en smule bredere end det er højt. Øjet bevæger sig tilsyneladende oftere langs en vandret linje end en lodret.

Vinduesrammer, der deler udsigten, kan være en irriterende forstyrrelse, men vil være mindre generende, hvis de ikke samtidig giver anledning til store [kontraster](#) og [luminansspring](#). En horisontal hindring i eller under øjenhøjde kan forstyrre udsynet.

Størrelsen på de fleste dagslysåbninger er historisk bestemt de til rådighed stående materialer og af de klimatiske forhold, der var fremherskende i bygningens område. Vinduer i varmt og tørt klima var oftest små og indsat i tykke vægge for at forhindre direkte sollysindfald. I varmt og fugtigt klima var åbninger beskyttet af store udhæng af samme årsag, men vinduer var større for samtidig at tillade en naturlig ventilation. På den tid, hvor bosættere rejste fra et klimatiske område til et andet, tog de deres byggemetoder med sig til det nye sted, men erfarede at metoderne ikke fungerede under de nye klimatiske forhold. Det er derfor vigtigt at være opmærksom på de lokale klimatiske forhold, når man skal i gang med at tilrettelægge dagslysforholdene i et konkret projekt.

Dagslysendfaldet gennem vinduer og andre åbninger styres i nogle tilfælde af forskellige kulturelle aspekter. I mange islamiske lande resulterede kravet om, at kvinder skulle være tildækket foran et mandligt medlem af offentligheden, i afskærmede dagslysåbninger, hvis små kighulsåbninger tillod kvinden at kigge ud gennem afskærmningen, men samtidig beskyttede hende mod indkig fra ydersiden.

Kulturel indflydelse - sammen med klima - kan have indflydelse på farven på bygningers facader. I områder med en høj klar himmel kan man opleve lyse og mættede farver, mens man i områder med overvejende overskyet himmel ofte foretrækker dæmpede farver med høje [reflektanser](#). I f.eks. Australien og New Zealand er mange bygninger malet i klare farver både indendørs og udendørs. I begge lande har Aboriginernes og Maoriernes kultur bidraget til denne udvikling.



New Zealandske bygninger i klare farver: Offentlig toiletbygning i Wairoa (tv.), bager i Wellington (th.). Fotos: Werner Osterhaus.

DAGSLYSÅBNINGER GENERELT

Åbninger i en bygning ses som vigtige elementer i arkitekturen, som understøtter de menneskelige behov.

Klimatiske forhold samt arbejds- og levevilkår kræver, at vi typisk opholder os meget indendørs i mere eller mindre lukkede bygninger. Via bygningens åbninger har vi kontakt til de umiddelbare omgivelser, dagslys til belysning af vores arbejds- og boligområder og luft at indånde.



Ovenlysvinduer. Foto: Velux.

Men brugen af vinduer i facaden eller [ovenlys](#) er ikke uden problemer. De kan f.eks. resultere i for meget eller for stærkt lys, for meget solvarme, eller for stort varmetab om vinteren, og kan være kritiske faktorer for en bygnings funktion.

Klassiske dagslysstrategier inkluderer ovenlys og [sidelys](#). Ovenlys dominerer i lagerhaller, fabrikker, markeder og andre en-etages bygninger, primært fordi bygningerne ofte er dybe. Sidelys findes i kontorer, boliger, lejlighedsbygninger og fleretagesbygninger. Et atrium eller en gård kombinerer begge former, da de tillader dagslys at komme ind gennem en vandret eller næsten vandret åbning i plan med bygningens tag og senere giver lys gennem lodrette åbninger ind til de rum, der findes rundt om atriet.

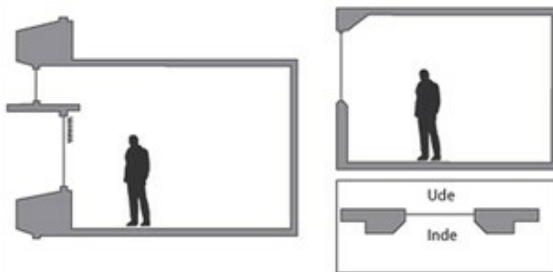
SIDELYSÅBNINGER

Åbninger i lodrette eller næsten-lodrette overflader er den mest almindelige form for dagslystilførsel i bygninger.

Dagslysåbninger, der er placeret højt på facaden giver et højere og mere ensartet belysningsniveau end lavere placerede vinduer af samme størrelse. Det skyldes, at de højtplacerede lysåbninger er eksponeret for den lysere del af himlen i tilfælde af overskyet vejr. Dette tillader kontrol af slørende refleksioner, mens man også kan drage fordel af det lysere lys fra himlen og en bedre belysning af lodrette overflader i rummet.

Udsyn og blænding

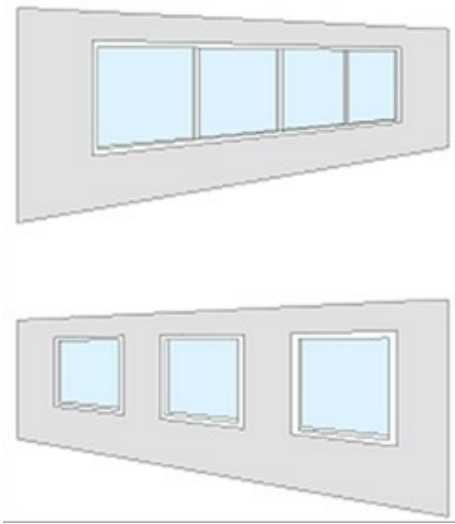
Ud over termiske og daglysrelaterede overvejelser, skal bygningens brugeres ønsker om et behageligt og interessant [udsyn til omgivelserne](#) tages i betragtning. Ikke alle retninger vil falde sammen med den ønskede eksponering for dagslys, og der må handles for at skabe en balance mellem udsyn, dagslys og kontrol af varme eller [blænding](#). Da mange udsynsvinduer er placeret i øjenhøjde i forhold til siddende eller stående personer i bygningen, er der risiko for stor [kontrast](#) mellem den del af himlen, der kan ses gennem vinduet, og den væg, vinduet er placeret i. En løsning kan være at opdele åbningerne i såkaldte dagslysvinduer, der sikrer dagslys og udsynsvinduer, der sikrer udsyn, kombineret med en dybere vægsektion, som kan bidrage til afskærmningen af udsynsvinduet.



Vinduet, der sidder dybt i væggen, giver naturlig afskærmning, tillader indbygning af naturlige lyshylder, giver omgivende overflader, som kan modvirke blænding, og mindsker udefrakommende lydgener. Hældende vinduesomgivelser opbløder blænding. Plan gennem enkeltvindue i væg - inde og ude. Skråt afskårne lysninger opbløder blænding. Lysningerne bør være lyse i farven, og skal være lysere end rummets andre flader, men mørkere end vinduesfladen, så overgangen fra lys til rummets relative mørke lettes for øjet. Figur: DCL, source: LBNL.

Placering af sidelysåbninger

En række med tæt placerede vinduer giver ofte et mere ensartet og mindre blændende daglys end individuelt placerede vinduer. For at reducere kontrasten mellem væggen og det lyse vindue, skal de vægge, vinduerne er placeret i, være så lyse som muligt. Vindueskarne kan skråne som i et romansk vindue med henblik på at reducere denne kontrast yderligere ved at tilføre en overflade med en mellemliggende [lyshed](#).



Vinduesbånd er en enkel måde at skabe et ensartet dagslysindfald. Hvor vinduerne sidder spredt, bør dette passe med eventuelle arbejdspladsers rytme. Figur: DCL, source: LBNL.

Alternativt kan vinduer placeres direkte ved siden af en lodret væg eller i to vægge, der støder op mod hinanden, eller i loft og væg, således at den respektive anden overflade belyses af dagslyset og derved reducere [luminanskontrasten](#) mellem vindue og vinduesvæg.

I mange ældre bygninger, især kirker og paladser har man brugt lysgallerier (klerestorier), dvs. åbninger, der giver sidelys og som normalt er placeret højt oppe på en væg og parallelt i forhold til rummets akse.



Lysgallerier i Ortaköy Moskeen i Istanbul. Foto: Werner Osterhaus.



Lysgallerier i Sæ auditoriet på Aarhus Universitet. Foto: Werner Osterhaus.



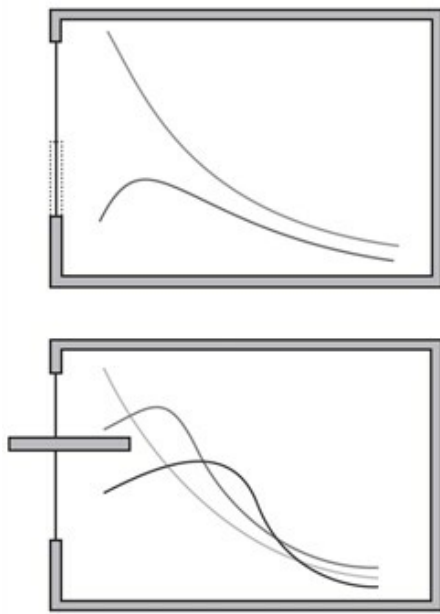
Dagslys i supermarkedet i Berlin. Foto: Werner Osterhaus.



Lysgallerier i et klosterkapel i Gemünden/Main, Tyskland. Foto: Werner Osterhaus.

Lyshylder

En anden lysfordelingsstrategi er en vandret finne placeret over øjenhøjde men under loftet, der ofte stikker ud både på indersiden og/eller på ydersiden af vinduesglasset. Disse finner kaldes lyshylder (light shelves) og kan have forskelligt vinduesglas over og under hylden. Deres effektivitet afhænger af orientering, generelt fungerer de bedst på facader, der vender mod solen. I bedste fald kan de resultere i en mere ligelig [fordeling af dagslyset i rummet](#), fordi dagslysniveauet ved vinduet bliver lavere, uden at niveauet i den bagerste del af rummet sænkes for meget.



Højtsiddende vinduer giver en bedre distribution af dagslys i rummet end lavtsiddende vinduer.
En lyshylde forbedrer distributionen af dagslys. Figur: DCL, source: LBNL.

OVENLYSÅBNINGER

Ovenlysåbninger er fællesbetegnelsen for dagslysåbninger i taget. Disse anvendes i tagetager eller bygninger i et plan.

Ovenlysåbninger er enten vandrette eller skrå. De er placeret i et loft eller en tagflade og giver en stor mængde lys med et minimalt glasareal. Ovenlysåbninger er særligt velegnede til store fabriks- eller lagerbygninger med et stort forhold mellem volumen og væggenes omkreds.

Anvendelsen af ovenlys er vidt udbredt i boliger, offentlige og kommercielle bygninger, da de på en effektiv måde kan bidrage med dagslys langt ind i rum og bygninger.

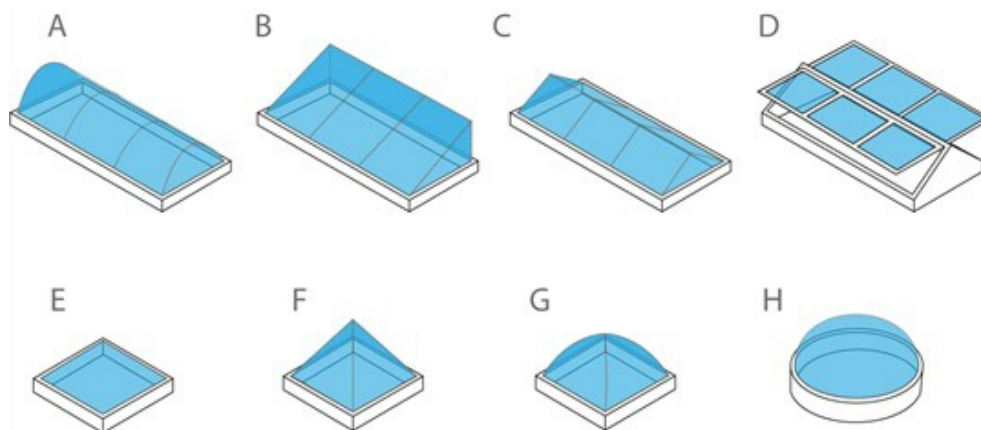


Ovenlys. Foto: Velux.

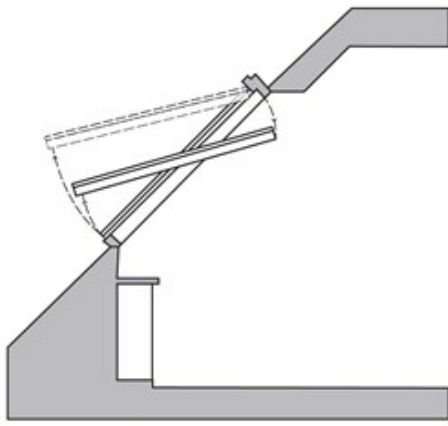
Forskellige typer ovenlys

Der findes forskellige typer ovenlys. Betegnelsen ovenlys anvendes om stort set alle lysåbninger placeret i tagfladen. Dog anvendes betegnelserne rytterlys og shedlys for åbninger, der er en del af tagkonstruktionen. Ofte anvendes betegnelsen ovenlys sammen med et mere beskrivende tillægsord såsom runde, aflange, firkantede etc.

Shedlys betegner en serie af enkeltplacerede lysgallerier (klerestorier). De ses typisk i alle størrelser europæiske industribygninger, der er bygget omkring århundredeskiftet. Åbningerne vil normalt vende væk fra solen for at udnytte det diffuse himmellys mere end det direkte sollys til at oplyse bygningen indendørs. Hvis de vender mod solen, vil åbningerne i de savtakkede tage kræve en mere effektiv afskærmning for at undgå blændingsproblemer.



Betegnelsen ovenlys anvendes om stort set alle lysåbninger placeret i tagfladen, dog på nær rytterlys (C og D) og shedlys (B). De øvrige viste ovenlys er hvælvet ovenlys (A), kvadratisk plant ovenlys (E), pyramideformet ovenlys (F), kvadratisk kuppelformet ovenlys (G) og rundt kuppelformet ovenlys (H). Figur: DCL, source: Ching and Adams.



Ovenlysvindue. Figur: DCL, source: Ching and Adams.

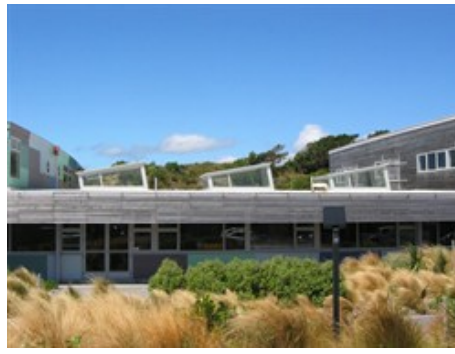


Savtakkede ovenlys i en fabrik i Luedenscheid, Tyskland. Foto: Werner Osterhaus.

Nogle typer ovenlys tillader lys at komme ind fra to eller flere sider samtidig. Med et passende udhæng over facaden, der vender mod solen og et ovenlys af denne type, vil [lysfordelingen](#) inde i bygningen være mere ensartet.



Ovenlys over ekspeditionsområde og udhæng over facaden på Aaby Bibliotek i Aarhus. Fotos: Werner Osterhaus.



Eksempler på ovenlys: Utzon Center i Aalborg (tv.) og Seatoun School i Wellington, New Zealand (th.). Fotos: Werner Osterhaus.



Ovenlyset i et supermarkedet i Berlin reducerer el-forbruget til elektrisk belysning. Foto: Werner Osterhaus.

Placering, udsyn og blænding

Ved anvendelse af ovenlysåbninger skal man være opmærksom på, at denne type lysåbninger vender mod himlen og derfor ikke giver det samme [udsyn til omgivelserne](#) som [sidelysåbninger](#). Til gengæld giver nogle slags ovenlysåbninger mindre anledning til blænding end sidelys. I nogle tilfælde giver ovenlysvinduer desuden mulighed for at skabe et godt udsyn til omgivelserne, hvor det ellers ikke ville være muligt.

Hvis ovenlysvinduer placeres, så de vender mod syd- eller vest, vil solen i perioder sende et skarpt og varmt lys ind i lokalet. Ved at placere vinduet øverst i det skrå loft vil lyset reflekteres ned i rummet via en modstående væg. På denne måde opnår man et reflekteret lys, der er blødere end det direkte sollys.

I et lokale der vender mod nord, vil det reflekterede himmellys give et køligt og diffust lysindfald. Nordvendte vinduer kan med fordel placeres lavt, så der evt. er udsigt til omgivelserne.

Er der tale om østvendte vinduer, bør disse placeres, så der tages højde for solens vinkel og bane, og man får glæde af det gyldne morgenlys. Som for syd- og vestvendte vinduer, kan det være en fordel at placere østvendte vinduer relativt højt.

Fordele og ulemper

Ovenlysåbninger er, som alle andre lysindtag, forbundet med både fordele og ulemper. Ovenlysåbningernes store styrke er, at de kan bidrage med store mængder dagslys på steder, hvor lyset fra sidelysåbninger ikke når frem. Dagslysåbninger i taget kan desuden give et højere og mere ensartet belysningsniveau end lavere placerede vinduer af samme størrelse i facaden.

I sommerperioden kan man opleve problemer med varme, da solen står højt på himlen. Hvis varmen er et stort problem om sommeren, kan det være nødvendigt med afskærmning af ovenlysene eller højere lysskakte under ovenlys. Næsten alle slags tagkonstruktioner vil i øvrigt være bedre som isolering end selv de bedste ovenlysvinduer, men ovenlys kan i mange tilfælde alligevel bidrage positivt til energibalancen om vinteren pga. opvarmning via varmestråling gennem ruden.

Avancerede dagslyssystemer

Prismatiske eller holografiske glaspaneler, spejlpaneler eller dagslyssystemer til anvendelse i bygningskerner (som light guides eller lystunneler og fresnellinser kombineret med fiberoptik) er blandt de nyere tiltag, der er udviklet til at øge dagslystilgangen til rum langt inde i bygningen.

SOLVARME OG VARMETAB

Når først varmen fra solens stråler er kommet ind i en bygning, er det ikke nemt at komme af med den uden at belaste energiforbruget.

Normalt anbefales det at forhindre ukontrolleret sollys i at nå ind i en bygning gennem et vindue eller ovenlysvindue. Så undgår man nemlig problemer med solvarme på arbejdspladser henover året, især om sommeren eller i det tidligere efterår.

Glas lader ikke de [langbølgede varmestråler](#) slippe ud af en bygning. Vi kender alle ubehaget ved at sætte os ind i en bil, der har været parkeret længe i solen. Overskydende varme i en bygning (på engelsk kaldet "cooling load") må fjernes vha. kølings- og airconditionanlæg. Dette gælder især for større kontorbyggerier, hvor vinduerne ofte ikke kan åbnes, så der opnås naturlig ventilation, da det vil genere det mekaniske kølingsanlæg.

En facade, der vender mod middagssolen (sydlig eksponering på den nordlige halvkugle) er typisk mest hensigtsmæssig, fordi dagslyset er mest fremtrædende og næsten ensartet fra denne del af himlen. Om sommeren, når overskydende varmeproduktion kan give problemer, kan vandrette udhæng til en vis grad kontrollere direkte sollys, fordi solen står højere på himlen midt på dagen. På andre årstider, kan andre typer solskærmning være nødvendige, også for at kontrollere blænding. En facade, der vender væk fra middagssolen (nordlig eksponering på den nordlige halvkugle) er den næstmest effektive facade, da det sollys, der rammer den, hovedsageligt er diffust dagslys fra himlen - med undtagelse af den tidlige morgensol og sene aftensol, som kan ramme facaden i løbet af højsommeren. Varmetab kan dog være et problem om vinteren.

Øst- og vestvendte facader er kun potentielt eksponeret for direkte sollys den halve dag og mens solen er i en lavere vinkel. Dette gør effektivt design af åbninger noget sværere. Især vestvendte facader kan være udsat for en stor og uønsket varmeproduktion gennem sommerperioden på uhensigtsmæssige tidspunkter. Dertil kommer potentielle blændingsproblemer, forårsaget af den lavtstående sol.

Varmetab

Vinduer er ofte et svagt punkt i forhold til isolering af en bygning og kan medføre et betydelig varmetab og kondens på glasfacader. Da varmetab om vinteren er en vigtig faktor i det generelle energiforbrug i en bygning, bør der generelt sættes mere fokus på varmetab.

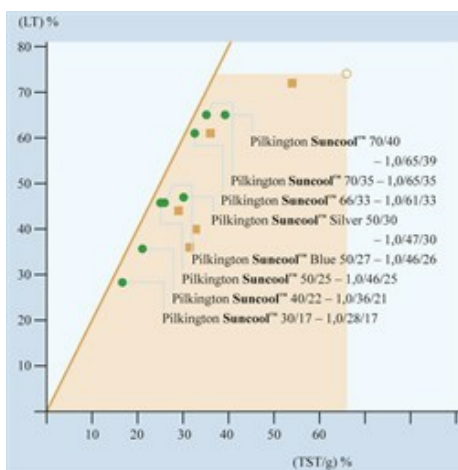
Forskere, specielt i Nordamerika, Europa og Japan, har gjort en betydelig indsats for at udvikle vindueskomponenter, der kan forbedre vinduernes generelle isoleringsevne, så den svarer til vægelementernes evne. Man har f.eks. brugt argon- eller kryptongas i mellemrummet mellem vinduesruderne. Udvikling, der skal forbedre varmetab i vindues- og dørrammer er også på vej.

I Europa bruges også rullejalousier (rolling shutters), der kan rulles ned over vinduet om natten for at øge vinduets isolationsevne, og det giver yderligere privatliv og sikkerhed mod tyveri/indbrud om natten for bygningens beboere. Disse skærme er normalt uigennemsigtige og skal fjernes om dagen, hvis der skal komme tilstrækkelig sollys ind i rummet.

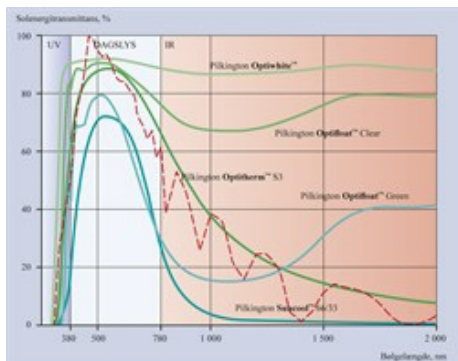
VALG AF VINDUER

Overophedning og blændingsproblemer kan reduceres markant, hvis man optimerer glas og afskærmning af dagslys og sollys.

Der er udviklet vinduer med en coating, der filtrerer udvalgte bølgelængder fra, f.eks. infrarøde stråler fra solen, hvilket kan bidrage til en mere kontrolleret varmetransmission gennem vinduesglasset. Det er vigtigt at finde en rigtig balance mellem glassets lystransmittans (LT-værdi) og dets totale solenergitransmittans (g-værdi). Hvis man reducerer lystransmittansen for meget, kan det faktisk resultere i øget opvarmning indendørs, da der vil være et større behov for mere [kunstlys](#).



Sammenhørende værdier af lystransmittans (LT) og solenergitransmittans (g-værdi). Figur: Pilkington.



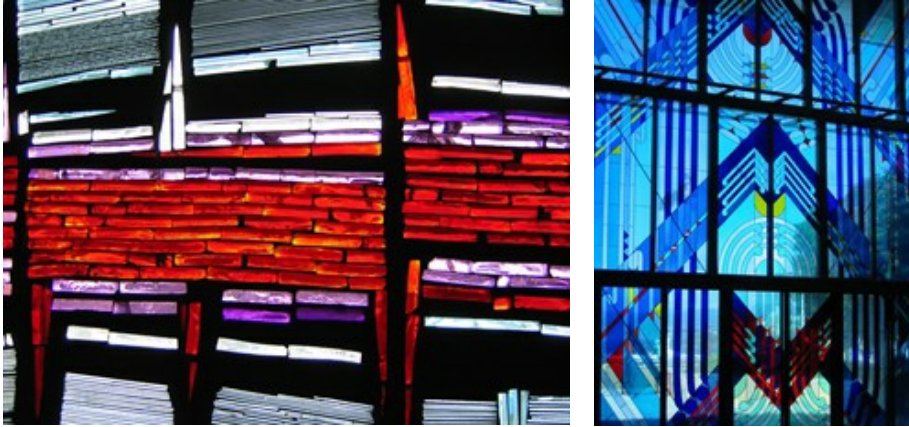
Solenergitransmittans (g-værdi) som funktion af bølgelængde for forskellige glastyper. Figur: Pilkington.

Termo- og elektrokromiske glasmaterialer giver en lignende forbedring af effektiviteten. Disse glastyper anvender termiske eller elektriske impulser til at skifte mellem transparent og [translucent](#) tilstand afhængig af, om der ønskes direkte sollys i rummet eller ej.

Forskere på SINTEF (Norge) og Lawrence Berkeley National Laboratory (USA) har gennemført en større markedsundersøgelse af de bedste vinduesprodukter. Fokus var på lav termisk transmittans (glassets U-værdi). Undersøgelsen omfattede vakuumglas, intelligente vinduer, glas med solceller, vinduesrammer, selvrensende glas, lavemissionsbelægning på glas og afstandprofiler. Konklusionen var, at det på nuværende tidspunkt er vakuumglas, nye afstandsprøfilmaterialer og -løsninger, elektrokromiske vinduer og aerogel-vinduer, der ser mest lovende ud, hvad angår forbedring af den termiske effektivitet samt dagslys- og solegenskaber i forbindelse med vinduesprodukter. Rapporten indeholder meget nyttige tabeller over de forskellige produkter. (Jelle, B.P. et al., 2012)

Optimering af lysåbninger, vinduesglas og afskærmning kan ske vha. [computerberegninger](#) eller [fysiske modeltest](#).

Til visse formål vil farvet glas være velegnet, f.eks. til at skabe en særlig atmosfære i et rum eller i en bygning.



Eksempler på anvendelse af farvet glas i et kloster i Gemünden/Main, Tyskland, og på Te Papa Tongarewa, Museum of New Zealand, i Wellington. Foto: Werner Osterhaus.

INTRODUKTION

Afskærmning udgør en del af det samlede vinduessystem og er et væsentligt element i forhold til at skabe et godt visuelt miljø og få samspillet mellem kunstlys og dagslys til at fungere optimalt.

Regulering af kunstlyset kan give væsentlige [energibesparelser](#). Der findes en række strategier til styring og regulering af kunstlyset efter mængden af dagslys og tilstedeværelse af personer i lokalet.

I de senere år har man udviklet [nye teknologier](#) med henblik på at udnytte dagslyset og forbedre termisk og [visuel komfort](#).

Blændingskontrol spiller en central rolle i forhold til at skabe optimale visuelle dagslysforhold for brugerne. Forbedring af den visuelle komfort og brugernes tilfredshed bør altid være en vigtig faktor ved valg af lysregulering. Af samme grund er det vigtigt at både afskærmning og lysregulering holdes vedlige.

STRATEGIER VEDR. BLÆNDING

Strategier vedr. skygge og blændingskontrol af lodrette vinduesåbninger indbefatter forskellige interne og eksterne løsninger, hvor afskærmningen udgør en del af det samlede vinduessystem.

Solafskærmning anvendt i arkitekturen kan klassificeres i to kategorier:

- En statisk, ikke justerbar afskærmning, f.eks. i form af udhæng, lyshylder samt vandrette og lodrette lameller
- Justerbar afskærmning i form af justerbare markiser, jalousier, persiener, skodder og gardiner



Farvede afskærmninger på vestvendt facade, GSW bygning i Berlin. Foto: Werner Osterhaus.

Løsningerne i de to kategorier kan alle kontrollere direkte solindfald, men tillader diffust eller spredt sollys at komme ind i bygningen.

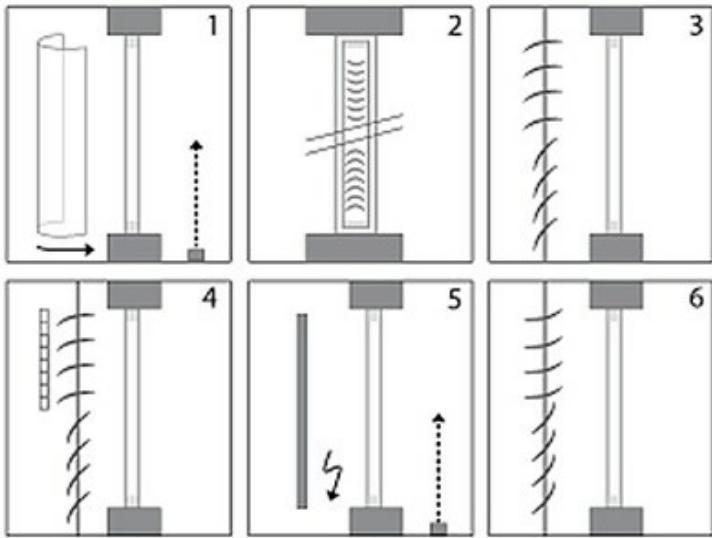
Den ikke-justerbare afskærmning kræver, at man går på kompromis, så der skabes balance mellem behovet for dagslysudnyttelse, solafskærmning, blændingsafskærmning og udsyn, da de ikke kan justeres eller fjernes, når vejrforholdene og solens position ændrer sig. Udendørs afskærmning er mest effektiv til at mindske den uønskede varmeproduktion fra solstrålingen. Arkitektoniske æstetiske hensyn eller hensyn til vedligeholdelse kan dog være en hindring for at anvende udendørs solafskærmning. Her kan man i stedet benytte afskærmning mellem to vinduesglaselementer eller på indersiden af vinduet.

Justerbare persiener, der er placeret mellem to eller flere ruder, udsættes ikke for støv eller snavs, men kan effektivt kontrollere solstrålingen og samtidig tillade at rummet tilføres dagslys. Lignende udstyr er fastmonterede reflektorelementer, bikagestrukturer, rørformede plader eller aerogelplader mellem ruderne. Aerogel er, trods dets fremragende isoleringsevne, mindre [translucent](#) end et transparent materiale, og kan derfor kun benyttes til vinduer eller ovenlys, der ikke kræver udsyn til omverdenen. Da transparente bikube- eller rørformede og isolerende materialer tillader en smule udgik, er de egnede til vinduessektioner over øjenhøjde og til lysgallerier.



Udsyn gennem fast lysdirigerende reflektorelement (tv.) og transparent isolationsmateriale med tubular struktur (th.) mellem lag af glas. Foto: Werner Osterhaus.

En udvendig afskærmning vil typisk være bedre med henblik på at kontrollere [termiske forhold](#) end en indvendig løsning, men kan også være udsat for vind og andet, som ødelægger afskærmningen eller gør vedligeholdelsen af den for besværlig. For at sikre så god en afskærmning som muligt, kan den optimale løsning i nogle tilfælde være at kombinere forskellige systemer til afskærmning af sollys og kontrol af blænding.



Position for solafskærmning og blændingskontrol med forskellige termiske og visuelle funktioner. Figur: DCL, source: Heide G. Schuster. Tageslichtsysteme im Spiegel der Nutzer, PhD Thesis, Uni Dortmund, 2006.

NYE DAGSLYSTEKNOLOGIER

I de senere år har man udviklet andre teknologier med henblik på at udnytte dagslyset og forbedre termisk og visuel komfort.

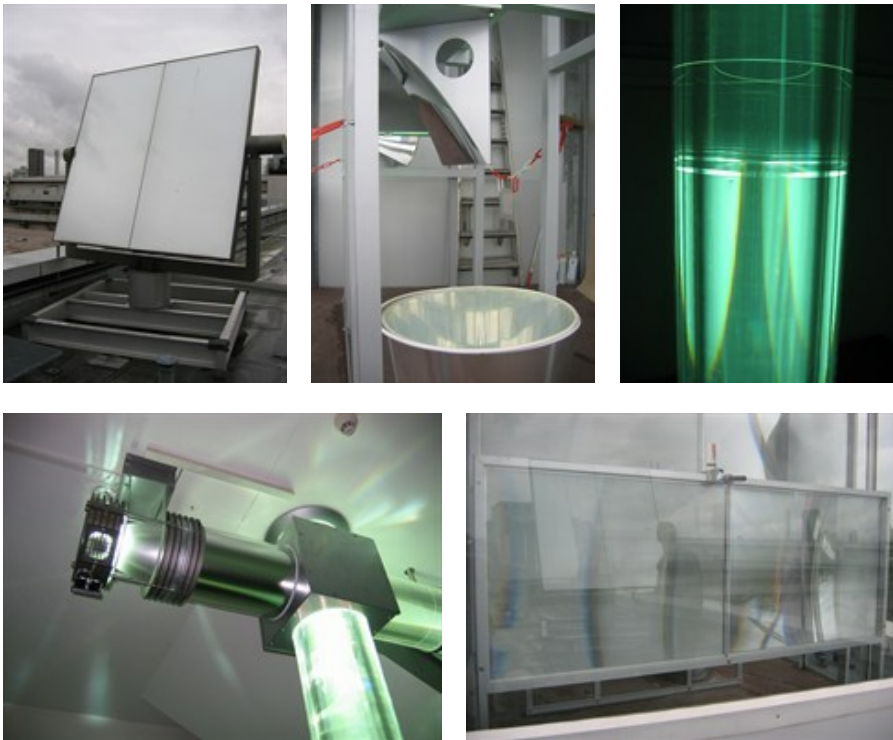
Prismatiske og holografiske glaspaneler, spejlpaneler eller dagslyssystemer (som lightguides eller lystuneller og fresnellinser, evt. kombineret med fiberoptik) er nogle af de nyere måder, man kan trække dagslys langt ind i en bygning.

Kvaliteten af de forskellige dagslyssystemer varierer. Selvom nogle betegnes som mere effektive end andre, er det ikke muligt at give et entydigt bud på, hvilke der er mest effektive.

En undersøgelse (Heide G. Schuster. Tageslichtsysteme im Spiegel der Nutzer, PhD Thesis, Uni Dortmund, 2006) peger på forskellige problemstillinger, når man vurderer kvaliteten af dagslys fra forskellige systemer. Rangordenen varierer afhængig af de respektive solafskærmningsbehov på forskellige tidspunkter af dagen og året og af brugerens forventninger. En vigtig faktor er [udsyn](#), som hindres i større eller mindre grad af forskellige systemer, især når solen står lavt om vinteren. En anden faktor er kontrol af [blænding](#). Ved beslutninger om dagslysgesign må man derfor nøje overveje, hvordan det bedste resultat i den aktuelle situation opnås.

I forbindelse med kontrol af direkte solstråling er det ikke tilrådelig at mindske lystransmittansen (LT-værdien) gennem glasset, da det også nedsætter mængden af dagslys og derfor fører til, at rummet synes dystert.

Et udvalg af nyere dagslysteknologier er vist herunder.



Det lysguidende system "Arthelio" (kombineret kunstlys og sollys) kan udnytte et spejl, der følger solen (heliostat), fresnel-linser, reflektorer og lyspiper/lystuneller til at oplyse områder dybt inde i en bygning, som her hos en lysleverandør i Berlin. Efter behov kan systemet suppleres med lys fra elektriske kilder, som vist på billedet øverst til højre. Foto: Werner Osterhaus.

INTEGRATION AF DAGSLYS OG KUNSTLYS

Dagslys og kunstlys skal kunne fungere sammen. Energiforbruget til den kunstige belysning skal desuden minimeres, hvilket bl.a. kan opnås med en optimal udnyttelse af dagslyset.

Når man skal designe systemer til regulering af [kunstlyset](#) efter mængden af dagslys og sollys skal man huske, at dagslyset er en meget dynamisk lyskilde. Dagslyset varierer afhængig af årstid og tid på døgnet og afhængig af de lokale vejrforhold. Reguleringsystemer må derfor tilpasses disse foranderlige forhold og styre afskærmning og kunstlys på en måde, så både synsbehov og energieffektivitet tilgodeses.

Der er mindst to væsentlige dimensioner af dagslyskontrol:

- Kontrol af dagslystilførslen til rummet
- Regulering af kunstlystilførslen

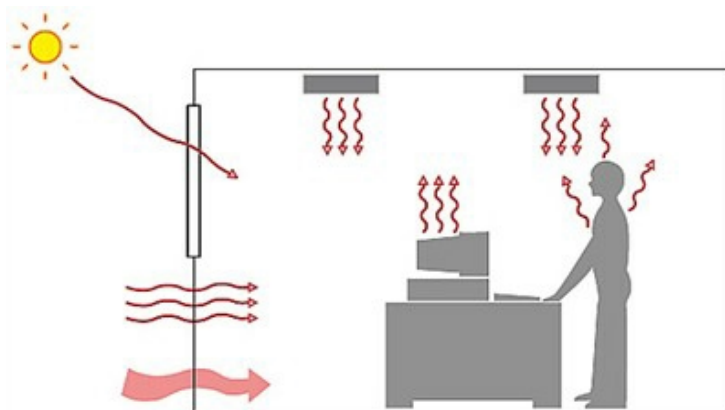
Den første er kritisk i forhold til at kontrollere mængden og kvaliteten af dagslyset i lokalet. Den anden sparer energi og forbedrer den generelle [lysfordeling](#), når dagslyset ikke er tilstrækkeligt til at oplyse rummet alene. For begge systemer gælder, at [brugertilfredshed](#) og accept er ekstremt vigtigt. Hvis systemet medfører gener i form af [blænding](#), midlertidig reduktion eller pludselig ændring af lysmængden, irriterende støj fra motorerne, der åbner og lukker vinduerne eller fra afskærmningsudstyret, vil det mindske den generelle tilfredshed og effektivitet.

Hvis man vil undgå, at brugerne afviser at benytte et [dagslysreguleringsystem](#), skal det løbende tilpasses til brugernes behov. Bygningsservice og kontrolsystemer, der ikke opfylder dette, er ofte skyld i det kendte "syg-bygning-syndrom". Det er desværre kompliceret at opstille ordentlige brugbare betingelser for et kontrolsystem, da brugernes behov er forskellige.

Det er ikke altid hensigtsmæssigt og ofte også umuligt at fastholde et konstant belysningsniveau på en referenceflade eller en konstant luminans i et referencepunkt i rummet. Belysningsstyrken fra dagslyset varierer ofte meget sammenlignet med belysningsstyrken fra kunstlys. De tilfældige variationer i himlens [luminans](#) stammer f.eks. fra skydækkets tæthed og bevægelser. Selv om variationen er en potentiel gene ved fastlæggelse af kontrolalgoritmer, er dagslysets stadige variation samtidig en af dets mest skattede kvaliteter.

I sidebelyste rum er [belysningsstyrken](#) i punkter nær vinduet sjældent højere end en tiendedel af, hvad den er udendørs. Dagslyset indendørs er dog tilstrækkeligt til at kunne yde et væsentligt bidrag til belysningen i en bygning det meste af året. Dagslys og dagslyssystemer kan derfor ikke betragtes som isolerede elementer i en bygning design.

Kunstlys står for en stor del af [energiforbruget](#) i kommercielle byggerier og kan påvirke behovet for køling og varme. Den interne produktion af varme fra kunstlys, udstyr og brugere vil ofte resultere i et kølebehov i dagtimerne det meste af året, når bygningen er i brug. Så længe man sørger for, at varmen fra solen kontrolleres med en hensigtsmæssig afskærmning, helst på ydersiden af vinduesglasset, kan en del af energien fra kunstlys og tilhørende udstyr reduceres ved at udnytte dagslyset og benytte dagslysstyring.



Mange kilder bidrager til varmebelastningen. Figur: DCL, source: LBNL Tips for Daylighting with Windows.

De bedst mulige resultater opnås ved at opdele et rum i [zoner](#) ved placering af armaturer og sensorer. Man bør også nøje overveje, hvordan belysningen placeres i forhold til arbejdspladser.

Dette gælder både [almenbelysning](#) og [belysningen på arbejdsfeltet](#).

Elektriske lyskilder

Da nogle typer [elektriske lyskilder](#), f.eks. de fleste [damplamper](#), ikke kan dæmpes eller tåle at blive tændt og slukket ofte, bruger man ofte [lysstofrør](#) eller [LED-belysning](#) sammen med lysreguleringsystemer. Man bør være meget opmærksom på den valgte lyskildes [farvegengivende egenskaber](#) og [lysfarve](#). Selvom dagslys kan have en lavere eller højere korreleret farvetemperatur end elektriske lyskilder, er lyskilder med en farvetemperatur mellem 3.000 K og 4.500 K mest i overensstemmelse med den farvetemperatur dagslyset har på forskellige tidspunkter i løbet af dagen. Man må naturligvis tage hensyn til dagslysforhold, klima og individuelle ønsker. I lande på de nordlige breddegrader, hvor det ofte er overskyet, foretrækkes varm-hvide lyskilder (ca. 3.000 K), hvorimod man i de solrige lande på de sydlige breddegrader foretrækker kold-hvide lyskilder (ca. 4.000 K), men det gælder ikke i alle tilfælde. Sidstnævnte korrelerede farvetemperatur må dog anses for at være for kølig til brug om natten.

Når dagslys og kunstlys anvendes samtidig, skal man være opmærksom på at minimere luminansforskellen mellem vinduesarealet og dets omgivelser, så man sikrer [visuel komfort](#). For både visuel komfort og energibesparelser på belysning gælder, at indendørs overflader bør være i en lys farve for at maksimere lysets [refleksion](#) i rummet. Man skal især være opmærksom på [spejlende refleksion](#), der kan komme fra skinnende eller spejlende overflader i dagslyssystemets komponenter i og/eller afskærmende udstyr.

(Daylight in Buildings: A Source Book on Daylighting Systems and Components, IEA Task 21, 2000.

(Se også LBNL Tips for Daylighting with Windows, and Simpson, Lighting Control.)

REGULERING AF KUNSTLYSET

Der findes en række strategier til styring og regulering af kunstlyset efter mængden af dagslys og tilstedeværelse af personer i lokalet.

Regulering vha. af en fotoelektronisk dagslyssensor kan være effektivt til at reducere energiforbruget til lys, varme og køling i nogle typer af rum, f.eks. kontorer, restauranter, butikker, industrielle bygninger og skoler.

Kontrol ved anvendelse af tænd-sluk eller [dæmpning](#) er pt. en standard måde til styring af belysningen, som gør det muligt at realisere et energisparepotentiale i praksis. Der er udviklet metoder til beregning af [potentielle besparelser](#) ved anvendelse af de forskellige typer regulering.

Strategier vedr. styring og regulering af kunstlyset indebefatter automatisk dæmpning af kunstlys i forhold til mængden af dagslys, manuel dæmpning og tænd-sluk af armaturer i forhold til benyttelse og konstant lysudsendelse (CLO: Constant Lumen Output), dvs. automatisk kompensation for lyskildernes [lysstrømsnedgang](#). De typer lysregulering, der er tilgængelige i dag, giver også mulighed for overvågning og diagnostik af energiforbruget til belysning og let tilgængelige dæmningskapaciteter. Forskningsresultater viser, at systemer til regulering af dagslys kan give holdbare el-besparelser på 30-41 % for de armaturer, der er placeret i en vindueszone, og 16-22 % for den række armaturer i et åbent kontorlandskab, der er placeret i anden række i forhold til vinduerne. (Rubinstein et al., 1999).

Med fremkomsten af billige, håndholdte fjernbetjening er brugerstyret dæmpning en mulighed, som brugerne er meget tilfredse med (Maniccia et al. 1999). I en undersøgelse ledet af Lawrence Berkeley National Laboratory, hvor man sammenlignede energibesparelser og effektiviteten af forskellige styrings- og reguleringsteknikker i kontorer gennem en periode på syv måneder i en bygning i San Fransisco, opnåede man besparelser på henholdsvis 23 % ved to-niveaus skift, 45 % med [bevægelsesmelder](#) og dæmpning af lyset, så det passer til arbejdsopgaven, 40 % med bevægelsesmelder og manuel dæmpning samt 44 % besparelser med bevægelsesmelder og automatisk dæmpning. (Jennings et al. 2000).

(Rubinstein F. , Jennings J., Avery D., Blanc S. Preliminary results from an advanced lighting controls testbed. Journal of the IESNA; Vol. 28 (no. 2): pp. 130-141, 1999.)

(Maniccia, D, Rutledge, B, Rea, M, Morrow,W. Occupant Use of Manual Lighting Controls inPrivate Offices, Journal of the IESNA, Vol. 28 (no. 2): pp. 42-56, 1999.)

(Judith D. Jennings, Francis M. Rubinstein, Dennis DiBartolomeo, Steven L. Blanc. Comparison of Control Options in Private Offices in an Advanced Lighting Controls Testbed, Journal of the IESNA, Vol. 29 (no. 2): pp. 39-60, 2000.)

Energibesparelser ved anvendelse af bevægelsesmelder eller dæmpning afhænger i vid udstrækning af brugernes adfærd. I kontorer, hvor brugerne sidder ved deres skriveborde det meste af dagen, vil dæmningskontrol spare mest energi. Medarbejdernes umiddelbare belysningskrav kan også være forskellige afhængig af, hvor gamle de er, hvilken type arbejde, de udfører og hvordan arbejdspladsen er indrettet. Det er derfor væsentligt at huske på, at et stort åbent areal med mange medarbejdere oftest kræver flere forskellige kontrolsystemer eller -strategier end et mindre område med en enkelt eller få brugere.

SBI anvisning 220 indeholder eksempler på typiske valg af styringsstrategier, herunder et skema med anbefalede styringsstrategier. Skemaet kan downloades via dette link: <http://www.sbi.dk/indeklima/lys/lysstyring/sbi-anvisning220-lysstyringsstrategier.pdf>

Tænd-sluk-systemer der anvendes i zoner nær vinduer har ofte en kortere tilbagebetalingstid end systemer til dæmpning af kunstlyset.

Et lysreguleringssystem kan bestå af forskellige elementer, som kan være installeret i forskellige konfigurationer og kombinationer. Generelt set kan belysning reguleres vha. følgende metoder:

- forprogrammerede belysnings-scenarier (tænd-sluk/eller dæmpning) tilpasset forskellige aktiviteter
- tilstedeværelsesafhængig aktivering/deaktivering (tænd-sluk) vha. bevægelsesmeldere
- dagslysfafhængig regulering (dæmpning) af kunstlysniveaue:
 - lyssensorer på de enkelte armaturer
 - lyssensorer i rummet
 - udendørs lyssensorer

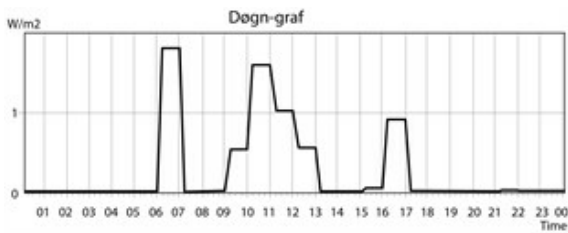
Dagslys, kunstlys og afskærmningssystem kan ikke behandles uafhængigt, da dagslysdesign påvirker behovet for kunstlys, og kan forårsage direkte sollys og [blænding](#), der kan være til gene for bygningens brugere. Dagslys er derfor en væsentlig udfordring i forbindelse med integrering

af de forskellige systemer.

Integreret og dynamisk afskærmning eller lysreguleringssystemer, f.eks. persienner og kunstlys er karakteristisk ved deres :

- evne til at optimere udnyttelsen af dagslys under varierende skyforhold
- evne til at regulere solvarmen og forhindre visuelt ubehag
- fortsatte tilpasning til brugerbehov via overstyringsfunktioner, hvis den automatiske styring ikke gør hvad brugerne har behov for.

Ofte kombineres dagslysstyret dæmpning af [lysstofrør](#) med automatisk regulerede persienner, som blokerer for direkte sollys ved automatisk at ændre lamellernes vinkel. Sådanne systemer er designet til at afbalancere den termiske belastning og styre dagslys- og kunstlysniveauer for at sikre et passende belyningsniveau på den enkelte arbejdsplads. Lamellernes vinkel tjekkes med jævne mellemrum af systemet og aktiveres, så de blokerer for direkte sol eller opretholder det ønskede dagslysniveau, hvis der er adgang til dagslys. Hvis dagslyset alene ikke er tilstrækkeligt til at opretholde det ønskede belyningsniveau, vil der blive tilført en passende mængde kunstlys.



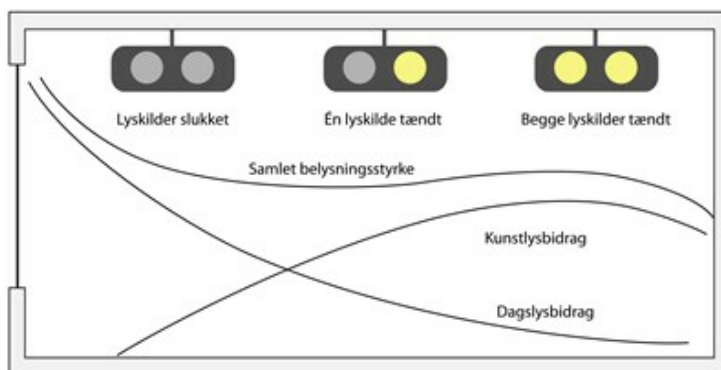
Eksempel på døgngraf, som viser i hvilke perioder lyset er tændt.

Denne type automatiske reguleringssystemer understøtter brugernes adfærd, hvilket indikerer, at manuel styring ofte ikke anvendes effektivt. Mange brugere lader kunstlyset være tændt, selvom dagslysniveauet er tilstrækkeligt. Når afskærmningen først er taget i brug for at forhindre sollyset i at nå ind, bliver den sjældent fjernet igen, til trods for at solen for længst er forsvundet bag et tykt lag af skyer.

Det er ikke muligt at spare energi i bygninger med tilstrækkeligt dagslys, hvis ikke kunstlyset kan dæmpes eller justeres manuelt (tænd-sluk) i forhold til mængden af dagslys. Energibesparelspotentialet ved brug af dagslysstyrede kontrolsystemer afhænger af dagslysklimaet samt af, hvor avanceret det aktuelle reguleringssystem er og størrelsen af reguleringszoner.

Fastlæggelse af reguleringszoner

[Zoneinddelingen](#) bør fastlægges efter områder med samme dagslystilgang og funktion. I åbne kontorlandskaber med en ensartet vinduesfacade, kan armaturerne grupperes i rækker parallelt med vinduet og separat kontrol for hver enkelt række fra vinduet og ind (vinduesbånd), eller i grupper ud for hvert enkelt vindue (opdelte vinduesrækker).



Skematisk repræsentation af belysningen i et rum med zoneopdelt dagslysregulering. Kurverne viser de relative belyningsniveauer for både dagslys og kunstlys. I takt med at dagslysniveauet falder jo længere væk fra vinduet man kommer, sørger kunstlys for at opveje niveauforskellen, så belyningsniveauet bliver jævnt i hele rummet. Kilde: LBNL Tips for Daylighting with Windows.

Lysreguleringszoner bør fastlægges, så de svarer til de zoner, som vinduesafskærmningen er inddelt i. Hvis f.eks. et enkelt kontor er udstyret med manuel afskærmning, vil der i hele kontoret skulle være (mindst) en reguleringszone. Antallet af zoner bør begrænses, hvor det er muligt, ved at gøre dem så store som muligt, da omkostningerne stiger med antal zoner. For store zoner kan på den anden side føre til, at nogle områder bliver underbelyst.

BRUGERTILFREDSHED

Selvom mange studier af dagslysregulering har fokuseret på energibesparelser, bør en vigtig faktor i forhold til at vælge lysregulering være forbedringen af den visuelle komfort og brugernes tilfredshed med systemet.

Det bør det altid overvejes, om brugerne skal have mulighed for at påvirke lysforholdene. Forskningsresultater viser, at den fysiske og den oplevede virkning af en dagslysregulering kan være meget forskellig. Hvis en bruger oplever den situation, som systemet har skabt, som ubehagelig på en eller anden måde (hvis f.eks. tænd-sluk-funktionen er for abrupt eller motorene, der styrer afskærmningen larmer), vil brugeren ofte afvise eller ødelægge systemet (f.eks. ved at sætte tape over en sensor eller trække stikket ud).

Forskningsresultater viser desuden, at tilfredsheden med lysregulering stiger, når brugerne kan ændre indstillingerne vha. en fjernbetjening eller lokalt placerede knapper ved deres arbejdsplads. Brugere forventer således, at kunne kontrollere det omgivende miljø. Brugerstyrede systemer gør brugerne i stand til at indstille forholdene på arbejdspladsen, så de passer til præstationer, aktivitet og placering. Mens et vægmonteret reguleringsdisplay kommunikerer med afskærmning og belysningsystem via kabel, fungerer en håndholdt fjernbetjening vha. infrarøde signaler.

Der bør være en passende kombination af automatisk og individuel kontrol, så man udnytter fordelene ved begge systemer.

SENSORPLACERING OG INDREGULERING

For at et reguleringssystem skal fungere optimalt er det helt afgørende at sensorer placeres korrekt og at systemet både indreguleres og holdes vedlige.

Installation af armaturer med fabriksindstillede sensorer er ikke meget anderledes end installation af konventionelle [armaturer](#). Installatøren behøver blot at måle belysningsniveauet på arbejdspladsen om natten (uden dagslys) og i løbet af dagen under hvert enkelt armatur og justere sensoren, indtil det ønskede niveau er opnået.

Det kan være svært at placere en dagslyssensor, hvis den er den eneste sensor, der styrer flere armaturer i en enkelt zone eller rum. Generelt set, bør sensoren kunne registrere et repræsentativt belysningsniveau på en flade på en arbejdsplads, men den bør ikke kunne registrere niveauer uden for eller det direkte (opadrettede) lys fra [indirekte lysende armaturer](#). Sensoren bør derfor placeres et sted, hvor den ikke vil rammes af lys fra opadrettede lamper, der giver indirekte belysning.

Det bedst egnede sted at placere en sensor i små rum (f.eks. enkeltmandskontorer) er normalt loftet tæt på den primære arbejdsplads.

At kalibrere en brugerstyret sensor betyder, at man kan indstille følsomhed og tidsinterval til de rette funktioner på forskellige steder, hvor enheden er placeret. Avancerede kontrolsystemer kan ofte kalibreres af tilhørende software. Generelt set følger installatører fabrikantens kalibreringsinstruktioner eller kræver, at en lokal repræsentant fra leverandøren står for kalibreringen. Kalibrering og idriftsættelse af regulering kræver som regel specialiseret viden.

Indregulering

Indregulering (også kaldet commissioning) sikrer, at lysreguleringssystemet fungerer så tæt på det tilsigtede design som muligt efter installation og før en bygning eller et rum tages i brug. Erfaringen viser, at der kan være mange problemer i opstartsfasen. En vellykket indregulering eliminerer de fleste af disse problemer, før brugerne tager bygningen i brug.

Under programmering og designfasen skal områder, der kræver særlig opmærksomhed, identificeres. I forbindelse med indreguleringen skal alt udstyr, inkl. dets interaktion med andet udstyr, tjekkes, og det skal bekræftes, at systemet fungerer optimalt. Der skal udarbejdes grundlæggende krav til virkemåde eller pejlemærker, som kan anvendes i forbindelse med procedurer for drift og [vedligeholdelse](#) gennem bygningens levetid.

Et vigtigt, men ofte overset, aspekt ved reguleringsinstallationer er uddannelse af det personale, der skal stå for vedligeholdelsen, i hvordan dagslysreguleringssystemet virker og betjenes. Selvom mange fabrikanter tilbyder teknisk support i forbindelse med installationen af systemet og i en periode derefter, er det nemmere og mere økonomisk, hvis de, der bruger bygningen, selv kan løse problemer med systemet. Uddannelse bør finde sted i indreguleringsperioden. De bygningsansvarlige bør vide, hvordan man betjener og justerer systemet og skal også forstå systemets virkemåde og hvad der skal gøres, hvis noget går galt. I tillæg til uddannelsen skal der også være en detaljeret og vel-indeksret betjenings- og vedligeholdelsesvejledning med oversigter, skemaer og ansvarsområder, inkl. udstyrsspecifikationer, ledningsføringsdiagrammer, fabrikantens garantibestemmelser og kontaktinformationer.

Brugerne bør desuden informeres i et brugervenligt sprog om hensigten med systemet og hvordan det betjenes. Dette bør gentages for hver ny ansat, og ikke blot de første brugere af bygningen, ligesom det kan være nødvendigt med genopfriskningskurser.

VEDLIGEHOJDELSE

Som enhver anden teknisk installation, kræver et belysningsystem inkl. regulering vedligeholdelse og service i faste intervaller.

Vedligeholdelse sikrer, at systemet virker på en energieffektiv måde og til gavn for brugerne, ved at bygningens systemer fungerer i henhold til specifikationerne. Budgetstramninger og underbemanding blandt vedligeholdelsespersonale er en hyppig årsag til, at bygningssystemer fungerer dårligt, hvilket leder til høje, langvarige energiomkostninger og fejl ved udstyret. Der bør udarbejdes et særligt budget for rettidig reparation og forebyggende vedligeholdelse.

De problemer, som bygningens brugere oplever, skal indberettes så hurtigt som muligt, og brugerne skal informeres om de tiltag, der taget for at afhjælpe problemerne. Brugere kan være gode medspillere i forhold til at opnå en bedre energieffektivitet, hvis de bliver gjort opmærksom på energiomkostningerne ved den individuelle adfærd og opmuntres til at deltage i at reducere bygningens samlede energiforbrug.

Behovet for vedligeholdelse afhænger af mange faktorer. Den mest i øjnene faldende er lyskildernes levetid, f.eks. det antal timer en lyskilde forventes at lyse. Ældre sensorer kan også påvirke systemets ydeevne. I nogle tilfælde kan det være nødvendig at re-kalibrere systemet, da sensorernes præcision med tiden forringes.

LED'er er kendt for at være ret stabile, men nogle af de plastiktyper, der benyttes til opale diffuserende afdækninger, kan blive nedbrudt. Når lyskilder udskiftes eller rengøres i forbindelse med den normale vedligeholdelsesprocedure, skal sensorer samtidig kontrolleres og rengøres.

Når der sker store lyskildeudskiftninger eller andre ændringer (f.eks. tilføjelse eller flytning af skillevægge eller store møbler), må der foretages målinger af [luminanser](#) og [belysningsstyrker](#), ligesom sensorerne skal recalibreres, så det sikres, at de fortsat fungerer i henhold til specifikationerne. Den daglige kontrol, styring og funktion af afskærmningsudstyret skal også undersøges for fejl, f.eks. kortslutninger i sensorer.

Når der sker fejl i større komponenter eller en større dele af systemet skal udskiftes, er det en god anledning til at overveje udskiftning til mere avancerede teknologier, som ikke var tilgængelige eller var for dyre, da systemet i sin tid blev konstrueret. Det er også værd at kontakte lokale myndigheder og energiselskaber for at undersøge, om der er incitamentter til erstatte udstyr med mere energieffektiv teknologi. Potentielle energi- og vedligeholdelsesbesparelser samt forbedringer af brugerens komfort bør vurderes i sammenhæng med de omkostninger, som installation af evt. nyt udstyr vil være forbundet med.

Hvis man foretager opdateringer, skal betjenings- og vedligeholdelsesprocedurer, såvel som brugerinformation ændres, så det svarer til det aktuelle system.

(Se Daylight-Responsive Controls IEA Task 21 and LBNL Tips for Daylighting with Windows.)

INTRODUKTION

Dagslysforholdene i en bygning eller et rum kan dokumenteres på flere måder og mere eller mindre præcist.

Blandt de simple former for dokumentation af dagslysmængden i et lokale er angivelse af forholdet mellem vindues- og gulvarealet. En anden simpel måde er at beregne [dagslysfaktoren](#) i en eller flere positioner.

I sammenhænge der kræver en mere detaljeret kortlægning af dagslysforholdene og mængden af dagslys kan [dynamiske dagslysparemetre](#), som baserer sig på en simulering af dagslysforholdene over et helt år, anvendes.

Til dagslysforholdene knytter sig desuden forhold vedr. [luminans](#), [blænding](#), [kontrast](#) og [udsyn](#).

De danske krav til dagslysets kvalitet og mængde fremgår af det danske [bygningsreglement](#), som man frit kan downloade.

Yderligere frivillige retningslinjer findes i den fælleseuropæiske standard DS/EN 17037 Dagslys i bygninger. Her introducerer en klimabaseret dagslysfaktor, som tager hensyn til bygningens geografiske placering. Det er fx ikke uvæsentligt for kravene til dagslys, om bygningen er placeret i København eller Rom.

FORHOLDET MELLEM RUDEAREAL OG GULV- ELLER FACADEAREAL

Forholdet mellem rudeareal og gulvareal hhv. facadeareal i et rum eller en bygning kan anvendes som simpel indikator på om mængden af dagslys er tilstrækkelig.

[Bygningsreglementet](#) (BR18) stiller bl.a. krav om, at arbejdsrum, opholdsrum i institutioner, undervisningslokaler og spiserum mv., samt beboelsesrum og køkken skal have en sådan tilgang af dagslys, at rummene er tilstrækkeligt belyste.

I reglementet står der, at tilstrækkelig tilgang af dagslys kan dokumenteres ved, at glasarealet uden skyggende forhold svarer til mindst 10 pct. af det relevante gulvareal. Det angivne glasareal skal korrigeres for evt. skyggende omgivelser, reduceret lystransmittans mv., som angivet i Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsens *Vejledning om lys og udsyn*. Alternativt kan tilstrækkeligt dagslys dokumenteres ved at eftervise, at den indvendige belysningsstyrke fra dagslys er 300 lux eller mere ved mindst halvdelen af det relevante gulvareal i mindst halvdelen af dagslystimerne. For beboelsesrum er det relevante gulvareal lig det indvendige gulvareal. For arbejdsrum mv. er det relevante gulvareal det areal, hvor der placeres arbejdspladser. Såfremt det kan dokumenteres, at rummene er tilstrækkeligt belyste, kan andre beregningsmetoder benyttes som dokumentation.

Kravet om tilgang af dagslys kan fraviges, når opfyldelsen vil betyde en afgørende ulempe for virksomhedens drift, f.eks. hvor produktionens art ikke tillader dagslys. Vinduer skal udføres, placeres og eventuelt afskærmes, så solindfald gennem dem ikke medfører overophedning i rummene, og så gener ved direkte solstråling kan undgås.

10%-metoden: Forholdet mellem vindue og facadeareal

Det vil ofte være nemmere at belyse et rum med dagslys, hvis rummet er karakteriseret ved et højde-dybdeforhold på ca. 50 %. For at opnå en fornuftig dagslysfaktor må et lodret vindue dække 15 % af vinduesvæggens areal. For at nå en gennemsnitlig dagslysfaktor på 5 %, må vinduet tilsvarende dække 35 % af vinduesvæggens areal.

Når det gælder kontorbygninger, viser det sig, at et dybere rum resulterer i et signifikant højere energiforbrug, når den gennemsnitlige dagslysfaktor hæves fra 2 % til 5 %. Den største virkning skyldes stigende kølebehov pga. den ekstra stigning i mængden af solvarme grundet den forøgede vinduesstørrelse.

300 lux-metoden: Klimabaserede dagslysberegninger

300 lux-metoden relaterer sig til den i standarden DS/EN 17037 beskrevne metodik. Metoden er mere detaljeret, og sikrer, at beregningerne tager højde for omgivelser, vinduesorientering, geografisk beliggenhed m.v. på en god måde.

Vinduets størrelse har betydning for brugertilfredsheden

I tillæg til påvirkningen af energiforbruget vil størrelsen på vinduet også påvirke brugertilfredsheden. Forskning viser, at et rudeareal på omkring 30 % af vinduesvæggarealet anses for mest tilfredsstillende uafhængig af udsigten.

De strategier, der knytter sig til enhver designproces, må altid evalueres i et overordnet perspektiv. Det er ikke alene et spørgsmål om den mængde lys, der er til stede på en vandret flade, men også om interaktionen mellem dagslystilgang, lyskvalitet, klima, bygningsfunktion og orientering samt byggematerialer og generelt energiforbrug såvel som brugerkomfort.

DAGSLYSFAKTOREN

En dagslysfaktor (DF) angiver forholdet mellem den mængde dagslys, der rammer en vandret indendørs flade og den mængde dagslys, der samtidig vil ramme en vandret udendørs flade, der er belyst af en fuld himmelhalvkugle.

Dagslysfaktoren angives normalt i % og er altså et mål for, hvor meget dagslys man kan forvente at have på en given plads i en bygning i forhold til den tilgængelige mængde dagslys udenfor bygningen.

Dagslysfaktorer kan bestemmes ud fra målinger af sammenhørende værdier for [belysningsstyrken](#) fra dagslyset alene på en uhindret vandret udendørs flade og belysningsstyrken fra dagslyset alene i det punkt, hvor man ønsker at bestemme dagslysfaktoren. Alle målinger skal udføres under stabile vejrforhold med en jævnt overskyet himmel. Til dette formål kan f.eks. anvendes et antal små lyssensorer forbundet med et udlæsningsinstrument eller en datalogger. Da dagslysfaktoren er uafhængig af absolutte belysningsniveauer og alene afhænger af rummets geometri og dets komponenter og mulige obstruktioner, f.eks. træer med og uden løv, er det en bekvem måde at måle dagslysets ydeevne på.

Det er et mål at optimere dagslysdistributionen til alle relevante indendørs arealer for at opnå passende dagslysniveauer. De beskrevne skalamodeller kan også bruges til at undersøge sollysindfald og effektiviteten af afskærmningsudstyret vha. en heliodon solsimulator. En heliodon er et enkelt bord, der kan roteres og tiltes, så man derved kan simulere effekten af forskellige breddegrader og årstider eller ændringer i solens position hen over døgnet og dets efterfølgende påvirkning af bygningens ydeevne.

DYNAMISKE DAGSLYSPARAMETRE

I modsætning til beregningen af dagslysfaktoren, som er statisk, afhænger dynamiske dagslysparemetre af faktiske forhold over længere tid.

Dynamiske dagslysparemetre baserer sig på en simulering af dagslysforholdene over et helt år med udgangspunkt i lokale vejrdata, mens beregning af dagslysfaktoren baserer sig på det samme øjebliksbillede, men uafhængig af bygningens geografiske placering.

Dynamiske dagslysparemetre tager højde for følgende faktorer:

- Orientering af vinduer og ovenlys i forhold til verdenshjørnerne
- Stedets længdegrad, og dermed variationen i solens gang på himlen hen over året
- Det lokale klima, og dermed eksempelvis hvor mange solskinstimer, der er på et år
- Bygningens benyttelsestid og brugernes eller automatikkens styring af dagslysuregerende systemer.

Årlig dagslyseksponering

Begrebet 'årlig lyseksponering', forkortet ALE (Annual Light Exposure), er udviklet i forbindelse med lysfølsomme museumsgenstande og dækker den årlige lyseksponering og er et udtryk for den akkumulerede [belysningsstyrke](#) i et givet punkt med en givet fladeorientering i rummet. Gennem de seneste år er ALE også blevet anvendt i forbindelse med dagslys, hvilket har affødt en omskrivning af navnet til Årlig dagslyseksponering (Annual DayLight Exposure).

På nuværende tidspunkt er den viden, der findes om fornuftige og brugbare data for Annual (Day)Light Exposure (ALE) generelt begrænset. Repræsentationen af den daglige gennemsnitlige dagslyseksponering for et rum baseret på standardiserede vejrdata kan give et let forståeligt indtryk af dagslysforholdene i rummet. Både dagslyseksponeringer for specifikke dage samt over længere perioder kan i fremtiden indgå i nye dagslystandarder, når fornuftige intervaller og værdier er blevet fastlagt.

Anvendelig dagslysbelysningsstyrke (Useful daylight illuminance - UDI)

UDI er en anden dynamisk dagslyspræstationsparameter, der fremkommer ved simulering af dagslyset i det pågældende rum med vejrdata over et helt år. UDI inddeles i tre kategorier i forhold til den ønskede belysningsstyrke, som rummets brugere har behov for:

- For lav dagslysbelysningsstyrke
- Acceptabel dagslysbelysningsstyrke
- For høj dagslysbelysningsstyrke (og heraf følgende problemer med blænding og/eller overtemperatur i rummet)

Dagslysbelysningsstyrken i et givet punkt opgøres som en procentdel af rummets benyttelsestid i forhold til de tre kategorier. Den optimale situation er, at dagslysbelysningsstyrken ligger i den midterste kategori i størstedelen af benyttelsestiden.

Dagslysaugonomi (Daylight Autonomy DA)

Dagslysaugonomien afviger ikke væsentligt fra UDI, da den blot tæller antallet af timer inden for benyttelsestiden med en dagslysbelysningsstyrke, der ligger over et fast referenceniveau. Kontinuerlig dagslysaugonomi (DAcon) optæller desuden timerne i brugstiden over et givet referenceniveau, men medtager også i et vist omfang værdier under referenceniveauet med en vægtning svarende til, hvor tæt de er på at overstige referenceniveauet.

Maksimal dagslysaugonomi (DA_{max}) tæller antallet af timer over et referenceniveau, der er 10 gange referenceniveauet for DA_{con} . Typisk anvendes referenceniveauer på hhv. 500 og 5.000 lux for DA_{con} og DA_{max} .

(Riis, A., Osterhaus, W. and Eid, O, Dagslys i Bygninger, 2011)

Dagslysfordeling

Mens belysningsstyrkens regelmæssighed er et vigtigt kriterium i mange kunstlysløsninger, bliver dagslys - pga. dets naturlige variation - ofte opfattet som mindre forstyrrende, selvom det er meget lidt ensartet. På arbejdspladser bør dagslyset dog distribueres så jævnt som muligt i hele rummet for at give størst fleksibilitet mht. placering af arbejdspladserne.

LUMINANSFORHOLD

Et vigtigt aspekt ved dagslyset er luminansforholdene, dvs. fordelingen af lysheder og luminanser i synsfeltet.

[Luminans](#) (måles i cd/m^2) er et udtryk for den absolutte [lysstyrke](#) fra et specifikt punkt på en flade, f.eks. en lyskilde eller en reflekterende væg.

[Synssansen](#) reagerer på forskelle i luminans mellem forskellige punkter i synsfeltet. Middelluminansen (den gennemsnitlige luminans) i synsfeltet bestemmer vores [adaptationsniveau](#) og justerer størrelsen af pupillerne i vores øjne.

Synssansen kan tilpasse sig middelluminanser inden for et meget bredt interval af luminanser, men adaptationsprocessen tager noget tid. Hvis man bevæger sig fra et meget mørkt rum ind i et meget lyst solbeskinnethed rum, tager det normalt nogle minutter, før vores øjne adapterer til det lyse rum. Hvis der er sådanne ekstreme luminansforskelle i det rum, hvor vi arbejder, f.eks. mellem vinduets overflade, der belyses af direkte sollys, og en mørkere tilstødende computerskærm, vil vores øjne have svært ved at fastholde adaptering til luminansen på arbejdsplanet (i dette tilfælde computerskærmen), hvilket kan resultere i [ubehagsblænding](#) eller [synsnedsættende blænding](#).

Luminansforhold

Overvejelser vedr. luminansforholdene i et lokale er måske en af de vigtigste faktorer i lysdesign, men samtidig en af de mest oversete faktorer. Passende afbalanceret belysning er den vigtigste faktor, når man skal designe et blændingsfrit miljø. Betydningen af dette afhænger af situationen.

Mens eksisterende [regler og standarder](#) for lysdesign hovedsageligt er baseret på anbefalinger for [belysningsstyrker](#) og typisk specifikke vandrette belysningsniveauer, bevæger den kvalitative tankegang sig pt. mod et luminansbaseret lysdesign. Årsagen er, at øjet reagerer på luminansforskelle, f.eks. forskelle i lyshedder i synsfeltet og i rummet generelt. Teoretisk set vil analyse af luminansforholdet og opdelingen i forskellige belysnings-scenarier gøre det muligt for designeren at vurdere de [visuelle komfortforhold](#). Jo tidligere en sådan vurdering sker, des bedre. Belysnings-scenarier kan være virtuelle eller virkelige. I det sidste tilfælde, kan skalamodeller og full-size mock-ups være en idé, afhængig af kompleksiteten af de mulige belysningsløsninger. Det er ikke nogen let sag at finde den rette luminansbalance for forskellige dele af synsfeltet i forbindelse med udførelse af [specifikke synsopgaver](#).

Designeren må være opmærksom på alle de potentielle opgaver, der vil blive udført i rummet, hvor opgaverne udføres og hvem der udfører dem.

Dagslysforhold i et rum og tilhørende udsynsforhold er nøglefaktorer, der påvirker brugerens indretning af arbejdspladsen. Deler man arbejdsplads med andre, vil det resultere i forskellige indretninger, hvor hver medarbejder har et individuelt område. Det vil ofte resultere i meget forskellige luminansfordelinger i synsområdet.

I dagslysdesign vil de mest kritiske luminansforhold være mellem dagslysåbninger, de umiddelbare tilstødende overflader og overfladerne omkring de enkelte arbejdspladser. Kendskab til geometrien mellem sol, himmel, dagslysåbninger og indendørs arealer på forskellige tidspunkter af dagen og årstiderne er nøglen til at skabe [gode synsbetingelser](#).

Luminansen af de overflader, der kan være i en persons synsfelt på et tidspunkt i løbet af udførelsen af en (svær) synsopgave, kan påvirke personens synsbetingelser. Størrelsen af denne påvirkning afhænger af overfladernes størrelse og placering. Lyse overflader tiltrækker sig opmærksomhed og vi er tilbøjelige til at se på dem, selvom de ikke indeholder nogen form for vigtig visuel information. Det er derfor vigtigt at være opmærksom på de kritiske luminansintervaller, som kan være forbundet med særligt kritiske overflader.

Hvis de anbefalede luminansforhold mellem arbejdsfeltet og de omgivende overflader overstiges, kan de resultere i ubehag eller direkte synsnedsættende blænding.

Det er vigtigt at have kontrol over sådanne luminansforhold gennem effektivt dagslysdesign, f.eks. ved at ændre [overfladereflektanser](#). I nogle tilfælde kan [kunstlys](#) bruges til at modvirke uforholdsmæssigt meget dagslys i et område ved at øge belysningsstyrken fra kunstlyset andre steder. [Energiforbruget](#) bør imidlertid tages i betragtning, før man vælger denne løsning.

I forbindelse med blændingskontrol anbefales det at holde luminansen på lodrette flader i synsfeltet nær vinduerne relativt høj, da det sænker risikoen for ubehagsblænding og øger brugertilfredsheden i et rum ved at skabe en lettere atmosfære. Kontrastfulde eller tværstribede mønstre på vægge eller lofter bør undgås. Luminansmønstre bør tilpasses arkitektur, indretning og lysdesign, f.eks. skal de forstærke den visuelle information i et område. Forvirrende lysmønstre kan resultere i tab af synsmæssig eller mental harmoni og føre til tab af orienteringsevne.

[Det menneskelige øje](#) har især svært ved at håndtere høje luminansniveauer i den centrale del af synsfeltet, da lyset i dette område vil ramme nethinden i fovea. I takt med at en potentiel blændingskilde flytter sig mod de perifere områder, vil grænsen for, hvilket luminansniveau, der virker generende, stige.

Da de fleste synsopgaver kræver, at man kigger lige ud eller en smule nedad, vil en høj luminans på en lodret flade i eller nær den centrale del af synsfeltet være mere ubehagelig end en luminans af samme størrelse fra en vandret overflade med den samme placering.

Tabellen herunder indeholder de anbefalede luminansgrænser, som den amerikanske forsker C. L. Robbins foreslår for de objekter, flader oa. i synsfeltet, der er placeret mere eller mindre perifert i forhold til synretningen, dvs. den centrale del af synsfeltet.

Forskydning i forhold til synsretningen	Anbefalet luminansgrænse
45°	2500 cd/m ²
35°	1800 cd/m ²
25°	1250 cd/m ²
15°	850 cd/m ²
5°	600 cd/m ²

Anbefalede luminansgrænser for objekter og flader i synsfeltet, der er placeret forskudt i forhold til synretningen. Kilde: Robbins, C. L. Daylighting: Design and Analysis. Van Nostrand Reinhold, New York, 1996.

Da udsyn til himlen eller et lyst område (f.eks. et snedækket område) gennem et vindue kan øge luminansværdien i et synsfeltet til over 10.000 cd/m², tilrådes det nøje at overveje, hvordan vinduet kan afskærmes, hvis der opstår ubehagsblænding.

Indendørs rumoverflader, skillevægge, møbler, armaturer og andet udstyr har også indflydelse på den generelle visuelle oplevelse og kan ændre et rums udseende betydeligt fra det oprindeligt planlagte design. For at dæmpe [kontrastforholdende](#) mellem et synsobjekt og det omgivelser, bør reflektanserne af et rums flader derfor være høj, men ikke skinnende. Kompetente lysdesignere kan foretage lejlighedsvis tjek, der kan sikre, at ansatte bliver informeret om ændringer, der ser ud til at have haft en negativ effekt på det visuelle miljø.

Lyshedsforhold

Lyshed er hovedsagelig det perceptuelle udtryk, som svarer til luminans. Lyshed og luminans er derfor tæt forbundet. Fordobler man en flades luminans, betyder det imidlertid ikke nødvendigvis, at fladen fremstår dobbelt så lys. For at kunne se forskel i lysheden, skal luminansen af et område typisk være tre gange så høj som den luminans, der sammenlignes med. Lysere overflader tiltrækker opmærksomhed og flader, der ser ud til at være for lyse, kan lede en persons opmærksomhed væk fra den visuelle opgave, vedkommende egentlig skulle koncentrere sig om.

Eftersom lysheder påvirker vores opfattelser af rum og omgivelser generelt, vil et lyst loft få et rum til at virke højere, end hvis loftet var mørkt og omvendt.

FORHOLD VEDR. UBEHAGSBLÆNDING

Gennem årene er udviklet mange forskellige metoder til at undgå ubehagsblænding. Mens de fleste har fokus på at undgå blænding fra kunstlys-kilder, er der også nogle få, der er specifikt rettet mod dagslysforhold.

Når man vurderer [ubehagsblænding](#), vurderer man som regel [luminansen](#) fra en blændingskilde mod baggrunden eller [adaptationsluminansen](#). Størrelse og position af blændingskilden har også betydning og skal regnes med.

En perifer blændingskilde er mindre tilbøjelig til at skabe blændingsproblemer end en blændingskilde i nærheden af det centrale synsfelt.

Ekspert er enige om, at der ikke er nogen eksakt metode til at undgå ubehagsblænding i et dagsoplyst rum. De to hyppigst anvendte formler er Daylight Glare Index (DGI), primært udviklet af Hopkins, og Daylight Glare Probability (DGP), udviklet af Wienold og Christoffersen. DGI lader til at være vel udbredt, men har alvorlige begrænsninger i forhold til konstruktionen af formler (f.eks. additiviteten af en blændingskilde) og forholdene, hvorunder den blev udviklet. DGP viser derimod et betydeligt potentiale. Yderligere undersøgelser af anvendeligheden af DGP-metoden i mange forskellige dagslysdesign er dog nødvendig.

Til sammenligning, f.eks. i forbindelse med prioriteringsanalyse af ubehagsblænding, har Osterhaus udviklet en luminansbaseret indikator, der benytter forholdet mellem gennemsnit og median for pixelluminansen henover et foto af typen High Dynamic Range Image (HDR). Metoden kan anvendes direkte sammen med billeder taget med et CCD-kamera.

Daylight Glare Index (DGI)

Daylight Glare Index blev udviklet af Hopkins på basis af undersøgelser af en række ensartede blændingskilder på det britiske Building Research Station og på Cornell University (Hopkinson 1963, Chauvel et al, 1982). De samlede forskningsresultater resulterede i en generel blændingsligning kendt som "Cornells formel". Først beregnes blændingen fra hver enkelt blændingskilde. Herefter lægges alle blændingsværdierne fra samtlige blændingskilder sammen til et samlet blændingsindeks.

$$DGI = 10 \times \log 0.48 \sum_{i=1}^n \frac{L_{si}^{1.6} \Omega_{si}^{0.8}}{L_b + (0.07 \omega_{si}^{0.5} L_{si})}$$

hvor:

L_s : lyskildens luminans [cd/m^2]

L_b : baggrundens middelluminans, beregnet uden lyskildens luminans [cd/m^2]

ω_s : den rumvinkel under hvilken beskueren ser blændingskilden [sr]

Ω_s : den rumvinkel under hvilken beskueren ser blændingskilden, korrigeret for den position i synsfeltet vha. positionsindekset P [sr] (Guth 1963)

DGI er en empirisk modifikation af BRS-GI (Building Research Station Glare Index), der viser effekten af en stor lyskilde og dens baggrundsluminans på blændingsoplevelsen. Først forsøgte Hopkins at ændre på baggrundsluminansen, så den indgik som et vægtet gennemsnit proportionalt med dens tilsyneladende størrelse og dens luminans i synsfeltet. Den formel, som dette koncept medførte, passede imidlertid ikke med de eksperimentelle data og Hopkins foretog derfor en ren empirisk korrektion i ligningens nævner.

Brugen af Cornells formel til bestemmelse af blænding forårsaget af dagslys har været accepteret siden 1960'erne og er rimeligt velunderbygget i forskning inden for hospitalsafdelinger og undervisningslokaler publiceret af Hopkins i de tidlige 1970'ere (Hopkinson 1971 and 1972). Undersøgelserne ser ud til at indikere, at mængden ubehagsblænding pga. dagslys (diffust lys) fra himlen set gennem et vindue kan forudsiges vha. et blændingsindeks baseret på Cornells formel. Der lader til at være større tolerance blandt iagttagere over for milde former for blænding fra himlen set gennem et vindue end overfor blænding fra kunstlys-kilder af samme størrelse, selvom tolerancen ikke omfatter blænding af alvorlig grad (Chauvel et al. 1982). For at tage hensyn til denne dagslystolerance, er Cornells formel blevet lettere modificeret ved at tilføje variable, der beskriver den gennemsnitlige luminans fra himlen i dagslysåbningens plan (Robbins 1986).

Daylight Glare Probability (DGP)

Grundidéen i den nye DGP-formel er en ligning, som indeholder dels den vertikale belysningsstyrke der rammer øjet (som mål for øjets adaptationsniveau), dels den centrale sum af den term i CIE blændingsindekset, der vedrører selve blændingskilden og endelig empirisk tilpasning af nogle konstanter.

Hopkinsons brug af baggrundsluminansen (L_b) som et mål for adaptationsniveauet er ikke velegnet, da store blændingskilder selv kan påvirke adaptationsniveauet. Derfor anvender DGP den lodrette belysningsstyrke på øjets plan (E_v) som mål for adaptationsniveauet. Dette understøttes af, at der opnås en noget højere korrelation for E_v end ved at bruge L_b som mål for adaptation i ligningen. Ligningen ser dermed således ud:

$$DGP = C_1 E_v + C_2 \log \left(1 + \sum \frac{L_{si}^2 \omega_{si}}{E_v^2 P_i^2} \right) + C_3$$

hvor:

$$C_1 = 5.87 \cdot 10^{-5} \quad C_2 = 9.18 \cdot 10^{-2} \quad C_3 = 0,16 \quad C_4 = 0,87$$

L_s : Lyskildens luminans [cd/m^2]

E_v : Den vertikale belysningsstyrke på øjet [lux]

ω_s : Den rumvinkel under hvilken beskueren ser blændingskilden [sr]

P: Guth positionsindekset

I dagslyssituationer kan vinduet skabe problemer, fordi dets luminans ofte ikke er ensartet og often dækker en stor del af synsfeltet. De dele af vinduet, hvor luminansen er domineret af himlen, har ofte meget høje luminanser, mens de dele, der er forbundet med udsigten i forgrunden, kan have signifikant lavere luminanser. Anvendes et håndholdt luminansmeter, er det tidskrævende og svært at indsamle passende luminansdata. Her er et CCD-kameraer, som kan opfange hele synsfeltet, mere brugbart, men desværre også dyrt. Et CCD-kamera kan bruges i forbindelse med High Dynamic Range Imaging (HRDI)-teknologi til at skabe et mere præcist billede af luminansforholdene i synsfeltet, som kan analyseres vha. passende computersoftware.

Luminansbaserede indikatorer

Den luminansbaserede indikatorer resulterer i relativt simple indekser, baseret på forholdet mellem forskellige luminanser af pixels henover et High Dynamic Range Image (HDRI).

Da maksimale pixelluminans er følsomme overfor afvigelser, anvendes gennemsnitlige og mediane værdier af pixelluminanser henover et HDRI. Metoden er under stadig udvikling.

(Wienold, J., and Christoffersen, J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. Energy and Buildings, 38, 2006, 743-757.)

(Osterhaus, W. Analysis of luminance histograms for the assessment of discomfort glare in daylight offices. Proceedings of Balkan Light 2008, 7-9 October 2008, Ljubljana, pp. 155-164.)

(Osterhaus, W. Design guidelines for glare-free daylight environments. Proceedings of LUX Europa, 11th European Lighting Congress, Istanbul, 9-11 September 2009.)

FORHOLD VEDR. KONTRAST OG MÆTNING

Dagslys kan give anledning til blænding som følge af for store kontraster eller mætningseffekter i omgivelserne.

Ved [perception](#) af ubehagsblænding er der tilsyneladende to mekanismer i spil. Den ene er kontrasteffekten, som opstår, når en lyskilde, muligvis kun med en moderat [belysningsstyrke](#), ses i et miljø med meget lavere belysningsstyrker og derfor skaber [blænding](#) pga. [kontrast](#). Den anden er mætningseffekten, som opstår, når en del af eller hele [nethinden](#), påvirkes af lys i en grad, så der udløses et maksimalt niveau af neural respons fra nethindens synsceller.

Et snedækket landskab, der oplyses af fuldt sollys, er komplet blottet for kontraster. På trods af den manglende kontrast, oplever de fleste mennesker akut ubehag pga. mætningen som forårsager en voldsom visuel respons.

Forskellige blændingsformler behandler denne kombination mellem de to blændingsmekanismer på forskellig måde. Dette giver desværre anledning til forskelle i vurderingen af blænding i situationer der er fuldstændig ens. At afhjælpe dette problem kræver yderligere undersøgelser.

(Iwata, T., Mochizuki, E., Itoh, D. Evaluation of Contrast Glare and Saturation Glare by Using Average Luminance of the Visual Field. Proceedings of BalkanLight 2008, Ljubljana, pp. 147-154.)

UDSYN TIL OMGIVELSERNE

Gennem tiderne er mennesket blevet vant til at opfatte objekter i dagslys og udsyn til omgivelserne giver os en følelse af at vi er forbundet med omverdenen.

At opleve gradueringen fra mørke til lys eller fra lys til mørke, variationerne i skygger og farver ved forskellige årstider og ændrede vejrforhold er afgørende for en persons velbefindende.

Derfor er det vigtigt at sørge for, at vinduer er udstyret med transparent, rent glas i en naturlig farve i øjenhøjde svarende til en person, der står op eller sidder ned.

Selvom tagvinduer giver personer mulighed for at følge med i vejrforhold og tid på dagen, giver de ikke meget udsyn til det omkringliggende landskab eller bymiljø. Derfor kan de ikke erstatte vinduer i forhold til at skabe en følelse af psykisk velbefindende.

Hvor det er muligt, bør en bygnings brugere kunne se himlen, landskabet eller bymiljøet, såvel som forgrunden, hvor de fleste udendørsaktiviteter finder sted.



Udsyn gennem vinduer i samme bygninger, men fra forskellige etager. Vinduets form og placering har stor betydning for udsynet.

INTRODUKTION

Begrebet designværktøjer dækker i denne sammenhæng simple grafiske værktøjer, skalamodeller, beregningsværktøjer mv., der gør det muligt at vurdere dagslysmængder og dagslysforhold så nøjagtigt som muligt inden opførelsen af en bygning.

[Beregningsprogrammer til pc](#) gør det muligt at simulere og analysere dagslys og/eller kunstlys i enkle eller komplekse rumgeometrier, mens [skalamodeller](#) normalt anvendes til demonstration og i forbindelse med undersøgelser i løbet af designprocessen. I nogle projekter kan det være en god idé at opbygge [fuldskala testrum eller mock-ups](#).

Der er formentlig bred enighed om, hvor vigtige beslutninger vedr. arkitektonisk design og detaljering af bygningssystemer og komponenter er for en bygningens energiforbrug og for dens brugeres trivsel og velbefindende. Alligevel fokuserer mange arkitekter og designere deres opmærksomhed på formelle og æstetiske aspekter, og energibesparelser kommer kun i fokus, hvis bygningsregulativer eller bygherre stiller specifikke krav om det.

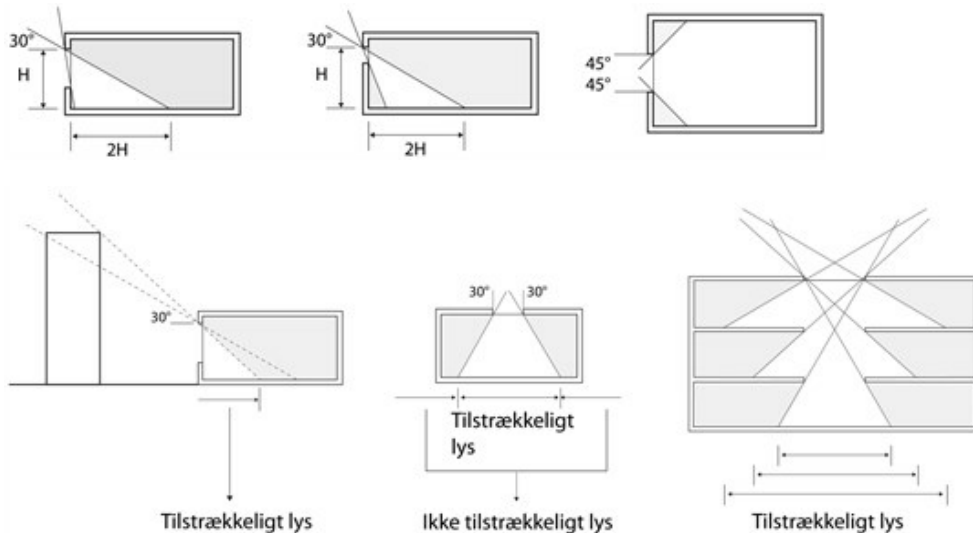
I de fleste tilfælde er opmærksomhed på energiforhold ikke en integreret del af designprocessen, men snarere en tilføjelse, der ikke er i stand til at frembringe de fordele, der kunne opnås med dagens tilgængelige teknologi.

Over hele verden arbejder forskningsinstitutter inden for bygning og energi på at levere brugervenlige, effektive og forståelige designværktøjer, der gør det muligt for arkitekter og ingeniører i løbet af hele designprocessen, at få et hurtig feedback om den indflydelse designbeslutninger har på energieffektiviteten og brugerkomforten. Dette er også tilfældet inden for dagslydesign.

GRAFISKE DAGSLYSVÆRKTØJER

Der findes enkle værktøjer til grafisk vurdering af dagslysforholdene i en bygning. Værktøjerne kan give hurtige svar på om man har truffet de rigtige beslutninger vedr. de forhold i en bygning, der vedrører dagslyset.

I figurene herunder ses skitser vedr. 30 og 45 graders dagslysregler. I figurene er vist de områder, hvor dagslysendfaldet i bygninger der vil være tilstrækkelig, hvis der ikke er udendørs obstruktioner.



Figurene viser de områder, hvor dagslysendfaldet i bygninger vil være tilstrækkelig, hvis der ikke er udendørs obstruktioner. Kilde: DETAIL Praxis Tageslicht Kunstlicht.

Himmelgrænseplan

Dagslysforholdene i en bygning afhænger i høj grad af bygningen og rummets placering i forhold til bygningens omgivelser og omgivelsernes afgrænsning af himmelrummet. Man taler i den forbindelse om et himmelgrænseplan, som afhænger af den eller de obstruktioner, der findes i omgivelserne, f.eks. en modstående bygning eller et stort træ.

Himmelgrænseplanets hældning er bestemt af afstanden til og højden af en given obstruktion i forhold til facadeåbningens eller vinduets begrænsninger.

BRS Daylight Protractors

I 1960'erne udviklede Hopkinson, Petherbridge og Longmore på Building Research Station (BRS - ny Building Research Establishment, BRE) i England et værktøj kaldet BRS Daylight Protractors (Hopkinson et al. Daylighting, William Heinemann Ltd., London 1966 og Longmore, BRS Daylight protractors. HMSO, London, 1968).

Værktøjet består af vinkelmålere til bestemmelse af dagslysfaktorer og anvendes sammen med planer og snit for et rum til at bestemme dagslysfaktoren i rum med sidelys eller ovenlys, eller i rum, hvor dagslysåbningerne vender ind mod et atrium. En detaljeret beskrivelse af metoden findes i [SBI-anvisning 203](#) (SBI, 2002).

FYSISKE MODELLER

Skalamodeller anvendes normalt i forbindelse med undersøgelser i løbet af designprocessen og til demonstrationsformål ved møder med bygherre og bygningsansvarlige.

Skalamodellerne kan tilpasses og skaleres på en måde, så de kan bruges til at forudsige dagslysniveauer og rumlig distribution af lyset med tilstrækkelig nøjagtighed. Dette er muligt, da skalaen ikke har indflydelse på, hvordan lyset opfører sig.

Simulering af solpositioner og himmelforhold

For at kunne simulere forskellige solpositioner og himmelforhold på et givent tidspunkt af året har institutter, arkitekt- og ingeniørskoler såvel som nogle lysdesignere bygget himmelsimulatorer, der gør det muligt for forskere og designere at teste dagslysforholdene i en bygning med en stor grad af nøjagtighed. Dette gør det muligt for arkitekter at bygge mere fleksible modeller, der kan inkorporere justerbare elementer, så der kan testes alternative designforslag. Forholdsvis nøjagtige himmelsimulatorer er tilgængelige på nogle uddannelsesinstitutioner.



Himmelsimulator på det schweiziske Federal Institute of Technology i Lausanne (EPFL). Simulatoren kan gengive alle eksisterende standard eller statistiske himmel modeller. En sjettedel af himmelhvelvet simuleres af 25 lamper og hele hemisfæren (baseret på Peter Tregenzas model af 145 himmelzoner) kan genskabes vha. seks-step scanning. Foto: Astrid Espenhain.

Enklere såkaldte spejlbokshimmelsimulatorer, der kan forudsige dagslysniveauer for situationer med overskyet himmel er tilgængelige på mange arkitekt- og ingeniørskoler rundt om i Europa. Nogle skoler har også mere sofistikerede solsimulatorer, der kan teste solafskærmingsudstyr og vurdere obstruktioner fra omkringliggende bygninger.



Kunstig himmel og solsimulator i spejlrum på Det Kongelige Kunstakademis Arkitektskole i

København. Fotos: Werner Osterhaus.



Himmel- og solsimulator hos lysdesigner Peter Andres i Hamborg. Fotos: Werner Osterhaus.

Med integration af mere avanceret teknisk udstyr i dagslyssimulatorer og eksisterende bygninger, f.eks. et videokamera kalibreret til [luminansmålinger](#), kan byggeforskere og arkitekter analysere fundamentale problemstillinger vedr. [visuel komfort](#), især [blænding](#). Disse emner har længe været behandlet temmelig intuitivt ved beregning, procedurerne har været meget tidskrævende eller kun mulige med højteknologisk computerudstyr.

FULDSKALA TESTRUM OG MOCK-UPS

I visse projekter kan det være tilrådeligt at udføre test i fuldskala testrum eller mock-ups med henblik på at vurdere dagslysmængder og dagslysforhold så nøjagtigt som muligt.

Fuldskalatest anbefales især, når andre simuleringværktøjer ikke kan håndtere kompleksiteten af den teknologi, designerne ønsker at benytte, eller hvis rummene er udstyret med en særlig designløsning, der ikke tidligere har været testet i tilstrækkelig grad. Dette gør sig især gældende for kvalitative krav som opfattelsen af rum og [visuel komfort](#) i komplekse dagslysdsgns.

Nogle af de kvalitative krav kan formelt undersøges vha. strukturerede videnskabelige modeller, der inkluderer:

- [perception](#) og [visuel adaptation](#) (ergo-oftalmologi)
- visuel komfort og ydeevne (visuel ergonomi)
- [lysudbredelse, transmission og refleksion](#) (fotometri)

Fuldskala mock-ups kan forhindre dyre fejltagelser, især hvis der skal bygges mange rum af den samme type.

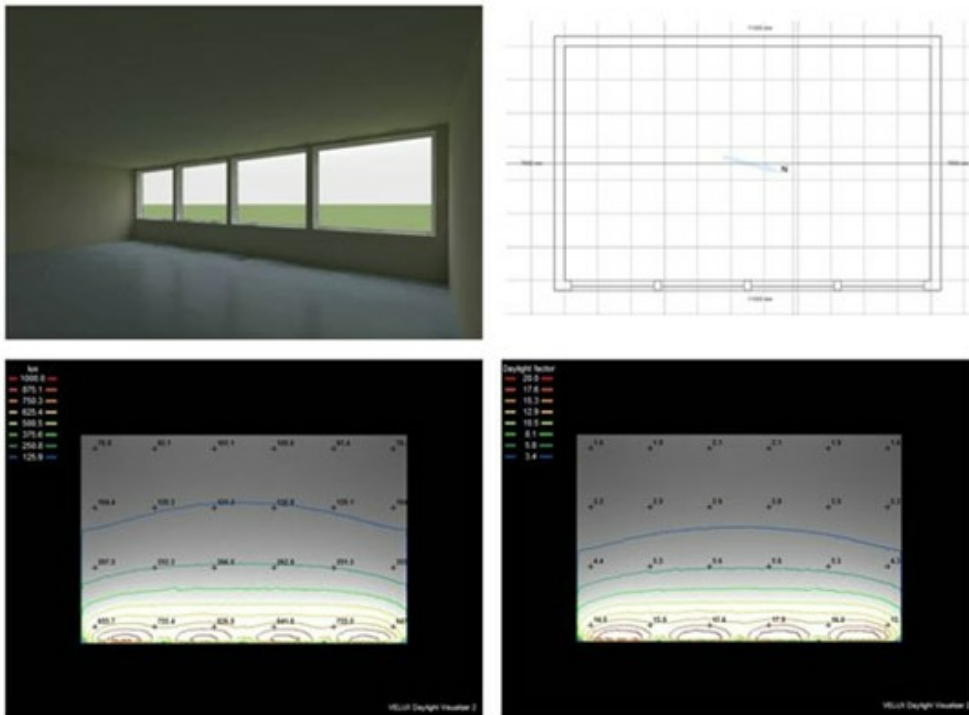
Et kendt eksempel er New York Times kontorbygning, hvor man i vid udstrækning testede vha. sådanne mock-ups.

(Se windows.lbl.gov/comm_perf/newyorktimes.htm)

VIRTUELLE MODELLER OG COMPUTERBASERET SIMULATION

Beregningsprogrammer til pc gør det muligt at simulere og analysere dagslys- og/eller kunstlys-systemer i enkle eller komplekse rumgeometrier vha. dagslysfaktorer og absolutte belynings- og luminansværdier.

Velux Daylight Visualizer er et nyttigt redskab i en tidlig fase af et designprojekt, da det grafiske input-interface gør det muligt at vurdere simple rumgeometrier. Programmet har desuden en importfunktion, som gør det muligt at håndtere temmelig komplekse bygningsgeometrier, men kræver, at man bygger simuleringmodellen i et eksternt CAD-program.

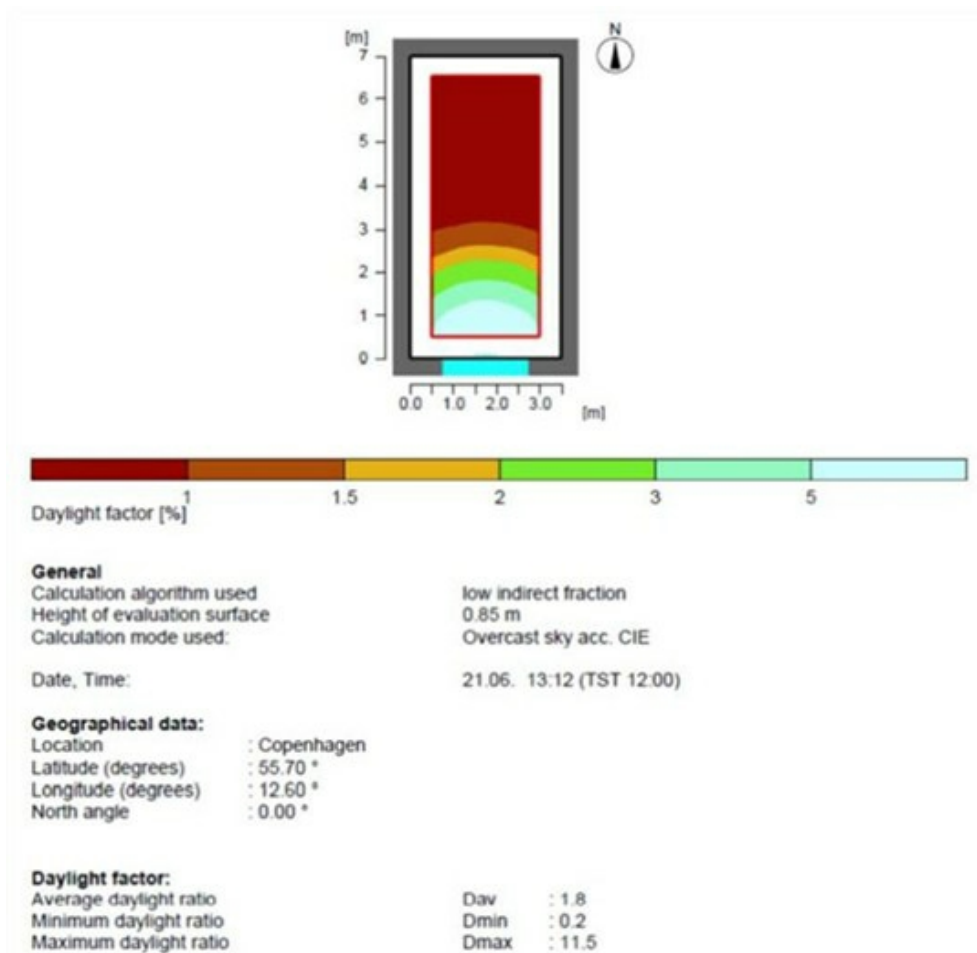


Simple dagslyssimulering med VELUX Daylight Visualizer 2.

Andre belynings- og simuleringværktøjer, der ofte bruges i Danmark, er DIALux, RELUX Pro and LightCalc. Som Velux Daylight Visualizer har disse programmer et rimelig intuitivt interface-design og giver mulighed for både dagslys- og kunstlysvurderinger. Med undtagelse af LightCalc, kan disse programmer beregne [blænding](#) i forbindelse med [kunstlys](#).



Simple dagslyssimulering med RELUX Pro.



Isodiagram for dagslysfaktorer i et rektangulært rum regnet i RELUX Pro.

Komplekse belsningsberegningssystemer

Mere komplekse og tekniske belsningsberegningssystemer som RADIANCE gør det muligt for brugerne at simulere næsten alle belsningsituationer med ekstraordinær nøjagtighed og fotografisk billedkvalitet. For at opnå et nemmere input- og outputinterface, er RADIANCE-simuleringsenheden desuden blevet indbygget i forskellige andre lysdesignværktøjer. IESVE RADIANCE er et eksempel på dette. Med RADIANCE kan man vurdere forskellige blændingsindekser for både dagslys og kunstlys. Selvom RADIANCE, i dets oprindelige UNIX-baserede form, kræver omfattende studieindsats, anvendes programmet af mange lysrelaterede forskningsinstitutioner og af designere over hele verden (se www.radiance.org).

Ulemperne ved alle de ovennævnte beregningsprogrammer er deres statiske analyse af forholdene på en given dato og tidspunkt. For at undgå disse begrænsninger og muliggøre en dynamisk vurdering af daglysforholdene over et helt år eller dele af et år, er der udviklet yderligere simuleringværktøjer. DAYSIM er et eksempel på dette.

Nogle programmer giver mulighed for klimabaseret dagslyssimulation og kan beregne de [termiske forhold](#) omkring vindueselementer og i forhold til lys, termisk komfort og energieffektivitet. Eksempler på sådanne programmer er Energy-Plus og BSim. Da det primære fokus for disse programmer er på energieffektivitet, er beregninger af dagslysforhold mere simple i forhold til nogen af de øvrige programmer.

For at hjælpe fremtidens designere til at tage de rigtige beslutninger, tilbyder mange arkitekt- og ingeniørskoler i dag kurser, der inkluderer simuleringsopgaver og vurdering af beslutninger vedr. lysdesign.

INTRODUKTION

Vil man skabe optimale dagslysforhold i en bygning, må man tage højde for alle relevante forhold vedr. beliggenhed, omgivelser, facade, indretning og indeklima, så alle komponenter tilsammen bidrager til at skabe termisk, akustisk og visuel komfort på en økonomisk og energieffektiv måde.

En arkitektonisk proces eller en proces omkring bygningsdesign, som har til formål at skabe form og rum, der giver gode og æstetisk behagelige arbejds- og levetilstande for brugerne, sker normalt ikke i en lineær række af aktiviteter. En ikke-lineær række indebærer at designbehov vurderes gentagne gange i processen baseret på de erfaringer, der opstår undervejs. Når som helst i designprocessen kan det ske, at et ønsket designkriterium af en eller anden årsag ikke kan opfyldes. Dette kan kræve en revurdering af tidligere designbeslutninger samt ændringer af forudsætninger eller tiltag.

Hvilke interessenter, der involveres i designprocessen kan variere afhængig af størrelse og kompleksitet af designopgaven. Dagslysdesigneren kan være ansat af og arbejde direkte med ejeren af bygningen og/eller af repræsentanter for ejeren. I andre tilfælde kan dagslysdesigneren være arkitekten eller en ansat af arkitekten og samarbejde med ejeren og andre medlemmer af designteamet, herunder indretningsarkitekter, ingeniører og/eller energikonsulenter. I alle tilfælde er god kommunikation mellem alle parter nøglen til et vellykket design.

OPTIMAL UDNYTTELSE AF DAGSLYSET

Potentialet for dagslysudnyttelse afhænger i høj grad af de tidligste designbeslutninger vedr. området, bygningens orientering, bygningens form og størrelse samt placeringer af åbninger i facaden.

Hvis en bygnings udvendige overfladeareal i forhold til dens størrelse er begrænset, er det svært at oplyse en bygning alene med naturligt dagslys. På samme måde vil dagslystilgangen også være begrænset, hvis bygningen placeres i skyggen af en høj kontorbygning.

I både forskning og design inden for dagslys forsøger man i dag at tage højde for alle relevante forhold - beliggenhed og omgivelser, strukturelle forhold, bygningsfacade, indretningsdesignelementer og indeklimasystemer - på en måde, så alle komponenter til sammen bidrager til at skabe termisk, akustisk og [visuel komfort](#) på en økonomisk og energieffektiv måde, og samtidig sikrer god luftkvalitet og sikkerhed for brugeren.

Avancerede computersystemer kan bruges i design- og konstruktionsfasen og til at overvåge en bygnings ydeevne efter den er taget i brug, med henblik på at sikre, at problemer kan blive opdaget og løst så tidligt som muligt.

For at kunne opstille specifikke designkrav for den enkelte bygning, der skal forsynes med naturligt dagslys, må designeren gøre en række foranstaltninger. Det er vigtigt at udføre en detaljeret område- og klimaanalyse for at indsamle [data om solstråling](#) og dagslysniveauer. Dagslystilgangen varierer henover dagen og året. Nogle dage er overskyede, andre klare og solrige. Vinterdage er kortere, sommerdage er længere. En klar sommerdag kan give dagslysniveauer på 100.000 lux eller mere, men på en meget mørk og regnfuld dag eller ved skumring og daggry, kan vi kun måle få hundrede lux.

Lokale data kan være tilgængelige fra en vejrstation i en lufthavn i nærheden. Men de vil formentlig skulle justeres i forhold til forskelle i terrænet mellem lufthavnen og det område, hvor bygningen skal opføres. Området kan desuden være påvirket af omgivende bygninger og forskellige topografiske forhold.

For at man kan forudsige belsningsniveauer på en typisk dag ude og inde rimelig præcist, kræves pålidelig information om gennemsnitlige dagslysniveauer. For at kunne fastsætte behovet for supplerende kunstlys, må lysdesigneren desuden vide, hvornår og hvor ofte dagslysniveauerne ikke alene kan opfylde de anbefalede belsningsniveauer.

Programmer og projektbeskrivelser

Godt design skal tilgodese både funktionalitet og æstetik. En bygning, som er visuelt behagelig, men som ikke fungerer i overensstemmelse med brugernes krav og ønsker, vil formentlig ikke få succes. I den vigtige første fase af et projekt samler dagslysgen designeren viden om brugernes og bygherrens behov, ønsker og krav.

Det er vigtigt, at alle involverede parter vurderer, hvilke opgaver der skal løses i bygningen, og hvilke krav der er forbundet med disse opgaver. En proces, der involverer forskellige brugergrupper er en måde at fastlægge behov og ønsker.

En vurdering af de fremtidige brugeres nuværende faciliteter såvel som disses styrker og svagheder kan også tilføje værdifuld information og give inspiration til processen. Lysdesign, i særdeleshed dagslysgen design, må tage højde for mange faktorer for at give den korrekte kvalitet og kvantitet af lyset på en måde, som også sikrer bygningens arkitektoniske kvalitet. Ved at besøge området får designeren mulighed for at opleve den kontekst, som bygningen vil blive placeret i.

På baggrund af bygherrens og det øvrige projektteams mål, skal dagslysgen designeren tage stilling til:

- rumfunktioner og krav til bygningens planløsning
- komfortniveau og tilfredshed blandt beboere, ansatte, brugere eller besøgende
- visuelle og perceptuelle behov afhængig af bl.a. beboernes alder og de opgaver, der skal løses
- arkitektoniske muligheder og begrænsninger, inkl. kontekst, potentielle obstruktioner, byggematerialer, rumoverflader og arkitektonisk stil
- indarbejdelse af særlige udsyn og synsretninger fra bygningen
- bygningens ønskede udtryk
- effektivitetsmål for dagslys, belsning, varme, køling, ventilation og energiforbrug
- særlige krav om fleksibilitet i den fremtidige indretning af rum og arbejdspladser
- sikkerhedshensyn
- forhold omkring vedligeholdelse
- budgetindikationer og -begrænsninger

Projektbeskrivelsen eller programmet udarbejdes på basis af disse og eventuelle øvrige overvejelser. Dagslysgen designeren må desuden etablere rammer for at kunne vurdere, hvordan

den dagslysbelyste bygning vil virke på rummets brugere. Dette kræver en reference som det endelige design kan bedømmes på baggrund af.

"Det store billede" eller konceptuelle design

Når et program eller en projektbeskrivelse vedr. design og konstruktion af en ny bygning er etableret, vil lysdesigneren typisk deltage i aktiviteter, der har fokus på "det store billede" eller det overordnede koncept. De tidlige designbeslutninger vil have en større effekt på hele bygningens effektivitet - både i forhold til brugertilfredshed og i forhold til bæredygtighed (f.eks. energiforbrug, materialevalg, HVAC systemer etc.).

I indvendige rum, hvor sollys (direkte lys fra solen) og dagslys (diffust lys fra himlen og reflekteret lys fra omgivelserne) er en vigtig del af belysningsmiljø, må den tidlige del af designprocessen derfor sikre korrekt placering af bygningen i relation til området og det omgivende miljø, korrekt orientering, korrekt fordeling af bygningsmasse, rumplan, samt størrelse og udformning på lysåbninger.

DAGSLYS OG KLIMA

For at kunne opstille detaljerede mål for dagslysets effektivitet må dagslysgenlydningen kende til de makro- og mikroklimatiske forhold i det område en kommende bygning skal placeres i.

Mens klimadata fra den nærmeste vejrstation kan give et overordnet billede af områdets klima, kan forholdene omkring bygningen være påvirket af lokale vejr mønstre bestemt af landskab- og vandforhold. De lokale vejr mønstre kan påvirke temperatur, fugtighed, tåge og skydække, men også vindforhold kan kræve et andet design end det, som data fra den nærmeste vejrstation viser.

Områdelayout og kontekst

Solens position er særlig interessant for designeren pga. dens potentielt store bidrag til belystningen. For at forstå en bygning omgivelser og vurdere et områdes eksponering for direkte sollys kan man benytte et skyggediagram (horizon obstruction diagram), der viser det tidspunkt, hvor direkte sollys er blokeret fra at ramme noget punkt i området/bygningen.

Man kan plote en "skyline" direkte på et solbanediagram (sun path diagram) for den aktuelle breddegrad med hjælp fra en transit eller en teodolit.

I forbindelse med andre bygninger og landskaber (topografier), der omgiver bygningsområdet, må træer og anden bevoksning også tages i betragtning.

Det kan anbefales at vurdere, hvordan topografien og konteksten i et område vil påvirke andre indeklimaparametre i en bygning, f.eks. varme og køling, vind og fugtighed. En bygning, der ligger på toppen af en bakke, kan være udsat for stærk vind, som gør anvendelse af især udendørs afskærmning svær eller umulig. En bygning i en dal kan være mindre eksponeret for sollys til opvarmning og omgivet af mere kølig luft og fugtighed, hvilket kan resultere i øgede krav til den termiske modstand i vægge og vinduessystemer. En bygning på en skråning, der vender mod solen har en tendens til at være varmere og have større tilgang af dagslys end en bygning, der ligger på en skråning, der vender væk fra solen. Fremherskende vinde må tages i betragtning, da de kan have afgørende betydning for de [termiske forhold](#).

BYGNINGSMASSE OG ORIENTERING

I de tidlige stadier af en designproces er overvejelser vedr. bygningens ydre form, geometri og orientering yderst vigtige, idet gode dagslysforhold i høj grad er bestemt af eksponeringen af bygningens indre imod himlen.

I enetages bygninger eller øverste etage i fleretages bygninger kan både oven- og sidelysstrategier anvendes. Dagslysåbninger i taget er især effektive til at belyse vandrette flader, da cosinus-reduktionen pga. jordens atmosfære er mindre mod zenit end mod horisonten.

Tidlige tiders arkitekter forstod, at dybden af et rum er begrænset af behovet for naturligt lys. Højden af vinduets karm, den overordnede højde og bredde af vinduet er alle kritiske parametre. På samme måde er en bygnings overordnede dybde begrænset af, hvor dybt dagslyset kan trænge ind i bygningen. Derfor har bygninger med meget dagslys ofte en særlig grundplan.

Hvis man skal udnytte dagslyset i fleretages bygninger effektivt, vil smalle etager, der tillader dagslys at nå ind i alle områder af etagen, være det mest optimale. I mange bygninger, er bygningens korte tværsnit derfor begrænset til ca. 14 meter i dybden med op til 6 meter dybe rum på hver side af en op til 2 meter bred midtergang.

Fingerplaner, dvs. planer med vinger tilknyttet bygningskroppen, kan anvendes, hvis langstrakte etageplaner ikke kan indpasses i bygningsområdet eller ikke er ønskelige af andre årsager. Der findes forskellige etageplaner, der omtrent ligner bogstaverne I, L, F, E, H, U og O.

I nogle rum vil det være muligt at få ovenlys eller sidelys fra mere end en side af bygningen. Dog bør man overveje om forskelle i orienteringen vil påvirke den mængde dagslys, der rent faktisk kan nå ind i rummet. [Refleksion](#) fra rummets vægge er en anden vigtig faktor. Jo højere refleksion i rummet, jo mere lys vil nå ind i den bagerste del af rummet og jo mere jævn vil dagslysfordelingen være.

Ved højere fingerplansbygninger, er man nødt til at tage højde for fingrenes obstruktionsvirkning på andre dele af bygningen. (Se f.eks. figur 7-5 på s. 65 i Fuller Moore (1985), *Concepts and Practice of Architectural Daylighting*, VNR, New York)

Bygningsgeometrier, der inkluderer gårde eller atrier (gårde dækket med glas), er andre muligheder, der sikrer en god tilgang af dagslys. Da områder, der vender mod det indre af en gård eller et atrium, kun er lidt eller slet ikke direkte eksponeret mod himlen, må fladerne omkring gården eller atriet være så lyse som muligt uden at være spejlende med henblik på at øge refleksionen. På den anden side reducerer gårde og atrier behovet for [solafskærmning og blændingskontrol](#), da de skærmer de facader, der vender mod gården fra direkte sollys fra en lavtstående sol. Det er vigtigt, at gårde og atrier er tilstrækkelig store til, at rum i de nederste etager er eksponeret mod himlen.

Enkle designværktøjer kan bruges til at sikre, at de vigtige kriterier for dagslyseksponering opfyldes. Det kan tilrådes at udføre indledende energieffektivitetsberegninger på dette stadie og ændre konceptuelle designbeslutninger, hvis det er nødvendigt.

UDVIKLING AF VINDUESSYSTEM

Afhængig af en bygnings generelle form og orientering, må man i forbindelse med udvikling af bygningens vinduessystem tage højde for en række centrale faktorer, herunder størrelser, placering, glas og afskærmning.

Hvis bygningen er karakteriseret ved et smalt 'footprint' og rum med begrænset dybde, er det normalt tilstrækkeligt at sørge for vinduer i bygningens facade. Fastlæggelse af den rigtige vinduesstørrelse må ske i forhold til krav til termiske forhold og [lystransmittans](#). Lystransmittans og vinduesstørrelse bestemmer dagslysbelysningstyrken i et rum. Jo lavere lystransmittans glasset har, jo større skal mængden af glas i facaden være.

Hvis en bygning er karakteriseret ved et stort footprint og dybe rum, vil kun de arealer i bygningen, der er tæt på facaden, blive effektivt belyst gennem dagslysåbninger i facaden. Den øverste etage vil normalt kunne belyses gennem lysåbninger i tagfladen. Til at belyse sektioner i de indre dele af bygningen kan man overveje gårde eller atrier (glasoverdækkede gårde).

Gennem designprocessen må der tages yderligere beslutninger mht. eksakte placeringer og størrelser af vinduesåbninger, såvel som passende afskærmningsudstyr og glasteknologi samt interaktionen mellem dagslys og kunstlyssystemer. Dette inkluderer dels inddeling af belysningen i zoner til brug i forbindelse med dagslysstyring, dels koordinering af lyskilder i forhold til farveegenskaber ([farvegivning](#) og [farvetemperatur](#)) samt operationelle principper (f.eks. dæmpning). Visuelle komfortkriterier må også kontrolleres på dette stadie, ligesom detaljerede analyser må foretages med henblik på at eliminere potentielle blændingsproblemer og andre gener.

Det er desuden vigtigt at koordinere dagslys og kunstlyssystemer med udvælgelse og funktion af bygningens varme-, kølings- og ventilationssystem. Da der er klare forbindelser mellem [overophedning pga. solvarme](#), [varmetab](#) via dagslysåbninger og den energi, der kræves til at drive et køleanlæg, må dette ikke overlades til tilfældighederne. Der anbefales derfor at benytte passende værktøjer til bygningsenergieffektivisering i forbindelse med udvælgelse og konfiguration af disse systemer. Hvis det er nødvendigt, og dagslyssystemet skaber for mange problemer til at der kan opnås en energieffektiv og tilstrækkelig behagelig kombination af systemer, må designbeslutningerne revideres.

OPTIMERING AF DAGSLYSDESIGN

At skabe et optimalt dagslysgdesign kræver grundige og bevidste tanker omkring, hvilke parametre, der skal integreres og hvordan.

Selv med meget strukturerede og velgennemtænkte designprocesser er der ofte betydelig plads til optimering af det endelige resultat. Det er tilrådeligt at opstille ambitiøse men passende effektivitetsmål, der kan revideres i løbet af designprocessen, så det sikres at målene kan nås og måske endda forbedres yderligere.

Hvor langt forbedringerne kan gå, afhænger normalt af den tid og det budget, der er til rådighed, men også af designerens erfaring. Jo mere erfaren en designer er, jo mere vil vedkommende have øje for yderligere muligheder for at optimere dagslysgforholdene.

Bygningsform, design af dagslysgåbninger, bygningens energieffektivitet og bygningens indeklima er indbyrdes afhængige. Derfor er det klart, at optimerede dagslysgforhold sjældent alene bidrager med den bedste generelle designløsning.

Dagslysgintegration

Dagslysgdesign må modificeres i forhold til og integreres med andre indeklimamæssige overvejelser. [Udsyn](#), termisk komfort, naturlig luftcirkulation, akustik og [kunstlysg](#) er alle elementer, der skal indgå i overvejelserne. En ændring i bygnings- eller komponentdesign i forhold til én indeklimaparameter vil ofte påvirke andre parametre - et vindue, der kan åbnes og give naturlig luftgennemstrømning vil også tillade støj at komme ind i rummet. Derfor må man overveje alle indeklimamæssige faktorer samtidig.

Passende integration af dagslysg med bygningssystemer er nødvendige i forhold til lysstyring og mekanisk systemkoordinering. Denne integration af de forskellige elementer kan kun opnås gennem et nøje koordineret design og et kalibreret dagslysg- og kunstlysgsystem. [Computerberegningstværktøjer](#) kan hjælpe designeren til at kvantificere betydningen af beslutninger vedr. dagslysg i forhold til belygningsniveauer og energibesparelser.

Koordinering af systemer

Udover interessen for dagslysgets betydning for [perception](#) og [visuel komfort](#) er der kommet fornyet interesse i bygningsindustrien for effekten af dagslysgdesign på bygningens energieffektivitet og udvælgelsen af systemer til kontrol af indeklima og bygningsservice.

Overskudsvarme i en bygning (cooling load) må fjernes ved køling, air-condition eller ventilationsudstyr. Dette gælder især for større kontorbygninger, hvor det ofte ikke er muligt at skabe naturlig ventilation, fordi vinduerne ikke kan åbnes, da det vil forstyrre virkningen af den mekaniske køling. På samme måde vil store vinduespartier skabe for stort varmetab gennem vinduet om vinteren. Det er derfor vigtigt, at interaktionen mellem dagslysg, solafskærmning og mekaniske systemer, der benyttes til opvarmning, køling og ventilation af bygningen, overvejes nøje. Jo tidligere i designprocessen dette sker, jo større er chancen for at opnå en god balance.

Ideelt set, bør man diskutere belygning, opvarmning, ventilation, airconditioning (HVAC) og kontrolteknologier tidligt i designprocessen, så det er muligt at opnå et integreret bygningssystem, der kan udfylde brugernes behov og samtidig sikre et lavt energiforbrug. En sådan holistisk tilgang til teknologier i arkitekturen er i fokus i diskussionen om "intelligente bygninger".

Koordinering af kunstlysg

Målet er at udnytte dagslysgenergien på en måde, så energiforbruget til den kunstige belygning kan fjernes helt eller delvist, og den del af kølebehovet, der skyldes varme fra kunstlysg, kan reduceres. Studier udført af Electric Power Research Institute (EPRI) indikerer, at elforbruget til kunstlysg i USA udgør 20 % - 25 % af det totale energiforbrug. I den kommercielle sektor i USA udgør elforbruget til belygning tilsvarende 37 % (34 % indendørs, 3 % udendørs) af det samlede forbrug.

Når man vælger en kunstig belygning, der skal integreres med dagslysg, er det vigtigt at vælge lyskilder, der har en passende [farve](#) og [farvegengivelse](#), er [energieffektive](#) og som er velegnede til dagslysgstyring. [Passende rumlig fordeling af lyset fra armaturerne](#), uden at der skabes uønskede sideeffekter i form af [blænding](#), er også vigtig. Indirekte lysende armaturer giver typisk færre blændingsproblemer, men er ikke så energieffektive som direkte lysende armaturer. Indirekte lysende armaturer giver desuden i et mindre interessant belygningsmiljø pga. mere reflekteret end direkte lys.

Brugerbaseret bygningsevaluering (Post-Occupancy Evaluations - POE)

En anden måde at øge effektiviteten af dagslysg i bygninger er at lære af andres succeser og fejl i eksisterende bygninger. I den forbindelse er POE et fremragende værktøj.

Brugerbaserede bygningsevalueringssystemer giver et godt indtryk af, hvordan en bygningssdesign fungerer i praksis. POE har typisk følgende formål:

- at identificere i hvor høj grad bygningen modsvarer det tilsigtede design
- at afgøre i hvor høj grad bygningen lever op til brugernes krav og ønsker
- at foreslå potentielle modifikationer, der kan forbedre områder, der ikke er i overensstemmelse med brugernes behov
- at tilpasse bygningen og dens udstyr løbende til nye funktioner, brugere og behov
- at identificere positive tiltag og viden, som kan indarbejdes i fremtidige bygningsprojekter.

I tillæg til gennemgang af bygningsprogrammer og designplaner, konstruktionstegninger og tilhørende dokumenter, interviews med forskellige brugere af bygningen eller interessegrupper samt indsamling af relevant information i øvrigt, involverer POE ofte registrering af fysiske mål for bygningens effektivitet. Ved evaluering af dagslyseffektiviteten, kan det sidste inkludere en detaljeret vurdering af belysningsmiljøet i repræsentative rum og områder i bygningen, hvor der er blevet identificeret problemer eller hvor der findes fremragende belysningsforhold.

Den synlige kvalitet ved bygningens rum afhænger af faktorer som [farver](#), flader, [reflektanser](#), positioner af [synsopgaver](#) (f.eks. arbejdspladser), [blænding](#) samt dagslys- og kunstlysniveauer. Nogle faktorer kan evalueres ved enkle visuelle observationer, andre kræver et trænet øje eller brug af teknisk udstyr eller tekniske metoder samt kendskab til belysnings- og styringsteknologi. I det enkleste tilfælde må evalueringsteamet udføre målinger af [belysningsstyrker](#) i rummet og regelmæssighed i kritiske punkter, målinger af [luminanser](#) med [luminansmeter](#) eller CCD kamera samt vurdere potentielle blændingsproblemer og betjening af belysningen og betjeningsanordninger i forbindelse med denne.

En systematisk undersøgelse af brugernes holdning til det indendørs miljø kan hjælpe til at forstå fordele og problemer ved dagslyssystem inkl. betjening, når dette er tilpasset den specifikke bygning og de forhold, der er skabt af bygningsdesignet og bygningens anvendelse. Udtrykt utilfredshed må bruges til at prøve at forstå, hvor og hvorfor problemerne er opstået. På denne måde kan potentielle ændringer foretages og forholdene forbedres.

Eftersom brugerne er mennesker, er det normalt ikke muligt at finde et system, der kan accepteres af alle brugere til alle tider. Det er vigtigt at være opmærksom på dette, når man udarbejder undersøgelser og også i forbindelse med udførelsen af dem. Da dagslysforholdene ændrer sig afhængig af skydækket, tid på dagen og året, kan en enkeltstående undersøgelse ikke anses for at være repræsentativ for dagslyskvaliteten i bygningen eller dens systemer.

Brugernes reaktion på forskellige udendørsforhold må betragtes over en lang periode. Dette medfører, at en undersøgelse må gentages eller i det mindste designes til at indhente svar, der dækker en udvidet anvendelsesperiode. En POE kan suppleres med indikatorer på arbejdsmiljøets kvalitet, sygefravær, registrering af spontane klager over arbejdsforhold, klager over træthed, øjenproblemer relateret til det visuelle miljø, for lave eller for høje temperaturer samt træk og eventuelle støjproblemer mv.

(Specifik information om hvad, man må overveje, når man udfører en POE for dagslys kan findes her: www.iea-shc.org/task21/publications/D_POE_procedures_and_results/Task21POE.pdf)

(Mere generelle aspekter af brugercentreret bygningseffektivitetsvurdering kan findes i Baird et al.'s Building Evaluation Techniques, 1995.)

(Se også LBNL Tips for Daylighting with Windows.)

INTRODUKTION

Ekskursioner til forskellige bygninger vil som regel være et godt supplement til undervisning i dagslys.

Eksemplerne er opdelt i [danske eksempler](#) og [eksempler uden for Danmark](#). Eksemplerne er forskellige, men alle velegnede til ekskursioner.



Ovenlys i CPH lufthavn, Kastrup.
Foto: Astrid Espenhain.

EKSEMPLER I DANMARK

Listen herunder indeholder en række eksempler på gode dagslysløsninger i bygninger i Danmark. De listede eksempler er velegnede til ekskursioner i forbindelse med undervisning i dagslys.

Louisiana Museum of Modern Art, Humlebæk

<http://www.dac.dk/visKanonVaerk.asp?artikelID=2562>



Dagslysindfald på kunstmuseet Louisiana, nord for København. Fotos: Werner Osterhaus.

Bagsværd Kirke, Bagsværd

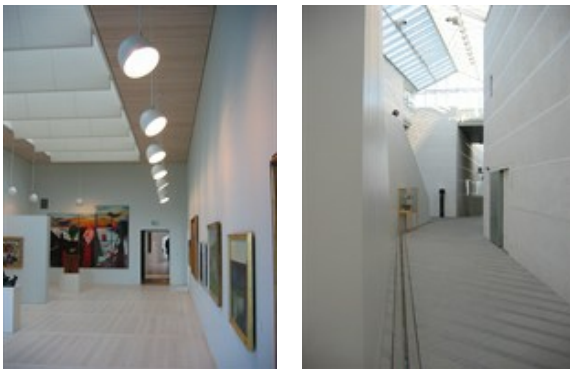
<http://www.dac.dk/visKanonVaerk.asp?artikelID=2520>

Trapholt Museum, Kolding

www.trapholt.dk

Bornholm Art Museum, Gudhjem

<http://www.bornholms-kunstmuseum.dk/>



Dagslysåbninger på Bornholms Kunstmuseum. Fotos: Werner Osterhaus.

Nordjyllands Kunstmuseum, Aalborg

<http://www.kunsten.dk/>

Utzon Center, Aalborg

<http://www.utzoncenter.dk/>



Shedlys, Utzon Center i Aalborg. Foto: Werner Osterhaus.

Dem Gamle By, Aarhus

<http://www.dengamleby.dk/>

<http://www.dac.dk/visKanonVaerk.asp?artikelID=2603>



Sollys i interiør i Den Gamle By, Århus. Foto: Werner Osterhaus.

Munkegårdsskolen, Gentofte

www.munkegaardsskolen.dk

<http://www.dac.dk/visKanonVaerk.asp?artikelID=2566>

Østerlars Rundkirke, Østerlars

<http://www.oesterlarskirke.dk/>



Lys og solnedgang ved Østerlars Rundkirke, Bornholm. Fotos: Werner Osterhaus

Det Kongelige Bibliotek, København

<http://www.kb.dk/da/index.html>

Aarhus Universitet, Auditoriehuset, Aarhus

<http://www.au.dk/>

Copenhagen Business School, København
<http://www.cbs.dk/>

Bang & Olufsen, Struer
<http://www.bang-olufsen.com/>

Bolig for Livet, Lystrup
http://www.velux.dk/om_velux_gruppen/model_home_2020/bolig_for_livet

Gentofte Bibliotek, Gentofte
<http://www.genbib.dk/forside>

EKSEMPLER UDEN FOR DANMARK

Listen herunder indeholder en række eksempler på gode dagslysløsninger i bygninger i Europa og resten af verden. De listede eksempler er velegnede til ekskursioner i forbindelse med undervisning i dagslys.

B. Braun AG, Melsungen

<http://www.bbraun.com/>

Cultural Center and Library, Wolfsburg

http://www.greatbuildings.com/buildings/Wolfsburg_Cultural_Center.html

Pantheon, Rome

<http://www.greatbuildings.com/buildings/Pantheon.html>



Central lysåbning i Pantheons kuppel, Rom. Foto: Werner Osterhaus.

Campus Library, Otaniemi

http://www.greatbuildings.com/buildings/Otan_Univ_Library.html

Dia Beacon, New York

<http://www.diaart.org/sites/main/beacon/>



Kombination af side- og ovenlys i kunstmuseet Dia Beacon nord for New York. Foto: Astrid Espenhain.

Institut du Monde Arabe, Paris

<http://www.imarabe.org/>



Facaden på Institut du Monde Arabe i Paris er designet af arkitekten Jean Nouvel. Foto: Astrid Espenhain.

Neue Pinakothek, München
<http://www.pinakothek.de/>

National Gallery of Canada, Ottawa
<http://www.gallery.ca/en/>

University of British Columbia Museum of Anthropology, Vancouver
<http://www.moa.ubc.ca/>

Massachusetts Institute of Technology Campus Chapel, Cambridge
<http://www.galinsky.com/buildings/mitchapel/index.htm>

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg
http://www.ise.fraunhofer.de/en?set_language=en

Unilever House, Hamburg
<http://www.unilever.com/mediacentre/news/unileverHausHamburgopensforbusiness.aspx>

Museum of Art, Bregenz
<http://www.kunsthau-bregenz.at/>

Federal Environmental Protection Agency, Dessau
<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-e/e-adress.htm>

Graduate Theological Library, Berkeley
<http://www.gtu.edu/library>