

Lyset i skolen

Effektiv belysning med høj dagslysudnyttelse

Kristensen, Lisbeth Skindbjerg; Traberg-Borup, Steen; Petersen, Erwin; Johnsen, Kjeld

Publication date:
2004

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Kristensen, L. S., Traberg-Borup, S., Petersen, E., & Johnsen, K. (2004). *Lyset i skolen: Effektiv belysning med høj dagslysudnyttelse*. SBI forlag. By og Byg Resultater Nr. 031

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Lyset i skolen

Effektiv belysning med høj dagslysudnyttelse

Lisbeth Skindbjerg Kristensen
Steen Traberg-Borup
Erwin Petersen
Kjeld Johnsen

Titel	Lyset i skolen
Undertitel	Effektiv belysning med høj dagslysudnyttelse
Serietitel	By og Byg Resultater 031
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2004
Forfattere	Lisbeth Skindbjerg Kristensen, Steen Traberg-Borup, Erwin Petersen , Kjeld Johnsen
Sprog	Dansk
Sidetæl	119
Litteratur-henvisninger	side 103-107
Emneord	Skoler, belysning, dagslys, dagslysudnyttelse, energieffektivitet, børns udvikling
ISBN	87-563-1190-7
ISSN	1600-8049
Pris	Kr. 270,00 inkl. 25 pct. moms
Tekstbehandling	Yelva Jensen samt forfatterne
Tegninger	Lisbeth Skindbjerg Kristensen
Fotos	Forfatterne
Tryk	BookPartner, Nørhaven digital A/S
Udgiver	By og Byg Statens Byggeforskningsinstitut, P.O. Box 119, DK-2970 Hørsholm E-post by-og-byg@by-og-byg.dk www.by-og-byg.dk

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *By og Byg Resultater 031: Lyset i skolen. Effektiv belysning med høj dagslysudnyttelse. (2004)*

Indhold

Forord	4
Indledning	5
Rapportens opbygning	6
Sammenfatning	8
Udnyttelse af dagslyset	8
Kunstlys i samspil med dagslyset	10
Skolens aktiviteter og lysets funktion	12
Samfunds- og arbejdsmarkedsændringer og deraf følgende omstilling på uddannelsesområdet	12
Folkeskoleloven	12
Undervisningsformer og arbejdsituationer i folkeskolen	13
Lysets betydning for udviklingen af synssansen	15
Belysningskrav baseret på stadier i barnets synsudvikling	17
Gældende lovkrav og bestemmelser	18
Bygningsreglementet, BR 95	18
Dansk Standard	19
Arbejdstilsynet	19
Andre vejledninger	21
Undervisningsmiljøloven	22
Udenlandske regler og retningslinier	22
Dagslys i skolen	24
Projektering med dagslys	24
Sidelys	29
Ovenlys	33
Det gennemlyste rum med udsigtsvindue og højtstående vindue i modstående væg	40
Dagslys i gangarealer og overgangszoner	42
Dagslys fra atrier og i glasoverdækkede rum	45
Solafskærmninger	45
Analyse af solindfald og dagslysforhold med BSim2002	49
Planlægning af belysningsanlæg	51
Belysningsløsninger	51
Planlægningsfaktorer	53
Belysningsprincipper	57
Eksempler på belysningsprincipper	58
Lysstyring og -regulering	62
Belysning i skolens forskellige områder	64
Normalklasser	64
Edb- og dataarbejdspladser	65
Specialundervisning og faglokaler	68
Praktiske eksempler på belysningsløsninger	77
Metode til kvalitativ analyse af skolens lysforhold	77
Tingbjerg Skole: Renovering af belysningen i to klasselokaler	78
Hedegaardsskolen: Forsøg med forskellige belysningsanlæg i nybygget skole	94
Litteratur	103
Bilag 1: Skolens udvikling - en kort historisk gennemgang	103
Skolen på landet	108
Skolen i byen	110
Skolen i landskabet	113
Bilag 2: Skema til kvalitativ analyse af skolens lysforhold	117

Forord

Danmark er endnu kun ved begyndelsen af en lang periode med milliardinvesteringer i renovering, ombygning og nybyggeri af skoler. I de fleste kommuner er der gået 20-30 år uden egentligt skolebyggeri, og mange af de eksisterende skoler er i dag så nedslidte, at de langt fra kan leve op til de krav, der stilles til skolens pædagogiske virksomhed.

Denne rapport udgives som afslutningen på fase 1 af "Program for energieffektive skoler" støttet af Energiministeriets Forskningsprogram, EFP-99 (ENS j.nr. 1213/99-0004). Formålet har bl.a. været at skabe et solidt grundlag for projektering af fremtidens skole med vægt på energieffektivitet samt et sundt og stimulerende indeklima. Inden for forskningsprogrammet er der tidligere udgivet følgende rapporter:

- By og Byg Resultater 003. Energieffektive skoler - Forundersøgelser om opvarmning, ventilation og lyskvalitet, 2001.
- By og Byg Resultater 015.. Sunde skoler: Indeklimaforhold i undervisningsrum og institutioner for børn, 2001.
- By og Byg Resultater 017. Fremtidens energieffektive skoler. Temahæfte om skolers energiforbrug, indeklima, dagslys og ventilation. 2002.

Denne rapport lægger vægt på betydningen af det visuelle miljø for læringen i de nye rammer, som skal skabes for fremtidens skole. Rapporten analyserer de belysningsmæssige forhold i eksisterende skoler og peger på løsninger til opnåelse af bedre belysning i både dagens og fremtidens skole.

Projektet er gennemført i samarbejde med Københavns Kommune, Ballerup Kommune samt Skanska A/S, som ejer Farum Kommunes skoler. I forbindelse med renovering af to klasselokaler på en skole i København har Faber Danmark A/S leveret persienner, mens Philips Danmark A/S og Glamox A/S har leveret belysningsanlæg samt lystekniske beregninger. By og Byg takker de deltagende kommuner og virksomheder samt skolernes personale for deres medvirken i projektet.

Ved starten af forskningsprogrammet blev der nedsat en følgegruppe med deltagere fra Forskningsministeriets Byggedirektorat, By- og Boligministeriet, Miljø- og Energiministeriet (nu begge under Økonomi- og Erhvervsministeriet), Rådgivningstjenesten for Skolebyggeri, Arkitektskolen i Aarhus, Rambøll, Danmarks Lærerhøjskole, Danmarks Lærerforening, Københavns Kommune, RIA Rådgivende Ingeniører og Arkitekter, Embedslægeinstitutionen i Storstrøms Amt, Lysteknisk Selskab, Delta Lys & Optik, Delta Akustik og Vibration samt KHR A/S arkitekter. Gruppen har gennem hele projektforløbet deltaget i inspirerende diskussioner om projektforløb, fremgangsmåde og resultater, herunder pædagogiske, arkitektoniske og byggetekniske udviklingslinier. Desuden har Henrik Njor fra Birch & Krogboe A/S bidraget til projektets første faser. By og Byg takker de medvirkende for samarbejdet.

By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for Energi og Indeklima
December 2003

Søren Aggerholm
Konstitueret forskningschef

Indledning

I Danmark findes der i dag ca. 1700 skolebygninger til brug for folkeskolen. Skolerne udgør ca. 8 millioner m² bygningsareal, hvilket er mere end halvdelen af den kommunale bygningsbestand. Antallet af skolebørn vil i de nærmeste år stige med ca. 20 %, hvilket betyder, at der skal skaffes plads til 110.000 flere elever i de danske skoler. Samtidig er tilstanden i de eksisterende skoler præget af nedslidte lokaler, utilstrækkelig vedligeholdelse og manglende tilpasning til de krav, som skoleloven forudsætter vedrørende de fysiske rammer for den pædagogiske virksomhed.

Danmark er derfor kun ved begyndelsen af en lang periode med milliardinvesteringer i renovering, ombygning og nybyggeri af skoler. Tal fra foreringen Skole og Samfund og Danmarks Lærerforening lyder på udgifter i størrelsesordenen 13 milliarder kroner alene til renovering af eksisterende bygninger og lokaler for at bringe samtlige skoler op til de nye standarder. Hertil skal lægges et ukendt milliardbeløb til nybyggeri i takt med det stigende børnetal. Med så store investeringer i skolebyggeri må man tage udgangspunkt i de erfaringer, der kan indhentes fra de eksisterende skoler. Kravene til skolens pædagogiske virksomhed er imidlertid meget anderledes i dag end for 20-30 år siden, og derfor er kravene til de fysiske rammer også væsentligt forskellige fra dem, som blev stillet tidligere.

Hovedparten af de belysningsanlæg, som findes i eksisterende skoler, er projekteret på baggrund af traditioner fra tidligere tiders undervisningsformer og ud fra simple krav vedrørende (ensartede) belysningsniveauer, men udarbejdet med meget lidt hensyn til lokalernes faktiske brug. Der er derfor et stort behov for vejledningsmateriale, som beskriver de krav, der bør stilles vedrørende vinduer, dagslys og kunstlys i skolen samt anvisninger på og demonstration af, hvorledes disse krav kan opfyldes i praksis.

Undersøgelser i både Skandinavien (Küller & Lindsten, 1992), USA (Heschong Mahone Group, 2002) og Canada (Hathaway, 1995) har endvidere vist, at dagslys, lyskvalitet og synsforhold har stor betydning for børns trivsel og udvikling. Det er derfor vigtigt, at de opstillede krav også medtager de kvalitetsmæssige aspekter af lyset. Med udgangspunkt i forholdene i de eksisterende skoler og i de krav, som stilles til fremtidens skole, søger denne rapport at give en vejledning i, hvorledes der kan opnås gode belysningsmæssige forhold med høj dagslysudnyttelse og energieffektive, fleksible belysningsanlæg, der kan tilpasses skiftende behov.

Skolens lys i historisk perspektiv

Oprindeligt var dagslyset den eneste brugbare belysningskilde i skolen, og vinduerne var en vigtig bygningsdel, som krævede omtanke i både placering og udformning. Helt frem til 1960'erne havde vinduerne og dagslyset arkitekternes særlige bevågenhed, og der var retningslinier i blandt andet cirkulære af 16. juni 1938 om vinduernes størrelse og udformning. Klasseværelserne og vinduerne er i mange danske skoler formet og placeret efter arkitekters og lægers henvisninger til dagslysets betydning for børnenes sundhed og indlæringsevne.

Da den elektriske belysning i 1950'erne gradvist blev billigere, blev den også i skolerne mere almindelig som almen belysning. I sidste halvdel af 50'erne udgav Undervisningsministeriets Byggeforskningsudvalg og Statens Byggeforskningsinstitut en samling publikationer under titlen "Nyt Skolebyggeri" (Undervisningsministeriets Byggeforskningsudvalg, & Statens Bygge-

forskningsinstitut. (1957). En af dem, "Elektrisk lys i klasserum", beskriver gennem en visuel tilgang grundlaget for, hvorledes man projekterer en vellykket elektrisk belysning som et *supplement* til dagslyset. På trods af dette mistede vinduet gennem 1960'erne alligevel sin betydning som hovedkilde til lys og luft. Det blev i højere grad et element i facadens arkitektoniske udtryk, da det nu var muligt ved hjælp af elektrisk belysning at "kompensere" for dårlige dagslysforhold.

Bedre blev det ikke i skoler fra 1970'erne. Energikrisen og det deraf ændrede Bygningsreglement af 1977, der indeholdt et krav om at minimere murhuller til maks. 15 % af bruttoetagearealet (inklusive døre), reducerede vinduesarealet til det absolutte minimum. Tidens nye pædagogiske krav om fleksible undervisningslokaler førte til ideen om åben-plan skolerne og den mere fordanskede udgave - 'den lille skole i den store'. Arkitekturen, som var påvirket af opgøret med alt, hvad der blev betragtet som autoritært, kom til udtryk i skoler med meget åbne fysiske rammer. Det medførte lokaler med meget store rumdybder, hvilket fastholdt den elektriske belysning som hovedlyskilde i mange skoler fra den tid.

Den danske folkeskoles bygninger repræsenterer således skiftende tiders sundhedsmæssige, pædagogiske og lovgivningsanviste krav til lyset. Nye undervisningsformer og pædagogiske krav til fremtidens skole er derfor en stor udfordring for de projekterende til at skabe gode kombinationer af funktionelle og oplevelsesrige rumløsninger. Rum til en skole, hvor der gives plads til både det 'fornuftige' og det 'legende' lys. Hvor belysningen i mange år hovedsageligt har drejet sig om at få nok lys til undervisningen, er der nu (igen) blevet større opmærksomhed på lysets evne til at definere forskellige aktiviteter og frem for alt til at forandre og understrege rummenes karakter. For at give læseren indsigt i, hvordan vinduerne og dagslyset har været tilagt skiftende betydning i skolebyggeriet gennem tiderne, gives der i Bilag 1: Skolens udvikling – en kort historisk gennemgang.

Rapportens opbygning

Rapporten giver, ud fra et belysningsmæssigt synspunkt, en grundig gennemgang af skolens historiske udvikling, skolens aktiviteter i dag samt de gældende lovkrav og bestemmelser. Der gives desuden simple håndregler for projektering med dagslys og principper for, hvorledes der kan skabes ideelle belysningsforhold med både dagslys og kunstlys.

Samfundsudviklingen afspejles i skoleloven fra 1993. Heri lægges der op til en radikal omlægning af hele undervisningsstrukturen med undervisnings- og arbejdsformer, der i højere grad er et billede af samfundets bevægelse fra industrisamfund mod informationssamfund. Kapitlet *Skolens aktiviteter og lysets funktion* beskriver, hvad denne udvikling betyder for skolens aktiviteter, og hvilke krav der dermed stilles til de skolebygninger, som skal danne fysiske rammer for de nye arbejdsituationer. Der lægges særlig vægt på betydningen af et godt visuelt miljø med en gennemgang af, hvad lyset betyder for udviklingen af synssansen.

De markante pædagogiske principper og målsætninger har ikke udmøntet sig i nye bygningsbestemmelser eller myndighedskrav til skolens rum og bygninger. Kapitlet *Gældende lovkrav og bestemmelser* gennemgår de vigtigste bestemmelser, cirkulærer og vejledninger vedrørende vinduer, dagslys- og belysningsforhold i skoler. Bygningsreglementets bestemmelser og Arbejdstilsynets vejledninger er overordnede krav, som gælder for bygninger og arbejdspladser i almindelighed, mens der findes mere specifikke vejledninger i standarderne fra Dansk Standard. Sidst i kapitlet gives der en helt kort oversigt over udenlandske regler og retningslinier på skoleområdet.

Som en del af grundlaget for at vurdere belysningsforholdene i eksisterende skoler er der udvalgt i alt 9 skoler - tre skoler i hver af kommunerne København, Ballerup og Farum. Skolerne er ikke udvalgt for at være repræsentative for alle landets skoler, men mange af de belysningsmæssige problemer og kvaliteter, som findes i de ni skoler, kan tjene som eksempler for andre skoler i forbindelse med vedligeholdelse, renovering og nybyggeri. På en af skolerne er det i to klasselokaler demonstreret, hvor meget lyset kan forbedres ved en enkel, 'lysmæssig' renovering: Udskiftning af belysningsanlægget, opsætning af solafskærmning samt ved at give overfladerne lysere farver. I forbindelse med projektering og genopførelse af en fløj på en anden skole, er der også foretaget enkle lystekniske forbedringer i forhold til standardløsningen, og der er gennemført målinger til analyse af forbedringernes kvalitets- og energimæssige virkninger.

God lyskvalitet har stor betydning for oplevelsen af rummet og objekterne i rummet. Vigtigst for godt lys i skolen er dagslyset. Kapitlet *Dagslys i skolen* giver derfor en grundig indføring i, hvordan lysets sammensætning af direkte lys og diffust lys har betydning for skyggetegningen og opfattelsen af objekternes form og detaljer. Kapitlet giver nogle simple arbejdsredskaber for vurdering af dagslysets fordeling i rummet og viser ved en række eksempler, hvordan forskellige vinduesudformninger og -placeringer influerer på lysets egenskaber. Høj dagslysudnyttelse indebærer en risiko for blændingsproblemer og overophedning af undervisningslokalerne, og derfor giver kapitlet vejledning i anvendelse af solafskærmninger med en beskrivelse af, hvorledes det termiske indeklima kan analyseres. Fremtidens skole er præget af fleksibel indretning og rum, der kan forandres og tilpasses mange forskellige aktiviteter. Derfor beskriver kapitlet også, hvordan lyset på gangarealer og i overgangszoner har betydning for, hvorledes de forskellige områder opleves, når man bevæger sig fra et område til et andet.

I de eksisterende skoler er det traditionelle klasseværelse normalt forsynet med et antal armaturer, der er jævnt fordelt over loftet, således at der opnås en ensartet belysningsstyrke i hele lokalet. Øgede krav til dagslysudnyttelse, samt til fleksibel rumindretning, flytbare vægge og mange forskellige aktivitetsformer i de samme områder medfører, at belysningsanlæggene bør udføres efter andre principper. Kapitlet *Planlægning af belysningsanlæg* angiver en række planlægningsfaktorer for projektering af de nye løsninger og giver en række eksempler på belysningsprincipper.

Belysningsanlæg i de mere traditionelle undervisningsområder skal kunne leve op til øgede krav om fleksibilitet, give mulighed for forskellige belysnings-scenarier og understøtte flere forskellige aktiviteter. For fagområderne er det mere håndfaste krav, der skal overholdes, som ved edb-arbejdspladser, hvor der er skærpede krav vedrørende blænding og armaturer, som ikke giver refleksioner i dataskærme. Kapitlet *Belysning i skolens forskellige områder* gengiver oversigter fra DS 700 over retningslinier vedrørende belysningsstyrke, blændingsgrænser, farvegengivelse m.v. for skolens forskellige faglokaler.

Rapporten afsluttes med kapitlet *Praktiske eksempler på belysningsløsninger*. Kapitlet beskriver dels, hvorledes lyset blev forbedret ved renovering af et klasselokale på en af Københavns ældre skoler, og dels hvorledes belysningen i tre klasselokaler blev projekteret på en nybygget skole i Ballerup. Der redegøres kort for de opnåede kvaliteter, ligesom de energimæssige forhold er analyseret i forhold til de øvrige klasselokaler på skolerne.

Sammenfatning

Denne rapport udgives som afslutningen på fase 1 af "Program for energieffektive skoler" støttet af Energiministeriets Forskningsprogram. Projektet har bl.a. til formål at skabe et godt grundlag for projektering af fremtidens skole med vægt på energieffektivitet samt et sundt og stimulerende indeklima. I de fleste kommuner er der gået 20-30 år uden egentligt skolebyggeri, og mange af de eksisterende skoler er i dag så nedslidte, at de langt fra kan leve op til de krav, der stilles til skolens pædagogiske virksomhed. Med de meget store investeringer i renovering, ombygning og nybyggeri af skoler, der sker over hele landet i disse år, må man tage udgangspunkt i de erfaringer, man har fra de eksisterende skoler. Kravene til skolens pædagogiske virksomhed er imidlertid meget anderledes i dag end for 20-30 år siden, og derfor er kravene til de fysiske rammer også væsentligt forskellige fra dem, som blev stillet tidligere.

Udnyttelse af dagslyset

Skolen bør udformes således, at det naturlige lys i størst mulig udstrækning dækker belysningsbehovet ved den mangfoldighed af aktiviteter, som udfolder sig i skolens rum. Hensynet til dagslys må indgå fra første fase af planlægningen, og den projekterende må have en forestilling om, hvilke aktiviteter der skal foregå i de enkelte rum. Er det rummet, objektet eller detaljen, der er vigtigst? Ud fra kendskabet til rummets aktiviteter, må man søge at finde den rigtige balance mellem det diffuse og det rettede lys, således at lyset understøtter de aktuelle synsbehov med vægt på en god formgengivelse af rum eller objekter.

Erfaringerne fra de eksisterende skoler viser, at ønsket om at udnytte dagslyset mest muligt og at opnå en god balance mellem det rettede og det diffuse lys blev fint opfyldt i de fleste skoler helt frem til midten af 1960'erne. Løsningerne var enkle, med lys fra siden i relativt høje rum og begrænset rumdybde. Den teknologiske udvikling i byggeriet samt energikriserne i begyndelsen af 1970'erne førte til mere eksperimenterende, "fleksible" udformninger af skolerne, med stor udstrækning i ét plan og flade tage, bl.a. i åben-plan skolerne. Facadeudformning og dagslys fik i mange tilfælde en mere sekundær rolle i planlægningen. Kravet om rumlig fleksibilitet, som også præger skolebyggeriet i dag, medfører imidlertid ofte dybe lokaler, hvor det kan være vanskeligt at få tilstrækkeligt dagslys fra facadevinduer alene, og det er derfor nødvendigt at supplere med sekundære lysindtag. Udfordringen er derfor både at få tilstrækkeligt dagslys og samtidig opnå belysningsforhold, der på den bedst mulige måde understøtter de mange, varierende aktiviteter, som skal finde sted inden for de samme fysiske rum.

Eksisterende skoler

Gennem en systematisk analysemetode er der gennemført vurderinger af de faktiske dagslysforhold i et antal eksisterende skoler. På grundlag af et enkelt skema er der foretaget ensartede vurderinger af de forhold, som er væsentlige, dels for den umiddelbare oplevelse af rummet og dels for det langtidssindtryk, der vil være, når man har opholdt sig i rummet i en vis tid. Hovedvægten er lagt på ni skoler, hvoraf tre skoler i hver af kommunerne København, Ballerup og Farum. Skolerne repræsenterer typiske byskoler og

forstadsskoler fra det 20. århundrede (1915-1985) uden dog at være dækkende for alle skoletyper i denne periode.

Hovedparten af de undersøgte skoler er opført i 1970'erne med et rustikt design præget af mørke materialer og farver. I alle disse skoler ville dagslysforholdene blive væsentligt forbedret blot ved at gøre overfladerne lysere.

Ofte antages det, at godt dagslys og høj dagslysudnyttelse forudsætter store vinduer. I de undersøgte skoler varierer forholdet mellem rudeareal og gulvareal mellem 10 % og 25 % (glasprocent), men der er ikke nogen entydig sammenhæng mellem glasprocenten og lysmængden eller lyskvaliteten. Blandt de undersøgte skoler forekommer det bedste dagslys i to skoler med de enkleste vinduesløsninger, nemlig almindeligt sidelys fra én side gennem vinduer i facaden, begge med et rudeareal på ca. 15 % af gulvarealet. Medvirkende til det gode dagslys i disse lokaler er, at rumdybden er forholdsvis beskeden, mindre end 2 gange rumhøjden, samt at der er lyse farver på vinduesrammer, vinduesnicher og alle overflader.

I seks af skolerne er det almindelige sidelys suppleret med lys gennem højere placerede vinduer. I de fleste tilfælde er rum og lysåbninger rigtigt 'tænkt', men flere detaljer medfører, at dagslyset alligevel ikke er tilfredsstillende. Der er to fælles hovedproblemer ved de højtsiddende vinduer: De er ikke forsynet med en solafskærmning af tilstrækkelig kvalitet, og vinduesomgivelserne er for mørke. Begge forhold medfører blændingsproblemer og store kontraster, som bevirker at de underliggende dele af klasselokalerne virker dunkle. To af skolerne med ovenlys er ombyggede åbenplan-skoler med dybe lokaler. Ombygningerne er ikke gennemført tilstrækkelig omhyggeligt, så ovenlysenes placering er ikke optimal for dagslystilførslen, ligesom der er flere konflikter med placering af belysningsarmaturerne i forhold til ovenlysene.

De fleste skolebygninger består af en serie rumligheder, der opleves i en bestemt sekvens, idet man bevæger sig gennem skolen. Lyset i de forskellige områder er medvirkende til både at definere og differentiere rum og aktiviteter, og overgangen mellem forskellige rum- og lysforhold har stor betydning for, hvordan de enkelte rums lys(hed)¹ vurderes og opleves. Lyset medvirker desuden i høj grad til enten at understøtte eller modarbejde det naturlige rumhierarki. Balancen mellem dagslysniveauerne på gangarealer og i undervisningslokaler er afgørende for, om det rum, man træder ind i, opleves behageligt lyst eller ubehageligt dunkelt.

Solafskærmninger

Arkitekturen i de nye skoler er præget af store glasarealer og ofte dybere rum, end man har set tidligere. De store glasarealer må nødvendigvis forsynes med en effektiv solafskærmning, men de dybe rum kræver samtidig, at afskærmningen er bevægelig, så dagslyset bliver tilstrækkeligt også i overskyet vejr. Solafskærmningen i skoler har to lige vigtige funktioner: Dels at reducere varmebelastningen og dels at sikre gode visuelle forhold under alle udeforhold. Udformninger af vinduerne med højtsiddende dagslysvinduer og lavere udsigtvinduer vil ofte give gode muligheder for at afskærme efter det aktuelle behov, når de to vinduespartier har separate afskærmninger. Rapporten giver eksempler på forskellige afskærmningsløsninger, og ofte er det de simpleste løsninger, der fungerer bedst.

I forbindelse med renoveringen af to klasselokaler på en ældre skole i København blev solafskærmningen væsentligt forbedret ved at udskifte de eksisterende gardiner ved de højtsiddende vinduer med en persienne med blanke opadkrumme aluminiumslameller. Ved hjælp af et håndtag kan lamellernes hældning justeres i forhold til sollyset. Sollyset kan således enten udelukkes eller reflekteres op mod loftet, hvorfra det som diffust lys vil for-

¹ "Lyshed" oversættelse fra engelsk "brightness" dækker over hvor "let, lyst og klart" et rum opleves, inklusive den sindsstemning (opløftet, stimuleret) oplevelsen kan medføre.

deles ind i rummet. Målinger af dagslysforholdene før og efter udskiftningen af solafskærmningen viser, at muligheden for at opnå et ønsket belysningsniveau er væsentligt forbedret med persiennerne samt at persiennerne i sig selv forbedrer dagslysfordelingen i lokalerne.

I en nybygget fløj til en eksisterende skole med store vinduesarealer er vinduerne opdelt i et udsigtsvindue og et højtsiddende dagslysvindue. Solafskærmningen er her udvendige solgardiner som man har valgt at opdele efter de to vinduespartier, således at det er muligt at skærme af for den blænding, som kan opstå fra de højtsiddende vinduer uden at forhindre udsynet. De udvendige gardiner er på en enkel måde integreret i facaden, og sammen med indvendige, lyse gardiner giver de en meget effektiv afskærmning, som samtidig er forholdsvis robust. Fra starten blev solafskærmningerne reguleret facadevis, men erfaringerne viste hurtigt, at det var nødvendigt at kunne regulere de enkelte klasselokaler individuelt, og reguleringen blev derfor ændret.

Kunstlys i samspil med dagslyset

Da der vil være dagslys i langt den største del af skoletiden, er det vigtigt at kunstlyset fungerer godt i samspil med dagslyset, både ud fra kvalitetshensyn og ud fra ønsket om en energioekonomisk drift. Undersøgelsen viser imidlertid, at belysningsanlæggene på de eksisterende skoler langt fra lever op til de grundlæggende kvalitetskrav som fremtidens undervisningsformer stiller vedrørende fleksibilitet og variation. Dette gælder også på de fleste af de skoler, hvor belysningen er blevet renoveret indenfor de sidste 5-10 år.

Belysningsløsninger i skoler skal planlægges efter børnenes behov og den arbejdssituation, som skolen skaber omkring dem. Mange aktiviteter skal tilgodeses, lige fra stillesiddende synskrævende arbejde til sportslige aktiviteter og leg. Det stigende brug af edb-udstyr stiller ligeledes særlige krav til belysningen for at undgå trættende og generende reflekser og syns-nedsættende blænding.

I forbindelse med nybygningen til skolen i Ballerup blev der gennemført forsøg med forskellige belysningsarmaturer i tre af undervisningslokalerne mod henholdsvis nord, vest og syd. Til 'forsøgslokalerne' blev der valgt nedhængte opad-/nedadlysende armaturer styret af et automatiksystem med bevægelsesmelder og dagslysføler, hvor dagslysføleren blev monteret, så den 'ser ud af vinduet' og således kun registrerer mængden af dags- og sollys, der kommer ind gennem vinduet. Til sammenligning valgtes tre 'referencelokaler', der havde et belysningsanlæg med indbyggede indirekte nedadlysende armaturer reguleret via et automatiksystem med bevægelsesmelder og dagslysføler, men med dagslysføleren monteret på loftet, hvorfra den registrerer summen af dags- og kunstlys, der rammer arbejdsplanet (bordene).

Erfaringerne med de to anlæg viser, at der er forskel i rumopfattelsen mellem lokalerne med indirekte nedadlysende armaturer og forsøgslokalerne med opad-/nedadlysende armaturer, idet kunstlyset i forsøgslokalerne opfattes mere modellerende, fx med klarere skyggetegning, i modsætning til kunstlyset i referencelokalernes, der opfattes mere diffust. Erfaringerne med de to styringssystemer viser, at den mere traditionelle løsning med dagslysføleren monteret på loftet giver en rimelig regulering af kunstlyset i takt med dagslystilgangen. Det andet system med dagslysføleren i vinduet fungerer mindre tilfredsstillende med den valgte følerplacering, bl.a. fordi systemet er meget vanskeligt at indregulere. Begge regulerings- og styringssystemer fungerer mindre godt, når den udvendige solafskærmning aktiveres. Dagslysføleren reagerer typisk for hurtigt, således at lyset ofte tænder unødvendigt, når afskærmningen trækkes for.

Bedre belysning trods halvering af energiforbruget

Energiforbruget til belysning i eksisterende skoler varierer kraftigt og udgør i nogle tilfælde mere end 50 % af det samlede elektricitetsforbrug. Både nærværende undersøgelse og tidligere undersøgelser viser, at effektiviteten af de installerede anlæg ikke lever op til dagens energikrav, og at kvaliteten af lyset ikke opfylder basale krav til de fysiske rammer for skoleundervisningen, herunder skiftende arbejdsformer og bordopstillinger samt udbredt anvendelse af edb-udstyr.

Projektet har vist, at på de lidt ældre skoler er det muligt at opnå væsentlig bedre belysning med anlæg med installerede effekter på ned til 6-8 W/m², hvilket i sig selv medfører en halvering i forhold til de fleste eksisterende belysningsanlæg. Ved renoveringen af to forsøgslokaler på en skole i København blev der opnået et højere belysningsniveau ved en installeret effekt på 450 W imod de eksisterende på ca. 900 W pr. lokale. Herved opnås en energibesparelse på mindst 50 %, hvortil vil være en yderligere reduktion i energiforbruget på 10-20 % ved brug af dagslysstyring og bevægelsesmeldere. Interview med brugerne viser desuden, at belysningen opfattes som væsentligt forbedret. Dog kunne det i forbindelse med reguleringssystemet konstateres, at for at opnå den optimale funktion, er det nødvendigt, at alle brugere fra starten får en grundig information om det nye belysningsanlægs virkemåde og reguleringsfunktioner.

De lave elforbrug i de energieffektive belysningssystemer medfører, at andre elforbrug i klasselokalerne bliver relativt meget mere betydende. Således kunne det på nybygningen til skolen i Ballerup konstateres, at køleskabe til opbevaring af mad- og drikkevarer kan forbruge op til 34 % af det samlede elforbrug i vinterhalvåret og op til 48 % i sommerhalvåret. De opstillede køleskabe var alle ældre (udtjente) køleskabe som forældre, lærere eller andre havde "doneret" til skolen.

Skolens aktiviteter og lysets funktion

Samfunds- og arbejdsmarkedsændringer og deraf følgende omstilling på uddannelsesområdet

Den mest markante ændring i Folkeskoleloven af 1993 (*Lov nr. 509 af 30. juni 1993*) var kravet om nye undervisnings- og arbejdsformer. Der var tale om en radikal omlægning af hele undervisningsstrukturen. Skolen fungerer som et billede af samfundet, idet den imiterer 'virkelighedens' arbejdsformer. Man kan derfor sige, at folkeskoleloven af 1993 afspejler de forandringer, der er sket i samfundsstrukturen og arbejdsmarkedsforholdene i de seneste 20-25 år. Der er i virkeligheden tale om et paradigmeskift, idet vi har bevæget os fra et industrisamfund over i et informationssamfund. Samfundsændringer af en karakter, som vi ikke har været stillet overfor siden landbrugs-samfundet i midten af 1800-tallet blev afløst af industrialiseringen, og folkevandringen til byerne blev en realitet.

Det er Folkeskolens opgave at forberede eleverne til at varetage det samfund, de er en del af, samt at uddanne dem til at kunne håndtere de arbejdsopgaver, de vil blive stillet overfor. Ole Thyssen skriver i "Skolens tid og rum" (Kirkeby (red.), 1998b): "Fremtidens arbejdspladser kræver formentlig ikke så stram kontrol med rum, tid, tanker og motiver (som industrisamfundets). De kræver, at man lærer at lære, og at den faglige indlæring foregår på en måde, så børnene samtidig lærer at omgås ansvar, værdier og selvstændighed...". Der er altså et behov for, at børnene lærer at sortere i den stadigt stigende informationsmængde, og at de kan analysere og vurdere materialet. Derudover skal de lære selv at planlægge og administrere deres tid. Et enormt skift i forhold til den traditionelle skole, hvor det gjaldt om at tilpasse sig - at møde til tiden, holde sin mund, høre efter og læse de lektier, læreren havde bestemt.



Figur 1. Hellerup skole i Gentofte Kommune. Et eksempel på at de pædagogiske målsætninger influerer på skolens udformning. Fremtidens skole udformes væsentligt anderledes end tidligere tiders klasselokaler på en lang gang.

Folkeskoleloven

§ 1. Folkeskolens opgave er i samarbejde med forældrene at fremme elevernes tilegnelse af kundskaber, færdigheder, arbejdsmetoder og udtryksformer, der medvirker til den enkelte elevs alsidige personlige udvikling (*Lov nr. 509 af 30. juni 1993*).

Stk. 2. Folkeskolen må søge at skabe sådanne rammer for oplevelse, virkelyst og fordybelse, at eleverne udvikler erkendelse, fantasi og lyst til at lære,

således at de opnår tillid til egne muligheder og baggrund for at tage stilling og handle.

Stk. 3. Folkeskolen skal gøre eleverne fortrolige med dansk kultur og bidrage til deres forståelse for andre kulturer og for menneskets samspil med naturen. Skolen forbereder eleverne til medbestemmelse, medansvar, rettigheder og pligter i et samfund med frihed og folkestyre. Skolens undervisning og hele dagligliv må derfor bygge på åndsfrihed, ligeværd og demokrati.

De nye mål

"Sammenlignet med før, er folkeskolelovens formålsparagraf blevet mere individcentreret. Der lægges op til, at der opstilles handlingsplaner for det enkelte barn, og det medfører behov for flere forskellige måder at organisere undervisningen på. Vi har i dag tabt troen på, at man kan undervise hen imod en midtnormal. For den middelgruppe, man tidligere sigtede hen imod, den eksisterer simpelthen ikke", siger Birte Kjær Jensen, Undervisningsministeriet, der var med til at forfatte loven. Men man kan godt opstille målsætninger for en klasse og have høje forventninger til hele klassen, blot vil forskellige børn nå målet på forskellige måder og på flere forskellige niveauer. Denne undervisningsdifferentiering vil kunne nærme sig individualisering, hvor der bliver langt mindre klasseundervisning. Alligevel bevares klassen som social struktur, for den er stedet, hvor både børn og forældre fra forskellige sociale baggrunde mødes og lærer hinanden at kende over et 10-11-årigt forløb.

Det *musiske* opprioriteres som en seriøs måde at tænke på, der kan påvirke alle fag - det kan også handle om at tænke matematik på en kreativ måde. Et *grønt islæt* ønskes integreret i alle fag, så det både resulterer i en omfattende viden og en ansvarlig måde at omgås miljøet på. *Edb* er allerede nu et uundværligt værktøj, som eleverne skal lære at beherske som et naturligt led i deres skolearbejde, og faciliteterne skal integreres og gøres lettilgængelige i skoledagen.

Arkitekturens betydning

Det er ikke mere nok, at en skolebygning kan rumme børn i lige rækker. Der er brug for en arkitektur, der aktivt understøtter vore pædagogiske drømme og intentioner gennem åbenhed og muligheder.

Når børnene skal være aktører og ikke blot modtagere, opstår behovet for værksteder og laboratorier og en langt mere fleksibel rumorganisering, hvor en gruppe elever i løbet af et undervisningsforløb skal have adgang til forskellige faciliteter. Og der er brug for steder, hvor små grupper kan arbejde sammen uden at blive forstyrret og uden selv at forstyrre andre. Medansvarlighed for egen læring hænger nøje sammen med valgmuligheder omkring arbejdsmetode, gruppestørrelse og bordopstilling. Hvis der kun er én mulighed for en aktivitet, så er alt jo fastlagt på forhånd. Der sker netop en udvikling af betydelige kompetencer gennem at lægge til rette selv - en meget væsentlig sidegevinst ved et skolemiljø, der kan tages i brug på flere måder.

På et overordnet plan er de fysiske rammer med til at forme barnets opfattelse af, om omgivelserne er *med* eller *imod*. En lektion i rummets ABC, der er nok så vigtig som et tilbud om arkitektur som skolefag.

Undervisningsformer og arbejdssituationer i folkeskolen

Der foregår i dag mange og flere forskelligartede aktiviteter i folkeskolen end tidligere. Inden for hvert undervisningsområde kan der finde flere aktiviteter sted på én gang. Nogle elever arbejder i gruppe samtidig med, at andre arbejder individuelt, og især til gruppearbejdet er der brug for aflastningsområ-

der tæt ved klassen eller i et af værkstedsområderne eller i det pædagogiske servicecenter.

Samtidig sker der en bevægelse bort fra overvejende at tænke i bogligt orienterede læreprocesser - som har en teoretisk karakter og er relativt kontekst-uafhængige - til at mene, at eleverne lærer bedre, hvis læreprocesserne organiseres som en kombination af teori og praksis - fx gennem at lave modeller i matematik. Her bliver læreprocesserne langt mere kontekstafhængige og stiller dermed større krav til skolens fysiske udformning.

Samfundet kræver, at man skal kunne omstille og videreuddanne sig, og selv evne at være med til at organisere og udvikle et arbejdsfelt. Der vil derfor *både* foregå aktiviteter, der har karakter af opgaveløsning, hvor både indhold og metode er fastlagt på forhånd, og projektorienterede undervisningsforløb, hvor det *ikke* på forhånd er lagt fast, hvad emnet præcist er - det er del af opgaven at definere det, og det ligger *ikke* fast hvilken metode og formidling, der er mest velegnet - det vil være en del af opgaven at finde den rette metode og formidlingsform i forhold til emnet.

Man kan således træffe en meget større spændvidde i, hvad der foregår af aktiviteter i skolen, og et meget større 'flow', hvor eleverne i løbet af en undervisningsenhed skal bruge flere forskellige steder i skolen.

Lad os forsøgsvis forestille os, hvad der kan foregå i en ganske almindelig dansk folkeskole en ganske almindelig dag (Kirkeby (red.), 1998b):

Det er en mild, men mørk gråvejrsdag i november midt på formiddagen.

2. klasse lærer multiplikation, og efter en introduktion i klassen, hvor de får udleveret korkfliser på 30 cm x 30 cm, går de fleste i grupper på to ud af klassen for at finde så store gulvarealer, at de kan lægge fliserne ud i felter, som de derefter tegner for endelig at opstille det gangestykke, der svarer til. To grupper bliver i klassen. Læreren går rundt og hjælper.

3. klasse har natur/teknik, hvor de skal lave nogle spiringsforsøg. Døren i vinduesvæggen står åben meget af tiden, da eleverne skal ud for at køre jord ind i en trillebør. I øvrigt står døren også åben ud til gangen, fordi nogle børn er gået over for at hente en rulle stærk tråd i håndarbejdsafsnittet.

4. klasse har engelsk, der på denne dag foregår som klasseundervisning.

8. klasse har projektarbejde, der foregår i grupper på 2-5. De henter jævnligt bøger, båndoptager eller videokamera i det pædagogiske servicecenter. De bruger pc'er både til at søge informationer og til at skrive på. Nogle layouter deres præsentation på pc'en, andre synes en papmodel giver den bedste præsentation af projektet. De har brug for gruppearbejdspladser, hvor de ikke hele tiden bliver forstyrret af andre, og hvor de kan hænge deres skemaer og plancher op - det skal kunne blive hængende uforstyrret hele ugen. På den anden side skal de også kunne komme i kontakt med læreren, så de vil helst ikke for langt væk.

De forskellige arbejdssituationer kunne også opstilles i en skematisk oversigt som angivet nedenfor:

Arbejdsform vs. aktivitet	Arbejde alene	Arbejde med lærer	Arbejde lille gruppe (2-5)	Arbejde stor gruppe	Arbejde sammen hele klassen/ flere klasser
Arbejde ved bord stå/sidde					
Arbejde ved computer					
Arbejde ved tavle eller staffeli					
Arbejde på gulv, evt. hynde					
Sidde blødt, sofa/læsekrog					
Arbejde i værksted fx høvlebænk					
Arbejde i værksted, fx natur/teknik					
'Passivt' arbejde, lytte, se film etc.					

Opgaven er primært, i relation til ovennævnte arbejdssituationer, at finde måder at skabe et godt indeklima, en god arbejdsbelysning og at undgå enerverende støjproblemer.

Lysets betydning for udviklingen af synssansen

Mennesket er ikke skabt til at opholde sig indendørs i så lange perioder, som tilfældet er i dag. Visse områder af hjernen er blandt andet indstillet på at opfatte skiftende lys ude i naturen og give signaler til kroppen om at forholde sig til det, fx i forbindelse med søvn i mørke perioder (nat) og aktivitet i lyse perioder (dag). Det er derfor, i vores nordlige klima, vigtigt at udforme indemiljøet med store rum, lyse farver og god belysning. Når talen, som her, er om skoler, gælder det om at tilvejebringe et så naturligt miljø som muligt. Dagslyset spiller i den forbindelse en væsentlig rolle, og det bør tilstræbes at anvende dagslys som hovedlyskilde, ikke alene af energimæssige hensyn, men også af hensyn til børnenes synsudvikling og almene trivsel, idet dagslyset også medvirker til at skærpe børnenes fornemmelse af rum, tid og sted.

Børn i 0-7-års alderen

Børn på dette alderstrin gør stor brug af sanserne, og netop brugen af synssansen er meget central. Farvesynet udvikles gradvist fra fødselen, og i to måneders alderen kan de fleste børn skelne mellem rød, grøn, orange og blå, mens bl.a. gulgrønne og violette farver endnu ikke kan opfattes (Teller, 1997). Børn er dog som regel ikke i stand til at beskrive farver før i 4-års alderen, og farvesynet udvikles og justeres fortsat gennem hele barnets opvækst. Da megen visuel erkendelse er baseret på genkendelighed, er det vigtigt at skabe et lysmiljø med så god en farvegengivelse som muligt, da udviklingen af farvesynet ellers kan forsinkes.

I 3-års alderen begynder børn at bruge synssansen på en mere avanceret måde, idet de gennem leg udvikler et mere præcist samspil mellem synsans og bevægelse. Det er derfor vigtigt for børnene at have adgang til lysforhold, der understøtter udviklingen af evnen til at fokusere, samt at lysfor-

holdene medvirker til træning af præcision i koordinering mellem kropsligt og visuelt indtryk, fx træning af balancen eller øje-hånd koordination.



Figur 2. Børn som leger i lyset fra en solstråle. Fra Children, Spaces, Relations.

Først mod slutningen af denne aldersperiode er børn i stand til at opfatte begreber som vægt, volumen, mængde og hastighed. Børnene har til stadighed brug for et varierende lysmiljø med mulighed for både høje og lave belysningsniveauer, og det er vigtigt, at aktiviteterne i børnehave- og skoleklasser bevidst træner brugen af synssansen. Belysningen bør kunne varieres, så der bliver mulighed for at skabe forskellige belysningsmiljøer. Dette træner børnene i konstanstænkning, hvilket betyder, at de får forståelse for, at synsobjekterne er de samme, selv om de ser forskellige ud i skiftende belysninger.

Børn i 7-12-års alderen

Børn i 7-12-års alderen mestrer konstanstænkning, hvilket er vigtigt for barnets videre perceptoriske udvikling. Alligevel er synssansen ikke færdigudviklet, og i denne fase drejer det sig specielt om at udvikle og træne dybdesynet.

Denne aldersgruppe tænker udpræget 2-dimensionalt og konkret. De kan rekonstruere handlinger og processer ved først at studere en proces, for derefter at beskrive eller gentage den, fx gentage et mønster og nå frem til et bestemt sted i et spil, men de kan ikke skabe generelle regler ud fra, hvad de ser og derved forstå processen. Børnene har til stadighed brug for træning i at opfatte og forstå visuel information, samt lære at tyde sammenhængen mellem visuel og verbal kommunikation. Børnenes opfattelse og forståelse af sammenhængen mellem den verbale kommunikation og kropssproget, især ansigtsmimikken, kan vanskeliggøres af indirekte, diffus belysning, idet de visuelle informationer, som mimikken giver, sløres. Belysning med dårlige modulerende egenskaber kan således hæmme både barnets synsudvikling samt indlæringen i denne fase. Dårligt udviklet dybdesyn er desuden en af hovedårsagerne til, at mange børn kommer til skade i trafikken.

Børn i 12-16-års alderen

Børn i denne aldersgruppe kan selv skabe generelle synsregler baseret på observationer, samt justere disse regler med baggrund i nye observationer. Al visuel opfattelse består i associationer, men først i 12-16-års alderen er barnet så modent, at det er i stand til at tænke i mere abstrakte associationer.

Måden, vi lyssætter omgivelserne på, efterlader et visuelt sprog, som børn lærer. Visuelle oplevelser og erfaringer skaber børnenes associationsgrundlag, og deres visuelle forståelse bliver således dikteret af det lysmiljø, der etableres omkring dem. Da børnenes synsudvikling foregår trinvist, afgør træningsmulighederne, hvornår næste trin kan erobres. Store dele af tiden befinder børnene sig indendørs, og bidraget fra den kunstige belysning har

derfor stor indflydelse på denne proces. Det er vigtigt, at belysningen understøtter udviklingen af synssansen igennem hele barnets opvækst.

Belysningskrav baseret på stadier i barnets synsudvikling

0-7 år

God farve- og kontrastgengivelse.

Tilstrækkeligt belysningsniveau til træning af synspræstationer og præcision i koordinering mellem kropsligt og visuelt indtryk, fx træning af balancen eller øje-hånd koordination.

Variierende lysmiljøer i børnehave- og skoleklasser for træning af konstanstænkning.

7-12 år

God modellering for træning af dybdesynet. Gangarealer, gymnastiksale samt andre områder, hvor børnene er fysisk aktive, er gode lokaler for træning af dybdesynet. Der bør derfor, specielt i disse områder, tilstræbes lys med gode modellerende egenskaber.

Specielt i de første år i skolen bruges klasselokalet meget fleksibelt. Børnene arbejder ofte i grupper, og borde og stole opstilles derefter. Synsretningen vil derfor variere. En vis mængde indirekte belysning kan blive nødvendig for at modvirke/reducere blænding fra armaturer eller vinduer. God modellering af ansigter er dog et krav.

Belysningen må kunne varieres for at understøtte de forskellige aktiviteter, derfor vil et belysningsanlæg, hvor lyssætningen kan ændres være et plus. Det opleves positivt at kunne skifte mellem direkte og indirekte belysning.

12-16 år

Træning i abstrakt tænkning. Belysningens visuelle sprog påvirker associationsgrundlag og visuel forståelse.

På højere klassetrin med 'klasseopstilling' af borde kræves et forholdsvist højt belysningsniveau. Belysning med minimal blænding samt balanceret variation er den bedste løsning.

For at modvirke monotoni i belysningen kan man med fordel benytte enkelte spots til at fremhæve en væg eller en detalje i rummet.

Generelt

- Gode synsbetingelser bestemmes af god farvegengivelse samt tilstrækkeligt store kontraster på tavler og andre synsobjekter, tilstrækkeligt høj belysningsstyrke ved arbejdsborde samt et minimum af reflekser/spejlinger i bøger, papirer, edb-skærme og andre arbejdsobjekter. En kombination af direkte og indirekte belysning er ofte den bedste løsning til denne type arbejde.

Belysning, der flimrer, er irriterende og giver ringe synsbetingelser. Specielt i de yngste klasser er det kritisk, da flimrende belysning kan forstærke eventuelle læsevanskeligheder. Der bør derfor anvendes HF-forkoblinger til lysrør.

Statiske synsretninger er mere trættende end skiftende synsretninger.

Selvdefinerede synsretninger giver større mulighed for beskyttelse mod blænding fra armaturer eller himmellys.

Gældende lovkrav og bestemmelser

I dette kapitel præsenteres de vigtigste myndighedskrav, cirkulærer og vejledninger vedrørende vinduer, dagslys- og belysningsforhold i skoler. Der gengives bestemmelser fra Økonomi- og Erhvervsministeriet (tidligere By- og Boligministeriet), Arbejdstilsynet og Dansk Standard. Oversigten indeholder de krav, som er gældende medio 2003.

Som det fremgår af nedenstående, indeholder det danske bygningsreglement fortrinsvis overordnede krav til bygningers lysforhold. Disse krav understøttes af og uddybes i supplerende anvisninger og vejledninger, som fortolker bygningsreglementet set ud fra både energimæssige og arbejdsmiljømæssige perspektiver. Af det eksisterende materiale fremgår det endvidere, at det udelukkende er af hensyn til lærernes arbejdsmiljø, at der stilles krav til skolers lysforhold, og at disse krav hovedsageligt vedrører belysningsintensitet. Det betyder, at langt de fleste retningslinier for belysning i skoler er sammenfaldende med de generelle krav, der almindeligvis stilles til lys på arbejdspladser i bredere forstand.

Børn og unge under 18 år er biologisk set ikke færdigudviklede. Der er således ikke taget hensyn til, at børn er fysisk forskellige fra voksne, herunder at de generelt har en lavere øjenhøjde, samt at deres synssans, som omtalt i forrige kapitel, først er fuldt udviklet omkring 14-års alderen (Nersveen, 1999). Skolens skiftende undervisnings- og arbejdsformer og det deraf følgende behov for varierede og fleksible lysforhold, behandles heller ikke. Det er nødvendigt at holde sig dette for øje, når man skal forholde sig til 'voksen'-kravene, og det er vigtigt at tage udgangspunkt i netop elevers og læreres særlige arbejdsvilkår for at opnå et tilfredsstillende resultat.

Bygningsreglementet, BR 95

Bygningsreglementet (Boligministeriet, 1995) trådte i kraft den 1. april 1995 og omfatter opførelse og nedrivning af bebyggelse, tilbygning til bebyggelse, ombygning af og andre forandringer i bebyggelse samt ændringer i benyttelse af bebyggelse, som er væsentlige i forhold til byggelovens eller reglementets bestemmelser.

I Bygningsreglementet er kravene, at arbejdsrum skal have en sådan tilgang af dagslys, at rummene er vel belyste, og at personer har udsigt til omgivelserne. Vinduerne skal udføres, placeres og eventuelt afskærmes, så solindfald gennem dem ikke medfører overophedning i arbejdsrum. Dagslystilgangen vil normalt være tilstrækkelig, når vinduesarealet ved sidelys svarer til 10 % af gulvarealet eller ved ovenlys til mindst 7 % af gulvarealet. Arbejdsrum skal forsynes med vindue, der er anbragt således, at personer i rummet kan se ud på omgivelserne. Gulve i opholdsrum i dag- og døgninstitutioner og i normalklasserum i skoler o.lign. må ikke ligge lavere end terrænet udenfor. Ved særlige terrænforhold kan der ses bort fra dette krav, hvis gulvet ligger over terrænet langs med mindst én vinduesvæg.

Af energimæssige årsager er der en øvre grænse for en bygnings vindues- og dørareal. Med konstruktioner, der netop opfylder mindstekravene til isoleringsværdi (U-værdi), må arealet højst være 22 % af bygningens opvarmede areal. Anvendes en bedre isoleringsværdi, må arealet være større.

Ved udførelse af belysningsanlæg kræves der ifølge BR 95, at energiforbruget begrænses mest muligt, og at anlægget skal udføres opdelt i zoner

med mulighed for styring efter dagslysforhold og aktiviteter, jf. Dansk Standard.

Dansk Standard

DS 700: "Kunstig belysning i arbejdslokaler" indeholder retningslinier og krav til den kunstige belysning i arbejdslokaler i industri- og håndværkssvirksomheder, kontorer, skoler m.fl. (Dansk Standard, 1997).

Standarden fastlægger metoder og krav til en sikker og god udformning af kunstig belysning i arbejdslokaler med eller uden dagslysadgang ud fra de enkelte arbejdsarters karakter og vilkår. Standarden sigter både på at støtte og lette arbejdsprocesserne og at fremme de beskæftigedes sikkerhed, sundhed og trivsel. Den beskriver de generelle krav og de grundlæggende egenskaber, et belysningsanlæg skal opfylde. Nogle af disse kan helt eller delvist beskrives med en talstørrelse (fx krav til belysningsstyrke, blændingsgrænse, farvegengivelse m.m.), mens andre beskrives verbalt (fx hvorledes opnås en god belysningskvalitet, en god opfattelse af en genstands form med skygger og glans). I forbindelse med klasselokaler anvises der, at belysningsanlægget skal give 200 lux på arbejdsfladerne og 500 lux på tavlen. Derudover angives krav til belysningsanlægget ved mere specifikke synsopgaver i fx sløjde- og formningslokaler.

En CEN-standard for arbejdsbelysning (EN 12464-1: 2002 Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places, blev udsendt i marts 2003. Standarden erstatter DS 700 med undtagelse af de særlige områder, hvor Danmark har taget forbehold (A-deviationen), fx vedrørende belysningsstyrker og blændingsgrænser.

Arbejdstilsynet

I arbejdsmiljøloven findes de generelle bestemmelser om arbejdsmiljøet. Lovene er udmøntet i bekendtgørelser, der er bindende for borgerne, medens At-vejledninger beskriver, hvordan reglerne i arbejdsmiljølovgivningen skal fortolkes. De er ikke bindende, men vejledningerne bygger på regler (love og bekendtgørelser), der er bindende. At-cirkulæreskrivelser er instrukser til Arbejdstilsynets medarbejdere. Krav til dagslysforhold og udsyn findes i Arbejdsministeriets bekendtgørelse nr. 96 af 13. februar 2001: "Bekendtgørelse om faste arbejdssteders indretning", kapitel 9, Belysning, § 25 (Arbejdsministeriet, 2001), mens Arbejdstilsynets cirkulære nr. 3/1999: "Dispensationer og fortolkning af regler inden for faste arbejdssteders indretning ved projekteret byggeri", (Arbejdstilsynet, 1999), beskriver en fortolkning, der kan benyttes, når forholdene ikke er normale.

Skoler falder pga. det ansatte voksne personale ind under reglerne om faste arbejdssteders indretning.

Dagslys

Ifølge At-cirkulæreskrivelse Nr. 3/1999, § 25, stk. 1, skal arbejdsrum have en sådan tilgang af dagslys, at de er velbelyste. Vinduer og ovenlys skal være udført, placeret og eventuelt afskærmet således, at de ikke medfører blænding, overophedning eller generende kuldenedfald.

I cirkulæret anføres, at dagslystilgangen under normale forhold vil være tilstrækkelig, når vinduesarealet ved sidelys svarer til mindst 10 % af gulvarealet eller ved ovenlys til mindst 7 %, jf. At-meddelelse nr. 1.01.12 (Arbejdstilsynet, 1996). En anden udformning er imidlertid mulig. De vejledende procenter for vinduesarealet på 10 % og 7 % antages at give acceptable forhold ved normal placering af bygningen og normal udformning af lokalerne.

Der kan dog forekomme situationer, hvor en sådan dagslystilgang ikke kan anses for tilstrækkelig. Vinduesarealet skal forøges forholds-mæssigt ved reduceret lysgennemgang (fx tonede vinduer) eller formindsket lysadgang til vinduerne (fx ved tætliggende bygninger), jf. At-meddelelse nr. 1.01.12. Omvendt kan forholdene efter omstændighederne anses for forsvarlige, når det ved beregning eller måling kan eftervises, at der er en dagslysfaktor på 2 % ved arbejdspladserne.

Det kan efter omstændighederne accepteres, at dagslystilgangen er indirekte (flere lag glas med rum imellem, fx i overdækkede gader i storcentre). Dog bør der i disse tilfælde tages forbehold for ny viden vedrørende effekten af lysets kvalitative ændring.

Kravet om dagslystilgang kan i visse tilfælde fraviges, fx under henvisning til arbejdets art, eller såfremt der er tale om afgørende ulempe for virksomhedens drift, jf. § 25, stk. 3. En dispensation kan eksempelvis være begrundet i byplanmæssige hensyn og fredningsbestemmelser.

Udsyn

Ifølge At-cirkulæreskrivelse Nr. 3/1999, § 25, stk. 2, skal der fra arbejdsrum være udsyn til omgivelserne gennem vinduer eller lignende. Ifølge At-meddelelse Nr. 1.01.12 gælder dette dog ikke for arbejdsrum, der før 1. januar 1993 lovligt var indrettet uden udsyn, samt arbejdsrum, hvor dagslystilgang ikke kræves af hensyn til produktions- og andre særlige forhold. Udsyn til omgivelser skal som udgangspunkt forstås som 'udeomgivelser'. Der er derimod ikke noget krav om, at der skal være udsyn fra den enkelte arbejdsplads.

Det kan efter omstændighederne accepteres, at de ansatte fra rummet kan fornemme vejrliget eksempelvis gennem glaspartier til et andet lokale, hvorfra der er udsyn til store glasoverdækkede arealer. Det bør dog kræves, at der er tale om udsyn til store områder, fx større atrier, der giver tilnærmelsesvis samme effekt som udsyn til udeomgivelser.

Kravet om udsyn kan fraviges under henvisning til arbejdets art, eller såfremt der er tale om afgørende ulempe for virksomhedens drift, jf. § 25, stk. 3.

Kunstig belysning

At-vejledning A.1.5 (Arbejdstilsynet, 2002) beskriver Arbejdstilsynets krav til kunstig belysning på faste arbejdssteder. At-vejledningen erstatter At-meddelelse nr. 1.01.16. Vejledningen indeholder retningslinjer om forhold, der har betydning for god belysning. Der beskrives retningslinjer for, hvordan man mindsker blænding, spejling, generende reflekser og flimmer. I tillæg beskrives retningslinjer for, hvordan lysets fordeling, retning, styrke og farve skal være hensigtsmæssig. Belysningen skal – udover at give lys til arbejdet – oplyse rummet på en behagelig måde", jf. At-vejledning A.1.2: "Indeklima" (Arbejdstilsynet, 2001a).

I Arbejdsministeriets bekendtgørelse nr. 96 af 13. februar 2001: "Bekendtgørelse om faste arbejdssteders indretning" er kravet til belysningen på arbejdsstedet, at den skal være af en sådan beskaffenhed, at arbejdet og færdslen kan foregå forsvarligt. Der skal være en tilstrækkelig almen belysning i arbejdsrummet og passende særbelysning på den enkelte arbejdsplads, og lysfordeling, lysstyrke og lyskvalitet skal være afpasset efter arbejdets art og arbejdsrummets farver. Belysningen må ikke i sig selv give anledning til en sundhedsskadelig påvirkning. Den skal være indrettet således, at den ikke giver blænding, generende reflekser eller medfører generende varme.

Skærmterminaler

At-vejledning D.2.3: "Arbejde ved skærme" (Arbejdstilsynet, 2001b) beskriver Arbejdstilsynets krav til skærmterminaler. Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 1108 af 15. december 1992: "Bekendtgørelse om arbejde ved skærmterminaler" gælder, når en ansat regelmæssigt bruger en skærm i mere end ca. 2 timer af sin normale daglige arbejdstid. Hvis den ansatte bruger en bærbar computer regelmæssigt og mere end ca. 2 timer næsten dagligt på den faste arbejdsplads, skal computeren opfylde de samme indretningskrav, som gælder for stationære computere. Disse omfatter både krav til, at skærmterminalen uden besvær skal kunne drejes og vippes således, at den kan tilpasses brugerens behov, og at tastaturet skal kunne stilles skråt og skal kunne skilles fra skærmen.

Skærbekendtgørelsen stiller krav til, at almenbelysning og særbelysning (arbejdslamper) skal sikre tilstrækkelig belysning og en passende kontrast mellem skærm og omgivelser under hensyntagen til arbejdets karakter og brugerens synsbehov. Skærmterminalarbejdspladsen skal være indrettet således, at lyskilder, såsom vinduer og andre åbninger, gennemsigtige eller gennemsiknelige vægge samt lyse overflader på udstyr eller vægge, ikke forårsager direkte blænding og ikke medfører generende reflekser på skærmen. Vinduerne skal være forsynet med en passende indstillelig afskærmning, som kan dæmpe det dagslys, der falder ind på skærmterminalarbejdspladsen.

Andre vejledninger

Branchevejledningen: "Belysning i klasselokaler" (Branchesikkerhedsrådet, 1998), kan læses som et supplement til arbejdsmiljøloven, men den er i sig selv ikke juridisk bindende. Formålet er at bidrage med 'gode råd til de personer, der medvirker ved opførelsen af nye skoler og ved nyindretning som følge af udvidelse eller ombygning af eksisterende skoler'. På trods af, at vejledningen er udgivet, før folkeskoleloven af 1993 trådte i kraft, indeholder den brugbare informationer og råd, der stadig kan anvendes i forbindelse med projektering af belysning i skolerne i dag. I den første del findes en gennemgang af baggrundsstof såsom lys og synsforhold, beskrivelser af lys og lyskilder samt lystekniske begreber, hvorefter vejledningen bliver mere specifik i forhold til både funktionelle krav og økonomiske hensyn. Det påpeges, at dagslys er en overset faktor, både når man vil opnå en god og en energioekonomisk løsning, og vejledningen omhandler derfor både krav til dagslys og elektriske belysningsanlæg.

Pjecen: "God og energirigtig skolebelysning" (Lysteknisk Selskab, 1993b) beskriver krav til skolebelysningen under hensyntagen til de energi- og driftsmæssige krav. Nøgleordene er tryghed, sikkerhed og tilstrækkeligt arbejdslys. Pjecen gennemgår en række særlige krav til den elektriske belysning i skolens områder. Den omhandler dog hverken dagslys eller det elektriske lys' mere sociale og æstetiske funktioner. På visse områder er publikationen utidssvarende, idet den tager udgangspunkt i funktionelle forhold, som er forskellige fra den langt mere fleksible anvendelse af skolens lokaler, som folkeskoleloven af 1993 lægger op til. Når den alligevel nævnes her, er det fordi publikationens små 'databokse' med anvisning af bl.a. belysningsstyrker og blændingskrav stadig kan anvendes som retningslinjer. Det samme gælder oversigten sidst i pjecen: "God belysning - hvad er det?", som punktvis gennemgår forskellige aspekter, man bør overveje i belysningsplanlægningen:

- Tilstrækkeligt lys
- Ingen blænding
- God kontrastgengivelse

- Rigtig lysfarve
- God farvegengivelse
- Ingen flimmer
- Lavt energiforbrug.

Det kan endvidere anbefales at læse SBI-anvisning nr.196: "Indeklima-håndbogen" (Valbjørn et al., 2000), der med udgangspunkt i et videnskabeligt og erfaringsmæssigt solidt materiale omkring indeklimaforhold behandler dagslys og belysningsforhold ud fra både lovgivningsmæssige krav samt funktionelle og tekniske hensyn.

Undervisningsmiljøloven

I 2001 vedtoges "Lov om elevers og studerendes undervisningsmiljø" (*Lov nr. 166 af 14. marts 2001*:), der sigter på, dels at etablere en fælles ramme for behandlingen af elevers og studerendes undervisningsmiljø, og dels at denne ramme har forbindelse til gældende lovgivning på en række områder, herunder det sikkerheds- og sundhedsarbejde som uddannelsesstederne udfører i henhold til lov om arbejdsmiljø, til lovgivningen om bygningsmæssige standarder mv. samt til lovgivningen om sundheds- og hygiejnemæssige forhold mv.

Loven beskriver en række hensigter samt rettigheder og pligter for elever, skoler og kommuner, men medfører i praksis ikke skærpede krav til skolens rum og bygninger. Loven om elevers og studerendes undervisningsmiljø fastslår, at:

- elever og studerende *har ret til* et godt undervisningsmiljø, og den skal sikre, at undervisningen foregår sikkerheds- og sundhedsmæssigt fuldt forsvarligt, og at der tilvejebringes et godt psykisk og æstetisk miljø
- eleverne *skal* medvirke til og samarbejde med skoleledelsen om at tilvejebringe og opretholde et godt undervisningsmiljø og også bidrage til, at foranstaltninger, der fremmer et godt undervisningsmiljø, virker efter deres hensigt, altså en opfølgingsfase
- eleverne *har ret til* at vælge undervisningsmiljørepræsentanter, der deltager i uddannelsesstedets sikkerheds- og sundhedsarbejde, når der behandles forhold af betydning for elevers og studerendes undervisningsmiljø
- skolerne mindst hvert tredje år *skal* udfærdige en undervisningsmiljøvurdering af *sikkerheds- og sundhedsforholdene* samt forholdene vedrørende det *psykiske og æstetiske* miljø på uddannelsesstedet
- undervisningsmiljørepræsentanterne *skal* inddrages i planlægningen, tilrettelæggelsen og gennemførelsen af samt opfølgningen på undervisningsmiljøvurderingen.

For at være skolerne behjælpelig med at løse eventuelle undervisningsmiljøproblemer oprettedes i 2002 Dansk Center for Undervisningsmiljø (DCUM). Centret skal medvirke til at sikre og udvikle et godt undervisningsmiljø i Danmark, herunder at yde vejledning og rådgivning til elever og studerende samt uddannelsessteder og myndigheder i undervisningsmiljøspørgsmål.

Udenlandske regler og retningslinier

Da det ofte sker, at bygherrer og arkitekter henter inspiration fra udlandet i forbindelse med nybyggeri, er der i litteraturlisten inkluderet et udvalg af vejledninger i lysdesign fra nogle af de lande, vi oftest vender blikket imod. I

vores nabolande Sverige, Norge, Tyskland og England findes der ligesom her i landet lovkrav af samme type som vores Bygningsreglement og Arbejds miljølov. I Sverige er skoleelever og studerende dækket af den generelle Arbejds miljølov fra 1978. Det er i den forbindelse dog væsentligt at nævne, at på trods af at den svenske lovgivning stiller krav om dagslys i boliger og legerum i børneinstitutioner og fritidshjem, så er der ingen lovkrav om dagslys i arbejdsrum generelt. Heller ikke i USA er der lovkrav om dagslys i arbejdslokaler, og klasselokaler samt kontorlandskaber helt uden vinduer er ikke ualmindelige. Eksempler på skolebyggeri fra Sverige og USA kan derfor ikke altid umiddelbart overføres til danske forhold.

Flere amerikanske undersøgelser har i de senere år peget på vigtigheden af tilstedeværelsen af dagslys i skolens lokaler, både i forbindelse med børnenes helbred og deres "academic performance" (Heschong Mahone Group, 2002), og de overbevisende forskningsresultater har bevirket, at flere amerikanske stater har iværksat workshops og udviklingsprogrammer, som skal medvirke til en forbedring af skolernes dagslysmiljø, blandt andre det californiske program: "Collaborative for High Performance Schools" (CHPS, 2002).

Dagslys i skolen

Lyset er et betydningsfuldt element i børnenes oplevelse af deres omgivelser. Dagslyset får rum og ting til at ændre karakter i løbet af dagen, og lyset skaber forbindelse mellem ude og inde og afslører, om det er sol eller regn, dag eller nat. En italiensk forskergruppe beskriver i bogen "Children, Spaces, Relations" (Ceppi & Zini, 1998) lyset som det element, der bedst formår at vække følelser i forhold til skolens fysiske omgivelser, idet det kan sammenholdes med tre vigtige faktorer: Synlighed, æstetik og følelse af tid. Kort sagt, lysets indflydelse på vores omgivelser påvirker os og vores oplevelse af det sted, vi befinder os.

Retningen og karakteren af det lys, der kommer ind, danner, sammen med rumfladernes evne til at fordele lyset, grundlag for den synsoplevelse og helhedsfornemmelse man får af rummets dimensioner, form og 'atmosfære'. I et helt sort rum vil rumfladerne ikke reflektere meget lys og dermed give oplevelsen af et meget kontrastfyldt lokale, hvor himmel og omgivelser opleves som en stor kontrast til det mørke interiør. Modsat vil et helt hvidt rum give et stort bidrag af reflekteret lys fra rummets egne flader, hvilket vil bidrage til at udjævne kontraster og kan give rummet en mere blød eller diffus karakter. En passende afstemning mellem vinduestørrelse, rumforhold og fladeegenskaber vil give rummet variation og karakter, men samtidig er det vigtigt, at de øvrige faktorer, som påvirker det visuelle miljø, er tilfredsstillende. Det indebærer, at lyset skal tilpasses efter de opgaver, der skal udføres i rummet.

Projektering med dagslys

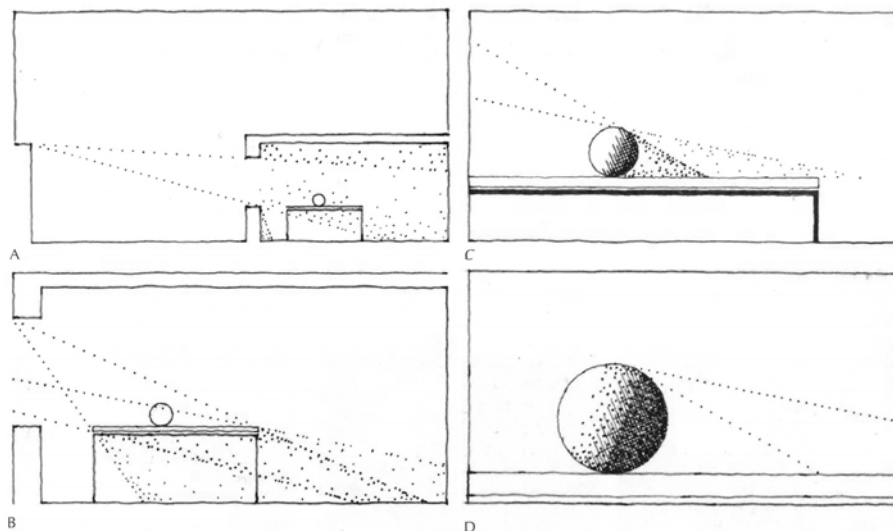
Enhver skole bør planlægges og udformes således, at det naturlige lys i størst mulig udstrækning dækker belysningsbehovet ved den mangfoldighed af aktiviteter, som udfolder sig i skolens rum og bygninger. Dagslyset har en række kvaliteter, som aldrig kan opnås alene ved kunstig belysning. Dagslyset indeholder alle spektrets farver og gengiver derfor alle farver naturligt samtidig med, at det hele tiden varierer i farve, intensitet og retning - ikke blot over dagen og året, men fra det ene øjeblik til det næste.

Vigtigheden af skygger

Ved planlægningen af lyset i skolens rum må den projekterende have en forestilling om, hvilke aktiviteter der skal foregå, og hvordan lyset kan understøtte udfoldelsen af disse aktiviteter. For at forstå lysets betydning for de synsindtryk vi modtager, kan den projekterende med fordel tænke i skygger. Skygger optræder, hvor lys og materie mødes, derfor er skygger et af hovedelementerne i det visuelle miljø og bestemmende for vores perceptionen af rum, objekt og tekstur.

Gennem studier ved Belysningslaboratoriet på Kunstakademiets Arkitekt-skole i København har Sophus Frandsen og Ebbe Christensen udviklet en "skyggeskala" i 11 trin, fra det helt rettede lys til det helt diffuse. Ved iagttagelse af objekter og personer i et rum er den rette balance mellem det rettede og det diffuse lys afgørende for, at formen kan opfattes, og detaljerne kan skelnes. Men iagttagelse og analyse er ikke vores eneste form for synsvirk-somhed. Det er kun, når vi er koncentrerede om at iagttage - at fokusere - at vi har brug for denne præcision. Udenfor området nær synsaksen (central-

synet) har begrebet fokusering ingen mening. Vi "iagttager" ikke uden for dette snævre synsfelt, men vi "opfatter". Det vi skal opfatte er større sammenhængende rumlige helheder, som kræver en anden form for lys og skygge. Lyset her skal snarere være blødt og diffust og ikke give anledning til distraktion. Ud fra disse iagttagelser er der defineret fire funktionsbestemte skyggekatégorier, de fire skygger (Frandsen, 1985), som alle har betydning for et godt visuelt miljø, jf. figur 3.



Figur 3. De fire skyggekatégorier: A) Den store rumsskygge, B) Den store genstandsskygge, C) Den lille genstandsskygge samt D) Detailskyggen eller teksturskyggen. Fra Sophus Frandsen: "Lyset i rummet, lyset på tingene" (Frandsen, 1985).

Disse fire skyggekatégorier blev oprindeligt defineret på basis af de skygger, der optræder i almindelige, sidebelyste rum. Trods dette er skyggeklassificeringen lige så anvendelig i de fleste andre rumtyper, både ved dagslys og ved kunstlys. De første to, A) og B), relaterer sig især til rummet. Der er her tale om skygger, der er store nok til, at vi kan bevæge os ud af og ind i dem, skygger, som afledes af himmelgrænseplanet, eller skygger, som stammer fra større arkitektoniske elementer som fx en søjle eller et stort møbel. De andre to skygger, C) og D), relaterer sig til personer og objekter i rummet, det visuelle indtryk af et ansigt, genstande som vi arbejder med, tager fat i og flytter rundt. Den lille genstandsskygge, den skygge som er afgørende for, hvordan form gengives, mens detailskyggen består af en masse miniaturskygger, som blotlægger teksturer af materialer og overflader omkring os. Skyggeskalaen og de fire hovedskygger er afgørende for lysets rumlige og skulpturelle virkning.

Sammenhængen mellem lys, skygge og syn

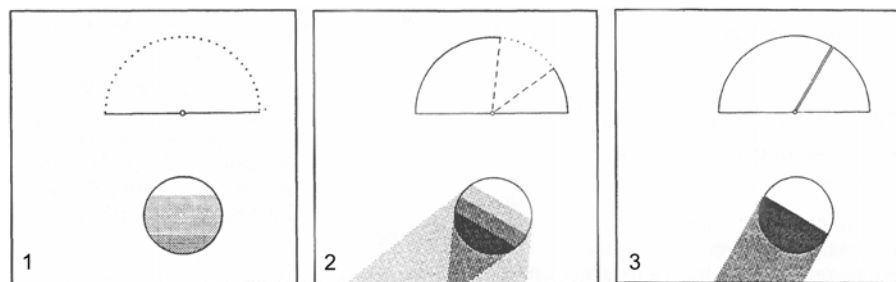
Når man arbejder med begreber som *belysningskvalitet* og *visuel komfort*, må man nødvendigvis både beskæftige sig med oplevelsen af rummet og med oplevelsen af objekterne i rummet.

Menneskets syn er funktionelt delt i centralsynet og periferisynet. Vi bruger centralsynet til at se på eller fokusere på noget. Periferisynet eller rumsynet bruger vi til at danne os et indtryk af rummet omkring os. Centralsynet dækker kun omkring 2 grader af vores synsfelt og er fysiologisk udviklet til større præcision i både farve-, kontrast- og teksturaflæsning, hvilket gør det specielt egnet til at undersøge detaljer som fx ansigtsudtryk, se små bogstaver eller overfladeteksturer. Periferisynet spænder næsten 180 grader, og selv om det generelt er rumligt orienteret, har forskellige områder forskellige funktioner. De centrale 37-53 grader af synsfeltet bruges til at skabe et overblik over rum og større objekter. Dette giver os evnen til at forbinde detaljen med helheden af et objekt, såsom dørhåndtaget som en del af døren eller

sammenhængen mellem et enkelt penselstrøg og et stort maleri. Disse synsvinkler svarer til dem, som anvendes i typiske kameralinser (35 mm og 50 mm), og som også er baggrunden for '1:2 - 1:3 tommelfingerreglen' for perspektivtegninger. Det ydre periferisyn har bl.a. den funktion at 'advare' os om farer og forandringer i vore omgivelser, fx i form af bevægelser eller ændringer i belysningsniveauer.

Ved planlægning af lyset i et rum er det derfor vigtigt, at man ved, hvad der skal forgå i rummet. Er det rummet, objektet eller detaljen, der er vigtigst? Med de store krav, der i dag stilles til rummenes fleksibilitet og mangfoldighed i anvendelse, må den projekterende søge at skabe flere muligheder for 'lyssætninger', både ved dagslys alene, ved kunstlys alene og i situationer med samspil mellem dagslys og kunstlys.

Som omtalt tidligere, har skygger stor betydning for vores perception af rum, objekter og tekstur. De tre diagrammer i figur 4 fra DS700 (Dansk Standard, 1997) illustrerer, hvordan fordelingen af lyset influerer på form- og skyggegegensvarelsen.



Figur 4. Objektets skyggetyper. Halvcirklerne øverst i diagrammerne viser placering og udstrækning af lyskilden i forhold til kuglen, 1 i det helt diffuse lys, 2 i det blandede lys og 3 i det helt rettede lys. Fra DS700 (Dansk Standard, 1997).

Det helt diffuse lys (1) udviser konturer og former, mens det præcise, rettede lys (3), som fra en spotlampe eller en meget smal dagslysåbning, giver en forvrænget perception af objektets form, fordi objektet så at sige 'splittes' i to dele, skarpt lys og dyb skygge, uden nogen overgang. Gennem en afbalancering af det diffuse og det rettede lys (2) opnås en præcis formgengivelse, stammende fra den gradvise fortegning af lyset over objektets form. I dette tilfælde kan vi umiddelbart lettere opfatte og forstå objektet.

Ved planlægning af forskellige 'lyssætninger' er det vigtigt at huske, at hver lyskilde, både vinduer og belysningsarmaturer, bidrager til rummets visuelle kvalitet. Samspillet mellem de forskellige lyskilder og deres forskellige karakteristika må nøje gennemtænkes, for at man kan opnå de tilsigtede visuelle miljøer, herunder især gengivelsen af skyggerne som beskrevet ovenfor.

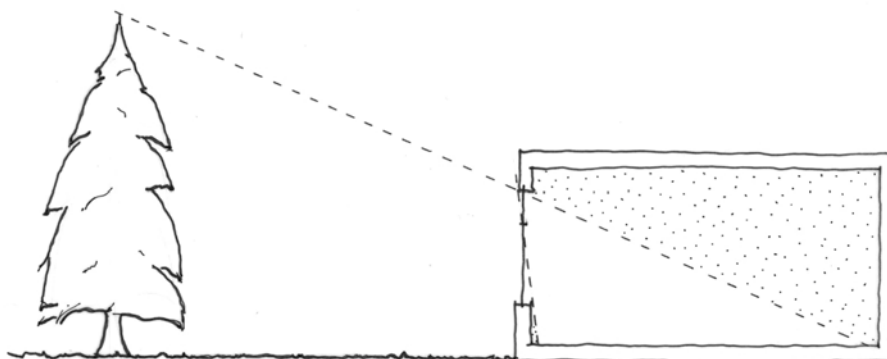
Tabel 1 nedenfor giver en oversigt over sammenhængen mellem lyset, synet og den visuelle aktivitet. Tabellen er udarbejdet på baggrund af en tabel udviklet af den svenske arkitekt og belysningsforsker Anders Liljefors (Liljefors, 1999). Tabellen giver eksempler på, hvornår vi bruger detaljesynet (præcisionssyn) og rumsynet (orienteringssyn), samt i hvilke situationer lyset understøtter, henholdsvis forringer vore synsbehov.

Tabel 1. Oversigt over sammenhængen mellem belysning, synsforhold og skygger.

	Detaljesyn	Rumsyn
Anvendelse	At se på genstande, ansigter etc. Præcision er vigtigst	At opfatte rum og større arealer såsom bygninger og landskaber Helheden er vigtigst
Nøgleord	Aflæselighed, tegning af farve, form (både 2- og 3-dimensionel) og tekstur	Stemning, evnen til at kunne orientere sig, tryghed
Eksempler	Opfattelse af bogstaver og tegn, ansigter, eller afgrænsninger/kanter, mindre skygger og detaljer samt tekstur	Oplevelsen af et rums atmosfære, dets størrelse og proportioner samt rummets relation til omgivelserne
God visuel gengivelse opnås bl.a. ved	Tydelig tegning af kontraster og farver	Definerede flader og bløde, graduerede skygger
Skabt af	Relativ høj luminans og veldefineret lysretning til fremhævelse af materialet	Varierende lysintensitet samt en graderet/varieret lysfordeling, som differentierer større rumflader og objekter
Dårlig visuel gengivelse skyldes bl.a.	Reduceret kontrastgengivelse og dårlig form- og teksturgengivelse	Reduceret eller ingen forskel mellem forskellige rumfladers lyshed samt hårde og 'uafæselige' skygger
Skabt af	For lidt lys, spejlende eller slørende refleksioner, forstyrrende skygger samt for ensartet eller diffus belysning	Ensartet, monoton belysning, armaturer med stærke skyggetegninger
Forholder sig til skyggetyper i figur 3.	C og D	A og B

Himmelgrænseplanet

Fastlæggelsen af et rums himmelgrænseplan er et godt og lettilgængeligt redskab til at vurdere planlagte rum- og facadeudformninger, idet det giver en god fornemmelse af dagslysets fordeling i rummet, og dette er afgørende for rummets visuelle miljø. Himmelgrænseplanet definerer grænsefladen mellem områder i rummet, som modtager dagslys direkte fra himlen, og områder, der kun modtager reflekslys både fra omgivelserne og fra rummets egne flader. Der findes to typer af himmelgrænseplan: Det ene er lokaliseret under vinduet, hidrørende fra afskæringen af himlen på grund af vinduets egen geometri (især muren eller karmens dybde) og de umiddelbare omgivelser, fx fremspring over vinduet. Det andet og vigtigste himmelgrænseplan er det plan, som dannes af rudens overkant samt horisonten eller toppen af omkringliggende bygninger, træer eller lignende, jf. figur 5.



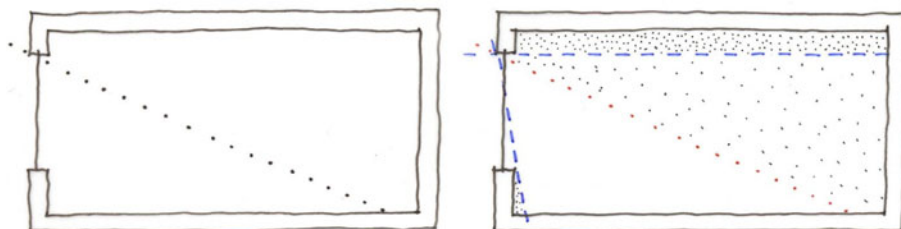
Figur 5. Himmelgrænseplanet, her defineret ved planet mellem vinduets overkant og en række træer. Den del af rummet, som ligger over planet, vil kun modtage reflekteret lys fra jorden og øvrige omgivelser.



Figur 6. Eksempel på aftegning af himmelgrænseplanet, som her ses tydeligt aftegnet på gulv og nederste del af væg i gangen på Le Corbusiers kloster La Tourette, nær Lyon i Frankrig.

Tommelfingerreglen for dagslysets indtrængning i rummet

En simpel håndregel, som er hurtigere at anvende i den tidlige projekteringsfase end fx dagslysfaktorberegninger (jf. næste afsnit), siger, at i rum med lodrette vinduer vil dagslyset i sig selv give tilstrækkeligt med lys i en afstand fra vinduet svarende til 2 gange vinduets (overkantens) højde over gulvet. Lysets hastigt aftagende styrke med stigende afstand fra vinduet, se figur 18, skyldes, at vinklen til den synlige del af himlen bliver mindre, at lysindfaldet på en vandret flade bliver mere skråt (og lysintensiteten dermed mindre), samt at luminansen af himlen er lavest i horisonten.



Figur 7. Illustration af tommelfingerreglen for lysets indtrængning i rummet (til venstre) samt kombinationen heraf med rummets himmelgrænseplaner - der uden udvendige obstruktioner fremstår horisontalt, afgrænset af vinduets overkant og horisonten.

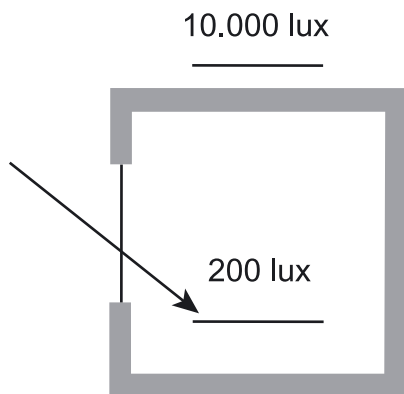
Bestemmelse af dagslysfaktoren

Vinduets størrelse, placering og form har stor indflydelse på den tilførte mængde af dagslys, fordelingen af lyset i lokalet samt lysets evne til at gengive formen af rummet og objekterne i rummet. Belysningsstyrken aftager meget hurtigt ind gennem rummet, når man bevæger sig væk fra vinduet. Denne variation er imidlertid fuldt ud acceptabel og netop karakteristisk for dagslyset.

I de ældre skoler, hvor der stort set kun blev anvendt dagslys, var lokalerne ikke så dybe, og der var højt til loftet, således at vinduerne kunne gøres høje. Jo mere man kan se af himlen fra et punkt i rummet, jo mere dagslys modtager punktet.

Da belysningsstyrken fra dagslyset varierer kraftigt fra det ene øjeblik til det næste, giver den øjeblikkelige belysningsstyrke ikke noget billede af, hvor meget dagslys rummet modtager over et helt år. Som et mere generelt mål for, hvor meget dagslys, der er i et punkt af lokalet, benytter man derfor forholdet mellem belysningsstyrken i punktet og den samtidige belysnings-

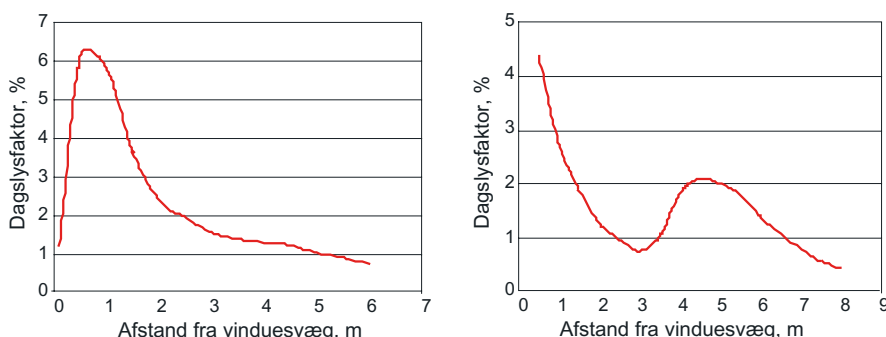
styrke på en vandret flade i det fri. Når man ser bort fra direkte solstråling er dette forhold nemlig konstant, og betegnes *dagslysfaktoren*, *DF*, se figur 8.



Figur 8. Dagslysfaktoren er et mål for mængden af dagslys inde i forhold til ude. Når belysningsstyrken er 200 lux inde og 10.000 lux på vandret i det fri, bliver dagslysfaktoren $DF = 2 \%$.

Når man kender variationen af belysningsstyrken i det fri, kender man altså også variationen af belysningsstyrken det pågældende sted i rummet. Herudfra kan man fx vurdere, i hvor stor en del af skoletiden dagslyset vil være tilstrækkeligt ved de forskellige arbejdspladser i rummet.

Figur 9 viser eksempler på, hvorledes dagslysfaktoren varierer ind gennem et lokale, dels i et tilfælde med almindelige sidevinduer og dels i et tilfælde med supplerende, højsiddende vinduer i facaden. Det bemærkes, at dagslysfaktoren kun udtrykker noget om, hvor meget lys, der vil være i de valgte beregningspunkter, men ikke noget om kvaliteten af lyset i rummet. Endvidere vil oplevelsen af den faktiske belysningsstyrke i et punkt eller på et stykke papir være helt afhængig af kontrasten mellem bogstaver og papir, samt af baggrundsluminansen det pågældende sted i rummet.



Figur 9. Eksempler på dagslysfaktorens variation fra vinduet ind gennem lokalet. Til venstre en typisk kurve ved almindelige vinduer og til højre suppleret med højsiddende vinduer i facaden.

I det følgende beskrives forskellige dagslysstrategier med karakteristika, fordele og potentielle problemer for de enkelte løsninger. De principielle løsninger illustrerer anvendelsen af himmelgrænseplan og tommelfingerreglen for undervisningsområder, og løsningerne konkretiseres ved eksempler fra nogle af de skoler, som har indgået i undersøgelsen.

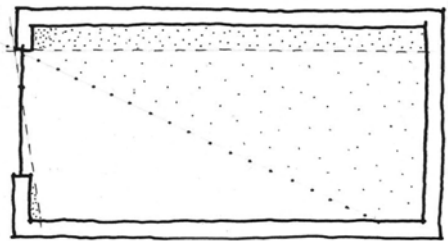
Sidelys

Ved sidelys skal her forstås dagslys tilført rummet fra lodrette vinduer i rummets facade. Dagslyset fra vinduet består dels af direkte lys med en fortrinsvis skrå, nedadrettet retning, og dels diffust lys reflekteret fra omgivelserne samt rummets overflader. Kombinationen af det rettede og det diffuse lys giver dagslyset gode egenskaber med hensyn til at gengive rumlige genstan-

de gennem skyggedannelser og fortoninger i lyset. Overfladernes struktur (tekstur og glans) fremhæves af skyggedannelser og spejlinger af det rette lys. Et helt diffust lys mangler denne egenskab, hvilket udvisker form og struktur og kan virke kedelig, jf. beskrivelse af skyggetyper side 24.

Bidraget af reflekteret lys fra rummets egne flader er særlig vigtigt i områder der modtager et begrænset bidrag af direkte lys fra sol og himmel. Udnyttes refleksionsegenskaberne for de flader, der modtager direkte dagslys, hensigtsmæssigt, kan det sikres, at resten af rummet får en bedre udnyttelse af det reflekterede dagslys. I sidebelyste rum vil himmellyset først ramme gulvet samt vandrette og lodrette flader orienteret mod vinduet, mens loftet modtager reflekslyset fra jorden foran vinduet. Ofte vil mere end halvdelen af belysningsstyrken bag i rummet være reflekslys fra omgivelserne, når fladernes reflektans er 50 %.

Sidebelyst rum



I dette eksempel, hvor vinduet har en relativ stor højde, fordeles lyset gennem det meste af rummet, idet der dog ofte tegner sig en grænse diagonalt over sidevægge med mere lys på den nedre del af væggene og på gulvet.

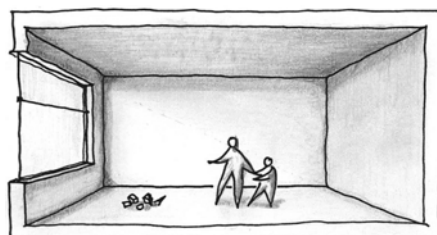
Forholdet mellem vinduets højde og rummets dybde er afgørende for, om denne dagslysstrategi fungerer, idet dagslysniveauet falder drastisk bagest i rummet, når dette forhold formindskes. Da denne dagslysløsning kun har én 'hovedlyskilde' er det desuden vigtigt, at overfladerne har en høj lysreflektans, eftersom tilstedeværelsen af reflekslyset vil forbedre det visuelle indtryk af rummet, især gennem reduktion af skarpe kontraster.

Fordele

God gengivelse af form og struktur på ansigter og objekter på grund af den klare rettetthed af det indkommende lys fra én side.

Potentielle problemer

De høje vinduer kan forårsage blændingsproblemer, især nær ved vinduet, på grund af et stort, frit udsyn til himlen. Dette problem kan dog afhjælpes ved omhyggelig detaljering af vinduesrammer, vindueslysning og væg samt ved at forsyne den øverste del af vinduerne med regulerbare solafskærmninger, fx persienner. Den bageste del af rummet kan i nogle tilfælde virke dunkel eller dyster. Om dette er et problem, afhænger af, hvad denne del af rummet benyttes til, men i givet fald kan problemet reduceres ved at holde området åbent og med lyse overflader. Det kunne også være et område som var egnet til pc-arbejdspladser.



Figur 10. Almindeligt sidebelyst rum med et relativt højt vindue i forhold til rumdybden.

Eksempler på lokaler med sidelys

Når man sammenligner dagslyset i klasserummene i de skoler, som indgår i rapportens undersøgelser, forekommer det, at det bedste dagslys findes i skoler med de enkleste vinduesløsninger, nemlig almindeligt sidelys fra én side gennem (højtsiddende) vinduer i facaden. Dette ses især i Hillerødgades skole (fra 1915), hvor rumhøjden er 3,5 m samt Parkskolen (fra 1962), hvor rumhøjden er 3,15 m. Begge skoler har et begrænset rudeareal på ca. 15 % af gulvarealet.

Medvirkende til det gode dagslys i disse skoler er, at rumdybden er forholdsvis beskeden, mindre end 2 gange rumhøjden, samt at der er lyse farver på vinduesrammer, vinduesnicher og alle overflader.

På Hillerødgades skole er klasselokalerne forholdsvis små med høje og sprossede vinduer i den ene langvæg, der sender lyset langt ind i rummet, se figur 11. Det største problem med rum, der modtager kraftigt lys fra en side, er, at der kan opstå blændingsproblemer, når man ser direkte mod vinduesvæggen. Dette er også i nogen grad tilfældet her, hvor en høj brystning bevirker, at udsigten domineres af kig til himlen og dens forholdsvis kraftigere lysintensitet. Vinduesnichen og sprosserne afhjælper i nogen grad kontrastoplevelsen, men de farvede gardiner er med til at forstærke den. Lyse rumoverflader og materialer omkring vinduet vil være at foretrække, da det vil formindske kontrastforholdene.



Figur 11. Hillerødgades skole. Både gang og klasselokaler fremstår velbelyste med dagslys alene. Klasselokalerne er forholdsvis små med høje, sprossede vinduer i den ene langvæg, der sender lyset langt ind i rummet. Problemet med blænding fra de højtsiddende vinduer afhjælpes i nogen grad af vinduesnichen og vinduessprosserne, mens de farvede gardiner er med til at forstærke kontrastoplevelsen.

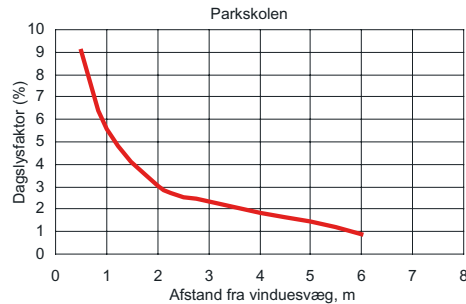
De store, højtsiddende vinduespartier kræver altså særlig opmærksomhed i projekteringen, hvis man vil undgå generende sollys og blænding fra vinduerne. Selv en overskyet himmel kan give blændingsproblemer, når man kigger direkte mod vinduesvæggen, og det vil derfor normalt være nødvendigt at forsyne de høje vinduer med en regulerbar solafskærmning.



Figur 12. Parkskolen. Lokalet er velbelyst med en god kontrastfordeling og kun en smule himmelblænding. Orienteringen mod syd bevirker, at der er behov for solafskærmning. Dette har man valgt at løse med et udvendigt lameludhæng samt indvendige gardiner.

I Parkskolen, Figur 12, har man valgt at afbøde eventuelle problemer ved et lameludhæng og indvendige gardiner. Løsningen klarer de største blændingsproblemer, men koster for meget dagslys på gråvejrsdage samtidig med, at de lyse gardiner giver for høj luminans ved direkte solbestråling.

Normalt er en permanent solafskærmning ikke hensigtsmæssig i Danmark, hvor vi har gråvejr 2/3 af tiden, men i dette tilfælde er udhænget med til at afhjælpe blændingsgener fra himlen og udjævne lysfordelingen ind gennem rummet. Anvendelse af indvendige persienner eller rullegardiner i stedet for de nuværende gardiner ville give en større lysmæssig fleksibilitet, idet de giver bedre mulighed for delvis afskærmning. Figur 13 viser den målte dagslysfaktor på et vandret plan, i en linie 0,7 m over gulv, vinkelret på facadden.



Figur 13. Parksolen. Dagslysfaktorens variation i arbejdsøjde, målt i en linie midt for vinduet. Dagslysfaktoren er relativt høj med en værdi på næsten 2,0 fire meter fra vinduet.

I en af de nye skoler, Hedegaardsskolen, figur 14, er der også valgt højtstående vinduer for at få dagslyset dybt ind i lokalerne. Mod nord og syd har man valgt at lade det nedhængte loft kun gå ud til ca. 1 meter fra facadden, således at de øverste vinduer kan gå helt op til betontagdækket. Løsningen øger dagslysindfaldet betydeligt, men øger også hyppigheden af gener fra himmellys og sollys. Dette har man løst ved hjælp af udvendige rullegardiner. På grund af det brede parti mellem *udsigtvinduerne* (nederst) og *dagslysvinduerne* (øverst), vil der ofte være for stor kontrast mellem vinduerne og det faste felt. De øverste vinduer skal primært sikre dagslys dybt ind i rummet og kaldes derfor dagslysvinduer. Separat afskærmning for disse vinduer reducerer kontrastproblemet, ligesom belysningsarmaturerne nærmest vinduesvæggen vil kunne opløse den skarpe kontrast på facadden.



Figur 14. Hedegaardsskolen. Lyset kastes dybt ind i rummet fra de højtstående dagslysvinduer. Blænding fra himlen reduceres ved at de to vinduestyper er forsynet med uafhængige solafskærmninger.



Figur 15. Hedegaardsskolen. I lokalerne mod vest (højre billede), har man valgt ikke at lade det nedhængte loft gå helt op til betondækket, og derfor optræder det faste parti ikke på denne facade.

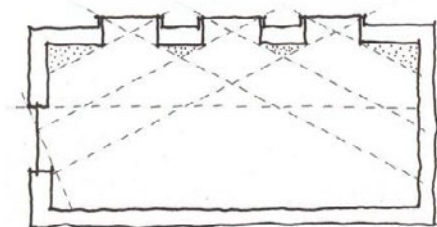
Ovenlys

Krav om rumlig fleksibilitet medfører ofte dybe lokaler, hvor det kan være vanskeligt at få tilstrækkeligt dagslys fra facadevinduer alene, og det bliver derfor nødvendigt at supplere med sekundære lysindtag. Ovenlys kan være et godt og effektivt supplement til vinduer, hvis de vel at mærke placeres hensigtsmæssigt i forhold til de rum, de skal belyse. Hvis ovenlys placeres og udformes, så dagslyset kan reflekteres videre fra én eller flere vertikale flader, virker det ofte behageligere, og rummet vil opleves lysere og mere defineret. Samtidig kan reflekslyset medvirke til en bedre balance i lysfordeling og retning samt afhjælpe kontrastproblemer fra vinduet. Det er imidlertid altid vanskeligere at planlægge dagslyset i et rum med lysåbninger i forskellige retninger, og lysets virkning på rummet bør gennemtænkes for alle tidspunkter på dagen og året. For eksempel er det ønskeligt at bevare én *hovedretning* på lyset, således at skyggedannelsen bliver entydig og formtegningen bedst mulig.

Placeringen af ovenlys bør derfor fastlægges indefra og ikke kun under hensyntagen til, hvor det af konstruktionsmæssige årsager er nemmest at gennembyrde tagkonstruktionen.

I henhold til Bygningsreglementet kan det tillades, at dagslyset udelukkende tilføres rummet via ovenlys. Reglerne angiver, at i så fald skal karmlysningsarealet være mindst 7 % af rummets gulvareal for at sikre tilstrækkelig dagslysadgang til arbejdspladserne, jf. kapitlet *Gældende lovkrav og bestemmelser*. Det bør understreges, at i et rum, hvor man opholder sig i længere tid, bør der altid være vinduer som sikrer, at man har udsigt til omgivelserne fra hovedparten af rummet.

Rum med flere ovenlys



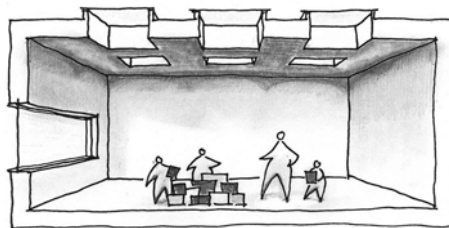
I dette eksempel behøver facadevinduet ikke at være hovedlyskilden. De belyste zoner for hvert af ovenlysene overlapper hinanden, og lyset når ned til det nederste af væggene. For at denne dagslys-løsning skal fungere tilfredsstillende, må placering og udformning af ovenlysene planlægges omhyggeligt i forhold til rummets funktioner. Mængden af dagslyset og dets fordeling afhænger af ovenlysskaktens dybde og reflektans samt forholdet mellem ovenlysens indbyrdes afstand og afstanden til vægge og gulv.

Fordele

Ved hensigtsmæssig placering af ovenlysene kan der opnås et ensartet belysningsniveau i et dybt rum, hvor sidelys er utilstrækkeligt.

Potentielle problemer

Hvis ovenlysene placeres for langt fra hinanden, og hvis ovenlysskakten er for høj, bliver dagslysfordelingen uensartet og de mørke områder vil virke dunkle. Rummet bliver vanskeligt at få til at fungere, fordi hverken de mørke eller de lyse zoner er rare at opholde sig i. Modsat kan man få en næsten helt ensartet, diffus belysning uden nogen dominerende lysretning, hvis rummet har stor lofthøjde, mange ovenlyskupler og lyse, reflekterende vægge. I hovedsageligt lodret lys vil ansigter og objekter forekomme karakterløse på grund af manglende skyggedannelse. Ved at placere nogle af ovenlysene langs en væg eller vælge ovenlys med skråtstillet åbning og lysindfald på en lodret flade kan der opnås langt bedre dagslysforhold og anvendelsesmuligheder for rummets forskellige zoner.



Figur 16. Rum med udsigtvindue(r) og flere ovenlys.

Eksempler på lokaler med ovenlys

To af skolerne i undersøgelsen er ombyggede åben-plan skoler fra 70'erne med dybe lokaler og ovenlys. Ombygningerne er ikke planlagt efter rummets brug, så ovenlysens placering er i mange af lokalerne ikke optimal for dagslystilførslen, ligesom der er flere konflikter med placering af belysningsarmaturerne i forhold til ovenlysene.

På en af skolerne har flere af klasserummene udelukkende ovenlys som dagslyskilde. Rummene mangler altså helt udsigt, og på grund af ovenlysens placering kan der ikke opnås tilfredsstillende dagslysforhold noget sted i rummene. Kontrasten mellem lyse og mørke områder er alt for stor, ligesom fordelingen mellem rettet og diffust lys er helt utilfredsstillende.



Figur 17. Stavnsholt skole. Efter ombygning er ovenlys placeret meget uhensigtsmæssigt i forhold til rummet, og dagslysforholdene er utilfredsstillende. Nogle elever opholder sig i lodret 'spotlys', mens andre sidder i et relativt alt for mørkt område.



Figur 18. Stavns Holt skole. Ovenlys placeret uhensigtsmæssigt, efter skolens oprindelige udformning. Skaktvirkningen i ovenlysene forstærkes af de høje limtræsdragere, og dagslyset får en udpræget lodret retning med dårlig formgengivelse af rumlige objekter. I andre områder af skolen har man givet limtræsdragerne en hvidpigmenteret maling samt malet øvrige detaljer lysere, hvilket giver en blødere lysfordeling samt forbedrer det visuelle indtryk væsentligt.

Ovenlysene på de to skoler illustrerer tydeligt, hvor vanskeligt det kan være at få kvalitetslys gennem lodrette skakte fra vandrette åbninger i tagfladen. Skaktvirkningen forstærkes her af selve loftkonstruktionen med høje limtræsbjælker, således at ovenlysene kommer til at virke som spotbelysning på et afgrænset område. På en af skolerne er en del af ovenlysens trærammer for nyligt blevet hvidpigmenterede – det samme gælder i øvrigt også for loftdragerne, og det er tydeligt at se, at dette dels nedsætter kontrasterne, dels er medvirkende til at skabe et lysere og mere luftigt indtryk.

Alt for ofte ser man, at belysningsarmaturer placeres direkte under ovenlysens åbninger. Dette gælder på de ombyggede skoler, jf. figur 20, men også på helt nye skoler, som fx Hedegaardsskolen, jf. figur 19.



Figur 19. Ovenlys på Hedegaardsskolen. Selv på de nye skoler ses det ofte, at belysningsarmaturer placeres i ovenlysene, hvilket kan reducere dagslysindtaget betydeligt.

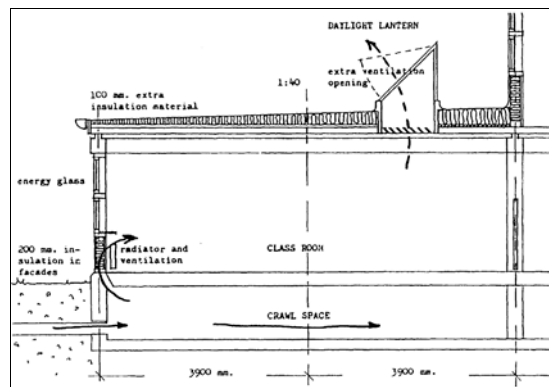
Egebjerg skole er en ombygget åben-plan skole med forholdsvis dybe klasselokaler. Adgangsforholdet fra fællesareal til klasser virker dunkel, da lysniveauet i fællesarealet er højere end i klasserne, og der er oplevelsesmæssigt lysere og rarere i fællesarealet end i klasselokalet.

Som supplement til de vinduer, der er placeret i klasselokalets ene sidevæg, findes desuden ovenlys. Disse ovenlys er desværre fortrinsvis placeret i et system i tagfladen, der ikke altid korresponderer med behovet for lys inde i klasserne. Flere af dem har fået isat en slags lameller som solafskærmning, der forekommer klodset, og som samtidig reducerer lystilførslen drastisk. Dagslysindfaldet reduceres desuden af, at man har valgt at placere belysningsarmaturer direkte under ovenlysene.

Rummets dybde i forhold til højden og det deraf følgende forholdsvis lave dagslysniveau bevirker, at der, især med sol i udsigten, opstår kontrastproblemer, således at stort set alt, der befinder sig imellem én selv og vinduerne, ses i silhuet.



Figur 20. Egebjerg skole. Ovenlysenes placering forekommer noget tilfældig, og korresponderer ikke med behovet for supplerende lys i lokalerne. Desuden ses det også her, at belysningsarmaturer er placeret under ovenlysene, hvorved dagslyset reduceres unødigt.



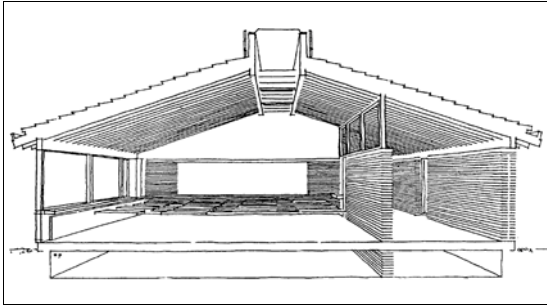
Figur 21. Egebjerg skole, Snit og detalje af ovenlys. I forbindelse med en renovering af skolen blev en del af ovenlysene forsynet med kraftigt solafskærmende lameller. Disse forekommer unødigt kraftige, idet de reducerer lysindfaldet meget betydeligt.

Eksempler på mere vellykket anvendelse af ovenlys ses på Rådmandgades skole og på Solvangsskolen. På Rådmandgades skole har man i den øverste etage suppleret sidelystet med lys fra højtstående tagvinduer. Disse vinduer giver meget lys, men på grund af den høje placering er der sjældent blændingsproblemer. Dog er en solafskærmning nødvendig.



Figur 22. Rådmandgades skole. Klasselokalerne modtager rigeligt dagslys, især fra de skrå tagvinduer. Lyse farver overalt bevirker at lysfordelingen opleves behagelig. Tagvinduerne sidder så højt, at blændingsproblemer vil optræde ret sjældent, men en afskærmning er dog nødvendig.

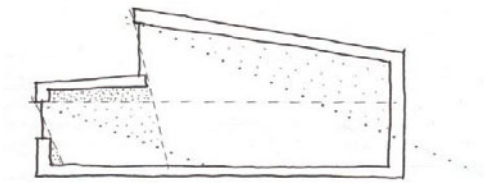
Solvangsskolen er dagslysmæssigt velplanlagt. Klasselokalerne er forholdsvis velbelyste og har både lavtsiddende vinduesbånd i den ene side samt langsgående ovenlys placeret i den bageste del af lokalet, hvor der er brug for dem.



Figur 23. Solvangsskolen. Kombinationen af sidelys og ovenlys giver rigeligt med lys i klasselokalerne, men på grund af farve- og materialevalg opleves områder alligevel dunkle.

Dette giver en jævnere lysfordeling og et højere dagslysniveau end ved sidelys alene. Derudover er der et højsiddende glasparti mellem gang og klasselokaler, hvilket fortrinsvis bevirker, at gangen virker luftigere. At der alligevel, specielt i solskin, er en tendens til, at lokalet fremstår forholdsvis dunkelt og med en uensartet lysfordeling, skyldes fortrinsvis farve- og materialevalget. Mørke vinduesrammer bevirker, at der opstår store kontrastforskelle mellem udsigt og interiør, især når man ser ud på en solbeskinnet forgrund. De ubehandlede, mørke murstensvægge, specielt bagvæggen, giver dårligere muligheder for en bedre udnyttelse og fordeling af reflekslyset.

Rum med udsigtsvinduer og højsiddende dagslysvinduer



Når et højsiddende dagslysvindue trækkes tilbage over et normalt udsigtsvindue, skabes der to forskellige rumarealer, uden at gulvfladen brydes, og derved opnås en stor fleksibilitet i rummets anvendelsesmuligheder. Lysåbningerne giver to klart afgrænsede og forskellige områder. Lyset fra de to vindueszoner overlapper delvist hinanden, men områderne markerer sig ved helt forskellige karakteristika. Det lave område ved udsigtsvinduet opleves mere intimt på grund af den mindre skala, det lavere belysningsniveau og nærheden til vinduet. Det højloftede område modtager betydeligt mere dagslys og er egnet til større gruppearbejde eller klasseundervisning.

Fordele

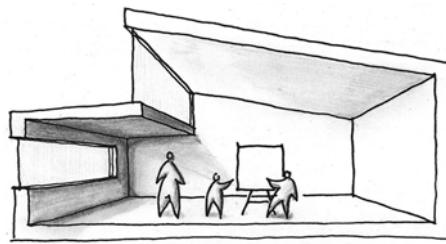
Den rumlige opdeling mellem de to områder af lokalet skabes især af lysåbningernes placering. Rummet giver gode oplevelsesmæssige variationer med dagslys, som er velegnet til aktiviteter, der omfatter kreativ håndtering af rumlige objekter, fx formning, sløjd eller naturfaglige eksperimenter.

Potentielle problemer

Der er stor risiko for, at der bliver ubalance mellem rummets lysniveauer samt blændingsproblemer fra det højsiddende vindue. For at undgå dette, bør overfladerne i rummets lave del samt gulv og bagvæg vælges i lyse farver med høj reflektans.

Vinduespartierne bør udføres som gennemgående bånd for at undgå dunkle hjørner, og det høje parti bør være mindre end det lave, dog bør der ikke være for stor afstand mellem vinduerne, for at undgå stor kontrast mellem vindue og omgivelser. Desuden må detaljer i vinduesomgivelserne udformes med omhu, ligesom loftet bør være lyst for at opbløde skarpe kontraster mellem vindue og omgivelser. Det skrå loft vil reflektere noget af dagslyset tilbage på den høje vinduesvæg og dermed reducere kontrasten. Det vil

dog altid være nødvendigt med en regulerbar solafskærmning (også mod nord), således at lysindfaldet kan tilpasses behovet og blændingsproblemer minimeres.



Figur 24. Rum med sidelys: Udsigtvindue og højsiddende dagslysvindue.

Eksempler på lokaler med højsiddende ovenlys

På Tingbjerg skole får den lavere del af lokalet dagslys fra et gennemgående vinduesbånd med udsigt til skolegården, mens det største areal hovedsageligt får dagslys fra et stort højsiddende vinduesparti placeret over nichen. Som udgangspunkt giver disse lysindtag en god og nuanceret lysfordeling i hele lokalet, og mørke hjørner er stort set undgået.

Træbeklædningen i den lavere del stjæler dog en del af reflekslyset, og det samme gør sig gældende for loftet i det store rum, hvor man med fordel kunne udnytte den skrånende flade til at reflektere lyset tilbage på vinduespartiet for at dæmpe kontrasten. De mørke vinduesrammer skaber også, især i de højsiddende vinduer, unødige kontrastproblemer.



Figur 25. Tingbjerg skole. Den lavere del får dagslys fra et gennemgående vinduesbånd med udsigt til skolegården, mens det største areal hovedsageligt får dagslys fra et stort, højsiddende vinduesparti, placeret over nichen.

I flere af de eksisterende klasselokaler er vinduespartierne forsynet med mørke eller mønstrede gardiner som eneste afskærmning. Disse gardiner er især uhensigtsmæssige i de højsiddende vinduer, hvor de dels er svære at nå og vedligeholde, dels er ufleksible i brug, da de ikke giver samme mulighed for at variere lysindfaldet som fx persienner.



Figur 26. Tingbjerg skole. Som udgangspunkt giver de to lysindtag en god og nuanceret lysfordeling i hele lokalet, og mørke hjørner er stort set undgået.



Figur 27. Tingbjerg skole. De høje vinduer giver ofte generende blænding, og er derfor i de fleste lokaler forsynet med gardiner. Gardiner er flere steder permanent trukket for, så dagslyset i rummet slet ikke bliver som tilsigtet. I de to renoverede lokaler er opsat persienser, som nemt kan justeres efter behovet.

På Hyltebjerg skole har man opnået en bedre balance mellem lyset fra sidevinduerne og lyset fra ovenlysbåndet. Ovenlysene er her noget mindre, og blændingsproblemet er ikke så voldsomt som på Tingbjerg skole. Alligevel er det nødvendigt med solafskærmning af hensyn til elever som har synsretning mod facaden.



Figur 28. Hyltebjerg skole. En variation af det højsiddende vindue, hvor udsigtsvinduet er større end dagslysvinduet, og nichen kun udgør halvdelen af rummets længde. Afstanden mellem vinduesbåndene er her så stor, at kontrasten mellem mellemstykket og vinduerne ofte kan føles ubehagelig (blænding).

På Stenvad skole har hjemklasseområder ensidigt dagslysindfald fra dels et stort, højsiddende 'kvistvindue', dels nogle mindre udsigtsvinduer samt en glasdør i lokalets lavere del. På trods af det forholdsvis store vinduesareal er der problemer med dagslysniveau og -fordeling. Vinduernes placering og størrelsesforhold i forhold til lokalernes udformning giver en meget uensartet lysfordeling med store kontraster mellem lyse og mørke områder.



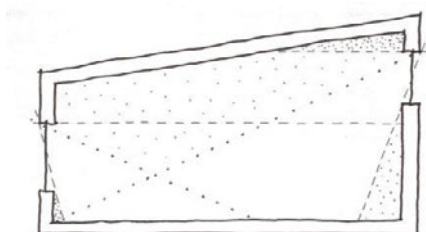
Figur 29. Stenvad skole. Hjemklasseområder med ensidigt dagslysindfald fra dels et stort højsiddende 'kvistvindue', dels nogle mindre udsigtsvinduer og en glasdør. På trods af det ret store vinduesareal forekommer dagslysniveauet utilstrækkeligt i flere områder af lokalet.



Figur 30. De forholdsvis mørke overfladerne i klasselokalerne på Stenvad skole medvirker til, at lysfordelingen bliver meget uensartet. Trælammellerne i kvistvinduerne burde være lysere og drejelige, og farverne på væg- og loftsflader lysere.

Trælammellerne i 'kvistvinduerne' burde være lysere og justerbare, således at de kunne bruges til at regulere lysniveauet og reducere eventuel blænding fra himlen. Problemerne med den uensartede lysfordeling forstærkes af materialevalget til vægge i nicher (tegl), lofter (træuldsbeton), og lysning omkring vinduerne (krydsfiner). Dette 'rå look' bevirker, at der er en dårlig udnyttelse af reflekslyset, samt at der opstår generende store kontrastforskelle mellem kigget til himlen gennem de højsiddende vinduer og resten af lokalet.

Det gennemlyste rum med udsigtsvindue og højsiddende vindue i modstående væg



I denne udførelse fyldes stort set hele lokalet med dagslys fra to diagonalt overlappende lyszoner. De højsiddende vinduer, der leder himmellys ind i størstedelen af rummet, er den primære lyskilde.

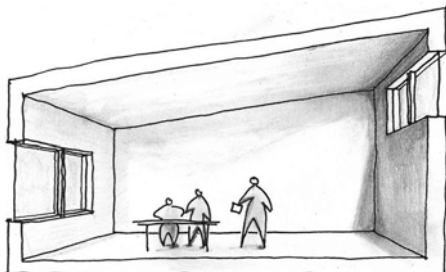
Fordele

Lokalet er i det væsentlige godt belyst med en forholdsvis jævn dagslysfordeling over hele gulvfladen og den modstående vinduesvæg. Loftets hældning hjælper til at reflektere lys tilbage på væggen med de højsiddende vinduer, hvilket afhjælper eventuelle kontrastproblemer.

Ulemper

Hvis lokalet er for smalt eller tagets hældning er for stor, vil placeringen af de højsiddende vinduer have en tendens til at forstyrre balancen i rummet og derved få det til at virke ude af proportion. Dette forstærkes yderligere af lyszonernes asymmetri, hvor de højsiddende vinduer vil virke meget dominerende i forhold til de lavesiddende udsigtsvinduer. Som ved alle andre høje eller højt placerede vinduer vil der være risiko for at opleve forstyrrende blænding, når man ser i retning mod vinduesarealet. Der er flere muligheder for at afhjælpe dette: Det er blandt andet vigtigt at holde vinduesomgivelser-

ne så lyse som muligt, fx ved at holde vægge, vinduesrammer og -sprosser i hvide nuancer. En anden mulighed kan være at udføre vindueslysningerne med skrå sider, så de ved hjælp af lyset fra vinduerne kommer til at danne en blødere visuel overgang fra det klare himmellys til den væsentligt mørkere væg. Vindueslysningen kommer således til at fungere som en miniature lyshylde, der vil reflektere en del af lyset tilbage på vinduesrammen. Opsætning af regulerbare afskærmninger, som fx persienner, anbefales.



Figur 31. Rum med udsigtvinduer og diagonallys fra højsiddende vinduesbånd i modstående væg.

Eksempler på lokaler med udsigtvindue og højsiddende vindue i modstående væg

Klasserummet i Sønderbro skole, figur 32, modtager lys fra to sider, idet der er et højsiddende vinduesbånd over dør og skabsvæg i den ene side og et gennemgående vinduesparti ud mod gårdhaven i den modstående væg. Det diagonale lysindfald bevirker, at der kun er få steder i lokalet, som ikke modtager dagslys. De højsiddende vinduer sender lys ned på vinduespartiet ud mod haven og er på den måde med til at reducere hårde kontraster mellem interiør og udsigt. Til gengæld er der blændingsproblemer ved det højt-siddende vinduesbånd, hvilket dels skyldes, at partiet omkring vinduet er meget mørkt, dels at der ikke er nogen form for afskærmning.



Figur 32. Højsiddende dagslysvinduer og udsigtvinduer i klasseværelse på Sønderbro skole, København. Det diagonale lysindfald bevirker, at der kun er få steder i lokalet, som ikke modtager dagslys.

Kirsbærhavens skoles lokaler, figur 33, har samme principløsning med hensyn til dagslysadgang som klasseværelserne på Sønderbro skole. Forskellen mellem de to eksempler er, at i Kirsbærhavens skole er de højsiddende vinduer og deres omgivelser holdt i en lys farve. Sammenlignes de to eksempler, fremgår det klart, hvordan de visuelle betingelser enkelt kan forbedres ved at ændre farven på vinduesrammerne og væggen.

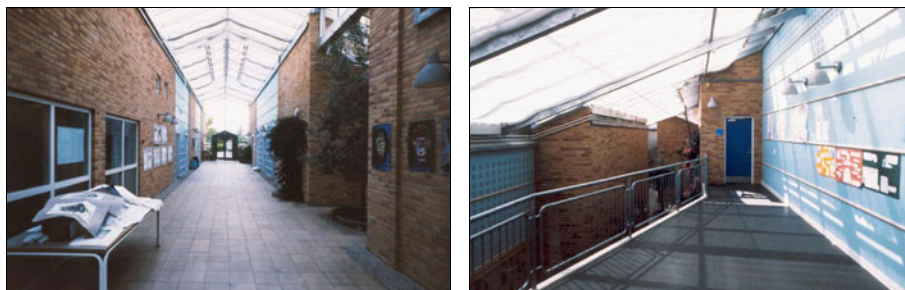


Figur 33. Vinduesvæg og højt placerede vinduer i klasseværelse i Kirsebærhavens skole. De lyse flader omkring det højtstående vinduesbånd blødgør kontrasten mod den lyse himmel.

Dagslys i gangarealer og overgangszoner

Gode lysforhold bør altid sidestilles med gode visuelle forhold. Det er derfor vigtigt at påpege, at visse aspekter af lysplanlægningen bør vurderes ud fra en helhedsløsning. Langt de fleste skolebygninger består af en serie rumligheder, som opleves i en bestemt sekvens, idet man bevæger sig gennem skolen. Lyset i de forskellige områder er medvirkende til både at definere og differentiere rum og aktiviteter, og overgangen mellem forskellige rum- og lysforhold har stor betydning for, hvordan de enkelte rums lys(hed) opleves og vurderes. Lyset medvirker desuden i høj grad til enten at understøtte eller modarbejde det naturlige rumhierarki. Det er derfor vigtigt at overveje, i hvilken rækkefølge de forskellige lysniveauer opleves, og hvad de signalerer.

Figur 24 og figur 35 illustrerer de oplevede dagslysforhold i Torstorp skole i Tåstrup. Et glasoverdækket gangforløb forbinder skolen på langs og fungerer både som en indvendig legegade og som fordelingsareal til klasselokalerne.



Figur 34. Torstorp skole, legegade (t.v.) og balkon foran klasselokale (t.h.).

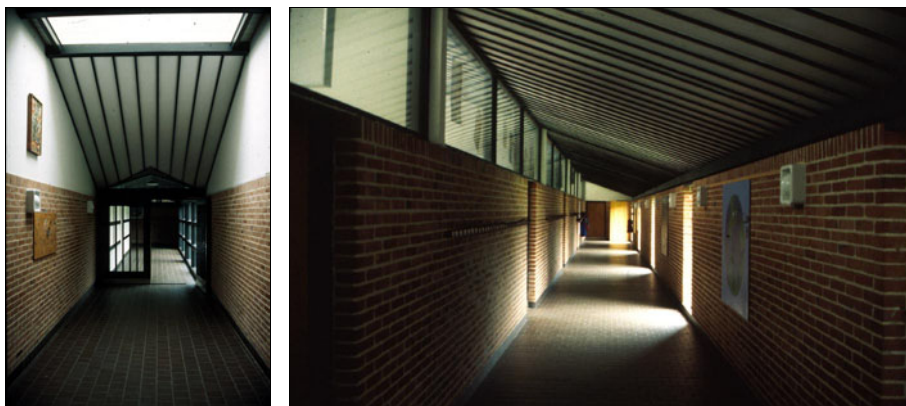
Problemet i denne løsning er, at overgangen mellem det meget lyse gangareal og det relativt mørkere klasselokale opleves for brat og kontrastfyldt. Dette resulterer i, at klasselokalet som oftest vil blive opfattet mørkere end det reelt er, idet det tager længere tid for øjet at adaptere fra lyst til mørkt end omvendt.



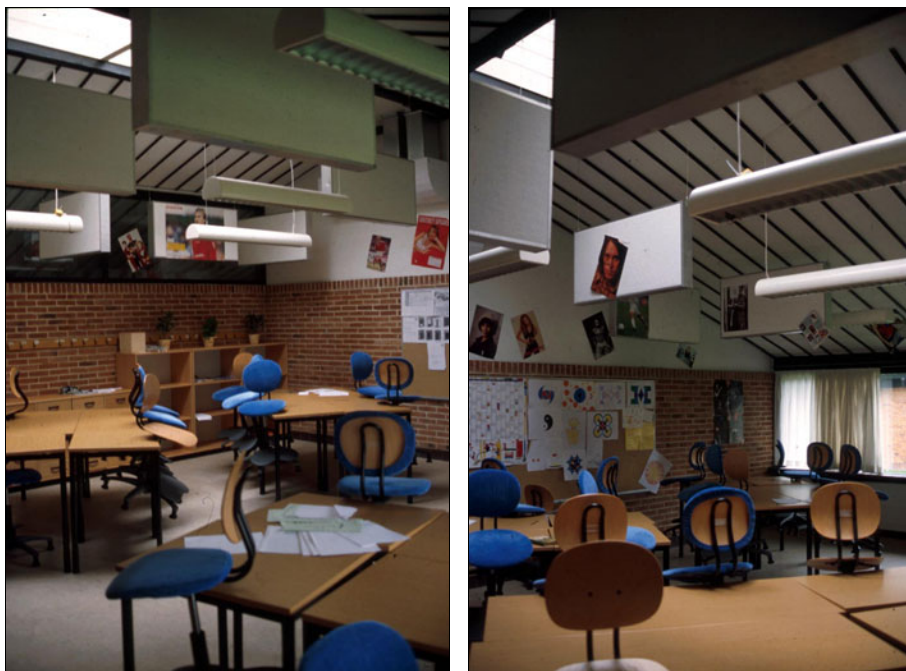
Figur 35. Torstorp skole. Oplevelsen af klasselokalet, når man træder ind fra det lyse gangareal (t.v.) samt klasselokale set mod tavlevæg. Kun den bageste del af lokalet fremstår dunkel.

Figur 35 viser, hvordan overgangen mellem gangareal og et klasselokale i Torstorp skole opleves på en solskinsdag. På grund af den store forskel i lysniveauet tager det øjnene en vis tid at omstille sig til det lavere lysniveau i klasselokalet. Denne tilpasning bliver bremset af, at man træder ind i lokalet vinkelret på vinduesvæggen, hvorved det første man ser, er den lyse forgrund udenfor vinduet. Det er derfor først, når man har vendt sig mod tavlevæggen, at adaptationsprocessen kan sætte ind. Dette bevirker, at langt de fleste forinden har nået at række ud efter lyskontakten, og derfor ikke når at opleve, at der efter få minutters tilvænnning oftest ville være tilstrækkeligt dagslys i rummet.

Solvang skolen i Farum, figur 36 og figur 37 er derimod et eksempel på en skole, hvor dagslys-planlægningen skaber et godt visuelt miljø. Som det kan ses, bliver lysniveauet gradvist lavere efterhånden, som man bevæger sig ind i skolen. Indgangssekvensen skaber på samme tid et skift i både lysniveau og -retning og understreger derved skiftet mellem inde og ude.



Figur 36. Solvang skole, forbindelsesgang og gang foran klasselokaler. De mørke teglvægge og det mørke gulv får gangarealerne til at virke relativt mørke, men alligevel interessant på grund af variationen mellem lys og mørke områder.



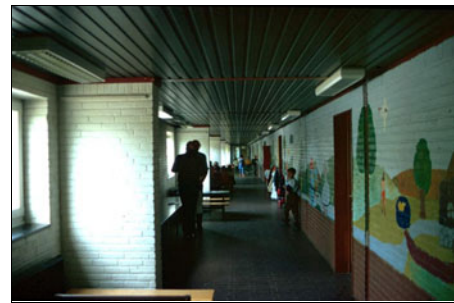
Figur 37. Solvang skole. Klasselokale, kig mod bagvæg og ovenlys (t.v.) og kig mod vindues- og endevæg (t.h.). Kontrasten fra de mørkere gange til de lyse undervisningslokaler er ikke generende, fordi de højtstående vinduer ikke ses i modlys, når man træder ind.

Alle Solvang skoles gangarealer er relativt mørke, men de fremstår alligevel visuelt interessante pga. deres variation mellem lys og mørke, der skabes af

de smalle vinduesnicher. Vinduesnichernes lysrum fungerer yderligere som en markering af indgangen til hvert klasselokale. Et højtsiddende glasbånd placeret i væggen mellem gang og klasselokale bevirker, at gangen føles mindre indelukket samtidig med, at den rumlige sammenhæng antydes.

Fra gangarealet træder man ind i et klasselokale, figur 37, som både opleves og er væsentligt lysere end gangen, idet der både er ovenlys i den bageste halvdel af lokalet og et gennemgående lavere vinduesbånd i facaden. Det højere lysniveau og den gode balance mellem side- og ovenlys giver en klar fornemmelse af en forbedring af de visuelle forhold, og i de fleste tilfælde vil det ikke opleves som nødvendigt at tænde supplerende elektrisk lys. Denne løsning repræsenterer således et godt eksempel på et velplanlagt og balanceret lysforløb, som samtidig understreger skolens rumlige hierarki.

Tingbjerg skole i København ligner i sin overordnede dagslysplanlægning Solvang skole. Gangarealerne har, ligesom på Solvang skole, nicher, som skaber små lysrum i den lange gangforløb, figur 38, der i øvrigt er ganske mørke i forhold til de lyse og rummelige klasselokaler, figur 39. På trods af, at de to skoler tilsyneladende minder om hinanden i deres dagslysprincipper, opstår der alligevel i Tingbjerg ofte blændings- eller kontrastproblemer ved overgangen fra gang til klasselokale. Dette skyldes, at flere detaljer ved nærmere undersøgelse viser sig at være løst forskelligt: I gangarealet i Tingbjerg skole er loftet væsentligt mørkere end i Solvang skole, og der er ingen visuel forbindelse mellem gang og klasselokale.



Figur 38. Tingbjerg skole. Gangareal med smalle lodrette vinduer til at markere gangforløbet (t.v.) samt gangareal i småbørnsfløj. På grund af de mørke gulve og lofter virker gangarealerne meget mørke, og kontrasten til de lyse klasserum bliver næsten for stor, lige når man træder ind.



Figur 39. Tingbjerg skole. Klasselokalet forekommer meget lyst, når man træder ind af døren fra de mørke gangforløb (t.v.) og kig fra vinduerne i det lave mod dørveggen (t.h.).

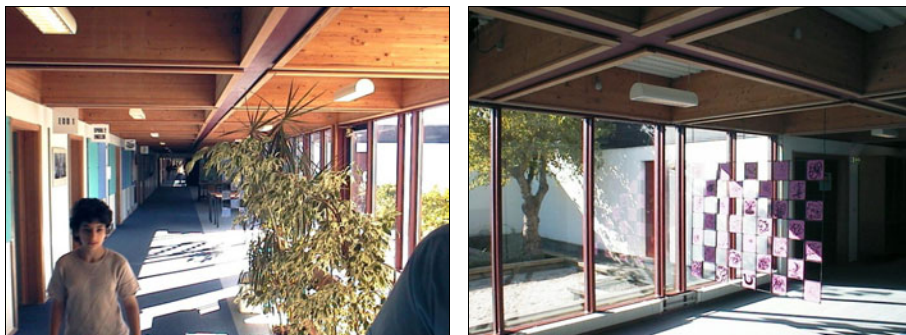
Adgangen til klassen sker bagest i lokalet vinkelret på facaden, hvorved det mest dominerende element i synsfeltet bliver det store, højtsiddende vinduesbånd. Dette er en væsentlig kilde til blænding, der ikke, som i Solvang skole, modvirkes af et ovenlys. Der opstår derfor for stor kontrast mellem lysniveauet i gang og klasselokale, overgangen er 'hårdere', og lysfordelingen i klasselokalet kommer kun fra én retning.

Som disse eksempler viser, skabes et godt dagslysmiljø gennem 'balanceret variation', som ikke alene afhænger af størrelsen på åbningerne, men i høj grad også af deres placering, detaljering og indbyrdes relationer. Derud-

over har materiale- og overfladevalg afgørende betydning for udnyttelsen af reflekslys samt opblødning af hårde kontraster.

Dagslys fra atrier og i glasoverdækkede rum

Dagslysforholdene i glasoverdækkede rum skal ofte tilfredsstille såvel kravene til tilstrækkelige belysningsforhold i det glasoverdækkede rum, som i rum, der støder helt eller delvist op til glasoverdækningen.



Figur 40. Stavns Holt skole. Gangarealet får rigeligt dagslys fra den tilstødende atriumgård

Det største bidrag til dagslyset i et glasoverdækket rum kommer fra direkte sol- og himmellys. Direkte sol skal kunne afskærmes, både i selve glasoverdækningens tagkonstruktion og i de tilstødende rum, da specielt lyse og spejlende flader, som rammes af direkte sol, kan give anledning til generende blænding. Ved at udnytte refleksionsegenskaberne hensigtsmæssigt for de flader, der modtager direkte himmellys, kan man sikre, at både det glasoverdækkede rum og de tilstødende rum får bedre udnyttelse af dagslys på overskyede dage.

Tilføres dagslyset til flere etager udelukkende gennem tagfladen, er det vanskeligt at opnå tilstrækkeligt dagslys i de lavereliggende, tilstødende rum, idet rum placeret tæt ved gulvet hovedsageligt belyses med reflekteret lys fra selve gulvet og fra den modstående facade. Rum placeret nær taget kan modtage et stort bidrag af både sollys og himmellys.

Dagslysudnyttelsen vil være størst, hvis der er få etager, eller hvis afstanden mellem bygningerne, der støder op til glasoverdækningen, er forholdsvis stor. Dagslysbidraget vil variere meget, afhængigt af valget af overfladernes refleksionsfærdigheder og af, hvor stor en del af facaden, der er vinduesåbninger til de tilstødende rum. Da ruder har en lav refleksionsfærdighed, kan man med fordel variere rudearealet på de forskellige etager, således at det er mindst i de øverste etager, hvor der er rigeligt med direkte lys, mens det øges i de nederste etager, hvor reflekslyset er dominerende. I glasoverdækkede rum vil bidraget fra himmellyset være størst i midten af rummet, mens det ofte reduceres med 30-50 % i hjørnerne.

Glasvalg og udformning af tagkonstruktion har stor betydning for niveau og fordeling af dagslyset både i det glasoverdækkede rum og i de tilstødende lokaler. De bærende konstruktioner vil reducere lystransmittansen, og selv den spinkleste konstruktion vil reducere transmittansen med mindst 25 %. Derudover vil kanaler, rør og belysningsanlæg samt snavs og en eventuel solafskærmning bidrage til yderligere reduktion.

Solafskærmninger

Skolens vinduer skaber forbindelsen mellem ude og inde. I 'den nye skole' vil mange af funktionsområderne have store vinduespartier for at skabe en

glidende overgang mellem uderummet og inderummet. Dagslyset har en unik 'pædagogisk' evne til at beskrive de ydre omgivers indflydelse på skolens rum. Gennem dagslysets variation kan børnene følge rummenes forandring i forhold til årstider, tid på dagen og vejr. Det er derfor vigtigt at gøre lyset 'synligt'. Børn elsker at iagttage solskinnet blive "filtreret" gennem lameller, at følge en sprosses skygge eller at lege med lyset fra et solstråle. Man bør derfor give børnene mulighed for selv at forme lyset ved at lade dem kunne regulere persienner eller lameller og flytte på skodder eller lignende.

Solafskærmningens funktion

Ved valg af solafskærmning skal der primært tages hensyn til en reduktion af varmebelastningen og konsekvenserne for udsyn, dagslysforhold og synsbetingelser. Mens solafskærmningens primære funktion i kontor- og erhvervsbyggeri er at reducere varmebelastningen, bør de visuelle forhold til lægges mindst lige så stor vægt, når det drejer sig om skoler. En fast afskærmning reducerer dagslysadgangen permanent og hindrer i mange tilfælde udsynet. En bevægelig afskærmning, der kun er i brug, når der er behov for det, er derfor at foretrække. Mange andre - også modsat rettede - hensyn indgår i valget af solafskærmning, og derfor bliver valget i praksis ofte et kompromis. De visuelle krav, der stilles til afskærmningen, er:

- beskyttelse mod blænding fra vinduerne
- beskyttelse mod generende refleksioner i fx edb-skærme
- bevarelse af uforstyrret udsyn
- begrænset misfarvning af dagslyset
- en hensigtsmæssig forbedring, ikke forringelse af dagslysfordelingen i rummet.



Figur 41. Hedegaardsskolen, gamle del. Afskærmningen består af lodrette lameller, som er drejelige, men i praksis giver afskærmningen altid en kraftig reduktion af lysindfaldet.

Udformninger med et højsiddende dagslysvindue og et lavere udsigtsvindue vil ofte give gode muligheder for at afskærme efter det aktuelle behov, når de to vinduespartier har separate afskærmninger. Udvendige solafskærmninger er mest effektive til at reducere varmebelastningen, og en løsning med udvendige rullegardiner kan normalt integreres på en acceptabel måde i facaden. Andre løsninger med drejelige lameller kan også fungere godt, specielt hvis lamellerne kan trækkes op, som fx i persienner.



Figur 42. Hedegaardsskolen, nye del. De udvendige rullegardiner, der er indbygget i facaden, er delt i en del, som dækker det øverste dagslysvindue, og en del, som dækker udsigtsvinduet. Indvendigt er der suppleret med hvide gardiner, som kan få en generende høj luminans ved direkte solbestråling.

Afskærmningsfaktoren

Effektivitet af en solafskærmning defineres ved en afskærmningsfaktor, som udtrykker, hvor meget solvarme der passerer en rude med afskærmning i forhold til, hvor meget der passerer den samme rude uden afskærmning. I litteraturen angives afskærmningsfaktoren normalt som en konstant værdi bestemt ved afskærmningens størst mulige reduktion af direkte solindfald gennem en given referencerude ved stråling vinkelret på ruden.

I praksis varierer afskærmningsfaktoren med solvarmens sammensætning af direkte og diffus stråling, tiden på dagen og året (indfaldsvinklen af den direkte stråling), og den anvendte rudetype. Ved vurdering af afskærmningens effektivitet i praktisk brug og beregning af risiko for overtemperatur er det vigtigt, at man tager hensyn til, hvilken rude afskærmningen benyttes sammen med samt foretager en realistisk vurdering af, hvordan afskærmningen benyttes i daglig brug.

Når en afskærmning fx anvendes sammen med en energirude, skal effektiviteten angives i forhold til denne, fordi varmebalancen ændres. Forskellen mellem den 'normale' afskærmningsfaktor og den reelle kan være meget betydelig, afhængigt af energirudens egenskaber: U-værdi, soltransmittans og solreflektans, samt afskærmningens solreflektans og solabsorption. En indvendig afskærmning bliver mindre effektiv (højere afskærmningsfaktor), og en udvendig bliver mere effektiv (lavere afskærmningsfaktor). En afskærmningsfaktor for en indvendig afskærmning kan i værste fald være mere end to gange større ved en energirude, jf. (Petersen, 200b).

Afskærmningens virkning over for lys

En afskærmnings evne til at afskærme lys og varme kan ikke direkte sammenlignes. Afskærmning af solvarme angives, når solstrålingsbelastningen er stor, dvs. med direkte sol. Afskærmningens indvirkning på dagslysforholdene angives derimod når belastningen er lille, dvs. på overskyede dage, fordi den dimensionerende værdi er en minimumsværdi. Afskærmningens påvirkning af lysfordelingen i lokalet er ligeledes en vigtig faktor i vurderingen.

Energiruder ændrer ikke på lysfordelingen, men reducerer lysmængden og ændrer farven af lyset. For at opnå størst mulig varmereduktion ønsker man at anvende udvendige afskærmninger, mens det af hensyn til lysfordeling og mulighederne for at tilpasse afskærmningen til det skiftende behov

ofte er langt billigere at anvende indvendige afskærmninger. Udvendige afskærmninger skal være meget robuste og kræver omhyggelig vedligeholdelse for at holde til det danske klima, mens indvendige til gengæld er mere udsat for hårdhændet behandling eller hærværk. Ved anvendelse af afskærmninger, som farver det transmitterede lys, bør man være opmærksom på den forringelse, der sker af dagslysets farvegengivelse.



Figur 43. Rådmandsgade skole. På nogle af de gamle skoler i København anvendes markiser som solafskærmning. Løsningen er relativt billig og god, sammenlignet med andre udvendige løsninger. Markiser kan dog ikke anvendes, når det blæser kraftigt, og i visse tilfælde kan det være et problem, at de tillader direkte sollys at passere i de åbne trekanter og i mellemrummet mellem to markiser.

Afskærmningens regulering

Regulerbare afskærmninger bør generelt kunne indstilles efter behov af brugerne (lærere og elever). Hvor afskærmninger styres automatisk efter vejrforholdene, kan det virke meget forstyrrende, at afskærmningen reguleres med små tidsintervaller. Brugeren bør kunne gribe ind i den automatiske styring, som derefter først overtager reguleringen efter et givet tidsinterval. På østvendte facader, hvor solen kommer før skolen starter om morgenen, vil en automatisk styring forhindre en tidlig overophedning af lokalerne.

Nye skoler vil i dag normalt blive installeret med intelligente styresystemer, der også kan regulere en bevægelig afskærmning efter behov. Beslutninger om afskærmninger må derfor træffes tidligt i projekteringsforløbet, således at føringsveje for installationerne er forberedt.

Arkitektoniske hensyn til facadens udseende er ofte en barriere for individuel regulering, men her bør forskellige behov i forskellige lokaler veje tungere, og afskærmningerne bør derfor kontrolleres individuelt for hvert undervisnings- og opholdsområde.



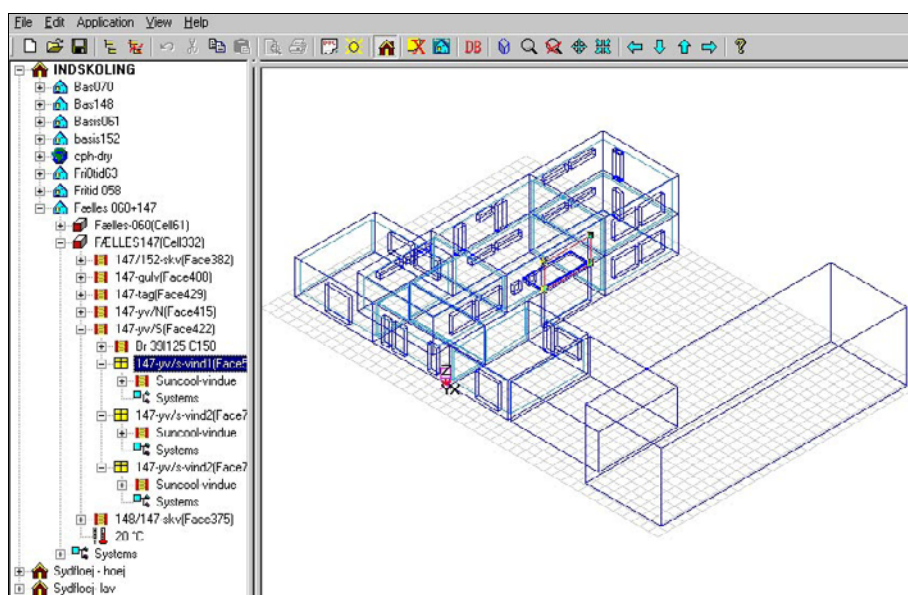
Figur 44. Tingbjerg skole, eksisterende klasserum. Kun en del af klasselokalerne har gardiner for de højtstående vinduer, og der optræder et næsten permanent problem med blænding. I klasselokaler, som har gardiner, er disse ofte trukket permanent for, således at dagslyset langt fra bliver som tilsigtet.



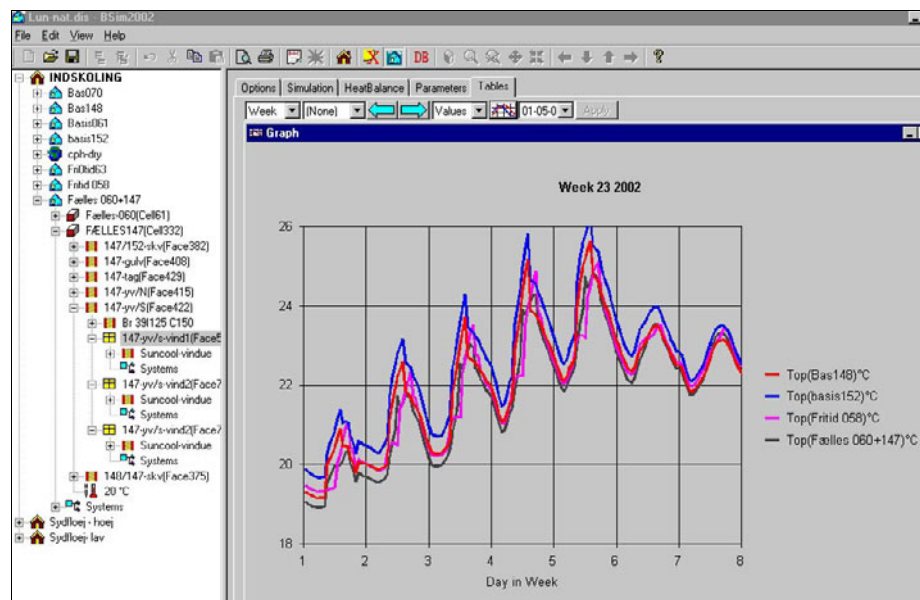
Figur 45. Billeder fra de to lokaler på Tingbjerg skole som er renoveret og har fået opsat persienner. Persiennene er lette at justere, og de giver mulighed for en mangfoldighed af lysindfald efter det aktuelle ønske og behov.

Analyse af solindfald og dagslysforhold med BSim2002

Til beregning og analyse af dagslysforhold i skolens rum kan fx benyttes edb-programmet SimLight, som indgår i programpakken BSim2002 udgivet af Statens Byggeforskningsinstitut (Wittchen, Johnsen & Grau, 2002) og www.bsim.dk. Der findes også andre programmer til analyse af dagslysforholdene, men i BSim-pakken er det muligt samtidig at analysere, hvordan solindfaldet påvirker det termiske indeklima i skolen. Figur 46 viser et eksempel på opbygning af en beregningsmodel som grundlag for beregninger med BSim2002. Den nødvendige detaljeringsgrad i modelopbygningen afhænger af, hvilke forhold der ønskes analyseret. I lokaler, hvor der beregnes dagslysniveau (belysningsstyrker eller dagslysfaktorer) er det væsentligt at definere rudernes lystransmittans og rumfladernes lysreflektans, mens det til de termiske analyser er vigtigt at angive rudernes soltransmittans og U-værdi samt afskærmningsfaktoren for den anvendte solafskærmning. Ved beregninger af behovet for kunstlys tages der hensyn til, at en solafskærmning eventuelt reducerer dagslysindfaldet så meget, at kunstlyset må tændes.



Figur 46. Eksempel på edb-model af en fløj af en skolebygning, opbygget i BSim2002.

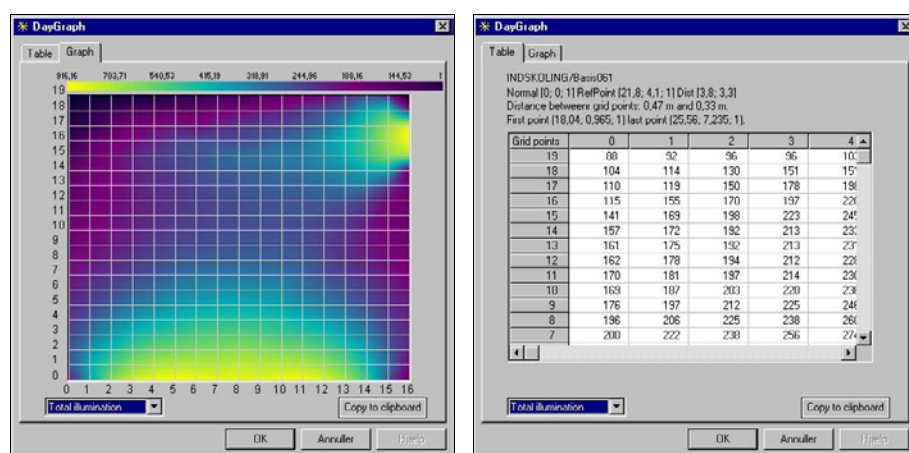


Figur 47. Eksempel på analyse af de termiske forhold over en uge i fire lokaler i skolen. Simuleringsresultaterne vil normalt blive benyttet til at vurdere behovet for solafskærmning, ventilation og udluftning.

Dagslysberegninger med SimLight

I forbindelse med projektering af nybyggeri og ved renovering kan SimLight programmet benyttes til at vurdere vinduesudformningens betydning for dagslysfordeling og belysningsniveau. *SimLight* kan beregne dagslysfaktoren i ethvert punkt af et vandret, lodret eller skråt plan i et rum. Programmet kan beregne de tre bidrag til belysningen i punktet fra henholdsvis direkte (himmel-)stråling, det udvendigt reflekterede bidrag samt det indvendigt reflekterede bidrag både for en jævnt overskyet himmel og for en CIE-overskyet himmel.

SimLight kan desuden beregne dagslysfaktorer i et helt netværk af det valgte plan og grafisk vise lysfordelingen på planet (i form af iso-dagslysfaktorer). Endelig kan *SimLight* beregne sollysfaktorer, som benyttes i forbindelse med vurdering af behovet for kunstlys i en given periode (fx skoletiden) eller over hele året, jf. (Wittchen, Johnsen & Grau, 2002) og (Christoffersen et al, 2002).



Figur 48. Eksempel på dagslysberegning med SimLight for lokale med vinduer i to ydervægge.

Planlægning af belysningsanlæg

Kravene vedrørende synsforhold varierer efter de planlagte aktiviteter samt rummets udformning og indretning. At skabe gode og praktiske løsninger på udformning af belysningsanlæg kræver indsigt i synsmekanismens funktion og forståelse af synsoplevelsen, gerne baseret på mangesidigt tværfagligt samarbejde. Professionel planlægning af belysningsanlæg må derfor ske tidligt i projekteringen, og er i praksis en forudsætning for et vellykket, funktionelt anlæg, se i øvrigt oversigten over "Belysningskrav baseret på stadier i barnets synsudvikling", side 17.

I 2002-2003 iværksatte Elsparefonden en kampagne for at dokumentere og afprøve "gode og energirigtige belysningsløsninger til undervisningslokaler". Kampagnen resulterede bl.a. i, at der blev udarbejdet en "positivliste" over systemløsninger, som alle har dokumenteret at opfylde gældende krav og standarder til belysning i klasselokaler. For at give brugere og købere mulighed for i praksis at vurdere og sammenligne de forskellige belysningsforslag til undervisningslokaler blev der på skoler i København, Sønderborg og Århus etableret demonstrationslokaler, hvor mange af forslagene fra positivlisten er monteret i en række lokaler ved siden af hinanden, se <http://www.skolebelysning.sparel.dk/>.

Med henblik på at reducere elforbruget er der lagt vægt på, at alle løsninger inkludere styring af belysningen efter både tilstedeværelse og dagslysindfald i lokalet. Anlægsløsningerne er dokumenteret for to forskellige standardlokaler, et lille standardlokale med sidelys på 48 m² samt et stort standardlokale med sidelys og ovenlys på 60 m². Der er altså tale om lokaler svarende til typiske klasselokaler i eksisterende skoler, og løsninger er ikke nødvendigvis optimale i lokaler, som kræver høj grad af fleksibilitet i anvendelse, møblering og undervisningsformer.

Belysningsløsninger

Belysningsløsninger i skoler skal planlægges efter børnenes behov og den arbejdsituation, som skolen skaber omkring dem. Mange aktiviteter skal tilgodeses, lige fra stillesiddende, synskrævende arbejde til sportslige aktiviteter og leg. Det stigende brug af edb-udstyr stiller særlige krav til belysningen for at undgå trættende og generede reflekser og synsnedsættende blænding. Dette stiller således store krav til armaturudformning og -placering samtidig med, at installationen skal tilgodese muligheder for skiftende arrangementer af borde og stole. Fuld fleksibilitet i styring og regulering af belysningen, fx med individuel programmering af hvert armaturs funktion, vil være en oplagt løsning på en så krævende variation i belysningsanlæggets funktion.

I multifunktionelle rum bør det generelt være muligt på en enkel måde at tilpasse belysningen til den aktuelle situation. Gymnastiksale og aulaer, der bruges til skoleteater og som festsal, bør have gruppevis betjening af belysningen, gerne med muligheder for lysdæmpning og separat scenebelysning med lysdæmpning og flere armaturgrupper.

Helbred og præstation

Elevers og lærers præstationer påvirkes af lyset, hvorfor dagslys og valg af den rigtige elektriske lyskilde til arbejdsituationen har stor betydning for triv-

sel og velbefindende. Der forskes meget i belysningens påvirkning af menneskers velbefindende, og nogle af årsagerne til hovedpine, stress og andet ubehag i en arbejdsituation kan skyldes blænding og flimrende lysrør. Begge årsager kan forholdsvis nemt elimineres ved omhyggeligt valg af armaturer og optik, ved placering af armaturer samt ved at forsyne lysrørsarmaturerne med elektroniske forkoblinger (HF).

Drift og vedligehold

Drift og vedligehold af belysningsanlæggene bør altid have høj prioritet i skolen. Krav om lang levetid for armaturer, elektroniske styrings- og reguleringsenheder og lyskilder vil reducere drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne. En investering i kvalitetsudstyr vil på længere sigt give en god økonomi (hvilket ofte synes overset). Der skal fortrinsvis vælges moderne energieffektive lyskilder og elektronisk forkoblingsudstyr (HF), hvilket giver et lavt strømforbrug og forlænger levetiden for lyskilderne. Desuden er det vigtigt, at armaturerne er nemme at rengøre, idet mangelfuld rengøring hurtigt vil reducere lysudbyttet og lysets kvalitet.

Edb-beregninger

Edb-beregninger af den kunstige belysning er i dag et standardhjælpemiddel ved planlægning af belysningsanlæg. Programmerne kan i samme proces udføre belysnings-, energi- og økonomiberegninger, både for eksisterende og for nye anlæg. Bygherre og rådgiver kan således få den dokumentation, der vil være væsentlig for beslutninger om renovering af eksisterende anlæg eller etablering af nye belysningsanlæg.

Edb-beregningerne udføres ofte af armaturleverandøren i samarbejde med den rådgivende ingeniør og arkitekten. Det er i dag muligt at udføre meget nøjagtige edb-beregninger af belysningsanlæggene, hvor en 3-dimensional billedsimulering af rummet (klasselokalet) med valg af armaturer, lyskilder og farver på lyskilder, vægge, gulve, lofter, aptering m.m. kan varieres. Det resulterende billedmateriale vil således give et vægtigt grundlag for det endelige valg af belysningsanlæg og indretning af lokalet.



Figur 49. Eksempel på billedsimulering af belysningen i en normalklasse. Kilde: Louis Poulsen Lighting A/S.

Økonomi

Oftentimes arbejder en skole inden for sin egen økonomiske ramme med det resultat, at der i tilfælde af besparelser bliver skåret ned på anskaffelser, drift og vedligehold. Når dette sker, resulterer det ofte i dårligt vedligeholdte belysningsanlæg og ingen eller udskudte nyanskaffelser. Følgerne kommer hurtigt, fx i form af utilstrækkelige visuelle omgivelser, der ikke længere lever op til minimumskraverne til et moderne og funktionelt belysningsanlæg til trods for de mange anstrengelser i projekterings- og etableringsfasen.

Planlægningsfaktorer

Belysningen udgør en meget vigtig del af undervisningsmiljøet. Der er derfor mange gode grunde til at prioritere belysningen højt, både i planlægnings- og projekteringsfasen. For at skabe et godt og funktionelt belysningsanlæg er der en række faktorer, der kræver særlig opmærksomhed:

- Luminansfordeling
- Belysningsstyrke
- Blænding og reflekser
- Lysretning og modellering
- Lysfarve og farvegengivelse
- Dagslys
- Flimmer og stroboskobeffekt.

Luminansfordeling

Lysfordelingen i klasselokalet er af stor betydning for opfattelsen af rummet. Luminansen er indtrykket af en flades lyshed, som den opfattes af øjet og opleves. Luminansen i et lokale bestemmes af vinduernes størrelse og placering, belysningsarmaturenes udformning og lysfordeling samt af overfladernes karakter, dvs. farve, glans og tekstur.

Luminansforskelle i et lokale bør være afbalancerede af hensyn til øjets generelle adaptationstilstand. For store forskelle mellem de enkelte fladers luminans forringer synsvilkårene og kan forårsage ubehagsblænding, hvilket selvfølgelig bør undgås. Bedst mulig synskomfort opnås, hvor luminansforskellen mellem selve arbejdsfeltet (bøger, papirer og edb-skærm), de nærmeste omgivelser (arbejdsbordet) og de fjerne omgivelser (vægge, gulve, lofter, tavler etc.) optræder i forholdet 10:3:1. Et velafbalanceret adaptationsniveau er påkrævet for at øge:

- Synsskarpheden
- Kontrastfølsomheden
- Synseffektiviteten.

Luminansfordelingen i synsfeltet påvirker også synskomforten, hvorfor følgende forhold bør undgås:

- For høje luminanser, der kan medføre blænding.
- For høje kontrastluminanser, der kan medføre træthed som følge af konstant readaption af øjnene.

Det modsatte bør også undgås:

- For lave luminanser.
- For lave kontrastluminanser, der medvirker til at skabe kedelige og uninspirerende arbejdsmiljøer, hvilket også virker trættende, idet øjet bliver anstrengt af, at objekt og baggrund træder i ét.

En luminansfordeling mellem arbejdsfelt, nærfelt og de fjerne omgivelser (omfelt) i forholdet 10:3:1 giver erfaringsmæssigt mulighed for vedvarende koncentration på synsopgaver i klasselokalet. Da luminansen kan opfattes som produktet af belysningsstyrken og reflektansen fra de belyste overflader, vil reflektansværdierne angivet i tabel 2 være hensigtsmæssige på de dominerende overflader i lokalet.

Tabel 2. Typiske reflektansværdier for rumflader.

Overflade	Reflektans
Løfter	0,6-0,9
Vægge	0,3-0,8
Gulve	0,1-0,5
Arbejdsplan	0,2-0,6

Belysningsstyrke

Belysningsstyrken og lysfordelingen over arbejdsfelt og nærfelt har stor indflydelse på, hvor hurtigt, sikkert og godt (detaljerigt) en person ser, opfatter og udfører en synsopgave.

Uden tilstrækkeligt lys kan vi ikke se ordentligt. Synlighed afhænger således af, hvor lyst et emne, en flade eller et rum er. Derfor er den første betingelse for høj synlighed tilstrækkeligt høj belysningsstyrke, der skal være tilpasset synsopgaven. Synsopgaven vil typisk skifte med arbejdets karakter, hvorfor det vil være en fordel at kunne variere belysningsniveauet fra almenbelysningen og eventuelt at kunne supplere med særbelysning i form af en arbejdslampe, gerne placeret umiddelbart ved siden af arbejdsfeltet. Kravet til belysningsstyrke stiger med alderen. Ældre personer kræver således op mod den dobbelte belysningsstyrke i forhold til børn for den samme synsopgave, fx læsning i en bog. Denne kendsgerning bør tages i betragtning, når belysningsanlægget planlægges. Ofte benyttes det samme undervisningslokale af børn i dagtimerne og til voksenundervisning om aftenen. Det er derfor meget vigtigt, at der er mulighed for regulering af belysningsstyrken i denne type lokaler.

Blænding og reflekser

Blænding kan forårsages af meget lyse områder i synsfeltet og kan opfattes som enten ubehagsblænding eller synsnedsættende blænding. Blænding forårsaget af refleksioner i spejlende overflader kaldes sløringsrefleksioner eller refleksionsblænding. Det er vigtigt at begrænse blændingen for at undgå fejl, træthed og ulykker.

Ubehagsblænding (psykologisk blænding) er fornemmelsen af ubehag og irritation, som skyldes en lysende flade (lyskilde eller armatur) med meget høj luminans i forhold til en mørkere baggrund.

Synsnedsættende (fysiologisk blænding) har indflydelse på øjets adaptationstilstand og dermed på øjets kontrastfølsomhed. Blænding fra dagslys optræder især, når synsretningen er imod vinduet, og kan reduceres ved at indrette og anvende lokalet, således at denne synsretning undgås. Da baggrundsluminansen har stor betydning for oplevelsen af blænding, vil lyse farver på vinduesvægge og i lokalet som helhed reducere generne betydeligt, ligesom lyse farver på vindueskarme og -rammer samt brug af lyse gardiner, fx til solafskærmning.

Blænding kan også forekomme som forstyrrende refleksioner fra armaturer, i blanke og mørke overflader, i edb-skærme eller tavler. Reflekteret blænding kan undgås dels ved valg af korrekte armaturer til lokalet og dets funktion, korrekt armaturplacering og brug af farver med høj refleksionsfaktor i lokalet som baggrund for armaturerne og dels ved rigtig placering af arbejdspladserne i forhold til armaturer og vinduer. Det er ligeledes vigtigt at armaturerne har god afblænding af lyskilderne i form af 2- eller 3-dimensionale refleksiongitre. Dette gælder særligt i lokaler, hvor der gennemføres undervisning ved hjælp af edb-skærme, men er i øvrigt et generelt krav til belysningsanlæg. Ved en gennemtænkt placering af armaturerne skråt foran eller 0,5-1,0 m ud til siden for arbejdspladserne kan de fleste af ovennævnte gener undgås.

Lysretning og modellering

En afvejning af forholdet mellem lys og skygger er nødvendig for at skabe gode synsbetingelser og synsskarphe­d uden generende kontraster mellem lyse og mørke områder. Dette opnås ved modellering af lyset, hvilket sker ved at blande diffust og rettet lys, jf. side 26. Et kvalitetskriterium er at finde den rette balance i modelleringen. Kontrasterne må ikke være generende, men de skal være så store som muligt for at kunne læse eller skelne en tekst fra baggrunden, det være sig papirets eller en edb-skærms baggrund.

Der skal tages højde for lysretningen mod det synsobjekt, der betragtes, personens egen synsretning i forhold til lysretningen og det betragtede objekts refleksionsegenskaber. Er disse forhold ikke i orden, vil der opstå blænding i form af reflekser i papirer, i edb-skærme eller fra armaturer, hvilket nedsætter synligheden af objektet. Diffust lys, lys fra siden eller skråt bagfra til læsning hjælper til god kontrastgengivelse. Lyskilder med god farvegengivelse styrker og stimulerer opfattelsen af farver og farvenuancer, og rettet lys hjælper til at se overfladestrukturer.

Lokaler med meget diffust lys, fx kun indirekte lys uden større luminansforskelle, vil virke monotone og 'flade' i deres lyssætning, da der mangler skygger til at modulere genstande i rummet. Skyggerne må dog ikke være for kraftige, da synligheden af objekter og detaljer da vil forsvinde.

Lysfarve og farvegengivelse

Valg af lyskilde og lysfarve er meget vigtig for vores velbefindende, hvor det 'varme' lys inviterer til afslapning og ro, mens det 'koldere' hvide lys aktiverer os. I Undervisningslokaler bør lysfarven bestemmes af lokalets funktion og aktivitet. Lysets spektrale sammensætning kommer til udtryk på to måder: Dels ved lysfarven, dvs. den farve, hvormed lyset "ses", dvs. reflekteres fra fx en hvid overflade, dels ved farvegengivelsen, dvs. lysets evne til at gengive farvede genstande korrekt.

Lysfarve

Lys vil, hvor det ikke drejer sig om egentligt kulørt lys, normalt kunne beskrives som køligt, neutralt eller varmt tonet. Som en præcisering anvendes den farvetemperatur (i Kelvin), som kommer den enkelte lyskilde nærmest.

Tabel 3. Sammenhængen mellem lysfarve og farvetemperatur.

Lysfarve eller farveopfattelse	Tilsvarende farvetemperatur, Kelvin (K)
Kølig (dagslys)	Højere end 4000
Neutral hvid	3000-4000
Varm hvid	Lavere end 3000

Det er ligeledes vigtigt at tage hensyn til lokalets egne farver, der også påvirker behovet for belysningsstyrke og oplevelsen af farvetemperatur.

Farvegengivelse

De farvegengivende egenskaber angives med farvegengivelsesindekset R_a , der er et udtryk for en lyskildes evne til at gengive 8 fastlagte farver. R_a -værdien udtrykker et gennemsnit, og den højest opnåelige værdi er 100.

God gengivelse af farver er afgørende for mange synsopgaver. Gengivelse af den menneskelige hud og farver i omgivelserne er af betydning for, om rummet opfattes som behageligt at være i. I Dansk Standard, DS 700: "Kunstig belysning i arbejdslokaler" er angivet minimumskrav til den R_a -værdi, der kan accepteres for en række arbejdspladser og fag, fx også undervisningslokaler. Som hovedregel gælder, at der skal anvendes R_a -værdier over 80 i lokaler, hvor mennesker opholder sig i længere tid ad gangen.

Tabel 4. Farvegengivelsesindeks, R_a -værdi og tilhørende karakteristik.

Farvegengivelsesindeks, R_a -værdi	Karakteristik
80-100	Ekstra god
65-80	God
40-65	Mindre god
0-40	Dårlig

Man bør være opmærksom på, at såvel glødelamper som lysstofrør ændrer lysfarve (til en varmere farve), når de dæmpes, hvilket kan have betydning for rumoplevelsen, men sjældent påvirker lysets farvegengivelse væsentligt.

Samspil med dagslys

Den kunstige belysning skal i princippet kun være tændt som supplement til dagslyset i de perioder, hvor dagslyset ikke er tilstrækkeligt til at løse en synsopgave. Nye belysningsanlæg skal være zoneinddelt, forstået på den måde, at anlægget fx opdeles, så armaturer langs vinduesvægge, hvor der er størst dagslystilgang, kan afbrydes eller reguleres uafhængigt af lokalets andre armaturer.

Dagslysets spektrale sammensætning bevirker, at det gengiver genstandes farver naturligt og levende. I lokaler, der får dagslys fra sidevinduer, vil retningen og karakteren af det lys, der falder ind, have stor indflydelse på de informationer, øjet modtager ved betragtning af synsobjekter. Dagslys fra sidevinduer bidrager dels med retningsbestemt lys (fra himlen og evt. solen), dels med reflekteret diffust lys fra de udvendige omgivelser og fra lokalets overflader. Denne blanding er med til at fremhæve synsobjekters rumlige form gennem skyggedannelser og fortoninger i lyset.

Dagslysets skrå retning og variation ind gennem lokalet samt dets farve kan medføre en konflikt, når dagslys og kunstlys blandes i et lokale. Dagslysets farvetemperatur, der er ca. 6000 K (grader Kelvin), afviger meget fra kunstlyskildernes farvetemperaturer, der, som nævnt ovenfor, normalt ligger i området 3000-4000 K. Benyttes kunstlys alene, bør det undgås at anvende de 'kølige' dagslysfarver, da de vil virke meget kolde ved de belysningsniveauer, der normalt anvendes.

Når dagslyset er utilstrækkeligt, er der flere muligheder for at supplere med kunstlys:

- Belysningsarmaturerne kan placeres over vinduerne, hvorved det supplerende kunstlys stort set får samme lysretning som dagslyset i vindueszonen. Der kan opstå en 'skævhed' i lysets farve, når dagslys og kunstlys blandes.
- Almenbelysningen kan zoneopdeles, så belysningen reguleres efter behov i de enkelte zoner. I dybe lokaler bør de store kontraster mellem vindueszonen og lokalets dybereliggende områder udjævnes. Der vil dog være en zone, hvor dagslys og kunstlys blandes, så det vil opleves, at lyset kommer fra to retninger med hver sin farve.
- Dagslyset kan suppleres med dagslysstyret almenbelysning fra alle armaturer. Belysningsformen kan anvendes i mindre lokaler, hvor dagslysniveauet er så stort, at kunstlyset kan undværes i en stor del af tiden. Selvom lysretningen fra kunstlyset vil svække dagslysets gode modellerende egenskaber, vil denne kombination af almenbelysning og dagslys give de færreste ulemper med hensyn til visuel komfort, også set i forhold til ovennævnte muligheder. Der vil dog stadig kunne konstateres forskel i lysets farve.
- Den enkelte arbejdsplads udstyres med en supplerende arbejdslampe. Anvendeligheden af denne løsning vil være størst i fag- og speciallokaler, fx til de kreative fag, hvor der stilles større krav til farvegengivelse end i normalklassen. Farveforskellen mellem dagslys og det koncentrerede

kunstlys vil ikke virke generende, og dagslysets modellerende egenskaber beholdes.

Flimmer og stroboskopeffekt

Belysningsanlæg til undervisningslokaler skal planlægges med tanke på at undgå flimmer og stroboskopeffekter. Visse lyskilder, der er tilsluttet vekselstrøm, pulserer i lysudsendelsen. Denne pulsation opfattes under særlige betingelser som flimmer.

Øjets evne til at opfatte flimmer er størst i det perifere synsfelt og afhænger af mange faktorer. Den vigtigste er luminansen, idet jo højere denne er, jo højere frekvens kan øjet opfatte som enkeltglimt. Flimmer kan virke ubehageligt, og generende flimmer skal begrænses ved passende foranstaltninger.

Pulsation i lysudsendelsen giver anledning til den såkaldte stroboskopske effekt, hvorved roterende eller hurtigt bevægende dele hastighed - og eventuelle rotationsretning - kan fejlbedømmes. I disse tilfælde skal der træffes foranstaltninger, som eliminerer risikoen for stroboskopeffekten, eksempelvis ved at der benyttes højfrekvensdrift eller ved brug af andre specielle koblinger i forbindelse med lyskilder.

Flimmer påvirker nervesystemet og kan medføre hovedpine og øjenbesvær. Studier, som sammenligner drift af lysrør forsynet med konventionelt forkoblingsudstyr med drift af lysrør forsynet med højfrekvent elektronisk forkoblingsudstyr (HF), viser, at testpersonerne får betydeligt mindre gener ved at udføre synsopgaver ved lysrør med elektroniske HF-forkoblinger. Et lysrør med konventionel forkobling vil tænde og slukke lyset 100 gange i sekundet i takt med netfrekvensen (50 Hz). Dette er umuligt at opfatte direkte, men kan registreres i det perifere synsfelt som flimmer. Ved højfrekvent drift af lysrør 'blinker' lyset over 30000 gange i sekundet, hvilket er umuligt at opfatte for øjet.

Belysningsprincipper

Samspil og harmoni i lyssætningen er faktorer, der er med til at skabe et godt arbejdsmiljø. Dette kan opnås på forskellige måder med belysningsarmaturerne som virkemiddel. For den projekterende ingeniør betyder det, at der må tages hensyn til lokalets udformning og arkitektens intentioner, lokalets funktion og den enkeltes arbejdssituation.

Der må også tages hensyn til en økonomisk optimal løsning, når det gælder valg af armaturantal og effektforbrug. Den kunstige belysning kan udføres efter følgende principper:

- Almenbelysning
- Pladsorienteret almenbelysning
- Pladsbelysning og almenbelysning.

Almenbelysning

Med almenbelysning menes et belysningsanlæg, hvor armaturerne er placeret i et regelmæssigt mønster. Herved kan der opnås en passende ensartet belysningsstyrke i hele lokalet.

I arbejdsrum er det normalt at kræve, at forholdet mellem den laveste belysningsstyrke og middelbelysningsstyrken er mindst 0,7. I trafikarealer, såsom indgangspartier og gangarealer, er det normalt at acceptere større variationer uden at angive et forholdstal.

Pladsorienteret almenbelysning

Med pladsorienteret almenbelysning menes et belysningsanlæg, hvor armaturvalg og placering tilpasses bedst muligt til den enkelte arbejdsplads. Belysningsniveauet bør generelt ikke variere mere end 1:3.

Planlægges anlægget med henblik på, at belysningen på en enkel måde kan ændres, hvis møbleringsmønsteret ændres, vil pladsorienteret almenbelysning kunne tilbyde stor fleksibilitet, lave omkostninger og lavt energiforbrug.

Reduceret almenbelysning og pladsbelysning

Almenbelysningen planlægges normalt til at kunne dække lokalets generelle brug. Suppleres en reduceret almenbelysning med pladsbelysning, kan det i mange tilfælde give en miljømæssig, energimæssig, økonomisk og æstetisk god løsning. Det er især vigtigt, at der kan blive mulighed for etablering af 'huler' til leg, læsning, snak m.m. Sådanne huler kan afgrænses med lyset alene eller i kombination med reoler, lette skillevægge eller anden form for delement. Anlæggets fleksibilitet i forbindelse med ommøblering vil dog i nogen grad være afhængig af tilgang til elstik. I Lokaler, hvor belysningen overvejende er baseret på almenbelysning, kan man styrke den rumlige karakter og dybde ved at særbelyse enkelte flader eller objekter. Dette vil modvirke, at rummet fremstår diffust eller unuanceret.

Eksempler på belysningsprincipper

Til at fordele, filtrere og retningsbestemme det elektriske lys anvendes belysningsarmaturer, der er udformet efter, hvilken belysningsvirkning der ønskes i rummet. De indeholder elektriske komponenter, fx en elektronisk forkoblingsenhed, som er nødvendig, for at lyskilden skal fungere efter hensigten. Udviklingen af nye energieffektive lyskilder har medført en tilsvarende udvikling af nye armaturtyper, der honorerer kravene til design og funktion. Specielt til belysning i undervisningslokaler stilles der store krav til funktionalitet, lyskvalitet og økonomi, men det er også vigtigt at belysningsanlægget planlægges ud fra funktionen i samspil med dagslyset, således at kunstlyset supplerer og understøtter dagslyset i den store del af skoletiden, hvor dagslyset bør være hovedlyskilden.

Armaturerne kan være udformet således, at en del af lyset udsendes direkte fra lyskilde ned på arbejdsområdet, og en del af lyset sendes via refleksion fra loftet eller armaturets egen reflektor. På markedet findes armaturer med næsten alle kombinationer af direkte og indirekte belysning. De fleste armaturer er indrettet til at give et alment belysningsniveau i et helt rum, men visse armaturer er udformet til at forsyne den enkelte arbejdsplads.

- Almen direkte belysning, 100 % nedadlysende.
- Almen indirekte belysning, 100 % opadlysende.
- Almen direkte/indirekte belysning med fordelingerne opad-/nedadlysende, fx 30 %/ 70 %, 10 %/ 90 %, 70 %/ 30 %.
- Pladsorienteret belysning, direkte eller indirekte med optik/afskærmning for nedadrettet lys og individuel, aktivitetsbaseret belysning.

Ved indirekte belysning er det vigtigt, at armaturerne fordeler lyset uden for store spring mellem lys og skygge. For at undgå blænding ved direkte belysning må armaturerne forsynes med en afskærmning af lyskilden.

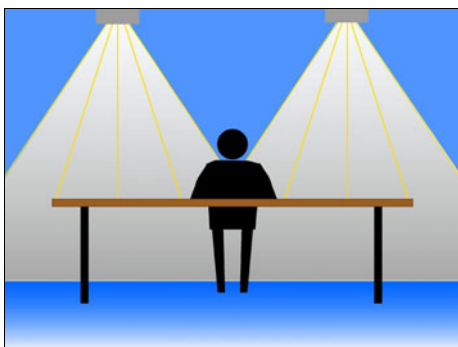
Det kan fx være:

- parabolisk reflektor, dobbelt eller enkelt, blank eller diffuserende
- opaliseret eller prismatisk afskærmning
- forskellige former for afblændingsgitre.

I det følgende gives en kort beskrivelse af de forskellige belysningskoncepter, som kan komme på tale i skolen.

Nedadlysende armaturer

Direkte nedadlysende armaturer med lysstofrør eller kompaktlysstofrør kan være indbygget i loftet, påbygget, eller nedhængt, hvor rumhøjden kræver eller tillader det. Armaturerne sender lyset direkte nedad mod arbejdspladserne. Ofte benyttes enkelt- eller dobbeltparabolske gitre til at retningsbestemme lyset og til at hindre direkte blænding fra lyskilden, når armaturet betragtes under en lav synsvinkel. Direkte lysende armaturer er forholdsvis effektive og kan give høje belysningsstyrker på arbejdsplanet.



Figur 50. Nedadlysende armaturer.

Da armaturerne ikke belyser loftet, giver brugen af direkte nedadlysende armaturer ofte meget mørke loftflader og dermed stor luminansforskel mellem det lysende armatur og det omgivende loft. Dette ses især ved armaturer, som sidder i eller på selve loftet og i mindre grad ved nedhængte armaturer. Tillige ses ofte skarpe aftegninger af lyskeglen på vægge og andre lodrette flader, der er tæt på armaturerne.

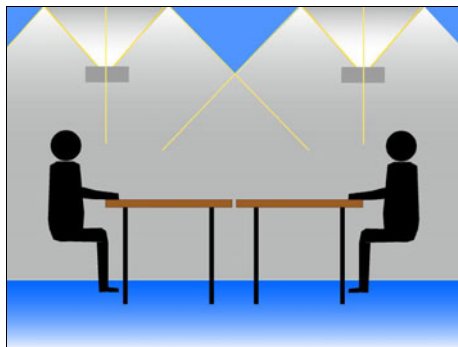
Direkte nedadlysende armaturer bliver ofte ophængt jævnt fordelt over hele lokalet af hensyn til en jævn belysningsstyrke. Armaturerne placeres i rækker parallelt med vinduesfacaden. Da det ligeledes ofte svarer til den normale orientering af elevernes borde i en traditionel klasseopstilling, er det vigtigt, at bordene eller armaturerne bliver placeret således i forhold til hinanden, at armaturerne er placeret til siden i forhold til bordene af hensyn til reflekser og spejlinger i skærme, borde og arbejdsobjekter.

Tavlebelysningen består ofte af direkte nedadlysende armaturer med asymmetrisk lysfordeling, hvilket giver en høj vertikal belysningsstyrke på tavlen.

Downlights med kompaktlysstofrør er også direkte nedadlysende. Brugen af downlights kan give et mere fleksibelt layout i belysningsplanen og ofte også i placeringen af arbejdspladserne. Der gælder dog stadig de samme begrænsninger med hensyn til placering af den enkelte arbejdsplads: Armaturerne skal placeres til siden i forhold til arbejdspladsen og synsretningen ved arbejdspladsen skal være parallel med vinduesvæggen af hensyn til blænding fra vinduesarealet. Også downlights skaber store luminansforskelle mellem armatur og loft.

Opadlysende armaturer

Direkte opadlysende armaturer med lysstofrør kan være nedhængte under loftet, vægmonterede uplights eller være monteret på en stander stående på gulvet. Armaturerne sender lyset direkte opad mod loftet og/eller væggene, hvorfra det reflekteres tilbage mod arbejdspladserne. Det indirekte lys kan skabe et tiltalende lyst lokale, men belysningen giver ofte et diffust indtryk med en svag skyggedannelse.

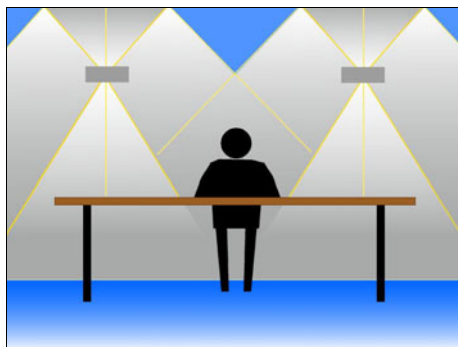


Figur 51. Opadlysende armaturer.

Opadlysende armaturer kan eventuelt være egnede i lokaler, hvor der arbejdes ved edb-skærme. I andre undervisningslokaler bør der suppleres med nedadlysende armaturer, der supplerer det diffuse lys med en mere rettet belysning. Herved forbedres lysets modellerende egenskaber, hvilket har betydning for børnenes udvikling af dybdesynet, jf. afsnittet om belysning og børns udvikling side 17. Den installerede effekt vil ofte være højere for at opnå det samme belysningsniveau, som ved brug af fx direkte nedadlysende armaturer.

Opad-/nedadlysende armaturer

Armaturer, der er direkte opad-/nedadlysende, kombinerer det nedadlysende armaturs effektivitet med det opadlysende armaturs rumskabende kvalitet. Denne type armaturer bidrager derfor til at kunne give tilfredsstillende belysningsstyrker på arbejdsplanet samt god skyggedannelse fra objekter, suppleret med en god rumskabende virkning. Den nedadrettede del skal udgøre mellem 25 og 75 % af lyset. Armaturerne skal fordeles jævnt over hele lokalet.

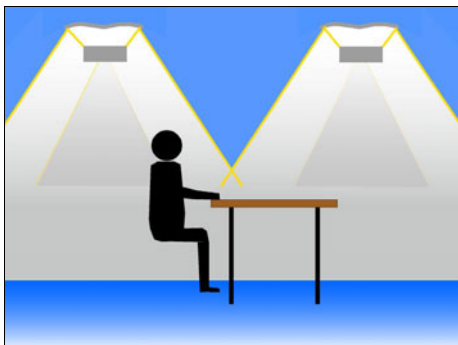


Figur 52. Opad-/nedadlysende armaturer.

En ophængningshøjde mindre end ca. 0,4 m fra loftet vil ødelægge virkningen af det opad-/nedadrettede lys, da der vil forekomme meget høje luminansniveauer på loftet over armaturerne. Sådanne kraftige 'lysøer' vil givetvis medføre refleksproblemer i fx edb-skærme og andre arbejdsobjekter.

Indirekte opad-/nedadlysende armaturer

Indirekte opad-/nedadlysende armaturer, også kaldet 'snyde-indirekte' armaturer, findes til indbygning i loftet, til påbygning eller til nedhængning, hvor rumhøjden kræver eller tillader det. Armaturerne sender en mindre mængde lys direkte nedad gennem et afskærmningsgitter monteret under lyskilden samt et mere diffust nedadrettet indirekte lys fra en hvid reflekterende ofte parabolisk flade øverst i armaturet. Armaturerne giver stort set de samme muligheder som de opadlysende armaturer. De kan medvirke til at skabe et lyst udseende lokale, hvor belysningen kan virke diffus med svag skyggedannelse fra objekter.

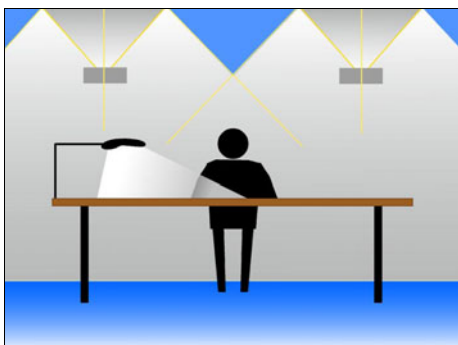


Figur 53. Indirekte, opad-/nedadlysende armaturer.

Den indbyrdes placering af arbejdspladser og armaturer er ikke kritisk. Dog kan luminansforholdene i den øverste reflektor lige over lyskilden give anledning til blænding under særlige synsvinkler.

Opadlysende armatur plus arbejdslampe

En kombination af opadlysende armaturer og en god arbejdslampe, gerne asymmetrisk lysende, kan tilsammen danne et godt belysningskoncept. Det indirekte lys fra armaturet kan medvirke til, at lokalet 'lyser op', samtidig med at arbejdslampen, når den bliver indstillet til at lyse fra siden, kan give en fin skyggedannelse fra objekter. I situationer, hvor almenbelysningen ikke er tændt, kan arbejdslampen medvirke til at give fokus både på arbejdssemner og på selve arbejdspladsen.



Figur 54. Opadlysende armaturer plus arbejdslampe.

Dette belysningskoncept kan med fordel benyttes i håndarbejdslokaler og i formnings- og tegningslokaler, hvor der stilles store krav til korrekt farvegengivelse og kontrastrigdom.

Arbejdslamper

Det vil ofte være u hensigtsmæssigt at tilvejebringe den lovbefalede belysningsstyrke på arbejdspladsen udelukkende ved brug af almenbelysningen. Denne vil, som nævnt, heller ikke i alle tilfælde kunne tilfredsstille krav om god skyggedannelse fra objekter og passende luminans- og kontrastforhold.

Suppleres almenbelysningen med en god indstillelig arbejdslampe, gerne asymmetrisk lysende, vil de supplerende krav vedrørende belysningsstyrke, god skyggedannelse, fokusopnåelse, kontrastrigdom og luminansvariation kunne opnås.

Erfaringen viser, at en arbejdslampes betydning for gode synsforhold ved en arbejdsplads ofte overses.

Pladsorienteret og aktivitetsbaseret belysning

En ofte stillet forudsætning for brugen af ovennævnte belysningskoncepter er, at armaturerne til almenbelysningen fordeles jævnt over hele lokalet, hvilket vil sige, at der søges opnået en ensartet belysningsstyrke overalt. Dette

er nemt at tilgodese, og hvis den projekterende ingeniør ikke kender til bordopstillingen på projekteringstidspunktet, vil det ofte være den eneste (og nemmeste) løsning.

Denne løsning medfører dog ofte en belysningssituation med kedeligt og monotont lys. Større kendskab og hensyntagen til bordenes placering, lokalets funktion, øvrige indretning samt farve- og materialevalg under projekteringen ville uden tvivl føre til bedre og mere fleksible løsninger, hvor større variationer i belysningen kunne understøtte rumfunktion og aktiviteter. Desværre viser praksis, at der på projekteringstidspunktet er begrænset viden om lokalernes funktion, og at den viden, der findes, ikke altid indgår tilstrækkeligt i belysningsplanlægningen. Den projekterende bør derfor i højere grad skaffe sig den tilstrækkelige viden om de enkelte rums funktion og udnytte denne viden, således at de planlagte belysningskoncepter kan tilpasses forskellige undervisningsscenarier, både generelt og i det enkelte lokale.

Lysstyring og -regulering

Belysningsanlægget i et lokale skal være inddelt i zoner, således at brugeren kan slukke lyset i de zoner, hvor der ikke er behov for det. En zone kan fx omfatte alle belysningsarmaturer langs vinduesfacaden, og en anden zone kan så omfatte resten af lokalets armaturer. Ulempen ved den manuelle 'styring' er, at brugeren kun bemærker, at der er for lidt lys men meget ofte ikke bemærker, at dagslyset er fuldt tilstrækkeligt og derfor glemmer at slukke lyset.

Tænding og slukning af lyset i en zone skal som sædvanligt kunne ske manuelt, men det bør også kunne foregå ved hjælp af bevægelsesmeldere, der slukker for lyset, når der i en vis periode ikke er personer tilstede. Er belysningsanlægget yderligere forsynet med dagslysfølere, kan aktivering af kunstlyset udskydes til det tidspunkt, hvor dagslyset alene ikke kan opretholde et forudindstillet belysningsniveau.

Den simpleste styring er en automatisk tænd/sluk-funktion af belysningen ved hjælp af en bevægelsesmelder, der registrerer, om der er personer i lokalet. Den mest anvendte detektor er af PIR-typen (Passiv Infrarød sensor), som består af en detektor, der registrerer varmestråling (IR-stråling), og en elektronikdel, der kan tænde eller slukke belysningen. Når en person med en temperatur, der er forskellig fra lokalets, bevæger sig ind i eller forlader det område, som føleren kan 'se', vil IR-signalet ændres og bevægelsesmelderen vil tilkoble belysningsanlægget. Hvis bevægelsesmelderen i et tidsrum ikke registrerer bevægelse (udkoblingstiden), slukkes lyset igen. Da der ikke altid er behov for, at lyset tændes automatisk, når lokalet tages i brug, bør bevægelsesmelderen kun kunne slukke for lyset. Det tændes i stedet for manuelt på en kontakt fx lige inden for døren.

For at få det fulde udbytte af bevægelsesmelderen skal den kobles sammen med en detektor for lys, således at belysningsanlægget ikke tændes, hvis dagslysniveauet er tilstrækkeligt højt. Der er flere muligheder for sammenkobling af en lysføler og en bevægelsesmelder, og den valgte løsning kan have indflydelse på den mulige elbesparelse. Anlæg med zoneopdeling og kontinuerlig lysregulering efter dagslyset, spærring for tænding af lyset når der er tilstrækkeligt dagslys og afbrydelse af lyset, når der ikke er personer tilstede giver den mest energiøkonomiske kombination. Brugeren bør dog altid have en mulighed for at tænde lyset på laveste niveau ved hjælp af en kontakt og en yderligere mulighed for at hæve lysniveauet ved et fornyet tryk på kontakten.

Ovennævnte kombination af en bevægelsesmelder og en lysføler kan yderligere kombineres til et meget fleksibelt belysningssystem med en intelligent lysstyring, fx systemet DALI, hvor hvert enkelt armatur individuelt kan programmeres til at fungere forskelligt i forskellige situationer (lyssætninger).

Der kan programmeres forskellige scenarier, således at man kan vælge mellem klassebelysning, gruppebelysning, vægbelysning, tavlebelysning, opdeling af rum og rengøringsbelysning m.m.

Da lysudsendelsen/funktionen kan reguleres for hvert enkelt armatur, kan den tilpasses efter valg af bordopstilling. Ved en U-formet bordopstilling vil armaturerne i rummets midte ofte give anledning til ubehagsblænding, disse kan derfor med fordel dæmpes i dette scenarium. Endvidere kan armaturerne styres automatisk efter dagslysforholdene og dæmpes kontinuert, når dagslysmængden tiltager.

Belysning i skolens forskellige områder

Almenbelysningen er grundbelysningen i ethvert lokale. I undervisningsrum bliver den også arbejdslys, da borde og kateder sjældent forsynes med individuel belysning. Almenbelysningen får da flere funktioner:

- Gøre det nemt at orientere sig i lokalet.
- Give tilstrækkeligt lys til den enkeltes arbejdsopgave
- Mindske antallet af lysende objekter i synsfeltet, så man undgår ubehag ved vekslen mellem nær- og afstandsfokusering.
- Fremhæve kontrasten mellem papir og bogstaver/tegninger således, at tekst og billeder bliver lette at se.

Derudover er det vigtigt, at lyset har gode modellerende egenskaber, hvilket har betydning for udvikling og stimulation af synssansen. Børn er midt i en vigtig periode af deres udvikling af synssansen, som formidler mere end 80 % af alle sanseindtryk. Det modellerende lys giver variationer i lys og skygge, der stimulerer evnen til at opfatte former, afstande osv.

Normalklasser

Undervisningslokaler skal være forberedt til en række undervisningsmidler, inkl. audiovisuelle medier. Installationerne skal tage højde for individuel undervisning ved pc'er eller skærmterminaler. Møbleringen skal kunne ændres i takt med ændrede undervisningsforløb, gruppearbejder og traditionel undervisning, og kravene til lokalernes fleksibilitet er øget betydeligt de seneste år.

Dagslysets intensitet varierer i løbet af dagen. Derudover kan undervisningslokaler være så dybe, at dagslyset alene ikke er tilstrækkeligt. Derfor skal den kunstige belysning kunne kompensere for det manglende dagslys. Ønsket om fleksibilitet og energibegrænsning kræver en nøje planlægning på et meget tidligt tidspunkt i bygge- eller renoveringsfasen. Energioptimeringen spiller en meget stor rolle, fordi driftstiden kan blive meget lang, når dag- og aftenundervisning samt rengøring medregnes.

Bygningsreglementet stiller krav om sektionering af lyset, hvilket normalt betyder, at belysningsanlægget opdeles, så fx armaturrækker langs vinduesfacader slukker individuelt ved tilstrækkeligt dagslys. Der er god økonomi i at udnytte dagslyset.

Audiovisuelle medier, video, computerbaserede og traditionelle overheads etc. kræver en god fleksibel belysning. Trinløs dæmpning af lyset, mulighed for at slukke visse områder separat, fx den almene rumbelysning, og måske kun anvende væg- eller tavlelys, bør være naturlige krav til fremtidige installationer.

Tavlen er stadig et samlingspunkt i klasseværelserne. Den skal kunne ses klart og tydeligt fra alle pladser i lokalet. Det er vigtigt, at underviseren ikke kommer mellem lyset og tavlen, så der arbejdes i egen skygge, hvorved underviseren selv blændes. Der må ikke være distraherende blændinger eller reflekser i tavlefladen. Hele tavlefladen skal være ensartet belyst. Dette opnås bedst ved montering af en ubrudt række af tavlearmaturer, som er armaturer med en speciel asymmetrisk optik for tavler. Anvendes spots, skal de placeres så tæt, at tavlen er jævnt belyst, og blænding ikke forekommer.

Kravene til tavlebelysning er ifølge DS 700 (Dansk Standard, 1997) 500 lux på mørke tavler og 200 lux på lyse tavler, målt vertikalt på tavlens plan.

Anvendes lokalerne til undervisning af både børn og voksne, er det vigtigt at kunne skabe tilstrækkeligt lys til voksengruppen. Kravet til øget belysningsstyrke øges med alderen. For at spare på energien vil det være fornuftigt at forsyne belysningsanlæggene med lysreguleringsfaciliteter, så lysniveauet altid kan tilpasses elevgrupperne og aktiviteterne. Nedenfor angives krav til belysningen i normalklasser og faglokaler ifølge DS 700.

Tabel 5. Normalklasser. Krav til belysning ifølge DS 700. I denne og de følgende tabeller er belysningsstyrken fra almenbelysningen angivet ved en stjerne mens øvrige er belysningsstyrke på synsobjekt.

Arbudssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning *	Blændingsgrænse	Farvegengivelse Ra-indeks	Bemærkninger
Normalklasser og faglokaler uden særlige krav	200 *	20	80	
Normalklasser og faglokaler med voksenundervisning	500	20	80	
Tavler, mørke	500 *		80	På tavlens plan
Tavler, lyse	200 *		80	På tavlens plan

Edb- og dataarbejdspladser

Edb anvendes mere og mere i den daglige undervisning, også på de små klassetrin. Med folkeskoleloven af 1993 er det samtidig besluttet, at IT skal integreres i alle obligatoriske fag. Det er derfor vigtigt, at undervisningslokalerne kan tilpasses til IT-anvendelse, og at kravene til lokalets udformning, belysning, inventar etc. imødekommer den mere fleksible anvendelse af skolens lokaler, som folkeskoleloven lægger op til.

Desværre er skoleelever ikke omfattet af arbejdsmiljøloven. Hvis Arbejdstilsynets bekendtgørelse om arbejde ved skærmterminaler (Arbejdstilsynet, 1992) anvendes som udgangspunkt for indretning af IT-lokaler i skolen, vil skoleeleverne sandsynligvis have bedre indlærings- og arbejdsforhold, end de generelt har i dag.

For lokaler indrettet til undervisning ved edb-skærme gælder samme forhold for belysningen som for storrumskontorer. Belysningen skal være passende for alle opgaver udført på arbejdspladsen, fx læsning på skærm, læsning af trykt tekst, skrivning på papir og arbejde med tastatur.

Skærmene, og i nogle tilfælde tastaturerne, kan reflektere lys fra kraftigt lysende flader. Sådanne reflekser kan både give synsnedsættende blænding og ubehagsblænding. Det er derfor nødvendigt at vælge, placere og arrangere armaturer (og arbejdspladser), så kraftige refleksioner undgås. Blænding kan for eksempel opstå fra reflekser fra hvide flader, dagslys fra vinduer og fra belysningsarmaturer.

Nedhængte opad-/nedadlysende armaturer anbefales ved edb-arbejdspladser. Det opadrettede lys, der reflekteres af loft og vægge, giver et jævnt og diffust lys uden store luminansforskelle. Gardiner og persiener bruges til solafskærmning. Lyset bør ideelt set være stærkest i arbejdsfeltet (ved tastatur, manuskript og på midten af arbejdsbordet), svagere i nærfeltet og svagest i de fjernere områder. I edb-arbejdsrum bør man have armaturer forsynet med elektronisk forkobling (HF-spoler) for at forhindre flimrende lys. I de fleste tilfælde skal den projekterende ingeniør også angive de områder i lokalet, der er uegnede som arbejdsplads, når der arbejdes ved en skærm.

Tabel 6. Edb-lokaler. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbudssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R _a -indeks	Bemærkninger
Edb-lokaler: Vedvarende læsning, skrivning og arbejde ved maskiner med tastatur	500	20	80	Se DS 700
Computerrum	200 *	20	80	Se DS 700, måleplan 0,85 m

Indretning af IT-lokaler

Med indretning af IT i skolen skal man være bevidst om, at børn kan komme ud for mange af de samme arbejdsrelaterede symptomer som voksne, der arbejder ved skærmterminaler. Skærmterminalen er det centrale punkt i en edb-arbejdsplads. Anvendes dårlige skærme, kan det medføre, at øjnene anstreges unødvendigt, hvilket kan føre til øjenbesvær og andre symptomer, der følger af et anstrengt synsarbejde som fx øjenirritation, træthed og hovedpine. Desuden skal der tages hensyn til, at børn er fysisk forskellige fra voksne, og at de generelt har en lavere øjenhøjde, samt at deres synsans først er fuldt udviklet omkring 14-års alderen.

Ved længerevarende undervisning skal der også tages ergonomiske hensyn, da stillesiddende arbejde ved edb-skærm kan give ryg-, nakke- og skuldersmerter. Det skal i videst muligt omfang undgås at arbejde med ensidige bevægelser, og der bør holdes jævnlige pauser for at krop, øjne og sind kan slappe af. Desuden kan børn ofte have en begrænset selvbevidsthed omkring kroppens faresignaler, og det er vigtigt, at eleverne lærer at opfatte og tage signaler alvorligt.

Edb-arbejdspladsen bør indrettes efter børns udviklingsfaser, dvs. at der anvendes hæve-/sænkeborde, således at sidde- og arbejds højde kan tilpasses individuelt til personer og opgaver for at give hensigtsmæssige arbejdsstillinger og -bevægelser. Som hovedregel skal den øverste linje på skærmen være mindst 15 cm under elevens øjenhøjde. Arbejdsbordet eller arbejdsfladen skal have lavreflekterende overflade. Arbejdsstolen og stoleryggen skal kunne indstilles både i højden og i ryglænet, og der bør stilles en egnet fodskammel til rådighed.

OECD-rapporten: "Redefining the Place to Learn", (OECD, 1997), peger på to alternative løsninger, foretrukket af lærere, for et klasserum, hvor IT er integreret i undervisningen. Den ene løsning er et mini edb-center mellem klasserummene med fællesundervisning og udnyttelse af mulighederne for undervisning via video-kommunikation etc. Denne løsning giver frihed til at sikre den bedst mulige belysning på de enkelte arbejdspladser med skærmterminaler uden hensyntagen til øvrige undervisningsbehov. Den anden løsning er at give skoleeleverne bærbare computere, hvilket giver eleverne større fleksibilitet til at arbejde forskellige steder på skolen. I henhold til skærm bekendtgørelsen stilles der dog de samme indretningskrav, som gælder for stationære computere, hvis den bærbare computer anvendes regelmæssigt og mere end ca. 2 timer om dagen.

Indretningsmæssigt bør skærmterminalerne placeres et stykke fra vinduesvæggen, og skærmen bør orienteres således, at man ser parallelt med vinduesvæggen. Hvis skærmterminalen placeres med synsretning mod vinduet, giver det blænding og besværliggør læsning af tekster på skærm og på papir. Placeres skærmen langs med bagvæggen (så man sidder med ryggen mod vinduet), vil vinduet give generende spejlinger i skærmen og samtidig skygger man for lyset fra vinduet og fra almenbelysningen i rummet.



Figur 55. Hillerødsgades skole. For eleverne med synsretning mod vinduet vil vinduet give anledning til blænding og besværliggør læsning af tekster på skærm og på papir. Når hoved og øjne flyttes fra lysere (vindue) til mørkere områder (skærm og tavle) eller omvendt, vil øjet automatisk tilpasse sig synsfeltets luminans, men hyppige skift mellem høje og lave niveauer trætter øjet. For eleverne, der sidder med ryggen mod vinduet, vil vinduet give generende spejlinger i skærmen, selvom gardinet er trukket for.

Vinduer og dagslys

Gode synsforhold og et godt visuelt miljø har fået større betydning med den stigende anvendelse af edb-udstyr og visuelle kommunikationsformer. Udbredelsen af IT i skolen medfører, at synsretningen hovedsagelig er flyttet fra en vandret til en lodret 'arbejdsflade'.

Ved valg af orientering af klasselokaler, bør man også være opmærksom på, at langt de fleste børn er højrehåndede, og det vil derfor være hensigtsmæssigt, at hovedlyset kommer fra venstre side. Suppleres lys fra modstående side, fx fra højsiddende glasbånd med lys fra gangarealer eller en lys-skakt i bygningens midte, vil belysningsniveauet hæves og reducere nødvendigheden af, at den elektriske belysning er tændt hele tiden for at udjævne luminansforskelle.

Skærmterminalarbejdspladsen skal være indrettet således, at vinduer og andre åbninger ikke forårsager direkte blænding og ikke medfører generende reflekser på skærmen. Reflekser i skærmen kan mindskes ved at vælge en skærmopsætning med lys baggrund og mørke bogstaver. Skærme med flade billedrør giver færre reflekser end skærme med buede billedrør. Vinduerne skal være forsynet med en passende fleksibel afskærmning, som kan reducere dagslyset, hvis nødvendigt, og skærme af for direkte sollys.

Belysningsforhold

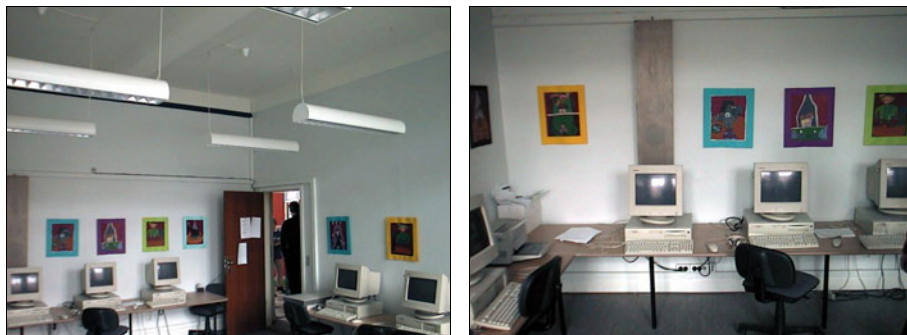
For at sikre den bedst mulige belysning på de enkelte arbejdspladser med skærmterminaler, bør der, i forbindelse med renovering eller nybyggeri, udarbejdes en indretnings- og møbleringsplan, der koordinerer placering af belysning og arbejdspladser bedst muligt. Almenbelysning og særbelysning (arbejdslamper) skal sikre tilstrækkelig belysning og en passende kontrast mellem skærm og omgivelser under hensyntagen til arbejdets karakter og brugerens synsbehov.

Belysningsstyrken på vandrette flader er ofte større end på lodrette, men af hensyn til luminansfordelingen mellem skærm og arbejdsbord er det omvendte ofte ønskeligt. Holdes styrken af dagslyset fra sidevinduer under kontrol, udjævnes denne skævhed. Af hensyn til luminansfordelingen omkring edb-skærmen anbefales det, at luminansspringet mellem betydende flader ikke må være større end 3:1, men dette er ofte vanskeligt at opfylde. Hvis luminansforholdet mellem skærm og området omkring skærmen ikke er større en 10:1, vil synskomforten ofte være tilfredsstillende. Bliver luminansforholdet større, kan det trætte øjnene. På den anden side må luminansfordelingen heller ikke være for jævn, da et lokale med små luminansforskelle kommer til at virke monotont.

En traditionel edb-skærm har en middelluminans på ca. 90 cd/m², men luminansen vil variere fra 5 cd/m² med sort baggrund til 120 cd/m² med en hvid baggrund. Da luminansen af et hvidt papir ved belysningsstyrken 200

lux er ca. 50 cd/m^2 , kan en acceptabel luminansforskel mellem skærm og papir kun opnås ved en forholdsvis lys baggrund på skærmen. De nye LCD-/TFT-skærme (fladskærme) har en middelluminans der er væsentligt højere, $200\text{-}250 \text{ cd/m}^2$. Væsentligt for alle skærme er, at billedet skal være fri for flimmer, at opdateringsfrekvensen mindst er 75 Hz og helst over 80 Hz, samt at lysstyrken og kontrasten kan indstilles efter forholdene.

Almenbelysningen, dvs. loftsbelysningen, kan bestå af lysrørsarmaturer (farvegengivelse R_a skal mindst være 80), og armaturerne skal være yderst vel afskærmede for at mindske blænding og generende reflekser i edb-skærmene. Almenbelysningens armaturer bør placeres i rækker og orienteres parallelt med vinduet og vinkelret på tavlen. Placeres armaturerne vinkelret på facaden og fx afskærmet med et åbent tværlamelgitter, kan det give generende blænding for børnene i undervisningsområdet, fordi lamellerne i armaturet kun afskærmer lyskilden i langsgående retning.



Figur 56. Hillerødsgades skole. Placeres skærmen langs med bagvæggen, vil vinduet give generende spejlinger i skærmen, og samtidig skygger man for lyset fra vinduet og fra almenbelysningen i rummet. I denne opstilling kan armaturernes åbne tværlamelgitter give generende blænding, hvis eleverne drejer rundt for at følge undervisningen, fordi lamellerne i armaturet kun afskærmer lyskilden i den ene retning.

Specialundervisning og faglokaler

Specialklasserne skal være tilpasset tværfaglig og projektorienteret undervisning, og belysningen bør ligeledes være tilpasset de forskellige fagområders særlige krav.

Der stilles forskellige krav til effektivitet og tæthed, fx i forbindelse med sløjd, fysik og kemi. Skolekøkkener kræver rengøringsvenlige armaturer. De fleste faglokaler har demonstrationspladser, som kræver en mere intensiv belysning for at adskille og markere disse områder i forhold til lokalet med den generelle grundbelysning.

Lyskildernes farvegengivelse er specielt vigtig i faglokaler, hvor man skal være i stand til at skelne farver og strukturer på mange forskellige materialer og emner. DS 700 foreskriver minimumskrav til lyskilders farvegengivende egenskaber.

Formnings- og tegningslokaler

I formningslokaler tilsiger det overordnede krav, at almenbelysningen skal give tilstrækkeligt meget arbejdslys. Lokalerne bør placeres og udformes, så de får mest muligt dagslys. Yderligere bør belysningen have en vis andel indirekte belysning for at undgå skarpe reflekser i værktøj og arbejdssemner, samt direkte belysning for at opnå tilstrækkeligt lys på små flader og detaljer. Lyskilderne skal have en god farvegengivelse, dvs. et R_a -indeks på mindst 90.

Tavlen kræver specielle tavlearmaturer, som kan give en jævn belysningsstyrke på den lodrette flade, ellers vil tavlen ikke træde tilstrækkelig tydeligt frem i et lokale med megen aktivitet og bevægelse.

Opfattelsen af genstande og menneskelige modeller forudsætter en god balance mellem rettet og diffust (reflekteret) lys, hvorved der opnås bedre modellerende lysegenskaber, end der normalt er i en normalklasse. Det ideelle tegningslokale bør have en mere indirekte belysning reflekteret fra loftet. Men ofte skal lokalet også kunne tilpasses til andre aktiviteter, så en løsning med nedhængte opad-/nedadlysende armaturer vil være en god og fleksibel løsning.

Benyttes meget indirekte opadlysende belysning, kan det blive nødvendigt at supplere med rettet lys, der kan hjælpe med at fremhæve former og tekstur. Spotlights på strømskinner vil være et godt valg, måske kombineret med farvefiltre og forskellige forsætter, hvilket kan give mange spændende og forholdsvis billige muligheder.

Tabel 7. Formning og tegning. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R _a -indeks	Bemærkninger
Formning og tegning	200 (0,85 m o. gulv)	20	90	Se side 24 om skyggedannelse

Sløjdlokaler og metalværksteder

Også i sløjdlokaler og værksteder er det vigtigt, at lyset har gode modellerende egenskaber og kan lette opfattelsen af detaljer. Lyset bør være jævnt fordelt over hele lokalet, suppleret med rettet lys, fx fra arbejdslamper ved de enkelte maskiner og arbejdspladser. Det er vigtigt, at lyset ikke bliver for diffust, da det så er svært at afstandsbedømme, og man risikerer at komme til skade ved brug af maskiner og værktøj. Ved anvendelse af elektroniske forkoblinger sikrer man, at lyset bliver flimmerfrit og stroboskopeffekter undgås.

Af hensyn til brandfare på grund af støv skal armaturer i sløjdlokaler være tætte (klassifikation IP44 eller højere, hvis brandmyndighederne kræver det). Det er en god ide at benytte lukkede armaturer af hensyn til stød, slag og rengøring.

Tabel 8. Sløjdlokaler. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R _a -indeks	Bemærkninger
Sløjdlokaler	200 (0,85 m o. gulv)	20	90	Se side 24 om skyggedannelse

Håndgerning

I undervisningslokaler til håndgerning bør farvegengivelsen være så god, at man let kan vurdere farver. Lysets styrke og retning bør være af en sådan karakter, at man kan se strukturer i stoffer m.m. Armaturer ved symaskiner bør være forsynet med elektroniske forkoblinger, HF, for at undgå stroboskopvirkninger, som kan forårsage, at man ikke er i stand til at opfatte symaskinens bevægelser rigtigt, hvorved ulykkesrisikoen øges. Der kan eventuelt være behov for supplerende lys fra arbejdslamper ved bordene, fx en asymmetrisk lysende bordlampe.

Tabel 9. Håndgerning. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R _a -indeks	Bemærkninger
Håndgerning	500	20	90	

Skolekøkkener

I skolekøkkener skal der være en kombination af arbejdspladsbelysning (500 lux) og almen belysning (200 lux). Belysningsniveauet skal være tilstrækkeligt højt og have en god farvegengivelse, dels for at man kan skelne madvarernes farver og friskhed, dels for at skabe sikkerhed ved arbejdet med køkkenmaskiner og knive. Reflekser og blænding skal af samme årsag undgås.

I områder, hvor maden spises og bedømmes, kan belysningen have en helt anden karakter, fx kan der suppleres med pendler for at skabe et mere intimt miljø. Her vil et belysningsniveau på 50 lux være tilstrækkeligt. Armaturerne skal være rengøringsvenlige, hvorfor lukkede armaturer med glatte overflader er at foretrække.

Tabel 10. Skolekøkkener. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R _a -indeks	Bemærkninger
Skolekøkkener	200	20	90	

Fysik, kemi- og biologilokaler

Her er siddepladserne ofte permanente, og armaturerne behøver ikke at blive placeret ud fra fleksibilitetshensyn. En ophøjet demonstrationsplads og niveaufordelte siddepladser kan kræve særbelysning.

Tavle og demonstrationsområde skal være kraftigere belyst end det øvrige lokale, fx ved anvendelse af spots eller nedhængte armaturer. Armaturerne skal være nemme at rengøre, hvorfor armaturer med enkle former og glatte overflader er at foretrække. Afskærmningerne vil typisk være opale akrylplader eller dobbeltparabolske reflektorgitre som sikrer gode synsbetingelser og høj armaturvirkningsgrad.

Tabel 11. Fysik, kemi- og biologilokaler. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R _a -indeks	Bemærkninger
Fysik/kemi/biologi	200 *	20	80	På tavlens plan
Tavle/demonstrationsplads	200-500		80	

Gymnastik, idræts- og svømmehaller

Disse store lokaler har en lang række anvendelsesformål, primært at give mulighed for udøvelse af gymnastik og idræt, sekundært at benytte salene til eksamen og kulturformål som fx udstillinger, koncerter, teater, forsamlinger. Brugstiden for hallerne er stor, og der kræves megen effekt for at få lys nok. Derfor er det vigtigt at planlægge belysningsanlægget for de forskellige aktiviteter og udnytte de mulige regulerings- og styringssystemer, så energiforbruget begrænses.

Gymnastiksale anvendes også til boldspil (fx håndbold og basketball). De forskellige aktiviteter kræver en god blændfri almenbelysning med god farvegengivelse. Ved anvendelse til eksaminer stilles der krav til et godt og tilstrækkeligt arbejdslys på bordene. Hvis der foregår voksenundervisning i gymnastiksalen, bør belysningsniveauet kunne hæves til 500 lux.

Belysningen består ofte af lysrørsarmaturer monteret på loftet eller nedhængt herfra. Da de hænger højt, skal de være forsynet med effektive reflektorer, der kan sikre en høj udnyttelse af lyset og sammen med afskærmningen give en god afblænding fra alle vinkler. En god belysning sikrer, at aktiviteterne kan foregå med større sikkerhed, så uheld minimeres. Elektroniske forkoblingsenheder sikrer mod flimrer samtidig med, at elektronikken

kan benyttes til at etablere lysreguleringer og -styringer, så anlægget afpasses efter aktiviteterne, og lyset slukkes, når salene ikke er i brug.

Sportshalsarmaturerne skal have en kraftig konstruktion med bl.a. boldsikre gitterafskærmninger, der kan beskytte lyskilder og reflektorer. Armaturernes overdel bør være afrundet, så fjerbolde eller lignende ikke lægger sig på toppen af armaturet. For idrætshaller gælder de nye standarder DS 707: "Idrætsbelysning - Halvcylindrisk belysningsstyrke" (Dansk Standard, 2001a) og DS/EN 12193: "Lys og belysning - Sportsbelysning" (Dansk Standard, 2001b), der fastlægger anbefalinger og krav til idrætsbelysning for at sikre gode visuelle betingelser for spillere, idrætsudøvere, dommere og tilskuere. Samme standarder behandler lysforholdene for tv-transmissioner og filmoptagelser.

For at projektet et anlæg rigtigt er det nødvendigt at fastlægge, hvilken belysningsklasse hallens lysanlæg skal overholde. Rammerne for en belysningsklasse er fastlagt i ovennævnte normer. Belysningsniveauet på hallens gulv vil være afhængigt af, hvilke aktiviteter der finder sted. Belysningsniveauet på tilskuerpladserne skal mindst være 10 lux af hensyn til tilskuernes komfort og sikkerhed. Overfladefarver skal vælges, så de tager hensyn til aktiviteterne og de genstande, der skal ses mod den pågældende baggrund. Fladerne må gerne være matte, så blænding pga. refleksion undgås. Lyskildernes farvegengivende egenskaber skal altid være bedre end et R_a -indeks på 65, men en værdi på 80 foretrækkes ofte af hensyn til eventuelle tv-transmissioner.

Vedligeholdelse af belysningsanlæggene i form af udskiftning af lyskilder og rengøring bør planlægges fra starten, så anlægget opfylder målsætningen i hele anlæggets levetid.

Svømmehaller stiller specielle krav til belysningen. Bassinets bund og vandspejl skal kunne ses tydeligt, og spejlinger skal søges undgået. Områderne omkring bassin og vipper samt tilskuerområder skal belyses, så færdsel kan foregå sikkert.

De aggressive luftarter i hallen stiller store krav til materialernes korrosionsbestandighed såvel som til overfladebehandlingen. Rengøring og vedligeholdelse af belysningsanlægget lettes og billiggøres, når armaturerne er placeret uden om selve bassinet.

Krav og anbefalinger til belysningen i svømmehaller findes beskrevet i DS/EN 12193:2001, tabel A.6 (Dansk Standard, 2001b). Inden projekteringen igangsættes, skal anlæggets belysningsklasse vælges ud fra det konkurrenceplan, hallen skal opfylde. Den generelle belysningsstyrke vil ligge på 500 lux (klasse I), 300 lux (klasse II) og 200 lux (klasse III). Ved udspring er det vigtigt at kunne se bunden. Er den normale belysning ikke tilstrækkelig, kan undervandsbelysning afhjælpe dette. Ved synkronsvømning er det vigtigt at kunne se idrætsudøverne i vandet, mens undervandsbelysning ikke bør anvendes ved konkurrencesvømning og vandpolo. Tv-optagelser kræver særlige belysningsforhold, som er beskrevet i ovenstående normer.

Tabel 12. Gymnastiksale. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R_a -indeks	Bemærkninger
Gymnastiksale	200 *	20	80	På gulvplan
Gymnastiksale med skriftligt arbejde	200 *	20	80	På gulvplan

Omklædnings- og baderum, toiletter

Omklædnings- og baderum samt toiletter er oftest enkelt indrettede, dels for at kunne mindske (og modstå) hærværk, dels for at være nemme at rengøre. Ved hjælp af belysningen kan rummene tilføres 'varme' og blive behagelige-

re at opholde sig i. Af sikkerhedsmæssige grunde skal belysningsniveauet være jævnt og forholdsvist højt.

Toiletter kræver armaturer i toiletrummene, ved urinaler og ved vaskekummer. Generelt bør armaturerne være lukkede, have rengøringsvenlige overflader og være konstruerede, så de kan modstå vandalisme. Samme krav gælder for omklædnings- og baderum.

For at begrænse energiforbruget bør lyskilderne være kompaktlysrør eller lysrør. De skal have en varm farve og et R_a -indeks på mindst 80 for at gengive hudfarve så naturligt som muligt. Ved spejle kræves et R_a -indeks på mindst 90. Al belysning bør tændes og slukkes automatisk. Få husker at slukke lyset i rum, hvor det forventes, at lyset brænder konstant.

Belysningsstyrken i omklædnings- og baderum skal være på 200 lux. På toiletter skal belysningsstyrken være på 100 lux. Ved spejle kræves 200 lux samt lavest mulig luminans fra armaturer i retning mod personen. Det er vigtigt, at lys fra spejle oplyser personen jævnt, gerne fra flere sider, med et diffuserende lys.

Tabel 13. Omklædning, baderum og toiletter. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R_a -indeks	Bemærkninger
Omklædnings- og baderum	200 *	20	80	På gulvplan
Toiletter	100 *		80	På gulvplan
Belysning ved spejle	200		90	

Kantiner og møderum

Kantiner og mødesale skal kunne fungere som lokaler for forsamlinger, fester og sammenkomster samt ved eksamener. Belysningen skal være fleksibel og let omstillelig. Eventuelt skal man i en kantine kunne fjerne pendler mv. i forbindelse med teater, forestillinger og lignende. Almenbelysningen bør være dæmpbar, så man frit kan variere belysningsniveauet fra det stemningsskabende til eksamensbelysning.

Benyttes kantine og mødesale til eksamen, skal mindstekravene til en ordentlig arbejdsbelysning kunne opfyldes, svarende til 200 lux, men som udgangspunkt bør belysningsanlægget planlægges til at kunne yde 500 lux, der så kan dæmpes. Dæmpningsmuligheden bør også omfatte den del af anlægget, der belyser maddisken eller et serveringsområde. Disse områder kræver lidt større belysningsstyrke end i den del af lokalet, hvor folk sidder og spiser.

For at bevare kantinen afslappede atmosfære kan man i stedet for lysrørsarmaturer anvende regulerbare loftarmaturer forsynet med kompaktlysrør. Suppleres der med flytbare pendler, spots på skinner, loft- eller vægarmaturer, kan der skabes spændende effekter samtidig med, at fleksibiliteten bibeholdes.

Ved buffeter i kantiner stilles der særlige krav til lyskildernes farvegengivelse, som skal være ekstra god med en R_a -værdi på mindst 90, for at man kan se og bedømme maden. Samme krav gælder for det øvrige rum. Herudover vil en eventuel scene eller demonstrationsplads kræve ekstra belysning med mulighed for særskilt lysstyring. Armaturerne i en kantine bør selvfølgelig være rengøringsvenlige.

Tabel 14. Kantiner og møderum. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R _a -indeks	Bemærkninger
Aulaer og festsale uden skriftligt arbejde	200 *	20	80	Reguleringsmulighed
Festsale med skriftligt arbejde	200 *	20	80	På gulvplan
Konferencerum	200	20	80	
Auditorier:				
- Demonstrationspladser			80	Se DS 700
- Tavler	500		80	På tavlens plan
- Tilhørerpladser	200 *	20	80	
- Med tv-skærme	25 *	17	80	
Notatbelysning ved lysbilledvisning o.l.	25	17	80	
Buffet	200	17	90	

Indgangspartier, trapper og gange

De trafikale zoner i undervisningsinstitutionen bør belysningsmæssigt prioriteres lige så højt som bygningens øvrige rum. En kreativ og korrekt belysningsløsning i indgangspartier, på trapper og i gange er med til at skabe en god atmosfære i bygningen. Belysningen i indgang og på forplads bør indgå i en sammenhængende belysningsløsning.

De fleste skolebygninger består af en serie rumligheder, som opleves i en bestemt sekvens, når man bevæger sig gennem skolen. Lyset i de forskellige områder bør derfor medvirke til at definere og differentiere rum og aktiviteter, jf. afsnittet Dagslys i gangarealer og overgangszoner side 41. Belysningen i indgangspartiet skal kunne fungere hele døgnet. Samtidig kan den anslå tonen for belysningskonceptet i de øvrige bygninger og områder.

Gange bruges i stigende grad til studiebrug, frikvartersaktiviteter eller udstillinger af elevarbejder. Hvis væggene bruges til udstillinger, bør lyset være asymmetrisk, eventuelt kombineret med direkte eller indirekte belysning eller pendler. Her bør lysniveauet være større end 100 lux. Lysanlægget bør tage hensyn til og underbygge arkitekturen. Gange kan også være en del af aulaen med trappeområder og opholdsområder for gruppearbejde eller sceneområder, hvorfor lyset må planlægges i overensstemmelse hermed.

Der stilles særlige krav til belysninger i fælles adgangsveje eller flugtveje (trapper, gange m.m.). Armaturenes kapsling skal være udført i materialer, der er selvslukkende, så eventuel brand begrænses. Armaturerne bør være robuste og servicevenlige.

Loftarmaturer kan benyttes til at opnå en tilstrækkelig almenbelysning, men de mangler evnen til at dæmpe indtrykket af en lang korridor. Desuden har korridorer ofte lav loftshøjde på grund af tekniske installationer. Dette problem kan løses, enten ved at benytte vægmonterede opadlysende armaturer, der bryder fladen og fremhæver væggen struktur eller ved at benytte vægmonterede opad-/nedadlysende armaturer. Denne sidste løsning vil også fremhæve væggen struktur, men den vil også 'dele' væggen horisontalt, hvilket ikke altid er ønskeligt.

En stemnings- og dekorationsbelysning i form af downlights og/eller spotlights kan placeres i 'vejkryds' hvor gange møder eller krydser hinanden, ved informationstavler og ved pausepladser. Det samme gælder, hvor der er op-

stillet sofaer, siddegrupper, planter og udsmykning. Dette for at skabe oaser, som giver variation og udstråler ro og trivsel.

Informations- og opslagstavler skal fremhæves rent belysningsmæssigt og være lette at læse. Dette opnås ved hjælp af vertikal tillægsbelysning eller med et højere belysningsniveau fra almenbelysningen ved tavlerne.

Overgangen fra lyse til mindre lyse zoner skal udjævnes. Gange og korridorer er transportzoner. Ofte har lokalerne, man skal til eller fra, en relativ god belysning (enten fra dagslyset eller fra almenbelysningen), mens korridorer har meget mindre eller slet intet lys. Sådanne overgange er ubehagelige og kræver relativ lang tilvænningsstid for øjnene. Korridorer skal derfor have et belysningsniveau, der dæmper overgangene mellem forskelligt oplyste zoner.

Trapper stiller som udgangspunkt de samme krav til belysning som korridorer, dog med den vigtige forskel at de har trin. Trappetrin skal oplyses med en modellerende belysning, der kan give dem form og derved mindske risikoen for ulykker. Den optimale løsning kombinerer loftarmaturer (gerne pendler) med vægmonterede armaturer, hvor vægarmaturene skal være opsat og indrettet på at give mest lys på den vandrette trinflade.

Tabel 15. Indgangspartier, trapper og gange. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R _a -indeks	Bemærkninger
Gange og trapper	50 *		80	På gulvplan
Fælles adgangsveje	50 *		80	På gulvplan
Indgangspartier til fælles adgangsveje uden dagslystilgang:	100 *		80	På gulvplan
- Dagtimer				
- Nattetimer	50 *		80	På gulvplan
Udvendige altangange	15 *		80	På gulvplan

Kontorer og lærerværelser

Afhængigt af undervisningsinstitutionens størrelse, er det almindeligt med kontorer for en til tre personer. Mindre kontorer er ofte knyttet til lederens kontor som forkontor, ofte med en skranke. Arbejdspladserne er som regel trukket hen mod vinduesarealet. Dagslys er, suppleret med en arbejdslampe, derfor den mest benyttede belysning i løbet af dagen. Til almenbelysning benyttes ofte armaturer i eller på loftet eller som nedhængte pendler.

Kontorerne er i mange tilfælde forsynet med edb-terminaler, der stiller særlige krav til belysningen. En fastmonteret loftbelysning kræver effektive afskærmninger, der kan tilgodese brugen af terminaler, så reflekser og blænding undgås. Nedhængte lysrørsarmaturer skal placeres omhyggeligt, gerne parallelt med vinduerne på samme måde som beskrevet for edb-lokaler.

Reoler og vægtavler belyses normalt af almenbelysningen, men kan også belyses med særskilte spots eller downlights. Pendler, spotlights, væglamper eller downlights er velegnede ved skranke, tavler eller andre genstande, hvor man ønsker særlig opmærksomhed.

Lærerværelser og møderum skal være repræsentative og indrettede for både arbejde og afslapning. Belysningen må derfor gerne differentiere sig fra skolens øvrige arbejdslokaler ved at benytte andre armaturer, fx pendler

over mødeborde og ved siddegrupper, spots på væg- eller strømskinne eller asymmetriske loftlamper til belysning af opslagstavler, billeder etc. Belysningsniveauet skal være tilstrækkeligt til at tilgodese arbejdsopgaverne.

Tabel 16. Kontorer og læreværelser. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse R _a -indeks	Bemærkninger
Vedvarende læsning, skrivning og arbejde ved maskiner med tastatur	500	20	80	
Lejlighedsvis læsning og skrivning ved øvrige kontor-maskiner	200	20	80	
Kartoteker	200	20	80	På læsefladen
Arkiver uden vedvarende arbejde	200	23	80	Måleplan 0,85 m
Konferencerum, læreværelser	200	20	80	

Biblioteker

Almenbelysningen må planlægges med udgangspunkt i rummets indretning. Det indebærer at armaturplaceringen og belysningsniveauet tilpasses bibliotekets forskellige områder, med særlig fokus på skranker og læsepladser. Almenbelysningen i udlånslokalet løses med downlights, lysrørsarmaturer eller pendler. Der skal være en belysningsstyrke på 200 lux på gulvplan, samme niveau som kræves ved skranker, læsepladser og i magasiner.

Reoler belyses bedst med armaturer anbragt på selve reolerne eller op-hængt imellem reolfagene på loft eller nedhængt herfra. Kravet til belysningsstyrke er 200 lux på bogryggen, målt vertikalt på nederste hylde. Flexibiliteten er størst ved placering på reolen, hvilket også tilgodeser eventuelle ændringer i reolopstillingen. Skiltningen på reolerne kan evt. suppleres med spots, fx på en gavflade, hvis ikke reolarmaturernes lys er tilstrækkeligt.

Læsepladser udformet som siddegrupper bør indrettes med en vis form for stemningsbelysning, fx ved brug af gulvlamper med vipbar skærm, men uden at belysningen bliver dårlig af den grund. Det bør tilstræbes at fremme en rolig, afslappet atmosfære, som ofte er meningen med netop denne type indretning. Læselamper ved studiebokse skal være afskærmede og skærmkonstruktionen være udformet, så den leder lyset derhen, hvor der er brug for det. Samtidig skal armaturernes konstruktion og placering sikre, at blænding og reflekser fra bord og papirer undgås.

Planter og kunst belyses med downlights og/eller spotlights. Informationsstavler bør belyses med en god vertikal belysning. Spotlights eller asymmetrisk lysende lysrørsarmaturer kan bruges hertil. Der anbefales et noget højere belysningsniveau end almenbelysningen.

Belysning, fx pendler eller spots, er den mest effektive måde at markere en skranke, som samtidig skal være udstyret med en hensigtsmæssig arbejdspladsbelysning.

Tabel 17. Biblioteker. Krav til belysning ifølge DS 700.

Arbejdssted/art	Belysningsstyrke på synsobjekt eller Belysningsstyrke som almenbelysning	Blændingsgrænse	Farvegengivelse Ra-indeks	Bemærkninger
Udlånslokale	200 *	20	80	På gulvplan
Magasiner	200	20	80	
Reoler	200	20	80	På bogrygge
Skranker og læsepladser	200	20	80	

Udendørsbelysning

Når nye skoler planlægges, bør overordnede hensyn også tages, når det gælder den udvendige belysning. Skolen omfatter også nærområdet med skoleveje, der er meget vigtige for at tilbyde børnene en tryk og sikker vej til skole. Tryghed betyder godt belyste veje, parkeringsområder og skoleområdet generelt. Planlægningen skal tage hensyn til god belysning, når det gælder arkitektur og landskab, trivsel og velvære.

Den udvendige belysning påvirker vores adfærd. Hvis den er stærkt blændende, fx pga. anvendelse af uafskærmede eller højsiddende armaturer, har dårlig farvegengivelse, skaber utryghed eller gør det udvendige rum dimensionsløst, kan det være medvirkende til at provokere vandalisme og hærværk på bygninger, gadeinventar og beplantninger.

Adgangsveje og parkeringspladser skal have et belysningsniveau, som tager hensyn til den kørende trafik. Områderne bør være jævnt og godt belyst og skal følge gældende regler og normer på området (Dansk Standard, 1998).

Gang- og cykelstier er at foretrække som de primære adgangsveje til skolen. En gang- og cykelsti langs en kørevej, skal af hensyn til trafiksikkerheden for både de kørende og for gående/cyklende normalt ikke belyses, hvis ikke kørevejen er belyst. Hvis kørevejen er belyst, skal gang- og cykelstien have tilstrækkelig belysning til at virke tiltrækkende, så de 'bløde' trafikkanter ikke bliver fristet til at færdes på kørevejen i stedet. Belysningsniveauet bør være mindst 50 % af belysningsniveauet på kørevejen.

Er gang- og cykelstien i større afstand end 7 meter fra en kørevej bør den belyses separat med vejbelysningsarmaturer med lav lyspunkthøjde (ca. 5 meter) og flad afskærmning.

Gårdspladsen og skoleområdet skal løse mange opgaver, fx som møde- og legeplads, til boldspil, til sommerteater etc. Det er vigtigt, at belysningen her skiller sig ud fra den på adgangsvejene, med vægt på armaturvalg, lysfarve, mastehøjde og vandalsikkerhed. Belysningen skal virke imødekomende og beskrive det udvendige skolerum.

Udvendig belysning på skolens bygninger kan fx have til formål at markere indgangspartier. Armaturerne bør enten monteres på væggen eller som downlights under baldakiner eller tagudhæng. Facadebelysning i form af projektører kan give spændende effekter, samtidig med at mulighederne for hærværk mindskes. Belysning af adgangsveje, bygninger og indvendig natbelysning af korridorer og undervisningslokaler m.m. kan blive aktuelt i forbindelse med videoovervågning af arealerne.

Praktiske eksempler på belysningsløsninger

Et af målene med dette projekt er at kunne anvise metoder til at reducere energiforbruget til belysning i skoler, herunder at optimere udnyttelsen af dagslys, samtidig med at der lægges vægt på at skabe et sundt og stimulerende indeklima. I den forbindelse har By og Byg foretaget målinger og kvalitative analyser af lysforholdene på ni skoler i henholdsvis København, Ballerup og Farum kommuner. Målinger og analyser har haft til formål at afdekke, hvilke faktorer der påvirker både energiforbrug og belysningskvalitet. Resultaterne af målingerne af skolernes energiforbrug samt en nærmere beskrivelse af de ni skolars klasselokaler er tidligere publiceret i "Energieffektive skoler" (Gunnarsen et al., 2001).

Nedenfor følger en kort beskrivelse af den metode der er anvendt i den kvalitative vurdering af skolernes lysforhold. (Det anvendte registrerings-skema og et udfyldt eksempel findes i bilag 2, side 118). Kombineret med simple målinger af lysforholdene kan metoden anvendes til at vurdere besparelspotentialet ved energitiltag og designforbedringer af både rum og belysningssystemer. I nærværende undersøgelse er den visuelle analyse af lysforholdene blevet suppleret med målinger af dagslysfaktorer, materialereflektanser samt luminansfordeling i rummene.

Kapitlet afsluttes med en mere uddybende beskrivelse af de analyser og efterfølgende renoveringstiltag, der er blevet udført på Tingbjerg skole i København samt på Hedegårdsskolen i Ballerup.

Metode til kvalitativ analyse af skolens lysforhold

Som tidligere nævnt kan man ikke sikre et godt lysmiljø ved alene at definere belysningsstyrken på arbejdsplanet. Da god belysning handler om at skabe gode visuelle forhold, er det vigtigt, at man i forbindelse med fx renovering af eksisterende facader og belysningssystemer foretager en visuel analyse af de aktuelle forhold. En sådan visuel analyse vil kunne afsløre, om der er elementer, som enten understøtter eller modvirker et godt visuelt miljø og derfor enten bør bevares eller justeres. Dette kunne være forhold som direkte kan relateres til lyskvaliteten såsom punkterede ruder eller forældede afskærmninger og armaturer, men også mere indirekte elementer såsom materiale- og farvevalg, og/eller smuds på vinduer, rammer og rummets overflader.

Anvendelse af skema til visuel vurdering af skolers lysforhold

Ved en visuel vurdering af lysforholdene er det vigtigt at notere indtryk i mindst to tempi: dels førstehåndsindtrykket - dvs. det umiddelbare oplevelse af rummet man har, lige efter at man er ankommet, dels langtidsindtrykket som opstår efter, at man har tilpasset sig omgivelserne, hvor øjet har haft tid til at adaptere til belysningsniveauet, samt man har dannet sig et overblik og vurderet rummets funktionelle muligheder. Det er desuden væsentligt, at man foretager den visuelle analyse både med og uden det elektriske lys tændt, samt at man bevæger sig rundt i rummet. Analysens væsentligste temaer er:

- Oplevelse af rummets lysniveau og lysfordeling.
- Formtegning af objekter og personer.
- Farvegengivelse.

- Tekstur- og glansgengivelse.
- Kontrastforhold.
- Blænding.

Hvert af disse temaer kan vægtes eller prioriteres i forhold til de funktionelle krav. Foruden at vurdere ovenstående forhold er det vigtigt at registrere alle de fysiske forhold, der har indflydelse på dagslyset. Dette hjælper ikke alene med til at afsløre defekte eller dårligt fungerende elementer, det åbner samtidig mulighed for sammenligning med andre studier, og derigennem vil det være muligt at udlede erfaringer og evt. konklusioner om de enkelte elementers indbyrdes forhold. De *fysiske forhold*, som bør registreres, er:

Omgivelser: geografisk placering (breddegrad for solindfaldsberegninger) Årstid, tid på dagen, vejr, udsigt, belægninger, beplantninger og materialer i de umiddelbare omgivelser etc.

Rummet: orientering, størrelse og form, overflader, farver og materialer, møblering, himmelgrænseplan, jf. side 27.

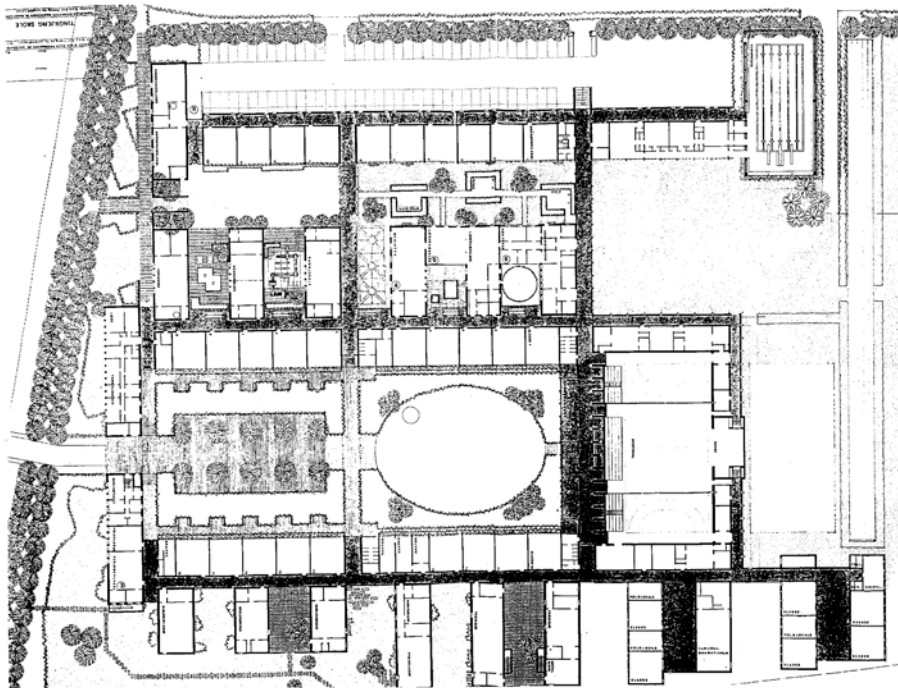
Vinduerne: placering og fordeling (hovedlysretning), antal, størrelse, rammens udformning og materiale(r), glastype og evt. afskærmning.

Elektrisk belysning: armaturtype(r), antal, placering, lyskilde, regulering eller styresystem.

Som supplement til den visuelle vurdering af lysforholdene kan analysen med fordel uddybes med simple målinger af dagslysfaktor, materialereflektanser og rummets luminansfordeling. I særlige tilfælde kan målingerne samt den visuelle analyse suppleres med en undersøgelse af, hvordan brugerne selv opfatter deres omgivelser. Lyset er i overvejende grad et medium som gennem sin stemningsskabende egenskab kan understøtte undervisningssituationen. Marietta Millet skriver i bogen *Light Revealing Architecture*: "Ideelt set bør belysningen ikke alene gøre det muligt at udføre visuelt arbejde, den bør muliggøre dette på en sådan måde, at det samtidigt beriger vores oplevelser" (Millet, 1996).

Tingbjerg Skole: Renovering af belysningen i to klasselokaler

Tingbjerg skole i Brønshøj ved København blev indviet i 1966. Skolen er tegnet af arkitekt Steen Eiler Rasmussen. Den er, som mange skoler fra samme periode, disponeret som en et-plans skole med faglokaler liggende som kamstruktur vinkelret på klassefløjene, jf. oversigtsplanen i figur 57. Skolens klasselokaler giver gode muligheder for at demonstrere en energieffektiv renovering af eksisterende belysningsanlæg foruden en generel renovering af selve lokalerne. Klasselokalerne har i deres rumudformning en række fællestræk med flere af de nyere skolebyggerier, der gennemføres i disse år; bl.a. højloftede rum med en vis zonedifferentiering og store vinduesarealer. Tingbjerg skole har ligeledes det til fælles med mange eksisterende skoler, at den har mange ens klasselokaler, der står foran en tiltrængt renovering. I samarbejde med Københavns Kommune og RIA, Rådgivende Ingeniører og Arkitekter, blev to lokaler udvalgt til renovering. I det følgende refererer "eksisterende forhold" til forholdene som de er i de ikke-renoverede lokaler, og som de tidligere var i de to renoverede lokaler.



Figur 57. Tingbjerg Skole, oversigtsplan (gangarealer fremstår mørke).

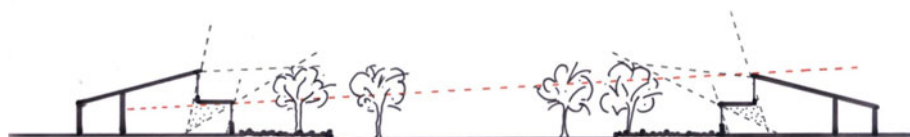
Beskrivelse af eksisterende lysforhold

Skolens klasselokaler er, deres alder taget i betragtning, forholdsvis store (66 m²) og velbelyste. Adgangen til klasserne foregår fra en lidt dunkel, kontrastfyldt gang, der er domineret af mørke materialer, og specielt loftets mørke lamelbeklædning kan virke dyster. Gangene har dog lysindtag udfor hvert klasselokale, hvilket medvirker til et rytmisk forløb med skift mellem lyse og mørkere zoner, se også beskrivelsen side 38. Klasselokalerne får dagslys fra to vinduespartier i rummets ene side. Lokalerne er opdelt dels i et mindre, lavere område, dels i et højere og større hovedareal.

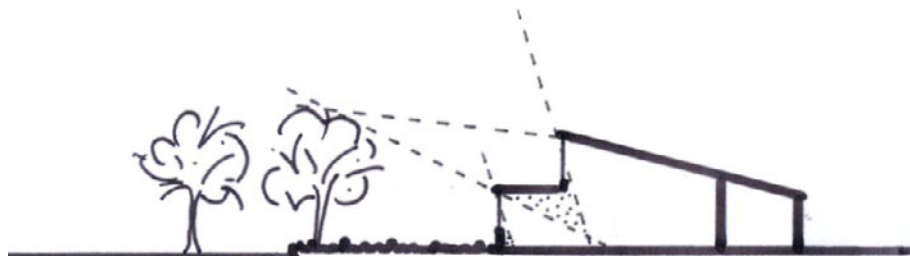


Figur 58. Lokale før renoveringen. Lokalet får dagslys fra to gennemgående vinduesbånd, et med udsigt til skolegården, og den høje del af lokalet desuden modtager dagslys fra et stort højtstående vinduesparti placeret over nichen. Træbeklædningen i den lavere del stjæler en del af reflekslyset, og det samme gør sig gældende for loftet i det store rum, hvor man med fordel kunne udnytte den skrånende flade til at reflektere lyset tilbage på vinduespartiet for at dæmpe kontrasten. De mørke vinduesrammer skaber også, især i de højtstående vinduer, unødige kontrastproblemer.

Den lavere del (nichen) får dagslys fra et gennemgående vinduesbånd med udsigt til skolegården, mens det største areal hovedsageligt får dagslys fra et tilbagetrukket, højtsiddende vinduesparti placeret over nichen, se figur 58. Som udgangspunkt giver disse lysindtag en god og nuanceret lysfordeling i hele lokalet, og mørke hjørner er stort set undgået. Denne rumlige disposition giver også gode muligheder for opdeling af klassen i forskellige arbejdsarealer. I forbindelse med materialevalg og vedligeholdelse kunne man dog ønske sig en forbedring. Træbeklædningen i den lavere del af rummet stjæler meget af reflekslyset. Dette er uheldigt, idet der, specielt i denne del af lokalet, er områder, der ligger over himmelgrænseplanet, og som derved udelukkende modtager lys reflekteret fra omgivelserne, se figur 59. Også loftet i det store rum kunne med fordel gøres lysere, således at den skrånende flade blev udnyttet til at reflektere lyset tilbage på vinduespartiet, for derved at dæmpe kontrasten mellem vinduesrammen og kigget til himlen. De mørke vinduesrammer skaber generelt, men især i de højtsiddende vinduer, unødige kontrastproblemer. Vinduespartierne er derudover udstyret med mørke eller mønstrede gardiner som eneste afskærmning. Disse gardiner er især uhensigtsmæssige i de højtsiddende vinduer, hvor de dels er svære at nå og vedligeholde, dels er ufleksible i brug, da de ikke giver samme mulighed for, som fx persienner, at variere lysindfaldet.



Figur 59. Eksempel på himmelgrænseplanets placering i Tingbjergs klasselokaler. Den røde markering illustrerer at bygningernes indbyrdes afstand og højde stort set ikke påvirker himmelgrænseplanet, som uden obstruction (på en bar mark) ville ligge i en vandret linie fra vinduets overkant.



Figur 60. Det er træerne, der, sammen med vinduernes egen afgrænsning, har afgørende betydning for himmelgrænseplanets placering i Tingbjergs klasselokaler. Som det kan ses, har dette især betydning for lysforholdene i den lavere del af rummet. Det fremgår tydeligt, hvor vigtigt det er at anvende lyse materialer på specielt loft og vægge i denne del af lokalet. Dette vigtiggøres yderligere af at disse rumflader er placeret i samme synsretning som vinduerne.

Renoveringstiltag

På baggrund af ovenstående visuelle vurdering, samt simple målinger af daglysfaktor og overfladeflektanser i Tingbjerg skole blev der truffet beslutning om en enkel renovering af to normalklasselokaler. Foruden den egentlige renovering af lokalerne lægges der stor vægt på udformningen af et belysningskoncept, der i størst mulig udstrækning tilgodeser følgende mål:

- høj dagslysudnyttelse
- høj grad af fleksibilitet
- effektive belysningsarmaturer uden blændingsproblemer
- effektiv lysstyring
- tilpasning til skolens varierende funktions- og undervisningskrav.

Listen over renoveringstiltag ser ud som følger:

- Maling af indvendige vinduesrammer
- Renovering/maling af lofter og loftsbjælker
- Maling af vægge og træpaneler
- Ny lysere gulvbelægning (linoleum)
- Nye belysningsarmaturer i højloftet del
- Nye belysningsarmaturer i lavloftet del
- Nye belysningsarmaturer til tavlebelysning
- Ny dagslysafhængig zoneinddelt lysregulering
- Ny udvendig eller indvendig solafskærmning i form af vandrette drejelige lameller eller indvendige persienner ved højsiddende vinduer
- Nye gardiner eller persienner ved lavtsiddende vinduer.

Rådgivende Ingeniører og Arkitekter (RIA), Københavns Kommune og Tingbjerg skole bidrog til renoveringens realisering, hvorefter renoveringen af de to prøvelokaler påbegyndtes i efteråret 2001.

Indvendige overflader

De højsiddende og de lavtsiddende vinduespartier blev indvendigt malet hvide, så de nu hver for sig fremstår som et hele. Af hensyn til luminansforholdene omkring vinduerne er det vigtigt, at den synsmæssige overgang fra lokalets indre flader mod vinduerne og ud til himmellyset bliver så 'blid' som muligt, hvorved blændingsgener undgås.

Indvendige vægge, lofter og træpaneler blev malet hvide. Loftbjælkerne blev ikke malet, men blev hvid-pigmenteret, så strukturen i træværket stadig træder frem. Dør og skabe blev rengjort, men fremstår stadig i deres oprindelige lakerede form.

Udover at optimere udnyttelsen af reflekslyset, samt skabe en bedre lysfordeling, har de ændrede overflade-luminanser betydet, at det visuelle miljø i klasselokalet er blevet væsentligt forbedret. Hvidmalingen af vinduesrammerne har medført at kontrastoplevelsen er blevet reduceret, og persiennene giver yderligere mulighed for at reducere evt. blænding fra himlen. Nedenstående tabel 18 og tabel 19 illustrerer klasselokalernes materiale refleksanser før og efter renoveringen. Til sammenligning er refleksansen på væg i niche forhøjet med 10%, loft i niche med 32%, væg med 23% og loft med 13%.

Tabel 18. Materialerefleksanser i eksisterende lokale.

Rumflade	Materiale / overfladebehandling	Refleksans
Væg	Malet, lys terracotta	65%
Væg i niche	Trælameller	46%
Loft	Malet, lys terracotta	65%
Loft i niche	Trælameller	46%
Gulv	Brun linoleum	15%

Tabel 19. Materialerefleksanser i renoveret lokale.

Rumflade	Materiale / overfladebehandling	Refleksans
Væg	Hvidmalet	88%
Væg i niche	Hvidpigmenterede trælameller	56%
Loft	Hvide akustikplader	78%
Loft i niche	Hvidt	78%
Gulv	Blågrøn linoleum	17%

Gulvet i det illustrerede lokale har en refleksans, der kun er lidt højere end før, men skiftet fra brunt til blågrøn linoleum har livet lokalet op. For yder-

ligere at optimere udnyttelsen af reflekslyset kunne man have valgt en gulvbelægning med en højere reflektans. Fordelen af dette bør dog afvejes i forhold til gulvets vedligeholdelseomkostninger.



Figur 61. Klasselokale før renovering. Lokalet har hvide vægge, hvide loftsplader i den høje del og ubehandlede, grå gipsplader i den lave del. De lyse flader står i kontrast til det mørke gulv, de mørke træbjælker og træpaneler samt de mørke vinduesrammer og brystningsparti, se også figur 58.



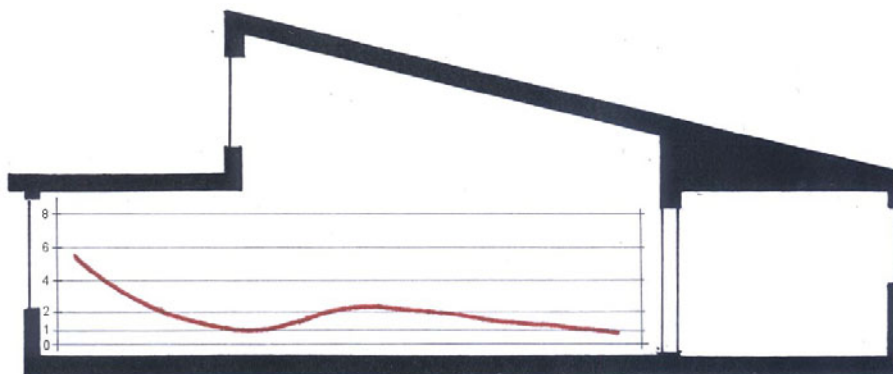
Figur 62. Lokale efter renoveringen. Indvendige vægge, loffelter og træpaneler er malet hvide, og loftbjælker har fået en hvid-pigmenteret overfladebehandling. Gulvet har fået en ny linoleumsbelægning, der virker mere livligere, selvom den kun er lidt lysere (højere en lidt højere lysreflektans).

Renoveringens betydning for dagslysforholdene

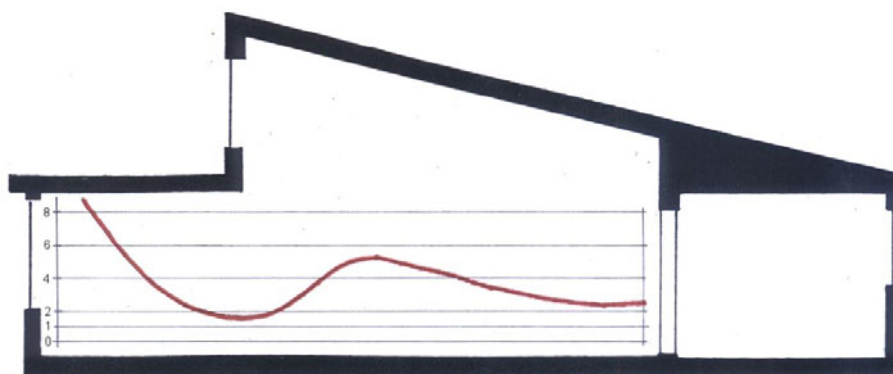
Ved en sammenligning af dagslysfaktorkurverne i figur 63 og figur 64, ses det tydeligt, at de ændrede materialereflektanser har haft en mærkbar indflydelse på udnyttelsen af dagslyset. Skiftet fra gardiner til persienner betyder endvidere, at lysindfaldet i den høje del af rummet lettere kan kontrolleres, og lyset fordeles lidt bedre i rummet.

Det kunne opfattes som et problem, at dagslysfaktoren bagest i rummet falder til under 1, når persiennen er nede i en 45 graders stilling. Da dagslysfaktoren angiver mængden af lys relativt til den totale mængde af dagslys, som er til stede på et givent tidspunkt, må en dagslysfaktor 0,5 - 1 dog anses for tilstrækkeligt, idet persiennen typisk vil blive anvendt, når vejret er meget lyst, eller ved direkte sol.

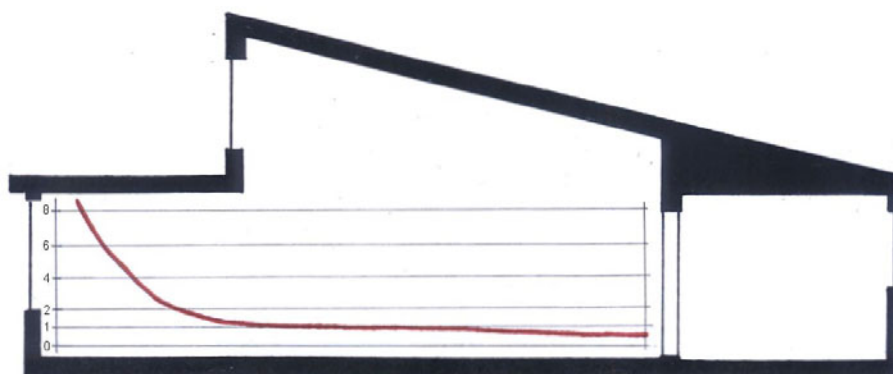
Som det kan aflæses i figur 64, er dagslysfaktoren bagest i lokalet over 2, når persiennen er oppe, hvilket betyder at dagslyset vil kunne dække lysbehovet i størstedelen af skoletiden hele året.



Figur 63. Dagslysfaktor (DF) i klasselokale før renovering med gardiner trukket fra. DF max. 5,36 min. 0,97. Dagslyset reduceres en del, fordi gardinerne ikke kan trækkes helt bort fra vinduerne.



Figur 64. Dagslysfaktor i renoveret klasselokale med persiennen oppe. DF max. 8,9 min. 2,3. Dagslysniveauet er noget højere, især på grund af rummets lysere overflader.



Figur 65. Dagslysfaktor i renoveret lokale med persiennen nede i 45 graders stilling. DF max. 8,9 min. 0,53. Det målte dagslysniveau svarer til en minimumstilstand, da persiennen i praksis sjældent vil blive lukket mere end 45 grader for at undgå blænding.

Almenbelysning før og efter renovering

De eksisterende belysningsanlæg består af 4 henholdsvis 8 armaturer for almenbelysning i den lavloftede og den højloftede del af lokalet samt en lys-

rende til tavle- og kortbelysning. Armaturerne, der lyser direkte nedad, er hvidlakerede indvendigt og er forsynet med et kvadratisk udformet blankt afskærmningsgitter. Belysningsanlægget er ikke forsynet med nogen form for automatik. Det eksisterende anlægs udformning fremgår af figur 66.



Figur 66. Den gamle almenbelysning bestod af i alt 12 armaturer med ældre, ikke dæmpbare, energikrævende lysstofrør.

Det nye belysningsanlæg består af 3, henholdsvis 6 armaturer for almenbelysning i den lavloftede og den højloftede del af lokalet samt 3 armaturer til tavle- og kortlys, se figur 67. Armaturerne er Philips X-Tend type TCS 398/128 D6 i den lavloftede del, type TCS 498/135 D/I D6 i den højloftede del og type TCS 498/135 AD6 til tavle- og kortbelysning. Armaturerne i den lavloftede del er direkte nedadlysende, hvorimod armaturerne i den højloftede del er opad-/nedadlysende. Tavlearmaturerne er asymmetrisk nedadlysende.



Figur 67. Den nye almenbelysningsanlæg består af ialt 9 armaturer med nye energieffektive, dæmpbare lysstofrør.

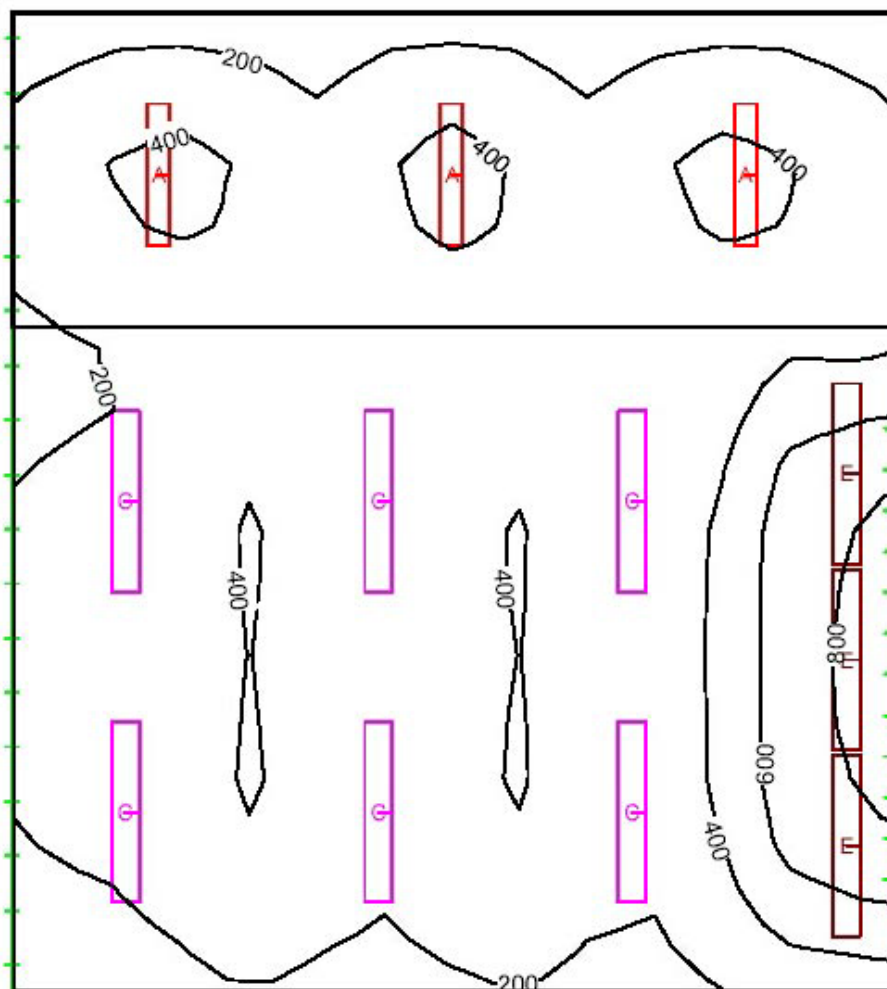
Alle armaturer er med dobbelt parabolisk silkeamat aluminium OLC-optik (lavluminans optik). Armaturerne er alle forsynet med højfrekvent (HF) elektronisk forkobling, dels for at undgå flimrende lys (fx i forbindelse med pc-arbejde), dels for at armaturenes lysstyrke skal kunne reguleres. Belysningen styres og reguleres automatisk ved hjælp af et DALI system (Philips) via to bevægelsesmeldere og en dagslysføler.

Armaturerne er forsynet med TL5 lysstofrør (farve 830) med en lysstrøm på henholdsvis 2600 og 3300 lumen for 28 Watt og 35 Watt rørene og med et farvegengivelsesindeks, R_a -indeks på 85, hvilket er bedre end krævet.

Belysningsniveau efter renovering

I Dansk Standard, DS 700: "Kunstig belysning i arbejdslokaler" kræves der, for normalklasser og faglokaler uden særlige krav, en belysningsstyrke på synsobjektet (bøger, papirer, edb-skærme etc.) på minimum 200 lux og en farvegengivelse (R_a -indeks) på minimum 80.

Figur 68 viser i et isoluxdiagram belysningsstyrken på arbejdsplanet 0,85 m over gulvet (i bordhøjde). Beregninger foretaget af leverandøren viser, at middelbelysningsstyrken vil blive 326 lux, altså væsentligt højere end krævet.



Figur 68. Isoluxdiagram, der viser de beregnede belysningsstyrker på arbejdsplanet 0,85 m over gulvet med det nye belysningsanlæg. Tavlevæggen vender mod højre.

Tavlebelysning

I rummet omkring tavlen har undervisningen som regel en form, hvor den visuelle formidling og demonstration er afgørende for indlæringen. Det er derfor vigtigt, at tavlen skiller sig ud rent belysningsmæssigt fra resten af un-

dervisningslokalet, ved at belysningsstyrken på tavlen er højere end belysningsstyrken fra almenbelysningen.



Figur 69. Den gamle tavlebelysning bestod af en lyskasse med 3 uindfattede lysstofrør.

Figur 69 og figur 70 viser den gamle tavlebelysning, der bestod af en lyskasse med 3 uindfattede lysstofrør. Bemærk den store luminansforskel mellem tavlen og væggen ovenover. En så kraftig luminansforskel bør undgås.

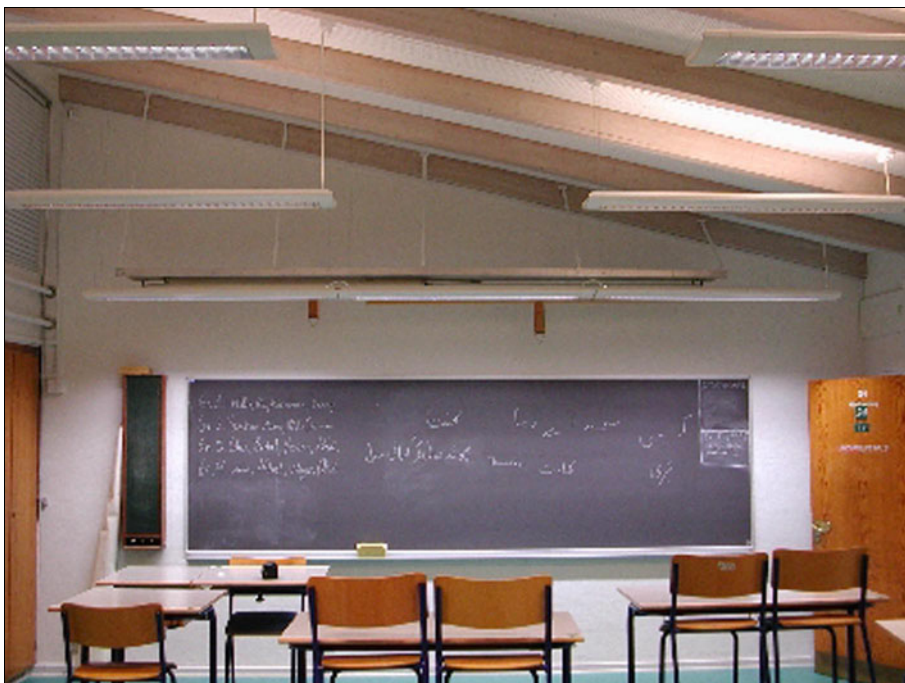
I prøvelokalet er der monteret en mørk (grå-grøn) tavle, der ifølge DS 700 kræver en belysningsstyrke på 500 lux målt vertikalt på tavlens plan. For lyse tavler er kravet kun 200 lux. Farvegengivelsen (R_a -indeks) skal være på minimum 80.



Figur 70. Lyskasse for den gamle tavlebelysning.

De 3 nye tavlearmaturer, se figur 71 og figur 72, der er koblet sammen til et lysbånd, er forsynet med en asymmetrisk optik, så det sikres, at lyset forde-

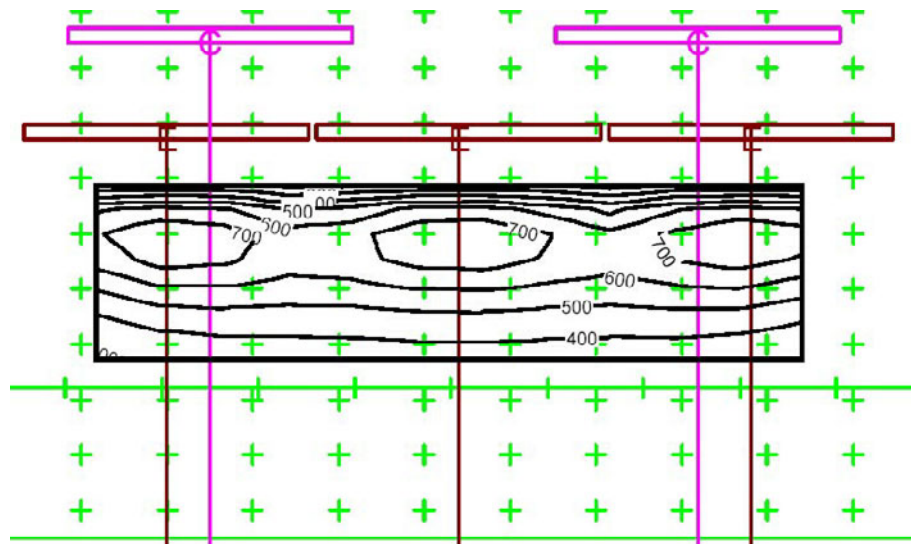
les jævnt på tavlen. Figur 73 viser i et isoluxdiagram belysningsstyrken på tavlen. Beregninger foretaget af leverandøren viser, at middelbelysningsstyrken vil blive 497 lux. De benyttede TL5 lysstofrør (farve 830) har et farvegengivelsesindeks, R_a -indeks, på 85, hvilket er bedre end krævet.



Figur 71. Den nye tavlebelysning består af 3 asymmetrisk lysende armaturer, der er sat sammen til et effektivt lysbånd.



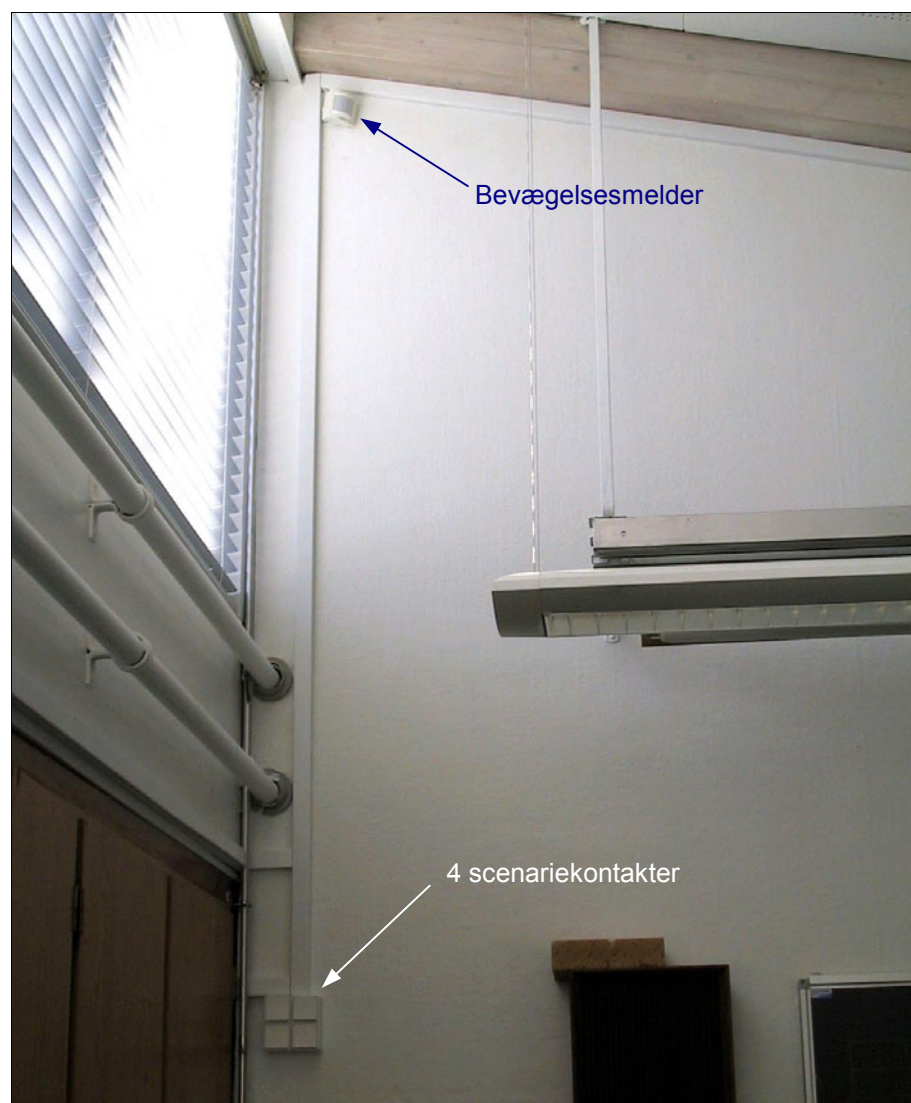
Figur 72. Udsnit af den nye tavlebelysning.



Figur 73. Isoluxdiagrammet viser for det nye anlæg den beregnede belysningsstyrke på tavlen.

Styring og regulering af kunstlys

Når der er behov for det, kan det elektriske lys enten tændes som normalt ved aktivering af kontakten ved siden af døren eller ved aktivering af en af kontakterne på betjeningspanelet til venstre for tavlen, se figur 74.



Figur 74. På billedet ses betjeningspanelet med de fire 'scenariekontakter' samt den ene bevægelsesmelder.

I grundkonfigurationen (når man bare tænder lyset) bliver almenbelysningen reguleret i forhold til dagslysmængden via dagslysføleren. Jo mere dagslys, der falder ind i lokalet, jo mere bliver kunstlyset dæmpet, for til sidst at slukke. Armaturerne yderst mod de lavtsiddende vinduer dæmpes længst ned, og de øvrige armaturer dæmpes til et lidt højere niveau, da de er længere væk fra dagslyset.

For at undgå unødigt elforbrug, hvis lokalet forlades med lyset tændt, sørger automatikken for via bevægelsesmelderne, at lyset slukkes efter ca. 10 minutter. Når der igen bliver brug for lyset, skal det tændes på normal vis.

DALI-systemets scenarier

Det valgte DALI-system kan programmeres til at arbejde med fire såkaldte scenarier. Filosofien bag systemet er bl.a., at hvert tilsluttet belysningsarmatur har sin egen 'elektroniske adresse'. DALI-systemets kontrolenhed har derfor mulighed for at 'henvende' sig til hvert enkelt armatur med besked om fx at tænde 100 % for lyset, dæmpe det 40 % osv. Systemet kan endvidere i samme operation give besked til et udvalgt antal armaturer, der således kommer til at fungere som en gruppe. Når en (armatur) gruppe aktiveres, foregår det således i et scenarium.

Som et forsøg med opsætning af scenarier, blev anlægget fra starten programmeret til at arbejde med følgende fire scenarier:

- 1 Almenbelysningen reguleres i takt med dagslysbidraget. Tavlelyset er sat til 100 %
- 1 Almenbelysningen er sat til 100 %. Tavlelyset er slukket
- 2 Almenbelysningen er dæmpet til ca. 40 %. Tavlelyset er sat til 100 %
- 3 Alle armaturer lyser 100 % uden regulering.

Den valgte lysstyring og de fire scenarier er, som nævnt, opsat som et forsøg, og i praksis ville man formentlig kun vælge en DALI-styring for et noget større lokalet med flere anvendelsesmønstre. En anden oplagt løsning ville være at skabe mulighed for at styre almen belysningen i henholdsvis den lave og den høje del af lokalet individuelt. Mulighederne for mange andre kombinationer er til stede, hvorfor det fremover må være op til lærere og elever at tilrettelægge belysningsscenarierne, så de tilpasses undervisningsformen.

Nye scenarier indlægges via DALI-systemets kontrolenhed, enten ved tilslutning til en bærbar pc, et netværk eller rent manuelt. Det er derfor ikke nødvendigt at være nørd eller programmør for at få anlægget til at fungere med nye eller ændrede scenarier.

Solafskærmning

I forbindelse med renovering af lokalet blev der, som tidligere omtalt, også peget på nødvendigheden af at installere en effektiv solafskærmning ved de højsiddende vinduer for at kunne minimere blændingsgener fra himmel- og sollyset. Problemet fremgår af figur 66 der viser, at himlen, selv i overskyet vejr, kan have så høj en luminans, at man blændes. Når eleverne har blikket rettet mod tavlen, kan der opstå synsforstyrrende, eller distraherende blænding fra det kraftige himmellys. Problemet er især påtrængende for personer, der bærer briller.

Den eksisterende solafskærmning bestod af gardiner, der kunne trækkes for vinduerne efter behov, se figur 75. De valgte gardiner udelukkede desværre dagslyset i en sådan grad, at der ofte unødigt blev behov for at supplere med kunstlys.



Figur 75. Eksisterende forhold. Nogle lokaler havde ingen afskærmning, mens solafskærmningen bestod af mørke gardiner, der var så uflexible, at de permanent var trukket for og udelukkede dagslyset, så kunstlyset måtte tændes.

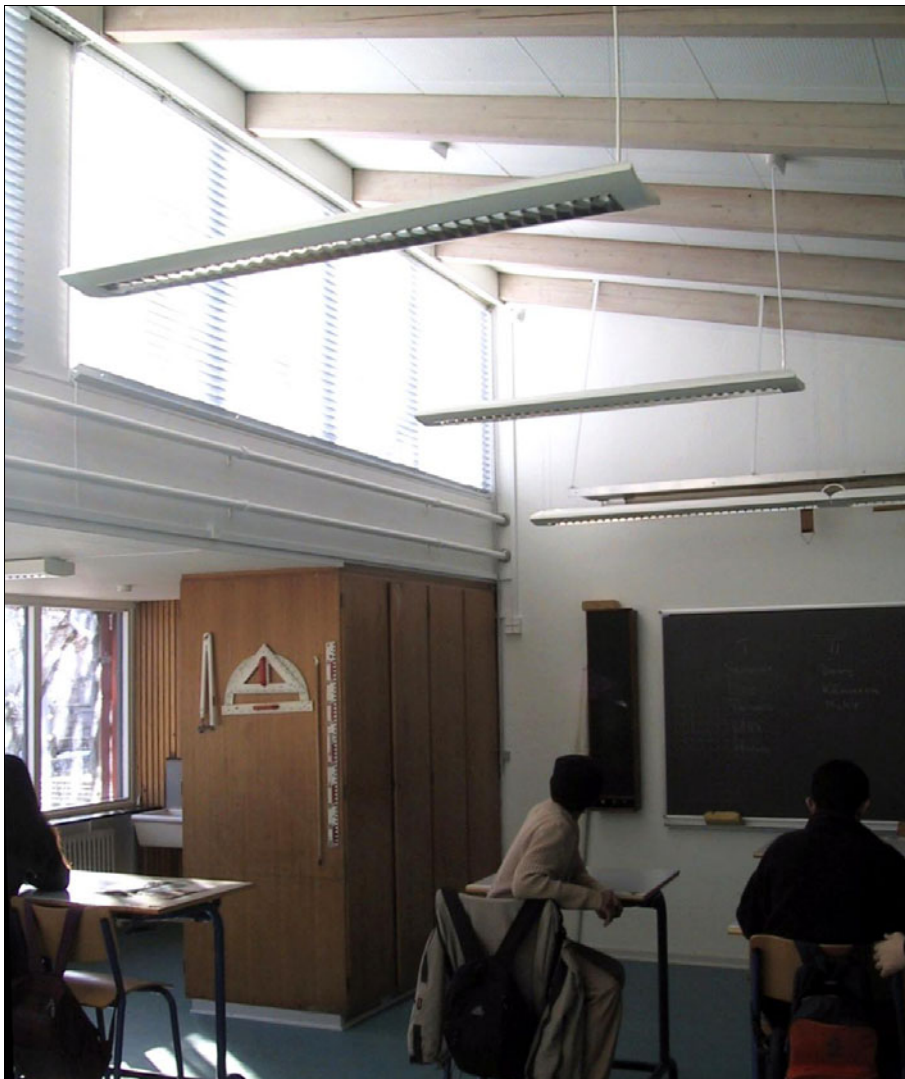
Som ny solafskærmning valgtes en indvendig manuelt betjent persienne. Persiennen har 55 mm brede, blanke aluminiumslameller, der er monteret, så lamellernes kanter krummer opad, altså modsat en almindelig persienne type, se figur 76 side 91. Persiennen kan hæves/sænkes, og lamellerne kan drejes ved hjælp af håndtag monteret ved sidevæggene.



Figur 76. Afskærmningen af de højtstående vinduer i de to renoverede lokaler består af enkle persiener, som kan drejes eller trækkes helt op, alt efter behovet for dagslys.

Lamellernes hældning i forhold til solens position på himlen er bestemmende for, i hvilken grad sol- og himmellyset reflekteres op i loftet, eller sendes direkte ind i lokalet. Betydningen af lameldrejningen fremgår af figur 76 og fi-

gur 77. På billedet i figur 76 er lamellerne drejet, så sollyset stort set kommer direkte gennem persiennen med risiko for generende blænding. På billedet i figur 77 er lamellerne drejet, så lyset kastes op i loftet, hvorfra det reflekteres ud i rummet som indirekte lys. Betydningen af det indirekte reflekterede lys fremgår af figur 62 side 83, hvor lokalets bag- og endevæg modtager et betydeligt lystilskud.



Figur 77. Når persiennernes lameller drejes i vandret stilling kastes en del af dagslyset op mod det hvide loft, hvilket medvirker til at fordele lyset bedre i lokalet.

Dagslysmålingerne i de renoverede lokaler viser, at persiennerne selv ved en lameldrejning til 45 grader lader så meget dagslys passere, at det vil være tilstrækkeligt i størstedelen af skoletiden hele året. Da det samtidigt er meget nemt at betjene persiennerne, opnås der en væsentligt forbedret dagslysudnyttelse.

Energieffektiv belysning

De eksisterende belysningsanlæg i Tingbjerg skoles normalklasselokaler er på en måde typiske for danske skoler. I takt med stadig stigende driftsomkostninger, herunder også energipriser, er det mere end nogensinde nødvendigt bl.a. at reducere energiforbruget til belysning. Dette kan godt lade sig gøre, også uden at det kommer til at gå ud over den visuelle komfort og rumopfattelse. Med det nye belysningsanlæg er der skabt et godt og stimulerende arbejdsmiljø med lave energiomkostninger. Nedenstående redegøres for energikonsekvenserne ved overgang til det nye anlæg.

Tabel 20. Installerede effekter i eksisterende belysningsanlæg.

Placering i lokale	Antal armaturer	Eleffekt lysstøfrør, W	Eleffekt forkoblinger, W	Samlet effekt, W
Tavle	3	58	10,5	205
Højloftet del	8	58	10,5	548
Lavloftet del	3	36	8,1	132
Lavloftet del	1	18	8,7	27
Eleffekt, Watt				922

Tabel 21. Installerede effekter i nyt belysningsanlæg.

Placering i lokale	Antal armaturer	Eleffekt lysstøfrør, W	Eleffekt forkoblinger, W	Samlet effekt, W
Tavle	3	28	4	96
Højloftet del	6	35	4	234
Lavloftet del	3	35	4	117
DALI kontrolenhed	1			7
Eleffekt, Watt				454

Med et belyst areal på 68 m² bliver den installerede effekt for det eksisterende anlæg således 13,6 W/m² mod det nye anlægs 6,7 W/m², svarende til en umiddelbar reduktion i energiforbrug til belysning på 51 %. Anslås det årlige antal brugstimer for lokalet til 1600 timer/år, vil det svare til et årligt forbrug på 21,7 kWh/år/m² mod 10,7 kWh/år/m². Tallene stemmer godt overens med en tidligere undersøgelse af energiforbruget på 28 syd- og sønderjyske skoler foretaget i 2001 af Enervision A/S for Sydvest Energi, ESS Energiselskabet Sønderjylland, Sydvest Energifond og Elsparefonden.

Energiforbruget til belysning kan forventes at blive yderligere reduceret i forhold til ovenstående, idet dagslysstyringen i en stor del af skoletiden vil dæmpe eller slukke kunstlyset, hvorved forbruget erfaringsmæssigt falder yderligere 30-40 %.

Endelig vil installationen af bevægelsesmeldere også medvirke til en reduktion af unødigt energiforbrug. By og Byg har på et tidligere tidspunkt undersøgt brugsmønsteret i to klasselokaler på Tingbjerg skole, hvor det bl.a. fremgik, at der i en tyve-ugers periode sammenlagt var tændt lys i lokalerne i henholdsvis 78 og 71 timer, mens de stod tomme. Set på årsbasis vil dette svare til 10-15 % unødigt elforbrug.

Brugerinterview

Efter en indkøringsperiode foretog By og Byg et interview med to af de lærere, der til daglig underviser i forsøgslokalet, for at høre om deres erfaringer med brugen af det nye belysningsanlæg. Interviewet indeholdt en række hovedpunkter vedrørende belysningsarmaturer, anvendelse af anlægget, automatisk regulering af lyset, solafskærmning, farver mv.

Lærerne gav udtryk for stor tilfredshed med den nye belysning, som giver et behageligt lys med en god farve. Udformningen af armaturerne gør, at man næsten ikke kan se, om lyset er tændt. Tavlelyset giver et godt lys og har en god afskærmning, så hverken elever eller lærere bliver blændet. Der er ikke konstateret generende reflekser i bøger, papirer eller borde med den traditionelle klasseopstilling af bordene i tre rækker.

Man havde ikke bevidst ændret belysningsvaner i forhold til det gamle anlæg. Dagslysstyringen har måske snydt lærerne, forstået på den måde, at der i virkeligheden har været et lille (næsten ikke mærkbart) tilskud af kunstlys, der har bevirket, at man ikke har følt behov for aktivt at tænde lys.

Der blev givet udtryk for, at ikke alle parter havde fået tilstrækkelig information om brugen af de fire scenariemuligheder. Systemets muligheder

havde derfor ikke været brugt eksperimentelt. Man havde dog mærket en positiv forskel i den måde, det ny anlæg fungerer på.

På de højere klassetrin efter 6.-7. klasse arbejdes der normalt på Tingbjerg skole med en såkaldt klasseopstilling, dvs. med 3 rækker borde, hvor eleverne sidder med ansigtet mod tavlen under hele undervisningsforløbet. Med en sådan opstilling vil den nuværende udformning af belysningsanlæg og lyssætning fungere godt. Til gruppearbejde og valgfag, hvor eleverne samles omkring en gruppe borde, vil man ikke kunne udnytte anlæggets muligheder optimalt. I de små klasser og i indskolingen, hvor man ofte arbejder med 30 elever pr. klasse, står bordene ofte i hesteskoform, hvorfor den nuværende udformning af belysningsanlægget nok vil være uhensigtsmæssig. Lærerne kunne i den forbindelse godt ønske sig et 'skoleanlæg', der skulle være mere fleksibelt, end det ses i dag, et anlæg, der lagde op til at blive brugt og 'udfordret'.

I forbindelse med solafskærmningen blev der givet udtryk for stor tilfredshed, idet persienneløsningen fungerede væsentligt bedre end de gamle gardiner. Både lærere og elever havde betjent/justeret persiennerne efter behov. Der var således ikke konstateret problemer med generende blænding fra de højtsiddende vinduer.

Lærerne gav udtryk for, at lokalet med de nye farver på vægge, gulve og loft virkede dejligt lyst, lækkert og rent at 'se' på, hvilket man fornemmede, at eleverne også havde det godt med. Man kunne dog godt tænke sig at dør, skabe og reoler havde fået 'kulører' ved samme lejlighed. Selv om lokalet havde fået store, (næsten) hvide arealer, virker det ikke fersk i farverne, da tavlen, gulvet og opslagstavlen bryder farvemæssigt med resten af rummet.

Konklusion

Alene på grund af reduktionen i installeret effekt vil det nye belysningsanlæg give en energibesparelse på mere ca. 50 % i forhold til det gamle anlæg. Hertil kommer en yderligere forventet reduktion i energiforbruget på grund af bedre dagslysudnyttelse, dagslysstyring og bevægelsesmeldere.

Renovering og installation af nyt energieffektivt belysningsanlæg har givet skolen et klasselokale, hvor der kan skabes et sundt og stimulerende arbejdsmiljø med optimale visuelle forhold. For at opnå den optimale funktion, er det imidlertid nødvendigt, at alle med det samme bliver informeret om det nye belysningsanlægs virkemåde og visuelle mulighed (scenarier).

Skolen har, så vidt lærerne var orienteret, ikke nogen egentlig energipolitik, ud fra hvilken man kan tilrettelægge og kontrollere sit energiforbrug. Lærerne er dog blevet bedt om at sikre, at vinduer er lukkede og lyset slukket, når lokalerne forlades.

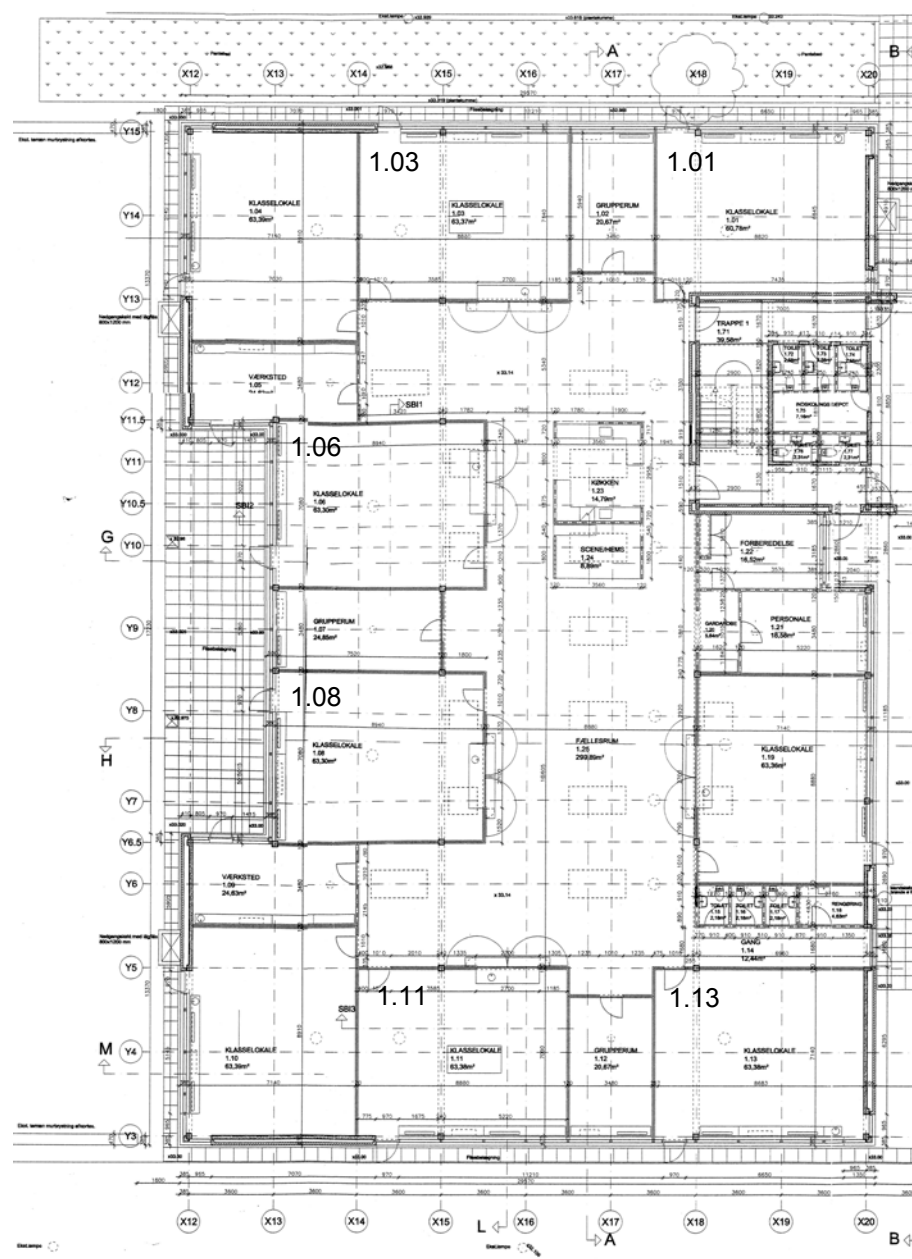
Brugerønsker

For at kunne leve op til skolelovens krav, ønsker man (lærerne) sig både større og mindre klasselokaler end dem, man har adgang til i dag. Det er vigtigt, dels fordi man i stigende grad arbejder med meget store klasser (mange elever pr. klasse), og dels arbejder meget med små grupper, generelt og ved specialundervisning. Man peger også på muligheden af at etablere døre fra klasselokalerne ud til det fri, hvor der kunne skabes nye spændende undervisningsmiljøer.

Belysningsmæssigt kunne man tænke sig et 'skoleanlæg', der kunne blive så fleksibelt, at det uden videre kunne betjene gruppeopstilling, hesteskoform, klasseopstilling, hulemiljøer mv. Man kunne forestille sig samtidig kontrol af lys og videoprojektor. En projektor kunne måske blive en del af belysningsanlægget.

Hedegaardsskolen: Forsøg med forskellige belysningsanlæg i nybygget skole

I forbindelse med genopbygningen af Hedegaardsskolen i Ballerup blev det besluttet at afprøve forskellige belysningsarmaturer og et andet reguleringssystem i 3 undervisningslokaler beliggende med facader mod henholdsvis nord, vest og syd. Lokalerne (1.03, 1.06, 1.11) blev udvalgt således, at belysningsforhold og energiforbrug i de tre forsøgslokaler kunne sammenlignes med forholdene i tre referencelokaler (1.01, 1.08 og 1.13), se planskiten i figur 78.



Figur 78. Grundplan af Hedegaardsskolen. Forsøgslokaler er markeret.

I alle forsøgslokaler er der anvendt opad-/nedadlysende armaturer (ophængt i wiver) med T5 lysrør og elektronisk dæmpbar forkoblingsenhed (HF). I referencelokalerne anvendes indirekte nedadlysende armaturer (indbygget i loftet) med 1 · 55 W TC-L kompaktlysrør og elektronisk forkobling. Tabel 22 giver en oversigt over lokalerne med en kort beskrivelse af belysningsanlæggene.

Tabel 22. Forsøgs- og referencelokaler på Hedegaardsskolen, med oversigt over arealer og installerede belysningseffekter.

Lokale	Gulvareal m ²	Installeret effekt inkl. forkobling, W/m ²	Anlægsbeskrivelse
1.03 Forsøgslokale, N	63,4	6,1	12 stk. LP opad-/nedadlysende armaturer Horisont T5 med 1 · 28 W T5 lysrør og dobbeltparabolisk diffuserende reflektor
1.06 Forsøgslokale, V	63,3	8,8	9 stk. Glamox opad-/nedadlysende arma- turer Indilight P med 2 · 28 W T5 lysrør, med perforeret underside og darklightoptik
1.11 Forsøgslokale, S	63,4	8,8	9 stk. Fagerhult opad-/nedadlysende ar- maturer Loop Light med 2 · 28 W T5 lys- rør, med EP gitter og prismeskærm
1.01 Referencelokale, N	60,8	8,9	9 stk. Jacobsson indirekte nedadlysende armaturer af typen Menlo med 1 · 55 W TC-L kompaktlysrør og med perforeret afskærmning (type C2)
1.08 Referencelokale, V	63,3	8,5	
1.13 Referencelokale, S	63,4	8,5	

Installeret effekt til belysning

Tabel 22 viser, at bortset fra forsøgslokale 1.03 ligger de installerede effekter helt på samme niveau, mellem 8,5 og 8,9 W/m². I lokale 1.03 er der monteret 12 armaturer med ét 28 W T5-rør, mens der i de øvrige er monteret 9 armaturer med 2 · 28 W T5 rør. Belysningsniveauet i lokale 1.03 er noget lavere end i de øvrige lokaler, men overholder kravene til det generelle belysningsniveau.



Figur 79. Forsøgslokale 1.11 mod syd. Lokalet har 9 stk. opad-/nedadlysende armaturer, der er opdelt i 3 grupper, som styres via en fælles føler monteret ud for de højsiddende dagslysvinduer.

Styring og regulering af kunstlyset

Både i forsøgslokaler og i referencelokaler styres belysningen via en bevægelsesmelder og en dagslysføler. I forsøgslokalerne 1.03, 1.06 og 1.11 er armaturerne inddelt i 3 grupper, én ved vinduet, én i midten af lokalet og én ved bagvæggen, således at lyset via en fælles dagslysføler kan dæmpes gradvist fra vinduessiden, efterhånden som dagslysindfaldet gennem vinduet stiger.

I forsøgslokalerne justeres lyset som en styring i et såkaldt *åbent kredsløb*, hvor føleren styrer kunstlyset i rummet efter hvor meget dagslys, der rammer den gennem vinduet. Der tages herved hensyn til eventuel reduktion i lysindfaldet pga. solafskærmning. Følerne var i starten placeret så højt, at de modtog for lidt dagslys, og derfor fungerede styringen ikke. Senere er følerne blevet placeret på en holder foran vinduet, således at styringen fungerer bedre, men målingerne viser, at den fortsat ikke er helt tilfredsstillende.



Figur 80. Dagslysføler i forsøgsrum. Ved afleveringen af belysningsanlægget (t.v.) var føleren placeret for højt og modtog ikke tilstrækkeligt dagslys til at reguleringen kunne fungere. Senere blev dette ændret, så føleren placeredes på holder foran det øverste vindue(t.h.).



Figur 81. Referencelokale 1.13 mod syd. Belysningen er indirekte, nedadlysende armaturer indbygget i loftet. Reguleringen af lyset sker via bevægelsesmelder og en lysføler monteret på loftet.

I referencelokalerne justeres lyset i rummet efter et andet princip, nemlig en regulering i et såkaldt lukket kredsløb. Reguleringen sker ved, at en lyssensor placeret på loftet regulerer lysudsendelsen fra armaturerne ved hjælp af et elektrisk signal, som er bestemt af, hvor meget lys, der rammer fotocellen i lyssensoren. Ideelt sigter reguleringen mod at holde et konstant niveau for belysningsstyrken på arbejdsplanet idet der suppleres med kunstig belysning, når der ikke er tilstrækkeligt med dagslys. I praksis er det imidlertid vanskeligt at opnå en situation, hvor en given belysningsstyrke på arbejdsplanet svarer til en given lysstrøm til fotocellen og derfor opnås sjældent den helt ideelle regulering. I referencelokalerne dæmpes lyset samtidigt i alle armaturerne, når dagslysindfaldet stiger.



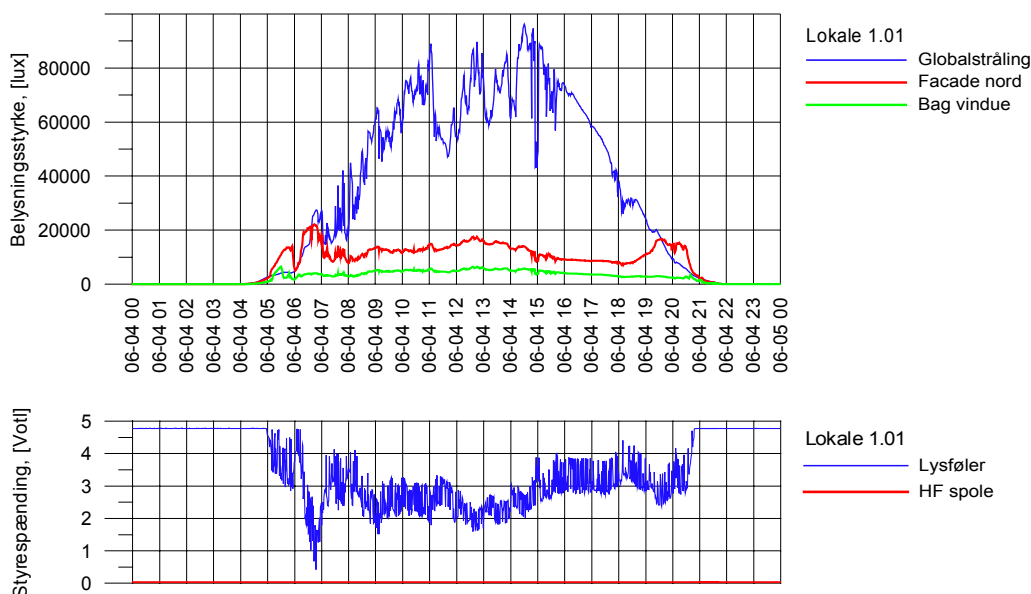
Figur 82. Dagslysføler på loftet i referencelokalerne.

Lokaler mod nord

Lokalerne med facade mod nord forventes normalt kun at have adgang til diffust dagslys og kun ringe mængder skråt indfaldende sollys tidligt om morgenen og sidst på dagen i midsommerperioden.

Referencelokale 1.01

Belysningen i referencelokale 1.01 bliver reguleret via en lysføler på loftet i rummet, jf. figur 82. Figur 83 viser et typisk samspil mellem dagslysmængden på facaden (øverste røde kurve) og inde i lokalet bag (midten af) vinduet og gardinerne (grøn kurve).



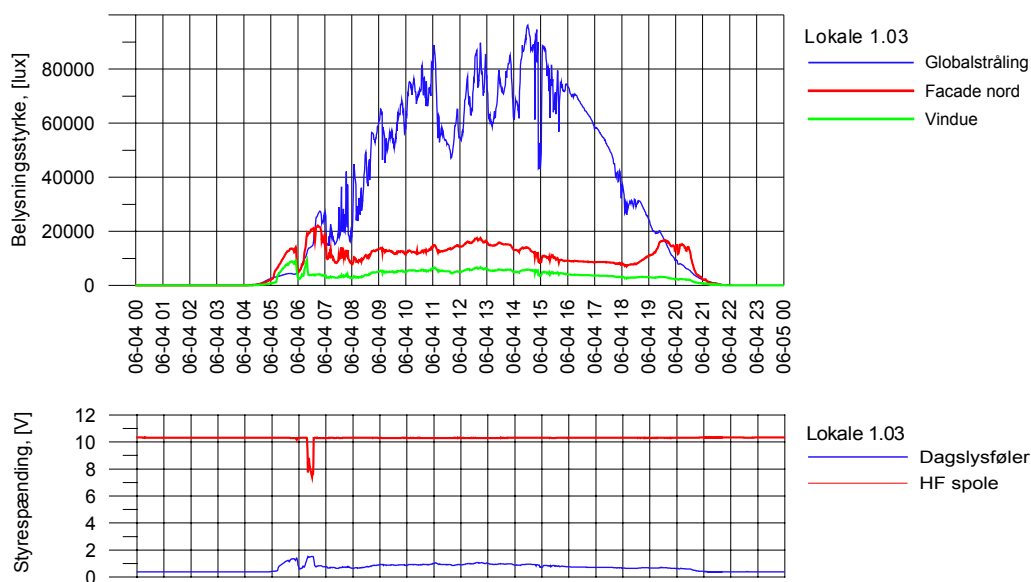
Figur 83. Lokale 1.01. Lysregulering via lysføler på loftet. Signal fra lysføler og styresignal til HF-spole.

Systemets lysføler (nederste blå kurve), der er indstillet til høj følsomhed, reagerer meget villigt på lysets påvirkninger i takt med dagslysets intensitet.

Lokalet har ikke været benyttet den pågældende dag, og lyset har været slukket, hvilket ses af signalet fra HF spolen er konstant 0 (nederste røde kurve). Lysfølerens signal fra 5 til 0 volt regulerer lysudsendelsen fra armaturerne. Såfremt en person var kommet ind i lokalet mellem kl. 05 og kl. 21, ville lyset tænde, men være dæmpet, fordi signalet er under 5 volt. Det ses, at kort før kl. 7, ville lyset være tæt på at slukke, idet signalet her er nede på 0,5 volt. Resten af dagen ville eventuelt tændt lys have været dæmpet ca. 40-50 %.

Forsøgslokale 1.03

Belysningen i lokale 1.03 bliver styret via en dagslysføler bag ruden (og evt. gardin). Figur 84 viser, at der skal høje belysningsstyrker til, før dagslysføleren reagerer (nederste blå kurve) og dermed påvirker signalet til HF-spolen (nederste røde kurve). I dette system er signalet til spolen ca. 10 volt ved slukket lys, mens det falder, når lyset skal dæmpes. Ved denne styring ville lyset være tændt med fuld effekt, bortset fra tidspunktet lige før kl. 7, hvor lysindfaldet på dagslysføleren bliver højt nok til at dæmpe lyset en smule (til ca. 80 %). Selvom dagslysniveauet er det samme i de to lokaler, vil energiforbruget i forsøgslokalet altså blive noget højere end i referencelokalet, hvilket må tilskrives, at reguleringen ikke fungerer tilfredsstillende i forsøgslokalet. Årsagen skønnes at være, at dagslysføleren er placeret, så den modtager utilstrækkeligt lys i forhold til dagslysniveauet i lokalet.



Figur 84. Lokale 1.03. Lysstyring via dagslysføler. Signal fra dagslysføler og styresignal til HF-spole.

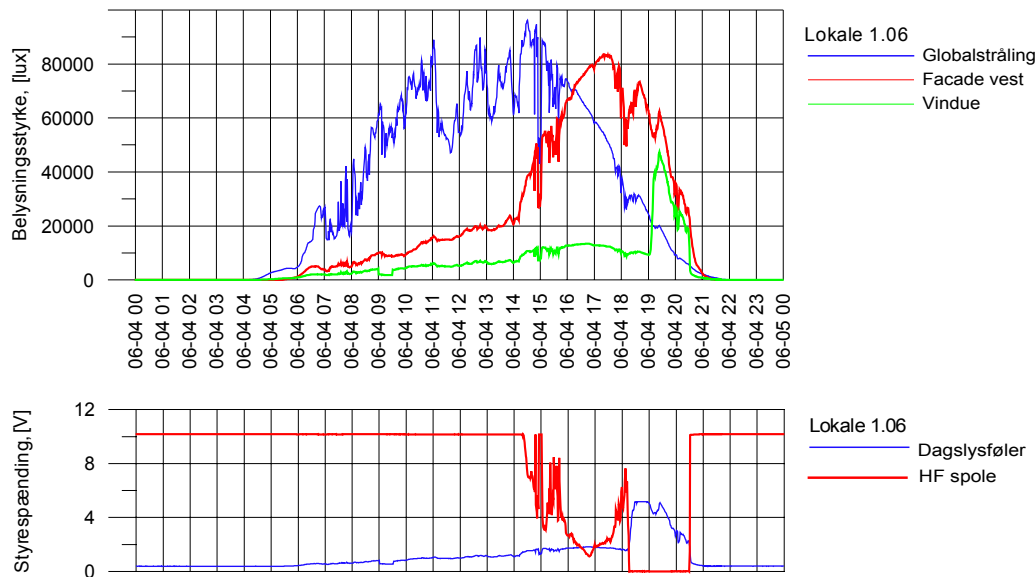
Lokaler mod vest

Lokalerne med facade mod vest har normalt adgang til diffust lys i dagtimerne og mere eller mindre direkte sollys ud på eftermiddagen.

Forsøgslokale 1.06

Belysningen i lokale 1.06 bliver styret af et dagslysføler bag vinduet. Figur 85 viser samspillet mellem dagslysmængden på facaden (øverste røde kurve) og inde i lokalet bag (midten af) vinduet og gardinerne (grøn kurve). På grund af skygger fra omliggende bygninger rammer det direkte sollys først facaden ud på eftermiddagen ca. kl. 14. I de foregående timer modtager dagslysføleren ikke tilstrækkelige mængder lys til at påbegynde en regulering af lyset, hvilket fremgår af signalet til forkoblingsenheden, der er konstant 10 volt (nederste røde kurve). Fra lidt efter kl. 14 bliver dagslysføleren imidlertid påvirket tilstrækkeligt til, at en egentlig regulering af lyset vil finde

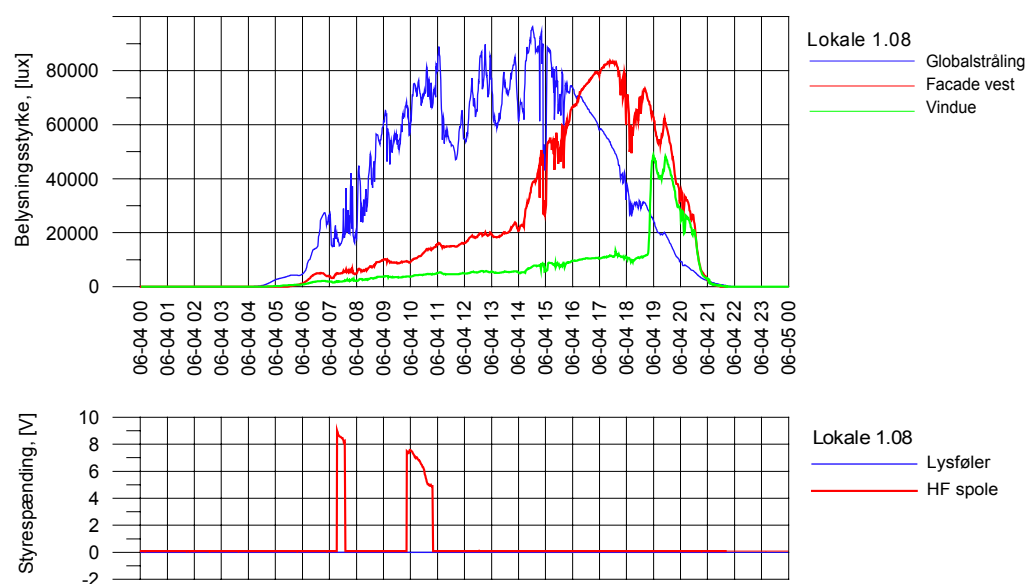
sted. Cirka kl. 18:30 rammer direkte sollys ind på systemets dagslysføler bag vinduet, hvilket bevirker at systemet 'går i mætning'. Dette ses af, at den nederste blå kurve bliver vandret på ca. 5,5 volt i ca. en time, mens styrespændingen bliver 0. Dette medfører, at eventuelt tændt lys vil blive slukket. Frem til ca. klokken 20:30 er der fortsat så meget lys på føleren, at lyset vil være slukket.



Figur 85. Lokale 1.06. Lysstyring efter en dagslysføler bag vinduet. Signal fra dagslysføler og styresignal til HF-spole.

Referencelokale 1.08

Belysningen i lokale 1.08 bliver styret via signalet fra en lysføler placeret på loftet i rummet. Figur 86 viser samspillet mellem dagslysmængden på facaden (øverste røde kurve) og inde i lokalet bag (midten af) vinduet og gardinerne (grøn kurve). Af figuren ses, at signalet til forkoblingsenheden bliver dæmpet i takt med det stigende dagslysindfald i to perioder, hvor lyset har været tændt. At signalet fra dagslysføleren viser 0 volt i hele perioden skyldes en fejl i dataopsamlingssystemet.

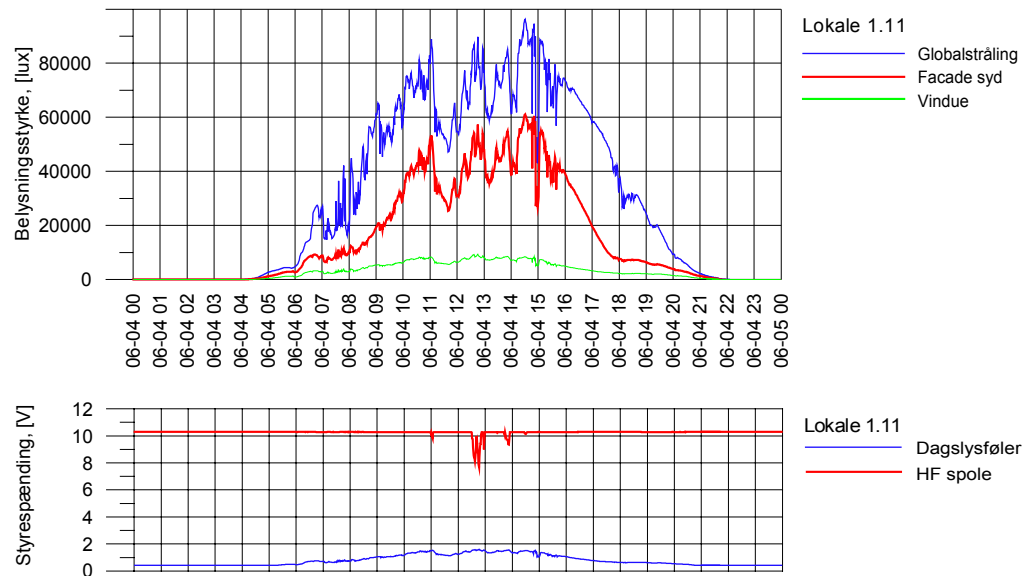


Figur 86. Lokale 1.08. Lysregulering via lysføler på loftet. Signal fra lysføler og styresignal til HF-spole.

Lokaler mod syd

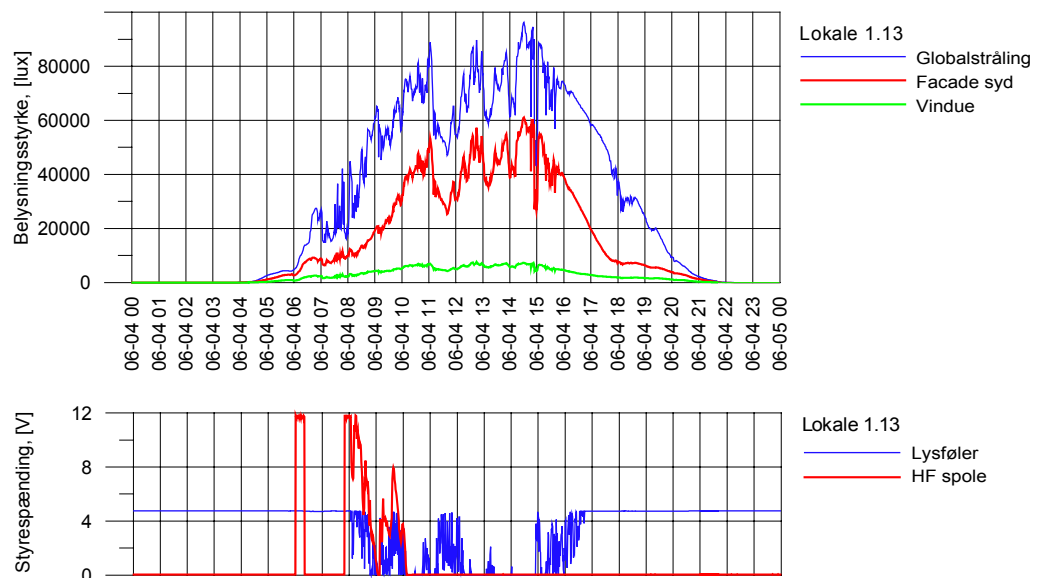
Lokalerne med facade mod syd har normalt adgang til både diffust lys samt mere eller mindre direkte sollys i dagtimerne.

Belysningen i lokale 1.11 bliver styret af et system med en dagslysføler placeret bag vinduet. Figur 87 viser samspillet mellem dagslysmængden på facaden (øverste røde kurve) og inde i lokalet bag (midten af) vinduet og gardinerne (grøn kurve). I en kort periode midt på dagen modtager dagslysføleren tilstrækkelige mængder lys til at påbegynde en regulering af lyset, hvilket fremgår af signalet til forkoblingsenheden (nederste røde kurve). I resten af perioden vil eventuelt lys ikke blive reguleret.



Figur 87. Lokale 1.11. Lysstyring via dagslysføler bag vinduet. Signal fra dagslysføler og styresignal til HF-spole.

Belysningen i lokale 1.13 bliver reguleret via en lysføler på loftet. Figur 88 viser samspillet mellem dagslysmængden på facaden (øverste røde kurve) og inde i lokalet bag (midten af) vinduet og gardinerne (grøn kurve). Lysføleren er også i dette lokale indstillet til højeste følsomhed. Af figuren ses, at lyset har været tændt i to perioder, først omkring kl. 6 om morgenen og igen mellem kl. 8 og 10. Det ses, at signalet til forkoblingsenheden bliver dæmpet i takt med det stigende dagslysfald.



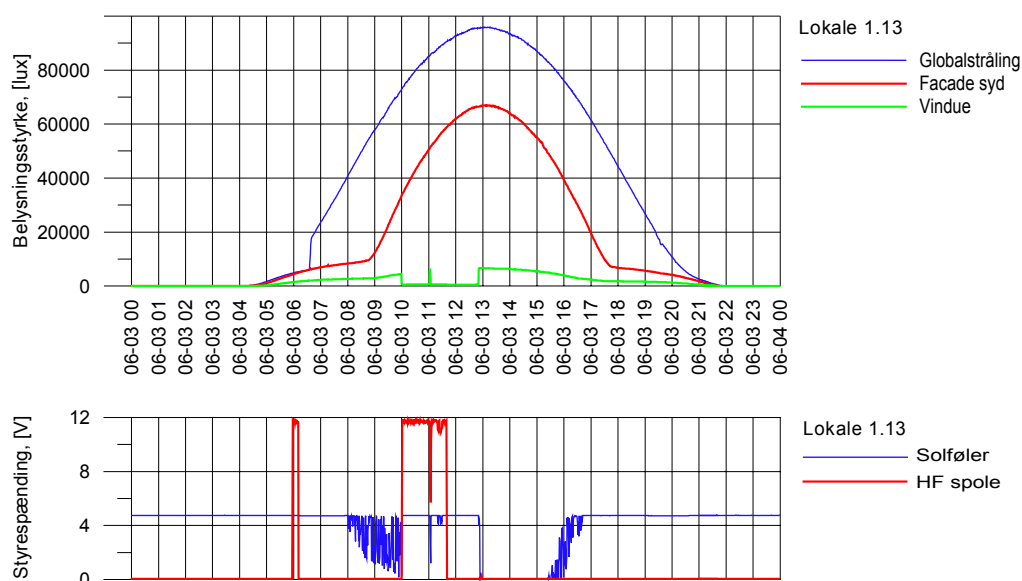
Figur 88. Lokale 1.13. Lysregulering via lysføler på loftet. Signal fra lysføler og styresignal til HF-spole.

Udvendig solafskærmning

I de undersøgte lokaler på Hedegaardsskolen er syd- og vestfacaderne forsynet med udvendig solafskærmning. Afskærmningen styres af en solføler placeret udvendigt på den enkelte facade, men afskærmningen kan også aktiveres fra klasselokalerne. Styring af solafskærmningen foregår uafhængigt af dagslysstyringen i klasselokalerne. Fra starten blev solafskærmningerne reguleret facadevis, men erfaringerne viste hurtigt, at det var nødvendigt at kunne regulere de enkelte klasselokaler individuelt, og reguleringen blev derfor ændret.

Figur 89 viser for en solskinsdag i lokale 1.13 (mod syd), hvorledes dagslysreguleringen reagerer på, at den udvendige solafskærmning bliver aktiveret. Fra kl. ca. 8 viser signalet fra lysføleren (nederste blå kurve), at en dæmpning af eventuelt tændt lys vil finde sted. Eventuelt lys ville således være dæmpet 100 % frem til kl. ca. 15:30.

Undervisning startes kl. 10, og lyset tændes manuelt (sandsynligvis pr. rutine), (nederste røde kurve). Lyset tænder dog ikke, da det i forvejen er dæmpet 100 %. Samtidig aktiveres solafskærmningen manuelt (øverste grønne kurve), hvilket medfører, at lokalet af dagslysføleren opfattes som værende for mørkt. Signalet til forkoblingsenheden reguleres op til fuldt lys (nederste røde kurve). Omkring kl. 11 er der en kort pause, hvor solafskærmningen trækkes op, så der kan luftes ud i lokalet. Dagslysføleren dæmper nu lyset ca. 50 %. Efter pausen aktiveres solafskærmningen igen, og lyset reguleres op til fuldt lys. Lyset slukkes manuelt kl. ca. 11:30. Solafskærmningen trækkes op og lokalet forlades kl. ca. 13.



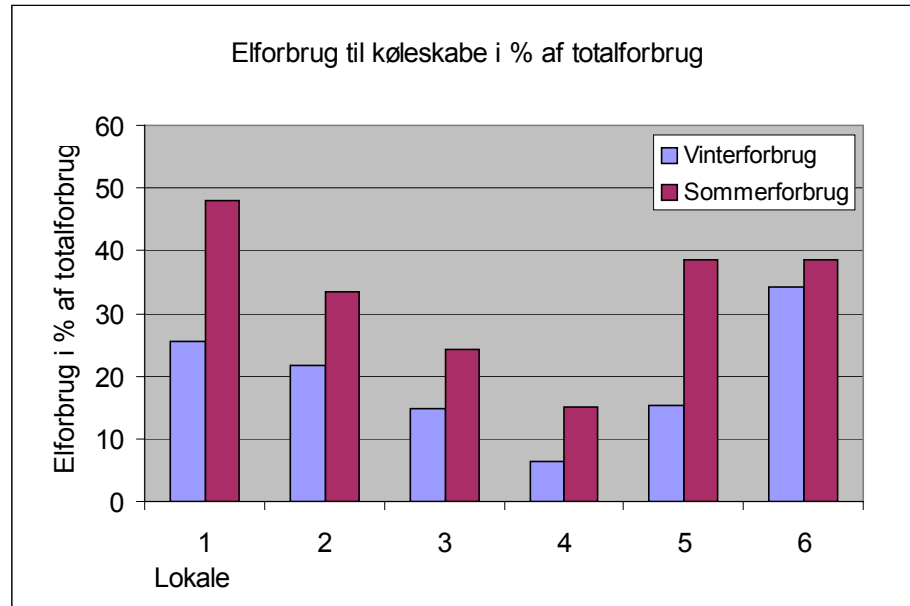
Figur 89. Lokale 1.13. Signal fra dagslysføler og styresignal til HF-spole når udvendig solafskærmning aktiveres.

Elforbrug til køleskabe

Foruden normale undervisningshjælpemidler som pc'er, printere, overhead-projektorer og video- og båndanlæg er der i alle seks lokaler opstillet små køleskabe, der i et enkelt tilfælde indeholder en lille fryser. Køleskabene benyttes til opbevaring af elevernes mad- og drikkevarer. De undersøgte lokaler rummer tre førsteklaser, to andenklasser og en børnehaveklasse hvilket betyder, at lokalerne ofte kun er i brug to til tre timer dagligt. Der foregår ingen eftermiddags- eller aftenundervisning.

En registrering af elforbruget i de enkelte klasser viser, at de opstillede køleskabe pr. døgn kan forbruge op til 34 % af det samlede forbrug i vinterhalvåret og op til 48 % i sommerhalvåret. Når vinterforbruget er mindre end sommerforbruget, skyldes det selvfølgelig, at elforbruget til belysning er væ-

sentligt større i vinterhalvåret. Nedenstående figur viser elforbruget til køleskabe for udvalgte vinter- og sommerperioder.



Figur 90. Elforbrug til køleskabe pr. døgn i % af totalforbruget i de seks undersøgte lokaler.

Konklusion

Målingerne og de subjektive iagttagelser på Hedegaardsskolen viser, at der i de pågældende lokaler kan etableres glimrende belysningsanlæg med installerede effekter ned til 6-8 W/m². Belysningen i både referencelokaler og forsøgslokaler opleves tilfredsstillende, og der er et godt samspil mellem dagslyset og den kunstige belysning. Erfaringerne med de to anlæg viser dog, at der er forskel i rumopfattelsen mellem lokalerne med indirekte nedadlysende armaturer og forsøgslokalerne med opad-/nedadlysende armaturer, idet kunstlyset i forsøgslokalerne opfattes bedre modellerende, fx med klarere skyggetegning, i modsætning til kunstlyset i referencelokalerne, der opfattes mere diffust.

Desværre har der været flere fejl ved installering af dagslysfølere både til belysningen og til solafskærmningen, og afleveringskontrollen har ikke afsløret, at anlæggene i visse situationer fungerer uhensigtsmæssigt og med et unødvendigt energiforbrug til følge. Dagslysfølernes i forsøgslokalerne har været monteret så højt, at de i perioder modtager for lidt lys i forhold til lyset i lokalet, således at belysningen bliver tændt unødvendigt. Dagslysreguleringen i referencelokalerne fungerer tilfredsstillende, men på grund af fejlplaceringen af følerne i forsøgslokalerne har en sammenligning mellem de to styringsformer ikke så stor mening. Dagslysreguleringen har en berettigelse, som dog mindskes noget på grund af den korte brugstid. Energiforbruget til belysning ligger lavt i alle lokalerne, men kunne altså være endnu lavere i forsøgslokalerne. Endelig viser undersøgelsen, at hvis skolen ønsker at reducere energiforbruget og fremme energibevidstheden hos eleverne, må der fokuseres mere på de øvrige forbrug i undervisningslokalerne, specielt forbrugene til ældre køleskabe.

Litteratur

Arbejdstilsynet. (1996). *Arbejdsrum på faste arbejdssteder* (At-meddelelse Nr. 1.01.12). København. Lokaliseret 20020625 på:
www.arbejdstilsynet.dk/Overblik/atviden/MEDDELEL/M1011296/M1011296.htm

Arbejdstilsynet. (1999). *Dispensationer og fortolkning af regler inden for faste arbejdssteders indretning ved projekteret byggeri* (At-cirkulæreskrivelse nr. 3/1999). København. Lokaliseret 20020625 på:
www.arbejdstilsynet.dk/Overblik/atviden/ATCIRKUL/Acir0399/acir0399.htm

Arbejdstilsynet. (2001a). *Arbejde ved skærme* (At-vejledning D.2.3). København. Lokaliseret 20020813 på:
www.arbejdstilsynet.dk/Overblik/atviden/vejled/d23/arbvskaerme.htm

Arbejdstilsynet. (2001b). *Indeklima* (At-vejledning A.1.2). København. Lokaliseret 20020813 på:
www.arbejdstilsynet.dk/Overblik/atviden/vejled/a12/indeklima.htm

Arbejdstilsynet. (2002). *Kunstig belysning* (At-vejledning A.1.5). København. Lokaliseret 20020813 på:
www.arbejdstilsynet.dk/Overblik/atviden/VEJLED/a15/kunstigbelysning.htm

Balslev Jørgensen, L., Lund, H., & Nørregård-Nielsen, H. E. (1980). *Danmarks arkitektur: Bd. 5. Magtens bolig*. København: Gyldendal.

Arbejdsministeriet. (2001). *Bekendtgørelse nr. 96 af 13. februar 2001: Bekendtgørelse om faste arbejdssteders indretning*. 2001. København: Lokaliseret 20020625 på:
www.arbejdstilsynet.dk/Overblik/atviden/BEKENDTG/B009601/B009601.htm

Blichfeldt, P., et al. (2001). *Skolens indeklima, trivsel og sikkerhed* (Skolebyggeri og skoleindretning - hæfte 4). Vejle: Kroghs Forlag.

Boligministeriet. (1995). *Bygningsreglement 1995*. København.

Branchesikkerhedsråd 12. (1988). *Belysning i klasselokaler* (Branchevejledning 7). København.

Christoffersen, J., Johnsen, K., & Petersen, E. (2002). *Beregning af dagslys i bygninger* (By og Byg Anvisning 203). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Den Centrale Rådgivningstjeneste for Skolebyggeri. (1984). *Folkeskolens fysiske ramme: Kap. 5: Skolebygningers indeklima*. København.

Ceppi G., & Zini M. (Eds.) (1998). *Children, spaces, relations: Metaproject for an environment for young children*. Modena: Reggio Children, & Domus Academy Research Center.

- CHPS. (2002). *Collaborative for high performance schools*. California, CA. Lokaliseret 20020813 på: www.chps.net
- Dansk Standard. (1997). *Kunstig belysning i arbejdslokaler* (5. udg.) (DS 700:1997). København.
- Dansk Standard. (1998). *Vejbelysning, Del 1: Valg af belysningsklasser* (prEN 13201 – 1:1998). København.
- Dansk Standard. (2001a). *Idrætsbelysning - halvcylindrisk belysningsstyrke* (DS 707:2001). København.
- Dansk Standard. (2001b). *Lys og belysning - sportsbelysning* (DS/EN 12193:2001). København.
- de Coninck-Smith, N. (1989). *Vor lærdoms bygning: Folkeskolens bygninger 1814-1940* (Rapport nr. 2). København: Planstyrelsen.
- Department for Education and Employment, DfEE. (1999). *Lighting design for schools* (Building bulletin 90). London: The Stationary Office.
- Drægner, T., & Olaussen, J. (2000). *Skolebelysning* (2. udg.) (Publikasjon nr. 20). Stabekk: Lyskultur.
- Engelund Thomsen, K. (2001). Energiforbruget i skoler. In G. Clasen, & P. Jeremiassen (red.), *Fremtidens energieffektive skoler: Energianvendelse i bygninger - 10. EFP Energistyrelsens Forskningsprogram* (pp. 4-5). Taastrup.
- Engelund Thomsen, K. (2002). *Fremtidens energieffektive skoler* (By og Byg Resultater 017). Hørsholn: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Frandsen, S. (1985). Lyset i rummet, lyset på tingene. *LP Nyt*, (492).
- Fördergemeinschaft Gutes Licht. (Uden år). *Good lighting for schools and educational establishments* (Information on lighting applications - booklet 2). Frankfurt.
- Goldstein, E. B. (2002). *Sensation and perception* (6th ed.). Pacific Grove, CA: Wadsworth-Thomson Learning.
- Gunnarsen L, et al. (2001). *Energieffektive skoler: Forundersøgelse om opvarmning, ventilation og lyskvalitet* (By og Byg Resultater 003). Hørsholn: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Hansen, W. (1928). Københavnske kommuneskolebygninger gennem et halvt aarhundrede. *Arkitekten Maanedshæfte*, 30(mar/apr.), 84-98.
- Heschong Mahone Group. (2002). *Re-analysis report: Daylighting in Schols, Additional Analysis*. California Energy Commission, Public Interest Energy Research (PIER) Program. Californien, CA.
- Hathaway, W. E. (1995). Effects of school lighting on physical development and school performance. *Journal of Educational Research*, 88(4), 228-243.
- Hinträger, C. (1914). *Die Volksschulhäuser in den verschiedenen Ländern: Bd. I. Volksschulhäuser in Schweden, Norwegen, Dänemark und Finnland*

(Handbuches der Architektur. Fortschritte auf dem Gebiete der Architektur Nr. 8). Leipzig.

Kahr Frederiksen, J. (red.). (1988). *Belysning i klasselokaler* (Branchevejledning, 7). København: Branchesikkerhedsrådet for Undervisning, BSR 12.

Kames, H. H. (1993). *Elements of criticism*. London: Routledge.

Kirkeby, I. M. (red.). (1998a). *Rum, form, funktion i folkeskolen: Temahæfte*. København: Undervisningsministeriet. Lokaliseret 20021022 på: <http://pub.uvm.dk/1999/rumform/>

Kirkeby, I. M. (red.). (1998b). *Skolen - et fysisk landskab – et mentalt rum*. Skanderborg: Amtscentralen for Undervisning i Århus Amt.

Kirkeby, I. M., Nielsen, P. A., Engelund Thomsen, K., & Valbjørn, O. (2001). *Sunde skoler: Indeklimaforhold i undervisningsrum og institutioner for børn* (By og Byg Resultater 015). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Kofod, C., Espenhain, A., & Klausen, J. (2000). *Energieffektiv belysning i handels- og servicesektoren: Markedsundersøgelse*. Stenløse: Lysteknisk Selskab.

Küller, R., & Lindsten, C. (1992). Health and behavior of children in classrooms with and without windows. *Journal of Environmental Psychology*, 12(4), 305-318.

Liljefors, A. (1999). *Lighting – visually and physically*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan. Lokaliseret 20031203 på: <http://www.ing.hj.se/belysningsavd/doc/lightingv.pdf>.

Louis Poulsen Lighting. (2001). *Skoler & undervisning - belysning*. København. Lokaliseret 20020813 på: www.louis-poulsen.dk/belysning/brochurer/pdf/SKOLEBROCHURE.PDF

Lov nr. 166 af 14. marts 2001: Lov om elevers og studerendes undervisningsmiljø. (2001). København: Undervisningsministeriet.

Lov nr. 509 af 30. juni 1993: Lov om folkeskolen. (1993). København: Undervisningsministeriet. Lokaliseret 20020813 på: www.dpb.dpu.dk/ress/skolelove/folkeskole/30.06.1993.html

Lys & Optik, & Lysteknisk Selskab. (1993a). *God og energirigtig kontorbelysning*. København: Energistyrelsen.

Lys & Optik, & Lysteknisk Selskab. (1993b). *God og energirigtig skolebelysning*. Stenløse.

Millet, M. (1996). *Light revealing architecture*. New York: Van Nordstrand Reinholdt.

Nersveen, J. (1999). Belysning og børns udvikling. *Lys*, (3), 146-149.

NUTEK. (1994). *Programkrav belysning i skoler: Programkrav för god och energieffektiv belysning i skolor*. Stockholm.

Nørgaard, E., & de Coninck-Smith, N. (red.). (1990). *At lære og være - i hvilke rammer?* Vejle: Kroghs Forlag.

OECD. (1997). *Redefining the place to learn* (Programme on educational building). Paris.

Olrik, M., & Deichmann, F. (red.). (1999). *Rum, form, funktion i folkeskolen: Dommerbetænkning*. København: Undervisningsministeriet.

Pacific Gas and Electric Company. (1999). *Daylighting in schools: An investigation into the relationship between daylighting and human performance*. San Francisco, CA: Heshong Mahone Group. Lokaliseret 20020813 på: www.newbuildings.org/lighting.htm

Petersen, E. (2000a). *Lysstyring: Vejledning* (BPS-publikation 132). Hørsholm: BPS-Centret.

Petersen, E. (2001). Dagslys og kunstig belysning i skoler. In P. Blichfeldt et al., *Skolens indeklime trivsel og sikkerhed* (pp. 14-24) (Skolebyggeri og skolereindretning – hæfte 4). Vejle: Kroghs Forlag.

Rebsdorf, A. V. (1994). *Bevægelsesmeldere til styring af belysningsanlæg: Del 2. Forsøg og model* (Teknisk rapport 340). Lyngby: DEFU.

Rusak, B., Eskes, G. A., & Shaw, S. R. (1996). *Lighting and human health: A review of the literature*. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation, CMHC.

Siegmundfeldt, B. (1992). Arkitektur og kulturoverføring. *Arkitekten*, 94(14), 411-415.

Skindbjerg Kristensen, L. (2001). *Light and learning - a visual approach to daylighting exemplified by a study of the school building*. Seattle, WA: University of Washington, Department of Architecture.

Teller, D. Y. (1997). First glances: The vision of infants. The Friedenwald lecture. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 38(11), 2183-2203.

Undervisningsministeriet. (1993). *Folkeskoleloven*. København: Undervisningsministeriets Forlag.

Undervisningsministeriet. (1994). *Formål og centrale kundskabs- og færdighedsområder – folkeskolens fag*. København: Undervisningsministeriets Forlag.

Undervisningsministeriet. (1997). *Skolebyggeri – med eksempler*. København.

Undervisningsministeriets Byggeforskningsudvalg, & Statens Byggeforskningsinstitut. (1957). *Klasserummet: Funktion og udformning* (Nyt skolebyggeri 5). København: Statens Byggeforskningsinstitut.

Undervisningsministeriets Byggeforskningsudvalg, & Statens Byggeforskningsinstitut. (1959). *Elektrisk lys i klasserum: Synsfunktion, belysning, anlæg* (Nyt skolebyggeri 7). København: Statens Byggeforskningsinstitut.

Valbjørn, O., Laustsen, S., Høwisch, J., Nielsen, O., & Nielsen, P. A. (red.). (2000). *Indeklimahåndbogen* (2. udg.)(SBI-anvisning 196). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Wittchen, K., Johnsen, K., & Grau, K. (2002). *BSim2002: Et integreret edb-værktøj til analyse af indeklima og energiforbrug + vejledning*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Bilag 1: Skolens udvikling - en kort historisk gennemgang

Set i et historisk perspektiv er det tydeligt, at samfundsudviklingen og forskellige perioders særlige holdninger og problemer afspejles i skolebyggeriets udtryk, både funktionelt og arkitektonisk.

I den periode, der i det følgende beskrives, udvikledes Danmark enormt: Feudalsamfundet forvandlede gennem industrialisering og to Verdenskrige til 1950'ernes og 60'ernes velfærdssamfund. 'De glade tressere' blev afløst af 70'ernes energikriser og '80'ernes kartoffelkur', og i 1990'erne slog informationssamfundet for alvor igennem. I et kort tilbageblik redegøres her i store træk for, hvad der tidligere har haft indflydelse på skolernes udformning og hvilke tanker der lå bag, herunder specielt hvordan man har set på betydningen af vinduerne og lyset i skolen.

Overordnet kan dansk skolebyggeris typologiske udvikling inddeles i tre faser:

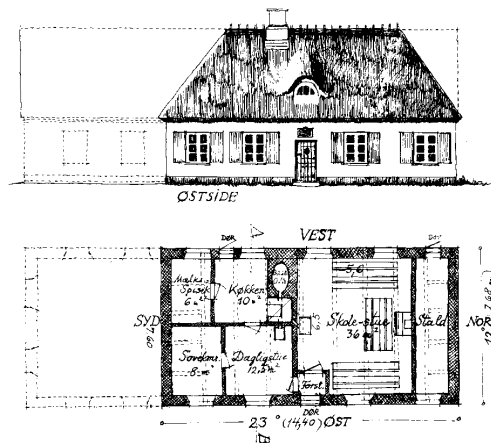
- 1 Skolen på landet (skolestuen)
- 2 Skolen i byen (etageskolen)
- 3 Skolen i landskabet / boligområderne (skoleanlægget/komplekset).

Skolen på landet

Undervisning og lærdom var oprindeligt noget, man forbandt med kirken og teologien, men i Danmark ændrede dette sig i takt med påvirkninger fra tidens skiftende tendenser, bl.a. renæssancen og feudalsamfundets opløsning. De tidligste skoler blev typisk indrettet i et lokale i et almindeligt bondehus, som fx Tycho Brahes skole i Fakse fra 1633, og skolegang var stadig noget, der var forbeholdt de få.

Efter Reformationen iværksattes den første egentligt organiserede opførelse af skoler. Det skete, da Frederik IV påtog sig ansvaret for undervisningen og i årene 1721-27 lod 241 skolebygninger opføre i tilknytning til landets kongelige ryttergodser - de såkaldte Rytterskoler.

De blev bygget efter særlige anvisninger, som bl.a. foreskrev, at bygningen skulle være 'anseligere end almindelige huse', grundmurede og teglhængte. Funktionelt var huset delt i to, døren sad i midten, og der var skolestue til den ene side og lærerbolig til den anden - en rumlig disponering, der blev fremherskende i de følgende godt 100 års landsbyskolebyggeri.



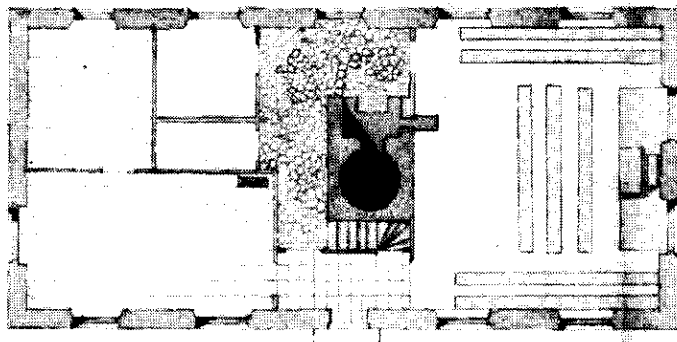
Figur 91. Eksempel på Rytterskole.

Hensigten med de særlige anvisninger var, at skolen skulle udtrykke større autoritet end beboelseshusene, så man kunne se, hvilken betydning landets konge tillagde børnenes opdragelse.

Efter Christian VI's forordninger af 1738 og 1740 var det meningen, at skolesystemet yderligere skulle udbygges: Der skulle bygges en skole i hvert sogn, og skolegang skulle gøres til en forudsætning for, at man kunne blive konfirmeret. Planen var, at skolebygningen skulle være større end de tidligere anlagte, og af hensyn til børnenes helbred skulle der også være højere til loftet. Det ambitiøse program blev dog aldrig gennemført, da statskassen var tom.

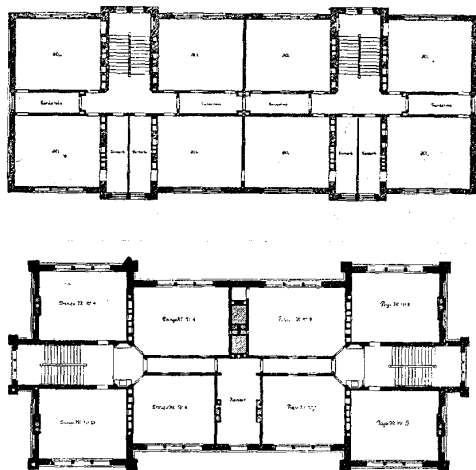
Skolebygningernes udtryk og samfundsmæssige symbolik varierede op gennem 1800-tallet. Generelt bredte der sig gennem hele perioden en stigende bevidsthed omkring indeklimaets indvirkning på indlæringsevnen. Det at lære at tænke selvstændigt krævede en sund krop, som gav overskud til en 'videbegærlig sjæl' - tanken om 'en sund sjæl i et sundt legeme' blev fremherskende. Et godt skolemiljø defineredes således på daværende tidspunkt som 'frisk luft, natur samt tugt', og det var vigtigt, at rammerne var æstetisk korrekte: *"En smuk skolebygning i en enkelt anlagt have er til glæde for sindet og en forudsætning for vellykkede studier* (Home, 1993), bd. II, 4. udg. s. 430). Resultatet af denne holdning blev bl.a., at man i 1828 indførte obligatorisk gymnastikundervisning, hvilket medførte opførelsen af særlige gymnastikhuse.

I et forslag til en skole på Langeland fra 1812 ser man, at vinduerne og lyset har fået en fremtrædende betydning, både sundhedsmæssigt og symbolsk. Lærerens autoritet understreges af to vinduer placeret bag ham, så han let kan se sine elever, som til gengæld oplever ham i let modlys. Klasseværelset som helhed er dog godt disponeret, da det er forsynet med yderligere to vinduer til hver side for at sikre adgang til tilstrækkelige mængder lys og luft. I det hele taget var dette et gennemgående motiv i landsbyskolebyggeriet. Der skulle være højere til loftet end i almindelige huse samt gode lys- og udluftningsmuligheder.



Figur 92. Skole på Langeland.

I 1814 indførtes der en skolelov, som betød generel undervisningspligt for alle børn. Undervisningen var nu et statsligt anliggende. Gennem vedtagelsen af Grundloven i 1847 blev skolens rolle yderligere forstærket. Demokratiet krævede oplysning af folket for at kunne fungere. Dette medførte, at der, i takt med de stigende elevtal, blev stillet større og større krav til skolebygningernes udformning. Den almene interesse for skolebyggeriet var stigende, og der udsendtes adskillige sæt af arkitekttegnede mønstertegninger.

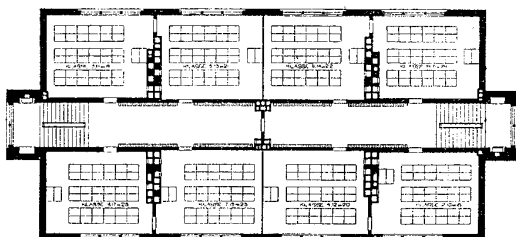


Figur 94. planer af Rådmandsgades skole og Matthæusgade skole, København, med adskilte pige- og drengeafsnit.

Specielt gang- og trappeforhold fik stor betydning, da det var vigtigt, at al cirkulation kunne foregå i ro og orden. Børnene skulle ikke blandes på vej til deres respektive klasser, og de skulle helst kunne bevæge sig i en jævn strøm uden stilstand nogen steder.

Det arkitektoniske udtryk ændrede sig som en konsekvens af skolens samfundsmæssige rolle. I 1840'erne arbejdede man med en bevidst solid, men afdæmpet arkitektur, da ungdommen endelig ikke skulle gå hen og tro, at de var noget. Til gengæld ændrede byggestilen sig radikalt sidst i århundredet, specielt i byerne. Inspirationen var nu typisk hentet sydfra, og monumentale skoler med søjler, rundbuevinduer og murstik skød op som bevis på håndværksmæssig kunnen og med et symbolsprog, som var et passende udtryk for, at her lærte børnene ikke bare at læse og regne, de fik også respekt for de kulturelle værdier.

Den fremherskende bygningstype blev mellem 1880 og 1900 den såkaldte 'midterkorridorskole' med klasselokalerne placeret til begge sider og typisk to trapper, enten i hver sin ende af korridoren, eller centralt, vinkelret på denne. Da man adskilte piger og drenge, var korridoren oftest spærret med en dør i midten. Flere af disse skolebygninger eksisterer og fungerer stadig den dag i dag i det indre København.



Figur 95. Haderslevgade skole, København, med midterkorridor og adskillelse af piger og drenge.

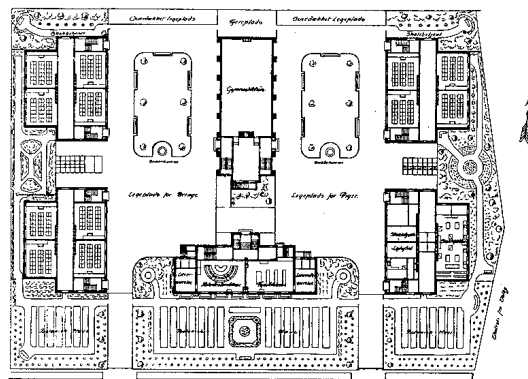
Da man i slutningen af 1800-tallet for alvor blev opmærksom på luftkvalitetens betydning for børnenes helbred, blev midterkorridor-løsningen pludselig anset for at være yderst problematisk. Der var dårlige ventilationsmuligheder i gangene, og den dårlige luft kunne trænge ind i klasselokalerne. Samtidig havde denne planløsning dog den store fordel, at klasselokalerne kunne udnytte facadearealet maksimalt. I perioden 1884-94 blev det derfor almindeligt med forstuer til klasselokalerne - en slags sluser, som skulle løse problemet med den dårlige luft. Disse forstuer udgjorde en næsten umulig opgave for arkitekterne, da kravet var, at de skulle have direkte forbindelse til lys og luft,

samt at adgangen til klassen skulle være enkel og ikke måtte foregå i den ende af lokalet, hvor katederet stod.

Klasselokalet skulle endvidere være indrettet, så pultene havde front mod katederet, lyset skulle komme ind fra venstre (øjnene kunne skades, hvis lyset faldt forkert), og vinduerne skulle vende direkte ud mod det fri og være oplukkelige. Det var hovedsageligt lægerne, der fastlagde kravene om 'det rette lysindfald', vinduernes størrelse (glasareal i forhold til gulvareal skulle være 1:5) (bl.a. Danmarks arkitektur, 1983) samt til luftens indhold af ilt, og det var så arkitekternes opgave at udforme bygningerne derefter.

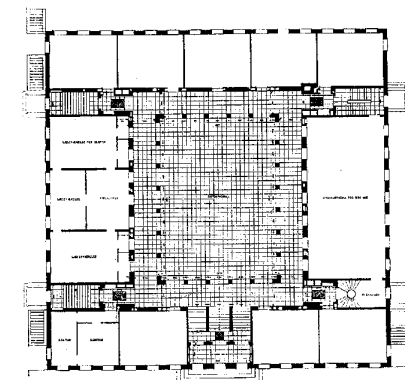
Der var dog ét direktiv, som ikke slog igennem: Et 'øjenhygiejnisk' påbud om en stor, ubrudt vinduesflade, som var afledt af tanken om at 'flimrende' lys var usundt, blev sjældent gennemført. Arkitekterne projekterede med piller og sprosser. Man kan sætte spørgsmålstegn ved, om dette var af æstetiske hensyn, eller om det var de byggetekniske begrænsninger, der her fik betydning. (Det var dengang ret kompliceret at producere og håndtere store stykker glas).

Efter århundredeskiftet blev de massive murstenskolosser afløst af skolebygninger i en lidt mere alsidig udformning, og pavillon-skolen viste sig som et kortvarigt indslag. Denne skoletype var tydeligt inspireret af strømninger fra bl.a. England og udmærkede sig ved, som navnet antyder, at være en gruppe fritliggende bygninger arrangeret, omkring et åbent areal med legeplads og skolehaver. Intentionen var stadig at forebygge sygdomme med masser af lys og luft. Man gik dog bort fra denne type, da den var relativt pladskrævende og ydermere var svær at tilpasse det stigende behov for faglokaler.



Figur 96. Pavillon-skole. Vigerslev skole, København.

En anden skoletype, som dukkede op omkring 1930, var aulaskolen, hvor man ofte udnyttede ovenlys for at bringe dagslyset ind i skolen. Denne type havde været populær især i Mellemeuropa, og selvom den aldrig blev fremherskende, findes der flere fine eksempler, som stadig er i brug i dag, bl.a. Øregård Gymnasium og skolen ved Sundet i København samt Marielyst skole i Gladsaxe.



Figur 97. Plan af Øregård Gymnasium, København.

I 1937 vedtog Folketinget en ny skolelov, som pålagde alle kommuner at gøre skolebygningerne tidssvarende og sørge for, at de var i en sundhedsmæssigt tilfredsstillende stand inden for en periode på 10 år. I takt med den stigende demokratisering dukkede også nye pædagogiske strømninger op, specielt fra Tyskland. Lærers styrke og autoritet skulle ytre sig i kraft af hans viden, ikke spanskkrøret, og børnene skulle motiveres, ikke tuges. Loven nåede dog ikke at få særlig indflydelse før 2. Verdenskrig begyndte.

Skolen i landskabet

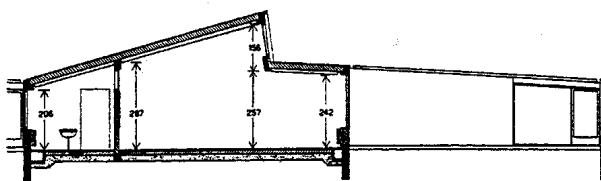
I efterkrigsårene blev mange af landsbyskolerne nedlagt og i stedet opførtes centralskoler i de lidt større byer. Disse skoler var typisk temmelig spartanske med 6-7 klasselokaler, et par faglokaler samt en gymnastiksal. Begrænsede økonomiske midler og rationering af byggematerialer betød, at man fastholdt det kendte klasselokale på 48 m² til 36 elever. Denne disponering muliggjorde i praksis kun én bordopstilling, og undervisningens form begrænsede sig derfor til den på tysk meget rammende betegnelse 'frontal underricht'.

Det økonomiske opsving og de store krigsårgange bevirkede til gengæld, at der i 1950'erne - specielt i nærheden af de større byer - iværksattes et omfattende antal skolebyggerier. Traditionen tro var det landets bedste arkitekter som gav sig i kast med denne opgave. Da befolkningen flyttede til forstæderne, flyttede skolerne naturligt nok med, og bygningstypen skiftede fra 1800-tallets autoritære etageskole til et skoleanlæg, typisk sektioneret, funktionsopdelt og i et plan. De fremherskende typer blev i denne periode variationer af den såkaldte kamskole, hvor klasselokalerne ligger i mindre fløje, der via gangarealer er forbundet med resten af skolen.



Figur 98. Kamskole. Solvangskolen, Farum.

Tendensen til at fokusere på arkitektoniske løsninger af skolens sundhedsmæssige forhold fortsatte til slutningen af 1950'erne, og man kan se interessen for specielt funktionelle facadeløsninger med særlig vægt på dagslysindtagets placering afspejlet i adskillige af efterkrigstidens skolebyggerier.



Figur 99. Snit i klasse. Munkegårdskolen, København.

Det var også i denne periode, at SBI i samarbejde med Undervisningsministeriets Byggedirektorat udarbejdede en serie rapporter/vejledninger under titlen "Nyt skolebyggeri". Den stigende industrialisering havde betydet, at det var blevet billigere og lettere at anvende elektrisk belysning, men ligesom man tidligere havde diskuteret kvaliteten af dagslyset og vinduernes udformning, havde nogle, bl.a. Mogens Voltelen og Poul Henningsen, erkendt, at det samme var nødvendigt med det elektriske lys. Derfor omhandler publikation nr. 7 i denne serie specielt elektrisk lys i klasselokaler.

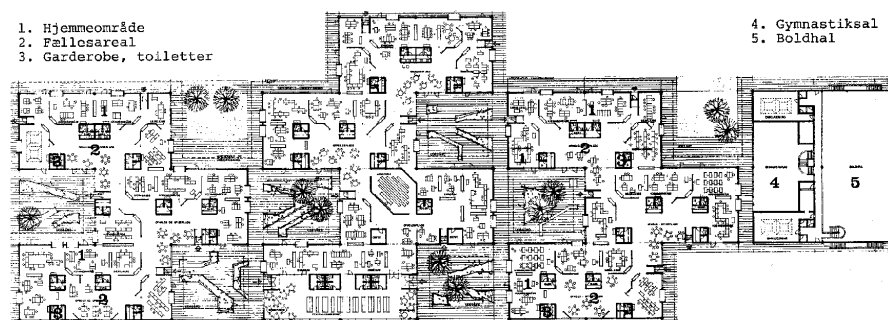
De nyopdagede muligheder i den stigende teknologiske udvikling i byggeriet betød, at man i 1960'erne gradvist holdt op med at interessere sig for skolevindues dagslysformidlende betydning. Vinduet blev generelt et element i facadens æstetiske udtryk. Evnen til at styre indeklimaet, derunder belysningen, var efterhånden på et sådant niveau, at man kunne kompensere for selv de dårligste dagslysforhold, hvilket yderligere var med til at skubbe interessen for disse i baggrunden. Til gengæld voksede bevidstheden omkring de termiske problemer i skolernes indeklima.

Erfaringerne fra funktionalismens byggerier med store sydvendte glasarealer betød, at vinduer nu blev anset som problematiske i forhold til den termiske komfort, og i stedet for, som tidligere, at betragte orientering, vinduer og tilstrækkelig rumhøjde som en mulig løsning, valgte man at reducere vinduesarealet og opføre kostbare, store og avancerede ventilationsanlæg. Samtidig opstod en holdning, som vi stadig kæmper med i dag, nemlig at 'god' skolebelysning er lig med ensartet, jævn belysning med en styrke, som tillader et normalt seende menneske at kunne læse og skrive. Et udgangspunkt, som vanskeliggjorde brugen af dagslys som hovedlyskilde.

Henimod slutningen af 1960'erne begyndte man bl.a. i Sverige og USA ligefrem at eksperimentere med vinduesløse klasselokaler. Fordelene ved denne type skulle være en større fleksibilitet, et fuldt kontrollerbart indeklima samt at man undgik, at børnene blev distraheret af udsigten.

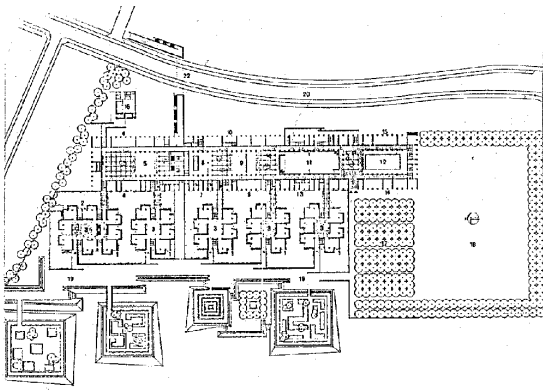
I samme periode eksperimenteredes også, igen i Sverige og USA, med en ny og radikalt anderledes skoletype, den såkaldte åben-plan skole. "Åben-plan skolernes idé og formål var at give maksimale muligheder for forandringer i en kontinuerlig udvikling af skolens undervisnings- og arbejdsformer" (Undervisningsministeriet, 1997).

I begyndelsen af 1970'erne valgte enkelte danske kommuner at afprøve denne type, men den vandt aldrig landsdækkende udbredelse.



Figur 100. Åben-plan skole. Kvaglundskolen, Esbjerg.

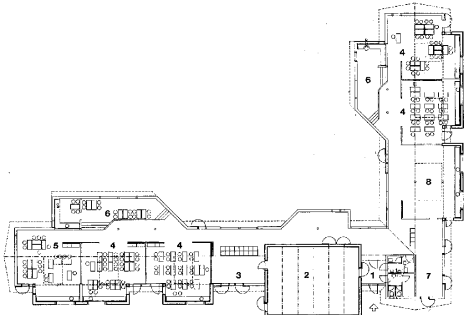
I stedet opstod en 'dansk' version af åben-plan skolen, den såkaldte 'lille skole i den store', hvor klasselokalerne typisk samledes i mindre og, for børnene, mere overskuelige enheder, der så stod i forbindelse med et samlen- de fællesområde med faglokaler, bibliotek, administration m.m. Denne type kom til gengæld til at danne udgangspunkt for stort set alt nyt skolebyggeri helt op til 1990'erne.



Figur 101. Trørød skole, Vedbæk: Den lille skole i den store.

Oliekriserne i 1970'erne kom til at betyde, at det endnu engang gik ud over vinduerne, også i skolerne - nu på grund af varmetabet! Vinduesarealet blev typisk reduceret, der blev lavere til loftet og rumdybden blev forøget for at skabe større rum med mindre facadeareal. Mange af den tids typiske klasselokaler virker i dag både mørke og trykkende.

I 1980'erne skulle der spares på finansloven, samtidig faldt børnetallet drastisk, og skolebyggeriet lå derfor stort set stille. De få nye skoler, der blev bygget, adskiller sig ikke synderligt fra den type, man byggede i 70'erne. Den energibevidsthed, der oprindeligt fulgte i kølvandet på oliekrise, skiftede til gengæld til en mere 'grøn' bevidsthed, affødt af nye begreber som 'drivhuseffekt', CO₂-tal og 'huller i ozonlaget'. Energieffektiv belysning/sparepærer og rudetyper med varmeisolerende belægninger er produkter, som er en direkte konsekvens af dette.



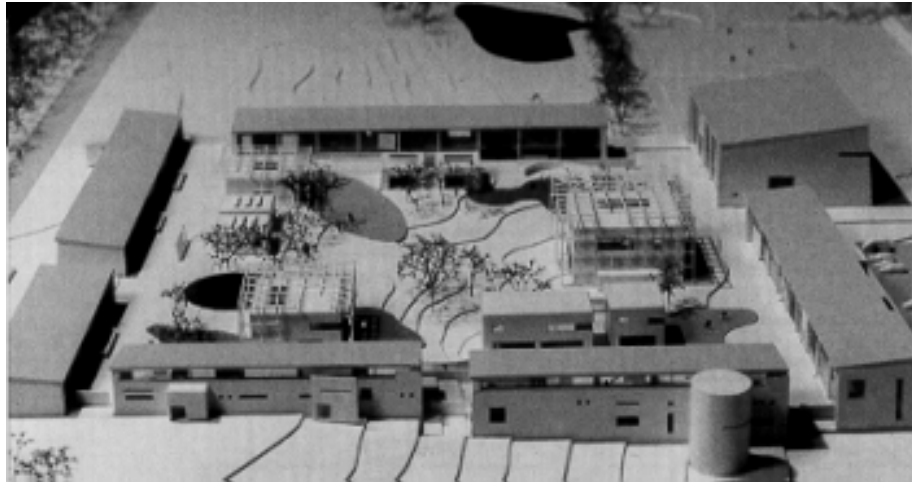
Figur 102. Planudsnit af en af 80'ernes få nybyggede skoler: Stenvadskolen, Farum.

1990'erne blev på mange måder sundhedens og trivselens årti, hvilket i og for sig har betydet et 'comeback' til vinduet og dagslyset, idet man i stigende grad er blevet opmærksom på vinduers positive effekter - først og fremmest at man kan spare energi ved et højere dagslysniveau og ved brug af naturlig ventilation, men også at folk trives bedre indendørs, når de samtidig kan følge med i 'verden udenfor'. Det giver en fornemmelse af både tid og sted.

I 1993 vedtog Folketinget en ny folkeskolelov (Undervisningsministeriet, 1993), som betød ændrede undervisningsformer og integration af IT som en naturlig del af børnenes liv. Det betød nye og anderledes krav til skolens indretning: Fremtidens skole skal først og fremmest være fleksibel på en måde, der kan tilpasses de enkelte undervisningssituationer, og med dette følger også krav om større arealer og rumlig variation. Samtidig er situationen den, at de ældre skolars bygninger stadig skal benyttes, selvom de er utidssvarende og nedslidte, hvorfor de må renoveres, ombygges og suppleres for at følge med udviklingen.

I slutningen af 1990'erne fik diskussionen om folkeskolens form fornyet aktualitet, og Amtscentralen for undervisning udsendte i samarbejde med bl.a. Undervisningsministeriet flere temahæfter som led i debatten. Der blev afholdt konferencer og temadage, og i sensommeren 1999 publiceredes re-

sultaterne af tre konkurrencer om fremtidens folkeskole, henholdsvis en nybygning, en tilbygning og en ombygning, se <http://www.uvm.dk/gammel/nb/-nb9803/konk.htm> . De 21 indkomne forslag vidnede om et stort engagement og indeholdt mange interessante bud på den nye skoles fysiske rammer.



Figur.103. Vinderprojekt til ny Trekroner skole ved Roskilde.

"Der er ingen grund til at tro, at skolens interesse for barnets hygiejne har kulmineret, men måske vil den tage en noget anden retning, efterhånden som en ny generation af sportsvante og friluftsbegjærede skolefolk kommer til at præge den." (citater fra Arkitekten marts/april 1928, s.98).

Bilag 2: Skema til kvalitativ analyse af skolens lysforhold

Eksempel på udfyldt skema

Registrering af oplevede lysforhold på Tjørnegårdsskolen,
Brogårdsvej 64, 2820 Gentofte.

Bygget 1924, renoveret 1992- 95 af Gentofte kommunes byggetekniske afd.

Kontaktperson Kirsten Clausen

umiddelbart indtryk, rumoplevelse og evt. associationer (jf. vejledning under skema) Klasselokale i høj stueetage	Meget højt, næsten kubisk rum, svag blænding fra vinduernes øverste del. Vinduerne sidder for højt, man føler lidt at man sidder nede i en kasse, men de er smukt udformet og giver masser af lys. Godt lys på møbler og ting, men rumfladerne virker for mørke (pga. farven). Rart at man kan se "langt" udenfor, især da rummet føles lidt klemmt.
Omgivelser rummets orientering og udsigt årstid (dato) klokkeslæt vejr	Rummet er orienteret mod vest og har, når man står op, udsigt til asfalteret P-plads med træer af varierende højde og art. Siddende ser man træer, himmel og omkringliggende bygninger; røde tegl og beton (Novo). 02.06.98. kl.13.00 -vekslen mellem gråvejr og drivende sommerskyer med solstrejf og blå himmel.
Rummet størrelse og form overflader (materialer, farver og tekstur) møblering / funktion	Rummet er rektangulært (L 8,20 m. B 6,20 m. H 3,60 m.) med vinduer i hele den ene langvæg (jf. tegninger) Vægge: karrygul plastmaling, mat (ser beskidt ud). Paneler, karme etc.: Hvide Hvidt, småperforeret nedhængt lamelloft (vinkelret på vinduerne) Sorte radiatorer placeret i nicher under vinduerne. <i>(Det er et typisk ældre klasselokale)</i>
Vinduerne Antal Placering størrelse og glastype rammens udformning og materiale evt. afskærmning	3 store vinduer symmetrisk placeret i ca. 30 cm. dybe nicher i vestvendt langvæg, brøstningshøjde 120 cm. Hvert vinduesfag er opdelt i 6 ens rektangulære felter, der alle kan åbnes. Hvert vindue er ca. 168 cm bredt og 230 cm højt. Glas areal pr. vindue 6 felter af 39 x 95 cm. 2-lags termorude "Scan Gobain 2-80". Smukke, profilerede nicher, trærammer og sprosser, hvidmalede med en svag glans. Ingen afskærmning (hvad med mørklægning?)
Kunstlyset armaturtype/ lyskilde placering styresystem/ regulering	4 kassearmaturer til lysstofrør (mørk grå kasse, hvide plastgitre), placeret på langs af lokalet, 2 ved vinduesvæg, 2 ved bagvæg. Derudover et enkelt tavle armatur -2 lysstofrør i forlængelse af hinanden i hvid metalkasse. Lyskilde, i rum: Thorn 36W Pluslux 3000, ved tavle Pope 36W 83. Tændes 2 og 2 på langs, således at armaturerne ved bagvæg tændes (manuel) sammen med tavle belysningen.
Dagslyset lysmængde/styrke (skønnet) himmelgrænseplan forhold ml. direkte og reflekteret lys (kilde) forhold ml. direkte og reflekteret lys (i rum) lysfarve lysfordeling lysretning(er) –evt. zoner	Himmelgrænseplanet ligger meget højt i rummet, også ved bagvæggen, hvor det ligger over døren. Hovedparten af dagslyset er himmellys, lysfarven kølig/hvid. Rummet domineres af det direkte lys fra vinduerne, der er en klar skygge- retning, selv ved bagvæggen. Slagskyggen bliver blødere pga. de mange lysindtag. Der er en jævn lysfordeling hen over gulvet, bortset fra i nicherne under vinduerne, hvor de sorte radiatorer skygger. Lysrummet er næsten lig med det fysiske rum, det vil sige at det opleves som en stor lyszone, der oplyser hele rummet.

rummets anvendelsesmuligheder <i>møblering</i> <i>fleksibilitet?</i>	Møbleringen er i dag opstillet til mundtlig eksamen, samt maleriudstilling ophængt på flytbare tavler. Rummet er ret "låst" pga. sin form og størrelse, men rent lysmæssigt er der gode forhold næsten overalt. Der er ikke nogen zonedifferentiering, hvilket måske gør det lidt kedeligt.
Eventuelt <i>attraktion/distraktion, gener (blænding)</i>	Der kan opstå blændingsgener når man placere sig med front mod vinduet, men det forholdsvis høje generelle lysniveau samt detaljeringen af vinduer og nicher afhjælper dette. Det er gamle lokaler, og de forekommer en anelse små -det store vinduesareal (højden især) kunne sagtens bære et dybere rum.

Vejledende spørgsmål til vurdering af skolens lysforhold

Hvad er det umiddelbare indtryk af rummet og skaber det eventuelle associationer?

Virker lokalet behageligt at opholde sig i? Fremstår det generelt lyst eller dunkelt? Er lysfordelingen ensartet eller varieret? Forekommer dette en fordel eller en gene?

Rumoplevelse: Hvordan føles rummet? Hvilken stemning har det? (Fx aktivt/levende eller passivt/kontemplativt, eller...)

Adgang til lokalet. Rumforløb og relationer

Hvor lyst er lokalet i forhold til det man kommer fra? Er der skift i lysniveauet? Er der skift i hovedlysretningen? Hvor er der lysest? Er der variationer i lysfordelingen? Er det en hensigtsmæssig lysfordeling/balance?

Visuelle forhold i lokalet (generelt)

Indeholder rummet visuelle attraktioner, fx udsigt, farver, arkitektoniske elementer eller detaljer? Er det muligt at kigge langt eller "stirre ud i luften"? (dette kan modvirke træthed i øjnene). Er der elementer, som er visuelt distraherende eller dominerende (dette kan bidrage til hovedpine og træthed i øjnene samt virke forstyrrende for arbejdsprocessen). Er der detaljer eller dele på vinduer eller facader, som u hensigtsmæssigt hindrer dagslysadgangen? Fast eller ufleksibel solafskærmning? Mørke rammer og vinduesomgivelser som skaber vanskelige kontrastforhold?

Rummets anvendelsesmuligheder

Hvilken type undervisning er det beregnet til? Hvordan er forholdet mellem rummets udformning og vinduernes placering? Er rummet fx dybere, end det er langt? (set fra vinduesvæggen) Fordeles dagslyset således, at det skaber fleksibilitet i forbindelse med skiftende arbejdsituationer? Kan rummet møbleres på flere forskellige måder? Hvis "nej", er der i rummet een eller flere hovedsynsretninger? –fx mod tavle, mod vindue, mod bagvæg etc. Hvis "ja", kan rummet samtidigt gøres større eller opdeles i mindre rumligheder? Hvilke hovedsynsretninger skaber de forskellige møbleringsmuligheder?

Beskriv for hver hovedsynsretning

Giver lyset en god og hensigtsmæssig gengivelse af form, farve og tekstur i både rum og på genstande? Hvor let kan man aflæse farver og form på forskeskelige objekter? Hvordan er skyggernes karakter? (hårde/bløde?), Hvordan tegnes tekstur og overflader på materialer? Er det let at aflæse ansigtsudtryk? Læse skrift horisontalt og vertikalt? Se på computerskærm? Er der steder i rummet, hvor den visuelle oplevelse bliver forringet, fx hvor personer eller objekter forekommer dårligt belyst eller fremstår hovedsageligt i silhuet? Er der gener, som fx hårde kontraster, modlys, eller blænding fra vinduer og/eller armaturer?

Suppleres med: tegninger –plan, snit, opstalt og egne skitser
enkel fotoregistrering (vidvinkel)
beregning af dagslysprocent

Registrerede rum: Klasselokale i vestfløj, høj stue. Derudover skitseregistrering af klasselokale med ny loftbelysning, samt andet klasselokale til sammenligning med det registrerede. Kort registrering af aula.

Litteraturhenviisning(er):

Fotoregistrering (film nr.): 9801

Kontaktperson(er): Kirsten Clausen

Foreløbige beregninger: Vindueshøjde over gulv = 350 cm. Rumdybde = 620 cm. Dette betyder at tommelfingerreglen² fint er opfyldt.

Glasareal ($6,67\text{m}^2$) i forhold til gulvareal ($50,8\text{ m}^2$) = ~13%

Kommentarer: I klasselokalet fremstår både hænder, møbler og billeder levende med både god tekstur og farvegengivelse. Kunstlysarmaturerene mangler at blive skiftet i mange af klasselokalerne. I de klasser hvor dette er sket, er belysningen stadig kedelig og ufleksibel, og der mangler tavlelys. Desuden er tændingssekvensen her uhensigtsmæssig idet man enten kan tænde 6 armaturer bagest i lokalet eller 6 fremme. Der er lysstyring med bevægelsesfølere i gymnastiksale og aula, samt på gange og trapper.

Hvis rummene skulle forbedres, burde man sænke brystningshøjden så børnene kan se ud, samt opsætte persienser til fleksibel afskærmning. Et mere fleksibelt tændingssystem, der kan reguleres efter dagslysniveauet, samt bedre armaturer (evt. nedhængt pga. den store lofthøjde) ville hjælpe. Faktisk er tændingssystemet i de gamle lokaler bedre set fra et energimæssigt hensyn. Man kunne med fordel også vælge en lysere vægfarve, specielt til vindues- og bagvæg, da dette ville fremme udnyttelsen af reflekslyset samt modvirke blænding. Skolebetjenten udtrykte derudover ønske om at der også var bevægelsesmeldere i klasselokalerne, da eleverne alt for tit glemmer at slukke efter sig.

Aulaen er et stort aktiv, rent rumligt, men lyset er meget diffust -det er faktisk bedst når man opholder sig i arkaderne omkring selve centralrummet. Der bliver meget hurtigt varmt og det er ikke muligt at åbne gennem atrium taget.

² 2 x vindueshøjde over gulv = den afstand fra vinduesvæggen ind i lokalet, hvor man kan regne med at dagslys vil være en tilstrækkelig lyskilde.