

Lys og evalueringsmetoder for belysning i skoler

LITTERATURSTUDIUM



SINTEF Fag

Claudia Moscoso

Lys og evalueringsmetoder for belysning i skoler

Litteraturstudium

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 91
Claudia Moscoso

Lys og evalueringsmetoder for belysning i skoler
Litteraturstudium

Emneord:
Dagslys, kunstig lys, skoler, skolebelysning

ISSN 1894-1583
ISBN 978-82-536-1761-9 (pdf)

Prosjektnummer: 102023029

Foto/illustrasjon omslag:
Hjemmeområde for 7. trinn ved Ulsmåg skole, Bergen kommune.
Arkitekt: Ola Roald arkitektur.
Foto: Eva Rosa Hollup



© 2022 Forfatterne. Utgitt av SINTEF akademisk forlag
Denne rapporten er publisert med åpen tilgang etter CC BY-lisensen
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

SINTEF akademisk forlag
SINTEF Community
Børrestuveien 3
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 40 00 51 00

www.sintef.no/community
www.sintefbok.no

Forord

Denne rapporten inngår i en serie publikasjoner, rapporter og studier i prosjektet "Morgendagens skoler – et skoleeksempel". Prosjektet pågår fra 2020 til 2023 og er et innovasjonsprosjekt i offentlig sektor, finansiert av Norges Forskningsråd. "Morgendagens skoler" er et samarbeid mellom SINTEF Community, Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) – Institutt for pedagogikk og livslang læring, Tromsø kommune, Bergen kommune, Trondheim kommune og Nordre Follo kommune. Tromsø kommune er prosjekteier. Denne rapporten er en leveranse for milepel 6 i henhold til prosjektets framdriftsplan.

Rapporten presenterer resultater fra en innledende kartlegging av forskningslitteratur om belysning i skoler. Rapporten er delt i kapitler som samler funnene fra litteratur om henholdsvis dagslys og kunstig lys og deres bruk i skoler, samt et avsluttende kapittel som oppsummerer, diskuterer og konkluderer angående de mest relevante metodene for belysningsevaluering i skoler. Dette litteraturstudiet gjennomføres i forkant av lysmålinger i utvalgte skoler i prosjektet (case-studier). Litteraturstudiet gir dermed grunnlag for å etablere den relevante metodikken for å evaluere lys i skolebygg.

Rapporten er skrevet av forsker Claudia T. Moscoso Paredes og er gjennomgått av seniorforsker Anders Homb (arbeidspakkeleder), seniorrådgiver Tore Kolås (faglig kvalitets-sikrer), og av prosjektets styringsgruppe.

Trondheim 01.06. 2022

Claudia T. Moscoso Paredes
Forsker
SINTEF Community

Solvår Wågø
Prosjektleder og seniorforsker
SINTEF Community

Karin Rendahl
Prosjekteier
Tromsø kommune

Sammendrag

Rapporten presenterer resultater fra en kartlegging av forskningslitteratur om belysning i skoler. Hovedformålet er å samle eksisterende kunnskap om effekter av lys (både dagslys og kunstig lys) på skoleelever. Videre presenterer og vurderer rapporten en innledende kartlegging av evalueringsmetoder for belysning i skoler. Kunnskapsinnhenting vil benyttes til å foreslå gode belysningsløsninger i klasserom og gi grunnlag for å etablere den relevante metodikken som trengs for å evaluere lys i skolebygg.

Hovedfunnene i litteraturstudiet er organisert i to hovedkapitler: dagslys og kunstig lys. For hver av disse presenteres lysets egenskaper, krav til belysning i skoler etter norske lover og forskrifter, og effekten denne typen lys har på skoleelever. Rapporten presenterer litteratur fra de siste 20 årene, og avsluttes med en generell diskusjon basert på hovedfunnene og de aktuelle evalueringsmetoder for skolebelysning.

Resultatene viser i korte trekk at vindusareal, vindusorientering, type solskjerming, belysningsstyrke og lysfordeling i rommet og rommets overflater er blant de viktigste parametere for å evaluere dagslys i klasserom. For analyse av kunstig lys i klasserom bør man også evaluere andre parametere som belysningsstyrke, fargetemperatur, luminans av overflater og flimmer.

Summary

This report presents the results from a literature review of scientific research on lighting in schools. The main purpose is to gather existing knowledge about the effects of light (both daylight and artificial light) on school children. Furthermore, the report presents an initial mapping of evaluation methods for lighting in schools. The knowledge acquired by this literature review will be used as a basis to propose better lighting in classrooms and provide a basis for establishing the relevant method needed to assess lighting in school buildings.

The main findings of the literature study are organized into two main chapters: daylight and artificial light. For each of these it is presented their properties, the requirements for lighting in schools according to Norwegian laws and regulations, and the effect each type of light has on school students. The report presents literature from the last 20 years and concludes with a general discussion based on the main findings and the current evaluation methods for school lighting.

The results briefly show that window area, window orientation, type of sun protection, lighting intensity and light distribution in the room and the surface of the room are among the most important parameters for assessing daylight in the classroom. For analysis of artificial light in classrooms, one should also consider other parameters such as illuminance, colour temperature, luminance of surfaces and flicker.

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
SUMMARY	4
1 INNLEDNING	7
1.1 BAKGRUNN.....	7
1.2 OM DENNE RAPPORTEN.....	8
1.3 METODE	8
1.4 SENTRALE BEGREPER.....	9
2 LYS OG MENNESKER	11
3 BELYSNING I LÆRINGSMILJØER	13
4 DAGSLYS	15
4.1 EGENSKAPER	15
4.2 KRAV TIL DAGSLYS I SKOLER.....	16
4.3 EFFEKT AV DAGSLYS PÅ SKOLEELEVER	17
5 KUNSTIG LYS	21
5.1 EGENSKAPER OG LYSKILDER	21
5.2 KRAV TIL KUNSTIG BELYSNING I SKOLER	22
5.3 EFFEKT AV KUNSTIG LYS PÅ SKOLEELEVER	23
6 METODER FOR EVALUERING AV LYS OG BELYSNING I SKOLER	27
7 KONKLUDERENDE DISKUSJON	31
8 REFERANSER.....	33



Figur 1
Kommunikasjonsareal
Holen skole, Bergen.
Arkitekt:
Arkitektgruppen Cubus
Foto: Bergen kommune

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

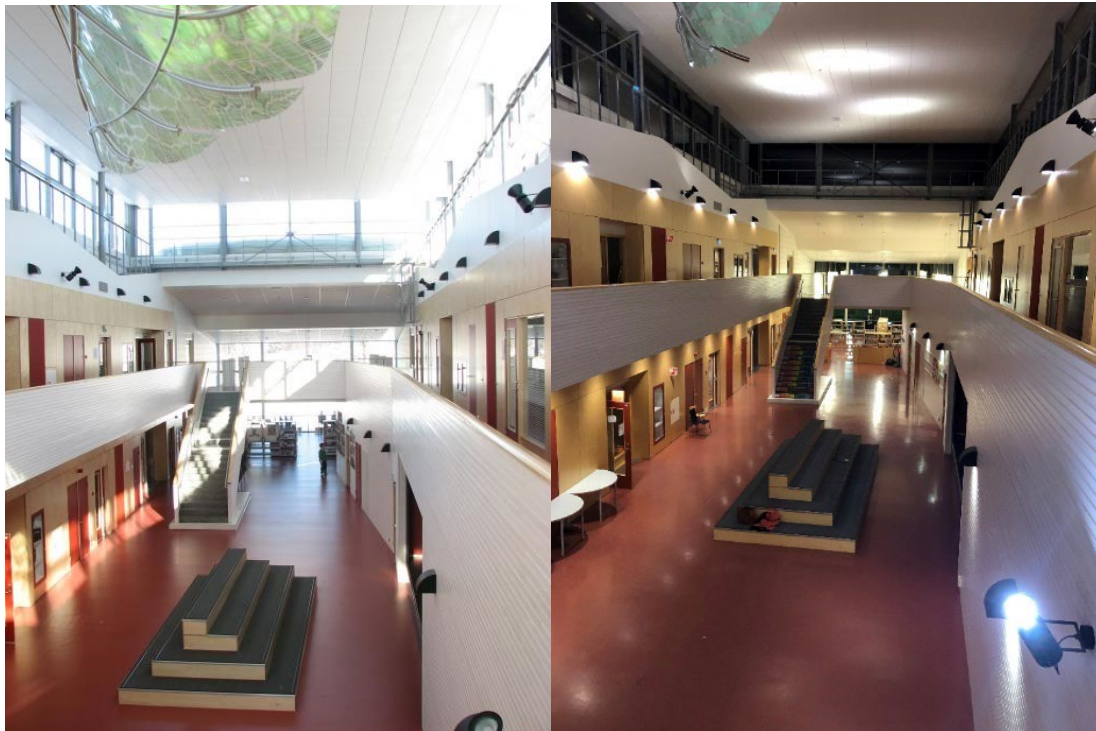
Fem menneskelige sanser er tradisjonelt anerkjent. Av disse fem er synet sannsynligvis den viktigste sansen for å knytte en person til omgivelsene sine. Omtrent 60 % av alle nervefibrene som tilknytter sensoriske organer til hjernen, er plassert i øynene (Valberg, 2005). Det er ikke overraskende at synet er sansen som via det visuelle systemet har mer kapasitet til å motta, tolke og forstå informasjon enn andre sanser. For å kunne motta informasjon fra objekter som vi ser, er tre elementer nødvendige: øyet, objektet og lys. Lys lar oss behandle informasjonen, og senere fører behandlingen av informasjon til en tolkning av det vi ser.

Både dagslys og kunstig belysning kan bidra til å aktivere vårt visuelle system. Det vil naturligvis være store forskjeller mellom disse to hovedtypene av belysning, spesielt når det gjelder dagslysets variasjoner i belysningsstyrke og fargetemperatur. Utendørs kan dagslys oppnå rundt 100,000 lux med direkte sollys og mellom 3,000 og 18,000 lux med diffust himmellys, og nivået vil naturligvis variere mye gjennom døgnet. I overskyet vær vil dagslysnivået innendørs typisk være bare noen få prosent av nivået utendørs, og dagslysnivået er sterkt avhengig av lokasjonen, som for eksempel avstanden fra fasadevinduer. For kunstig belysning er det normalt ikke forventet mer enn 500 lux innendørs, og tradisjonelt vil belysningsnivået med kunstig belysning være mer eller mindre det samme overalt, uavhengig av tid på døgnet.

Et annet viktig aspekt er at begge lyskildene er forskjellige med hensyn til innfallsretning og hvordan lyset kommer inn i et areal. Dagslyset er avhengig av dagslysåpninger i et bygg. Dagslys fra fasadevinduer har typisk en horisontal eller diagonal retning, mens kunstig belysning tradisjonelt gir en mer vertikal belysningsretning. Direkte sollys er også en svært rettet belysning som gir skarpe skygger, mens kunstig belysning ofte er mer diffus eller kommer fra flere steder slik at skyggene blir delvis visket ut. Dette innebærer at typen belysning (dagslys eller kunstig) kan være med på å påvirke hvordan vi ser og oppfatter både rom, personer og objekter, se eksempel i figur 2.

Det fins mye kunnskap om effekten av belysning på arbeidsplasser for voksne, og mye er også undersøkt når det gjelder belysning i klasserom for barn. Dette er to forskjellige områder som ikke bare omfatter forskjellige brukere, men også svært forskjellige bruksmønstre. Anbefalinger for god belysning på en arbeidsplass kan derfor ikke overføres til et klasserom. De visuelle kravene varierer etter aktivitetene som foregår der. Mens det er en større variasjon av aktiviteter i et klasserom (for eksempel nærlesing og skriving, eller lesing fra en tavle noen meter unna), er det i cellekontorer vanligvis nødvendig med belysning som også gir tilfredsstillende visuelle forhold for dataskjermer. Det er dermed ikke naturlig å bruke resultater og anbefalinger for arbeidsplasser i en skolesammenheng.

Lys vil også påvirke de fysiologiske prosessene og gi ikke-visuelle effekter, for eksempel påvirker lyset søvnsyklusen og nivået av stress. Døgnet 24-timers lys-mørke-syklus påvirker behovet for dagslys og kunstig lys for å imøtekomme de menneskelige behovene, og dette er også viktig for skoleelever. Spørsmålet er nemlig hvor viktig lys er for skoleelever, og hvordan lys (både dagslys og kunstig lys) kan bidra til å gi gode rom å oppholde seg i, som støtter vårt visuelle system og som bidrar til læring og trivsel.



Figur 2
Forskjell i persepsjon av foajeen i Fagereng skole i Tromsø med dagslys om sommeren (til venstre) og med kunstig lys om vinteren (til høyre). Arkitekt: Fråne Hederus Malmström Arkitekter AB og Arkitektlaget as. Foto: HMXW arkitekter og Solvår Wågø, SINTEF Community

1.2 Om denne rapporten

Denne rapporten presenterer resultater fra en kartlegging av forskningslitteratur om belysning i skoler. Litteraturstudien er gjennomført som et ledd i hovedprosjektet "Morgendagens skoler – et skoleeksempel". Målet er først og fremst å finne dokumentasjon og evidens i litteraturen for å avdekke hvordan lys (både dagslys og kunstig lys) påvirker skoleelever i barne- og ungdomsskoler, og hvilke parametere som er viktige for at et klasserom vurderes som godt belyst og kan tilfredsstille alle lysrelaterte behov hos elevene.

Litteraturgjennomgangen gjennomføres i forkant av en rekke lysmålinger i utvalgte skoler i prosjektet (case-studier). Denne rapporten gir dermed grunnlag for å etablere relevant metodikk for å evaluere lys i skolebygg. Målgrupper for rapporten er kommuner, arkitekter og lysdesignere som planlegger skolebygg.

Kapittel 2 gir en kort introduksjon av lys og viktigheten for mennesker, før kapittel 3 introduserer temaet belysning i læringsmiljøer. Hovedfunnene i litteraturstudiet er sortert i to hovedkapitler (kapittel 4 og 5). Hver av kapitlene gir en kort introduksjon av typen lys (dagslys og kunstig lys), en oversikt over krav i lovverket og presenterer viktige vitenskapelige studier av effekter av både dagslys og kunstig belysning på skoleelever. I tillegg beskriver rapportens kapittel 6 metoder for å vurdere belysningen i skoler.

1.3 Metode

Arbeidet har blitt utført som en litteraturgjennomgang. Litteratursøket ble begrenset til litteratur fra de siste 20 årene. Søk etter litteratur i vitenskapelige databaser ble gjennomført med utvalgte søkeord på norsk og engelsk, for å fange opp litteratur på et internasjonalt nivå.

Søkeordene var for eksempel: *lys, belysning, skoler, læringsmiljø, light, lighting, daylighting, school, learning environments, school children*.

Litteratursøket ble gjennomført i de vitenskapelige databasene som er tilgjengelige gjennom SINTEFs publikasjonsavtaler. Disse databasene inkluderer Scopus¹, Web of Science² og Science Direct³. I tillegg ble Google Scholar⁴ også brukt for å finne konferanseartikler og rapporter av relevante studier. Det er viktig å påpeke at fraværet av informasjon om studier ikke nødvendigvis betyr at disse studiene ikke finnes, men at de ikke ble identifisert i den relativt enkle kartleggingen.

1.4 Sentrale begreper

Tabell 1 gir en oversikt over sentrale begreper som brukes i rapporten, med definisjoner.

Tabell 1. Begreper benyttet i rapporten

Begrep med forkortelse	Definisjon
Belysningsstyrke	Angir hvor mye lys som faller på en flate, oppgis i lux (lx)
Luminans	Angir hvor lys en flate er, måles i candela/m ² (cd/m ²)
Blending	Oppstår med høye luminanser eller store luminanskontraster i synsfeltet
Dagslysfaktor (DF)	Angir hvor stor andel av utendørs belysning som faller på et punkt i et rom, er definert ut fra overskyet himmel
Spektralfordeling (SPD)	Refererer til konsentrasjonen i bølgelengden av fotometriske mengder i en lyskilde. Viser energinivåene til en lyskilde gjennom en rekke bølgelengder av lys
Spatial Daylight Autonomy (sDA)	Beskriver hvor mye av et rom som får tilstrekkelig dagslys. sDA angir den prosentandelen av gulvarealet som får minst 300 lux i minst 50 % av de årlige okkuperte timene
Annual Sunlight Exposure (ASE)	Beskriver hvor mye plass som får for mye direkte sollys. Spesielt måler ASE prosentandelen av gulvarealet som får minst 1000 lux i minst 250 okkuperte timer per år
Useful Daylight Illuminance (UDI)	Brøkdelen av tiden over en dagslysstudieperiode der belysningsstyrken på et punkt ligger mellom utvalgte minimums- og maksimumsnivåer (typisk 100 og 3000 lux)
Daylight Glare Probability (DGP)	En beregning basert på bildeanalyser for å forutsi persepsjonen av ubehagelig blending forårsaket av dagslys
Fargegjengivelsesindeks (CRI)	Beskriver lysets evne til å gjengi farger
Fargetemperatur (CCT)	Angir graden av "gulhet" eller "blåhet" for en hvit lyskilde, måles i Kelvin (K)

¹ www.scopus.com

² www.webofknowledge.com

³ www.sciencedirect.com

⁴ Scholar.google.com

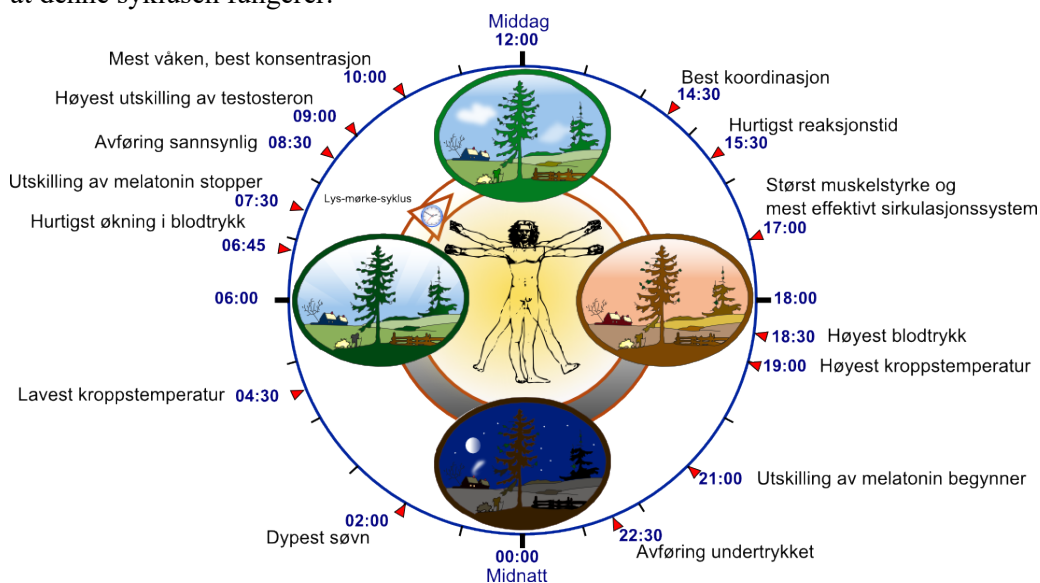
Figur 3
Amfi Hebekk skole,
Nordre Follo. Arkitekt og
foto: Planforum
arkitekter AS



2 Lys og mennesker

Den naturlige lyskilden – dagslys – påvirker alt liv i verden. Lys er elementet som gjør det mulig for mennesker å se, men lyset påvirker ikke bare visuelle funksjoner, men også ikke-visuelle funksjoner. For de visuelle effekter av lys, har mennesker to forskjellige celletyper i øyet (fotoreseptorer: staver og tapper). Disse oppfatter lys og mørke, og begge har spesifikke funksjoner som aktiveres via lys. Stavene, som utgjør rundt 95 % av fotoreseptorene, er aktive når det er lav belysning (skotopisk syn), mens tappene er aktive når det er høy belysning (fotopisk syn) (Valberg, 2005). Selv om det er færre tapper enn staver i øyet, har disse også følsomhet for lysfarge. I tillegg til disse to fotoreseptorene finner man også gangliaceller innenfor øyets netthinne. Selv om disse cellene også aktiveres med lys, bidrar de ikke til synet. Gangliacellene er ansvarlige for å sende informasjon om lys til den biologiske menneskelige klokken, og for å starte andre ikke-visuelle funksjoner, for eksempel pupillens lysrefleks (Hattar, Liao, Takao, Berson, & Yau, 2002).

Som nevnt tidligere påvirker lys også ikke-visuelle funksjoner i mennesket. Lys er direkte relatert til menneskers døgnrytme, det vil si den menneskelige biologiske klokken, se figur 4. Dette systemet tilpasser kroppens funksjon til en 24-timers syklus med lys og mørke, hvor menneskekroppen regulerer søvn mønster, kroppstemperatur og stresshormoner. Dagslyset (omfatter både den totale lysmengden og den spektrale sammensetningen) er avgjørende for at denne syklusen fungerer.



Figur 4
Den menneskelige døgnrytme. Kilde: Wikipedia⁵

Døgnvariasjoner og variasjoner i vær og årstider avgjør tilgangen til dagslyset. For å løse dette ble elektrisk lys et viktig bidrag som tillot en relativ uavhengighet fra dagslyset (Münch et al., 2020). Selv om oppfinnelsen av elektrisk lys bidro til å støtte menneskelige funksjoner (spesielt de visuelle), har bruken av elektrisk lys blitt utvidet på en ukontrollerbar måte. Kunstig belysning brukes ikke lenger bare om natten eller når det er mørkt ute, men også på dagtid, spesielt på steder med stor aktivitet, som på arbeidsplasser og skoler. Dette kan forstyrre den menneskelige biologiske klokken.. Forstyrrelser av den menneskelige biologiske klokken har helsemessige konsekvenser som søvnproblemer (Davies & Smyth, 2017), depresjon (Logan & McClung, 2019), fedme (McHill & Wright, 2017), diabetes (Eckel et al., 2015) og kreft (International Agency for Research on Cancer, 2007).

⁵ Soulkeeper (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Biological_clock_human-no.png), "Biological clock human-no", <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>.

Figur 5
Klasserom på Hebekk
skole, Nordre Follo.
Arkitekt og foto:
Planforum arkitekter AS



3 Belysning i læringsmiljøer

Mennesker tilbringer mesteparten av sin våkne tid innendørs, enten hjemme eller på arbeidsplassen. Også barna i skolealder bruker mest tid på skolen, når de ikke er hjemme. I 2021 var det over 634 000 elever fordelt på 2761 grunnskoler over hele Norge (SSB, 2021). Et skoleår i Norge består av 190 skoledager, hvorav mesteparten av tiden blir brukt inne i et klasserom. Barn i alderen 9–15 år tilbringer i gjennomsnitt kun to timer og 50 minutter av døgnet utendørs (Vaage, 2012). Det er dermed spesielt viktig å forstå hvordan klasserom med tilfredsstillende lysdesign kan bidra til helse, trivsel, læring og personlig utvikling både hos dagens barn og for framtidige generasjoner.

Resultater fra en britisk studie i 2015 ("the HEAD Project") som inkluderte data fra 3766 skoleelever i Storbritannia, viste klar evidens for at godt utformede barneskoler øker barnas akademiske prestasjoner innen lesing, skriving og matematikk. Et spesielt funn var at 16 % av variasjonen i læringsutviklingen over et år var forklart av den fysiske utformingen av klasserommet. Faktorene som ble funnet å ha de største effektene var lys (21 % effekt), luftkvalitet (16 % effekt) og temperatur (12 % effekt). Disse tre faktorene sto altså til sammen for nesten halvparten av læringseffekten. Resultatene viste også at andre rom i skolene ikke var like viktige som klasserommene (Barrett, Zhang, Davies, & Barrett, 2015).

Det har blitt forsket mye på klasserom og aspekter knyttet til innemiljø. I likhet med "the HEAD Project" har mange av disse studiene satt søkelys på bestemte aspekter, for eksempel luftkvalitet, akustikk eller lys. Det er likevel fortsatt mye vi ikke vet. Lysforhold i skoler har blitt studert i forskjellige steder rundt verden, men det har ikke vært noen sammenheng mellom resultatene. Studiene har dessuten brukt kun et lite antall elever. Disse to begrensninger har hindret anvendeligheten av resultatene (Maesano & Annesi-Maesano, 2016). Selv om studiene har blitt gjennomført på forskjellige steder i verden, har svært få studier analysert de spesielle lysforholdene vi har ved skoler i nordiske land, og enda mindre i Norge.

Som tidligere påpekt, er belysning i læringsmiljøer spesielt viktig. Det finnes vitenskapelig evidens for at lys, spesielt dagslys, kan forbedre våkenhet, atferd og kognitive ferdigheter (Bellia, Pedace, & Barbato, 2013; Vandewalle et al., 2006). I tillegg har stress, depresjon og angst blitt funnet å ha en negativ effekt på læringsutvikling hos skolebarn (Costa et al., 2020). Akademisk stress har en negativ effekt også på akademiske ferdigheter, mental helse og trivsel for barn og unge (Mahapatra & Sharma, 2020), og på læringsmotivasjon for ungdommer på videregående nivå (Liu, 2015; Pascoe, Hetrick, & Parker, 2019). Lite tilgang til lys eller dårlig belyste rom kan altså forstyrre både menneskers visuelle og ikke-visuelle funksjoner, og det er derfor viktig å sikre passende, godt opplyste læringsmiljøer som kan støtte læring og gi god fysisk og mental utvikling hos skolebarn. Den europeiske standarden EN 12464-1 (CEN, 2011) gir anbefalinger om dagslysfaktor-verdier avhengig av geografisk plassering i Europa. For eksempel har land fra Nord-Europa høyere verdier sammenlignet med landene i Sør-Europa på grunn av den naturlige nedgangen i tilgjengeligheten av dagslys. I tillegg gir den europeiske standarden anbefalinger om innvendige lysnivåer for skoler, se tabell 2 (VELUX, 2018).

Tabell 2. Anbefalte innvendige lysnivåer for skoler, etter europeisk standard EN 12464-1

Skolerom	Visuelt oppgavenivå	Lysstyrkenivå (lx)
Korridorer	Til bevegelse og uformell persepsjon	100
Klasserom, grupperom, datarom	Ganske enkelt	300
Auditorier, store forelesningssaler, laboratorier, biblioteker, tavler i klasserom	Moderat vanskelig	500

Figur 6
Amfi ved Hebekk skole,
Nordre Follo
Arkitekt og foto:
Planforum arkitekter AS



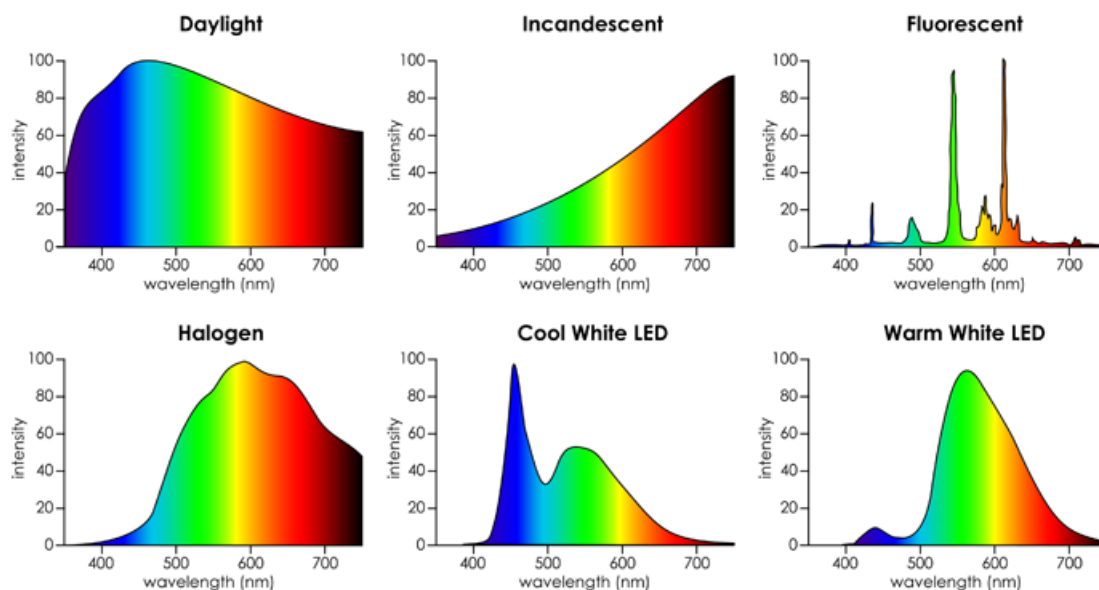
4 Dagslys

4.1 Egenskaper

Av natur har dagslys viktige egenskaper som kunstig lys ikke har. Lysets intensitet, fargetemperatur og retning varierer gjennom døgnet og årstidene, noe som gjør at belysning med dagslys kan skape ukontrollerbare forhold. Disse tre parameterne bidrar derimot ofte til gunstige forhold i et innemiljø og har kvaliteter som kunstig belysning i praksis ikke kan etterligne.

Dagslysets spektralfordeling er relativt jevnt gjennom hele delen av det visuelle spektret, fra 400 nm til 700 nm, se figur 7. Denne kvaliteten kan ikke sammenlignes med de begrensede spektralfordelingene fra ulike typer kunstig lys (Matusiak, 2001).

Lysstrålenes retning avhenger av tid på dagen og andre faktorer som for eksempel solhøyden ved klar himmel. I et innemiljø vil plasseringen og dimensjoneringen av dagslysåpninger påvirke hvordan dagslyset treffer menneskeøyet. Disse kvalitetene av dagslys er gunstige, siden kun en liten prosent av dagslyset kan gi tilfredsstillende belysning inne i bygninger. Den jevne spektralfordelingen gjør at fargegjengivelse og fargediskriminering er meget høy, og variasjoner i lyset skaper gode forhold for kontrast og visuell persepsjon av objekter, personer og rom.



Figur 7

Spektralfordeling for ulike lyskilder. Kilde: www.lightingschool.eu (CC BY 4.0)

Karakteristisk for dagslysforholdene i Norge er et langt breddegradsområde mot nord (som gir lave solhøyder, aldri større enn 55°), et klima med hyppig skydekke (hvor himmellyset dominerer over det upålitelige sollyset), og en relativt ren atmosfære (Lyskultur, 1998). Det er lyse netter om sommeren, og mørke dager om vinteren. De lange og mørke vintermånedene gir et begrenset antall timer med dagslys hver dag, noe som reduserer eksponeringen av blått lys om morgenen.

Variasjoner i dagslyset kan være langsomme eller raske. Disse endringene er ikke en ulempe, snarere tvert imot. Mennesker har en god evne til å tilpasse seg variasjoner i intensitet og farge, og skiftende dagslysforhold er faktisk et viktig aspekt for å skape sunne innemiljøer (Amorim et al., 2020).

Dagslys har derimot også noen ulemper som bør tas i betraktning av arkitekter og designere som planlegger innemiljøer. På grunn av sin ukontrollerbare natur kan blinding, svært ujevn luminansfordeling og kontrast være problematisk i perioder med høy lysintensitet, for eksempel perioder med klar himmel og lave solhøyder i vintermånedene. I disse tilfellene er vindusretning mot nord eller sør en fordel, og vinduer rettet mot øst eller vest bør ha solskjerming for å gi visuell komfort. Høyreflekterende overflater kan også gi sjenerende blinding, noe som bør unngås i klasserom med faste arbeidsplasser (Matusiak, 2001). Direkte solstråling kan også i perioder med mye sol absorberes av rommets flater og forårsake overoppvarming og ukomfortable temperaturforhold.

4.2 Krav til dagslys i skoler

Belysningen i skoler er regulert i den norske loven (FOR-1995-12-01-928, § 20 Belysning). Forskriften krever at belysning i skolens lokaler skal være tilfredsstillende i forhold til bruken som lokalene er planlagt for (Helse- og omsorgsdepartement, 1995). I veilederen til forskriften står det i tillegg at god praksis i skolen forutsetter "tilfredsstillende belysning og tilgang på dagslys i undervisnings- og oppholdsrom" (Helsedirektoratet, 2014).

I byggteknisk forskrift (TEK17) står det at "dagslys er den belysningsformen som vanligvis oppleves å være den beste og mest riktige allmennbelysningen", og dermed at "rom for varig opphold skal ha tilfredsstillende tilgang på dagslys" (Byggteknisk forskrift, 2017). Veiledningen til annet ledd i § 13-7 Lys angir tre alternativer for å beregne og oppfylle kravet til dagslys, hvorav det første alternativet er relevant for skolebygninger. Der står det at "Gjennomsnittlig dagslysfaktor i rommet må være minimum 2,0 %", og at beregningene utføres med bruk av simuleringsverktøy validert i CIE171:2006 og forutsetninger gitt i den norske standarden NS-EN 12464-1:2011. Standarden omhandler imidlertid innendørs arbeidsplasser, og kravene er ikke nødvendigvis overførbare til skoler. I skolebygninger anbefales det imidlertid høyere dagslysfaktor-verdier enn 2 % for å skape godt dagslysnivå (Lyskultur, 2015). I et klasserom er en gjennomsnittlig dagslysfaktor på 2–5 % beskrevet som svakt, da bruk av kunstig lys blir nødvendig mesteparten av året. For læringsmiljøer med tilfredsstillende dagslysnivå, hvor bruk av kunstig lys kan reduseres i store deler av året, er det anbefalt å planlegge med en gjennomsnittlig dagslysfaktor på over 5 % (Lyskultur, 2015).

I tillegg beskriver § 13-8 i TEK17 krav til utsyn: "rom for varig opphold skal ha vindu som gir tilfredsstillende utsyn". Dette innebærer at personer som oppholder seg i et rom skal ha kontakt med det som skjer utendørs. Skoler, som er et byggverk for publikum, må ha minst ett vindu som er plassert maks 1 meter over gulvet.

For å unngå blinding angir veilederen til forskrift om miljørettet helsevern i skoler og barnehager følgende: "Dagslysåpningene og eventuelle reflekterende flater bør ikke gi sjenerende blinding. Blending fra direkte eller reflektert sollys er spesielt viktig å unngå i undervisningsarealer" (Helsedirektoratet, 2014).

4.3 Effekt av dagslys på skoleelever

Dette kapittelet presenterer de viktigste funnene fra studier av dagslys i skoler. Forholdet mellom dagslys og akademiske ferdigheter har blitt betydelig forsket på opp gjennom årene, og resultater viser en klar sammenheng (Edwards & Torcellini, 2002; Plympton, Conway, & Epstein, 2000). I de siste årene har denne sammenhengen også blitt videre analysert, men metoder for vurdering av belysningen har variert. For eksempel har Pellegrino, Cammarano, and Savio (2015) studert oppgraderingen av eksisterende skolebygg som kan tilby komfortable miljøer og redusere energibehovet. I studien har de beregnet dagslysfaktor, *Spatial Daylight Autonomy* (sDA_{300/50%}), *Annual Sunlight Exposure* (ASE_{1000/250h}), *Useful Daylight Illuminance* (UDI), synlig glasstransmittans (T_{vis}) og *Window-to-Floor* arealratio (WFR).

Studier av effekten av dagslys i skoler er en utfordrende oppgave, siden skolene er ulike og selv klasserommene i én og samme skole kan ha ulik planløsning og fysisk utforming. Dette diskuteres av Heschong, Wright, and Okura (2002), som har identifisert de forskjellige dagslysforholdene i ulike skoler, ved hjelp av faktorer som for eksempel vindusareal, glass-transmisjon, design, romforhold, reflekterende flater, vindusorientering, solskjerming, hindringer og lokal klimaforhold. For å kunne løse utfordringen med å studere effekten av dagslyset delte de dagslysforhold inn i tre temaer som deretter ble gradert fra dårlig til utmerket (der 1 er dårlig og 5 er utmerket). Disse tre temaene var vindu, taklys og dagslys.

Når det gjelder studier om hvordan dagslys virker på skoleelever, fant Heschong et al. (2002) at klasserom med store vinduer var assosiert med 15 % til 23 % forbedring av elevenes eksamensresultater, og at tilfredsstillende og jevne lysforhold gjennom året økte de akademiske ferdighetene med 20 % til 26 % sammenlignet med klasserom med lavt dagslysnivå.

Forskjellen mellom klasserom med vinduer (tilfredsstillende dagslysforhold) og uten vinduer har faktisk blitt funnet å påvirke elevers mental helse (Edwards & Torcellini, 2002; Küller & Lindsten, 1992). Küller and Lindsten (1992) studerte barnas helse og oppførsel i klasserom med og uten vinduer gjennom et helt skoleår, og fant at klasserom uten vinduer påvirket kortisolnivået hos barn, noe som er assosiert med helse og konsentrasjon. Klasserom med utilstrekkelig lysdesign kan faktisk dempe barnas evne til å lære siden lys med lav spektralfordeling har blitt funnet å ha en effekt på barnas øyesystem, som igjen kan påvirke tilgangen til visuell informasjon og læringsevne (Dass, Ibrahim, & Lukman, 2014). I tillegg viser forskning at mangel på kortbølget (blått) lys tidlig på morgenen hos elevene har en effekt på hvordan deres biologiske klokke blir aktivert. Figueiro and Rea (2010) undersøkte virkningen av dette blå morgenlyset på elever på 8. trinn, og de viste at mangel på kortbølget lys om morgenen forsinket døgnrytmen hos elevene med omtrent 30 minutter.

På den andre siden er klasserom med tilfredsstillende tilgang på dagslys og sollys assosiert med mindre elevfravær, og med bedre akademiske ferdigheter (Demir, 2013). En studie gjennomført av Kim, Hong, and Kim (2014) undersøkte hvordan andre bygninger nær skolene påvirket dagslystilgangen i skolebygninger i Sør-Korea. Til studien ble det brukt et subjektivt spørreskjema der 71 elever i barne- og ungdomsskoler og videregående skoler skulle bedømme persepsjon og tilfredshet med dagslys i eget klasserom. Resultatene viste at når det var mindre enn 4 timer med dagslys gjennom skoledagen eller mindre enn 2 timer med kontinuerlig dagslys i løpet av skoledagen, var elevers tilfredshet med dagslys lav. Elevene følte også at dagslys påvirket deres læringsmiljø og læringsevne.

Michael and Heracleous (2017) har i sin studie benyttet simuleringer til å analysere typiske klasserom i Kypros med ulike orienteringer (nord, sør, øst og vest). De objektive variablene inkluderte dagslysfaktor, UDI og *Daylight Glare Probability* (DGP) (Wienold & Christoffersen, 2006). De subjektive variablene ble inkludert i et spørreskjema som ble delt ut til både elever og lærere, der de ble bedt om å evaluere visuell komfort når det gjelder: lysstyrke, lysfordeling, blendingsproblemer og naturlig belysningsnivå. Resultatene deres viste at lysstyrke og lysfordeling varierte etter de ulike orienteringene, og at intens blending ble observert i klasserom med vinduer mot øst og vest som ikke hadde tilfredsstillende solskjerming. Selv om deres resultater virker logiske og forventet, var det spesielt å registrere at klasserommene som ble studert hadde lystette gardiner, mest sannsynlig for å hindre blending. Bruken av disse gardinene økte forekomsten av kunstig lys selv i timene med dagslys, noe som ikke var foretrukket av elevene.

Som tidligere nevnt ble det i 2015 gjennomført et omfattende forskningsprosjekt i Storbritannia, som undersøkte ulike faktorer i klasserom og effekten de hadde på elevenes akademiske ferdigheter. Faktoren som ble funnet å ha den største effekten var lys, som kunne forklare 21 % av læringseffekten (Barrett et al., 2015). Forskningsresultatene viser at spesielt to parametere er viktige for å oppnå gode læringsmiljøer: vindusdesign (som omfatter vindusretning og glassareal) og blendingskontroll.

Når det gjelder vindusdesign, viste resultatene følgende anbefalte kriterier:

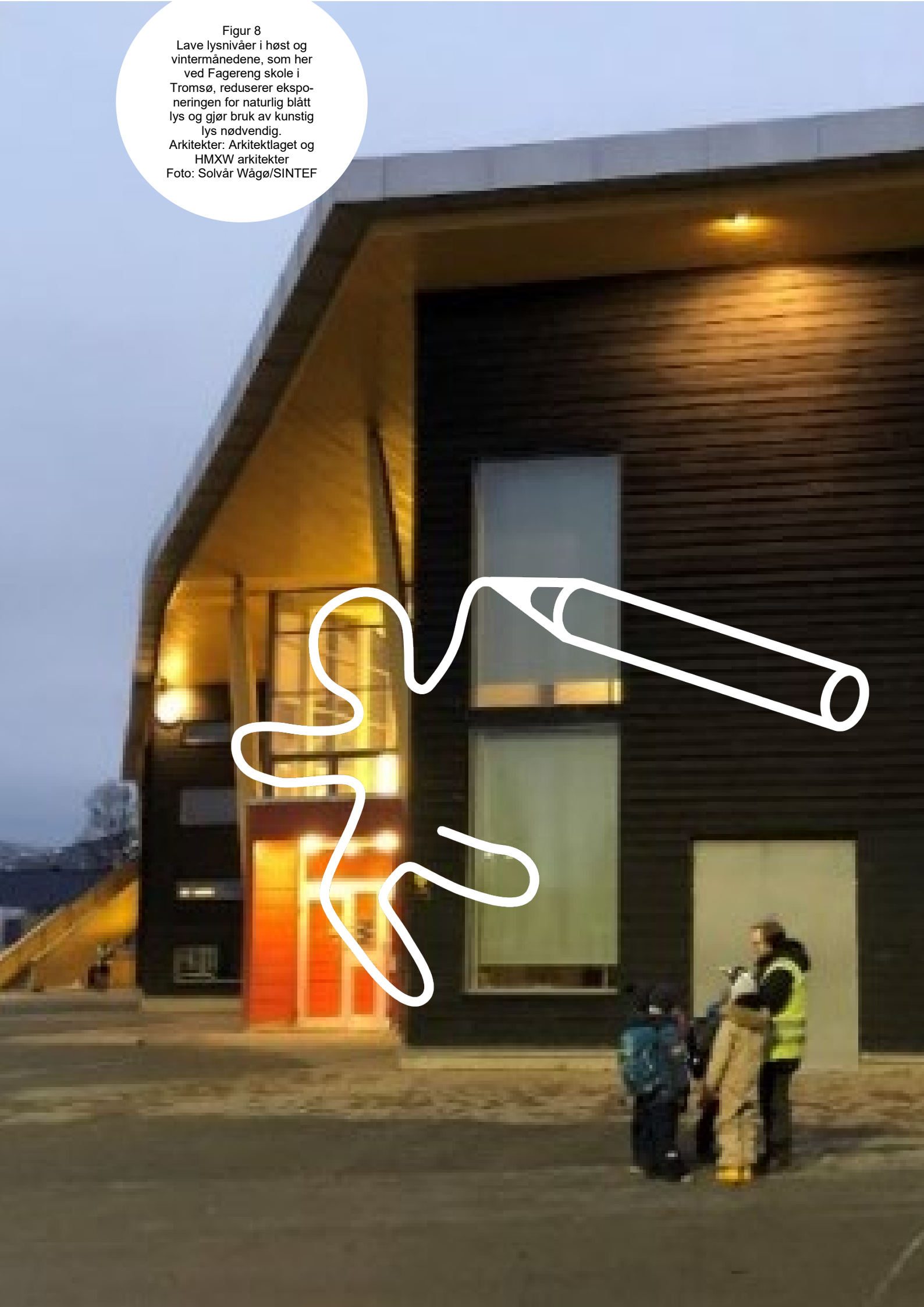
- Store glassarealer mot nord er foretrukket, fordi det gir et jevnere lysnivå gjennom dagen og medfører ikke blendingsproblemer.
- Store glassarealer mot sør bør unngås. Om dette ikke er mulig, bør solskjerming brukes for å kontrollere tilgangen til sollys.

Barrett et al. (2015) anbefaler å bruke innvendige persienner for å skjerme mot blending. Utvendig skjerming (for eksempel utheng) kan også beskytte mot blending fra solbelyste vinduer. Selv om Barrett et al. (2015) også anbefaler at klasserom mot øst og vest kan få rikelig dagslys med lav risiko for blending på vanlige undervisningstider i skolene, er denne anbefalingen ikke aktuell i nordiske forhold. Lave solhøyder i nordiske land gjør at vindusorientering mot øst og vest har risiko for blending og termisk komfort, og en slik vindusorientering bør dermed unngås her. For å skjerme for lave solhøyder fra øst og vest må da brukes flat solskjerming parallelt med vindusglasset (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019). Dette blokkerer i sin tur både for dagslys og utsyn. At orientering ikke kan diskuteres separat fra termisk komfort og energibruk, har blitt påpekt av Dubois et al. (2019). En orientering mot sør i nordiske forhold vil resultere i de høyeste solvarmegevinstene, og dermed må det brukes passende solskjerming.

Et annet stort forskningsprosjekt (SINPHONIE) har undersøkt forholdet mellom dagslys og akademiske ferdigheter i 148 klasserom fordelt på 54 skoler i 23 europeiske land (inkludert Norge), og totalt deltok 2837 elever i alderen 8 til 12 år (Maesano & Annesi-Maesano, 2016). Studien omfattet både kontinuerlige og kategoriske variabler. De kontinuerlige variablene besto av takhøyde, gulvareal, vindusareal, vindusorientering (N, S, V, og Ø), og CO₂-nivå. De kategoriske variablene besto av klasserommenes standardorientering, direkte sollys, type lys, type glass, type solskjerming, solskjermingskontroll, og mulighet til å åpne vinduer. Andre variabler som for eksempel skolenes plassering og årstiden når målingene ble gjennomført, ble også inkludert i studien. Akademiske ferdigheter ble målt via eksamen, som besto av oppgaver i matematikk og logikk. Resultatene fra studien konkluderte med at elever som

jobber i klasserom med store vinduer hadde bedre akademiske ferdigheter sammenlignet med elever i klasserom med mindre vindusareal. Faktorene som bidro mest til variasjon i akademiske ferdigheter, var (fra størst positiv effekt til mindre positiv effekt): vindusareal, type solskjerming, breddegrad og prosentandel av vindusareal mot sør. Disse 4 faktorene kunne forklare 22 % av variasjonen i studentpoeng.

Figur 8
Lave lysnivåer i høst og
vintermånedene, som her
ved Fagereng skole i
Tromsø, reduserer ekspos-
neringen for naturlig blått
lys og gjør bruk av kunstig
lys nødvendig.
Arkitekter: Arkitektlaget og
HMXW arkitekter
Foto: Solvår Wågø/SINTEF

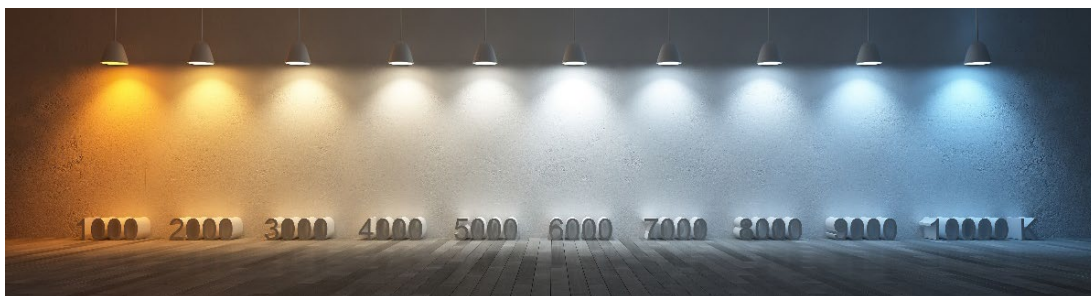


5 Kunstig lys

5.1 Egenskaper og lyskilder

Når dagslys ikke er tilgjengelig, er det naturlig å bruke kunstig lys. Spesielt i Norge og andre nordiske land, som kjennetegnes av lange og mørke vintermåneder med begrenset antall timer med dagslys. I noen norske byer ved høye breddegrader er solen ikke synlig og dagslysnivået er derfor lavere enn normalt. Avstand fra vindu og dagslysets varighet begrenser synsoppgaver i alle innemiljøer. I tilfeller med lavt dagslysnivå er det vanlig også å bruke blandet belysning, det vil si å bruke kunstig lys selv med dagslysbidrag.

Det er flere typer lyskilder som brukes i kunstig belysning, for eksempel lysrør, halogen, neon og LED. De siste årene har LED-teknologien blitt den dominerende lyskilden for de aller fleste belysningsformål. Den største forskjellen mellom kunstig lys og dagslys har blitt diskutert i kapittel 4. Kunstig lys er tradisjonelt kjent for å ha en konstant belysningsstyrke, lysfarge og lysfordeling. Selv om kunstig lys ikke har de samme kvalitetene som dagslys, har mange produsentene av elektriske lyskilder jobbet for å etterligne dagslysets egenskaper. For eksempel har man utviklet nye kunstig belysningsløsninger som inkluderer "variabel belysning". Da kan både belysningsstyrke (lx) og fargetemperatur (K) varieres, det vil si to av de viktigste dagslysparameterne for å aktivere døgnrytmen. En kan argumentere for at variabel belysning er basert på "menneskesentrisk belysning" (engelsk: *Human-centric lighting*), der konseptet er at kunstig lys skal etterligne dagslyset som driver menneskers kroppsfunksjoner. Dette betyr at menneskesentrisk belysning ikke bare tilbyr en løsning for de visuelle funksjonene, men også for de ikke-visuelle funksjonene, for eksempel biologiske og atferdsmessige reaksjoner hos mennesker. Selv om menneskesentrisk belysning har blitt kritisert for å være et begrep brukt kun i markedsføring (Houser, Boyce, Zeitzer, & Herf, 2020), fordi belysning alltid har vært menneskesentrisk (Boyce, 2016), fortsetter begrepet å bli brukt innen kunstig lysdesign.



Figur 9
Fargetemperaturer i kelvin (K), illustrert for kunstig lys. Kilde: yayimages.com

Kunstige lyskilder bør oppfylle spesifikke parametere for å gi visuell komfort. Disse parametere inkluderer modelleringsevne (retningsfordeling til å avdekke tredimensjonale gjenstander) og høy fargegjengivelse (evnen en lyskilde har til å avsløre fargene på forskjellige gjenstander). Selv om kunstig lys er viktig for å aktivere vårt visuelle system og utføre kognitive oppgaver når det ikke er dagslys, har kunstig belysning også sine begrensninger. Flimmer er for eksempel et problem med kunstig lys. Flimmer kan være både synlige og ikke-synlige endringer i lysstyrken til en lyskilde som kan skyldes svingninger i selve lyskilden, eller eksterne årsaker som for eksempel spenningen til strømforsyningen.

Overforbruk av kunstig lys kan også føre til unødvendig energibruk og høye driftskostnader. I utgangspunktet kan bruk av kunstig lys reduseres med et tilfredsstillende dagslysdesign. En

slik løsning har potensialet for energisparing i skoler og er dermed bærekraftig (Matusiak et al., 2021). For eksempel har Bernardo et al. (2017) regnet ut at skoler med tilstrekkelig tilgang på dagslys kan redusere rundt 11,2 % av energiforbruket. Et enda høyere tall har blitt regnet ut i studien til Yu et al. (2014), som ved hjelp av RELUX simuleringer fant ut at for en skole i Storbritannia er årlig energibesparelse mellom 40 % og 46 % kun ved hjelp av å utnytte dagslys. Lignende resultater fikk Delvaeye et al. (2016), som studerte tre ulike dagslyskontrollsystemer i en Belgisk skole. Deres studie fant ut at potensialet for energisparing var mellom 18 % og 46 %. Av flere dagslyskontrollsystemer var det utovervendte dagslyssensorer som produserte høyest energisparing (det vil si 46 %).

5.2 Krav til kunstig belysning i skoler

Som tidligere påpekt har den europeiske standarden EN 12464-1 (CEN, 2011) gitt anbefalte nivåer for innendørs lysstyrke i skoler, se tabell 2. I Norge er belysning i skoler regulert av forskrift for miljørettet helsevern i barnehager og skoler (FOR-1995-12-01-928, § 20 Belysning), som krever tilfredsstillende lysforhold i forhold til bruken som lokalene er planlagt for (Helsedirektoratet, 2014).

Krav til belysningsstyrke er gitt i Norsk Standard 12464-1, som fokuserer spesielt på belysning av vertikale flater. Som tidligere nevnt gir kunstig belysning tradisjonelt en mer vertikal belysningsretning. De nye kravene i standarden er basert på ergonomi og er ment å forbedre forholdene for visuell kommunikasjon. Dette er spesielt viktig i læringsmiljøer hvor tilstrekkelig visuell kommunikasjon er nødvendig. For å forbedre forholdene for visuell kommunikasjon krever normen mer vertikalt lys, det vil si at i tillegg til lys fra taket, bør det også være mer lys på vegger. Det er viktig å påpeke at for mye lys (uansett hvor det kommer fra, enten vertikalt eller horisontalt) kan skape uønskede lysscenarier, for eksempel ved å vaske ut detaljer og redusere modelleringseffekten av personer og objekter. For å bidra til en mer riktig belysning, viser Norsk Standard til sylindrisk belysningsstyrke og forholdet mellom horisontal og sylindrisk belysningsstyrke. Sylindrisk belysningsstyrke (E_z) refererer til gjennomsnittet av alt vertikalt lys på en tenkt sylinder, mens forholdet mellom horisontal og sylindrisk belysningsstyrke refererer til den modelleringseffekten (E_h) som er satt til mellom 0,3–0,6 i normen.

Krav til belysningsstyrke kan også bli funnet i Lyskultur sin lysveileder nr. 20 "Lys i læringsmiljø" (Lyskultur, 2015), se tabell 3. I tabellen refererer UGR_L til øvre grense for blindingstall, U_0 til minimumskrav til jevnhet i belysningen i arbeidsfeltet, og R_a til fargegjengivelsesindeks. Tabellen er en forenklet versjon av de viktigste synsoppgaver i en skole, for eksempel lesing/skriving, tavle og bokhyller. For videre informasjon om andre synsoppgaver (for eksempel kunst eller teknisk tegning) henvises det til Publikasjon 20 fra Lyskultur.

Tabell 3. Krav til belysningen etter funksjoner i klasserom (Lyskultur, 2015)

Synsoppgave	Vedlikeholdt belysningsstyrke (lx)	UGR_L	U_0	R_a
Bokhyller¹	200	19	0,40	80
Lesing/skriving²	300	19	0,60	80
Lesing/skriving – voksen²	500	19	0,60	80
Dataarbeid³	300	19	0,60	80
Tavle⁴	500	19	0,70	80

Noter:

¹ Belysning vertikalt i plan med bokhylle,

² Belysningen bør være kontrollerbar,

³ Armaturluminansen skal ikke være større enn 3000 cd/m² ved bruk av skjerm-luminanser over 200 cd/m², for andre grenseverdier se Norsk Standard og/eller 1B Luxtabell,

⁴ Unngå speilende refleksjoner, særlig i whiteboards/smartboards o.l.

5.3 Effekt av kunstig lys på skoleelever

Det er mørkt vinterstid i Norge, både når barna kommer og går fra skolen. Dette gjør at de får en mangel på blått lys, noe som påvirker aktiveringen av døgnrytmen hos barn. Som tidligere påpekt regulerer døgnrytmen blant annet søvnmonster og stresshormoner. Om døgnrytmen ikke er nok aktivert, for eksempel med søvnmonster, kan det skape problemer med konsentrasjon. Forskning viser at eksponering med blå-beriket hvitt kunstig lys i klasserom støtter elevers kognitive ferdigheter, evaluert med bruk av standardiserte psykologiske tester (Corbett, Middleton, & Arendt, 2012; Keis, Helbig, Streb, & Hille, 2014). I én av studiene ble 32 elever i løpet av fem uker eksponert i et klasserom for blå-beriket hvitt lys med vertikal belyningsstyrke på 300 lx og fargetemperatur (CCT) på 5500 K. En kontrollgruppe på 26 elever brukte et klasserom med standard kunstig lys på 300 lx og CCT på 3000–3500 K. Resultatene viste gunstige effekter av blå-beriket hvitt lys på elevene. Sammenlignet med elevene som ble utsatt for standard kunstig lys, viste elevene raskere kognitiv prosesserings-hastighet og bedre konsentrasjon (Keis et al., 2014).

For å utforske i hvilken grad elever blir utsatt for uheldige lysforhold, analyserte Winterbottom og Wilkins (2009) 90 klasserom i ulike skoler i Storbritannia i løpet av én og en halv sommermåned, når lysstyrken er høyere enn i vintermånedene. Planløsninger med plassering av tavler, arbeidsbord og antall lamper ble tegnet. Gulvareal, antall vinduer og plassering av vinduene ble også merket i tegningene. Resultatene indikerte at 80 % av de analyserte skolene brukte lysrør med umerkelig 100 Hz flimmer, noe som forårsaker hodepine og hindrer visuell komfort. De hvite tavlene presenterte blendende lysflekker med høye luminansverdier, og 88 % av klasserommene var overbelyste (de brukte både dagslys og kunstig belysning samtidig). Disse to faktorer bidro til visuelt ubehag (Winterbottom & Wilkins, 2009). En optimal løsning ville være å bruke kunstig lys kun når det var nødvendig fordi dagslyset ikke lenger var tilgjengelige eller fordi dagslysnivåene var for lave. En slik løsning er imidlertid ikke alltid mulig – for eksempel vil en ikke-tilfredsstillende lysdesign hvor dagslysåpninger ikke leverer nok dagslys til et rom, øke behovet for kunstig lys også på dagtid.

Produsentene av kunstig belysning prøver, som nevnt tidligere, å etterligne kvalitetene og egenskapene til dagslys. Variabel belysning (også kalt dynamisk belysning), basert på kunstig lys med variasjon i både belyningsstyrke (lx) og fargetemperatur (K), er et eksempel av dette. Det fins flere studier av kunstig lys som etterligner dagslyset og deres effekt på skolebarn. For eksempel studerte Barkmann, Wessolowski, and Schulte-Markwort (2012) effekten av variabel belysning hos to skoleklasser på to forskjellige skoler i løpet av ni måneder (totalt fire klasserom, to intervensjonsgrupper og to kontrollgrupper). Studien anses som grundig, siden den inkluderte en evaluering av 30 mulige forstyrrende variabler slik som demografi, fysisk og mental helsetilstand, synshemming, lærevansker, temperatur, arbeidsplass, holdninger, akutte psykiske stressfaktorer (for eksempel konflikter hjemme eller med klassekamerater). Resultatene av studien viste at lese-hastighet og leseforståelsestester (evaluert ved hjelp av ELFE 1-6 test for elever på 4. trinn, og LGVT 6-12 test for elever på 10. trinn) ble betydelig forbedret hos elevene som ble utsatt for variabel belysning. Oppmerksomhet (evaluert ved hjelp av Bricke-kamp d2 *Test of Attention*), motivasjon for prestasjoner og klasseroms-stemning ble hverken forbedret eller forverret. Variabel belysning ble vurdert som positivt og ansett som nyttig av både elever og lærere.

En lignende studie ble gjennomført av Mott, Robinson, Walden, Burnette, and Rutherford (2012), hvor de utforsket effekten av variabel (dynamisk) belysning med 1000 lx og 6500 K hos en gruppe elever på 3. trinn. En kontrollgruppe brukte klasserom med "normal" belysning

(500 lx, 3500 K). Begge gruppene ble studert gjennom et helt skoleår. Ferdigheter innen høytlesing økte for 38 % av elevene med variabel belysning, sammenlignet med kun 18 % for elevene med normal belysning. I likhet med studien av Barkmann et al. (2012), ble det ikke funnet at den variable belysningen hadde effekt hverken på motivasjon eller oppmerksomhetsnivå hos elevene.

Kunstig belysning som er mer kontrollerbar i både belysningsstyrke og fargetemperatur, har blitt studert i stor grad, ikke bare for effekten på akademiske ferdigheter, men også for individuelle- og sosiale ferdigheter. For eksempel har variabel belysning også blitt funnet å redusere rastløshet og aggressiv atferd hos elever i Tyskland. I sin studie brukte Wessolowski, Koenig, Schulte-Markwort, and Barkmann (2014) sju ulike lysforhold med variert belysningsstyrke og temperatur. Disse lysforholdene var som følger:

- *Standard*: 300 lx, 4000 K
- *Focus on the board*: 1000 lx, 4000 K, lys på tavlen og nedtonet belysning i resten av klasserommet
- *Board only*: 1000 lx, 4000 K, kun tavlen er belyst, ikke resten av klasserommet
- *Concentrate*: 600 lx, 5800 K, høyt lysnivå, dagslys-hvitt lys for individuelt arbeid
- *Activate*: 675 lx, 11000 K, høyt lysnivå og høyere nivå av blått lys
- *Relax*: 325 lx, 3500 K, varmere lysfarge enn "Standard"
- *Extreme relax*: 275 lx, 3500 K, for å brukes når det ikke skal leses eller skrives

I tillegg ble det brukt en mer konvensjonell belysning i kontrollgruppene. Belysningen i disse tilfellene presenterte 300 lx og 4000 K. For en grafisk fremstilling av de ulike fargetemperaturene, se figur 8. Videoer ble tatt av elever, og statiske bilder ble laget av videoene. Bildene ble brukt sammen med en piksel-metode for å avdekke bevegelser i elever overkropp, mens de ble bedt om å svare på noen regneøvelser. Denne metoden, sammen med "*Conners Rating Scales*", ble brukt for å evaluere rastløshet hos elevene (på en skala fra 0 til 3, hvor 0 var "ikke i det hele tatt" og 3 var "veldig sterk"). Observasjoner fra forskerne ble brukt til å evaluere både aggressiv atferd og prososial atferd (for eksempel opprettholde kontroll under raseri). Resultatene deres viste at selv om elevene ikke evaluerte seg selv som mindre aggressive eller mer rolige, så var dette likevel tilfelle særlig for de elevene som ble utsatt for lysforholdet *Relax*. Resultatene av studien viste at *Relax*-forholdet reduserte den aggressive atferden og rastløshetsnivået og samtidig økte den prososiale atferden hos elevene. I tillegg diskuterer Wessolowski et al. (2014) at funnene i studien ikke bare kan tilskrives *Relax*-forholdet, men også eksponeringen elevene ble utsatt for med forholdene *Concentrate* og *Activate*, som begge hadde høyt innhold av blått lys. Som tidligere nevnt, fremmer blått lys aktiveringen av døgnrytmen hos mennesker, og det er mulig at det var en synkronisering mellom den biologiske klokken og skolekravene som resulterte i mindre rastløshet.

Forskjellige typer kunstig belysning og effekten den har på skoleelever, har også blitt studert av andre forskere. Gentile, Goven, Laike, and Sjoberg (2018) studerte effekten av lysrør og LED-lamper på elevers stemning og persepsjon i to klasserom i Sverige i løpet av seks måneder. Studiens uavhengige variable var: belysningsstyrke (horisontal, vertikal, sylindrisk), luminans (gjennomsnittlig takluminans og gjennomsnittlig vegggluminans), fargegjengivelsesindeks (CRI), fargetemperatur (CCT) og spektralfordeling (SPD). CRI, CCT og SPD ble målt med et spektroradiometer.

De avhengige variablene var:

- "emosjonell status" (stemning), evaluert med PANAS-skala på 20 elementer og "*Basic Emotional Process Scale*" (BEPS)
- persepsjon av belysning, evaluert ved bruk av bipolar 7-punkts skala
- kortisolnivåer hos elever

To klasserom med godt dagslys ble brukt, og resultatene viste at forskjellene mellom lysrør og LED-lamper var minimale, muligens på grunn av det store dagslysbidraget i klasserommene. Dette gjorde at det var vanskelig å konkludere på om kunstig belysning hadde en reell effekt på elevenes stemning og persepsjon av belysningen. Et interessant resultat var imidlertid at de analyserte nivåene av kortisol (stresshormoner), ble funnet å være mer effektivt regulert av dagslys enn av kunstig belysning. Dette støtter forestillingen om at dagslys er viktig for mennesker. I løpet av de mørke månedene påvirket LED-belysningen dessuten elevenes kortisolnivåer, men det var uklart om det skyldtes lyskildene eller lampenes spektralfordeling.

En annen studie har undersøkt hvordan kunstig lysdesign, i form av smart tilrettelagt lys, har en effekt på elevenes fokusbaserte læringsaktiviteter. Studien ble gjort ved å måle støynivået i klasserom i en dansk skole (Wies van Mil et al., 2018). Studien brukte både standard lysdesign (300 lx lysnivå med en jevnhetsratio på 0,6 under alle timene i bruk), og fokusert lysdesign, som besto av seks ekstra hengende taklamper som tillot lokalt og fokusert lys over arbeidsbordene. Elevene kunne bruke kun fokusert lys eller fokusert lys sammen med standard lysdesign. Lydnivåmålere ble installert hengende i taket og logget støydataene for hver 100 ms i hver skoleaktivitet. Resultatene viste at ved å skape ulike soner med fokusert lys, i motsetning til standard klasserombelysning, gjorde at lydnivået i klasserommene ble redusert i 70 % av de målte tilfellene. Hvor mye støynivået ble redusert, varierte fra 1,4, 1,7 og 2,2 dB i noen tilfeller og over 3 dB i andre tilfeller. Selv om den gjennomsnittlige forbedringen i støynivået ikke var stor, var verdien over den perseptuelle merkbare forskjellen (JND – *just noticeable difference*) 1 dB. I tillegg ble det funnet at denne typen fokusert belysning ser ut til å ha innvirkning på elevene, da den tillater bedre konsentrasjon og dermed støtter læring. Resultatene ble bekreftet av lærerne som syntes at de lavt hengende lampene over arbeidsbordene påvirket elevenes atferd – elevene blir dratt mot lyset, gruppearbeid oppstår i fellesskap under lyset og forstyrrelsene blir mindre (KS, 2020).

Lys hjelper på den tredimensjonale modelleringen av objekter (Zaikina, Matusiak, & Klöckner, 2015), og det har også blitt gjennomført studier av hvordan lys påvirker persepsjonen av møbler i et klasserom. Ortiz, Zhang, and Bluysen (2019) evaluerte seks forskjellige bordflater (brun, gul tre, grå tre, standard, matt og reflekterende hvitt) under tre ulike lysforhold. De tre lysforholdene var basert på variabel belysning: *energizing* (650 lx, 12000 K), *calming* (300 lx, 2900 K) og *focusing* (1000 lx, 6500 K). Data ble samlet blant 290 10-åringer under laboratorieforhold. Resultatene viste at *calming*-forholdet var minst likt av elevene enn generell belysning, og at alle bord med overflater av tre fikk høyere preferanse sammenlignet med de hvite overflatene.

Figur 10
Læringsmiljø ved
Husebyskolene,
Trondheim kommune.
Arkitekter: Filter
arkitekter as og Spinn
arkitekter as.
Foto: Jiri Havran



6 Metoder for evaluering av lys og belysning i skoler

Kartleggingen av tilgjengelig forskningslitteratur viser at forskerne bruker ulike metoder for å evaluere lyskvalitet og lysforhold i skoler. Eksempler på slike metoder er ulike fotometriske målinger, nyere metoder for å unngå blending eller beregning av soleksponering og fargegjengivelse. En metode utviklet i Norge går ut på å regne ut antall meter av fasaden som brukes til undervisningsarealer, såkalt "facade meter per class" (FMC) (Houck, 2015). Metoden innebærer en kategorisering av FMC-verdier. En FMC-verdi mellom 5,5 og 6,5 kan forutsi at det kun er klasserom som får dagslys, og ikke grupperom eller andre undervisningsarealer, mens en FMC-verdi på minst 13 angir at alle klasserom, grupperom og andre undervisningsarealer i stor grad får tilgang til dagslys (Houck, 2013, 2015).

En annen metode har også blitt foreslått for å forutsi belysningsstyrke og beregne innendørs belysningsnivå under kunstig belysning. Beregningene tar også med dagslys, og metoden foreslår å måle belysningsstyrke under fire forhold:

1. persienner opp / kunstig lys på
2. persienner opp / kunstig lys av
3. persienner ned / kunstig lys på
4. persienner ned / kunstig lys av

Metoden prøver å beregne lysnivået i klasserommene og sammenligne dette med kravene fra IES (*Illuminating Engineering Society*) (Megri, Yu, Sobers, & Cooper, 2014).

Målinger av belysningsstyrke og luminans er faktisk to av de mest brukte fotometriske målingene for å analysere lyskvantitet, og det er fortsatt ikke enighet om en metode for å evaluere lyskvalitet innendørs (Kruisselbrink, Dangol, & Rosemann, 2018). En mer omfattende metode for å evaluere lyskvalitet i læringsmiljøer har blitt presentert av Leccese, Salvadori, Rocca, Buratti, and Belloni (2020). Deres metode kalt LQAM (*Lighting quality assessment method*), er basert på et utvalg av lyskriterier, underkriterier og relaterte indikatorer. De fem hovedkriteriene for å evaluere lys er:

1. lyskvantitet (belysningsstyrke, jevnhet i belysningsstyrke, luminansfordeling)
2. blending (ubehagelig blending, overliggende blending, dagslysblending)
3. fargeutseende (fargegjengivelse, fargetemperatur, overflater luminans)
4. fleksibilitet (lysforhold, justering for lysfluks, justering for CCT)
5. sunnhet (tilgjengelighet av dagslys, flimmer, sirkadiske effekter)

Metoden ble validert ved å gjennomføre en subjektiv spørreundersøkelse blant 420 elever i skoler i Italia. Resultatene viste en korrespondanse mellom LQAM-metoden og de subjektive responsene.

Matusiak et al. (2021) utførte også en registrering av lysforhold i ulike typer bygninger, inkludert en skole i Trondheim. Deres evaluering ble gjort i løpet av én dag og inkluderte en visuell registrering av solskjermingselementer (for eksempel gardiner, hvor transmisjonsfaktor ble analysert), kunstige lysegenskaper, fotometriske målinger av vertikal belysningsstyrke av fasade tatt hvert 15. minutt, målinger av innvendig belysningsstyrke i klasserom under tre forhold: kun dagslys, dagslys og kunstig lys, og kun kunstig lys. I tillegg ble CRI, CCT og SPD målt med et spektrometriske, HDR-bilder tatt for å kunne evaluere luminansfordeling i klasserom, og DF og sDA ble beregnet ved hjelp av programvarer for simulering (det vil si Rhinoceros, Grasshopper og DIVA-for-Rhino). Til slutt ble det også

brukt en interessant metode kalt "dagbok". Dagboken var et utviklet skjema for å registrere lærere og elevers aktiviteter knyttet til lys i løpet av en skoledag, for eksempel aktiviteter som å slå på eller av kunstig lys, eller bruk av solskjermingssystemer.

En annen omfattende metode for å evaluere dagslys og/eller lysdesign i bygninger har blitt presentert i en teknisk IEA-rapport utviklet av Dubois et al. (2016). Metoden deres studerer fire nøkkelaspekter:

- energiforbruk
- kostnader ved ettermontering
- fotometrisk evaluering
- brukerevaluering

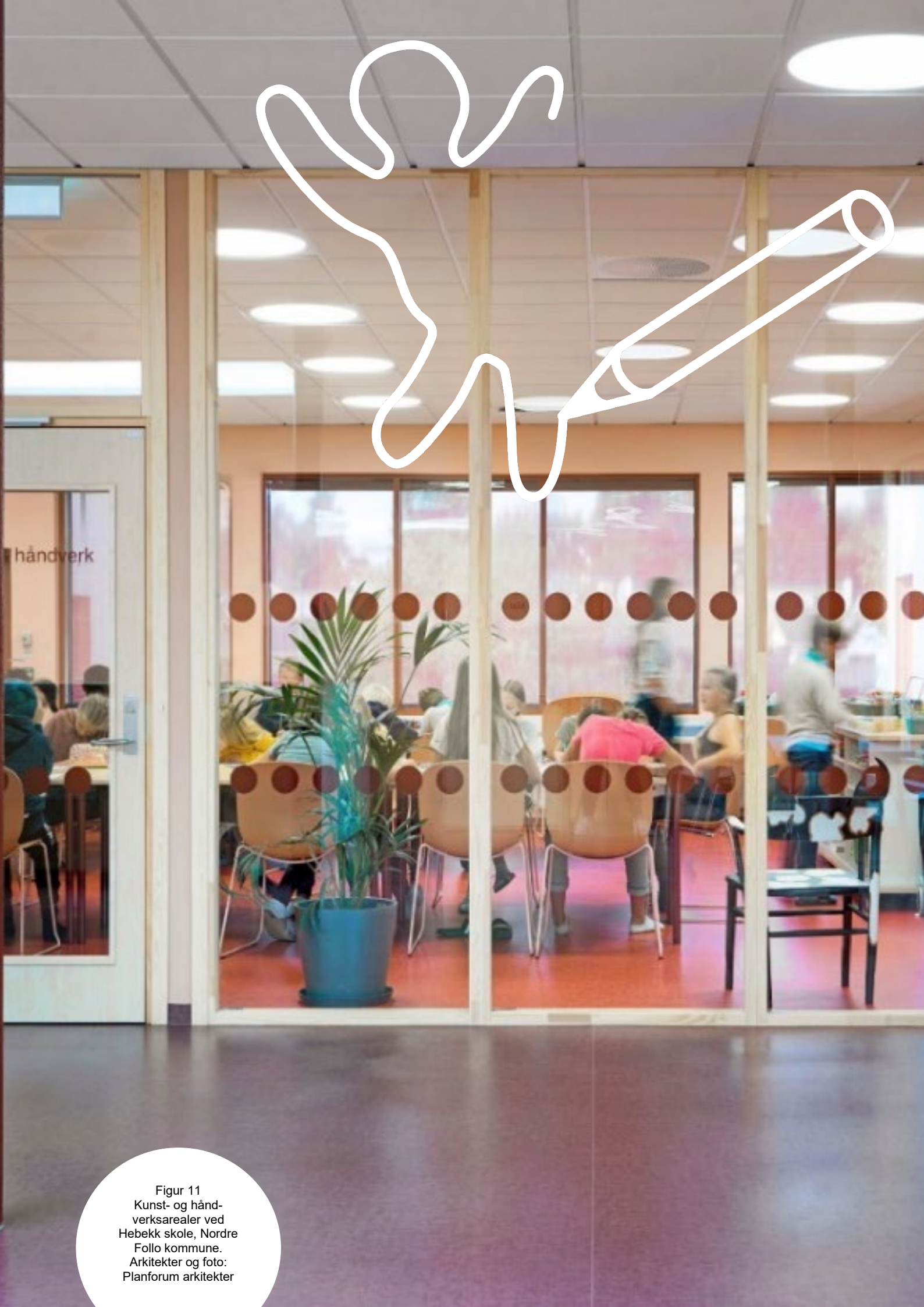
Disse fire nøkkelaspektene blir analysert etter ettermontering av en bygning (grunnleggende evaluering) eller før ettermontering av den samme bygningen (omfattende evaluering). Selv om deres rapport fokuserer på (dags)lys og ettermontering av bygninger, tilbyr deres protokoll for fotometrisk evaluering en detaljert metode for å kunne gjøre en omfattende registrering av lysforhold i skoler. Deres protokoll innebærer sju kriterier direkte relatert til lysforhold og utsyn (Dubois et al., 2016), kategorisert for grunnleggende (G) eller omfattende (O) evaluering, som vist i tabell 4.

Tabell 4.
Nødvendige målinger for fotometrisk vurdering av lysmiljøet, basert på Dubois et al. (2016)

Kriterier	Parametere	G	O
Lysfordeling	Refleksjon av romoverflater Glasstransmisjon HDR ("fisheye") fotografering av spesifikk oppgavestilling Oppgaverelatert punktluminansmålinger ^{a)}		
Belysningsstyrke	Utvendig horisontal global belysningsstyrke (E_{hg}) ^b Utvendig vertikal himmelbelysning på fasaden (E_{vgs}) ^b Innvendig horisontal belysningsstyrke i arbeidsplanhøyde langs en sentral linje ift. vindu (5–6 punkter) og 4 ekstra punkter i mørke hjørner ^{c)} Innvendig horisontal belysningsstyrke i arbeidsplanhøyde iht. et tett rutenett ^{c)} Oppgaverelatert: horisontal belysningsstyrke på oppgave (E_{opp}) ^{c)} Oppgaverelatert: horisontal belysningsstyrke rundt oppgave ($E_{rundt\ opp}$) ^{c)}		
Blending	Observasjoner (solflekker, områder med høy luminans) Observasjon av slørefleksjoner ("veiling reflections") Oppgaverelatert: HDR ("fisheye") fotografering av spesifikk oppgavestilling Oppgaverelatert: Vertikal belysningsstyrke på øyet ($E_{vertikal\ øye}$)		
Lysretning	Fra midten av rommet: observasjoner av skygger Fra midten av rommet: HDR-fotografering av en perfekt diffus hvit sfære Fra midten av rommet: sylindrisk belysningsstyrke		
Farge	Teknisk informasjon om det installerte lyssystemet Farge på hovedoverflater sammenlignet med et fargekart Fra midten av rommet: korrelert fargetemperatur (CCT) Fra midten av rommet: fargegjengivelsesindeks (CRI)		
Flimmer	Observasjoner Teknisk informasjon om det installerte lyssystemet Deteksjon med mobiltelefonenhet og/eller penn-klut metode Kritisk flimmerfusjon (CFF)		
Utsyn	Bilder av utsyn Beskrivelse av scenen som kan ses Glass-til-gulv ratio Glass-til-innervegg ratio Teknisk informasjon om solskjermingssystemer Oppgaverelatert: Bilder av utsikt gjennom vindu(er) fra oppgavestilling		

Noter:

- a) Punktmålinger: vegger (L_{vegg}), tak (L_{tak}), oppgavestilling (L_{opp}), ergorama (synsfelt, L_{ergo}), panorama (L_{pano})
- b) kun under overskyet himmel
- c) under både overskyet og klar himmel med sol



Figur 11
Kunst- og hånd-
verksarealer ved
Hebekk skole, Nordre
Follo kommune.
Arkitekter og foto:
Planforum arkitekter

7 Konkluderende diskusjon

Det finnes vitenskapelig evidens for at lys påvirker blant annet atferd, helse og læring. Derimot finnes det ennå ikke en felles enighet om hva som er et godt opplyst læringsmiljø. Belysning i læringsmiljøer er ulike, delvis fordi lys, og spesielt dagslys, ikke kan kontrolleres og har forskjellige kjennetegn i ulike steder i verden. I Norge er lysforholdene og værforholdene ganske ustabile og avviker fra mange andre steder i verden, og dermed blir evalueringer av lysforholdene her utfordrende. En mer omfattende metode som inkluderer de nordiske forholdene, er dermed nødvendig for å kunne evaluere både lyskvantitet og lyskvalitet i norske skoler.

Det finnes omfattende vitenskapelige bevis på effekten av lys på mennesker, både visuelle og ikke-visuelle (også kalt billedannede og ikke-billedannede effekter) (Samani & Samani, 2012). For skolebarn er lyset spesielt viktig. Lyset har blitt funnet å være et viktig element for å aktivere døgnrytmen og dermed årvåkenhet, kortisolnivå og kognitive ferdigheter. Disse tre funksjonene er grunnleggende for å oppnå læringsevner hos skoleelever. Våre nordiske forhold og de lange vintermånedene reduserer eksponeringen av blått lys om morgenen, noe som har blitt funnet å være nødvendig for å aktivere den biologiske klokken hos mennesker. Fordi lys påvirker elever på ulike områder, er det viktig å forske mer på hvordan lyset kan brukes og iverksettes som pedagogisk virkemiddel i norske skoler.

Selv om lover og forskrifter stiller krav til minimumsverdier for belysning i skoler, viser forskning at disse kravene ikke alltid er nok. For eksempel vil kravene som er assosiert kun med dagslys (som for eksempel dagslysfaktor) beskrive en gjennomsnittlig verdi under overskyet himmel. Dersom et klasserom oppnår minimumskravet i TEK 17 på 2 % DF, eller Lyskulturs anbefaling om 5 % DF, kan det samme klasserommet ha problemer med blinding eller overoppvarming under klar himmel. Samtidig gir kravene til belysning med kunstig lys mangelfull informasjon om lyskildenes fargetemperatur eller om lyskilder bør være kontrollerbare eller ikke. Som påvist i litteraturen påvirker fargetemperaturen til lyskilder den psykologiske og mentale tilstanden og atferden hos elever.

Med bakgrunn i den gjennomgåtte litteraturen i denne rapporten kan vi konkludere slik: For å kunne gjennomføre en helhetlig evaluering av lysforhold i skoler, trengs både kvantitative og kvalitative parametere for både dagslys og kunstig belysning. For de kvantitative parametere kan fotometriske målinger som belysningsstyrke (lx) og luminans (cd/m^2) medvirke til informasjon om lyskvantitet, lysfordeling og jevnhet. Belysningsstyrke brukes for å beregne dagslysfaktor. Samtidig kan luminans brukes til å evaluere luminansfordeling og også hjelpe til å avdekke blendingsproblemer. Flimmer-indeks fra lysarmaturer kan gi informasjon som relateres til visuell komfort. For de kvalitative parametere kan observasjoner av klasserom gjennomføres i perioder med klar himmel for å avdekke blendende kilder, flekker og hvor godt solskjermingssystemer fungerer i klasserommet.

Klasserom og grupperom er sannsynligvis blant de viktigste undervisningsarealene i en skole, som diskutert av Houck (2015). Det er dermed viktig å evaluere planløsningen og den fysiske utformingen for disse læringsmiljøene. Slike evalueringer inkluderer dagslysåpninger (vinduer og eventuelle takvinduer) og deres form, glasstype, orientering, tilgjengelighet av solskjermingssystemer og eventuelle dagslyssystemer. Dagslyssystemer har til hensikt å utnytte dagslyset bedre ved for eksempel å få dagslyset dypere inn i et rom eller ved å fordele lysnivået på en jevnere måte. Eksempler på slike dagslyssystemer inkluderer persiener, lyshyller, laserkuttede paneler, prismatiske elementer og solrettet glass (Kolås, 2013). Selv om disse

elementene kan være inkludert fra designfasen, er det også vanlig at disse innlemmes i et bygg etterpå. Det er da viktig å gjøre en visuell evaluering av slike systemer som ikke nødvendigvis er representert i byggeplanen. I tillegg vil det være en fordel å identifisere møbelplassering, farge og refleksanser av overflater i rommet, plassering av tavler osv. for videre analyser av lysfordeling, kontrast og mulige blendende kilder. Protokollen for registrering av fotometriske faktorer gitt av Dubois et al. (2016), er kanskje én av de mest omfattende metodene for å evaluere lysforhold i bygninger, og som kan brukes for å registrere og evaluere lysforhold i skoler.

Denne rapporten har søkt å finne en passende metode som kan ivareta de viktigste parametrene som bør evalueres for å etablere godt belyste klasserom. Litteraturgjennomgangen kartlegger de viktigste aspektene av lys i skoler og de metodene som kan brukes for å registrere lysforhold i skoler. Denne informasjonen kan senere brukes for å evaluere og vurdere forbedringer i de eksisterende lysforholdene i skoler eller fungere som anbefalinger ved planlegging av nye skoler som støtter læring og trivsel.

8 Referanser

- Amorim, C., Geisler-Moroder, D., Laike, T., Martyniuk-Peczek, J., Matusiak, B., Pohl, W., & Sokol, N. (2020). *Literature review of user needs, toward user requirements*. Retrieved from Technical report: IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77. Integrated Solutions for Daylighting and Electric Lighting.:
- Barkmann, C., Wessolowski, N., & Schulte-Markwort, M. (2012). Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiology & Behavior*, 105, 621-627. doi:10.1016/j.physbeh.2011.09.020
- Barrett, P., Zhang, Y., Davies, F., & Barrett, L. (2015). *Clever Classrooms. Summary report of the HEAD Project (Holistic Evidence and Design)*. Retrieved from Salford, UK: https://docs.wixstatic.com/ugd/902e4a_6aa724a74ba04b46b716e528b92ad7fc.pdf
- Bellia, L., Pedace, A., & Barbato, G. (2013). Lighting in educational environments: An example of a complete analysis of the effects of daylight and electric light on occupants. *Building and Environment*, 68, 50-65. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.005>
- Bernardo, H., Henggeler Antunes, C., Gaspar, A., Dias Pereira, L., & Gameiro da Silva, M. (2017). An approach for energy performance and indoor climate assessment in a Portuguese school building. *Sustainable Cities and Society*, 30, 184-194. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.12.014>
- Boyce, P. (2016). Exploring human-centric lighting. *Lighting Research & Technology*, 48 (2), p. 101. doi:<https://doi.org/10.1177/1477153516634570>
- Byggteknisk forskrift. (2017). *TEK17*.
- CEN. (2011). Light and lighting - lighting of workplaces - Part 1: indoor work places (EN 12464-1-2011). In. Paris, France: European Committee for Standardization.
- Corbett, R., Middleton, B., & Arendt, J. (2012). An hour of bright white light in the early morning improves performance and advances sleep and circadian phase during the Antarctic winter. *Neuroscience Letters*, 525 (2), 146-151.
- Costa, D., Cunha, M., Ferreira, C., Gama, A., Machado-Rodrigues, A., Rosado-Marques, V., . . . Padez, C. (2020). Self-reported symptoms of depression, anxiety and stress in Portuguese primary school-age children. *BMC Psychiatry*, 20 (87). doi:<https://doi.org/10.1186/s12888-020-02498-z>
- Dass, M., Ibrahim, N., & Lukman, N. (2014). Evaluation of daylighting at public school classrooms in Ipoh, Perak. *Alam Cipta*, 71(1), 27-34.
- Davies, T., & Smyth, T. (2017). Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century. *Global Change Biology*, 24 (3), 872-882. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.13927>
- Delvaeye, R., Ryckaert, W., Stroobant, L., Hanselaer, P., Klein, R., & Breesch, H. (2016). Analysis of energy savings of three daylight control systems in a school building by means of monitoring. *Energy and Buildings*, 127, 969-979. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.033>
- Demir, A. (2013). Impact of daylight on student and teacher performance. *Journal of Educational and Instructional Studies in the World*, 3 (1), 1-7.
- Dubois, M.-C., Gentile, N., Amorim, C., Geisler-Moroder, D., Jakobiak, R., Matusiak, B., . . . Stoffer, S. (2016). *Monitoring protocol for lighting and daylighting retrofits. A technical report of Subtask D (Case Studies), T50.D3*. Retrieved from Stuttgart, Germany: www.iea-shc.org
- Dubois, M.-C., Gentile, N., Laike, T., Bournas, I., & Alenius, M. (2019). *Daylighting and lighting under a nordic sky*. Lund, Sweden: Studentlitteratur AB.
- Eckel, R., Depner, C., Perreault, L., Markwald, R., Smith, M., McHill, A., . . . Wright, K. (2015). Morning Circadian Misalignment during Short Sleep Duration Impacts Insulin Sensitivity. *Current Biology*, 25 (22), 3004-3010. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.10.011>
- Edwards, L., & Torcellini, P. (2002). *A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants*. Retrieved from Colorado, US:

- Figueiro, M., & Rea, M. (2010). Lack of short-wavelength light during school day delays dim light melatonin onset (DLMO) in middle school students. *Neuroendocrinology Letters*, 31, 92-96.
- Gentile, N., Goven, T., Laike, T., & Sjöberg, K. (2018). A field study of fluorescent and LED classroom lighting. *Lighting Research & Technology*, 50, 631-651. doi:10.1177/1477153516675911
- Hattar, S., Liao, H.-W., Takao, M., Berson, D., & Yau, K.-W. (2002). Melanopsin-Containing Retinal Ganglion Cells: Architecture, Projections, and Intrinsic Photosensitivity. *Science*, 295 (5557), 1065-1070.
- Helse- og omsorgsdepartement. (1995). *Forskrift om miljørettet helsevern i barnehager og skoler m.v.* Retrieved from <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1995-12-01-928>
- Helsedirektoratet. (2014). *Miljø og helse i skolen. Veileder til forskrift om miljørettet helsevern i barnehager og skoler.* (IS-2073). Oslo, Norge
- Heschong, L., Wright, R., & Okura, S. (2002). Daylighting Impacts on Human Performance in School *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31 (2), 101-114. doi:<https://doi.org/10.1080/00994480.2002.10748396>
- Houck, L. D. (2013). Daylight in schools? *Arkitektur N*, 95(2), 16-25.
- Houck, L. D. (2015). A novel approach on assessing Daylight access in Schools. *Procedia - Economics and Finance*, 21, 40-47. doi:10.1016/S2212-5671(15)00148-3
- Houser, K., Boyce, P., Zeitzer, J., & Herf, M. (2020). Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor? *Lighting Research & Technology*, 53 (2), p. 97-118. doi:<https://doi.org/10.1177/1477153520958448>
- International Agency for Research on Cancer. (2007). *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Retrieved from Lyon 2010: World Health Organisation International Agency for Research on Cancer:
- Keis, O., Helbig, H., Streb, J., & Hille, K. (2014). Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance. *Trends in Neuroscience and Education*, 3, 86-92.
- Kim, T.-w., Hong, W.-h., & Kim, H.-t. (2014). Daylight evaluation for educational facilities established in high-rise housing complexes in Daegu, South Korea. *Building and Environment*, 78, 137-144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.026>
- Kolås, T. (2013). *Performance of Daylight Redirecting Venetian Blinds for Sidelighted Spaces at High Latitudes.* (PhD Thesis). Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Kruisselbrink, T., Dangol, R., & Rosemann, A. (2018). Photometric measurements of lighting quality: An overview. *Building and Environment*, 138, 42-52. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.028>
- KS. (2020). *Design for mangfold. Universell utforming i skoler og barnehager.* Retrieved from Oslo, Norway: <https://www.ks.no/globalassets/fagomrader/velferd/universell-utforming/Design-er-mangfold-F41-WEB.pdf>
- Küller, R., & Lindsten, C. (1992). Health and Behavior of Children in Classrooms with and without windows. *Journal of Environmental Psychology*, 12, 305-317.
- Leccese, F., Salvadori, G., Rocca, M., Buratti, C., & Belloni, E. (2020). A method to assess lighting quality in educational rooms using analytic hierarchy process. *Building and Environment*, 168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106501>
- Liu, Y. (2015). The longitudinal relationship between Chinese high school students' academic stress and academic motivation. *Learning and Individual Differences*, 38, 123-126. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.02.002>
- Logan, R., & McClung, C. (2019). Rhythms of life: circadian disruption and brain disorders across the lifespan. *Nature Reviews Neuroscience*, 20, 49-65. doi:<https://doi.org/10.1038/s41583-018-0088-y>
- Lyskultur. (1998). Dagslys i bygninger. Prosjekteringsveiledning. In Lyskultur (Ed.). Stabekk, Norge.
- Lyskultur. (2015). Lys i læringsmiljø. In Lyskultur (Ed.), *Lysveileder* (Vol. 20). Lysaker, Norge: Lyskultur.

- Maesano, C., & Annesi-Maesano, I. (2016). *Impact of Lighting on School Performance in European Classrooms*. Paper presented at the CLIMA 2016, 12th REHVA World Congress, Aalborg, Denmark.
- Mahapatra, A., & Sharma, P. (2020). Education in times of COVID-19 pandemic: Academic stress and its psychosocial impact on children and adolescents in India. *International Journal of Social Psychiatry*. doi:<https://doi.org/10.1177/0020764020961801>
- Matusiak, B. (2001). *Dagslys i Borgen skole*. Retrieved from SINTEF Bygg og Miljø. Trondheim, Norway:
https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/arkitektur-og-byggteknikk/rapporter/dagslysiborgenskole.pdf
- Matusiak, B., Sibilio, S., Martyniuk-Peczek, J., Amorim, C., Nazari, M., Boucher, M., . . . Laike, T. (2021). *Subtask A: User perspective and requirements - A.2 Use cases*. Retrieved from www.iea-shc.org
- McHill, A., & Wright, K. (2017). Role of sleep and circadian disruption on energy expenditure and in metabolic predisposition to human obesity and metabolic disease. *Obesity Reviews*, 18 (51), 15-24. doi: <https://doi.org/10.1111/obr.12503>
- Megri, A., Yu, Y., Sobers, A., & Cooper, A. (2014). Illuminance evaluation and assessment at three elementary schools. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7 (1), 129-136. doi:10.3844/ajeassp.2014.129.136
- Michael, A., & Heracleous, C. (2017). Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus. *Energy and Buildings*, 140, 443-457. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.087>
- Mott, M., Robinson, D., Walden, A., Burnette, J., & Rutherford, A. (2012). Illuminating the Effects of Dynamic Lighting on Student Learning. *SAGE Open*, 1-9. doi:10.1177/2158244012445585
- Münch, M., Wirz-Justice, A., Brown, S., Kantermann, T., Martiny, K., Stefani, O., . . . Skene, D. (2020). The Role of Daylight for Humans: Gaps in Current Knowledge. *Clocks & Sleep*, 2 (1), 61-85. doi:<https://doi.org/10.3390/clockssleep2010008>
- Ortiz, M., Zhang, D., & Bluysen, P. (2019). *Table top surface appraisal by school children under different lighting conditions tested in the SenseLab*. Paper presented at the CLIMA 2019.
- Pascoe, M., Hetrick, S., & Parker, A. (2019). The impact of stress on students in secondary school and higher education. *International Journal of Adolescence and Youth*, 25 (1), 104-112. doi:<https://doi.org/10.1080/02673843.2019.1596823>
- Pellegrino, A., Cammarano, S., & Savio, V. (2015). *Daylighting for Green Schools: a resource for indoor quality and energy efficiency in educational environments*. Paper presented at the 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015.
- Plympton, P., Conway, S., & Epstein, K. (2000). *Daylighting in Schools: Improving Student Performance and Helath at a Price Schools can Afford*. Paper presented at the American Solar Energy Society Conference, Madison, Wisconsin.
- Samani, S., & Samani, S. (2012). The Impact of Indoor Lighting on Students' Learning Performance in Learning Environments: A knowledge internationalization perspective. *International Journal of Business and Social Science*, 3 (24), 127-136.
- SSB. (2021). *Elevar i grunnskolen*. Statistics Sentralbyrå. Retrieved from <https://www.ssb.no/utdanning/grunnskoler/statistikk/elevar-i-grunnskolen> [Last accessed: 06.04.2022]
- Valberg, A. (2005). *Light Vision Color*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Vandewalle, G., Balteau, E., Phillips, C., Degueldre, C., Moreau, V., Sterpenich, V., . . . Maquet, P. (2006). Daytime Light Exposure Dynamically Enhances Brain Responses. *Current Biology*, 16 (16), 1616-1621. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.06.031>
- VELUX. (2018). *Building Better Schools. Six ways to help our children learn*. In V. Commercial (Ed.). Retrieved from <https://velcdn.azureedge.net/->

</media/vms/inspiration/e-books/building-better-schools/building-better-schools-eng.pdf>

- Vaage, O. F. (2012). *Tidene skifter. Tidsbruk 1971-2010*. Retrieved from <https://www.ssb.no/kultur-og-fritid/artikler-og-publikasjoner/tidene-skifter>
- Wessolowski, N., Koenig, H., Schulte-Markwort, M., & Barkmann, C. (2014). The effect of variable light on the fidgetiness and social behavior of pupils in school. *Journal of Environmental Psychology*, 39, 101-108. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.05.001>
- Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*, 38 (7), 743-757. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.017>
- Wies van Mil, I., Brière, B., Jeong, C.-H., Larsen, O. P., Iversen, A., & Pind, F. (2018). *Noise measurements during focus-based classroom activities as an indication of student's learning with ambient and focused artificial light distribution*. Paper presented at the Euronoise 2018, Crete, Greece.
- Winterbottom, M., & Wilkins, A. (2009). Lighting and discomfort in the classroom. *Journal of Environmental Psychology*, 29, 63-75. doi:10.1016/j.jenvp.2008.11.007
- Yu, X., Su, Y., & Chen, X. (2014). Application of RELUX simulation to investigate energy saving potential from daylighting in a new educational building in UK. *Energy and Buildings*, 74, 191-202. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.024>
- Zaikina, V., Matusiak, B., & Klöckner, C. (2015). Luminance-based measures of shape and detail distinctness of 3D objects as important predictors of light modeling concept. Results of a full-scale study pairing proposed measures with subjective responses. *LEUKOS. The Journal of the Illuminating Engineering Society*, 11 (4), 193-207. doi:<https://doi.org/10.1080/15502724.2015.1024848>

Lys og evalueringsmetoder for belysning i skoler

LITTERATURSTUDIUM

Denne rapporten presenterer resultatene fra en kartlegging av internasjonal forskningslitteratur om belysning i skoler. Hovedformålet er å samle eksisterende kunnskap om hvordan lys (både dagslys og kunstig lys) påvirker elever i barne- og ungdomsskoler. Rapporten vurderer også hvilke metoder som er best egnet for å registrere og evaluere lysforhold i skoler.

Resultatene viser at klasserom med tilfredsstillende lysforhold kan bidra til elevenes helse, trivsel og læring. For å evaluere dagslys i klasserom er de viktigste parameterne blant annet vindusareal, vindusorientering, type solskjerming, belysningsstyrke og lysfordeling i rommet. For å vurdere kunstig belysning i klasserom bør man også evaluere andre parametere som belysningsstyrke, fargetemperatur, luminans av overflater og flimmer.

Kunnskapsinnhenting kan brukes av kommuner, arkitekter og lysdesignere som skal planlegge skolebygg.

Litteraturstudien er gjennomført som et ledd i hovedprosjektet “Morgendagens skoler – et skoleeksempel”. Prosjektet pågår fra 2020 til 2023 og er finansiert av Norges forskningsråd.