

EL-FORSK 348-037

Projektet officielle slutdato: 31. december 2020 - Februar 2021 – Revideret juli 2021.

Sammentænkning af energieffektiv
belysning og akustik-elementer for
bedre rumoplevelse, trivsel og
indlæring i skoler



Af: Christian Flindt, Kasper Fromberg Støttrup & Jakob Markvart

Indhold

| | |
|--|----|
| Projektpartnere og deltagere | 2 |
| Resume (Dansk) | 3 |
| Resume (English)..... | 5 |
| Baggrund | 7 |
| Formål | 7 |
| Hvordan har vi grebet det an? | 7 |
| Designproces..... | 8 |
| Designløsning | 8 |
| VR-test..... | 9 |
| VR testresultater | 10 |
| VR test konklusion | 12 |
| Feltstudie | 12 |
| Feltstudie resultater..... | 12 |
| Projektopssummering og samlet konklusion | 13 |
| Energimæssige betragtninger | 14 |
| Perspektivering | 15 |
| Formidlingsaktiviteter..... | 15 |
| Bilagsliste | 16 |
| Kontakt for mere information..... | 16 |

Projektpartnere og deltagere

| Firma | Deltagere |
|-------------------------|---|
| Christian Flindt Design | Christian Flindt |
| BUILD, AAU | Jakob Markvart Kasper Fromberg Støttrup Nikodem Derengowski |
| FORCE Technology | Rasmus Stahlfest Holck Skov Tore Stegenborg-Andersen Thor Bundgaard Nielsen Christer P. Volk |
| JERICHAU DESIGN | Bodil Jerichau Nielsen |
| Skovbrynet skole | Johnni Larsen |
| Højer Møbler A/S | Mette Lund Petersen |
| FurnX A/S | Heidi Nørgaard Jensen |
| Teamtronic A/S | Poul Nellemose |
| Gabriel A/S | Simon Sønderby Nielsen |

Stor tak til:

EL-Forsk, Dansk Energi Vodroffsvej 59, 1900 Frederiksberg C. for finansiel støtte til projektet og til Ditte Mikkelsen og Dorte Lindholm for projektrelateret sparring.



CHRISTIANFLINDT



Resume (Dansk)

Incitamentet til at udvikle nye belysningsløsninger i de danske folkeskoler er forstærket i takt med nye tiltag ved indførelse af den nye danske skolereform, der kræver mere fleksibilitet af skolernes fysiske rammer. Her stiller en velfungerende helhedsskole blandt andet krav til læringsrum, både mht. akustisk og lys. I forhold til potentialet for energibesparelse inden for belysningsanlæg, er det uundgåeligt at skulle søge mod alternativer til lyskilder, som er under udfasning. Ved skift af belysningsanlæg er det oplagt at vurdere loftløsningen som et hele og optimere både visuelt design, akustik og lys.

Projektets formål har været at udvikle nye loftsløsninger der - ved simpel lysstyring og forbedret lysætning i kombination med akustik-elementer - kan reducere energiforbruget og samtidig højne rumoplevelsen og derved højne indlæring og trivslen i skolen. Projektet ønskede derfor at fremme en helhedsorienteret løsnings-tankegang på indeklimaområdet med fokus på at kombinere lys og akustik.

Designløsning, der var en forudsætning for undersøgelsen, består af et fleksibelt akustisk element med tilhørende LED belysningsarmatur, der med sin lysfordeling både skaber direkte lys for optimale arbejdsforhold, samt reflekteret orienteringslys fra akustikelementerne.

Den samlede effekt, er ud over at den nye kombinations løsning nu overholder gældende krav for både børne- men også voksenundervisning, samtidig med at hele loftfladen nu også visuelt er oplyst, hvilket gør at rummet opleves lysere.

Den bølgeformede struktur, der går igen på både for og bagside af samtlige akustikelementer, er med til visuelt at fremhæve lysets stoflighed ved et graduerende skyggemønster på panelernes belyste flader. Bølgemønsteret giver samtidig forskel i densitet hvilket forsøger at optimere det akustiske miljø, uafhængigt af elevernes og lærers placering i klassen.

Projektet er endt ud i en fysisk fuldskala forsøgssopstilling og test er blevet udført i to sammenlignelige klasseværelser på Skovbrynet Skole i Gladsaxe kommune og en digital tvilling i VR af lokalerne med tilsvarende akustik og visuelt udtryk. VR simuleringer og VR-test med forsøgspartagere er udført i et test-lokale på BUILD (Aalborg Universitet, København).

Resultaterne fra VR-test viser, at designløsningen generelt foretrækkes frem for den forældede loftløsning, men hvilken parameter (akustisk eller visuel) der har størst betydning for den overordnede præference er ud fra data svært at vurdere. Dog er der tendens til at være forskel på både akustisk og visuel præference ved de to placeringer, forsøgspersoner var placeret ved under forsøget (langt fra underviseren, tæt på underviseren). Derudover er der i VR testen en generel tendens til en akustisk præference for designløsningen frem for akustikken i referencelokalet, og at det visuelle miljø har tendens til at påvirke vurderingen af det akustiske miljø.

Energimæssigt var forbruget ikke langt fra den forældede referenceløsning, dog skal det siges at eksisterende belysningsniveauer lå langt fra standardens krav til lys i klasselokaler (reference $E_m=184lx$ - designløsning $E_m=475lx$), hvorfor en besparelse ved sammenligning under samme belysningsstyrke kunne reducere energiforbrug med ca. 47% uden dagslysstyring og ca. 63% med dagslysstyring.

Projektet har fungeret som et pilotprojekt med fokus på en multisensorisk helhedsoplevelse. Det sker ofte at man i forskningsverdenen isolerer sanserne for at undvige fejlkilder, men gør dette

resultaterne mere pålidelige? Projektet har derfor banet vej for en ny strategi med en mere holistisk tilgang. Vi ser derfor at der i flere projekter fremadrettet, vil være større fokus på det "ikke målbare" og multisensoriske, da det sjældent alene er kvantitative værdier, der beskriver verdenen, som vi oplever den.

Denne nyudviklede metode kan i fremtidige projekter, gøre det nemmere at vurdere og rangere en række digitale miljøer/tvillinger med tilhørende lyd og billede, op mod hinanden og op mod deres energiforbrug. På denne måde undgår man store og omkostningstunge fuldskalaforsøg og mockup-forsøg, og minimere derfor risikoen for utilstrækkelige og/eller energitunge belyningsanlæg i fremtiden.

Vi ser derfor at projektet både har bidraget med nyttig viden i sin designløsning, men også i den udarbejdede testmetode. Hvilket i fremtiden giver anledning til nyfortolkning af mere fleksible, funktionelle og æstetiske loftsystemer samt dybere undersøgelser af den udarbejdede testmetode i fremtiden.

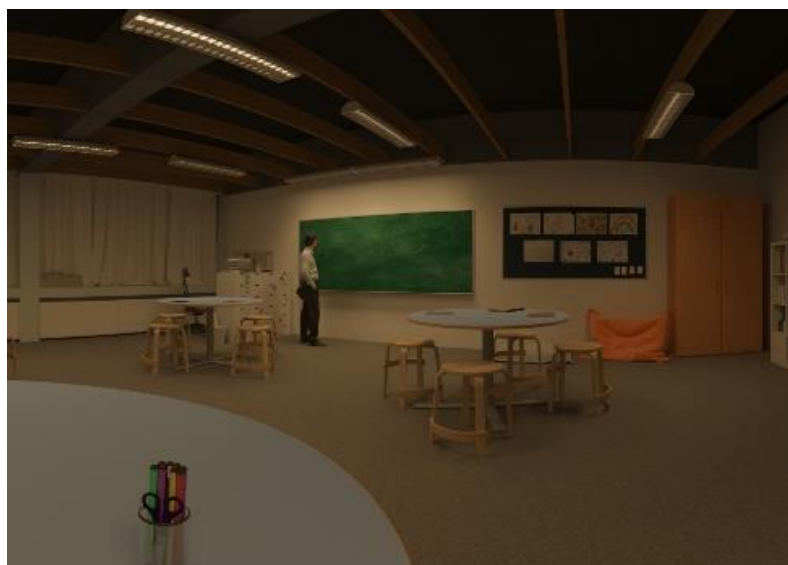


Illustration: Klasselokale på Skovbrynet skole før og efter installation af ny loftløsning. Til venstre ses foto fra de fysiske lokaler og til højre ses kalibrerede visualiseringer af samme rum. ©BUILD

Resume (English)

The incentive to develop new lighting solutions in the Danish primary and lower secondary schools has become more urgent after with the introduction of the new Danish school reform, which requires more flexibility in the schools' physical framework. The new Danish school reform towards a holistic school with a more diverse set of activities places demands on learning spaces, both in terms of acoustics and light. In relation to the potential for energy savings in lighting systems, it is inevitable to have to look for alternatives to light sources that are being phased out. When changing lighting systems, it is obvious to assess the ceiling solution as a whole and optimize both visual design, acoustics and lighting.

The purpose of the project has been to develop new ceiling solutions that - by simple lighting control and improved lighting in combination with acoustic elements - can reduce energy consumption and at the same time increase the space experience and thereby increase learning and well-being in school. The project therefore wanted to promote a holistic solution thinking in the area of indoor climate optimization with a focus on combining light and acoustics.

The design solution that was a prerequisite for the study consists of a flexible acoustic element with an associated LED lighting fixture, which with its light distribution creates a) direct light for optimal working conditions and b) orientational light reflected from the acoustic elements.

The overall effect is, in addition to the fact that the new combi-solution, now complies with the current requirements for both child and adult education, while the entire ceiling surface is now also visually illuminated, which makes the room feel brighter.

The wavy structure, repeated on both the front and back of all acoustic elements, helps to highlight the structure of the light by a faded shadow pattern on the illuminated surfaces of the panels. The wave pattern also gives a difference in the density of the acoustic material, which tries to optimize the acoustic environment, regardless of the placement of students and teachers in the classroom.

The project has ended in a physical full-scale experimental setup and tests have been performed in two comparable classrooms at Skovbrynet School in Gladsaxe municipality and a digital twin in VR of the premises with similar acoustics and visual expression. VR simulations and VR tests with trial participants were performed in a test room at BUILD (Aalborg University, Copenhagen).

The results from VR tests show that the design solution is generally preferred over the outdated ceiling solution, but which parameter (acoustic or visual) has the greatest significance for the overall preference is difficult to assess from the data. However, there tends to be a difference in both acoustic and visual preference at the two locations subjects were placed at during the experiment (far from the instructor, close to the instructor). In addition, in the VR test, there is a general tendency for an acoustic preference for the design solution over the acoustics in the reference room, and that the visual environment tends to influence the assessment of the acoustic environment.

In terms of estimated electricity consumption of the new solution, this was not far from the outdated reference solution, but the lighting levels of the non-renovated room were far from the standard requirements for light in classrooms (reference $E_m = 184\text{lx}$ - design solution $E_m = 475\text{lx}$). A saving by comparison under the same illuminance could reduce energy consumption by ca. 47% without daylight control and approx. 63% with daylight control.

The project has functioned as a pilot project focusing on a multisensory holistic experience. It often happens that in the world of research, the senses are isolated to avoid sources of error, but does this make the results more reliable compared to real scenarios? The project has therefore paved the way for a new strategy with a more holistic approach. We foresee that in more projects in the future, there will be a greater focus on the “not measurable” and multisensory aspects, as it is rarely only quantitative values that describe the world as we experience it.

This newly developed method can in future projects, make it easier to assess and rank several digital environments / twins with associated sound and image, up against each other and up against their energy consumption. In this way, large and costly full-scale experiments and mockup experiments are avoided, and therefore the risk of insufficient and / or energy-intensive lighting systems in the future is minimized.

We therefore see that the project has both contributed useful knowledge in its design solution, but also in the prepared test method. Which in the future gives rise to new interpretations of more flexible, functional, and aesthetic ceiling systems as well as deeper studies of the developed test method in the future.

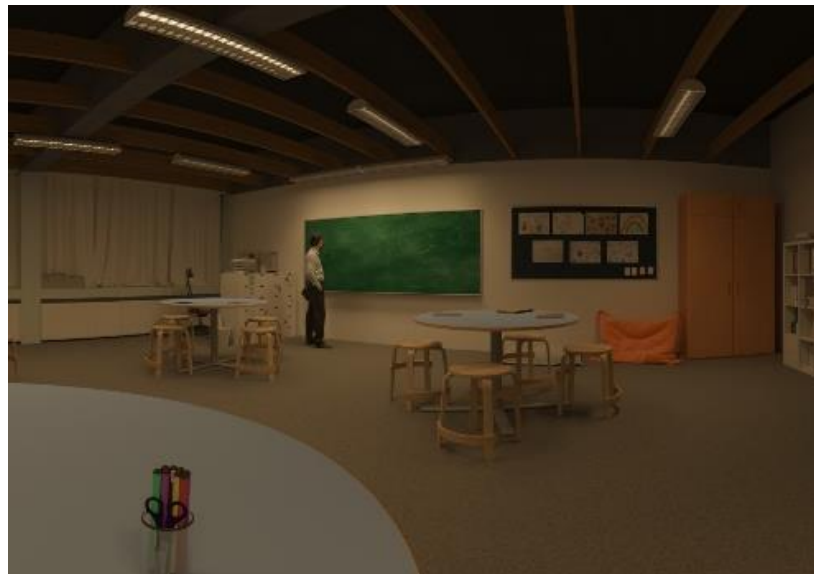


Illustration: Classroom at Skovbrynet school before and after installation of new ceiling solution. To the left is a photo from the physical rooms and to the right are calibrated visualizations of the same room. @BUILD

ELFORSK 348-037

Indlæring i Sammentænkning af energieffektiv belysning og akustik-elementer for bedre rumoplevelse, trivsel og indlæring i skoler.

Sammenfattende slutrapport af: Christian Flindt, Kasper Fromberg Støttrup, Jakob Markvart

Baggrund

Skolereformen og arbejdet mod en velfungerende helhedsskole stiller krav til skolernes læringsrum med hensyn til lys og akustik. Der er stort potentiale i energibesparelser ved at skifte fra ældre til nyere energibesparende lyssystemer, og ved renovering af eksisterede lyssystemer involvere dette typisk lofterne. Eksisterende løsninger hvor loftet anvendes til lys og akustik i kontorer og klasselokaler er relativt dyre og visuelt og designmæssigt ikke inspirerende.

Formål

Projektets formål har været at udvikle nye loftsløsninger der - ved simpel lysstyring og forbedret lyssætning i kombination med akustik-elementer - kan reducere energiforbruget og samtidig højne rumoplevelsen og derved højne indlæring og trivslen i skolen. Vi viser i projektet hvordan LED, med fordel kan integreres på nye måder i akustik-elementer og undersøger samspillet mellem det akustiske og visuelle miljø for dets indvirkning på oplevelsesmæssige parametre.

Hvordan har vi grebet det an?

I forhold til potentialet for energibesparelse indenfor belysning, har vi bevidst arbejdet med at finde en løsning, der vil kunne være et alternativ til de lyskilder, som er under udfasning, herunder lysstofrør. Den forskningsmæssige dimension af projektet var at klarlægge hvorvidt (og om muligt også hvordan) den visuelle opfattelse og ændring af et rum er påvirket af den akustiske og *vice versa*. Til dette studie blev VR simuleringer med lyd og lys anvendt.

Projektet er endt ud i en fysisk fuldskala forsøgsoptilling og test er blevet udført i to sammenlignelige klasseværelser på Skovbrynet Skole i Gladsaxe kommune og en VR simulering af lokalerne med tilsvarende lyd og lys. Over en to måneders periode i november og december 2020, har vi testet projektets bud på at integrere energieffektivt lys og akustik i en ny helhedsløsning. Et ikke renoveret referencelokale, blev monitoreret parallelt mht. lys og akustik. Referencelokalet havde dimensioner som test lokalet, var repræsentativt for klasselokalerne på resten af skolen og var placeret ved siden af det renoverede lokale med samme orientering.

De to fysiske klasselokaler og undersøgelser foretaget på Skovbrynet Skole, har vi sammenholdt med simuleringerne af de virtuelle opbyggede klasselokaler.

Dette har vi gjort for at undersøge potentialerne for at koble lyd på en synsmæssige oplevelse, samt for at teste om og hvorvidt netop disse parametre er muligt at teste virtuelt. Opbygning af VR simuleringer er blevet foretaget, og test udført i et test-lokale på BUILD (Aalborg Universitet, København). Test blev udført med henblik på at besvare følgende spørgsmål:

- Ændrer det ens auditive oplevelse af akustikforholdene, hvis man præsenteres for forskellige visuelle udtryk og lysforhold men samme lyd (uden at lyden i to sammenlignede simulerede lokaler ændres) og *vice versa*?
- Ud over at kunne tilføje lydeffekter til en 3D-virtuel og visuel oplevelse, kan vi så skabe en så realistisk kobling af billede og lyd, at man rent faktisk kan bruge dette som et redskab i eller før byggeriet, til vurdering af den samlede rumoplevelse ved en visuel og auditiv oplevelse?
- Kan man opnå en overbevisende sammenstilling af både billede og lyd - således at ændringer som f.eks. en udskiftning af et akustisk materiale (virtuelt) på væg eller loft gør, at der opnås et rummeligt retvisende billede af virkeligheden og at en forbedret taleforståelighed i en test vil kunne måles?

Designproces

Vi har i løbet af projektet overvejet muligheder for en løsning som elever og lærer vil kunne møblere om på og justere, så lys og akustikregulering kunne ændres fra time til time afhængig af lys og akustiske behov i relation til aktiviteter. I den forbindelse har vi undersøgt forskellige løsninger, deres potentiale og begrænsninger, men er endt med en forholdsvis fikseret-version.

Designløsning

Løsningen kan justeres noget i forbindelse med ophængning, så lys og akustik passer til det ønskede for lokalet. Højden af hele installationen kan tilpasses rummet og skulle rummet et år kunne huse en 3. klasse og næste år en 9. klasse, vil hele installationen med lys og akustikpaneler godt kunne hæves en halv meter eller lignende, hvis det er mere optimalt for rummets aktiviteter.

Hele installationens "udbredelse" i vandret plan kan også tilrettes når den er hængt op. Ønsker man en lysfordeling som når helt ud til rummets vægge, kan lys/lyd harmonikaen gøres fladere og dermed strækkes ud. Ønsker man lyset koncentreret i midten af det pågældende rum kan "harmonikaen" foldes sammen mod center af rummet, så lyset vil koncentrere sig mere centralt.

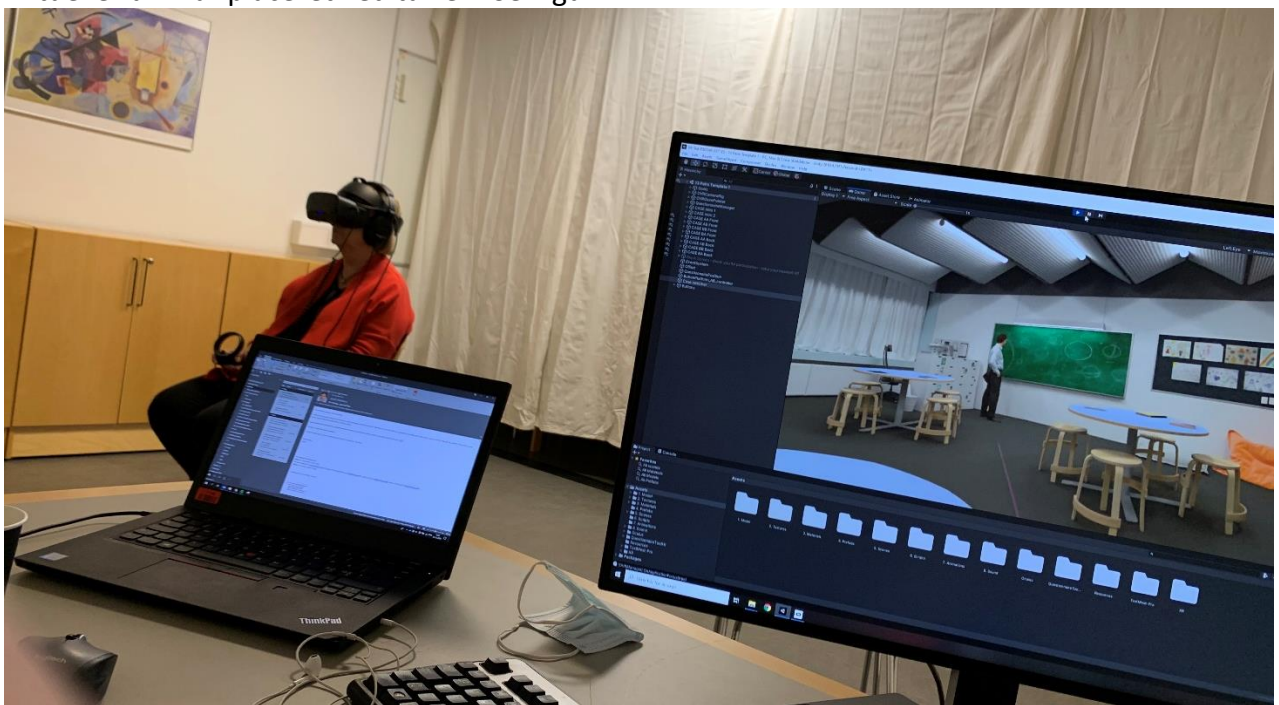
Der er arbejdet med at skabe struktur i pladerne der reflekterer lyset på en behagelig måde og som har en kontrast reducerende effekt ind mod lyskilden. Dette resulterede i en bølge-struktur med formålet at få øjet til at slappe af. Se Figur 1.



Figur 1 Endelig designløsning, Christian Flindt Design

VR-test

VR testen var delt op så spørgsmål til testpersoner vedrørte den overordnede oplevelse og en akustisk oplevelse af de præsenterede scenarier i en undervisnings-situation. Scenarierne inkluderede således vurdering af 1) overordnede præference af rum og 2) taleforståeligheden. Dette blev vurderet fra to udvalgte positioner med forskellig afstand til underviseren, som i det virtuelle rum var placeret ved tavlen. Se Figur 2.



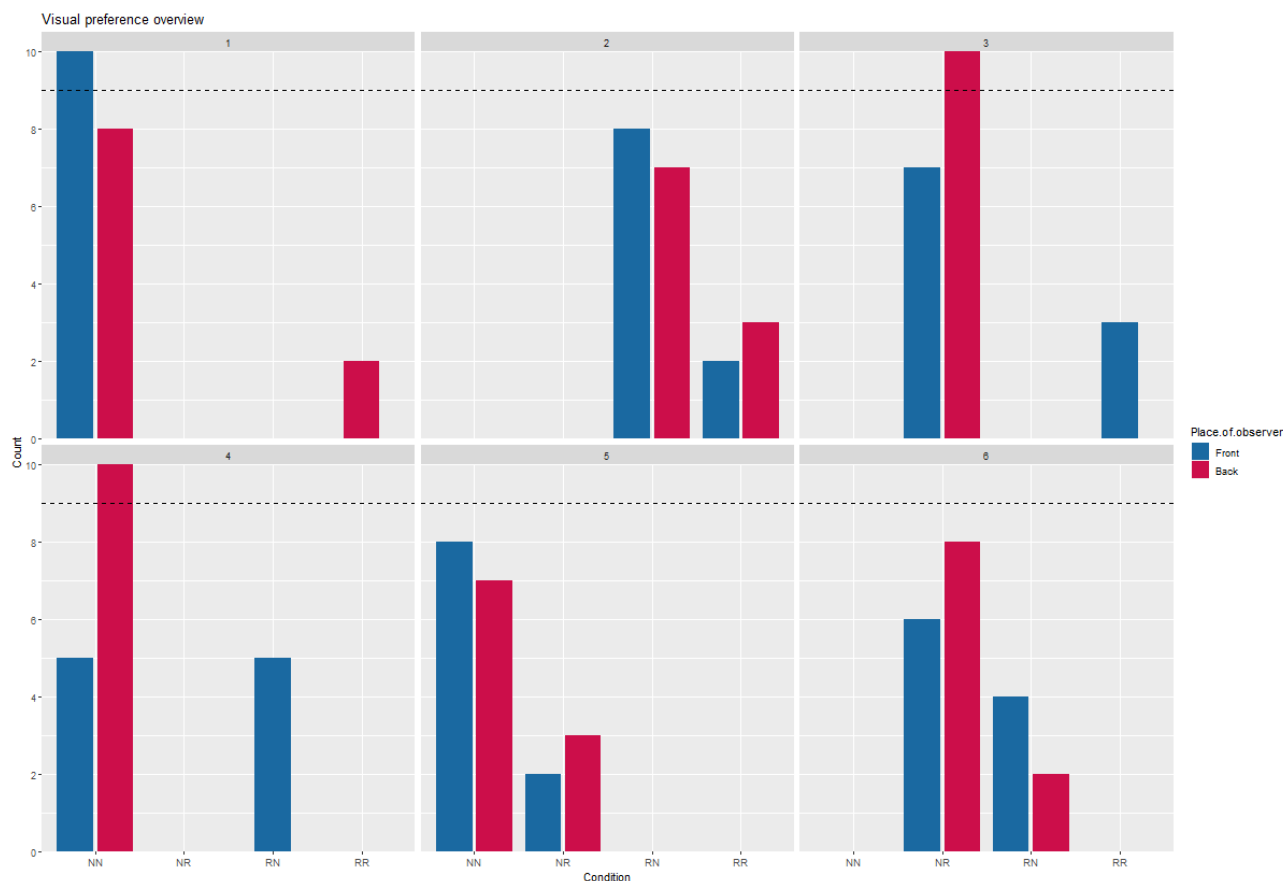
Figur 2 VR forsøg på BUILD

Grundet verdenssituationen (pandemi) og strenge restriktioner har det været svært at skaffe testpersoner til at opnå signifikans på de udarbejdede tests. Derfor er det vigtigt at understrege, at

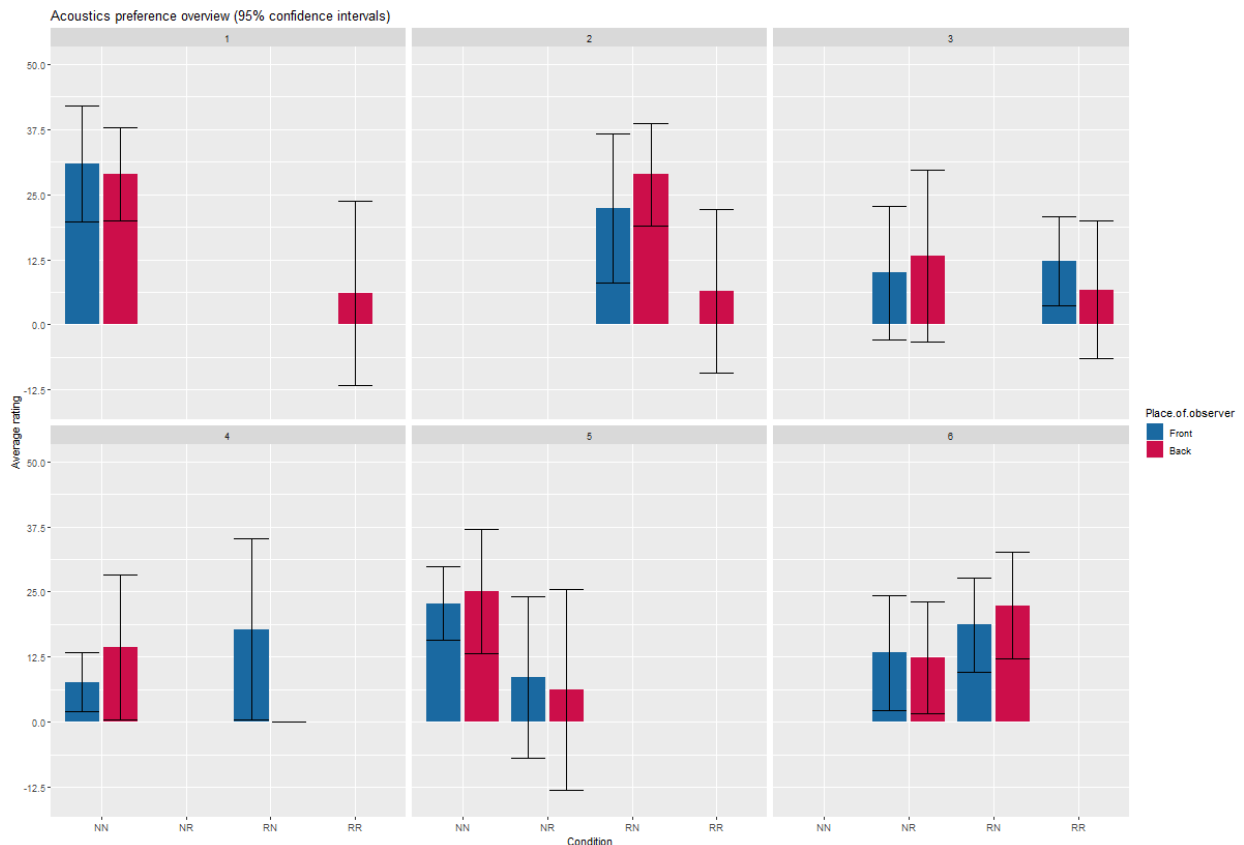
der er tale om en indikation/tendens i de nedenstående konklusioner uddraget af VR testen. I alt 10 testpersoner deltog i laborietestene.

VR testresultater

Resultater fundet gennem det virtuelle laborieforsøg er illustreret i de to figurer nedenfor.



Figur 3 Parvis test (A/B test) - Overordnet præference med plots af de 12 introducerede par, under de to placeringer "front" og "back". Nederst indikeres hvilket scenarie der er testet mod hvad, hvor første bogstav indikerer det visuelle og det sidste indikerer det auditive. Første søjlediagram øverst til venstre viser test af NN (Visuel Ny løsning og Auditiv Ny løsning) mod (Visuel Reference og Auditiv Reference løsning) som indikeret nederst og så fremdeles.



Figur 4 Parvis test (Slider test) - Akustisk præference med plots af de 12 introducerede par, under de to placeringer "front" og "back". Betegnelser som for figur 1.

Ud over resultaterne som ses i Figur 3 og Figur 4, blev følgende kommentarer fra VR testpersoner noteret i forbindelse med VR testen. For yderligere beskrivelse af test henvises til VR - Resultat præsentationen fra projektet.

Kommentarer fra VR testpersoner:

Akustisk

- "It was really hard to distinguish between the sounds when being close to the teacher"
- "The sound was not that different in the front of the classroom"
- " Svært at høre forskel på lyd når man sidder tæt på læreren"
- " Det var svært at bedømme lyden når man sad tættest på læreren. Der var større forskel på lyden når man sad bagerst i lokalet"
- "Jeg lukkede øjnene når jeg nåede til akustikspørgsmålene"

Visuelt

- "Sometimes I chose warmer lighting other times cooler lighting"
- "I felt cool lighting to be more active and warm lighting to be more relaxing"
- "Jeg kunne falde i søvn bagerst i det mørke lokale (reference)"
- " Jeg føler at jeg har valgt ud fra det jeg fandt visuelt lysest"

Overordnet/generel kommentar

- "Nice test"

VR test konklusion

Af testen kunne følgende konklusioner drages, hvor N angiver ny løsning og R angiver referencen:

- Generelt foretrækkes N- frem for R-løsningen, men hvilken parameter (akustisk eller visuel) der har størst betydning for overordnede præference er ud fra data svært at vurdere.
- Der er tendens til at være forskel på både akustisk og visuel præference ved de to placeringer
- Ud fra kommentarer og testsvar havde følgende parametre indflydelse på resultatet:
 - o Overordnet oplevelse
 - Placering
 - Oplevet lyshed
 - Lysets farvetemperatur
 - o Akustisk oplevelse
 - Placering
 - Akustikken i referencelokalet er generelt set ikke "dårlig".
- Der var i VR testen en generel tendens til en akustisk præference for N frem for R, og at det visuelle har tendens til at påvirke vurderingen af det akustiske miljø.
- Det er svært at vurdere én sanselig stimulus når flere sanser påvirkes samtidigt.

Feltstudie

Feltstudiet blev foretaget på Skovbrynet skole. I feltstudiet blev der foretaget registreringer og målinger af de to anvendte klasselokaler. Blandt andet blev der målt faktiske lys og akustiske forhold så disse kunne sammenholdes med forhold i VR testen.

Grundet den globale pandemi blev forsøgs-aktiviteter og brugerinvolveringsdelen på Skovbrynet skole, reduceret. Skovbrynet skole har lagt lokaler til forsøg, men ikke givet tilsagn om at deltage i brugerforsøg. Elever og undervisere har samtidigt været underlagt strenge restriktioner, og deres tid har ikke været til prioritering af at ville indgå i undersøgelserne, skønt flere henvendelser. Dog blev undervisere og elever spurgt ind til løsningen, når målinger blev foretaget i klasselokalet.

Feltstudie resultater

Målingerne foretaget i de fysiske lokaler blev brugt til kalibrering af VR test lokalerne, både hvad angår lys og akustik. Se bilag "ELFORSK 348-037_ VR - Resultat præsentation".

De få interviewede personer blev blandt andet spurgt:

- Hvordan har I oplevet lokalet?
- Har I nogle kommentarer til hvordan det renoverede lokale opleves at undervise i, set i forhold til øvrige lokaler?

Brudstykker af citater fra underviser er vist nedenfor. Det skal her bemærkes at lyset på skolens øvrige lokaler svarende til referencen, er meget underbelyst og havde en varm farvetemperatur.

- "Det er alt for lyst"
- "Lyset er koldt"
- "Det ligner lidt et kontor"
- "Det er flot"

Projektopsummering og samlet konklusion

Generelle forhold, opsummering

- I projektet Lys og Akustik har vi arbejdet med at skabe og teste nye rammer for læringsmiljøer hvad angår lys og akustik.
- Der er blevet designet en ny lys- og akustikløsning, som et alternativ til det oftest anvendte 60x60 loftsystem.
- Vi har opsat en fysisk designet løsning på Skovbrynet skole.
- Vi har lavet registreringer på Skovbrynet skole af et reference lokale og det renoverede lokale med den nye lys- akustikløsning.
- Vi har opbygget et tilsvarende virtuelt miljø af referencelokalet og det renoverede lokale.
- Vi har konstrueret en VR test og sammenlignet referencelokalet og det renoverede lokale på visuelle og akustiske parametre, i et virtuelt miljø.
- Der blev opnået god sammenhæng mellem de fysiske lokaler på Skovbrynet skole og lokalerne modelleret til brug i VR-tests.
- Akustikken i referencelokalet både ved fysisk opsætning og i virtuelle tests, var generelt ikke dårlig og levede op til krav i bygningsreglementet BR18 vedrørende efterklangstider i klasselokaler. Der var derfor heller ikke store forskelle mellem reference-lokalet og det renoverede lokale rent akustisk.
- Der var store visuelle forskelle på referencelokalet og det renoverede lokale grundet bevidst anderledes design og opnåede belysnings-forhold.
- Grundet Corona blev brugerresultater fra fysiske tests på skolen ikke muligt i oprindelig planlagt omfang. Grundet Corona situationen var antallet af forsøgspersoner det var muligt at inddrage i de virtuelle tests begrænset og derfor var det svært statistisk at opnå signifikans.
- Den designede løsning blev generelt foretrukket frem for referencelokalet i de virtuelle test

Yderligere erfaringer draget vedr. VR tests fundet er at VR som testmetode skal bruges med omhu, da:

- VR kræver tilvænning ift. brug og manøvrering.
- VR har begrænsninger visuelt ift. Luminans, blænding og FOV (field of view).
- Gengivelse af korrekt lydbillede er vanskeligt og meget tidskrævende - og i modsætning til det visuelle, så oplevede vi at det var en større udfordring at simulere lydforholdene i lokalerne til en god nok kvalitet. Der blev af denne grund brugt optagelser af lyd fra de fysiske lokaler i VR-testen. Her ligger der et udviklingspotentiale mht. lyd-simuleringerne, for at kunne opbygge en test der er realistisk, uden et fysisk parallelt tvilling-lokale til VR modellen.
- God sammenhæng mellem den virtuelle og fysisk tvillingmodel er nødvendig for at foretage multisensoriske forsøg med flere stimuli på én gang i VR-laboratoriet. Her er korrekt kalibrering vigtig og tidskrævende

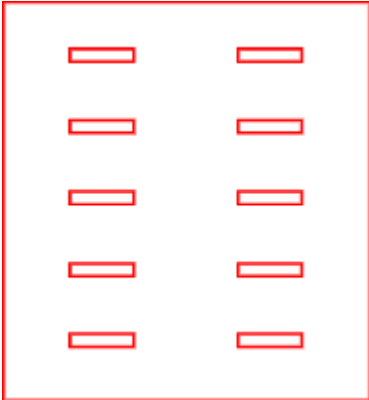
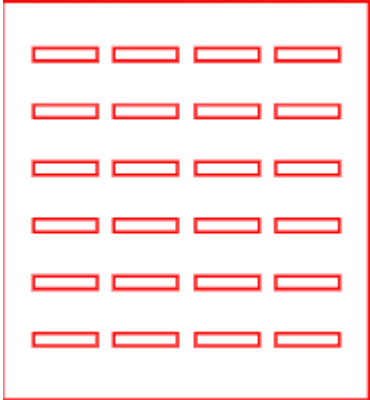
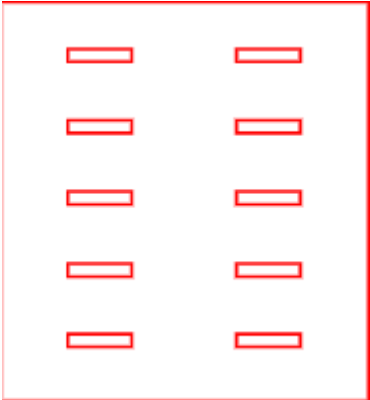
- Spørgsmål der vedrører flere stimuli på en gang, kan være svære at skille ad og vurdere. Test er god til vurdering af samlet effekt (A vs. B vurderinger), men interaktions-effektens størrelse af hhv. lys og akustik er svært at estimere.

VR som testværktøj er:

- Hurtigt at forme og eller importere allerede udarbejdede miljøer i.
- Et billigt og godt alternativ til full scale mockups.
- Et mobilt og fleksibelt værktøj/laboratorie, der kan medbringes overalt.
- God til formidling og demonstration af forskellige løsninger til klienter.

Energimæssige betragtninger

Energimæssigt var forbruget ved designløsningen ikke langt fra den forældede referenceløsning, dog skal det siges at eksisterende belysningsniveauer lå langt fra standardens krav til lys i klasselokaler.

| Referencelokale | Referencelokale (Sammenligning) | Designløsning |
|--|--|--|
|  |  |  |
| Glamox – 10 stk. Lysstrøm: 3350 lm Watt: 36 CRI: 80-90 CCT: 2700K - 4000K | Glamox – 24 stk. Lysstrøm: 3350 lm Watt: 36 CRI: 80-90 CCT: 2700K - 4000K | XAL Tubo – 10 stk. Lysstrøm: 6310 lm Watt: 46 CRI: 80 CCT: 4000K |
| E _m beregnet: 240 lux E _m målt: 184 lux | E _m beregnet: 580 lux E _m målt: fiktiv | E _m beregnet: 501 lux E _m målt: 475 lux |
| Samlet lysstrøm: 10 x 3350 lm = 33.500 lm | Samlet lysstrøm: 24 x 3350 lm = 80.400 lm | Samlet lysstrøm: 10 x 6310 lm = 63.100 lm |
| Samlet effekt: 10 x 36W = 360 W | Samlet effekt: 24 x 36W = 864 W | Samlet effekt: 10 x 46W = 460 W |

Inkl. dagslyssensor (-30%)*:

460 W * 0,7 = 322 W

Energibesparelse

| | | |
|----------------------|-----------------------|---------|
| Ekskl. dagslyssensor | -140,00 % (forøgelse) | 46,76 % |
| Inkl. dagslyssensor | - | 62,76 % |

* Besparelse med dagslysstyring forventes at ligge mellem 25-30%.

<https://installator.dk/dagslyset-skal-udnyttes-optimalt>

Illuminansen i referencelokalet opnåede skuffende $E_m=184\text{lux}$ (360W). Det lykkedes på baggrund af lysberegninger, og efter den færdige installation, at hæve illuminansen til $E_m=475\text{lux}$ (460W) med $>500\text{lux}$ i arbejdszone. Dermed opnåede designløsningen ved sammenligning under samme belysningsstyrke en energireduktion på ca. 47% uden dagslysstyring. Hvis belysningsanlægget blev tilkoblet en dagslysstyring ville det kunne forventes at opnå en energireduktion på ca. 63%.

Perspektivering

Projektet har fungeret som et pilotprojekt med fokus på en multisensorisk helhedsoplevelse. Det sker ofte at man i forskningsverdenen isolerer sanserne for at undvige fejlkilder, men gør dette resultaterne mere pålidelige? Projektet har derfor banet vej for en ny strategi der, der forsøger en mere holistisk tilgang, også hvad angår tilgangen forskningsmæssigt. Vi ser derfor at der i flere projekter fremadrettet, vil være større fokus på det "ikke målbare" og multisensoriske, da det sjældent alene er kvantitative værdier der beskriver verdenen som vi oplever den.

Derudover blev der, som del i projektet, udarbejdet og anvendt en "state of the art" testmetode i et digitalt miljø. Metoden hvor man gennem VR-briller og hovedtelefoner, parvist fik fremviste kalibrerede visualiseringer med et tilhørende kalibreret akustisk lydbillede.

Denne nyudviklede metode kan i fremtidige projekter, gøre det nemmere at vurdere og rangere en række digitale miljøer/tvillinger med tilhørende lyd og billede, op mod hinanden og sammenholde resultaterne med deres energiforbrug. På denne måde undgår man store og omkostningstunge mockups, og minimere derfor risikoen for utilstrækkelige og/eller energitunge belysningsanlæg eller installationer i fremtiden.

Resultatet fra den multisensoriske test med fokus på det visuelle og akustiske miljø, indikerede som sagt at der var en forbindelse mellem den visuelle og akustiske oplevelse. Der er derfor et stort potentiale i at undersøge nye lofløsninger der løser flere problemer både akustisk og visuelt, med fokus på funktionalitet, fleksibilitet og omkostninger. Men også når man opvejer den samlede helhedsoplevelse mod det samlede energiforbrug.

Vi ser derfor at projektet både har bidraget med nyttig viden i sin designløsning, men også i den udarbejdede testmetode. Hvilket giver anledning til nyfortolkning af mere fleksible, funktionelle og æstetiske loftsystemer samt dybere undersøgelser af den udarbejdede metode i fremtiden.

Formidlingsaktiviteter

Ved projektets afslutning har resultater fra projektet været omtalt i projektdeltagernes egne kredse. Forsøgsdeltager-antallet i de udførte VR-test var begrænset til 10 personer grundet Covid-19 restriktioner, hvorfor resultater vurderes til ikke at være egnet til en videnskabelig publikation.

Rettighedsmæssige forhold omkring designløsningen afventer en afklaring inden egentlig frigivelse af tegninger mv. Slutrapporten her vil blive linket til på sociale medier efter publicering.
Konkrete

Fra Forskning til Marked

Efter endt testperiode af den samlede belysning og akustik løsning på Skovbrynet skole har firmaet Tech-Materials (nu The Acoustics Company) meldt tilbage at de er interesseret i at produktmodne løsningen til salg på det engelske og europæiske marked.

Målet er i løbet af efteråret 2021, at kunne entrere med de første, af en række produkter inden for både belysning og akustik. Produkterne vil tage udgangspunkt i samme bølgede formsprog og flere vil også integrere lys.

Når vi er tættere på den konkrete dato for en lancering, vil der blive taget kontakt til relevant presse med fokus på UK og DK. Der vil i den forbindelse naturligvis blive henvist og refereret til dette forskningsprojekt og de fremkomne resultater.

Bilagliste

ELFORSK 348-037_VR - Resultat præsentation

ELFORSK 348-037_Designproces præsentation

Kontakt for mere information

Projektleder/designer, Christian Flindt: cf@christianflindt.com

Forskningsassistent BUILD AAU: Kasper Fromberg Støttrup: kfst@build.aau.dk

Seniorforsker BUILD AAU: Jakob Markvart: jmar@build.aau.dk