

ABSTRACT - RESUME

Energioptimering med adaptivt lys i folkeskolen

Forskningsprojekt 2019-2021, støttet af ELFORSK.

Projekt nr: 351-008



PROJEKT DATA:

Titel:

Energioptimering med adaptivt lys i folkeskolen.
Forskningsprojekt 2019-2021, støttet af ELFORSK.
Projekt nr: 351-008

Projektledelse:

Atelier KHR Architecture, forskningsleder Kjell Yngve Petersen, KHR Architecture A/S

Partnere:

Thisted Kommune, Erhverv og Teknik
Tilsted og Hanstholm Skoler
Station Inter Views, forsker, Karin Søndergaard
Roskilde Universitet, lektor Mikkel Bille
Lysteknik, Glamox A/S
Dansk Center for Lys

Bygninger:

Tilsted Skole, bygning 7, opført 1970. Arkitekt Jørgen Råby
Hanstholm Skole, bygning 2, opført 1967. Arkitekt: Henning Jørgensen & Arne Christensen.

Forfattere af rapporten:

Kjell Yngve Petersen
Karin Søndergaard
Mikkel Bille, afsnittet: 'Antropologens Reflektioner'

Fotos:

Fotos generelt i publikationen er taget af Kjell Yngve Petersen & Karin Søndergaard
Elev fotos er taget af elever på Tilsted og Hanstholm skoler
Fotos i afsnittet: 'Antropologens Reflektioner' er taget af Mikkel Bille

ABSTRACT

ENERGIOPTIMERING MED ADAPTIV BELYSNING I FOLKESKOLEN

Kan man skabe bedre belysning gennem brugerinddragelse og samtidig opnå betydende energibesparelser? Kan man energi-optimere ved at engagere elever og lærere i eksperimenter med LED-lys? Hvordan kan et fokus på klimatisk og social bæredygtighed understøtte et fremadrettet, pædagogisk læringsmiljø? Projektet har undersøgt disse spørgsmål i praksis.

Projektet har installeret adaptiv belysning i klasselokaler på Tilsted og Hanstholm folkeskoler. Gennem en 18 måneders lang samskabelsesproces designes og re-designes lokalerne med justerbare LED-lysgivere, tætte sensor netværk, og adaptive kontrolsystemer. På tværs af årstider, undervisningsforløb og sociale situationer gennemtestes lysinstallationerne, med detaljerede vurderinger af energiforbrug, bygningsøkonomi og kvaliteten af lysmiljøerne oplevet fra brugerperspektivet.

Forskningen sker i et tæt samarbejde mellem designere, arkitekter, bygningsdrift, producenter og – ikke mindst: slutbrugerne. Ved at involvere lærere og elever, kan vi kvalificere driften af lyset. Ved at deltage i deres dagligdag med læringsaktiviteter, informere via workshops og give dem en stemme i designudviklingen, bliver de selv i stand til at udtrykke, hvornår en belysning virker understøttende i deres hverdag – og hvorfor.

Folkeskolen danner rammen om hverdagen for børn det meste af de aktive dagtimer. Skolen er samtidig en arbejdsplass, et læringsmiljø og et socialt fællesskab med mange og varierede aktiviteter. Hver aktivitet stiller sine krav til lysmiljøet, og hver person har sine behov for kvaliteten af omgivelserne. Det meste af dagen er dagslyset en vigtig kilde til lys, og helt essentiel for velvære og sundhed.

Hypotesen er at energiforbruget til kunstigt lys kan mindskes ved øget tilpasning til de konkrete brugeres behov og deres varierede brug af lokaler og fællesarealer. At der kan spares energi ved design af adaptivt lys, som gennem bruger-styret dynamisk tilpasning frembringer det relevante lys på rette sted og til rette tid, og derved bedst mulig beforderer læring og trivsel i folkeskolens daglige praksis.

FORSKNINGSRESULTATER

ENERGIOPTIMERING MED ADAPTIVT LYS

– POTENTIALER VED SKOLERNES INDRETNING, DRIFT OG RENOVERING

Gennem den pågående udvikling af lysteknologier kan der, de næste 5-10 år, opnås besparelser på elforbrug på op mod 30%. Den afgørende tilpasning til de aktuelle 70% klimamål kræver en forandret brugeradfærd og fleksibilitet i elforbruget. For at opnå de manglende 40-50% besparelser bør slutbrugerne således engageres i den daglige drift.

Projektet viser, at der opnås energioptimerende adfærd i skolen, når elever og lærere, gennem medbestemmelse, udvikler kompetencer og ansvar for den daglige indstilling af lysmiljøer. Det viser at kunstlys benyttes mere energibesparende, når der etableres lysmiljøer, der tager afsæt i skolernes undervisningsaktiviteter og derved, med trivsel i fokus, understøtter nutidens læringsmetoder. Man kan således sige, at adaptivt lys koordinerer brugerengagement med energioptimering og at bæredygtige løsninger forankres gennem kompetente brugere.

Projektet viser, at der er energioptimeringspotentialer ved en helhedsorienteret tilgang, hvor følgende fokus kan medføre besparelser i elforbruget:

Adaptivt lys koordinerer brugerengagement med energioptimering

1. at adaptivt lys engagerer slutbrugerne – elever, lærere og driftspersonale – i energioptimerende adfærd
2. at adaptivt lys kan udvikle nye fleksible løsninger ved at koordinere mellem dynamikkerne i: dagslyset, brugerbehov, brugerstyring og dynamisk kunstlys
3. at adaptivt lys understøtter undervisningsmiljøet, som en service for de didaktiske metoder, med fleksible lysmiljøer

Bæredygtige løsninger forankres gennem kompetente brugere

4. at bæredygtige løsninger er afhængige af at slutbrugerne gives kompetencer til at navigere energioptimering, – og styrkes ved forankring i både brugerengagement og bygningsforvaltning
5. at adgang til informationer om bygningsdriften og indeklimaet er afgørende for uddannelse af slutbrugere, der kompetent kan styre deres daglige lysmiljø og udvikle energioptimerende adfærd
6. at energioptimering kan accelereres med engageret brugerkultur, understøttet af intelligent bygningsstyring, hvis der holdes fokus på at opnå optimale løsninger for slutbrugerne

Mere dagslys influx mindsker energiforbruget til kunstlys

7. at arkitektoniske forbedringer, der giver mere dagslys i bygningen, medfører mere varieret brug af lokalerne og mindsker energiforbruget til kunstlys
8. at varieret indstilling af kunstlyset – og varieret lysfordeling mellem indirekte og direkte belysning – indretter bedre tilpassede lysmiljøer
9. at øget dagslyskvalitet og dagslysspekter i kunstlyset mindsker brug af kunstlys

Adaptivt lys optimerer bæredygtigheden af elforbruget til kunstlys

10. at implementering af et mere bæredygtigt energiforbrug til kunstlys kan skaleres bredt og hurtigt
11. at energioptimeringen øges med klarere formulerede brugerkrav ved renovering og nybyggeri
12. at teknologiudvikling de næste år vil bidrage væsentligt til optimering af elforbruget til kunstlys, og man derfor skal arbejde med installationer, der jævnligt kan opdateres, for at understøtte en vedvarende bæredygtig udvikling

ABSTRACT

ENERGY OPTIMIZATION WITH ADAPTIVE LIGHTING IN PRIMARY SCHOOLS

Can better lighting be created through user involvement and achieve significant energy savings at the same time? Can energy optimization be achieved by engaging students and teachers in experiments with LED lighting? How can a focus on climate and social sustainability support a forward-looking pedagogical learning environment? The project has explored these questions in practice.

The project has installed adaptive lighting in classrooms at Tilsted and Hanstholm primary schools. Through an 18-month co-creation process, the rooms are designed and re-designed with adjustable LED light sources, dense sensor networks, and adaptive control systems. Across seasons, curricula and social situations, the lighting installations are tested, with detailed assessments of energy consumption, building economics and the quality of the lighting environments experienced from the user perspective.

The research is carried out in close collaboration between designers, architects, building operators, manufacturers and - not least: end-users. By involving teachers and students, we can qualify the operation of light. By participating in their daily lives with learning activities, informing through workshops and giving them a voice in design development, they themselves are able to express when lighting is supportive in their daily lives - and why.

Primary schools are the setting for children's everyday lives for most of the active day. It is also a workplace, a learning environment and a social community with many and varied activities. Each activity has its requirements for the lighting environment and each person has his or her needs for the quality of the environment. For most of the day, daylight is an important source of light and essential for well-being and health.

The hypothesis is that energy consumption for artificial lighting can be reduced by increased adaptation to the needs of the specific users and their varied use of premises and common areas. That energy can be saved by designing adaptive lighting which, through user-controlled dynamic adjustment, produces the appropriate light in the right place at the right time, thereby best promoting learning and well-being in the daily practice of primary schools.

RESEARCH RESULTS

ENERGY OPTIMISATION WITH ADAPTIVE LIGHT

- POTENTIALS IN SCHOOL DESIGN, OPERATION AND RENOVATION

Through the ongoing development of lighting technologies, electricity savings of up to 30% can be achieved in the next 5-10 years. The crucial adaptation to the current 70% climate targets requires a change in user behaviour and flexibility in electricity consumption. To achieve the missing 40-50% savings, end-users should thus be engaged in daily operations.

The project shows that energy-optimising behaviour in schools is achieved when students and teachers, through participation, develop skills and responsibility for the daily setting of lighting environments. It shows that artificial lighting is used more energy efficiently when lighting environments are created that are based on the educational activities in schools and thereby, with well-being in focus, support today's learning methods. It can thus be said that adaptive lighting coordinates user engagement with energy optimisation and that sustainable solutions are anchored through competent users.

The project shows that there is energy optimisation potential in a holistic approach, where the following focus can lead to savings in electricity consumption:

Adaptive lighting coordinates user engagement with energy optimisation

1. adaptive lighting engages end users - students, teachers, and operational staff - in energy optimising behaviour
2. adaptive lighting can develop new flexible solutions by coordinating between the dynamics of: daylighting, user needs, user management and dynamic artificial lighting
3. adaptive lighting supports the learning environment, as a service to the didactic methods, with flexible lighting environments

Sustainable solutions are anchored through competent users

4. sustainable solutions rely on end users being empowered to navigate energy optimisation, - and are strengthened by anchoring in both user engagement and building management
5. access to information on building operations and indoor climate is essential for training end-users to competently manage their daily lighting environment and develop energy optimising behaviours
6. energy optimisation can be accelerated with an engaged user culture, supported by intelligent building management, if the focus is maintained on achieving optimal solutions for end-users

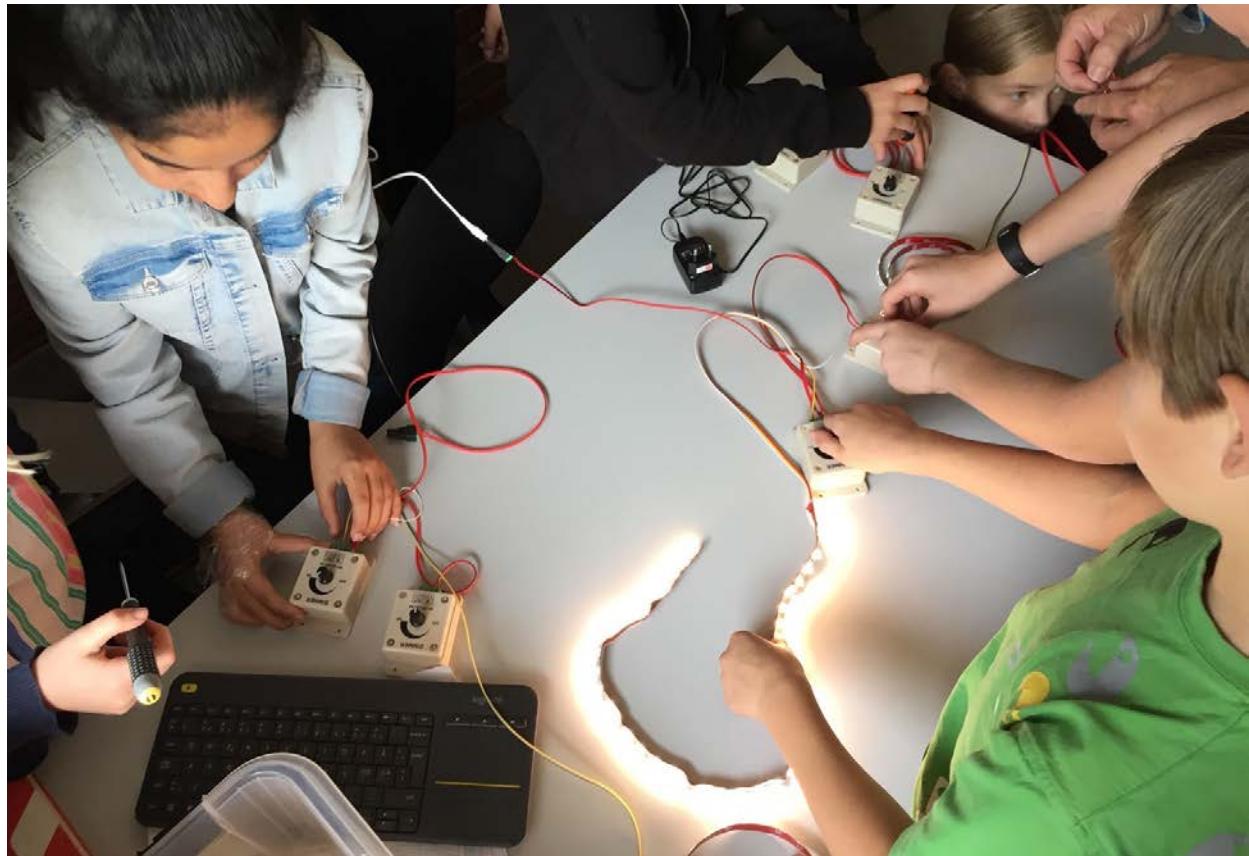
More daylight influx reduces energy consumption for artificial lighting

7. architectural improvements that provide more daylight in the building lead to more varied use of the premises and reduce energy consumption for artificial lighting
8. varied artificial lighting settings - and varied light distribution between indirect and direct lighting - create better adapted lighting environments
9. increased daylight quality and daylight spectrum of artificial lighting reduces the use of artificial lighting

Adaptive lighting optimises the sustainability of electricity consumption for artificial lighting

10. implementation of more sustainable energy use for artificial lighting can be scaled widely and quickly
11. energy optimisation is increased with more clearly formulated user requirements for renovation and new buildings

12. technological developments in the coming years will contribute significantly to the optimisation of electricity consumption for artificial lighting, and therefore demands light installations that can be regularly updated to support sustainable development



RESUMÉ

ENERGIOPTIMERING MED ADAPTIV BELYSNING I FOLKESKOLEN

Mange folkeskoler står overfor bæredygtige opgraderinger af deres kunstlys. Det indebærer implementering af LED-belysninger med andre og nye lyskvaliteter og styringsmuligheder end tidligere. Hvilke nye potentialer for lysmiljøet udfolder LED-teknologierne, for den daglige undervisning og kvaliteterne af skolens lysmiljøer? Og hvad omfatter disse nye potentialer af bæredygtige muligheder for ressourceforbrug og energioptimering?

Dette projekt er udviklet i et samarbejde mellem KHR Architects forskningsafdeling og Thisted Kommune og foregår i to eksisterende skolebygninger beliggende i Tilsted og Hanstholm i Thy.

Projektet undersøger om installationen af nye belysningsteknologier – der med fokus på klimatisk og social bæredygtighed skal understøtte et fremadrettet, pædagogisk læringsmiljø – også kan føre til bæredygtig energioptimering.

Projektets hypotese er, at hvis lysdesignet giver muligheder for høj lyskvalitet og kvalitative lysmiljøer, og man samtidig giver brugeren adgang til kontrol af de adaptive styringer, så vil man i højere grad kunne energioptimere bæredygtigt. Kan brugernes egenkontrol med styring af kunstlyset generere et andet forbrugsmønster, der potentielt vil kunne udnytte energien bedre?

Samtidig undersøges hvordan undervisningen benytter de nye muligheder for variation i lysmiljøet, og hvad det stiller af krav til producenter og designere af fremtidens lysdesign i skoler. Projektet arbejder derfor med samskabende brugerintegrering, og interesserer sig særligt for, hvordan adaptiv belysning, som en faktor for indeklimaet samtidig kan stimulere undervisningsmiljøet. Derfor har det været essentielt at indgå i samskabende udvekslinger med lærere, elever og teknisk personale på skolerne og i kommunen, for at undersøge hvordan belysningsteknologierne kunne tænkes som en kontekst, der understøtter pædagogiske metoder, og som kan integreres i den daglige undervisningspraksis.

Adaptivt lys - tilpasning af lysmiljøer, brugerpraksis og energioptimering

Det adaptive betyder ”tilpasning”. Med de nye belysningsteknologier følger nye potentialer med temporært flydende lysdesigns og provisoriske rumdannelser. De nye belysningsteknologier arbejder, ligesom dagslyset, med både vekslende lysfarver og omskiftelige intensiteter. Lysdesignere og forskere må således søge stadig nye forståelser i potentialet af belysningssituationer og af lysets iscenesættende kvaliteter. Tænd/sluk-lyset er ved at være fortid. Kunstlyset kan integreres i intelligente systemer med sensorer og datainput og således spille sammen med brugerne og omgivelserne i dynamiske udvekslinger.

Dog, med alle disse tekniske muligheder, lurer den fare, at brugerens belysning i en fremtid styres af rigide og ufleksible, forudbestemte lysscenerier. Det kan være dagslysstyring sat ud fra idéer om døgn- rytmer hos brugerne. Eller bevægestyring fra sensorer sat ud fra ideer om brugernes handlinger. Andre muligheder er faste sæt af scenerier, som tænkes passende for brugerens behov i dagligdagen eller management bestemte optimeringer af medarbejderperformance. Dette kan alt sammen være spekulationer, som brugerne hverken er ordentlig bevidstgjorte om, har givet tilslagn til, eller har mulighed for at undslippe.

I denne fagre, nye verden må vi derfor til stadighed stille kritiske spørgsmål til, i hvor høj grad vi vil styres af dataopsamlinger og for-programmeringer, og hvorvidt det er vigtigt, at bruger selv kan styre basale behov – som at kunne styre lyset og åbne vinduer. I dette projekt lægges der vægt på, at bruger, som den kompetente borgere, tildeles råderum til kontrol med sit miljø. Således tager undersøgelserne udgangspunkt i en pragmatisk tilgang, hvor brugerens handlinger og egne perceptioner tænkes som de primære parametre i styringen af det indendørs klima.

Samskabende brugerintegrering, re-design og Living-Labs

Projektet udfører konkret transformation af lysmiljøet i afgrænsede arealer på de to folkeskoler. Undersøgelsen er sat op som komparative forsøg, hvor der på hver skole er to klasseværelser, som er ombygget med ny belysning, og to der fremstår, som da projektet startede. På begge skoler er desuden flere fællesarealer medtaget i undersøgelserne om belysningstransformation, da væsentlige dele af den daglige undervisning foregår udenfor klasseværelserne i de fælles arealer.

Den samskabende brugerintegrering er gennemført dels i form af workshops med elever og lærere, hvor vi – med fokus på både dagslys og kunstlys – har undersøgt lyset som arkitektonisk materiale, og udforsket hvordan lyset iscenesætter rumlige situationer. Da der er tale om et forskningsprojekt, har vi kunnet afsætte tid til en analytisk og transformativ proces med re-design, hvor alle deltagende parter lærer af hinanden.

Det adaptive lys installeres således i klasselokaler og fællesarealer gennem en 18 måneder lang proces af samskabelse, re-design og gensidig læring. Lokalerne fungerer som aktive living-labs, der involverer lærere og elever, forskere, pedeller og kommunens tekniske forvaltning, samt skoleledere og skoleforvaltning. Sammen med kommunens tekniske servicefolk og lokale elektrikere, gennemført længere processer af re-designs og tests, hvor installering af lysdesign og styringssystem i en periode afprøves og tilpasses forskellige undervisningssituationer.

En væsentlig del af det adaptive lysdesign og ambitionen om bæredygtighed er baseret på idéen om velinformede, indsigtfulde slutbrugere til at varetage den daglige drift. Folkeskolerne i Tilsted og Hanstholm har fungeret som et laboratorium, hvor man har bidraget aktivt med et udforskende brugerperspektiv.

Lokalerne om-designes med justerbare lyskilder og armaturer, adaptive styringssystemer, sensor netværk og målere af strømforbrug. Desuden opsamles data vedrørende øvrige indeklima-parametre herunder luftkvalitet, lydniveau, temperatur og fugtighed. Dette for i sidste ende at kunne vurdere det samlede indeklima.

Workshops og dukseordninger

I samskabelsesprocessen omkring det nye kunstlys udvikler alle involverede et fagligt sprog om lys og indføres i kompetencerne til at kunne bestemme lysmiljøet. I en serie workshops involveres lærere og 5. - 6. klasses elever i grundlæggende forståelser af dagslys og kunstlys, lysfænomener, rumlige lyssituationer og lysteknologi. De introduceres til, hvordan lyset fordeles og reflekteres til rumlige kvaliteter. Gennem observation og analyse foretager de visuelle studier af lyssteder, lysforekomster og lysscenerier. For at kunne give sprog til lysmiljøets kvaliteter, effekter og funktioner, indføres de i metoder til at observere og notere lyskvaliteter og lyskvantiteter. Således stilles der opgaver i workshopsene. Lysværdier undersøges gennem lysmålingsopgaver, hvor eleverne håndterer lux-målere og spektralfordelings-målere og analyserer, hvordan lysets karakteristik opstår fra lyskilder og dagslys.

Gennem klassens almindelige dukseordning har de to ugentlige dukse ansvar for dagens lysdesign i klasserummet. Duksene laver notater om det daglige lysmiljø, og leverer rapporter omkring lysindstillinger og lyskvaliteter til forskerne. Børnene lærer relativt hurtigt at styre lysdesignet, og de er generøse i deres videndeling med teknisk service og lærere.

Kvalitative parametre i lysdesign

De nye lysinstallationer skal understøtte det nutidige læringsmiljø og den pædagogiske indsats, som skolerne i dag forpligter sig på. Designet tager afsæt i diskussionen om læringsmiljøet som sociale situationer, hvor et spekter af helt praktiske forhold bliver væsentlige for lysmiljøet. For eksempel skal lysmiljøet understøtte sociale situationer og gruppearbejder, etablere visuelt samvær mellem elever og lærer, og befordre at man bevæger sig og har kalibreret udsigt. Det nye lysdesign er en arkitektonisk afvejning af lyskilder og lysindfald. Kunstlyset indstilles i dynamiske variationer i spænd med dagslyset. Der etableres balancer mellem uplight og downlight hvorved der skabes kompositioner af diffust og rettet lys. Der formes vandrette og lodrette flow med refleksioner af lys, som skaber mere rumlige lysvolumener – eller cylindrisk lys – hvorved skyggef ordelingen dog varieres med mere diffuserede skyggetegninger.

Brugerstyret lysmiljø

Det nye design af lyssystemet giver brugerne adgang til at styre de kvalitative parametre af lysmiljøet. Lyset styres med enkle kryds-knapper, der er monteret, så alle kan være med - inklusive elever. Gennem det daglige design af lyset opbygger elever og lærere en nuanceret forståelse af lysmiljøer, som de er i stand til at beskrive, ønske, iscenesætte og diskutere, og altså tage indsightsfuldt ansvar for i designet af sit eget lysmiljø.



Optimering af lys til undervisning

I et bæredygtigt perspektiv er der store potentialer med adaptivt lysdesign. Spørgsmålet er, om man ikke kan opnå lige så gode optimeringer af økonomi og energi med den bedste kvalitet og det rette lys, som ved løsninger, hvor kun det lovmæssigt krævede minimum i lysmiljøet overholdes? Kan brugerkulturer omkring lys optimere bedre end tekniske løsninger med automation? Hvis lyset er der for at understøtte undervisningens aktiviteter, hvilke krav og muligheder skal der så stilles til lysmiljøet og dets tilpasningsmuligheder?

Fleksibilitet og brugerengagement er forudsætningen for yderligere bæredygtighed i fremtiden. Det adaptive lysdesign beforderer, at lyset hele tiden justeres til det niveau, som der er behov for. Mulighederne for at justere balancen mellem diffust og rettet lys, variere lysfordelingen opad og nedad, og forandre lysfarven til koldere og varmere, gør at der benyttes meget mere tilpassede lysforhold til undervisningens aktiviteter. Med de nye lysinstallationer er rullegardiner, som tidligere næsten altid var rullet ned, nu næsten altid oppe. Dagslyset er blevet en ressource snarere end et problem, og det adaptive lys sikrer meget mere dagslys i dagligdagen.

Energioptimizering gennem adaptivt lys

Inddragelse af kompetente brugere er en vigtig forudsætning for en bæredygtig brugerkultur omkring lys, hvor ressourcer og behov balanceres i den daglige undervisning. Brugernes engagement udvikler en øget viden omkring lys og beforderer kompetent indflydelse på lysmiljøet. Det adaptive lysdesign opnår energi-optimizering ved fleksibilitet i lysmiljøet, konkret styret af brugerne, og gennem udvikling af en bæredygtig brugerkultur.



THISTED KOMMUNE



STATION INTER VIEWS



ELFORSK