



Energioptimering gennem adaptiv lysstyring

Slutrapport for Elforskprojekt EAL, PSO 347-033

Energioptimering Gennem Adaptiv Lysstyring (EAL)

Slutrapport for Elforskningsprojekt EAL, PSO 347-033

2015-2017

Forfattere:

Kjell Yngve Petersen
Karin Søndergaard
Ole Kristensen
Christina Augustesen
Nina Rask

Partnere:

IT Universitetet i København (ITU)
Det Kongelige Danske Kunstakademi, Skolerne for Arkitektur, Design og
Konservering (KADK)
Spektra LED
Creasign
Sweco
Fagerhult
Jesper Kongshaug Architectural Lighting

Deltagere:

ITU: Kjell Yngve Petersen, Ole Kristensen, Jørn Lambertsen, Nina Rask,
Sebastian Hølt Bak
KADK, Architectural Lighting Lab: Karin Søndergaard
SpektraLED: Søren Jensen, Martin Sidelmann
CreaSign: Bent Aasberg
Sweco: Christina Augustesen
Fagerhult Lighting Academy: Henrik Clausen
Jesper Kongshaug

Tak til studerende på KADK & ITU

Website:

www.lightresearch.dk

Udgivet 30/06-2017

Version no. 001

Layout: Nina Rask, Kjell Yngve Petersen og Cameline Bolbroe

Udgivet af: IT Universitetet i København



FAGERHULT



The Royal Danish Academy of Fine Arts,
Schools of Architecture, Design and Conservation



ELFORSK

Indhold

Indholdsfortegnelse	5
Abstract	
Energy optimization through adaptive lighting control	7
Energioptimering gennem adaptiv lysstyring	9
Ny adaptiv optimeringsstrategi	17
EAL Projektets proces	21
Projektets faser	25
Forskningsdesign og faser i udviklingen ...	28
Teknologi og oplevelse medieret af digitalt vejr	31
IoT og Lighting-as-a-Service	36
Energioptimering med fleksible forbrugsmønstre	42
Den adaptive mediering	53
Ambiens og det adaptive lys	59
Adaptive ambiente dynamikker	62
Skitseværktøjer og designstrategier	65
Formidling	88
Referencer	89
Kunstlyset skal tilpasses dagslyset af Christina Augustesen	91
Undervisning af kandidater KADK af Karin Søndergaard	95
LED lys. Teaching light dynamics at Intermedia Lab af Ole Kristensen	105
Software sketches for experincing LED light af Ole Kristensen	115

Abstract

Energy optimization through adaptive lighting control (EAL)

Adaptive lighting integrates user scenarios, daylight variations and architectural qualities in the design of light and control systems. The project contributes to the development of functional and well-designed adaptive lighting solutions, which dynamically regulate the intensity and color composition of light with individual and place-specific solutions. A special focus is on solutions that integrate daylight as a formative parameter of the adaptive lighting control.

The project investigates how the introduction of LED-based lighting technologies has generated new potentials for dynamic and customised lighting-design solutions, and how the introduction of IoT-connected infrastructures has opened up for Lighting-as-a-Service environments. A key aspect of the new possibilities offered is adaptation seen from the consumer's perspective: that the environment adapts to the personal wishes and needs, and that this is done within the framework of architectural lighting design that takes into account the energy consumption.

The project focuses on design strategies and software specification of adaptive lighting in the context of everyday situations, based on user-driven design implementations and software-specifications approached from a holistic IoT perspective. Adaptive lighting makes it possible for the users to experience themselves as active participants in the configuration of each unique situation, and thereby facilitate a holistic balance between energy-optimisation, wellbeing and architectural design that is experienced as meaningful in the everyday life.

The project develops sketching tools that can facilitate the design considerations across the value chain, and enable exchange and cooperation through the design of concrete adaptive installations and explore user behaviour. The project contributes to improve the development of adaptive lighting design, providing knowledge and tools to enhance adaptive design qualities.

Energioptimering gennem adaptivt lysstyring

EAL

Energioptimering gennem adaptiv lysstyring (EAL)

EAL projektet kvalificerer relationen mellem energioptimering og adaptiv lysdesign. Den adaptive afvejning er en dynamisk styring af designparametre, som befordrer at lyskvaliteten afvejes mellem brugerbehov, dagslysindfald og rumdesign. Ønsket er at bidrage til kvalitative muligheder for en mere fleksibel anvendelse af elektrisk lys i bygninger baseret på gennearbejdede og afprøvede designmuligheder. Projektet søger dermed, at kvalificere både designproces og brugervalg ved adaptiv lysdesign og styring.

Projektet udvikler skitseringsværktøjer til 1:1 skala test af adaptive lysdesign, og afklare begrebsapparat og design metoder til brug i undersøgende praksis, undervisning og forskning. Således kan opmærksomhed på energiforbrug blive et velafprøvet og velargumenteret kvalitativt valg for lysdesignere og slutbrugere. Dette ud fra antagelsen, at gives der veludviklede kvalitative designmetoder, vil designernes muligheder for at skabe kvalitative valg omkring energiforbrug i brugerscenarier øges, og dermed befordre privatbrugerens vilje til at deltage i energiforbrugstilpassende lyssystemer som et positivt valg.

Et særligt aspekt ved adaptiv lysstyring er, at det netop involverer foranderlige vilkår og behov, og er afhængig af klare designvalg omkring flere kvalitative aspekter, for at kunne inddrage brugerscenarier og udvikle interfaces, der er meningsfulde for slutbrugerne. De nye muligheder ved adaptiv design er tilpasning set fra forbrugerens perspektiv: at omgivelserne tilpasser sig ønsker og behov, og at dette sker indenfor rammerne af et lysdesign, som tager hensyn til arkitektur og energiforbrug.

Fra dynamisk til adaptivt lys

Dynamisk lys er muligheden for variable i farvetone og lysniveau, et skifte fra simple tænde og slukke automationer til gradvise variationer. Det dynamiske lys indebærer muligheder for at automatisere tilpasninger til flere forskellige situationer med det samme udstyr, for eksempel som tilpasning til brugsmønstre, arbejdssituationer og almene lyskrav, samt integrering af kunstlys til dynamisk at supplere dagslysvariationer. Automationen af de dynamiske muligheder er det adaptive lys. Adaptionen indebærer en nødvendig (og ønskelig) koordinering af flere samtidige parametre (for eksempel: brugsmønstre, arkitektonisk design, energioptimering) samt åbner for en mulighed for i højere grad at give rum for brugernes kontrol med deres lysomgivelser (og engagere brugerne i energioptimering).

Adaptive udfordringer

Med udviklingen af dynamiske variationer i lyskilderne, altså variationer i farvetone og lysniveau og tilpasning af lokale lysforhold, er opstået en stigende kompleksitet af styringssituationen. Mange af de mulige variationer i lys scenarier og dynamikker indeholder nye muligheder, som ikke tidligere har været tilstede, nye lyskvaliteter, nye bruger muligheder og nye muligheder for arkitektonisk lysdesign. Der skal derfor udvikles lysdesignforståelser som kan udnytte og mestre mulighederne, og der skal udvikles styringssystemer, som kan implementere de ønskede lysdesign. Det adaptive lysdesign har udfordringen med at styre kompleksiteten af de mange dimensioner. Hvordan opnås der kvalitetsbelysning i de ønskede brugsscenarier, som er funktionelt og forståeligt for brugerne, og samtidig befordrer optimering af energiforbruget til lys? Her indebærer adaptivt lys den intelligente tilpasning af potentialerne i dynamisk lys.

Styringsintelligensen i adaptiv lysdesign

IT understøttelse er den afgørende tekniske udvikling der fører til adaptive systemer, altså hvordan det komplekse spekter af netværk og funktioner sættes i forhold til hinanden. Mulighederne ved adaptiv lysstyring gror ud af at systemdele, netværk og data flow kan kordineres gennem software således at de dynamiske variationsmuligheder styres på måder, der meningsfuldt tilpasser sig behov og krav. De adaptive lysdesign skulle gerne fremstå med intelligente løsninger, hvor brugerens oplevelse er afklaret og brugbar, fordi de komplekse afvejninger og designvalg foregår i det adaptive system.

IT systemer med adaptive kvaliteter indeholder blandt andet scenarier for fremtidige valg (hvilke dynamiske variationer, der ligger indenfor det ønskelige), opsamlinger og beregninger af tidligere forbrugsmønstre (hvilke valg skal understøttes eller modarbejdes), samt tilpasning til brugernes behov (gennem udvidet individuel kontrol og adgang til at bruge de dynamiske lysmuligheder kvalificeret). Alle disse adaptationer til brugerne foregår indenfor de mulighedsrum software og design stiller til rådighed, og disse mulighedsrum kan så være dynamisk definerede af tilpasning til energioptimering.

Styringsparadigmet går fra at konstruere styring som kontrol og automation, til at udvikle styring med kompleks integrering af mulighederne for tilpasning og forhandling. Tilpasning og forhandling af lysforhold involverer en række interessenter (bruger behov, design kvalitet, energi optimering), som er mulige at koordinere og optimere gennem en samtidig udvikling fra alle tre perspektiver. Der skal således udvikles samtidig på

Testinstallation i InterMediaLab på ITU.
Omgivelser og objekter holdes i svagt grå
og hvide farver, således både skygger og
lysfarver træder tydeligt frem.



energioptimering, styringsteknologier og brugerscenarier og interfaces for at opnå brugbare resultater med adaptiv lys.

Adaptiv lysdesign koordinerer energioptimering i et helhedsperspektiv

Adaptivt lysdesign set i et helhedsperspektiv indeholder en tilpasning både i styringssystemet, i brugeradfærden og i designløsningerne, altså at det ikke kun er et spørgsmål om at udvikle en teknisk løsning på et defineret problem, men at etablere teknik og designforståelser som muliggør, at der er råderum for løbende tilpasning til behov og krav. IT styringen muliggør en intelligent tilpasning. Koordinering af sammenhænge mellem flere variable, involverende brugerne og deres velvære.

De nye kvaliteter, som er væsentlige at få udviklet, kommer af at integrere og koordinere mange tilpasninger samtidigt. Flere tilpasninger samtidig medfører en vægtning af flere variable, hvor der ikke er faste bedste indstillinger, men et råderum af potentielle mulige scenarier indenfor definerede grænser. Og at væsentlige dele af tilpasningerne er til frit rådighed for brugerne som kvalitative valg efter behov og ønsker. Altså en intelligent tilpasning både af lysets fremtræden, af brugerens ønsker, og af hensyn til energioptimering, med løbende tilpasning af krav og behov gennem den adaptive ambiens indlagt i systemerne.



Konstruktionen af 'lysning'.
Et instrument til observation af dags- og kunstlys integrering. Ved hjælp af instrumentet etableres en særlig fokus på ude-inde forholdet.

EAL projektets undersøgelser kan bidrage til større indsigt i hvilke designproblematikker adaptiv belysning åbner for og specielt hvordan integrering af dagslys og individuelle bruger ønsker befordres ved forskellige scenarier af adaptiv belysningsdesign. Vi antager at adaptiv belysning kan bidrage positivt til folks velvære og arbejds komfort. Projektet har udviklet pædagogiske redskaber og kvalitative designkoncepter, som inddrager brugersituationen og den arkitektoniske lysdesign i sin helhed.

Individuel tilpasning giver fleksibilitet i energiforbruget

Et individuelt design muliggør en tilpasning, der indeholder el besparelser og fleksibelt forbrug, som vanskeligt understøttes af central og forprogrammerede løsninger. Man kunne forvente at arbejds- og livs-komforten stiger mærkbart når mennesker får indflydelse på kvaliteten af deres arbejds- og livs-omgivelser. Den form for brugerindflydelse, som befordres af det adaptive lys, kunne medføre en udvikling af større bevidsthed om effektiv anvendelse af energi indenfor lys, ved at bidrage med reelle kvalitative valgmuligheder for den enkelte forbruger. Derfor forventer vi, at et mere individuelt design af lys-adaption vil medføre et mindre men langt mere varieret forbrug af el. Samtidig vil et fleksibelt forbrug gennem minimale lokale tilpasninger give et udvidet råderum for at regulere efter fluktuationer i energiforsyningen.

Projektets hovedbidrag formes gennem udvikling af afstemte begrebsæt og eksperimentelle skitseværktøjer. Projektet har udviklet arkitektoniske skitserum, iscenesættende lysdesign værktøjer, til at kunne eksperimentere med adaptiv lysdesign og styring af eksperimentelle installationer i fuldskala.

Det handler om en designproblematik, hvori styringssoftware, interfacedesign, armaturdesign, styringsinfrastruktur, arkitektonisk rumdesign og brugeroplevelser, indgår i en samlet interdisciplinær økologi af tilgange. Netop med en interdisciplinær tilgang er det muligt at undersøge et komplekst problemfelt med forskellige modeller, metoder og værktøjer, der gør de involverede i stand til at åbne for de fælles eller overlappende problemer og søge viden på tværs af fagfællesskaber.

EAL projektets teknologiudvikling og potentiale

EAL projektet har gennemført en projektproces i balance mellem udvikling og forskning. Projektet gennemfører grundlæggende anvendt forskning i nye metoder og teknologier introduceret med LED lys og software baserede styringsformer. Der arbejdes med retning mod at udvikle specifikationer

for fremtidige adaptive installationer af lyskilder og styrings-systemer, som kan danne grundlag for udvikling frem mod markedsintroduktion og skalering i både nye byggerier og renovation af eksisterende bygninger. Der er specielt fokus på hvordan intelligente styrings-systemer, indlagt i en IoT infrastruktur, kan befordre arkitektonisk kvalitet og bruger komfort.

Projektet har en plads i spektret af teknologier, viden og løsninger indenfor vedvarende energi, hvor fokus er på at slutbruger ikke blot har det lavest mulige energiforbrug, men snarere har et tilpasset og intelligent energiforbrug til belysningsopgaven. Det vil resultere i mindre energiforbrug ved at se hen over flere forhold, der tilsammen udgør parametre i relationen mellem energiforbrug, belysnings kvalitet og bruger komfort. Ved at inddrage brugsmønstre, dagslysforhold og komfortoplevelse i intelligent lysstyring opnås et skift fra centralt defineret optimering gennem kontrol, til fleksibel optimering ved at etablere et råderum for mange forskellige løsninger, der i hver situation tilpasses unikt til de foreliggende vilkår.

De nye vilkår for design af lys i bygninger, der opstår ved en overgang til adaptive funktioner, åbner for en afgørende ny måde at forstå og designe ikke bare lys og dynamiske lysvariationer, men inkluderer genovervejelser omkring arkitektonisk design af lys i bygninger, nye forståelser af hvordan dynamisk lys influerer på dagligliv i bygninger, og en ny tilgang til de teknologiske installationer, der forestår management og automation af i bygninger. Grundlæggende antages det, at der er potentiale for at dynamiske variable og koordinerede dimensioner kan etablere et større råderum for tilpasning af lyset i bygninger, og derved også befordre intelligent og fleksibelt energiforbrug.

EAL projektet undersøger en type adaptiv belysning og styring, der tilpasses krav og behov gennem at give kvalificerede muligheder for lokal tilpasning, opnået ved en kraftigt udvidelse af hvilke lysniveauer, lysfarver, lysdynamikker og arkitektoniske kompositioner, der er mulige at opnå og variere indenfor. Designet af denne type adaptivt lys fordrer en selv-organiserende og selv-genererende software service ofr at drage fuldt nytte af sine potentialer, som i en nær fremtid vil kunne leveres gennem Lighting-as-a-Service løsninger, der er i stand til at håndtere en løbende tilpasning mellem krav-behov, design og oplevelse.

Ny adaptiv optimeringsstrategi

EAL projektet udvikler en ny adaptiv optimeringsstrategi, som fungerer parallelt med funktions og scenarie baserede strategier. Indenfor de mest udbredte udviklingsscenarier arbejdes der med at registrere og understøtte brugeradfærd gennem raffinering af overvågning af brugere kombineret med programmerede planer for deres opførsel i bygningen. Ideen er at man med et intelligent system kan optimere både bruger komfort og intelligent brug af energi ved stadig bedre tilpasning.

Den adaptive optimeringsstrategi tager grundlæggende et andet udgangspunkt, hvor der raffineres i evnen til dynamisk tilpasning snarere end præcise og definerede løsninger. Det er en strategi, hvor kapaciteten til at indeholde løsninger til variation, individuel adfærd og uforudsete hændelser og krav kan modsvares. EAL projektet udforsker hvordan en koordinering af lysomgivelserne, brugeradfærd og styringsteknologi som dynamiske elementer kan bidrage til at give forøget råderum, hvori de mere funktionelle og pragmatiske styringsparadigmer kan forhandles.

Den adaptive funktionalitet er baseret på koordinering og udvikling af dynamikker over tid, og fungerer som et mellemlag (middleware) hvori integrering af dynamikker og generering af tidlige variationer foregår. Den adaptive funktionalitet er udviklet til at kunne bidrage til services (Lighting-as-a-Service) i infrastrukturer af netværk (IoT netværk) hvori komplekse softwarekonfigurationer kan vedligeholdes og udvikles.

Det adaptive lys, udfoldet som system og implementeret i bygninger, vil fungere bedre jo flere sensorer og lysgivere, der kan tilkobles som selvstændige elementer. Det adaptive system er en mangedimensionel vægtning af mange samtidige parametre. Hvordan det påvirker lysdesignet kvalitativt afhænger af tilbagemelding (feedback) fra de konkrete lysforhold til det adaptive system.

At balancere tre bæredygtighedsområder

EAL projektets begyndende udvikling af design forståelser og tekniske specifikationer for et adaptivt lys er forudsat at skulle afpasse og balancere tre bæredygtighedsområder:

1. arkitektonisk design og bygningsdrift,
2. brugernes livspraksis og oplevelse,
3. intelligent og afvejet forbrug af energiressourcer.

EAL projektet tilgår denne opgave ved at etablere det adaptive forhandlingsrum som konceptuelt design objekt, som 'noget' der forestår koordineringen og forhandlingen af de adaptive dynamikker, men hvor selve implementeringen i lamper, styresystemer, oplevelsen af lyset og arkitektonisk design, er hvad projektet forsøger at indkredse og realisere konkrete bud på.

Adaption med ambient lys

Det adaptive lys er centreret omkring et koncept om ambiens. Kort fortalt forstås ambiens, i EAL projektets adaptive lys, den lyssituation, som hverken træder frem som noget tydelig belyst eller lysende, og heller ikke træder så meget i baggrunden, at det bliver del af den generelle omgivelse. Det ambiente lys er tydeligt at fornemme, det giver lys og form til rummet og de tilstedeværende, men er ikke tydeligt at adskille som enkelt elementer.

Det ambiente lys er lysomgivelsen i sin fleksible variation, som fremkommer af kombinationen af lysgivere. Det involverer således lysindfald fra sol- og himmellys, gade- og eksempelvis billys, og lyset reflekteret fra byens andre bestanddele. Det ambiente lys involverer lysets refleksioner i materialer og fremhæver former i rummet. Det bestemmes af rummets indretning og menneskernes oplevelse i daglige aktiviteter. Ambians kan derfor betragtes som en fleksibel grundbetingelse for lysets tilstedeværelse, hvorfra elementer træder frem eller træder i baggrunden alt efter hvordan adaptionens dynamikker udfolder sig.

Det er en hovedantagelse i EAL projektet, at i stedet for at servicere bestemte løsninger ved overvågning og scenarie kontrol, så kan man med fordel etablere et udvidet råderum for et væld af mulige løsninger. Løsninger der alle er designet som kvalitative udfald indenfor det designede råderum, men som udgangspunkt åbne for hvad situationen beforder og hvordan den individuelle bruger vælger at forme sine lysomgivelser.

Tilpasning af energiresourcer

Centralt for det adaptive lys i EAL projektet er også at velovervejede og relevante brug af energiresourcer bedre kan opnås ved at give forøget råderum for individuelle løsninger og løbende tilpasning, med udbredt følelse af at kunne forme sine omgivelser efter behov.

Behov er komplekse og varierede, afhængige af sammenhænge mere end af absolutte værdier. Den adaptive optimeringsstrategi i lysdesignet vil kunne varetage løsninger, der er en forhandlet sammenhæng af det ambiente i et kombineret perspektiv af arkitektonisk design og bygningsdrift, brugernes livspraksis og oplevelse, og intelligent og afvejet forbrug af energiresourcer.



Tre former for lysgivere: rettet, diffust og reflekteret lys. De tre former for lysgivere anvendes i testopsætninger til at komponere de adaptive lysforekomster.

EAL projektets proces

EAL projektets proces

EAL projektet har realiseret forskning og udvikling af effektiv og fleksibel energi- og el-anvendelse gennem adaptivt lys. Projektet repræsenterer et bredt udsnit af værdikæden indenfor avanceret arkitektonisk lysdesign og lysstyring : Spektra-LED har speciale i at designe og bygge lyskilder og styringer til arkitektoniske specialopgaver; CreaSign har speciale i forarbejdning af lysflader; KADK Lyslaboratoriet har speciale i dagslys og integration af kunst- og dagslys; Grontmij har speciale i professionelt lysdesign indenfor byggeindustrien; Kongshaug udvikler integrerede arkitektoniske lysdesign og event design; Fagerhult producerer lamper og sælger kunstlys løsninger; og ITU leverer interdisciplinær forskning med fokus på IT og indflydelsen af IT på arkitektonisk design og infrastrukturer.

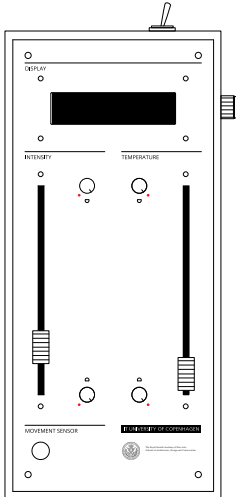


Formålet er at begynde udviklingen af forståelser af mulighederne ved dynamisk kunstlys og adaptive styringsteknologier, og begynde afklaringen af hvordan denne form for navigering af elforbruget til lys kan sikre mere effektiv og fleksibel anvendelse af energi i forbindelse med indendørs bygningsbelysning. Projektet er udført som design-drevet forskning og udvikling gennem en serie workshops og design processer, hvor de potentielle muligheder i det adaptive lys er udviklet.

Projektet har været involveret i flere parallelle udviklingsprocesser, som nødvendigvis har skullet udvikles gradvist på tværs af tilgange. Der er således udviklet lampetyper og lysende materialer, styrings softwares og interfaces, undersøgelsesinstrumenter og prototyper til test af oplevelsen af adaptive lysscenerier, og flere udgaver af undervisnings sæt og pædagogiske forløb. Projektet er nået til en afklaring gennem design processer, som har ført til et klart fundament for at starte næste fase: implementering og test i virkelige omgivelser med en daglig livspraksis og et aktivt og socialt arbejdsmiljø.

InterMediaLab på ITU.
En fuld skala testfacilitet.





Styringsboks med indstillinger til intensitet, farve, skala og relationer.



Styrebokse forbindes med bluetooth i relationelle netværk.

Projektets faser

Eal projektet består af seks perioder der udover projektstart og formidling af resultater består af prototype udvikling og udviklingen af et endeligt design af de observations instrumenter som projektet udvikler.

2015			2016		2017
P1 Projektstart	P2 Prototyper fase 1	P3 Prototyper fase 2	P4 Prototyper fase 3	P5 Final Design	P6 Formidling

P1 Projektstart (3mdr)

Opstarts workshops med afsæt i prototyper, design strategier og teoridannelser fra LED lys forskning foretaget mellem ITU og KADK 2012-2014

Detaljeret udvikling af forsknings og design opgaver til første serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups

P2 Prototyper fase 1 (3 mdr)

Udvikling af første serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups

Evaluering af første serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups ved Laboratorie undersøgelser i InterMediaLab på ITU

Workshop med projektpartnere og inviterede fra branchen

Detaljeret udvikling af forsknings og design opgaver til anden serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups

Formidling af proces og foreløbige output til netværk.

Undervisning på ITU og KADK

P3 Prototyper fase 2 (3 mdr)

Udvikling af anden serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups

Evaluering af anden serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups ved Laboratorie undersøgelser i InterMediaLab på ITU

Detaljeret udvikling af forsknings og design opgaver til tredje serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups

Formidling af proces og foreløbige output til netværk.

Undervisning på ITU og KADK

P4 Prototyper fase 3 (3 mdr)

Udvikling af tredje serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups

Evaluering af tredje serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups ved Laboratorie undersøgelser i InterMediaLab på ITU

Detaljeret udvikling af forsknings og design opgaver til final serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups

Formidling af proces og foreløbige output til netværk.

Undervisning på ITU og KADK

P5 Final Design

Realisering af final serie prototyper, skitseværktøjer og 1:1 mock-ups;

Formidling af proces og foreløbige output til netværk.

Workshop med projektpartnere og inviterede fra branchen

Evaluering af de samlede resultater og udvikling af plan for afsluttende formidling til forskning, branche og undervisning;

Undervisning på ITU og KADK

P6 Formidling

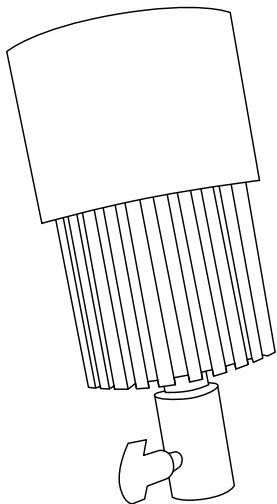
Formidling af forsknings resultater ved konferencer og i tidsskrifter

Formidling af projektets resultater for et bredt publikum på websitet www.lightresearch.dk

Formidling af proces og foreløbige output til netværk, lysdesign branchen; publicering ved forsknings artikler og konference præsentationer;

Udvikling af næste fase af Adaptiv Lys forsknings og udviklings agendaen til fonds ansøgninger og definition af tre PhD opgaver til at fordybe resultaterne indenfor perspektiverne energi forbrug, lysdesign og softwareudvikling.

Undervisning på ITU og KADK



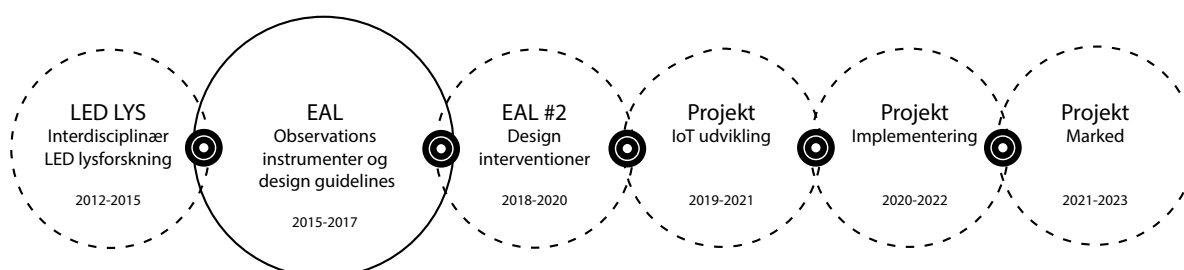
EAL test-kit indeholder LED lamper med variabelt hvidt lys og intensitet. LED lamperne benyttes i udgaver med rettet lys, diffust lys og reflekteret lys. På billedet ses den diffuserende udgave.



Forskningsdesign og faser i udviklingen af adaptivt lys

Det adaptive lys er drevet af en software arkitektur som arbejder i abstraktioner af koordinering og kommunikation mellem alt indenfor dens fysiske infrastruktur. Fra et energiperspektiv vil det involvere styring af energiforbrug i forhold til både fluks i forsyningen og individuelle behov i slutforbruget.

Udviklingen af Adaptivt Lys sætter en interdisciplinær designopgave, hvor der udvikles teknologier og modeller for denne sammenkædning af interesser og funktioner. EAL projektet søger at udrede rammerne for en model gennem en lang og flerledet proces af designundersøgelser, ved at benytte metoder fra arkitekturdesign, lysdesign, softwareudvikling i spil, installationskunst og performance; samlet i en overordnet forskningsdesign ud fra eksplorative designmetoder.



EAL projektet er nummer to i rækken af det overordnede projekt omkring adaptivt lys, som har seks forsknings- og udviklingsfaser.

Projektet er placeret i den anden fase af et længere udviklings- og forskningsforløb, som fordeler sig i seks faser, organiseret som en designudviklingsproces.

Første (1) fase (2012-15) var en udredning af arkitektoniske og perceptuelle forståelser af dynamiske lyskvaliteter. Det blev undersøgt gennem udvikling af oplevelsesbaserede instrumenter til iscenesættelse af dynamiske lysforhold i fuld skala. Der var specielt fokus på adaptiv integration mellem dagslys og kunstlys, og på adaptive sammenhænge mellem bevægelse gennem rum, hvor lyset følger handlinger og positioner.

Anden (2) fase er det toårige EAL projekt (2015-17), som har til opgave at udvikle en forståelse af de potentielle designmuligheder ved et adaptivt lys når det sættes i kontekst af rumligt design, bruger scenarier, og integrering med omgivelserne. EAL projektet har udredt råderummet i det adaptive lys som lysdesign paradigme i et sæt af dimensioner, og derfra udredt dimensionerne i parametre og relationer, der er søgt indkredset gennem projektets forsknings- og designundersøgelser.

Den tredje (3) fase er at udvikle pilot projekter, hvor der skal installeres, udvikles og afprøves på konkret realisering af de adaptive lysideer i konkret installation. Her arbejdes med at indgå i lysinstallationer i en folkeskole, en kontormiljø, og en privatbolig, som alle er forberedt med styrbare LED lamper og data-infrastruktur. Her gennemføres en design- og udviklingsproces hvor det adaptive paradigme implementeres i daglig praksis.

Den tredje fase realiseres i selvstændige forskningsprojekter med industripartnere i kontekst af bl.a. en folkeskole, et kontormiljø, og et lav-tæt boligområde. Her installeres adaptivt lys som konkrete pilotprojekter, med udvikling og test af design og teknologi relateret til og i samarbejde med de konkrete sociale kontekster.

Denne serie af forskning/udviklingsprojekter skal afklare hvordan adaptivt lys kan bidrage til i mere effektive teknologier, løsninger, metoder og koncepter, for intelligent anvendelse af energi i slutforbruget. Det realiseres som en kombination af forskningsdrevne industri PhD og Postdoc projekter placeret hos industripartnere, og udviklingsprojekter drevet af industripartnerne med konkrete fokus på teknologi, implementering og skalering.

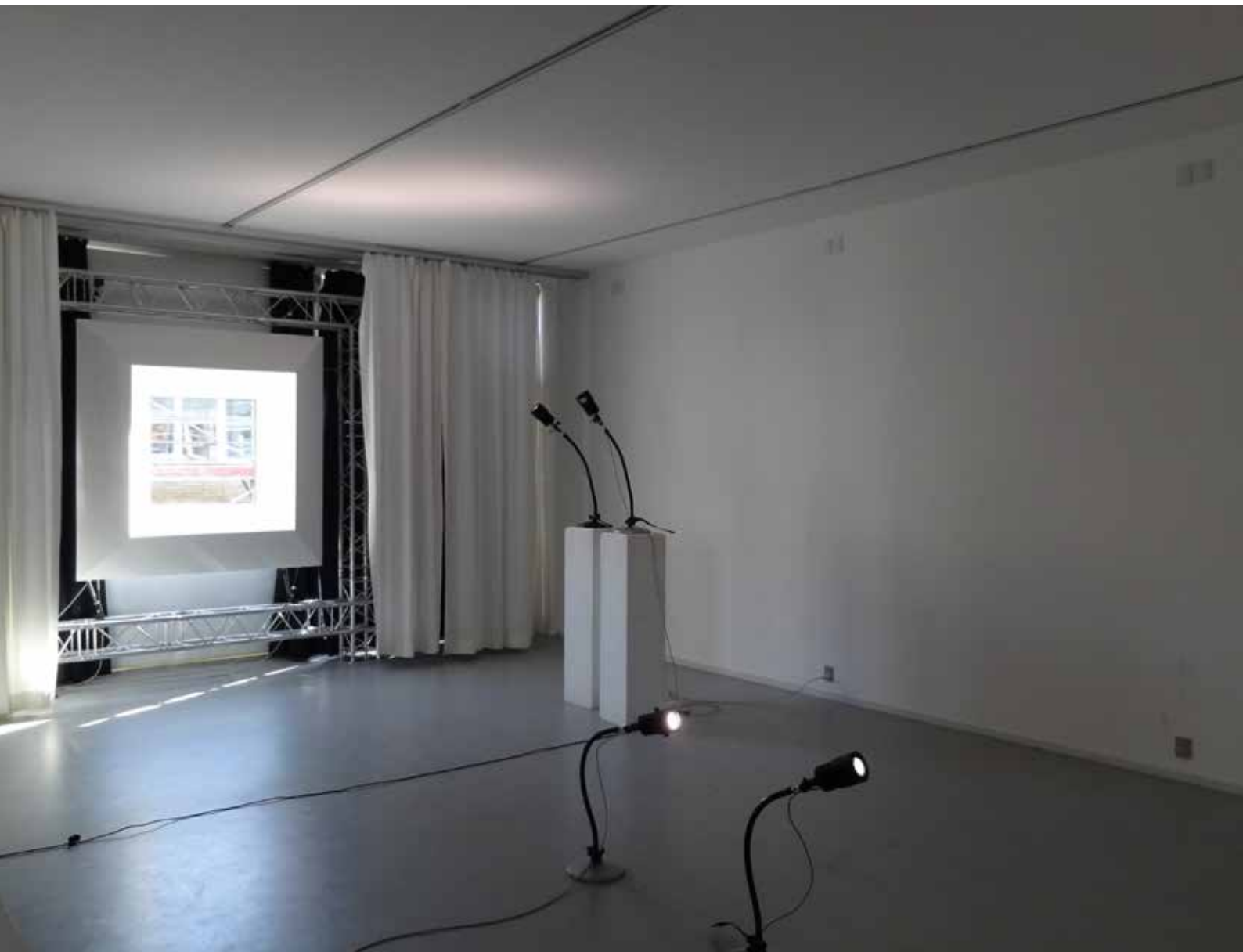
Fase fire (4) er en teknologisk udvikling af færdige, testede og validerede prototyper med specifikationer, der muliggør skalering til konkrete systemløsninger. Det er centreret omkring IoT infrastrukturer, hvor de potentielle adaptive styringsideer udvikles samtidig med at nye lysdesign strategier udvikles.

Fase fem (5) indeholder udvikling af Lighting-as-a-Service specifikationen omkring adaptivt lys som IoT service.

Fase seks (6) vil være markedsklargøring af en demonstration af en lighting-as-a-service implementering af adaptivt lys.

Teknologi og oplevelse medieret af digitalt vejr

EAL test-kit installeret i KADK
Lyslaboratoriet. Der undersøges hvordan
dags- og kunstlys relateres dynamisk
og skaber fluktuerende rumlige
lyssituationer.



Teknologi og oplevelse medieret af digitalt vejr

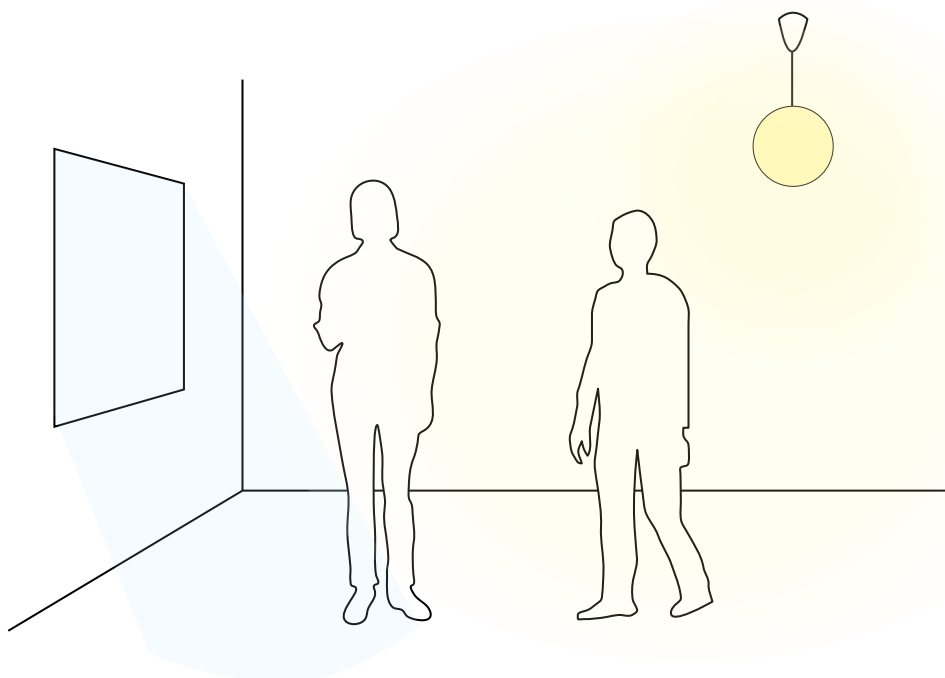
Det adaptive lys er en tilpasning af lys, altså en udnyttelse af mulighederne for at justere i lysets farvetone og lysniveau så det tilpasses behov og krav, men delvis automatiseret. Det kan være tilpasning til brugsmønstre, arbejdssituationer og almene lyskrav, samt integrering af kunstlys til dynamisk at supplere dagslysvariationer. Automationen af de dynamiske muligheder er det adaptive lys. Adaptionen indebærer en nødvendig (og ønskelig) koordinering af flere samtidige parametre og åbner for en mulighed for i højere grad at give rum for brugernes kontrol med deres lysomgivelser og indebærer muligheder for at automatisere tilpasninger til flere forskellige situationer med det samme udstyr.

Centralt i den software styrede adaption er det digitale vejr. Det digitale vejr kan tænkes som en selvgenererende og foranderlig ambiens, hvormed man kan bestemme den dynamiske komposition af farvetemperaturer og lysintensiteter. For eksempel kan der indstilles et digital vejr, som minder om et let varieret skydække, hvor forandringer i skyernes form og størrelser indvirker på farve og intensitet i lysets dynamik. Den adaptive styring kan variere kunstigt lys og tilpasse sig fluktuerende udendørslysforhold, samt befordre dynamiske belysningsscenarier i en række menneskelige interaktioner. Det adaptive lys fungerer i et afgørende andet paradigme end tidligere lysstyrings forståelser, både teknologisk og som oplevelse af lyset tilstedeværelse. Lyset er i kontinuerlig forandring under indflydelse af et større spekter af variable, som bringer fokus på tidlige udviklinger og moduleringer snarere end bestemte definerede lyssætninger.

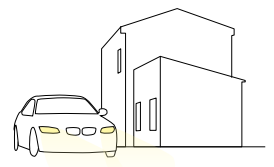
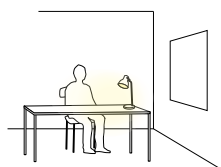
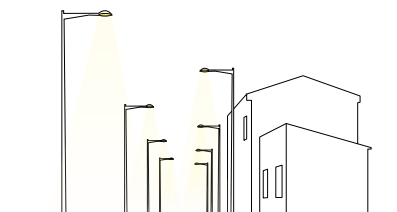
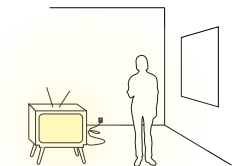
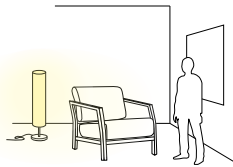
Teknologisk er lysdesignet i EAL projektet bygget op omkring et princip af at alle lyskilder er variable indenfor plank skalaen som farvetoner af hvid og i kontinuerlig forandring indenfor deres råderum. Alle lysgivere er styrbare og i kontinuerlig forandring under indflydelse af det digitale vejr. Faste eller stillestående lys intensiteter og temperaturer er således i dette koncept snarere sjældne undtagelser. Alle adaptioner forhandles gennem det digitale vejrs generative procedurer, hvor data fra sensorer og bruger indflydelse inddrages som justeringer i variationens udfoldelse. Hele systemets udfoldelsesrum for variation og forhandling er indlagt i og afgrænset af lysdesign beslutninger, arkitektoniske hensyn og andre forhold bestemt af indretning og brug. Forudsætningen for denne type lysstyring er et flerleddet software lag, der har

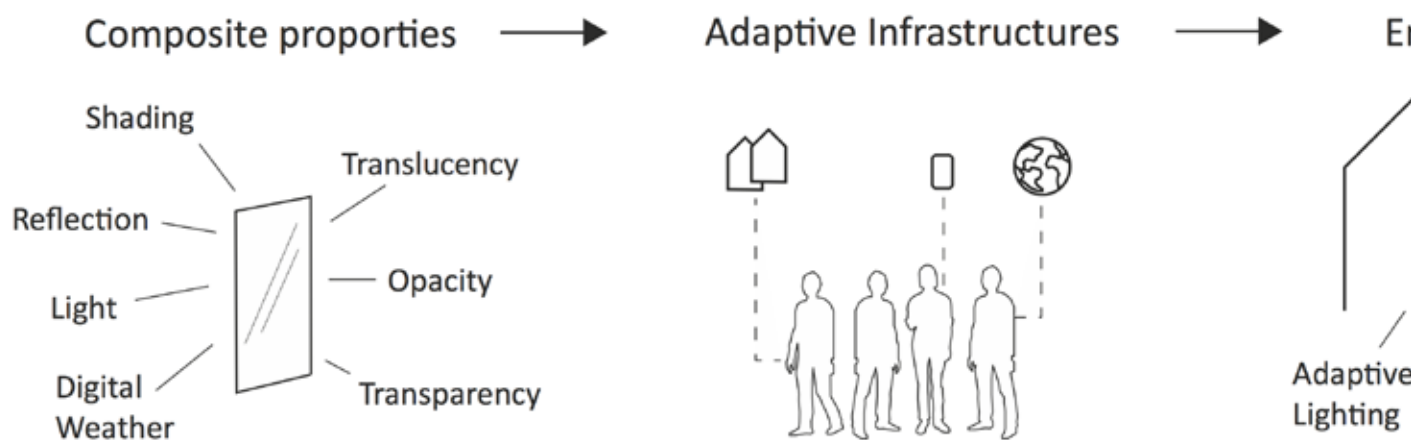
egne systemer fordelt i de forskellige niveauer og dimensioner. Central i systemets virkemåde er at integreringen af hensyn indgår som variable omkring generering af et digitalt vej, og derved kontinuerligt forhandles indenfor lysgiverens råderum.

Som oplevelse frembringer det kontinuerligt fluktuerende adaptive lys helt nye aspekter for lysdesignets vilkår. Omgivelserne bliver animerede på måder vi kender fra dagslysets dynamiske foranderlighed, som fremdrager nye aspekter af de arkitektoniske rumligheder, forandrer mennesker og objekters tilstedeværelse, og åbner for meningsfulde koblinger til omverdenens lysvariationer og brugernes forskellige aktiviteter. Teksturer changerer og materialer fremstår med varieret glans og dybde. Det modulerede lys fremhæver nye aspekter af de rumlige former og objekter artikuleres på måder, som ellers kun ville fremkomme, hvis man selv bevægede sig i forhold til dem. Forholdet mellem oplever og omgivelser skifter når begge parter er i bevægelse og fungerer perceptuelt på måder, der minder om at vandre ude i dagslyset. Der bliver bragt fokus på de dynamiske og adaptive aspekter af vores perceptuelle system, hvor menneskets tilstedeværelse er præget af at indgå i aktiv sansning med omgivelser.



Mødet mellem det omgivende lys og det lokale lys i adaptiv ambiens.



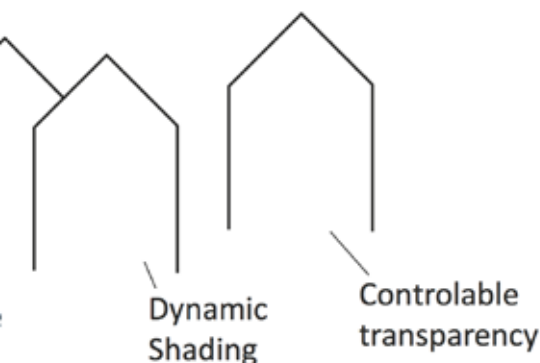


IoT og Lighting-as-a-Service

Lys og lysdesign er en af de sidste infrastrukturer i byggeriet, som indgår i udviklingen mod bygningsstyring gennem internet- og intranetsystemer og indskrives sig altså i konteksten af Internet-of-Things og Lighting-as-a-Service. Det skyldes at lys er meget komplekst at designe, installere og vedligeholde, og med meget varierede krav om tilpasning til energi fleksibilitet, arkitektoniske hensyn, bruger situationer og individuelle behov. Det adaptive lys paradigme er indgribende på helt nye måder i lysdesign, teknologi og bruger oplevelse, så derfor er en del af EAL projektets udkomme at begynde en redegørelse for de detaljer, der sættes i spil og omformes eller stilles nye krav til. EAL projektet har derfor foretaget udvikling af flere komplekse aspekter samtidig ved at integreres teknologiudvikling af software automationer og interfaces med design af lys og afklaring af kontekster og infrastrukturer.

Denne type automation er, som antydnet ovenfor, meget forskellig fra tidligere styrings forståelser. Der er tale om en overgang til software baseret styring, som en servise, i et systematiseret netværk af devises. Denne type systemer kan, som vi kender det senest fra vores smartphones, tilpasses komplekse system økologier og detaljerede, unikke og personlige scenarier. EAL projektet placerer sin udvikling af adaptivt lys i kontekst af det europæiske standardiseringsprojekt openais.

Embedded services



Materialers kompositte egenskaber, adaptive infrastrukturer og services gør arkitekturen i stand til at tilpasse varierede behov for lys.

eu¹, et EU-støttet brancheinitiativ, som har gennemført udredningsarbejdet med at specificere standarder, strukturer og specifikationer for en IoT baseret, Lighting-as-a-service infrastruktur². De tekniske specifikationer i OpenAIS projektet blev færdiggjort i foråret 2016 og vil blive implementeret som fælles EU standard hen imod 2020³.

OpenAIS har sat rammen for at udvikle de fremtidige standarder indenfor lys, så de tillader integration af alt i en open-source Internet-of-Things arkitektur. Enkelt fortalt består den nye infrastruktur for lys af netværksopkoblede lyskilder i bygningen, et lag af middleware, som forbinder med alt andet i bygningen (f.eks. varme, solskærme, sikkerhed), og en sikker internetforbindelse til management og services. Heri vil den største forandring være, at det endelige design og drift bliver en service, der løbende kan tilpasses. Det er altså kun infrastrukturen, som indbygges i bygningen fra start; funktioner, management og services tilvælges individuelt af brugere og kan løbende forandres efter behov. Der kan tilbydes meget forskellige konfigurationer alt efter bygningens brug, indlægges forandringer med dynamisk tilpasning til dagslysforhold, samt indgribes med intelligente energioptimeringer. De beskrevne udviklinger af det adaptive lysdesign er konkrete realiseringer af, hvad der i andre skalaer betegnes som Smart Homes, Smart Buildings og Smart Cities⁴.

Implementering af adaptivt lys – Lighting-as-a-Service

Det nye mellemlag af services (f.eks. <http://www.mivune.com/en-US/Home.aspx>), der hovedsagelig gennem software tildele bygningens infrastruktur sine designede lokale funktioner, åbner for den afgørende nye forretningsmodel: Lighting-as-a-Service. Denne service leverer gennem den omtalte middleware unikke services til den enkelte bruger. Det er samtidig åbningen mod at Building Management generelt flyttes fra bygningen til service-leverandører over internettet. Teknisk set involverer de nye specifikationer en afklaring af flere underliggende systemer, som sikrer at alt fungerer lokalt - også uden internetforbindelse. Systemerne er sikret mod misbrug, og enhver ønskelig lokal implementering af lysdesign er ikke forud bestemt af den tekniske infrastruktur.

Lighting-as-a-Service tager udgangspunkt i services for enkelte brugeres livssituation i alle sine variationer og kompleksitet. Det kan ses som en udvidelse af Human-Centric-Lighting,

1. <http://www.openais.eu/en/results/>

2. [http://www.openais.eu/user/file/openais_object_model_annex_\(d2.7\)_v1.0-pub.pdf](http://www.openais.eu/user/file/openais_object_model_annex_(d2.7)_v1.0-pub.pdf)

3. [http://www.openais.eu/user/file/openais_implementation_verification_guidelines_\(d2.2\)_v1.0-pub.pdf](http://www.openais.eu/user/file/openais_implementation_verification_guidelines_(d2.2)_v1.0-pub.pdf)

4. <http://www.smartlighting.org/>, <http://www.smart-sensing.org/>.

der åbne for fokus på helse, tilfredshed og arbejdsevne ud fra biologiske, medicinske, psykologiske og arbejdsøkonomiske parametre (f.eks. LESA: <https://lesa.rpi.edu/>). Denne tilgang indfører kulturel og social adfærd som værdier i lysdesign, hvor lysforhold tilpasses menneskets behov, og hvor man er interesseret i lysets forhold til forskellige livpraksisser og folks adgang til at forme sine omgivelser. Det er således muligt at have personlige designs i sin egen del af bygningen, opdateret af egen leverandør med det ønskede serviceniveau.

De nye opdelinger i leverandører af bygningsinfrastruktur, internetforbundethed, og de mellemliggende tjenester skaber en ny værdikæde, roller og partnere i lysbranchen. Nye virksomheder vil operere med Lighting-as-a-Service. Dette sker sideløbende med et øget fokus på cirkulære økonomiske forretningsmodeller, hvor der er fokus på alle involverede og relaterede omkostninger i den umiddelbare cyklus af omsætning. Denne nye tilgang bygger på en forståelse af en bygningers livscyklus som kontinuerligt fortsættende, da der nu indbefattes skiftende brug og nye, endnu ukendte teknologier, som befordrer omfattende og løbende re-design og forandrede relationer til kvaliteten af lyssituationer i forhold til brugernes behov.

Brugerne af lyssystemer vil skifte opførelse ved overgang til de nye systemarkitekturer, der kontinuerligt kan tilpasses personlige behov og er åbne for potentielle forandringer. Et aspekt af dette er ophævelse af ejendomsforhold til de fysiske installationer, deres vedligeholdelse og drift, som overgår til at blive serviceret af et spektrum af virksomheder. De vil levere nye lysløsninger, der kan være meget forskellige i kvalitet, selv indenfor den samme ejendom. Når drift, vedligehold og ikke mindst design er tilpasningsdygtig til forandringer, vil der åbnes for alle aspekter af Adaptive Lighting, som for eksempel lokal, individuel og hurtigt forandrende brugsmønstre.

Den fremtidige udvikling med Lighting-as-a-Service vil altså i de nærmeste år skabe en ny branche, som leverer lysdesign, lysstyring og vedligehold - hovedsagelig gennem software-services. De beskrevne udviklinger med smart lighting, som det adaptive lysdesign er en del af, er konkrete realiseringer af, hvad der i andre skalaer betegnes som Smart Homes, Smart Buildings og Smart Cities.

Den adaptive automation medfører enklere brugerinteraktion

Når lysets kvalitet og form åbnes til at kunne re-designes og gøres dynamisk tilpasset, skal der udvikles nye forståelser af



brugersituationerne, hvor dagslysindtag, energiforbrug og situationsbestemt lysdesign indgår som afklarede faciliteter i omgivelserne. Erfaringerne fra de tidligere og nuværende forskningsprojekter er, at denne adaptive betingelse består af meget enkle interaktioner gennem 'dumme' kontakter og sensorer, der koordineres og designes i 'smarte' systemkoordineringer, delvis gennem softwareservices med adaptive intelligenser, og delvis gennem omtænkning af brugernes relation til lysdesignet.

Adaptive lysdesigns og de bagvedliggende tekniske arkitekturer er således væsentligt anderledes konstrueret end nuværende systemer. Der er udbredt lokal selvorganisering og sikkerhed i systemfunktioner og en uendelig mulighed for løbende forandringer og tilpasninger. Der er adgang til at tillægge services omkring lysdesignets funktioner og kvaliteter, fordi der arbejdes med en grundlæggende tanke om at alle delsystemer vil skulle forandres når som helst. Der foregår således internetbaseret koordinering og service i alle skalaer af lysmiljøer: individuelt, lokalt, bygning, bydel til landsdækkende og globale relationer.

Man kan sige at de digitale transformationer af lysdesign og lysteknologi skifter grundlæggende vilkår for både lyskilder (med overgang til LED som lyskilde), lysstyring (med overgang til datarelationer), vedligehold (som datamanagement uafhængig af bygningen), brugerønsker (som services specifikt til hver bruger). Dette giver mulighed for at håndtere lysforhold og systemer i konstant forandring, udvikling og re-design, selv indenfor den samme lokalitet, uden at kompleksiteten øges for brugere og vedligeholdelsen.



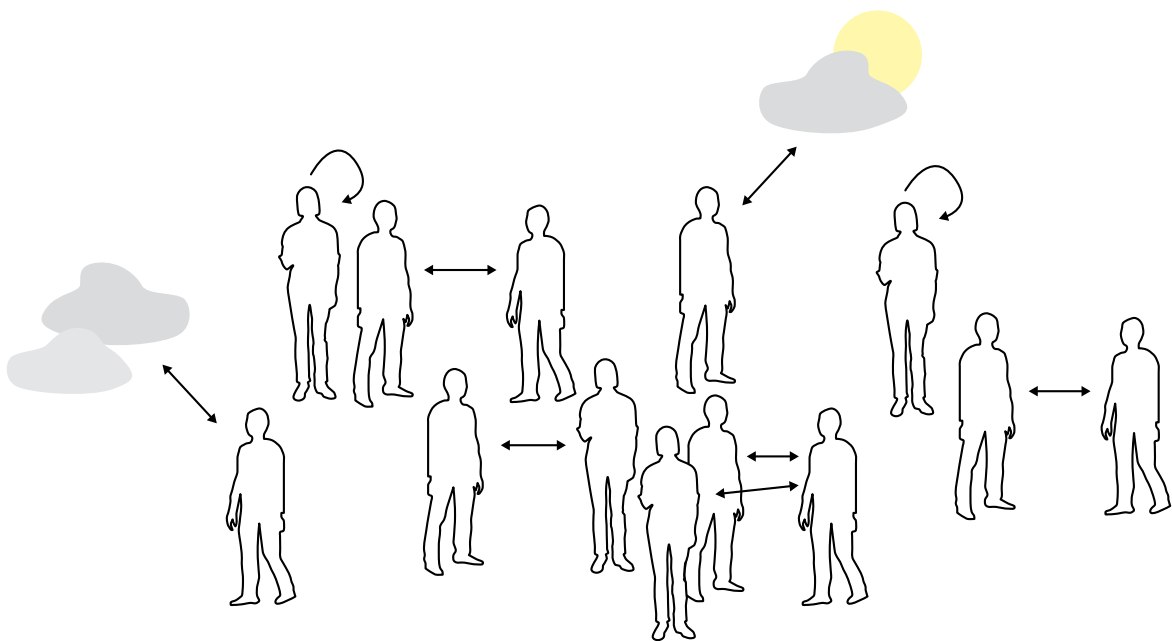
Undersøgelser i KADK Dagslys Laboratoriet med EAL lys-kit. Afprøvning af sensor positioner og styreboksens relationer i integreringen af dagslys og kunstlys.





InterMediaLab ITU. Underøgelse af lysgiveres (henholdsvis rettet, diffust og reflekteret lys) effekt gennem iagttagelse af observationsinstrumenter, som spejl, kegle og kugle.

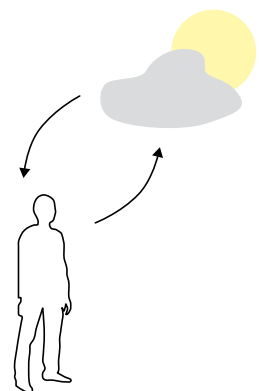
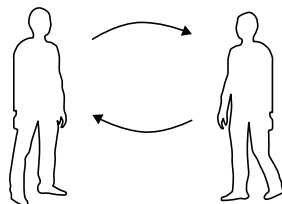
Energi- optimering med fleksible forbrugsmønstre



De komplekse brugeroplevelser og brugerrelationer i ambient adaptivt lys.

Energioptimering med fleksible forbrugsmønstre

Grundtanken med EAL projektet er at man med adaptive lysstyringer kan åbne for et råderum af variation, som for brugeren opleves ligeligt kvalitativ, og derved opnå mulighed for at have ganske anseelig adgang til at variere elforbruget til lys, uden at det giver mærkbare forringelser af lysmiljøet. Det vil give øget mulighed for fleksibilitet til at tilpasse til variationer i energiforsyningen og give mulighed for at medtænke et mere komplekst energioptimerings paradigme med afvejning af hensyn ud fra designede vægtninger mellem variable. Den softwarebaserede adaptive lysstyring åbner for at indlægge maskinlæring og dermed tilpasning til unikke bruger ønsker og vilkår, delvis opnået gennem aktiv læring i systemet og delvis gennem aktiv programmering foretaget af brugerne. Den øgede fleksibilitet giver plads til at brugerne kan foretage små og hurtige beslutninger om lysets design, hvor der kan navigeres i livets eller arbejdets umiddelbare udfordringer. Det giver et udvidet mulighedsrum for handling og beslutning hos slutbrugeren, som kan indgribe og forandre på eget initiativ og med umiddelbar konsekvens for lyset i sin egen omgivelse, og derved udvikle fleksible brugsmønstre opdateret til sine behov.



Tre centrale brugerperspektiver i adaptivt lys: brugernes egenoplevelser (1), deres oplevelser af relationer til andre (2), og deres oplevelse af relationer til omgivelserne (3).

Fluktuerende energi i forsyning og forbrug

Energisystemet bliver mere og mere dynamisk i takt med, at energisystemerne omstilles til vedvarende energi. Energiforbruget består i dag, modsat tidligere, af tusindvis af vedvarende energienheder, som skaber fluktuerende energi, og som er koblet direkte op i el distributionsnettet. For at matche energiproduktionen er det nødvendigt, at energiforbruget i stigende grad bliver fleksibelt og digitaliseret. Der er derfor behov for et større samspil mellem produktions- og forbrugsmønstre, hvor der opnås sammenhæng mellem energieffektivisering og at kunne anvende slutforbruget fleksibelt i energisystemet. EAL bidrager til den igangværende udvikling af energisystemerne til smarte energisystemer.

Der er tale om en udvidelse af strategierne omkring bæredygtig udvikling til også at inddrage smarte løsninger, der inddrager dynamik og fluktuerende i brugeradfærd, arkitektoniske løsninger og svingninger i energiforsyningen. Der er tale om et smart forbrug, hvor løsninger er en kombination af optimering, forbedret kvalitet og åbenhed for helt nye løsninger. Der kan ikke længere kun være fokus på at spare, at bruge mindre energi til det samme, men med de nye teknologier, forsynings- og forbrugsmønstre vil adaptive og kompleks koordinerende løsninger være nødvendige for at afveje de mange parametre. I dette projekt har der været fokus på hvordan design af adaptive løsninger kan medvirke til at skabe øget fleksibilitet i slutforbruget, og at kvalificere hvordan adaptive designs kan tilføre yderligere belysningskvaliteter til det bebyggede miljø. Det bliver vigtigere hvornår end hvor meget der forbruges set fra forsyningsnettes perspektiv, og det bliver vigtigere at kunne have optimal lyskvalitet på rette sted og rette tidspunkt end at forfølge almene optimeringsstrategier set fra et bruger perspektiv.

Effektiv belysning er et relativt begreb. Det kan formuleres som at maximere lysudbyttet i forhold til strømforbruget, men hvis man inddrager flere aspekter af hvordan lyset fremstår som arkitektonisk element og indgår i brugernes daglige aktiviteter, så bliver beregningsmodellen en anelse mere kompleks. Inddrages desuden at energiforbruget til lyset skal kunne indgå i et fleksibelt forbrug tilpasset variationer i forsyningsmængden (behovet for forbrug set fra forsyningsnettet) er således ikke længere den direkte relation mellem lysmængde og strømforbrug, som er vigtigst at fokusere på, men en evne til dynamisk tilpasning. For at optimere energiforbrug i denne nye forståelse kan der opstilles en model med tre integrerede dynamiske variable: (1) energiforsyningsvariabel, (2) energiforbrugsvariabel, og variabelen defineret af (3)



EAL projektet har udviklet en serie observationsinstrumenter for at kunne observere lysdannelser fra et første-persons perspektiv. Her er vist en spejlkugle, der giver mulighed for et blik på rummet og lysdannelser set fra kuglens punkt i rummet.

brugernes dynamiske, komplekse og individuelle behov. EAL projektet har udviklet på den tredje dynamiske variabel.

Energispare potentialet ved øget tilpasning til bruger scenarier

Set i forhold til almindelig kunstbelysning, hvor der kan tændes og slukkes og hvor belysningen er samlet i større grupper, så åbner LED for en meget mere nuanceret styring af lyskilder. Lyskilderne kan styres hver for sig, også selv om de er rigtig mange og indbyggede i bygningens materialer. Lyskilderne kan varieres i lysfarve og lysstyrke med mulighed for tilpasning af lokale kvaliteter. Alle disse dynamiske variationsmuligheder åbner for meget mere nuanceret tilpasning mellem lysbehov og belysning.

Det mest åbenlyse energispare potentiale ligger i at have det rigtige lys hvor og når det skal bruges, og således undgå energiforbrug på lys, når det ikke er nødvendigt. Altså en kvalitativ tilpasning (adaption) mellem bruger behov og levering af belysning. Der synes at være mulighed for 10-40% besparelser på elforbrug at hente ved intelligent adaption af lysforbrug til behov, alt efter brugerscenariet og designløsningen. Det næste åbenlyse potentiale er at udnytte dagslyset bedre ved at have mere intelligente sammenkoblinger mellem dagslys og kunstlys belysning. Kan der suppleres med kunstlys i dagtimerne i delikat integration (adaption) med dagslyset, synes der at være mulighed for 10-20% besparelser på elforbruget, alt efter bygningens design af dagslysindfald og brugerscenarier.

Men når disse to åbenlyse potentialet skal udnyttes, så åbnes der for nye potentialer og flere underliggende problematikker. Adaptiv lysdesign muliggør helt andre lysdesign løsninger end med forprogrammeret og centralstyret kunstbelysning. LED åbner desuden for helt nye typer lysgivere, da LED kan indbygges, distribueres og styres således, at der kan etableres lysgivere over alt, fra alle vinkler og indbygget i alle former og materialer. Herved er lyskilder ikke nødvendigvis længere monteret i et armatur men kan suppleres med mange distribuerede lysgivere og lysende materialer, ofte som en integreret del af arkitektens design og daglysdesignet. Det gør det muligt at realisere meget lokale lysforhold, at forandre og tilpasse lysforhold på andre måder end der oprindeligt er tænkt i styringer og installationen af lysgivere, og det gør det muligt at indbygge lysende sprækker og flader i materialerne snarere end at lyse på materialerne.

Adaptiv energioptimering ved øget brugerinddragelse

Når et system af lysstyring er adaptivt og derfor er under konstant forandring i sine lysindstillinger, åbnes for en langt mere uforstyrret integrering med fluktuationer i elforsyningen. Adaptive systemer vil relativt uproblematisk kunne indgå i forhandling med el nettet om variationer i elforbruget til lys, hvor effekten lokalt snarere opleves som kvalitative variationer i lyset end som noget egentligt mærkbart. Ideen her ville være at hvis forbrugerne af el kunne acceptere 5-10% variationer i det daglige, og måske endda større variationer over døgnet og i specifikke situationer, så ville el nettets svingende forsyningskapacitet, specielt på grund af vedvarende energikilder, kunne absorberes bedre.

Adaptiv energioptimering tænkes som en forhandling mellem energioptimering, lyskvaliteter og personlig kontrol. Der indgår således et aspekt af at engagere brugerbehov, ønsker og kvalitetskrav på måder der beforder opmærksomhed på energiforbrug. Brugerne skal gives mulighed for at vælge energioptimale forbrugsmønstre og være medspillere i ønsket om at begrænse energiforbruget. Der indgår et aspekt af at udvikle styringssystemer og bruger interfaces, som er i stand til at optimere forholdet mellem brugerbehov og energioptimering, ved udvikling af styringsteknologier (sensorer, interfaces, datarelationer og softwaresystemer) som håndterer adaptationen meningsfuldt. Der er et aspekt af lysdesign, hvor udnyttelsen af LED som lyskilde udformes i lysgivere og arkitektonisk lysdesign, som beforder adaptive designløsninger, der er afklaret i forhold til optimering af energiforbrug.





Observationsinstrument bestående af en serie af matte hvide kugler, som placeres i øjenhøjde i et mønster ud igennem det rum der skal observeres lysdannelse i. Kugler gør det muligt at kunne observere og overskue fluktueringer af lys og kompositioner af retninger, lysintensiteter og farver på tværs af rum.

Den adaptive mediering

Den adaptive mediering

Det adaptive lys er en medierende software generator, som integreres imellem overordnede bygningsautomationssystemer og de lokale brugerorienterede indretninger. Det adaptive indlægger sig imellem disse to lag, den globale styring og den lokale styring, ved at indføre et dynamisk aspekt i lyset. Lyset og styringen er således ikke længere slukket og kan tændes, eller tændt og kan dæmpes, men er hele tiden i variabel fluks, som en ambient kvalitet ved rummet. Med det adaptive lys modulerer softwaren et større råderum for individuel tilpasning ved at udvide spændvidden for oplevelse af komfort, således at de fremkomne muligheder i højere grad vil opleves som relevante kvalitative variationer.

De adaptive dynamikker er en servise, der koordinerer behov og designbeslutninger gennem software. I softwaren kan der integreres et bredt spekter af beslutninger, for eksempel for de overordnede rammer for energiforbrug. Der kan inddrages koordinerede optimerings strategier fra bygningsstyring, og der kan justering til døgnrytmer og omgivelsernes lysforhold. Der kan tilpasses lokale behov for at etablere passende arbejdsbelysning og understøtte lokalernes brugsscenerier. Der kan gives adgang for individuel indflydelse og æstetiske designløsninger.

Det antages at koordinerede og vægtede designbeslutninger vil kunne medføre bedre lysforhold, bedre oplevelse af lys og samtidig resultere i mindre strømforbrug. Det antages at adaptivt lys vil kunne genindføre en række dynamiske lyskvaliteter, som vi kender fra skumringslys og dagslysfluktuationer, samt give brugerne råderum og råderet over lyset i deres livs miljøer og arbejdssituationer.

Adaptiv intelligens omkring brugeren

Det adaptive lys er baseret på intelligens omkring brugeren snarere end omkring bygningen. Der prioriteres hvordan lysforholdene opleves af de enkelte mennesker i bygningen, og hvordan der set fra den enkeltes perspektiv er konsistens i lysdesignet. Dette er afgørende forskelligt fra at etablere sammenhæng set fra lysdesignets indretning eller styringslogik. Det adaptive dynamisering af omgivelserne flytter designlogikken til et brugerperspektiv. Brugere bliver medskabere af deres omgivelser og lysbetingelser. Det kræver et veldesignet råderum for individuel udvikling af personlige lysdesigns, og det udvikles ved at organisere komfort parametre i en flerdimensionel og et større dynamisk råderum for variation ved designet adaptation.





EAL projektet afsøger hvordan man kan opnå bedre lys og mere fleksibilitet ved intelligent og velovervejet brug af energi ressourcer, hvor 'non-energy benefits' og lyskvaliteten for slutbrugeren medregnes. Det er derfor ikke en del af EAL projektet at opstille og afvikle kvantificerbare og verificerbare tests, men snarere at udvikle rammer for hvordan adaptivt lysdesign kan forstås i en balance mellem oplevelse, rumdesign og energiforbrug. Den videre udvikling af adaptive lys er afhængig af at forlade de afgrænsede laboratorietestfaciliteter og deres forsimplede tilgang til brugerne, og få de adaptive styringer til at fungere i virkelighedens komplekse kontekster ved at lave pilotprojekter i konkrete bygninger med konkrete arbejdssituationer.

Dynamikken i dagslyset er her eksemplificeret med fem optagelser af himlen taget fra det samme punkt hen over nogle timer, som kan illustrere de dramatiske dynamikker i dagslysets fluktuering.

(referér også til forrige opslag)

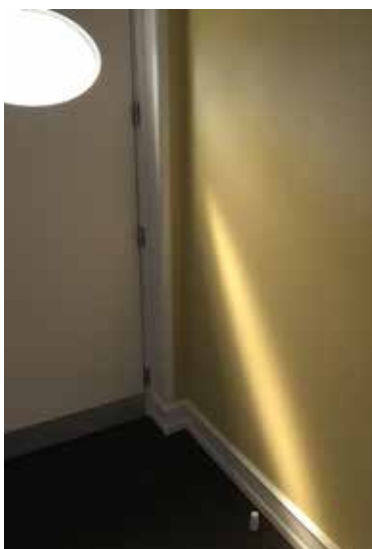




Ambiens og det adaptive lys

Det adaptive lys fungerer som en omgivelseeffekt, en kvalitet ved det dynamiske lys i omgivelsen, bedst sammenlignet ved det fluktuerende dagslys måde at præsentere sig som komplekst omgivende. Som oplevelse er bevægelsen i lyset en kombination af lysets egne dynamikker, perceptionens dynamiske processer, og menneskets synsaktiviteter og bevægelser i rummet. En centralt problem med det adaptive lys er at opretholde lysoplevelsen som ambient, altså som omverdens konsistent, hvor den opretholdes som vedvarende del af omgivelseskarakteren i lyset.

Ulrik Schmidt (2013) fremlægger en detaljeret udredning af ambiencens operationer, som danner grundstamme i udviklingen af ambiens som design materiale for adaptiv lys. Hvis man betragter arkitektur (og arkitektonisk lys) som en grundlæggende ambient praksis, kan det at konstruere fysiske rum ses som en omgivelsesiscenesættelse, altså en etablering af omgivelse. Arkitekturen kan, ved at konstruere bestemte fysiske rammer, ved at iscenesætte lysforholdene, og ved at indrette interiør af refleksioner, objekter, lyskilder og passager og opholdssteder, der "fremmer rammesættelsens omgivende karakter og fornemmelsen af at være omgivet" (Schmidt 2013, s. 72). Medialiseringen er snarere en æstetisk effekt end en operation i materialet, en æstetisk fremkomst hvor "et fænomen kan træde frem løsrevet og overfladisk og i kraft af disse egenskaber begynde at føje sig sammen med andre og opbygge omgivelser omkring det sansende subjekt" (Ibid, s. 82).



Dagslyset medialiseret inde i rummet i forskellige former for fluktuerende lysdannelser.

Ambiente lysformer i adaptivt lys

Ud fra det ambientes omgivende karakter og iscenesatte virkning kan ambiente lysomgivelser udredes omkring dets formelle egenskaber og æstetiske implikationer. Med udgangspunkt i Smidth's analyser af lysets ambiens (198-203) kunne man arbejde med følgende spekter af begreber:

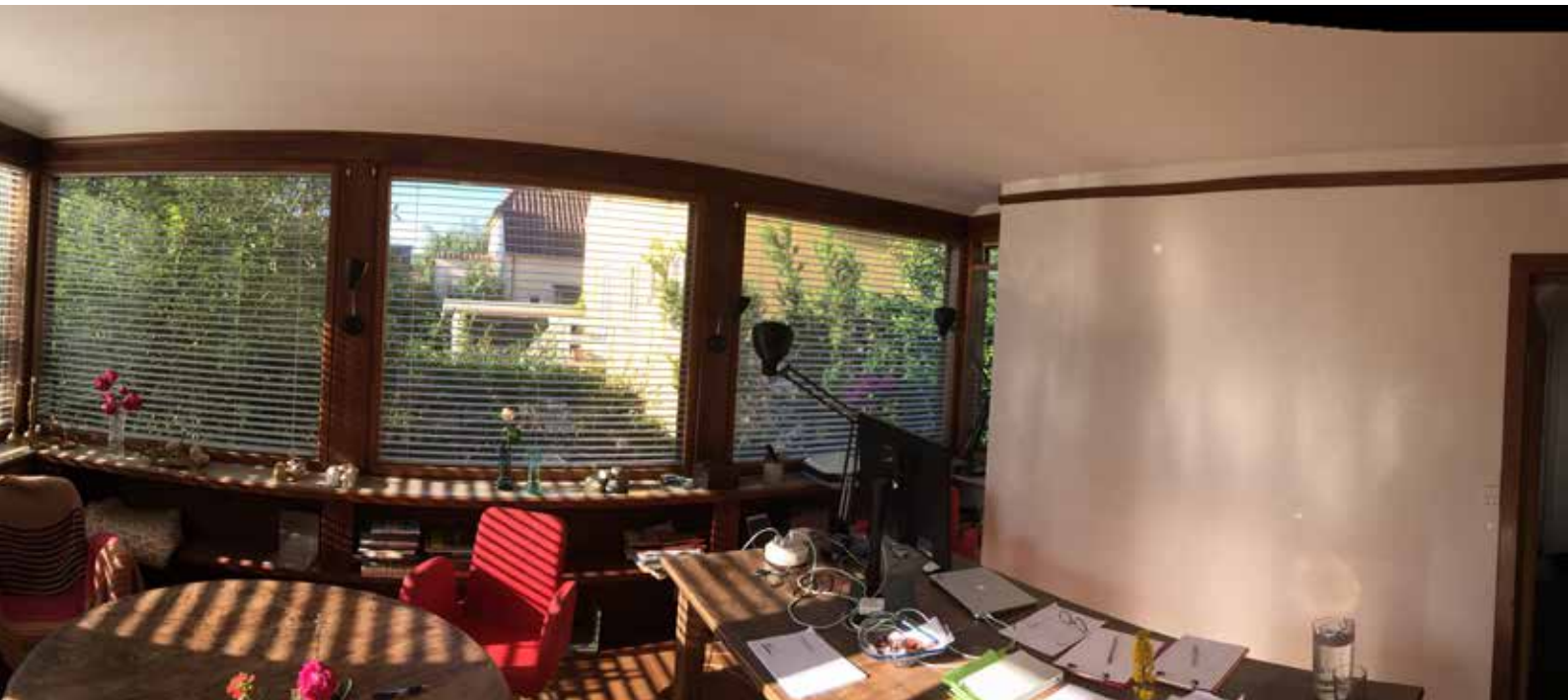
- Rumlig aftegning – lyskilder danner aftegninger og rumlige former
- Indhyldning – diffust lysmateriale fylder rummet
- Dynamisk projektion – forskellige intensiteter, farver, formationer, volumener – projiceres dynamisk variabelt i rummet
- Zoner af lys – områder, geografier og prioriteringer af zoner og volumener i rummet
- Medialiseret effekt – medialisering af lys, der fremhæver relation til lysgivere og lysets vej gennem refleksioner og skygger
- Personen som sanset og fornemmet midtpunkt i ambiensen og som oplever af den omgivende form



Medialiseret bevægelse

Udgangspunktet er begrebet medialiseret bevægelse, som Schmidt (2013) udreder som,

“den bevægelse, der tager form efter det medium, hvori den udfolder sig og derved bidrager til at opløse skellet mellem bevægelse og omgivende medium. Bevægelsen bliver èt med sit medium, og mediet bliver èt med sin egen bevægelse. Medialiserede bevægelser har i princippet intet teknisk over sig og kan udfolde sig i naturen: Hydrodynamiske formationer (bølger, vandstrømninger, regn, snevejr) og andre massebevægelser som skydannelser, vindstød, fugleflokke, fiskestimer osv. er for så vidt indbegrebet af medialiserede bevægelsesformer. I havets bølger, for eksempel, eksisterer der fænomenalt set intet entydigt skel mellem den enkelte bølges bevægelse og selve vandmassen som bølgende medium.”“I hvilket materiale og i hvilket medium den medialiserede bevægelse udfolder sig, er, i det mindste i denne sammenhæng, relativt underordnet. Det afgørende er den ambiente effekt, som den medialiserede bevægelse potentielt udfolder i sansningen gennem en specifik kombination af dynamik og stasis” (Schmidt 2013, s. 127-128).



Dagslyset medialiseret inde i rummet i forskellige former for fluktuerende lysdannelser.

Adaptive ambiente dynamikker

Med de dynamiske fluktuerende forandring synes rummet at være under konstant forandring. Det giver prioritet til den personlige og stedlige oplevelse, som det faste udgangspunkt, og rummet som et ambient flow af lys i omgivelsen. Det adaptive lys fremkalder en lysforståelse hvor stedet, der opleves på, og de begivenheder og situationer det opleves fra, danner udgangspunkt for oplevelsen af lyset.

Ved det adaptive lys tydeliggøres tre aktive handlinger i vores oplevelse: vores egne handlinger, perceptionens handlinger og lysets handlinger.

1. Vores egne handlinger i og bevægelser gennem rum, som får os til at skifte perspektiv og blive udsat for lysets rumlige variation.
2. Vores perceptuelle handlinger, hvor fysiske tilpasninger af synssansen til lys- og farveforhold, og perceptuelle tilpasninger til oplevede konstanser, koblinger og andre sammenhænge i omgivelsen.
3. Vores oplevelse af omgivelsernes variationer i lyset, som mønstre og rytmer, aftegnet i materialer og givende arkitektonisk form til rum og indretning.

Det er en situation med flere samtidige indflydelser, fordi at lyset, omgivelserne, handlinger og oplevelser er relateret med hinanden på kryds og tværs på måder der gør det muligt at forstå et adaptivt lys, hvor alle disse elementer er indbyrdes påvirket af hinanden.

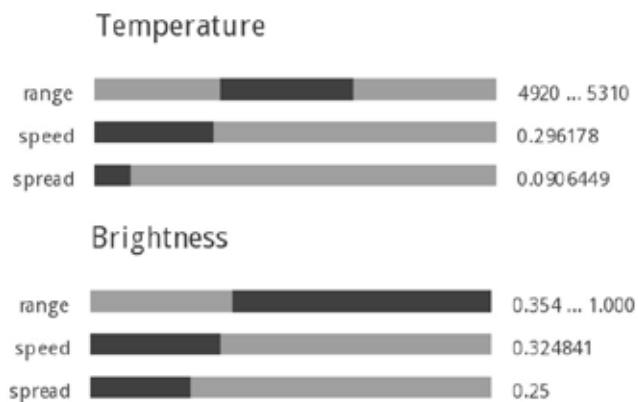
Det Digitalt Vejr genererer ambiens

Den ambiente mediering i det adaptive lys foretages af en software generator, som vi kalder Digitalt Vejr. Designet af denne software er baseret på processer der benyttes i spil, hvor omgivelser, scenerier og teksturer genereres på ny hele tiden. Det er et flyt fra at have forberedte scener med fastlagte muligheder at vælge ud fra, til et potentielt indhold, der kan navigeres igennem ud fra et sæt af generative parametre.

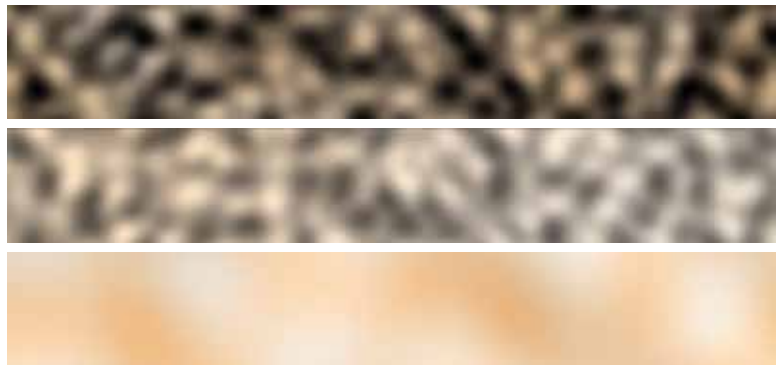
Digitalt Vejr benytter således *Procedural content generation* med umiddelbar generering af omgivelser ud fra procedurer, med algoritmen Perlin Noise som centralt element. Perlin Noise kan indlejres som en multi-dimensionel tekstur generator, og er ofte benyttet til at skabe udtryk der mimer naturligt forekommende teksturer og dynamikker, for eksempel dagslysdynamik.

Herfra åbnes for yderligere generativ indflydelse, da der set som software ikke er nogen begrænsninger i antallet af dimensioner som involveres. Der kan uden videre forekomme adskillige tidsperspektiver i samme generering. Der kan foretages feedback og integration i den generative software med analyser af lyset inde i arkitekturen eller ude i omgivelsen. Softwaren inddrager således relationelle parametre i skabelsen af lysets dynamik.

Det væsentligste for at forstå den afgørende substans ved dimensionel og integreret software er, at der kan koordineres på tværs af for mennesket adskilte perceptuelle kategorier og, at der kan frembringes selvjusterende udviklinger, hvor designet ligger i råderumsdefinitioner og procedurer, som forhandler udkomme, og ikke i forud bestemte lysfremkomster.



Det digitale vejr har en interface med seks parametre: tre til lysfarve (temperature over plank skala i kelvin) og tre til lysstyrke (brightness). Nedenfor er tre snap-shots af tilstande i det digitale vejr. Det digitale vejr er i kontinuerlig forandring og indstillingsparametrene former på forandringens dynamikker.



Skitseværktøjer og designstrategier

Skitseværktøjer og designstrategier

Projektet udvikler et sæt af skitseværktøjer. Værktøjerne skal kunne gøre det muligt at afprøve adaptiv lysdesign, hvor der ikke simuleres eller benyttes virtuelle afprøvninger, men arbejdes med konkrete situationer, arkitektoniske indretninger og oplevelser gennem involverede mennesker. Der er et udtalt behov for at kunne afprøve og udvikle under virkelige forhold, teste antagelser fremkommet ud fra simuleringer, og med en mulighed for at koordinere på tværs af fagligheder. Her tænkes specielt på de dele af branchen, som skal være med til at indføre de nye muligheder i bygninger: lysdesignere, ingeniører, arkitekter. Hvis de skal kunne efterspørge relevante løsninger må de have mulighed for at udvikle kompetente indsigter i mulighederne ved adaptivt lysdesign.

Et skitseværktøjssæt er typisk adskillige kasser med lamper, beslag, kabler, elektronik, computere, manualer osv. der muliggør at man kan opbygge en midlertidig testfacilitet på stedet og i situationen man vil undersøge og udvikle i forhold til. Det er designede og konstruerede iscenesættelser, hvor test af design kan opleves i fuldskala og med de komplekse adaptive relationer i funktion. Denne strategi med fuld skala skitseværktøjer er nødvendige analytiske situationer, hvor kvaliteter ved adaptivt design kan bringes i oplevelse af brugere. Disse opsætninger er specielt designet til hver især at tydeliggøre specifikke parametriske relationer. Opsætningerne er resultatet af iterative designprocesser med at fremkomme med situationer, hvor det er tydeligt at undersøge og opleve adaptive egenskaber, og derved udvikle mulige adaptive design strategier.

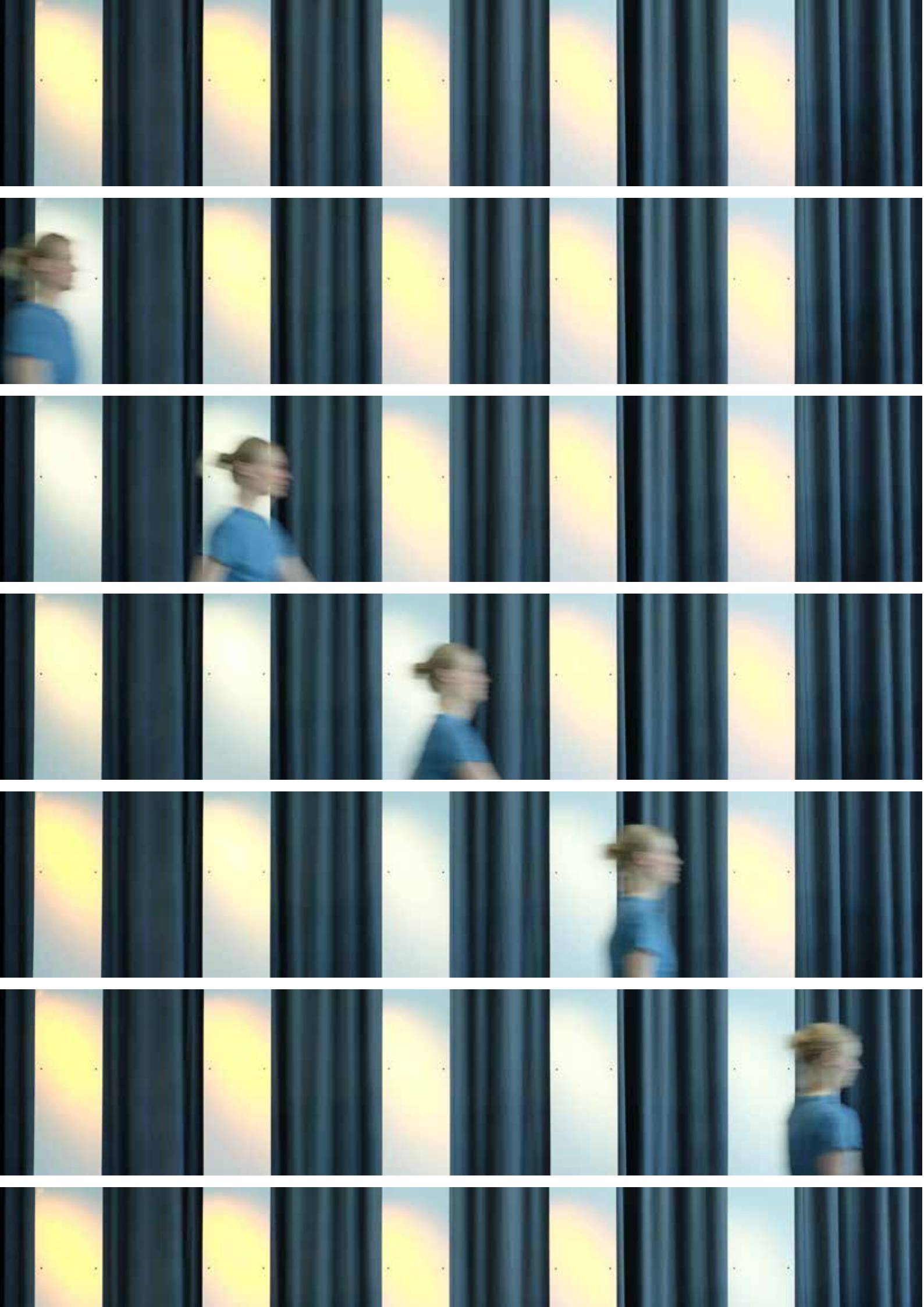
De udviklede skitseværktøjer og designstrategier vil blive udnyttet til at analysere og udvikle potentialet adaptivt lys i konkrete byggerier. Her vil der være brug for at efterprøve og justere de adaptive design metoder i studier med installationer i virkelige kontekster. Det kan være et spekter af udvalgte miljøer, for eksempel åbent og opdelt kontormiljø, et værksted og en lagerhal, en butik og et varehus, en folkeskole og et universitet, en lejlighed og en villa, alle suppleret med variationer der tager hensyn til adgang til dagslys, typer af sociale situationer og behov for individuelle tilpasninger.

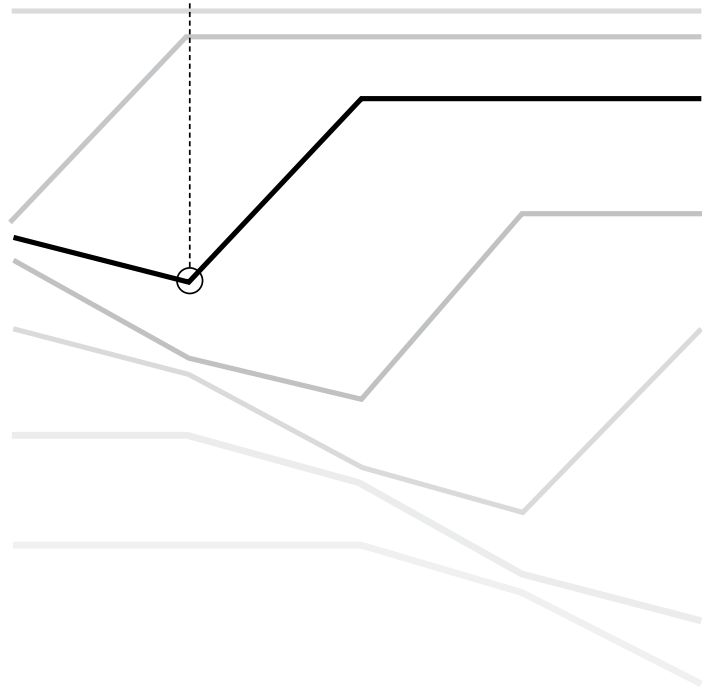
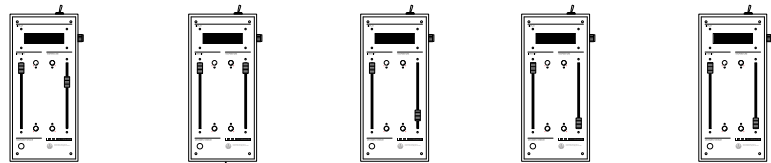




Oplevelsen af forskellige balancer og dynamikker i lyset fra tre lyskilder

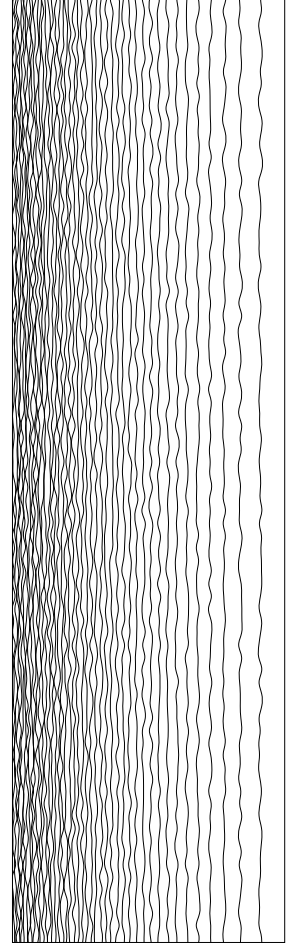
En enkel type opsætning af tre lysgivere på en åben plads: en med rettet lys, en med diffust lys og en med reflekteret lys. Her kan opleves variationen i lysgiversnes lyskarakteristika, hvordan de opleves som den der bliver belyst og som en der ser på en anden der bliver belyst. Ved at vandre undersøges oplevelsen af bevægelse igennem lys uden rum uden rumlig markering. I denne type opsætning udforskes desuden spektret af variation af farve-styrke-lyskildetype på oplevelsen af mennesker i rummet. Denne øvelse er inspireret af lysdesign indenfor teater belysning og portræt fotografi, hvor konstruktionen af personers tilstedeværelse er i fokus.



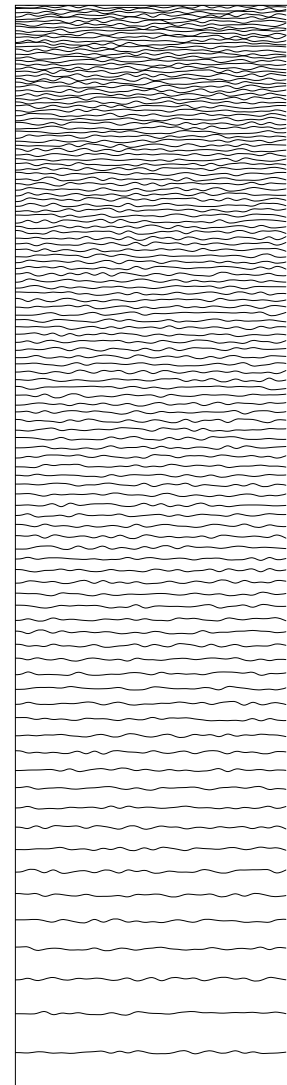


Oplevelsen af hvordan lyset og personen følger hinanden

En stiliseret fremstilling af en type opstilling hvor der er iscenesat bevægelse gennem lys uden rumdefinitioner. Her kan opleves og udforskes relationer imellem rumlig bevægelse hos mennesket og rumlig bevægelse i lyset, i kombinationer af 2500-5000 kelvin farvevariation, og 0-100 % lysintensitetsvariation. Flere tidlige og rumlige variationer undersøges i den samme installation, hvor de tidlige dynamikker og de rumlige bevægelsesdynamikker kan afprøves med detaljeret kontrol af parametre. Her kan for eksempel undersøges hvordan det opleves at lyset følger personen direkte, reagerer foran personen eller følger bagefter. Hvordan opleves det set udefra når andre bevæger sig og set indefra når man selv bevæger sig.



Lodret ridsning

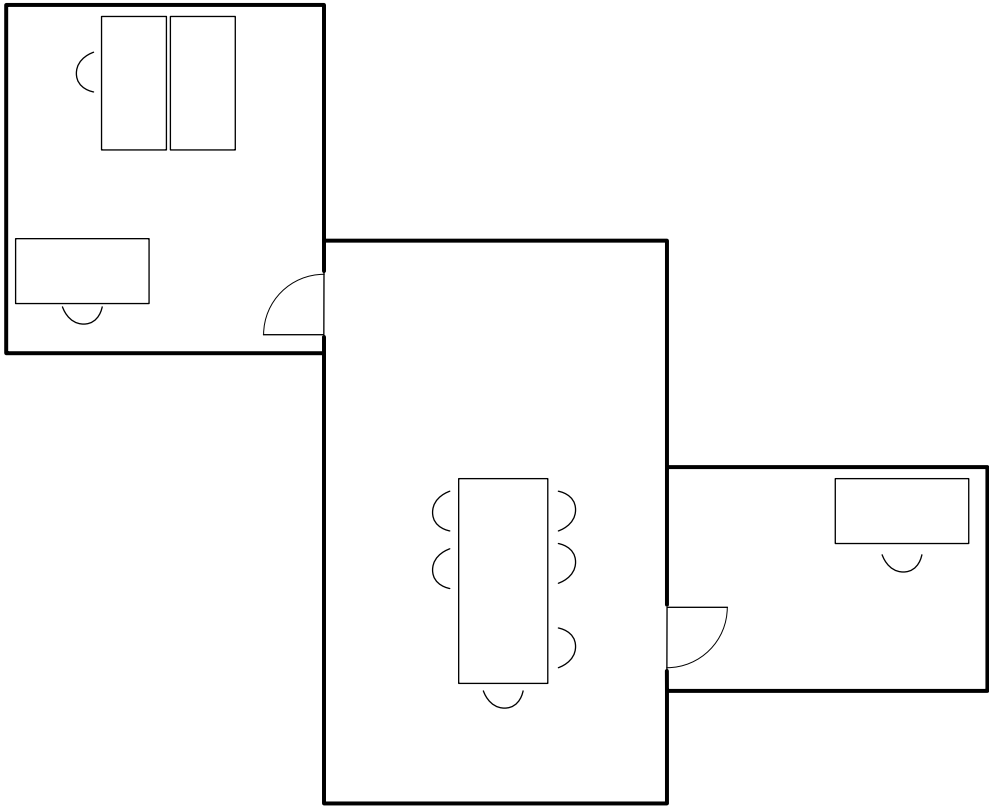


Vandret ridsning

Lysende, transparent og skyggende

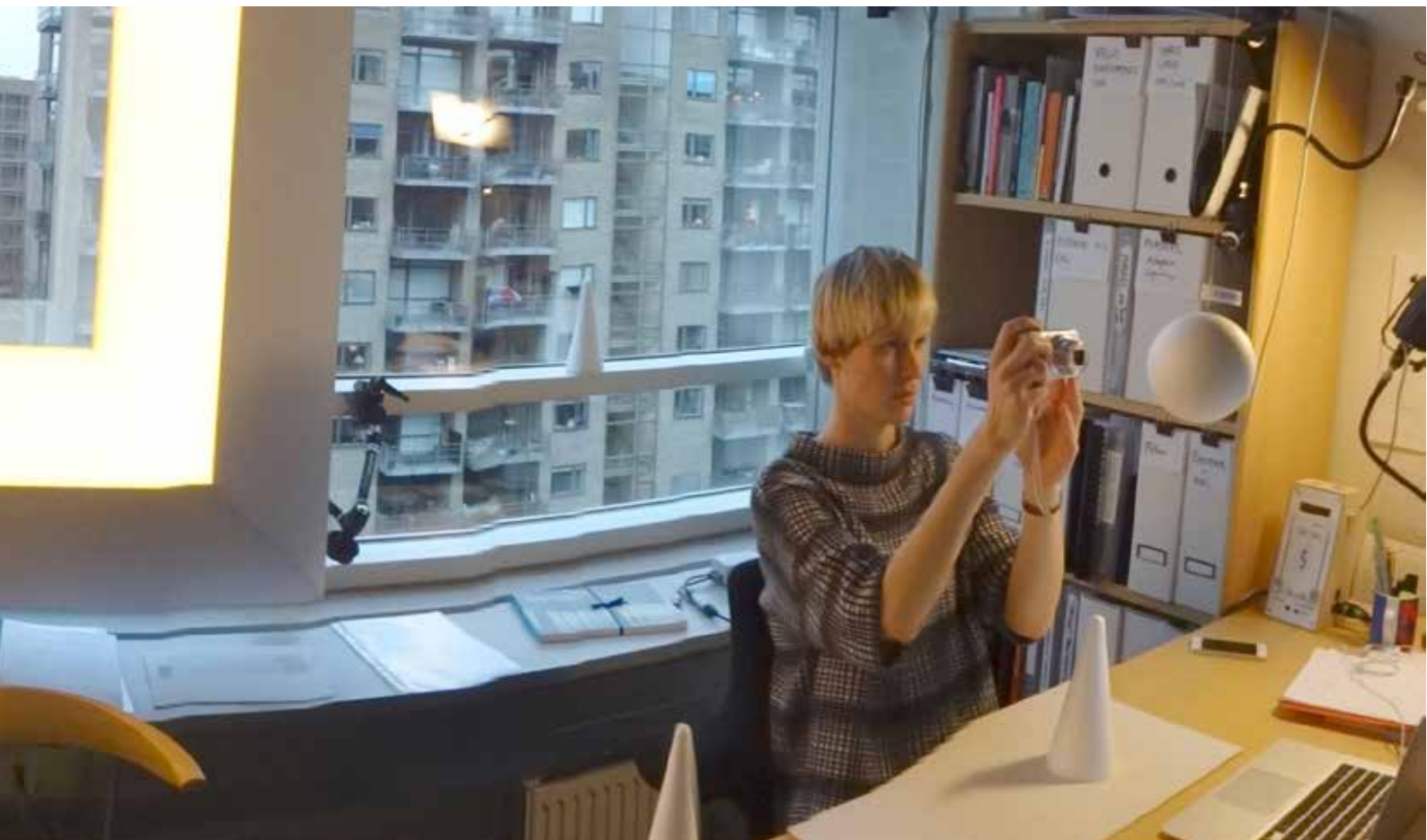
Der er udviklet et test-kit med transparente plexiglas plader og skyggefolier, hvor lysgivere, der indeholder variation i transparens og lyshed, kan undersøges. De adaptive transparencier har, set i kontekst af arkitektonisk lysdesign, et spekter af egenskaber: transparent, translucent, opakt, lysende, skyggende og reflekterende. Man kan med softwarestyring skifte mellem egenskaber, som adaptive dynamikker. De kan varieres dynamisk med det adaptive styringssystem, og flere variable egenskaber kan indlejres i det samme kompositte materiale. Image tekst: Materialers kompositte egenskaber, adaptive infrastrukturer og services gør arkitekturen i stand til at tilpasse varierede behov for lys.





Relationelt adaptivt lys på tværs af bygning, fra øst- til vestvendte vinduer og gennem tre rum

En enkel installation af det adaptive lys-kit i et kontor miljø på ITU. Et øst-vent rum med morgensol, et fællesrum midt i bygningen uden direkte adgang til dagslys, og et vest-vent kontor med aftensol. Gennem 12 måneder fungerede dette test-setup med mange forandringer af lampe positioner og afsøgning af styringssystemets adaptive muligheder. Denne langvarige test kunne udforske relevans og kapacitet af relationelle styringer komponeret af indstillinger på styrebokse placeret ved hvert element. Her var det umiddelbart muligt at etablere meget funktionelle og delikate adaptationer i lyset, også i meget komplekse forhold hvor der forhandles mellem ydre forhold i balance med de indre forhold i hver rum.

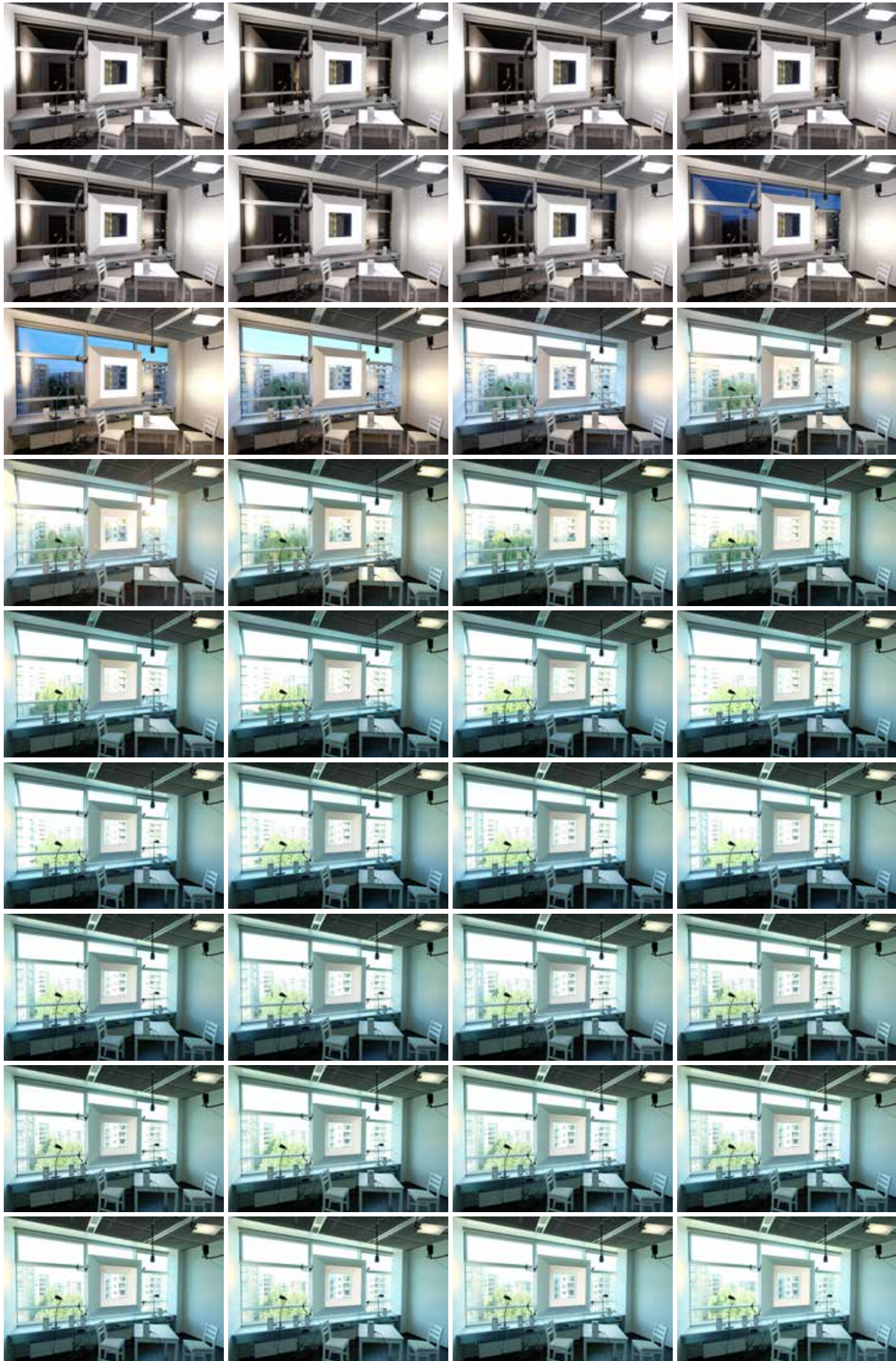


Serie af adaptive lysindstillinger, som hver løber gennem et døgn

Over en periode på to uger var der installeret et adaptivt lyssystem i et vestvendt kontor på fjerde sal på ITU. Det består af et sæt af forskellige lystyper, bl.a.: direkte lys på bordet, kontekstlys på væggen, diffust lys omkring bord og stol arrangementet. I vindues facaden er monteret lysrammen. Her blev lyset i rummet og udelyset filmet med to stop-motion kameraer døgnet rundt. Hen over døgnet fulgte det adaptive lys en kombination af relative variationer ud fra sensorer ude og inde, og en variation af forskellige udviklinger af det digitale vejr.











Fem scenarier for typer af situationer i rum

Hvordan etablere en 5 typer situationer –arbejdet med events og situationer er baseret på teater praksis om hvordan man kan analysere og beskrive menneskers aktivitet som meningsfulde sociale begivenheder, hvor der udover fysik tilstedeværelse og aktivitet inddrages kontekst for begivenheden (situation) og anerkendes at ethvert moment i det daglige flow af aktiviteter er forskellige, men med fordel kan forstås som en række begivenheder (events). Det er designet som en dramaturgisk model af menneskers narrativering gennem dagligdagen, og muliggør analyser af formelle forhold som lys indenfor afklarede sociale aktiviteter. Det er en dramaturgisk model uden progression eller dramatisk kurve eller storyline, men som et spekter af potentielle sociale handlings begivenheder, afhængige af situationen de foregår i. Spektret af events er afgrænset til fem grundtyper:

- a. en person er alene i rum stående uden indretning af møbler
- b. to personer siddende på to stole omkring et bord i rum
- c. en person ankommer og sætter sig i stol ved bord i rum
- d. to personer i rum med en stol og et bord. En siddende og en stående
- e. en person er alene i rum siddende på stol læsende i blad

Denne relativt enkle opdeling i fem tilstedeværelsesscenarier er den simplest mulige sæt af scenarier, der kan indkredse de væsentligste tilstedeværelses former: aktiviteter, handlingsmønstre og sociale relationer. Denne type designudvikling henter metoder fra teatret, som, når en dramaturgisk manuskript skal iscenesættes, etablerer et forsimplet sæt af handlinger og situationer til at afprøve mulige iscenesættelser. I dette tilfælde er 'manuskriptet' den adaptive dynamik og iscenesættelsen er en ambiens for den adaptive fluks i lyset.

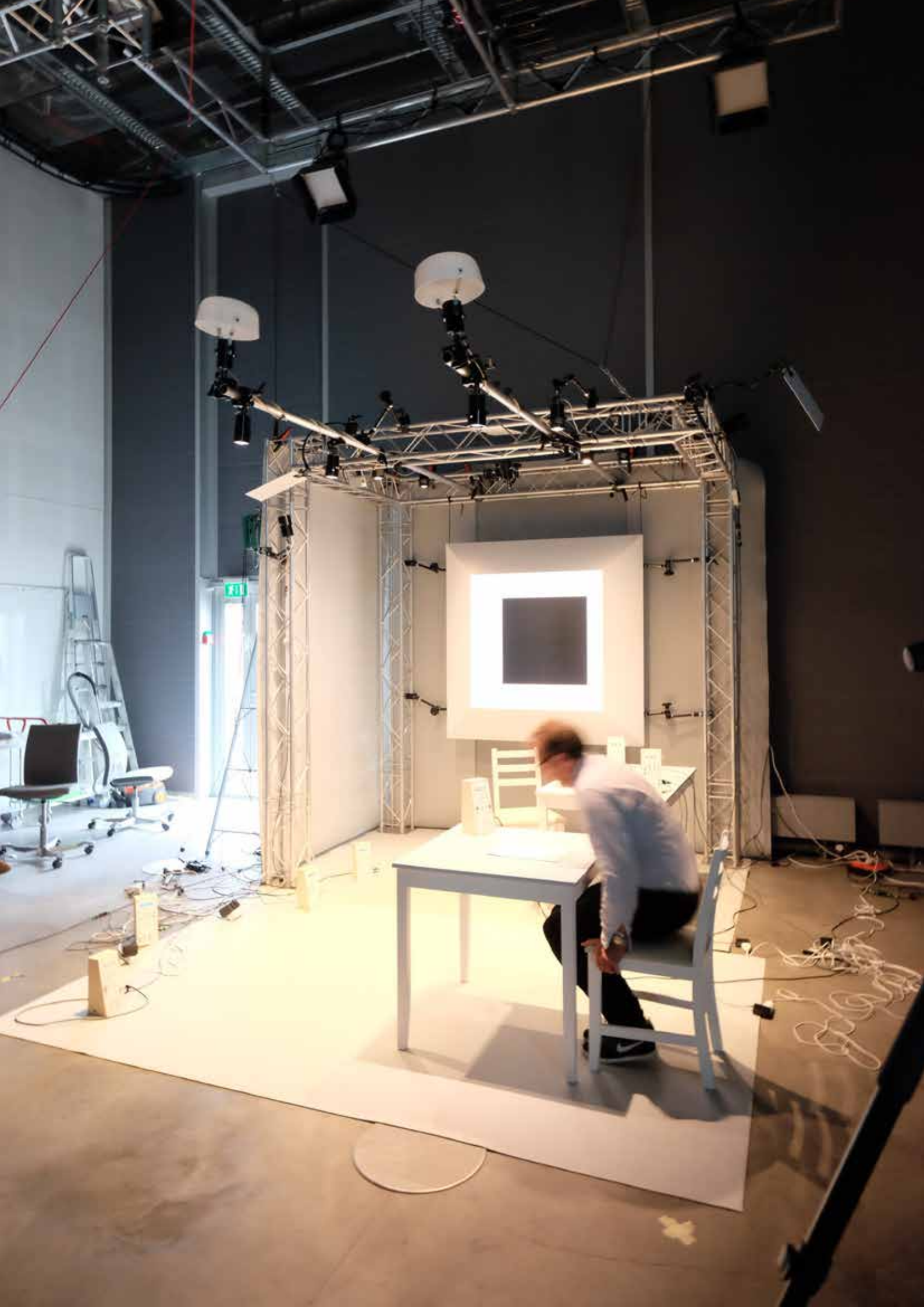




Udvidet test-rum med adaption gennem en kombination af digitalt vejr og funktionelle handlinger

Udvidet test-rum i IMLab med en forlængelse ind i labbet for at etablere plads til to situationer, eller en situation indenfor en større situation, hvor helt elementære forhold kunne afprøves. En person kommer ind og sætter sig ved et bord, arbejder et stykke tid og kigger rundt, rejser sig og går. Her afprøvedes kombinationen af følgelys gennem rum: at lyset med sensorer følger personen og specifikt personens ankomst og tilstedeværelse ved et sted i rummet: et bord med stol: samtidig er omgivelsen indlagt som relativ kontekst ved at relativt skifte lys intensitet og kelvin. Hele anlægget er indlagt i en digitalt vejr fluktuerende dynamik.





Observationsinstrumenter

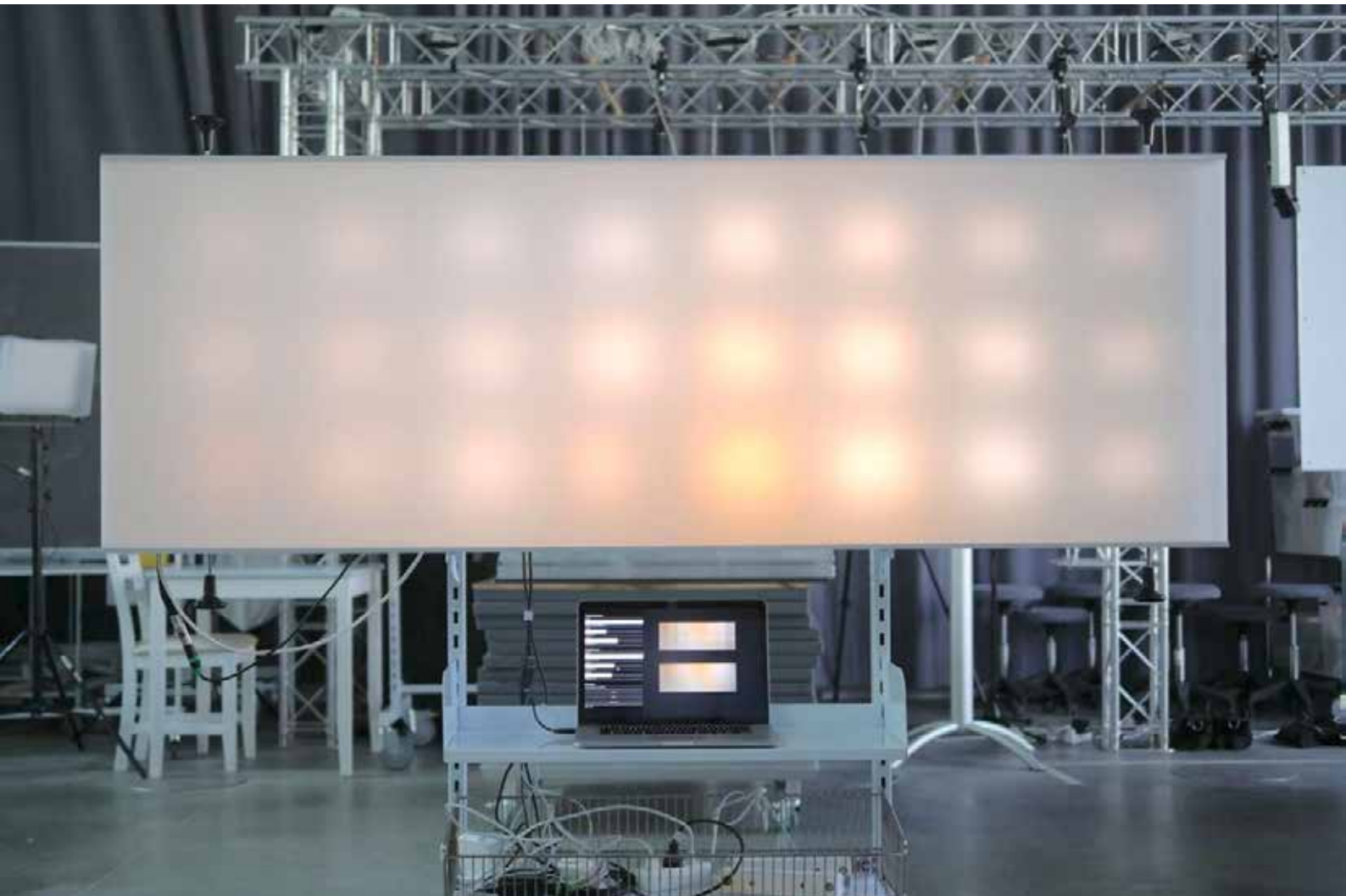
EAL Adaptivt Lys undersøgelserne bygger videre på udkomme fra forrige projekt 'LED lys' med de tre opstillinger Digitalt Vejr Lysbox og lagttagelsesinstrumentet, og den rumlige installation Adaptivt Lys. Instrumenter har været installeret og tilgængelige under det meste af forskningsprojektets periode. Disse tre instrumenter er en vigtig del af progressionen af forskningsagendaen med adaptivt lys gennem de seks faser af forskningsdesignet.

lagttagelsesinstrument til at undersøge integrering af dagslys og dynamisk kunstlys.



Adaptivt Lys
Lyset følger personers bevægelser i rummet.

Digitalt Vejr Lysbox.
Interaktivt lyspanel med visualisering af dynamikkerne i digitalt vejr.



Formidling

Konference papers og præsentationer:

DeSForM 2017: Sense and Sensitivity. 10th Conference on Design and Semantics of Form and Movement. October 17-20 Delft+Eindhoven 2017, The Netherlands. desformx.org
Paper titel: The Experience of Dynamic Lighting.
Kjell Yngve Petersen, Ole Kristensen.

Plan, develop, design: Making smart cities and architecture
The 9th Annual Symposium of Architectural Research 2017.
Oulu, Finland, November 29th - December 2nd 2017
Paper titel: Ambient Adaptive Lighting.
Kjell Yngve Petersen.

PSi#23 "OverFlow"
Performance Studies international Annual Conference. June 8-11, 2017, Hamburg, Germany: www.psi2017-hamburg.com
Psi Working Group on Dramaturgy and Performance 2017.
Præsentation titel: Dramaturgies of Adaptive Lighting Design.
Kjell Yngve Petersen, Karin Søndergaard.

Energiens Topmøde: Giv energien videre. June 9, 2016.
Lokomotivværkstedet, København. Poster titel: Projektet udvikler adaptiv lysstyringsteknologi, lysdesign-metoder, og skitseværktøjer til afprøvning af adaptive lysdesign.
Kjell Yngve Petersen, Ole Kristensen.

Smart Ligh&ng & Smart Sensing 2016, Milan, May 24-26, 2016
Smart Lighting 2016 – Connected Lighting – Smart Lighting
Presentation title: Adaptive integration of daylight and artificial lighting
Smart Sensing 2016 – Connected Intelligence – Sensory
Presentation titel: Relational adaptivity - enacting human-centric systems design.
Kjell Yngve Petersen

Light+building. Frankfurt am Main, Germany, March 13-18, 2016.
Præsentation titel: Relational adaptivity - enacting human-centric systems design
Kjell Yngve Petersen.

Lys 01-2016, side 32.
Artikel: Kunstlyset skal tilpasses dagslyset.
Christina Augustesen.

Referencer

- Cuttle, C. *Lighting by Design*. 2nd ed. Amsterdam: Architectural Press Elsevier, Butterworth-Heinemann. 2008.
- Madsen, Merete. *Lysrum – som begreb og redskab (Light-zones – as concept and tool)*. [thesis]. Copenhagen: Royal Academy of Fine Arts, School of Architecture, Architectural Lighting Lab. 2002.
- Maglielse, Remco. *Designing for Adaptive Lighting Environments*. [thesis]. Eindhoven: Eindhoven University of Technology. 2009.
- Mathiasen, N, Voltlen, N. *Light and Shadow*. In: Torben Dahl. ed. *Climate and Architecture*, London: Routledge. 2008.
- Noor Shaker, Julian Togelius, and Mark J. Nelson. 2016. *Procedural Content Generation in Games: A Textbook and an Overview of Current Research*. New York: Springer.
- Perlin, K. Webpages on Perlin Noise retrieved December 18, 2014 from <http://mrl.nyu.edu/~perlin/doc/oscar.html> and libnoise.sourceforge.net + Bevins, Jason, *libnoise: Glossary*, Perlin Noise, 2005. Available from: <http://libnoise.sourceforge.net/glossary/index.html#perlinnoise>. [accessed 16 February 2017]
- Petersen, K, Søndergaard, K, Kongshaug, J. *Adaptive Lighting*. Copenhagen: Royal Academy of Fine Arts, School of Architecture, Architectural Lighting Lab. 2015.
- Petersen, K, Søndergaard, K. *An Exploration Into Integrating Daylight and Artificial Light via an Observational Instrument*. Copenhagen: Royal Academy of Fine Arts, School of Architecture, Architectural Lighting Lab. 2015.
- Petersen, K, Søndergaard, K. *Light as experiential material*. In: Barbara Szybinska Matusiak and Karin Fridell Anter. eds. *Nordic Light and Colour*. Trondheim, NTNU, The Faculty of Architecture and Fine Arts. 2013. p 47-67.
- Petersen, K, Søndergaard, K. *Material Evidence as Staged Experientiality*. In: Beim, Anne & Ramsgaard Thomsen, Mette (eds). *The Role of Material Evidence in Architectural Research*. Copenhagen: Kunstakademiets Arkitektskoles Forlag. 2011. p. 80-91.
- Schmidt, Ulrik. *Det Ambiente: Sansning, Medialisering, Omgivelse*. [thesis] Aarhus: Aarhus University Press. 2013.
- Søndergaard, K. *Participation as media: a compositional system for staging participation with reflective scenography*. [thesis]. Caiia, Planetary Collegium, Plymouth: University of Plymouth. 2010.
- Tregenza, P, Loe, D. *The Design of Lighting*. 2nd ed. New York: E & FN Spon, Routledge. 2014.

KUNSTLYSET SKAL TILPASSSES DAGSLYSET

Foreløbige observationer indikerer, at der er en kvalitet i at bruge dagslyset som input for en adaptiv styring, og at der er behov for at nytænke udformningen af klassiske vinduesåbninger som for eksempel lysningen

AF CHRISTINA AUGUSTESEN, LYSDESIGNER, LIGHTING SWECO DK



Lysningen og kinetiske spots - designinstrumenter for adaptiv belysning

”Energioptimering gennem adaptiv lysstyring” er et tværfagligt forskningsprojekt, som har til formål at kvalificere relationen mellem energioptimering og adaptiv lysdesign. Projektet er støttet af Elforsk og gennemføres i et samarbejde mellem Arkitekt-skolen og IT-Universitetet i København samt en række af lysbranchens partnere.

Forskningssteamet har udviklet fire designinstrumenter der p.t. afprøves i daglig brug på IT-Universitetet.

De foreløbige observationer indikerer, at der er en kvalitet i at bruge dagslyset som input for en adaptiv styring, og at det er oplagt at bruge dagslysets karakteristika som lysfarve, retning og intensitet i forbindelse med udformningen af adaptiv styringsdesign. Der er desuden mange kvaliteter i at nytænke klassiske vinduesåbninger som lysninger, så de kan bruges som rumlige armaturer, der på samme tid kan transmittere, reflektere og producere arkitektonisk belysning.

I projektet udvikles der designinstrumenter til 1:1 skalatest af adaptiv lysdesign. Målet er at afklare et begrebsapparat og designmetoder til brug i undersøgende praksis, undervisning og forskning.

Undersøgelses- og designinstrumenter

En række designparametre baseret på adaptiv styring skal være med til at sikre, at lyskvaliteten afvejes mellem dagslysfald, rumdesign, brugerbehov og energiforbrug. Forskningssteamet har designet fire typer af undersøgelses- og designinstrumenter: 1) Lysningen – en dagslys åbning med integreret kunstlys. 2) Kinetiske spotlys med fleksibel belysningskarakteristik. 3) Sidebelyste akrylplader – med variable overfladekarakteristika.

Disse tre skitseringsværktøjer kan styres med kontrolbokse, hvor brugervenlige knapper muliggør styring af lyskilder (farvetemperatur og lysstyrke). Samtidig kan kontrolboksene aflæse data fra hinanden og vælge, hvor meget de vil efterligne hinanden i deres eget output. Herudover er der udviklet 4) en bagbelyst lysboks, der styres som et kunstigt vejrsystem, hvor et digitalt vejr styrer lyskilderne mellem koldt og varmt hvidt lys i forskellige lysstyrker.

I denne artikel fokuseres på design og foreløbige observationer udført af en pilottestgruppe (forskningsteam + 10 studerende) i forhold til lysningen.

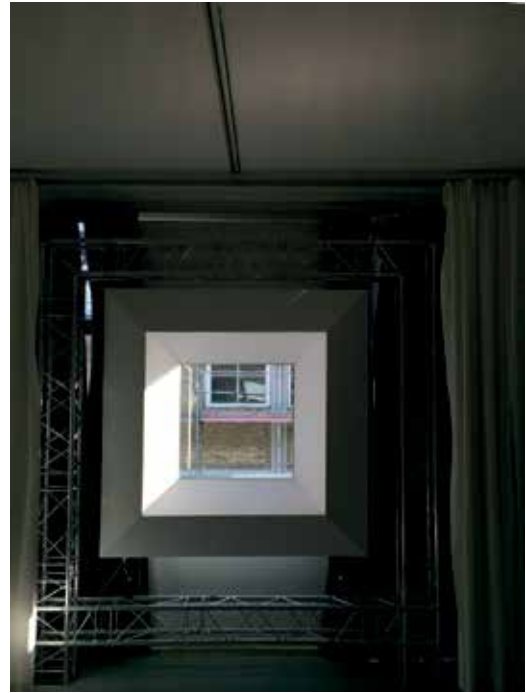
Den adaptive lysning

Lysningen er bygget op som en dyb vinduesramme (150 x150 x 50 cm). Den har til formål at skabe et indrammet møde mellem dagslyset og kunstlyset. Åbningen i lysningen muliggør dels blik ud (forbindelse inde/ude) og dels en indramning af dagslyset som lyskilde. Lysningen indrammer dagslyset, og lysningens flader transporterer dagslyset ind i rummet. Det øger opmærksomheden på lysets refleksioner i fladerne i lysningen og deres indflydelse på lysdannelsen i det store rum som lysningen er placeret i.

Lysningen er bygget op, så den udover at indramme, transmittere og synliggøre dagslyset, fungerer som lyskilde/armatur. Lysningen har indbygget LED-bånd, der bagbelyser de matte translucente flader, som lysningen er bygget op af. Lysningens flader har en materialitet (når de ikke er bagbelyst), som opleves som en mat hvid flade (f.eks. hvid karm/væg), og lysningen opleves således som en solid volumen. LED-belysningen er inte-



Lysningen – designinstrument for adaptiv belysning. Det kunstige lys er integreret i lysningen og kan skifte i farvetemperatur og intensitet.



greret i lysningen, så den bagbelyser de translucente akrylplader og kan justeres i lysintensitet og farvetemperatur (fra 2700 Kelvin til 5700 Kelvin).

Lysningen har til formål at fungere som et instrument til at iagttage, hvordan dagslyset og det kunstige lys opleves i lysningen og i det store rum, som lysningen er en del af. Der ses ligeledes på, hvordan mennesker interagerer i lysningens eget rum og i det store rum lysningen sidder i.

Referencer til dagslyset

Farven, retningen, og intensiteten er vores naturlige referencer til dagslyset. På baggrund af en række test og undersøgelser kunne testgruppen observere, at deltagere har en tydelig reference til og præference for det naturlige lys' egenskaber, når den kunstige belysning designs op i mod dagslyset.

Observationerne viste, at testpersonerne havde en præference for at indstille det kunstige lys, så det har samme farvetemperatur som dagslyset, og så lysningen herigennem fremstår naturligt belyst af dagslyset. Det kunstige lys opfattes, som var det dagslyset, der reflekteres fra lysningens karm. Når det kunstige lys indstilles, så det har en varmere farvetemperatur end dagslyset, ser lyset unaturligt ud og det opleves som en solnedgang, der ikke matcher tiden på dagen og himlens luminans. Det synes åbenlyst, at mennesket har en indbygget naturlig relation til tiden på døgnnet i forhold til oplevelsen af himlens og sollysets farvetemperatur og intensitet. Farvetemperatur og intensitet fungerer tydeligvis som en meget klar indikator for vores rytme i forhold til årstider, tid på dagen samt vejrlig.

Lysningens udformning

I lysningen kan en eller flere sider af karmen styres til at have forskellige farvetemperaturer. Det observeres, at de forskellige farvetemperaturer linkes til en retning – f.eks. opfattes det varme hvide lys som lyset fra solen og det kølige hvide lys som refleksion af himmellyset. Der er en præference for at have den neutral/varmere hvide farvetemperatur i bunden af karmen og det kølige hvide lys foroven og i siderne. I tilfælde, hvor det varme lys tændes i den øverste del af karmen, og de andre tre sider er i en kølig hvid farvetemperatur, dannes der en reference til et objekt, der reflekterer det varme lys op i den øverste del af karmen – dette kunne f.eks. være en gul bus, der kører forbi på gaden nedenfor vinduet. Her linker vi til forskellige

oplevelser, hvor vi har sanset en lysrefleksion fra et objekt eller vejrfænomen, der ikke umiddelbart er synligt, men som skaber et reflekslys ind i karmen og rummet. Vi tror på, at lyset kommer fra samme retning, som vi kender det fra sollyset – fra oven eller siden – og ellers skal vi tro på eller mindes om en anden årsag til lysets retning og farvetemperatur.

Oplevelsen af lysningen

I forhold til intensiteten af lyset observeres det, at testpersonerne begynder at se lysningen som et armatur, når lysintensiteten fra det kunstige lys er væsentlige højere end det reflekterede eller direkte dagslys. Når der ikke er dagslys, kan lysningen fungere som armatur, og det vil have sit eget lys, der skaber et reflekteret lys videre ind i rummet. Som vi kender det fra dagslyset, aftager lyset gradvist hen over rumdybden og vægfladen. Lysningen kan suppleres med øvrige armaturer i rummet som f.eks. kan styres adaptivt i forhold til lysningens lysfarver, intensitet og retning.

De samlede resultater af forskningsprojektet offentliggøres i en publikation – der vil opsamle relationen mellem energioptimering og adaptiv lysdesign. Projektet ventes færdigt ultimo 2016.

FAKTA

Energioptimering gennem adaptiv lysstyring (EAL) PSO2015-347-033, Dansk Energi

Støttet af: Elforsk

Deltagere: Forskningsprojektet udføres i et tværfagligt samarbejde mellem Det Kgl. Danske Kunstakademis skoler for Arkitektur, Design og Konservering, IT-Universitetet i København og en række af branchens partnere: SpektraLED, CreaSign, Lighting Sweco DK, Kongshaug & Søn, Fagerhult Lighting Academy

Undervisning af kandidater ved faget Arkitektonisk Belysning, 1. Semester, KADK

Karin Søndergaard

Undervisningen i lyslaboratoriet afprøver projektets udvikling af 'tool kits' samt de specielt designede iagttagelses instrumenter. Det afprøves hvordan disse værktøjer har potentiale i undervisning. I alt bliver fire instrumentelle set-ups udvalgt, hvormed det er muligt for de studerende at skabe, opleve og analysere rumlige lyssituationer i skala 1:1. Vi anvender KADKs to studierum i Lyslaboratoriet, på 3m(h) x 5m(b) x 8m(d). De to studierum har store gulv til loft facadevinduer, som skaber en helvægs dagslysindfald i 5 meters bredde. Facadevinduerne vender henholdsvis mod øst i det ene rum og mod vest i det andet.



Konteksten for undersøgelserne er integrationen af dagslys og kunstlys:

"Dagslyset er dynamisk, og afhængig af vejrlig kan det udfolde sig med både subtile og dramatiske variationer i lysets kvaliteter. Gennem bygningskroppens åbninger skaber lyset en sammenhæng mellem rummet indenfor og verden udenfor, og åbningen eller vinduet konstituerer den ramme, der på samme tid adskiller og kobler os til omgivelserne. Man kan sige at verden udenfor projicerer sig i rummet indenfor som mere eller mindre diffust lysende refleksioner, der, som billedligt abstrakte og slørede fænomener, stimulerer os i en interaktion med verden.

I modsætning til det varierende dagslys har et specifikt særkende ved kunstlyset indtil for nylig været dets konstans i farve og intensitet. I kraft af LED'ens teknologiske konvertibilitet med digitale

styringssystemer er denne lyskilde imidlertid i stand til dynamisk at producere variation i farver og intensitet (luminans niveauet) på måder, der kan tilsvare oplevelsen af dagslyset. LED såvel som andre fremtidige lyskilder kan styres dynamisk, og derved udvides kunstbelysningens potentiale med et aspekt om dynamiske kvaliteter, designet i software. Dagslyset og kunstlyset er således stillet i en ny relation. Nærværende undersøgelser har fokus på kvalitative parametre i denne relation.”
(Petersen, K.Y. og Søndergaard, K., 2015)¹

Den stadige teknologiske udvikling indenfor kunstig belysning, som f.eks. justerbar hvid LED lys, udvider potentialet indenfor dynamisk belysning i arkitekturen. Mulighederne for flydende dynamiske skift i den kunstige belysning, som kan tilpasses dagslyset, kategoriseres her som adaptiv belysning. Den adaptive belysning involverer oftes kontrolsystemer med automatiserede tilpasninger og sensor inputs.

Undervisningen iscenesætter fuldskala omgivelser, hvor design mulighederne med de særligt udviklede adaptive belysningssystemer kan opleves og arbejdes med. De udviklede belysningssystemer består af brugerorienterede protyper af lyskilde – og kontrolsystemer. Formålet er at de studerende kan opleve og eksperimentere med, hvordan adaptiv belysning integrerer bruger scenarier, dagslysvariationer og arkitektoniske kvaliteter i designet.



De instrumentelle set-ups:

Projektets udviklede tool-kit og de byggede iagttagelsesinstrumenter, som stilles til rådighed, består af følgende 4 typer devises samt kontrol-bokse:

- En bagbelyst lyskasse koblet med kontrolsystem som styrer farvetemperatur og luminans og dynamisk flydende skift i samme.
- En lysning – iagttagelsesinstrument og en konceptuel model for et dagslysindtag med indbygget kunstig belysning, – med mulighed for styring af farvetemperatur og luminans i kunstlyset.
- Et sæt af acryl plader med forskellig indgraveret tekstur. Pladerne er kantbelyste, med mulighed for styring af farvetemperatur og luminans.
- Et sæt af spot-lights på kinetiske (bevægelige) arme monteret på flytbare standere. Spot-lights er forbundet til kontrolbokse, hvormed man styrer farvetemperatur og luminans.
- Et sæt af kontrolbokse med håndgribelige interfaces til justering af farvetemperatur og luminans.

¹ (Petersen, K.Y. og Søndergaard, K. (2015) *Integrering af dagslys og kunstlys undersøgt gennem et iagttagelsesinstrument* (s.10). København, KADK.

Undervisningen tilbyder en række muligheder for forskellige undersøgelser og eksperimenter i relation til prototype processer og/eller designudvikling. Overvejelserne omfatter:

- Adaption mellem dagslys and kunstlys.
- Adaption til kvaliteter i det rumlige design.
- Adaption til site specifics, samt personlige behov og præferencer
- Konfiguration af selvjusterende lysdesign automation
- Udvikling af belysnings-koncepter, der inkluderer dagslys, rumlige konfigurationer af lyszoner, samt bruger definerede scenarier.

Med øvelserne har de studerende mulighed for at deltage i udviklingen af funktionelle og vel-designede adaptive løsninger, som dynamisk regulerer luminans (intensiteter) og lys-farve kompositioner ud fra individuelle og stedspecifikke løsninger. Der er specielt fokus på løsningsmodeller der integrerer dagslyset som formativ parameter af den adaptive lys-styring, og hvordan etablering af lyssituationer adapterer til personlige ønsker og behov.

De studerendes afleveringer indeholder et sæt af veldokumenterede scenarier, beskrivelser af belysningskoncepter samt de involverede dynamiske parametre. Dokumentationer bør bestå af fotos, håndtegninger og/eller digitale illustrationer, samt korte rapporter baseret på kvalitative interviews og konkluderende forslag til strategier for adaptiv belysningsdesign.

Uddybende beskrivelse af de producerede instrumentelle set-ups:

'Lys-kassen' – er et iagttagelsesinstrument (70 x 200 x 24cm), som gør det muligt at studere kombinationer af lysintensiteter og farvetemperaturer i variationer af dynamiske flows. LED lys-kilder er bygget ind i kassen, og lyset bleures af en translucent hvid plexiplade. Det er muligt at variere pladens afstand til lys-kilderne med 15cm i begge sider (- eller f.eks. kun den ene side). Derved kan der arbejdes med en differentieret 'blurring' af lyset.

Hver af LED dioderne i lyskassen er kontrolleret af et specifikt designet software system, som styrer den enkelte kildes luminans / intensitet og dets farvetemperatur fra kold til varm – indenfor de hvide lysfarver fra 2700 kelvin til 5000 kelvin. Også selve dynamikken i skiftet, – altså hvor langsom eller hurtigt det selvorganiserende og flydende skift i luminans og farve er, styres af softwaren. Softwaren er raffineret til en sådan grad, at det er muligt at sammenligne kunstlysets dynamik med dagslysets dynamiske skiftet. Med reference til daglyset og hvordan dagslyset specielt i det nordiske klima i høj grad er styret af de skiftende vejrforhold, kalder vi således det udviklede software *Digital Weather*.

Lyskassen undersøges opstillet langs væggen i 1,5 meters afstand til facadevinduet således man kan betragte dagslysfaldet på væggen omkring lyskassen og derved analytisk iagttage kunstlyset i samspil med dagslyset. Lyskassen repræsenterer en situation hvor lyskilder er indbygget i arkitekturen.



'LYSNINGEN' – er et iagttagelsesinstrument opbygget som en dyb vinduesramme (160 x 160 x 40 cm). Instrumentet har til formål at skabe et indrammet møde mellem dagslyset og kunstlyset, og etablerer således en indramning af dagslyset som lyskilde. Åbningen i lysningen iscenesætter tillige et forhold mellem ude og inde. Lysningen indrammer på denne måde dagslyset som lyskilde, og lysningens flader transporterer dagslyset ind i rummet. Samtidig bringes opmærksomhed på lysets refleksioner i lysningens flader og hvordan disse refleksioner har deres indflydelse på lysdannelsen i det store rum.

Lysningen er bygget op så den udover at indramme, transmittere og synliggøre dagslyset – fungerer som lyskilde/armatur. Lysningen har indbygget LED-bånd der bag-belyser de matte translucente akrylflader som lysningen er bygget op af. Lysningens flader har en materialitet (når de ikke er bagbelyst) som opleves som en mat hvid flade (f.eks. hvid karm/væg) – og lysningen opleves således som en solid volumen. LED belysningen er integreret i lysningen så den bagbelyser de translucente akrylplader og kan justeres i lysintensitet og farvetemperatur (2700 Kelvin til 5000 Kelvin).

Lysningen fungerer som et instrument til iagttagelse af hvordan dagslyset og det kunstige lys opleves i integrerede lyssituationer, - både i og ved lysningen samt i det store interiøre rum, som lysningen er en del af.



'Acrylic Sheets' er værktøjer til undersøgelser af LED's potentiale som arkitektonisk komponent. Tool kitted består af et antal akrylplader i to forskellige størrelser og med forskellige variationer af indgraverede mønstre. LED'er monteret er ind i aluminiumskinner, der fungerer som fittings på pladerne. Når disse fittings påsættes siderne på akrylpladen, sendes lyset gennem materialet. Det transparente akrylmateriale bliver derved lysende, og især i de indgraverede områder reflekteres og synliggøres lyset. Lyset spredes således i en relation til det indgraverede mønster. Også materialets transparens og spejlingseffekt gradueres i en relation til de indgraverede mønstre.

Pladerne udgør og sammenholder tre oplevelses parametre, der kan varieres relativt:

1. Transparens
2. Refleksion
3. Oplevet lys-intensitet

Det skal her bemærkes, at det akrylliske materiale ikke er det centrale i undersøgelsen. Men at det overordnet handler om idéen om at udforske LED'ens potentiale som indbygget arkitektonisk component. Test-scenarierne, som de er præsenteret ovenfor i iagttagelsesinstrumenter og sheets, undersøger på denne måde tre forskellige situationer hvor LED'en er implementeret i et design der udgør et rumligt element.



'The dynamic white directed light kit' – er specialbyggede styringsbokse samt en kollektion af 16 lysarmaturer, der kan anvendes til at studere relationer mellem varierede lyszoner (eller lysrum forstået som rum i rummet) som differentierer ved forskelle i luminans /intensitet og farvetemperaturer. Kitted anvendes til at skabe rumlig belysning, - undersøgelser særlige lyssituationer af hvordan disse etablerer forskellige rumlige forhold og forudsætninger for mennesker. Belysnings-aspektet kan således variere fra den funktionelle til den ambiente belysning.

Kitted består af:

- 4 høj diffuserende lamper som skaber omgivelses belysning (kontekst lamper)
- 4 high directional lights / rettet lys med afgrænsede spots
- 8 low directional lights / rettet lys med diffus afgrænset spots
- 5 styrings-bokse

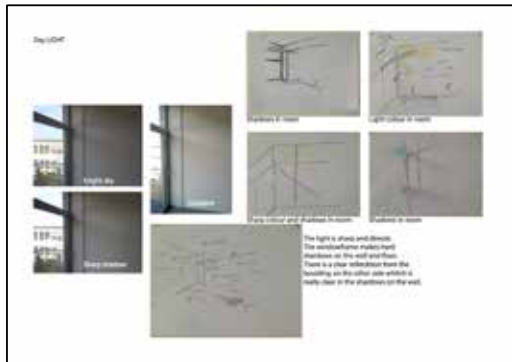
De diffuse kontekst lamper kan styres individuelt i intensitet og lystemperatur. Lamperne med rettet lys styres gennem special designede styrings-bokse som ligeledes styrer luminans/intensitet og lysfarver. Styringsboksene kan forbindes til en eller flere lamper, og det er muligt at skabe relationel styring imellem lamperne. Eksempelvis kan man etablere en dynamisk graduering mellem to eller flere lamper i styringen af intensitet og lysfarve. Således etableres en der i de

forbundne lamper en gensidigt indflydelse, hvor det er den gensidige relation imellem lamperne der kan styres. Ligesom man kan tilsigte en ensartet belysning i samtlige lamper, kan man eventuelt søge mod en mere differentieret belysning og skabe landskaber af (dynamisk) belysning.



Eksempler på de studerendes arbejder

Studerende: Ann Louise Bloch Nielsen, Augusta Malling, Kasper Emil Thorup, Martin Jacobsen, Kicki Kristel Kornerup, Lena Vo Larsen, Jesper Malm, Kartarzyna Krawczuk, Yannik Keller.



Acrylic Sheets Kit Room A

Transparency When the acrylic sheets and diffuser filter is placed against the window, the bright light from the window is softened. The light is more uniform and less intense. It is possible to see through it. When you look at the acrylic sheet from the inside, you can see the light through the acrylic. Because the light is filtered by the acrylic sheet.

Conditions 17th October 2015, Sunday Morning 10:15, 10th floor, office building, inside living room.

Purpose We used acrylic sheets to create a more uniform light distribution. We wanted the light inside the office building to be more uniform. We used acrylic sheets to create a more uniform light distribution. We wanted the light inside the office building to be more uniform.



Acrylic Sheets Kit Room A

Experienced light intensity The intensity of the light is experienced as a more uniform and less intense. It is possible to see through it. When you look at the acrylic sheet from the inside, you can see the light through the acrylic. Because the light is filtered by the acrylic sheet.

Conditions 17th October 2015, Sunday Morning 10:15, 10th floor, office building, inside living room.

Purpose We used acrylic sheets to create a more uniform light distribution. We wanted the light inside the office building to be more uniform.



Acrylic Sheets Kit Room A

Reflection When the acrylic sheets and diffuser filter is placed against the window, the light is reflected. The light is more uniform and less intense. It is possible to see through it. When you look at the acrylic sheet from the inside, you can see the light through the acrylic. Because the light is filtered by the acrylic sheet.

Conditions 17th October 2015, Sunday Morning 10:15, 10th floor, office building, inside living room.

Purpose We used acrylic sheets to create a more uniform light distribution. We wanted the light inside the office building to be more uniform.



Acrylic Sheets Kit Room A

Conclusion There are many possible explanations for what we observed. We discovered that the light is more uniform and less intense. It is possible to see through it. When you look at the acrylic sheet from the inside, you can see the light through the acrylic. Because the light is filtered by the acrylic sheet.

Conditions 17th October 2015, Sunday Morning 10:15, 10th floor, office building, inside living room.

Purpose We used acrylic sheets to create a more uniform light distribution. We wanted the light inside the office building to be more uniform.



LYSNING 24.10.2015

PROBLEM
In a room light sources are distributed in a way that is not optimal. The light is not uniform and the intensity is not optimal. The light is not uniform and the intensity is not optimal.




CONCLUSION
The light is not uniform and the intensity is not optimal. The light is not uniform and the intensity is not optimal.

SELECTED RESULTS OF THE EXPERIMENTS

WARM LIGHT (2700K)



NEUTRAL LIGHT (4000K)



COOL LIGHT (5000K)



DAYLIGHT

There is a clear contrast between light and shadow. The light is not uniform and the intensity is not optimal. The light is not uniform and the intensity is not optimal.



LIGHT BOX

The light box is used to create a more uniform light distribution. We wanted the light inside the office building to be more uniform.



EXPERIMENTS - 10 different light scenarios

	Daylight		Warm light (2700K)		Neutral light (4000K)		Cool light (5000K)	
	Person	Room	Person	Room	Person	Room	Person	Room
None	Gradual in time from dark and direct light cut into the room							
Low intensity (15%)	Confusing. Unable to think that there is reflected light from a building across the road	No big effect on the room. Increased contrast between window frames	Looks like light is of	Very natural. No big effect on the room but creates nice atmosphere	No difference from daylight only. Almost invisible	No effect		
Medium intensity (50%)	Makes you want to come closer and take a look outside	Not as good. Visible edges from daylight. Warms up the space whole room	Looks like reflection of the daylight. No difference on the person's face	Light without reveals that it is brightened by artificial light. No difference to the room	Hard to look at. Not to the daylight temperature. Looks more blue with the person close	Room looks brighter while looking at the window. No effect on the walls. Outside looks warmer. Room looks clean.		
High intensity (100%)	Temperature contrast makes you want to switch it off. Warms up the skin colour while being close to the window	Makes outside looking cool. Very visible gradient on the frame. Warms up the space more	SB feels warm in comparison to daylight. Creates the light on the face. Definitely artificial	Very small (almost invisible) difference on the room	Definitely feeling of artificial light. Person's looking at the strongest. No effect on the room	No visible gradient. Direct sunlight is the strongest. No effect on the room		

LEDlys

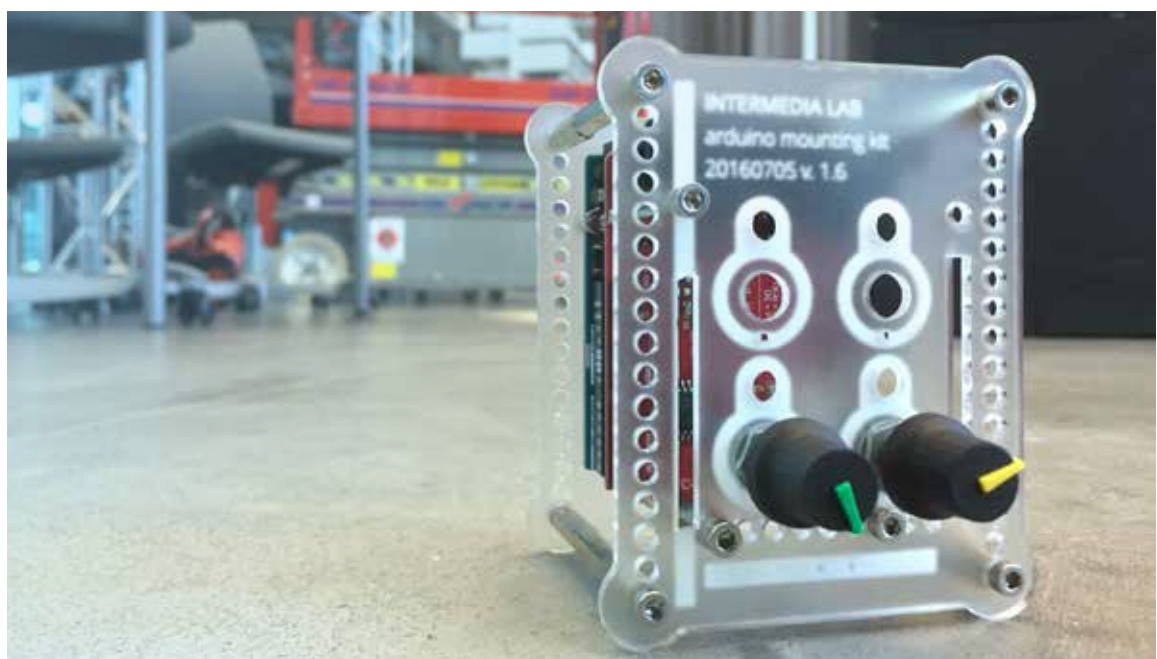
Teaching light dynamics at Intermedia Lab by Ole Kristensen



Intermedia Lab has hosted a series of student courses based on the practices and results from the LEDlys research project. We first introduce the teaching kit and teaching progression and then present some of the student project outcomes in the form of their functional prototypes.

Teaching light dynamics and interaction with a professional Arduino kit

The students were supplied with a teaching kit consisting of an Arduino mounted in a housing with two dials (potentiometers) paired with led indicators and a DMX shield for light control output. The kit was pre-programmed with an introductory simple Arduino program that showed the students examples of how to control a cheap RGB LED lighting fixture with a progression from one-to-one variable mapping, over simple color models and kelvin temperatures, to manipulating dynamics. The configuration with only two variable input channels (the dials) was deliberately below the three channels of the output (Red/Green/Blue). The students received the source code before the class and by manipulating the working example code and uploading it to their kit they could experiment with timings and other dynamic characteristics of the different light fixtures from the lab. The first workshop gave 6 progressive steps of software models for the Arduino dmx lighting kit, designed to provoke reflections on the dynamics aesthetics of digital systems.



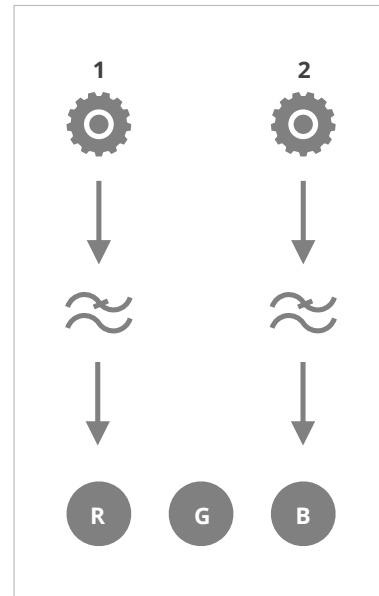
1) Linear one-to-one mapping

The first code example shows a straightforward mapping of the two input channels to two of the output channels; dial one to red and dial two to blue.

The code presents a mapping paradigm, where the use of a microprocessor really does not add any value or functionality. It does, however, introduce the basic code for reading an analog input with ten bit resolution (0-1027) and converting it to a 8 bit value, suitable for DMX (0-255).

It also acts as the simplest possible initial verification that the circuit is functional, that inputs are read, and that there is a straightforward output. Furthermore we introduce how a deliberately low frequency lowpass filter on the inputs add to an experience of a materiality in the light output, as it will eliminate electrical noise to propagate as flickering of light intensities and also give the interaction design an ever so subtle temporal aspect. The example also provokes a discussion on the limitations of straight-forward mapping.

```
void setColorsRedGreen(int potRed, int potGreen){
  red = potRed / 4;      // mapping from 1024 to 255
  green = potGreen / 4; // mapping from 1024 to 255
  blue = 0;
}
```



2) Linear two-to-three mapping

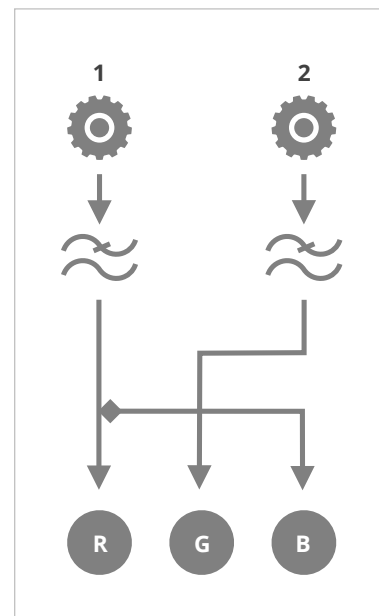
Here, a simple linear crossfade between red and blue (without gamma correction) is added as a first attempt at letting the two input channels affect all three outputs.

The example introduces the concept of inverting a value by subtracting it from its maximum as it's done in the mapping of the first dial to the blue channel.

The meaningfulness of this model is deliberately low, and it acts as a starting point for discussing how the RGB model of light doesn't fit how we experience and think about light as humans. The two dimensions of the model $R < B + G$ also do not enable us to get a quick intuition for how to manipulate the light subtly, it's simply hard to navigate and motivates a use characterised by dialling all the way up or down, reducing the color space to its extreme primaries. This renders the control inputs rather useless and they might as well be switches.

Furthermore it is impossible to turn the light off, as it will always show some mix of red and blue.

```
void setColorsGreenPlusRedOrBlue(int potGreen, int potRedOrBlue){
  red = potRedOrBlue / 4;
  green = potGreen / 4;
  blue = 255 - red; // reversion of value: subtract from max
}
```



3) Implementing a color model

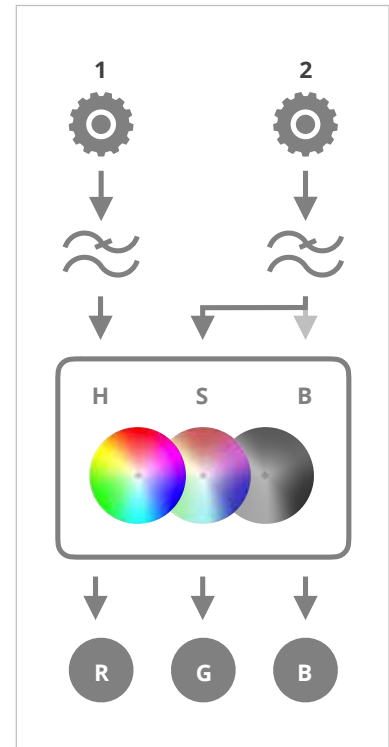
We now introduce the hue-saturation-brightness model, that will convert our two input channels to three outputs. The color model resembles how we think about colours, and allows for a fine tuned color response. Dial one is mapped to hue, dial two to saturation. We fix brightness to 100%.

This allows us to do more subtle explorations of hues as we prioritise the saturation dimension.

It is left as an exercise for the students to include brightness, this usually leads to convergence on a mapping where brightness and saturation are straightforward linear to dial two, desaturating the light as it dims.

With a conceptual model in the code we start to see that we are working with an abstraction device, that a controller by mapping our inputs to a model can give affordances to meaningful interactions that work with concepts that are closer to how we sense light and colours.

A curious effect of the lowpass filters can be observed when almost instant turns of dial 1 provokes a slower tour through all the hues on the way.



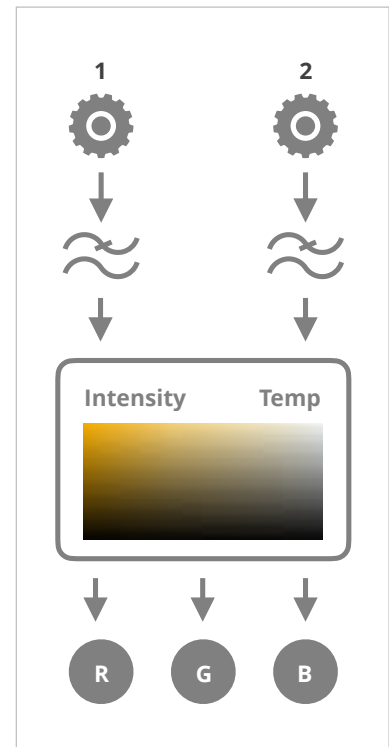
```
void setColorsHueSaturation(int potHue, int potSaturation){
    float hue = map(potHue, 0, 1023, 0.0, 360.0); // hue in degrees
    float saturation = map(potSaturation, 0, 1023, 0.0, 100.0); // saturation in %
    hsvToRGB(hue, saturation, 100.0, red, green, blue);
}
```

4) Nuances of white with kelvin

When observing the light produced by the cheap RGB fixture it lacks nuances in white light. It's inevitably tinted, and the interactions are too coarse to allow for subtleties in whiteness.

A model to convert kelvin temperatures to RGB values is introduced. It is inherently two-dimensional, the temperature and intensity inputs correspond to the two dials, and the model delivers three RGB outputs. The experience of light from this model lends a surprisingly nuanced control to the rudimentary fixture, leading to a reflection on the aesthetic importance of the control algorithm.

```
void setColorsIntensityTemperature(
    int potIntensity, int potTemperature){
    int intensity =
        map(potIntensity, 0, 1023, 0, 255);
    int kelvinTemperature =
        map(potTemperature, 0, 1023, 4000, 7000);
    kelvinTemperatureToColor(
        kelvinTemperature, intensity,
        red, green, blue);
}
```



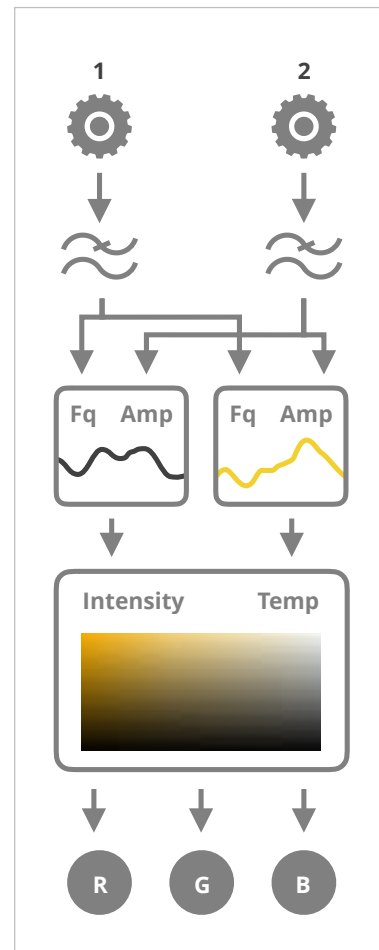
5) Adding temporal dynamics with perlin noise

Until now all interactions have been straightforward manipulations of static models. The dials would allow the student to navigate a two-dimensional space, producing a varied output as the dials were turned, but when the hands are off the dials, the model did not have any internal dynamics and the light output remained static until next interaction.

By adding perlin noise we can synthesise a model of dynamic light fluctuations that reminds us of the light intensity and temperature fluctuations from natural daylight. This is a temporal design, where the quality of the light experience is mainly described as a phenomenon that takes place over time.

We add two such individually seeded perlin noise functions, one for the intensity dimension, and one for the temperature dimension. The first dial maps to the frequency of both perlin functions and the second dial maps to the amplitude of both perlin functions. This model then allows for the dials to manipulate the speed and variation of the two fluctuations so that they exhibit the same temporal quality but without being in unison. If both dials are turned down the light is a static 50% bright shade of half-warm gray. To allow for temporal dynamics we discover that both the speed and variation dial needs to deviate from zero in order to observe any fluctuations. This leads to a discussion of how to ensure that there is always fluctuations, and the students can attempt to sketch other relationships in the code. One solution that appears is to envelope the range of the dials so that their ranges simply don't go all the way to zero, but instead start from some low value that remains observable. Another design solution that emerges is to simply fix the frequency of the intensity, and map the first dial to the amplitude of the intensity to allow for dimming the light intensity fluctuations to zero, and then conversely fix the amplitude of the temperature and allow the second dial to set the speed of the temperature fluctuations.

A discussion of temporal characteristics leads to a reflection of the nature of a linear concept of speed, and how applying different transfer functions (cubic/quadratic and their inversions) to the input values can be useful in prioritising nuances in slowness or fastness.

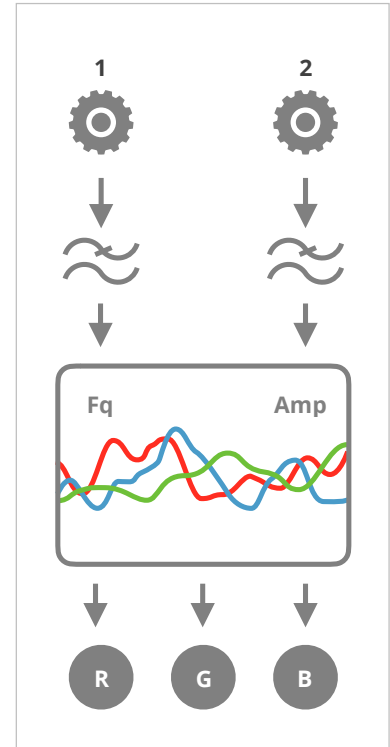


```
void setColorsIntensityTemperatureSpeedVariation(int potSpeed, int potVariation){
  // update time
  xpos += potSpeed * 4;
  ypos += potSpeed * 4;
  // render two dimensions of perlin noise
  temp = map(potVariation, 0, 1023, 127, renderNoise(xpos, 0, 0));
  kelvinTemperature = map(temp, 0, 255, 4000, 7000);
  intensity = map(potVariation, 0, 1023, 127, renderNoise(0, ypos, 0));
  kelvinTemperatureToColor(kelvinTemperature, intensity, red, green, blue);
}
```

6) Adding temporal dynamics with perlin noise

We keep the former example running and add a second fixture and control device to the setup. Here we set up the last example that returns to the native RGB output space of the led fixture, but keeps the temporal design of the former example. This allows the students to compare, describe and discuss the qualitative aspects of temporal fluctuations of light in the RGB space versus the Intensity/Temperature space. We consider that the two models offers differing lighting aesthetics and that observing them next to each other highlights the very contextual and cultural nature of design choices. We try to imagine situations where one fits better than the other, but also experience difficulties in imagining situations where both mappings of fluctuations are present and operating meaningfully in the same space.

When considered on it's own this implementation temporal dynamics of RGB colours is centred on a dullish desaturated grey light, ie. when both dials are turned down all three output channels will rest at a static 50%. However, adding a bit of dynamics with a moderate speed and amplitude affords a more subtle invocation of pastel colours than we would focus on when we had a more direct control mapping of the dials into the RGB space in the first examples.



```
void setColorsSpeedVariation(int potSpeed, int potVariation){
  // update time
  xpos += potSpeed * 4;
  ypos += potSpeed * 4;
  zpos += potSpeed * 4;
  // render three dimensions of perlin noise
  red = map(potVariation, 0, 1023, 127, renderNoise(xpos, 0, 0));
  green = map(potVariation, 0, 1023, 127, renderNoise(0, ypos, 0));
  blue = map(potVariation, 0, 1023, 127, renderNoise(0, 0, zpos));
}
```

This concludes the introductory workshop. This introduction is ideally given in an informal workshop setting with student dialogue and groups of 2-4 students each sharing one kit. The duration of the workshop is approximately 4-5 hours.

The workshop was included on the courses Designing Interactive Artefacts, Digital Aesthetics and Creative Digital Practice, spring 2017. Here it acted as a kick-start for student-generated projects, introducing the Arduino, the lighting fixtures, and the DMX protocol binding them together. More importantly though; the example code acted as a starting point to experience how the code/software acts as the main component of the aesthetic qualities and the affordances given in the setup. The physical objects remained the same, but by changing the code the behaviour and interaction model of the lighting system varied radically.

For the rest of the course the student groups were tasked with prototyping interactive light installations and lamps that were presented at exhibition events at ITU.

Examples of student work

Here follows a listing of student group projects where we have found direct influences from the LEDlys research in aspects of the prototypes. The projects are presented in no particular order. Video documentation and other project assets are accessed online by clicking the project titles.

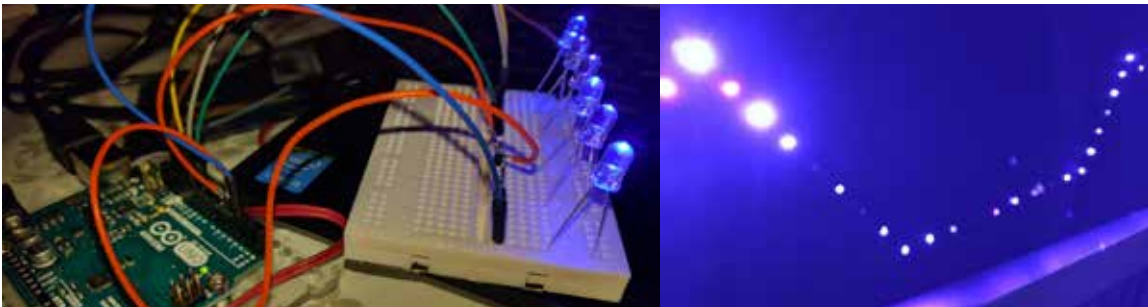
Circle of Life



Bachelor students Oliver Ungermann Kokholm, Jakob Løfstedt, Magnus Matias Villumsen, and Max Madsen

A concept for an adaptive and dynamic home based on a rotating platform. A dynamically modulated daylight opening is embedded in the ceiling, lending the concept affordances to the temporal light qualities discussed in LEDlys. Daylight was simulated using the custom made led fixtures developed for the research project.

Dream Constellation



Bachelor students Charlotte Pedersen, David Kiaei-Petersen, Freja Saurbrey, and Hannah Lawrence

The students applied the perlin noise dynamics into a decorative led installation with subtle light fluctuations inspired by star constellations.

Heartwear



Bachelor students Caroline Saabye, Anne-Sofie Belling, Edith Terte, Tilde Aagaard, and Camilla Anker

The reflections on temporal aesthetics inspired this group to synthesise an ornamental wearable light object that resynthesises the heartbeat of the wearer using leds and optical fibres.

Traces of time



Bachelor students Melenie Duckert Schmidt, Tonje Damman, Katja Momberg Michaelsen, Mikkel Vesterager and Susanne Noer

An exploratory design that explores how natural human traces can be represented digitally. The led-strip within the pillow lights up when the pressure sensor has been pushed and left again. The light acts as a subtle reminder that someone was here recently. The group put a lot of emphasis on the timing and transitions of the lights to facilitate the experience of light acting as a subtle reminder of someone else's recent presence. Modulations of the light colours were intentionally constrained to the planck curve.

Will-o-wisp



Bachelor students Mark Daniel Pedersen, Mikkel Vinther Christensen, Nicholas Krasuski, Emil Malthe Bæhr Christensen, and Kasper Månsson

This group wanted to work with the acrylic diffusion panels from LEDlys. They combined the panels with their own system of leds, and worked on the temporal qualities of an unobtrusive, yet 'being-like', ambient lighting dynamic reminiscent of a supernatural breathing creature.

Dark Matters



Master students Anne-Lise Jacobsen, Helena Wendt, Mads Lagoni Valbak, and Stine Merrild

The students made an instrument made to encounter and explore the qualities of darkness. The installation consisted of a completely darkened space with a set of the LEDlys custom-made dynamic color temperature fixtures. The students developed a temporal sequence designed to provoke perceptual responses in periods of darkness.

Space Arp



Master student Lilja Amundsen

This student programmed a computer vision system for an immersive installation that reacted to presence and movement with a generative music composition and a set of repurposed LEDlys fixtures with firmware errors. Again the temporal dynamics were clearly informed by the workshop given.

Honeycombs



Master students Frederik Skals, Tobias Jensen, Peter Damm, and Jannik Jakobsen

A set of hexagon honeycomb shaped lamps for a domestic context, where modules are combined to create a physical form, yet also can be moved around the house to create a local atmosphere. The project was directly inspired by the observational instruments from LEDlys. The students succeeded in making a modular system of physical 'pixels' with magnetic communication connections, that would enable each module to be part of subtle spatially coordinated light fluctuations.

Yours



Lena Kühn, Charlotte Hermann, Juliane Busboom

Holding the silicon shaped ball creates a calming gradually increasing white light, that eventually leads to an magic pulse of coloured lights. The project transferred and extended the lighting principles taught into an led string with individually controllable RGB leds that staged a meaningful transition from whiteness to colourfulness. The lowpass filter was also applied.

Vigour



Laura Rendboe, Jimmy Mikkelsen, Rikke Schlamovitz, Jeppe Kjøller

Inspired by a bonfire, Vigour is a light that should be given life and kept alive by blowing on it. The students took inspiration from the fire-like light fluctuations they observed in a specific setting of the perlin noise and used this as a starting point for their interaction. The output channel were lowpass filtered to ensure a continuous and flicker-free transition.

Proximity Light



Mikkel Christiansen, Mie Holm, Line Andersen, Sofie Asker Black Calundann

Proximity Light is a light installation that lets the users explore the artifact driven by their curiosity. Due to its asymmetrical shape and the size of its 18 surfaces, the users are encouraged to interact with the installation through touch and proximity. The user will have to explore Proximity Light to find the places where he/she can leave a mark.

Software sketches for experiencing LED light

by Ole Kristensen

Lighting aesthetics has become a question, not only of designing physical objects, but of composing the temporal dynamics of clusters of light emitters; what controllers do and how.

How should artificial light behave aesthetically over time and towards humans? When does the lighting remain in the background, move into the foreground, start pointing to it self, and when has it become a dominant noise?

Our starting point is our experience of daylight. Daylight itself fluctuates dramatically, yet remains inconspicuous to the humans that inhabit it. We 'background' daylight fluctuations, yet remain conscious about the cues that daylight possesses. The time of day, the passing of clouds, the seasons and our changing weather conditions. Our daily backgrounding of daylight fluctuations can inform how we formulate dynamic fluctuations of interior LED light with an aesthetic awareness of 'backgrounding' and 'foregrounding'.

Here we present a series of simple compositional principles and a series of physical setups controlled by software sketches that tries to embed design criteria of dynamic interior LED lighting. We aim to unpack different lighting control strategies that respond dynamically to the fluctuations of humans and daylight over time.

The software that governs the lighting fluctuations thus becomes an instrument for experiencing when the artificial lighting foregrounds or backgrounds itself in relation to it's daylight environment. Our quest is to explore and qualify these subtleties with parametric lighting compositions. The software sketches should allow us to juxtapose extremes and work our way into a nuanced understanding of the compositional aesthetic dynamics of generative and interactive artificial LED lighting.

Intensity and color temperature

Before we look at the software let's first unpack the fluctuations of an individual light emitter by it self. In our case it has two variables, intensity and color temperature. These two variables can fluctuate completely independently, as our LED lights decouple the relationship between color temperature and intensity that was interlocked in incandescent bulbs. The variables form a two-dimensional plane of possible light outputs. Any point on this plane can describe the current state of a single light emitter. The lightness could be experienced as bright, dim, off, blinding etc. The color temperature could be warm, cold etc.

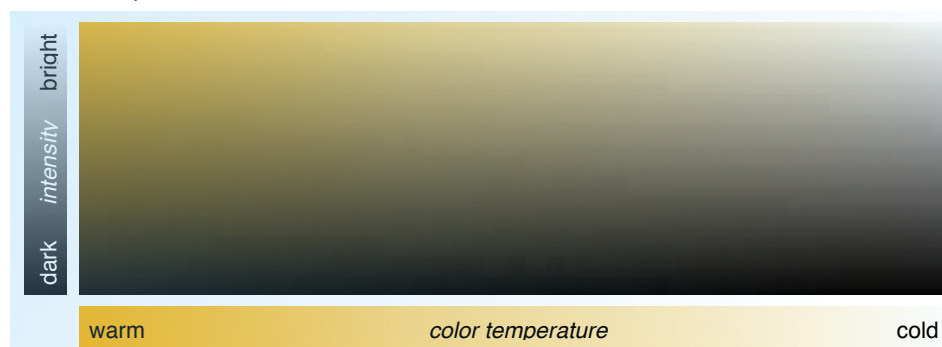


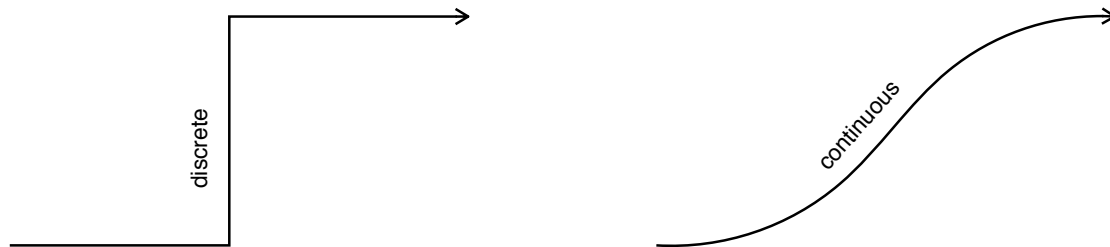
Figure 1: The two dimensions of an individual light emitter, intensity and color temperature.

Time

Fluctuations happen over time, and we are interested how fluctuations affect our experience of artificial light. The fluctuations are our temporal path through intensity and color temperature. How does the experience of the fluctuations change with their speed, and how does the relative speed of light fluctuations contribute to the foregrounding or backgrounding of the light source(s) as artificial light.

If color temperature and intensity describes the 'what' of our light emitter, the fluctuations describe the 'how'. Fluctuations can have temporal qualities such as repetition, rhythm, syncopation, flicker, etc. We would like our light compositions to potentially exhibit all of these complex qualities, without having to expose a plethora of parameters and options.

With LED lighting any change in intensity or color temperature can happen discretely or continuously, i.e. at an



instant or gradually over time.

Figure 2: Discrete and continuous change seen over time

However, we are mostly interested in exploring artificial lighting fluctuations that are reminiscent of natural phenomena. As nothing moves physically in zero time, we want the fluctuations to appear continuous. We look for a simple function that will allow us to generate fluctuations that are continuous at low frequencies and appear unpredictable yet subtle. The function should have one variable 'time', and the user should be able of controlling the speed of this time.

The ideal candidate is Perlin-noise. This is a form of computer generated pseudorandom coherent noise (libnoise.sourceforge.net 2005) that has proven useful for procedural generation of seemingly natural structures. Ken Perlin invented Perlin noise in ~1983. Because his invention is used everywhere in the special-effects industry, he won an Academy Award® with the following reason:

*The development of Perlin Noise has allowed computer graphics artists to **better represent the complexity of natural phenomena** in visual effects for the motion picture industry. (Perlin, n.d.)*

A one-dimensional render of perlin noise could look like this:

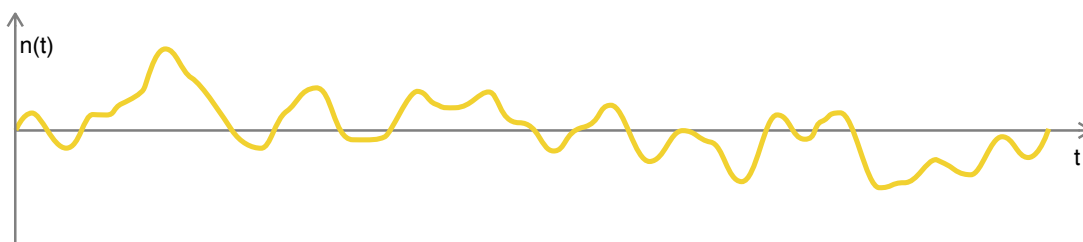


Figure 3: An example of one dimensional perlin noise seen over time

When interpreted as light fluctuations over time, the perlin noise exhibits qualities ranging from imperceptible, alive, over syncopated to noisy.

Space

A major visual component of led lighting is the possibility to individually control light emitters. Let's now look at a collective of lights. When more lights are arranged together their fluctuations collectively assume relative spatial qualities such as dense, sparse, coarse, uniform and individual. When taking part in such an arrangement a light emitter can be interpreted as a pixel.

If the coherence takes the form of figurative representation, it is usually an effect of mapping the spatial relationships of the lights to a video input. However, for now we eschew mapping filmed video content to our lighting system in an effort to focus our experience on spatial and temporal qualities that lies beneath concretely representational uses of lights.

We then need to generate signals that gives our lights a spatial relationship. For this abstract spatial reference we can again look to perlin noise and note that it can have more than one dimension.

Let's first look at a one dimensional perlin noise this time in a three-dimensional space where time moves sideways, again we see how the value fluctuates continuously over time, and we can appreciate that there are no apparent sudden changes in how the light intensity is modulated over time:

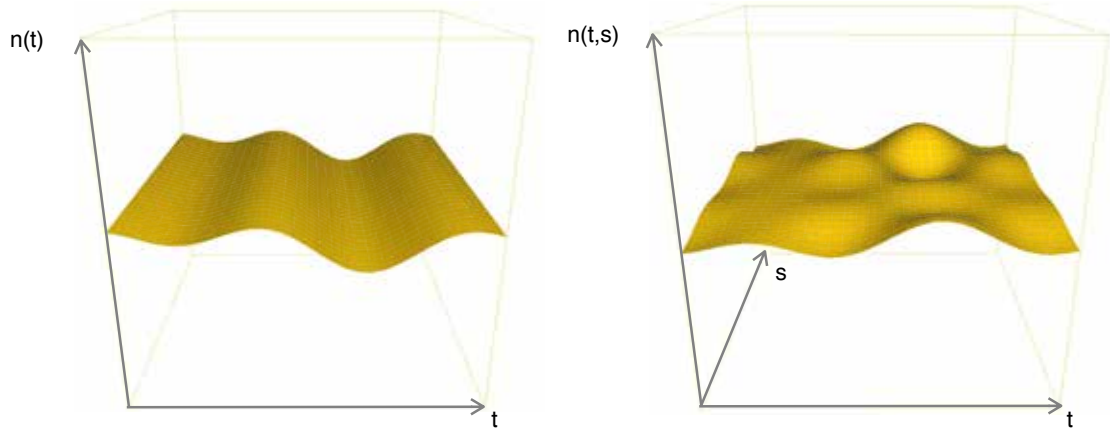


Figure 4: Comparison between one dimensional and two-dimensional perlin seen in three dimensions

By adding a dimension to the perlin noise it will describe a two-dimensional plane, that in our case can be used to modulate a spatial distribution of individual intensities of a lighting cluster over time, thus keeping a coherent and continuous relationship across fixtures.

To animate this over time we add one more dimension; time. We let the user define the speed of time and end up with the possibility of clustering lights in two dimensions over an animated plane to compose spatially coherent relationships:

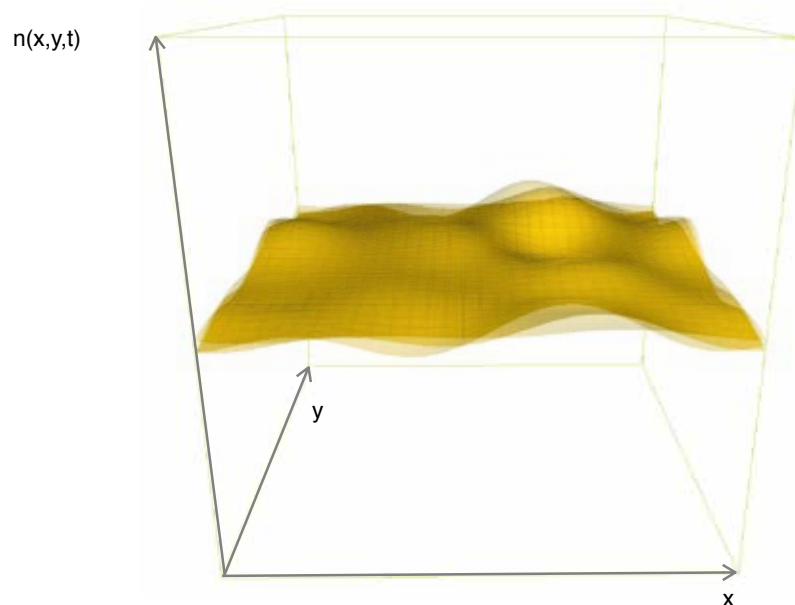


Figure 5: Animated two-dimensional perlin noise plane

With this added dimension we can construct fluctuations in space and time. This opens for an experience of spatial relatedness of multiple light fluctuations. With this we can synthesise collective relational qualities such as individuality, sameness, closeness, resemblance, mimicry, directionality and movement.

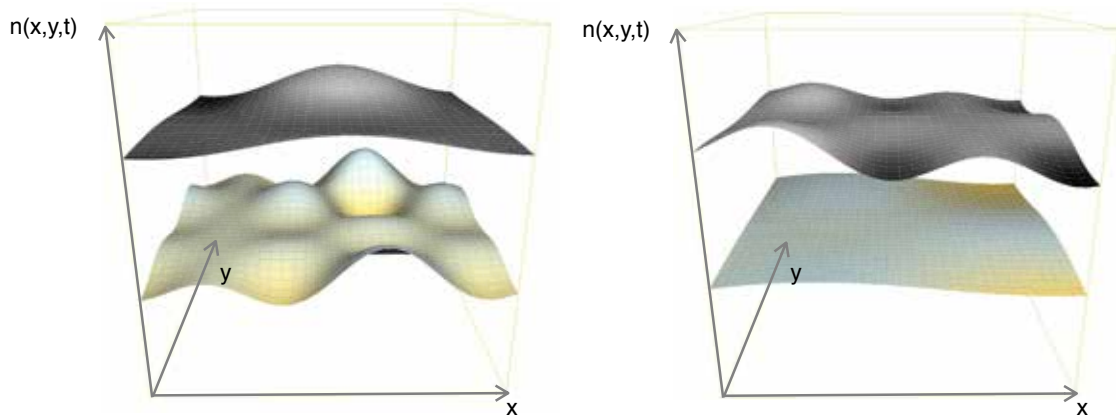


Figure 6: Examples of states of animated perlin noise in two distinct planes; intensity and temperature

We create two such fields, one for intensity and one for color temperature. Now the lights can sample their values from a point in two animated perlin noise fields, where the timing and dynamics of intensities and color temperature can have each their own temporal quality.

When a cluster of lights sample from positions in the field that correspond to their physical arrangement the weather can be scaled to form compositions of coherent fluctuations in the brightness and or color temperature of the physical lights.

To represent this in two dimensions the light temperature values are multiplied with the intensity values, and we get an image like this:



Figure 7: A composite of the two planes of perlin noise each at a given frequency, 'spread' or zoom-level.

Pseudo-code

```

i_t += i_speed * 60 / fps();
t_t += t_speed * 60 / fps();

for(int x = 0; x < width; x++){
    for(int y = 0; y < height; y++){

        intensities[x, y] =
            map( noise(x*i_spread ,y*i_spread ,z=i_t), -1.0, 1.0, i_range_begin, i_range_end )

        temperatures[x, y] =
            map( noise(x*t_spread ,y*t_spread ,z=t_t), -1.0, 1.0, t_range_begin, t_range_end )
    }
}

```

Materials

The software is programmed in c++ using openFrameworks (openframeworks.cc, n.d.), runs on Ubuntu Linux 14.04 LTS and controls the lights over DMX via an art-net node.

References

- Bevins, Jason, *libnoise: Glossary, Perlin Noise*, 2005. Available from: <http://libnoise.sourceforge.net/glossary/index.html#perlinnoise>. [29 August 2014]
- openFrameworks, computer software, n.d. Available from: <http://openframeworks.cc>. [1 September 2014]
- Perlin, Ken, n.d. *Ken's Academy Award*. Available from: <http://mrl.nyu.edu/~perlin/doc/oscar.html>. [29 August 2014]

