

LYSDESIGN MED UV-LYS

Med coronapandemien er det blevet meget mere aktuelt at rengøre rum og flader med UV-lys – en applikation, som på engelsk hedder germicidal UV, UVGI eller GUV. Imidlertid er UV-lys jo ikke som en dræbende gas, der fylder et rum og dræber alt. UV-lys rengør kun på blottede overflader — på bordet, ikke under bordet, på stoffet, ikke i stoffet osv. I denne artikel beskrives det, hvordan UV-lysmålinger, der ligner almindelige lysmålinger, gør det muligt at simulere den rengørende effekt i rum.

ANNE BAY, M.SC. ENG., TEKNISK SALGSDIREKTØR, VISO SYSTEMS

Ultraviolet stråling kan måles in-situ med mange kommercielt tilgængelige, håndholdte UV-radiometre. Disse instrumenter måler UV-bestråling (typisk i mW/cm²) i punkter. Men sådanne praktiske punktmålinger vil ikke være til megen hjælp, når man planlægger nye GUV-installationer i kontorlokaler eller hospitaler.

Indtil indførelsen af plast i sundhedsmiljøer og tilgængeligheden af antibiotika og vacciner, var ultraviolet lys almindeligt anvendt til f.eks. at sterilisere operationsstuer om natten. Men for nylig har der været et comeback i brugen af UV-lys i sundhedsplejen, kontorlokaler og butikker. Hensigten er at desinficere luften og tilgængelige overflader i rummet¹.

Der er derfor et stort behov for at forudsige de praktiske virkninger af GUV. Ordentlige data kan nemlig være forskellen mellem det at levere en effektiv eliminering af bakterier og virus og levering af falsk tryghed.

Dødbringende lysdesign?

Af mange årsager (mulig fotokeratitis/"svejseøjne", forbrændinger, hudkræft osv.) bør personer ikke udsættes for UV-lys³. Men dårligt UV-lysdesign kan også være skadeligt, og måske endda dødbringende. Hvis man ikke kender den nøjagtige UV-bestråling, kan man ikke verificere den rengørende virkning. På den måde kan patogener overleve UV-behandling og stadig udgøre en trussel.

Den gode nyhed er, at UV-lysdesign ikke er så svært, som man kunne forvente. Faktisk kan de metoder, vi kender fra almindeligt lysdesign, anvendes med blot nogle få ændringer.

Intet behov for ny planlægningssoftware

Mængden af UV-lys på en overflade kan

undersøges med mere eller mindre den samme tilgang som med synligt lys. I almindeligt lysdesign er der ingen vej udenom 3D-lysfordelinger – .ies/.ldt-filer – samt nogle spektrale oplysninger (CCT, farvekoordinater, osv.). Med disse oplysninger er vi klar til at simulere lys i rum. Denne metode kan også anvendes på GUV-produktdesign og ved hjælp af de samme softwareløsninger.

Christian Byriel, produktspecialist hos UV Medico, siger: *Generelt er vi tilfredse med at bruge den gratis DIALux-software til at estimere bakteriedræbende potentiale. Desuden er softwaregrafik fantastisk til at illustrere dette potentiale til vores kunder. Vi er dog afhængige af korrekte UV 3-D målefiler som input til disse simuleringer.*

Sådan får du de rigtige UV-lysdata

Nogle leverandører måler lysfordelingen for UV-lyskilder med konventionelle gonioFOTometre — dvs. målinger, der er begrænset til den synlige del af spektret. Dette er muligt, fordi de fleste UV-lyskilder også udsender små mængder synligt lys. Ved at måle den visuelle lysfordeling samt det maksimale UV-output i et punkt med et håndholdt radiometer, kan man tilnærmelsesvis omregne den visuelle lysfordeling til en UV-lysfordeling. Denne omregning er dog kun korrekt, hvis UV-lyset faktisk fordeler sig som det målte, visuelle lys. Praktiske erfaringer viser, at dette i mange tilfælde er forkert.

Direktør for Viso Systems Christian Krause forklarer hvorfor: *UV-lys interagerer meget forskelligt med interne armaturmaterialer og overflader. Sandsynligvis vil kun nogle UV-lyskilder distribuere UV-lys som angivet ved deres fordeling af visuelt lys.*

Dette skyldes, at kortbølget lys er mere tilbøjeligt til at blive absorberet i mange

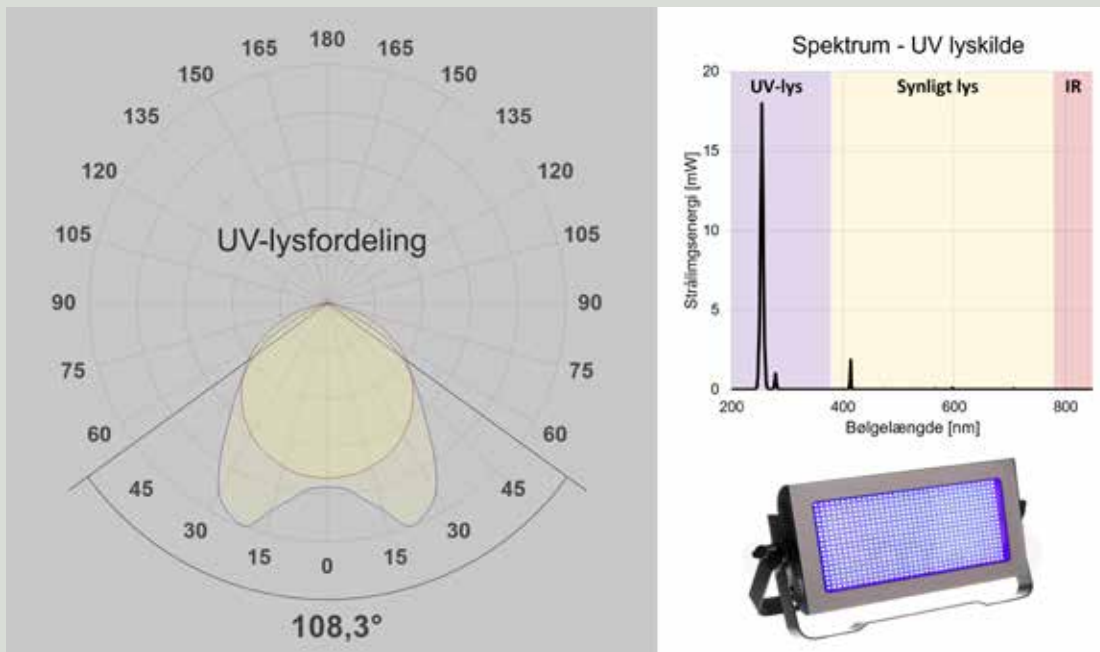
overflader.² Som følge heraf kan UV-lysfordelinger være meget forskellige fra den relaterede synlige lysfordeling afhængigt af armaturets optiske kompleksitet. Absorptionen afhænger af UV-lysets interaktion med diffusorer, malede overflader, reflektorer og linser.

I goniometermålingen er det heller ikke nok at udskifte fotometersensoren med en UV-sensor, der kun kan måle den samlede UV-stråling - f.eks. alt UV-lys fra 200 til 400 nm. UV-lys er ikke kun UV-lys. Det skal som minimum opdeles i sub-spektre - UV-A, UV-B og UV-C spektrene. Og der er brug for endnu flere detaljer. For eksempel peger nyere videnskabelig litteratur³ på et interessant, bakteriedræbende subspektrum lige omkring 222 nm, som ikke er skadeligt for menneskers hud. Derfor kræver evaluering af UV-bakteriedræbende virkninger måling af 3D UV-lysfordeling såvel som komplette spektralfordelinger som vist i figur 1.

Ingen vej udenom goniospektrometri

Vi kan konkludere, at både UV-spektret og lysfordelingen skal måles i alle vinkler for at repræsentere en ægte UV-lysfordeling. Med andre ord er et goniometer udstyret med et spektrometer løsningen til opsamling af vinkelafhængige spektralfordelinger - dvs. et goniospektrometer.

Seniorprojektspecialist Red Walter fra canadiske ADJ Group forklarer fordelene ved at bruge et goniospektrometer: *GUV-beregninger kræver en målepræcision, som håndholdte eller billigere instrumenter ikke giver. Tilføjes af UV-VIS-sensoren til vores laboratorium gjorde det muligt for os hurtigt at teste og verificere produkterne, før vi sender dem ud til laboratoriecertificering hos tredjepart. Vi har også mulighed*



Figur 1. Både UV-spekret og UV-intensiteten skal måles i alle vinkler for at repræsentere en ægte UV-lysfordeling [Viso Systems].

for at sende en UV lysfordelingsfil til branchefolk, så de kan designe desinfektionsløsninger til deres kunder ved hjælp af DIALux eller lignende. De fleste GUV-armaturrapporter bruger hele armaturets lysenergi til at bestemme strålingseffekten, når patogener i virkeligheden reagerer forskelligt på specifikke bølgelængder. At være i stand til at isolere specifikke bølgelængder giver os mulighed for at levere de mest nøjagtige data til de beregninger, der er nødvendige for patogeninaktivering.

Simulerer bakteriedræbende virkninger af UV-lys

På mange måder er simulering af UV-lys i virkelige rum som at simulere visuelt lys. De samme typer målinger er nødvendige, og selv velkendt software som DIALux og Relux kan bruges.

Figur 2 viser de nødvendige skridt – herunder de trin, der skal tilføjes for at vurdere UV-bestrålingens bakteriedræbende potentiale.

Trin 1: Vælg et patogen, der skal evalueres. Vira, bakterier og svampe reagerer meget forskelligt på UV-eksponering. I løbet af de sidste år har en række videnskabelige undersøgelser kredset om SARS-CoV-2 og også de UV-doser, der er nødvendige for at deaktivere denne virus. For eksempel nåede en gruppe italienske forskere frem til den konklusion, at en traditionel 254-nm UV-lyskilde og en UV-dosis på $3,7 \text{ mJ/cm}^2$ gav en log-3 reduktion – det vil sige 99,9% inaktivering – af SARS-CoV-2.⁴

Trin 2: Mål spektralfordeling og 3D-lysfordeling for den specifikke UV-kilde. Dette trin svarer til at måle lysfordelingen og spektrale kvaliteter af synlige lyskilder. Med et goniospektrometer måles både spektrum og 3D-fordeling samtidig.

Trin 3: Find den spektrale følsomhed for det specifikke patogen. Måleresultaterne bør kun omfatte bølgelængder, der har en dræbende effekt på det patogen, der undersøges. Nogle forskere har defineret bakteriedræbende virkninger i et bestemt bølgelængdeområde – f.eks. $254 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$. Andre undersøgelser har resulteret i mere detaljerede spektrale følsomhedskurver, der definerer den bakteriedræbende effekt som en funktion af bølgelængde. Dette kan sammenlignes med $V(\lambda)$ -kurven, som vi bruger til at beskrive menneskeøjets spektrale følsomhed for synligt lys.

Trin 4: Anvend spektrale begrænsninger på strålingsresultaterne. Begræns resultaterne med bølgelængdeinterval eller patogenspecifik spektralfølsomhedskurve som beskrevet i trin 3.

Eksporter derefter resultaterne til en traditionel .ies/.ldt-fil. Disse lysfordelingsfiler er ikke beregnet til UV-lys (i radiometriske enheder), men til synligt lys (i fotometriske enheder). Ikke desto mindre, hvis brugeren husker, at alle værdier er korrekte, men enheder er forkerte, kan både lysdistributionsfiler og efterfølgende simuleringer bruge traditionelle dataforma-

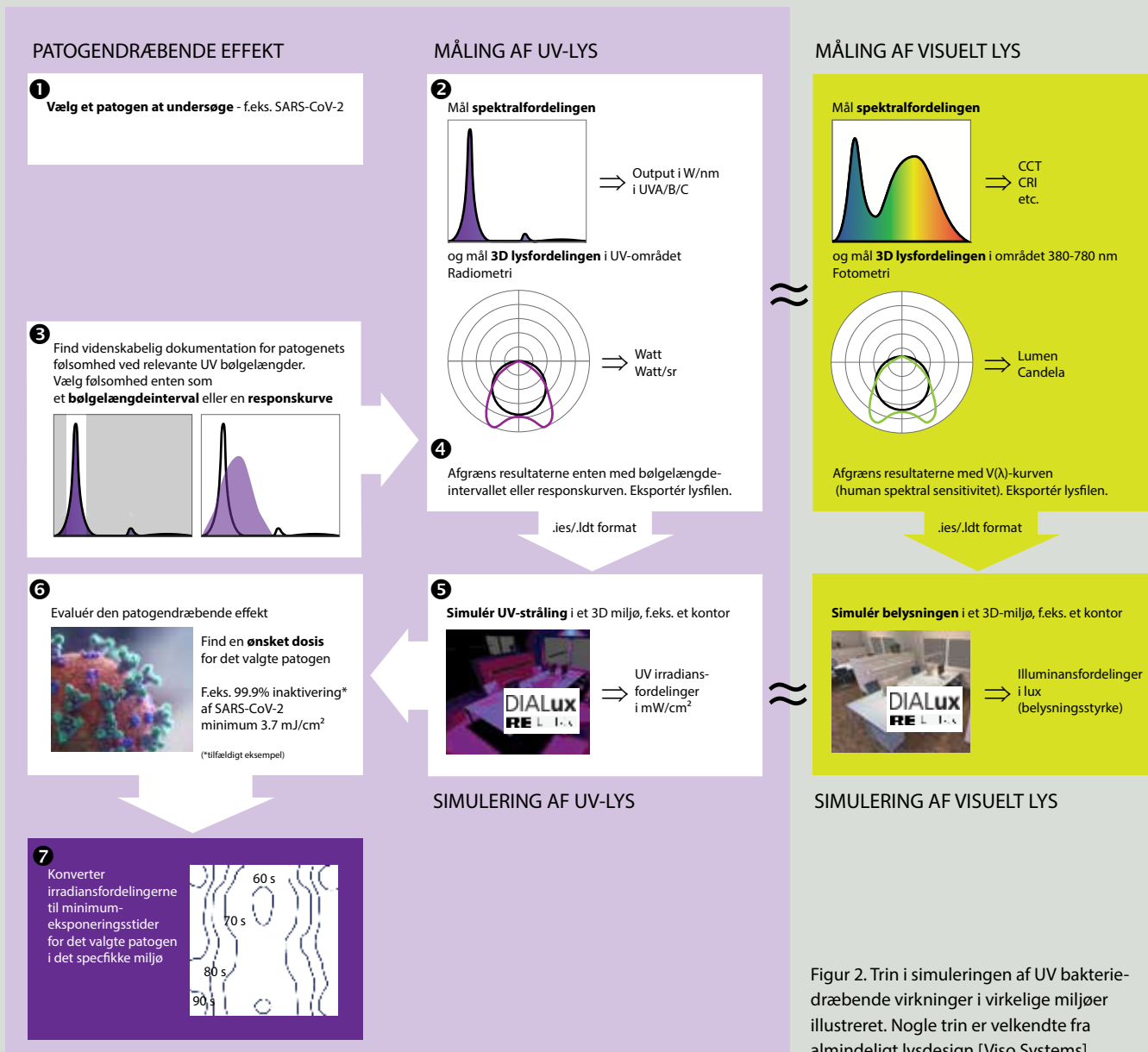
ter og software til lysberegninger. Output værdier i lumen (lm) skal fortolkes watt (W), og værdier i lux skal således fortolkes som watt/m².

Trin 5: Simulering af UV-belysningsmiljø. Med 3D UV-lysfordelingsfilen, der genereres under trin 4, er det muligt at opbygge en UV-belysningsscene til et bestemt miljø. Dette er næsten, som når vi simulerer synligt lys i rum. Vi kan bruge den samme simuleringssoftware, såsom Relux og DIALux.

Når vi bygger 3D-modellen af rummet, skal vi sørge for at anvende realistiske reflektanser på overflader. Som tidligere nævnt er dette vigtigt, da UV-lys let absorberes. Så de fleste overflader skal være ret "mørke", for at forhindre UV-reflektion, som fejlagtigt kan bidrage til UV-bestråling på målfladerne. Default-reflektanserne i DIALux og Relux er alt for lyse. Et godt udgangspunkt er at indstille alle overfladereflektanser (også på møbler) til 0,1. Lidt mere information kan findes f.eks. i Turners studie².

Sådan en simulering kan indeholde flere UV-armaturer og kan f.eks. ligne figur 3. På billedet ses også en beregningsflade på skrivebordene, som selvfølgelig er særlig interessant p.g.a. mulig berøring.

En false-colour rendering af UV-lyset er en fin og intuitiv måde at forstå det bakteriedræbende potentiale, da både områder med meget UV-lys og dybe UV-skygger tydeligt vises.



Figur 2. Trin i simuleringen af UV bakteriedræbende virkninger i virkelige miljøer illustreret. Nogle trin er velkendte fra almindeligt lysdesign [Viso Systems].

Trin 6: Vurder desinfektionspotentialt. I trin 5 fandt vi specifikke UV-bestrålingsmønstre (W/m²) i et valgt 3D-miljø. Dernæst ønsker vi at fastslå, hvordan et specifikt patogen reagerer på denne bestråling. Igen må vi konsultere videnskabelige undersøgelser fundet under trin 1 og finde en specifik dosis - f.eks. 3,7 mJ/cm² for 99,9% inaktivering.

Trin 7: Hvor længe skal UV-lamperne være tændt? Med dette input kan vi konvertere vores bestrålingsmønstre og -værdier til eksponeringstid. For eksempel, hvis den gennemsnitlige bestråling på skrivebordet er 250 mW/m², og vi ønsker at inaktivere i gennemsnit 99,9% af det valgte patogen med en dosis på 3,7 mJ/cm², skal lamperne være tændt i 148 sekunder eller ca. 2,5 minutter:

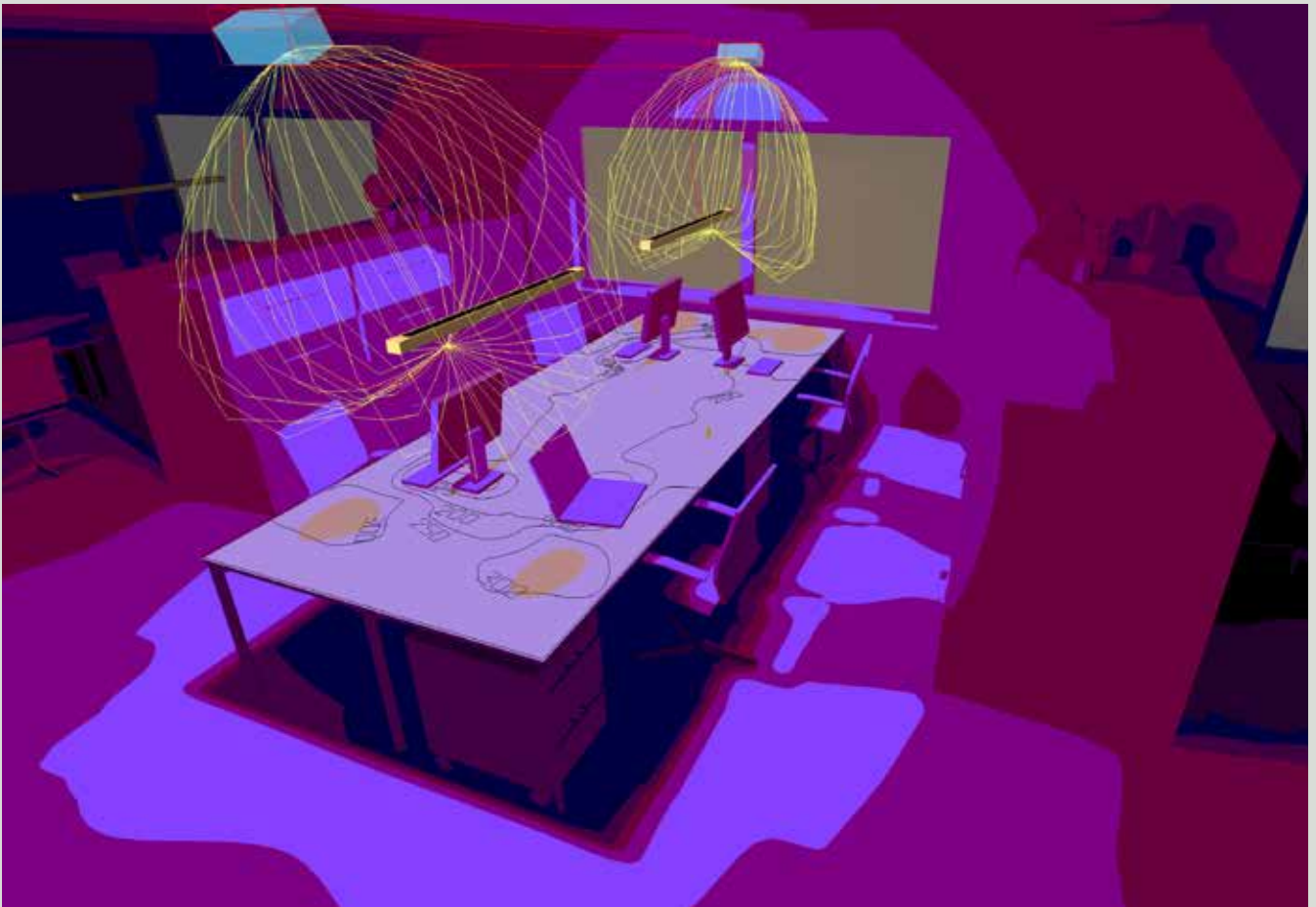
$$\frac{3,7 \text{ mW} \cdot \text{s} / \text{cm}^2 \cdot 10.000 \text{ cm}^2 / \text{m}^2}{250 \text{ mW} / \text{m}^2} = 148 \text{ s}$$

Med denne form for konvertering kan et komplet sæt af iso-bestrålingskurver omdannes til iso-eksponeringstidskurver. Resultatet kan bruges som designoplæg og er nyttigt til at kommunikere resultaterne til rådgivere og kunder.

Det er værd at bemærke, at dette resultat kun gælder for dette særlige patogen og kun i denne specifikke belysningsscene. Inaktiveringsresultater bør altid verificeres med praktiske målinger og helst test i henhold til standarder som ASTM E2180 – 2018 eller ASTM E3135-2018. ■

Referencer:

1. Commission Internationale de l'Eclairage (CIE; International Commission on Illumination), "CIE Position Statement on Ultraviolet (UV) Radiation to Manage the Risk of COVID-19 Transmission," retrieved from <https://cie.co.at/> (May 12, 2020).
2. J.T. Turner et al., "Ultraviolet Radiation Albedo and Reflectance in Review: The Influence to Ultraviolet Exposure in Occupational Settings," Int J Environ Res Public Health (2018)
3. Manuela Buonanno, B. P.-P. (Germicidal Efficacy and Mammalian Skin Safety of 222-nm UV Light. Radiation Research, 187(4): 483-491. (2017).
4. Bianco, A. e. UV-C irradiation is highly effective in inactivating and inhibiting SARS-CoV-2 replication. Cold Spring Harbor Laboratory (2020).



Figur 3. Billedet viser en simulering af UV-lys i et kontorlokale. Lyse områder får mere UV-lys end mørke områder. På beregningsfladen på bordet ses iso-bestrålingskurver (UV-stråling i mW/m^2).

DCL NYT

SAVE THE DATES! 21-23. SEPTEMBER 2022

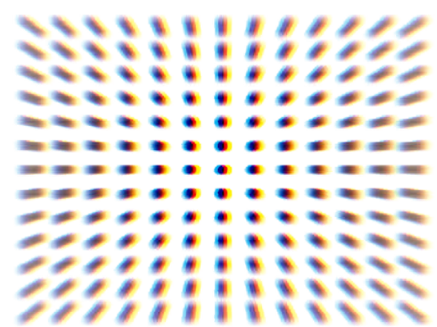
LIGHT SYMPOSIUM PÅ AALBORG UNIVERSITET I KØBENHAVN EARLY-BIRD DEADLINE: 7. JULI

Det er ottende gang, at LIGHT SYMPOSIUM afholdes, og første gang med Aalborg Universitet i København som vært.

Sæt kryds i kalenderen d. 21.-23. september 2022. En international komité, bestående af repræsentanter fra en række forskellige universiteter, belysningsindustrien, praksis, DCL og IALD bidrager til et enestående program med oplæg fra forskere og praksis, paneldiskussioner, netværksmøde og middage. Alt sammen for at udveksle viden om, hvordan vi sammen nytænker lysdesign ind i en bæredygtig fremtid.

Det fulde program samt inspirerende keynote speakers, både fra forskning- og designfeltet, vil blive offentliggjort i begyndelsen af juni på hjemmesiden www.ls2022.aau.dk. Organiseringskomitéen har modtaget over 80 artikler. Gennem et double-blinded peer review process bliver et udvalg af artikler publiceret og præsenteret under konferencen. LIGHT SYMPOSIUM er et partnerskab mellem en række lysdesignuddannelser i Europa, med missionen om at dele ny viden og styrke samarbejdet.

Læs mere om konferencen på: www.ls2022.aau.dk



LIGHTSYMPOSIUM Copenhagen2022

**Re-thinking the role
of lighting design
in a sustainable future**

September 21-23, 2022