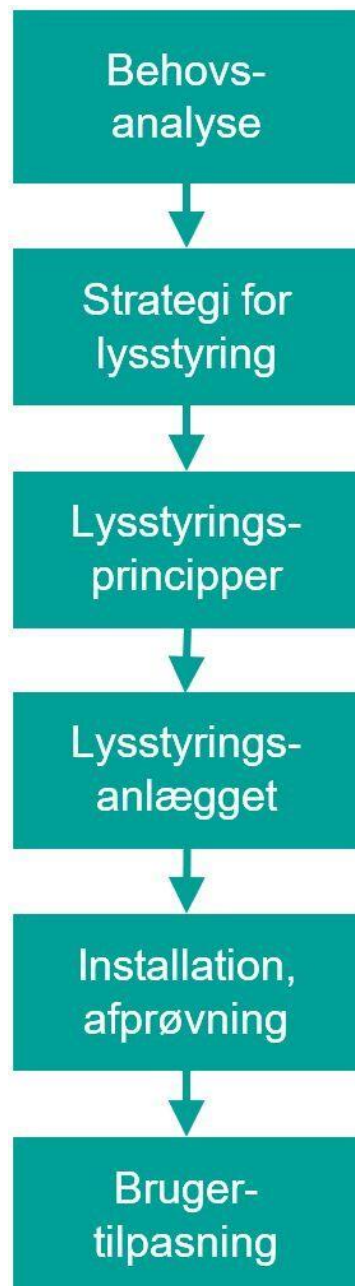


Den lille blå om Lysstyring

PSO projektnummer 349-015



Ásta Logadóttir, Sophie Stoffer, Anne Bay, Eik Lykke Nielsen,
Rasmus Overgaard Ploug, Toke Meyer Andersen

Engelsk Resumé

The output of this project is a booklet in the series of 'the little blue' and this one is about lighting controls. The booklet is aimed at designers of practical lighting systems as a guide to achieving optimal energy savings in dimmed LED-systems. It includes research on light level perception, automation and user interfaces, and research in power usage and flicker. The booklets focus is to provide guidance in how to achieve the maximum energy savings potential of modern dimming systems while preserving optimal user conditions.

Lighting controls are the new hype in the lighting industry, they go well with LED systems and provide energy savings potentials. LEDs have become very efficient the last couple of years but most of the prognoses imply that the efficiency will stabilise at around 200 lm/W. The next important area for energy efficient lighting will therefore be intelligent and user oriented lighting controls.

Dimming has a couple of factors that can be put to good use with regards to energy savings. Previous research shows that dimming can be executed to a large extent without the users experiencing the magnitude of the dimming process. Dimming of especially LED's has mainly two disadvantages: the drivers electronics may cause flicker and total harmonic distortion can result in less energy savings than anticipated.

In an efficient lighting system (indoor as well as outdoor) that includes occupant detection and daylight harvesting, the energy savings can amount to 50% - 70%. During renovation projects this saving opportunity is often neglected due to start cost of the advanced systems. This handbook aims to inspire to take advantage of this valuable energy savings potential.

Projektets formål og indhold

Projektets formål er udarbejdelse af 'Den lille blå om Lysstyring' som er rettet til planlæggere af praktiske lysløsninger. 'Den lille blå om Lysstyring' er et opslagsværk med fokus på, at opnå energibesparelser gennem dæmpning i LED-systemer. Håndbogen opfordrer til udnyttelse af moderne dæmpningssystemer, samtidig med at der tages størst mulige hensyntagen til brugerne. Målgruppen for 'Den lille blå om Lysstyring' er alle som arbejder med belysning og lysstyring, f.eks. energirådgivere, el-installatører, rådgivere, arkitekter eller teknisk ansvarlige i forbindelse med ejendomsservice.

Et udkast til 'Den lille blå om Lysstyring' er afleveret til ELFORSK, som forventer at udgive bogen i den nærmeste fremtid. Teksten til 'Den lille blå om Lysstyring' er tiltænkt som projektets hovedrapport, hvorfor denne rapport er derfor påtænkt som en supplerende, kort opsummering af projektets hovedpunkter. Denne rapport beskriver kort projektets to forskningsbidrag, resultaterne og indflydelsen af disse i projekteringsøjeblikket.

Projektets forskningsmæssige bidrag fokuserer på energieffektiv lysdæmpning i forbindelse med to hovedområder: Perception og elektriske/driftsmæssige forhold.

Resultaterne af de to forskningsområder er indarbejdet som korte, beskrivende tekster i 'Den lille blå om Lysstyring'. Forsøgene bliver derudover yderligere formidlet gennem artikler og konferencer.

Lysdæmpning og perception

Med den hastige udvikling af LED-lyskilder spiller dæmpning ofte en hovedrolle i styringsstrategien i belysningsanlæg. Dæmpning implementeres oftest som en del af lysstyringen ud fra det primære formål, at opnå energibesparelser. For at opnå de størst mulige energibesparelser er det essentielt, at lysdesignet og styringsstrategien har fokus brugerkomfort. Hvis brugernes behov for lysniveauer og reguleringsmuligheder ikke bliver mødt, vil brugerne ofte finde måder at omgå lysstyringen på, og derved med stor sandsynlighed øge energiforbruget. For at opnå den mest hensigtsmæssige dæmpning ud fra et brugerperspektiv, designes styringen af dæmpningen ud fra forskellige dæmpningskurver, der beskriver forholdet mellem opfattelsen af lysændringer ift. relativ lysmåling. Dæmpningskurverne kan bruges til at beskrive, hvordan dæmpning kan forventes at blive opfattet ved almen elektrisk belysning uden dagslys eller ved gadebelysning. De to mest brugte dæmpningskurver er potenskurven (e. power curve) og DALI-kurven. Begge kurver forudsætter, at forholdet mellem oplevede lysændringer og den relative lysintensitet ikke er lineær, men at lysniveauet kan reduceres mere end det opleves som.

Lysstyringsfirmaer har længe brugt en 2.grads potenskurve til at beskrive forholdet mellem de oplevede lysændringer ift. relativ lysmåling (Figur 1). Ud fra potenskurven vil en reduktion på 40% af lysstyrken opfattes som en reduktion på 33% og en reduktion på 75% af lysstyrken opfattes som en reduktion på 50%. En anden udbredt dæmpningsprofil er DALI-kurven, der er indbygget i DALI-drivere (godkendte DALI-drivere skal opfylde en DALI standard), se figur 1. Ud fra figur 1 ses det, at potenskurven og DALI-kurven har ikke den samme dæmpningsprofil. DALI-kurven forudsætter, at mennesker er meget mere følsomme overfor ændringer ved lave lysstyrker end ved høje. DALI-kurven antager, at belysningen kan dæmpes meget mere, uden at det opleves, end potenskurven gør.

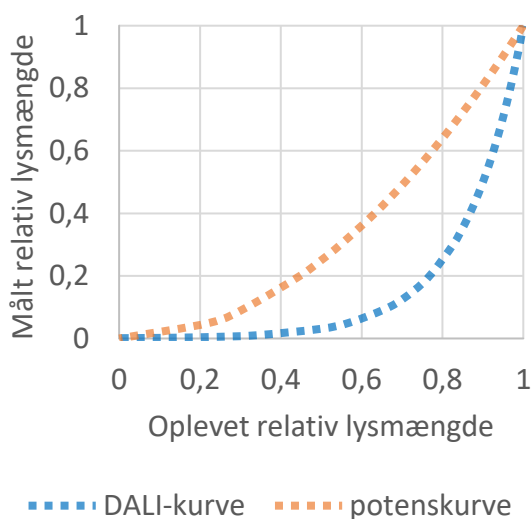
I dette projekt er der foretaget to laboratorie tests hvori 25 forsøgspersoner deltog. De to test er baseret på to forskellige evalueringsmetoder af det oplevede lysniveau. I den ene test skulle forsøgspersonerne estimere dæmpningen ved hjælp af et tal ift. en lysreference som blev beskrevet som tallet 10 (gætte-tal-metoden). I den anden test skulle forsøgspersonerne tegne en streg (tegne-metoden), der repræsenterer den oplevede lysmængde de bliver præsenteret for. Begge test inkluderede relativ lysmængde på 5%, 20%,

40%, 70% og 100% som blev introduceret i tilfældig rækkefølge. For begge testmetoder var der to lysintervaller med en maksimal lysmængde på henholdsvis 1000 lux og 1500 og lux.

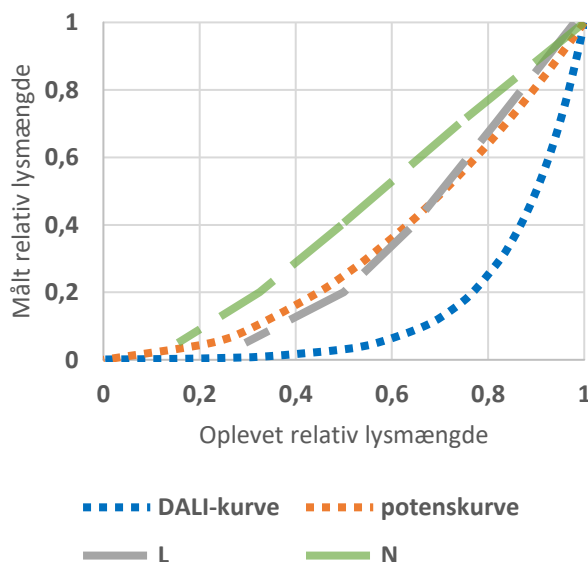
Resultaterne fra de to test vises i Figur 2, hvor N står for tal (e. number) og L står for streg (e. line). Ved brug af gætte-tal-metoden viser forholdet sig, at være tæt på lineært mellem målt og oplevet relativ lysmængde, mens brug af tegne-metoden viser forholdet sig at læne sig op mod potenskurven.

Resultaterne fra perceptionstestene viser, at potenskurven er et bedre estimat på oplevet lysdæmning end DALI-kurven. Af de to resultater fra perceptionstestene giver potenskurven et større besparelsespotentiale. Den anden metode, hvor dæmpningen estimeres ud fra et tal, viser mindre besparelsespotentiale

Ud fra de to dæmpningskurvekarakterstikker kan forventes større energibesparelser ved brug af DALI-kurven end potenskurven, men dette vil dog ikke nødvendigvis være realiteten. Perceptionstestene i dette projekt viser, at forholdet mellem den oplevede lysmængde og den målte relative lysmængde ligger tættere på potenskurven end på DALI-kurven. Det må derfor forventes, at potenskurven bedre beskriver brugeradfærd og -accept i forhold til lysdæmning.



Figur 1 DALI og potenskurven som begge oplyses at være svarende til oplevet relativ lysdæmning ift. målt relativ lysmængde



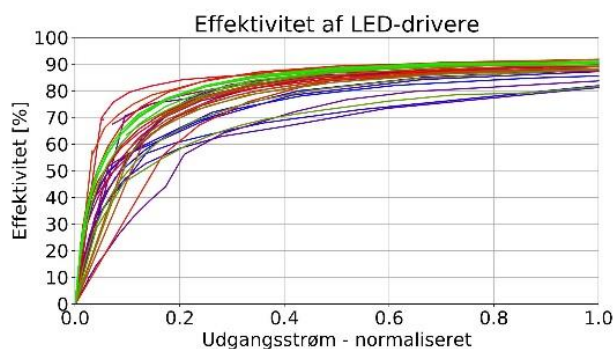
Figur 2 DALI og Potenskurven samt resultaterne fra to perceptionstest af oplevet relativ lysmængde

Nogle LED-drivere tilbyder et valg mellem forskellige dæmpningskurver. Baseret på resultaterne fra dette projekt, må det derfor anbefales, at vælge en dæmpningsprofil baseret på potenskurven: Denne dæmpningskarakteristik tyder på, at beskrive forholdet mellem oplevet og målt relative lysmængde bedst, og derfor kan forventes at resultere i størst brugertilfredshed og energibesparelser.

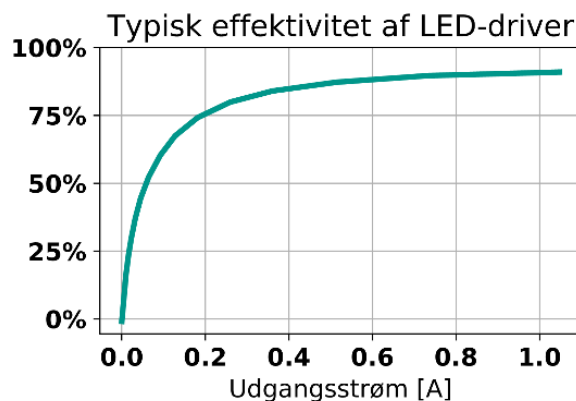
Lysdæmning og elektriske/driftsmæssige forhold

For at opnå de forventede energibesparelse gennem en implementering af dæmning i belysningsanlæg, er det nødvendigt vælge hensigtsmæssige LED-drivere.

Mange LED-driverfabrikanter opgiver et enkelt tal for LED-driverens effektivitet. For at undersøge om de tal er realistiske, blev 30 dæmpbare LED-driverer testet ved forskellige dæmningsgrader. Figur 3 viser den målte effektivitet i forhold til normaliseret udgangsstrøm, for 30 dæmpbare LED-driverer på markedet i 2018. Det ses, at alle LED-drivererne har en effektivitet mellem 80% og 90% ved maksimal udgangsstrøm, men i området 0,0-0,4 er der større forskel på effektiviteten og dermed energiforbruget. Dette kan have stor betydning, hvis man regner med at benytte en stor del af LED-driverens output ved lav lysstyrke. Målinger vist i Figur 3 danner grundlaget for en typisk effektivitet af LED driverer ved dæmpning som vist i Figur 4.



Figur 3 Målt effektivitet i forhold til normaliseret LED-strøm for 30 LED-driverer af forskellige typer og fra forskellige fabrikanter

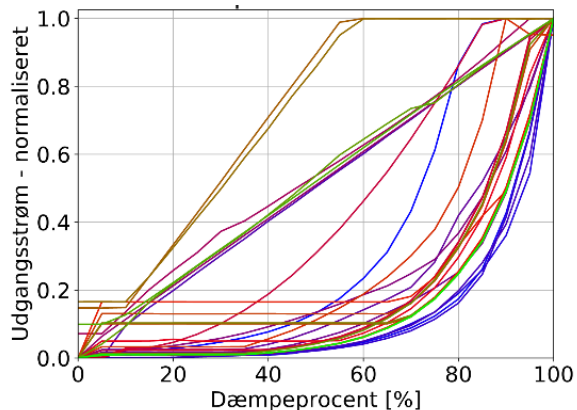


Figur 4 Eksempel på effektiviteten af en LED-driver på markedet. Jo højere strøm, desto bedre er driveren til at udnytte energien. Ved lav lysstyrke falder effektiviteten

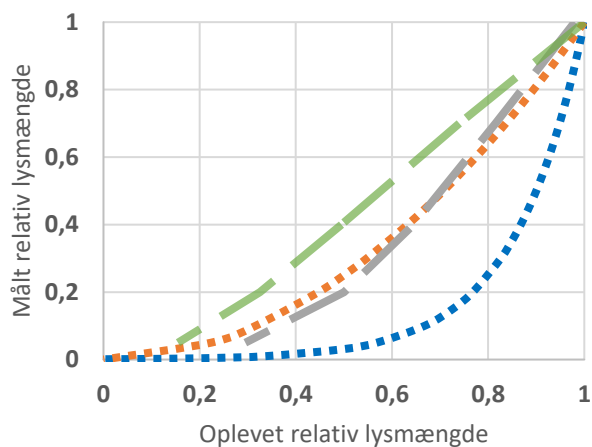
Som det ses af figur 4, kan et enkelt tal ikke fuldt ud repræsentere effektiviteten, da den er afhængig af dæmningsgraden. Det anbefales derfor at vælge LED-driverer, hvor fabrikanterne opgiver disse data - især hvis der er specifikke krav til energiforbruget til belysningen. Bemærk at mange fabrikanter kun opgiver den maksimale effektivitet for LED-driveren.

Dæmningskurven på de forskellige LED-driverer fundet på markedet vises i Figur 5. Største delen af LED-drivererne har en dæmningskurve som ligger tæt på DALI kurven men kurverne spredt sig til lineær funktion med en stor hældning. Når dæmningskurverne for de forskellige LED-driverer i figur 5 sammenlignes med

oplevelt vs målt relativ lysmængde, er der ikke mange af LED-driverne på markedet som ligger i området tæt på potenskurven, der vurderes værende beskrivende for menneskers lysperception af dæmpning.



Figur 5 Målte dæmpningskarakteristikker af LED-driverne. Nogle har lineær dæmpning (typisk 1-10 V), andre har logaritmisk dæmpning (typisk DALI). Ikke alle LED-driverne kan dæmpe ned til 0%, hvilket indsnævrer dæmpningsområdet.



■ DALI-kurve ■ potenskurve
— L — N

Figur 6 DALI og Potenskurven samt resultaterne fra to perceptionstest af oplevet relativ lysmængde

Sammenfatning

'Den lille blå om Lysstyring' er tiltænkt som et opslagsværk med gode råd til optimal lysstyring. Problemer som LED-driverens effektivitet og brugerens perception af dæmpningen er kun en lille del af den samlede problematik for lysstyring -men den er en vigtig del, og en del der har været mindre fokus på ved implementering af lysstyring. Ved at have et overblik over LED-driverens indflydelse på energieffektiviteten og større fokus på brugeraccept af lysstyring, er der gode muligheder for, at vælge og indstille produkter fornuftigt, for dermed at bidrage til brugervenlig og energieffektiv lysstyring.

Projektpartnere og ansvarsområder

Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Aalborg Universitet København står for projektledelse, forskning om menneskers perception af lysdæmpning og tekstbidrag samt billedmateriale til 'Den lille blå om Lysstyring'. Dansk Center for Lys står for samling og sammensætning af materiale som danner grundlaget for 'Den lille blå om Lysstyring' som ELFORSK udarbejder efter projektets aflevering.

DTU Elektro står for forskning om effektudnyttelse, flimmer og dæmningskurver af markedets LED drivere, i samarbejde med Nordic Power Converters samt tekst bidrag og billedmateriale til 'Den lille blå om Lysstyring'.

Projektet har forløbet over et år, hvor de to forskningsmæssige bidrag har kørt sideløbende med udarbejdelsen af 'Den lille blå om Lysstyring'. Forskningsresultaterne fra dette projekt er derfor indarbejdet som korte tekster i 'Den lille blå om Lysstyring', men vil efter projektafslutning yderligere blive formidlet gennem artikler og konferencer.

Projektets formidling

Ud over materiale til den lille blå er der efterfølgende yderligere formidling i projektet:

Accepterede konference indlæg:

CIE EXPERT TUTORIAL AND WORKSHOP ON RESEARCH METHODS FOR HUMAN FACTORS IN LIGHTING

København, August 13-14, 2018

<http://www.cie.co.at/news/cie-expert-tutorial-and-workshop-research-methods-human-factors-lighting>

8th International LED professional Symposium +Expo | LpS 2018

Østrig, September 25-27, 2018

[8th International LED professional Symposium + Expo, LpS 2018, September 25-27, 2018, Bregenz.](#)

Artikler på vej

En artikel om projektet publiceres i fagbladet LYS i Danmark

En international videnskabelig artikel er under udarbejdelse og submittes til fagtidsskriftet Lighting Research and Technology.