

**DTU**



# Kvalitet i tilbud og på det udførte anlæg – lystekniske målinger

*Carsten Dam-Hansen, DTU Fotonik  
cadh@fotonik.dtu.dk*

# Indhold

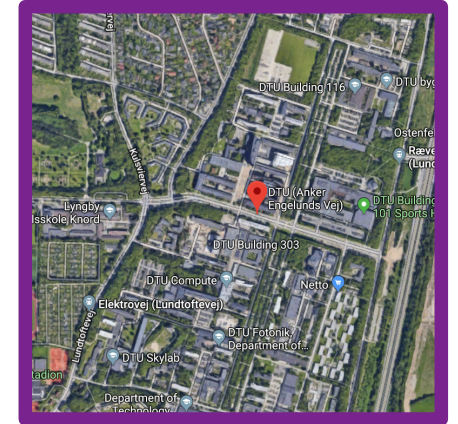
- LED F&U og lys-metrologi ved DTU Fotonik
- Fotometriske målinger ved vej/gade belysning
- Standarder
- Test af armaturer;
  - lysstrøm, lysfordeling, effektivitet,
  - farvetemperatur og farvegengivelse
- Test standard for LED,
- Test af installationer
  - Hvorfor og hvordan?
  - Eksempel
- Konklusion

# DTU Fotonik

DTU Fotonik, Institut for Fotonik  
220 ansatte, 35 på Risø

Risø grundlagt i 1958, nuclear forskning  
1985 Forskningscenter Risø  
2007 Fusioneret med DTU

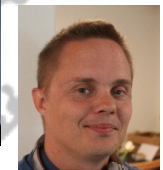
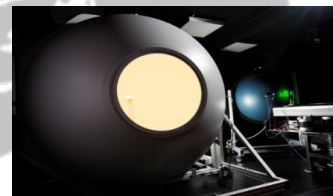
LED team og fotometriske laboratorier



**Main campus  
i Lyngby**



**Risø campus**



# LED team ved DTU Fotonik

Arbejdet med F&U indenfor LED optiske systemer, karakterisering siden 2004

Aktiviteter:

- Fotometrisk laboratorium for forskning, udvikling og uddannelse
- DOLL Greenlab for industrien
- Internationalt samarbejde

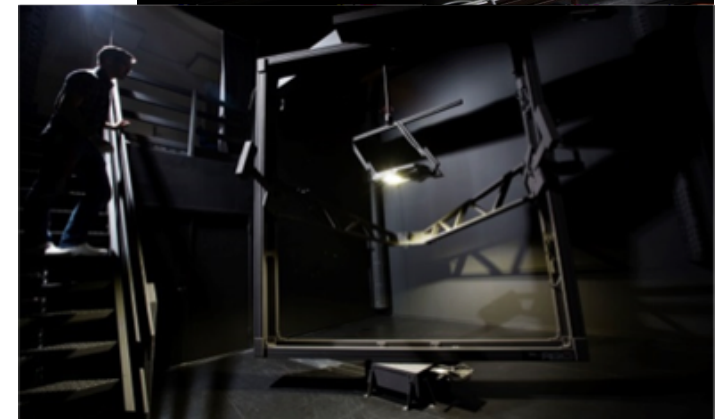
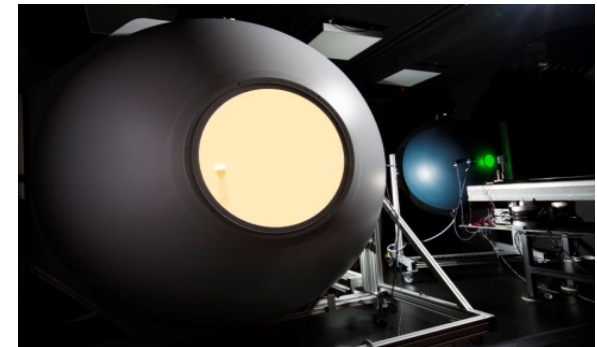


- >50 eksternt finansierede forsknings, innovations og demonstrations projekter



- Forskningsområder:

nye lys teknologier: LED, laser belysning, optiske systemer og metrologi omkring lys/belysning



# Fotometriske målinger ved vej & gadebelysning

Hvordan sikrer man sig, at de data, der kommer fra en leverandør i et udbud, er korrekte?

Uvildig laboratorietest af sample armatur/rer

Lysstrøm

Ra-indeks

Lysfordeling

Effekt

Farvetemperatur

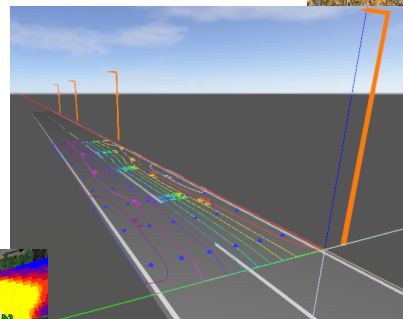
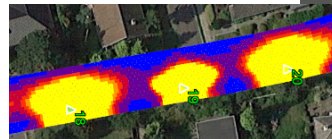
Afskærminingsklasse

Effektivitet

Power faktor

Kontrollér lystekniske beregninger for angivne vejprofiler

Efter installation er det muligt at udføre test for at sikre sig at kravene er overholdt



# Standarder

## Håndbog vejbelysning



### DS/EN 13201

- 1 Retningslinier for valg af belysningsklasser
- 2 Funktionskrav
- 3 Beregning af funktion
- 4 Metoder til måling af lysteknisk funktion
- 5 Indikatorer for energieffektivitet

# LED test standard

- International og Europæisk standard
- CIE S025 og
- DS/EN 13032-4:2015+A1:2019
- Betingelser for måling af elektriske, fotometriske, og kolorimetriske størrelser under standard test forhold
- Gælder for LED lyskilder, LED armaturer og LED moduler (LED light engines)





# Test standard

Standarden specificerer en række værdier og tolerancer

- Ambient temperature  $25^{\circ}\text{C} \pm 1.2^{\circ}\text{C}$
- Air movement  $\leq 0.25 \text{ m/s}$
- Test voltage AC  $\leq 0.4 \%$ , frequency  $\leq \pm 0.2 \%$
- Test voltage DC  $\leq 0.2 \%$

og målesystemer, der skal være sporbare til SI.

Integrerende kugle  
spektroradiometer



Nærfelts goniofotometer med  
luminans kamera og fotometer

# Absolut/relative måling

LED armaturer, med integreret lyskilde (LED board, LED modul)

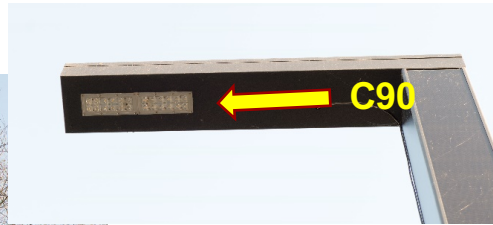
Absolut måling, med LOR = 100 %

Tidligere målte man armaturer med udskiftelige lyskilder,

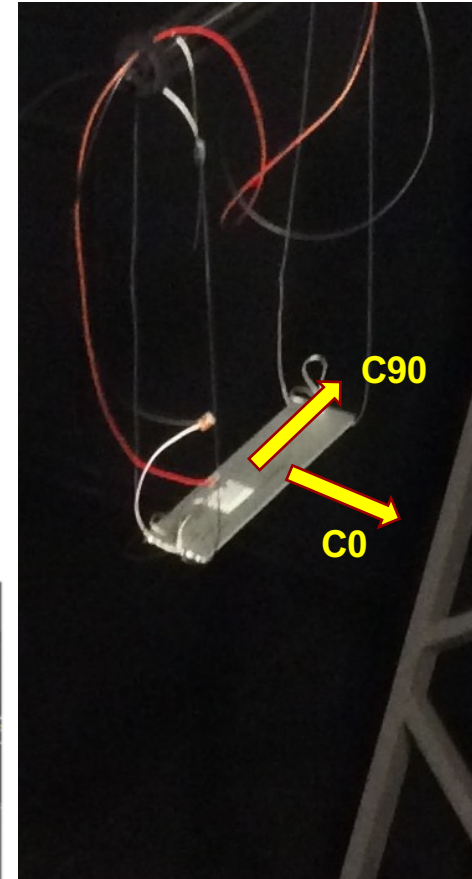
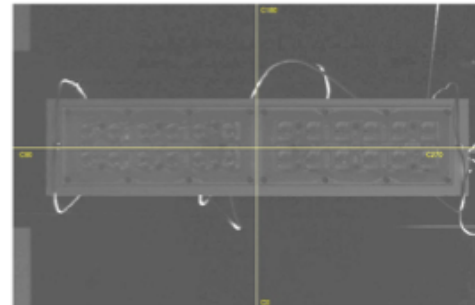
Relativ måling i forhold til en bestemt lyskilde (f.eks. 50 W metal halogen) og angiver LOR som målt < 100 %



# Lysfordelingsmåling af LED armatur

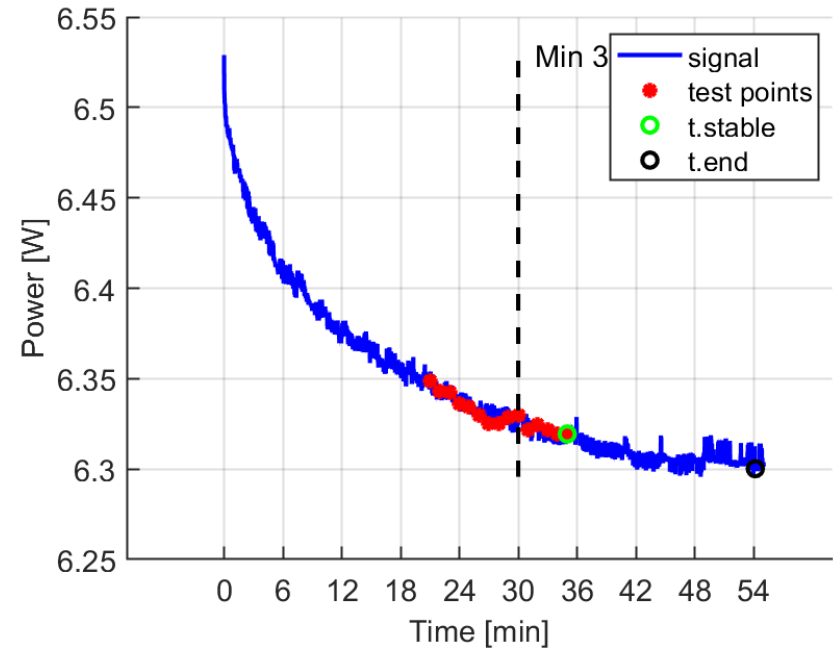
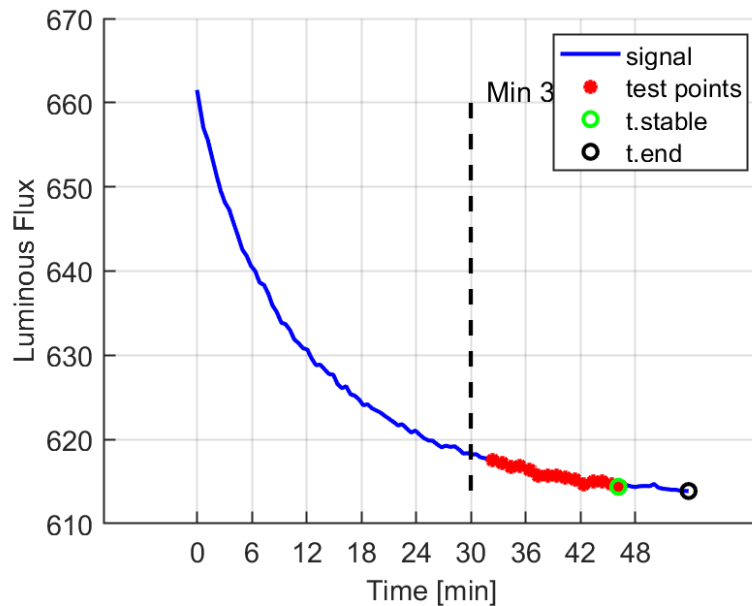


Opsætning i goniofotometer  
 Hovedretning  
 LED board med optik  
 Set nedefra:



# Lysfordelingsmåling, stabilisering

Lyskilden skal være stabil før man kan måle, vent mindst 30 minutter, og lysstrøm og effektforbrug må ikke varierer mere end 0.5% over 15 minutter



# Lysfordelingsmåling

## Fotometriske resultater:

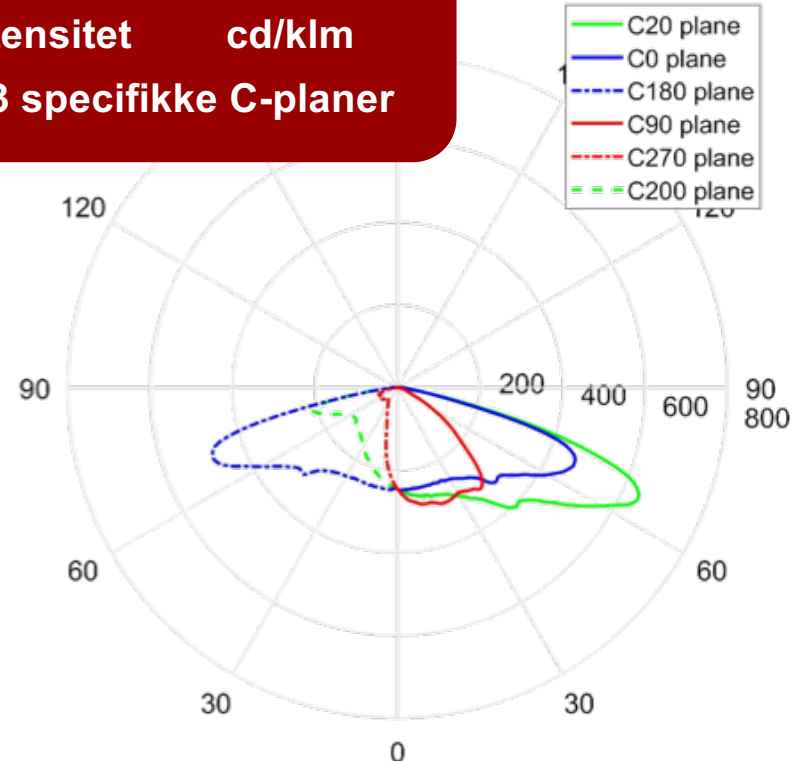
- Lysstrøm 6138 lm
- Effektivitet 155 lm/W
- Effekt 39.8 W
- Spænding DC 33.8 V
- Strøm DC 1.178 A

## Lysfordelings data

- Max. intensitet 3938 cd
- EULUMdat .ldt
- IESNA .ies

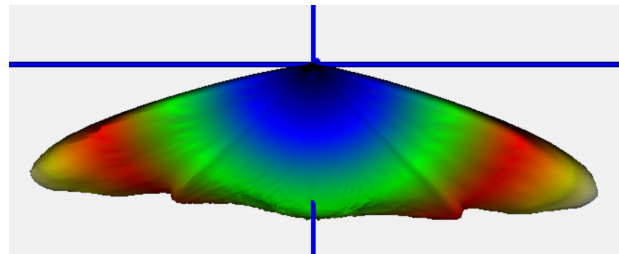
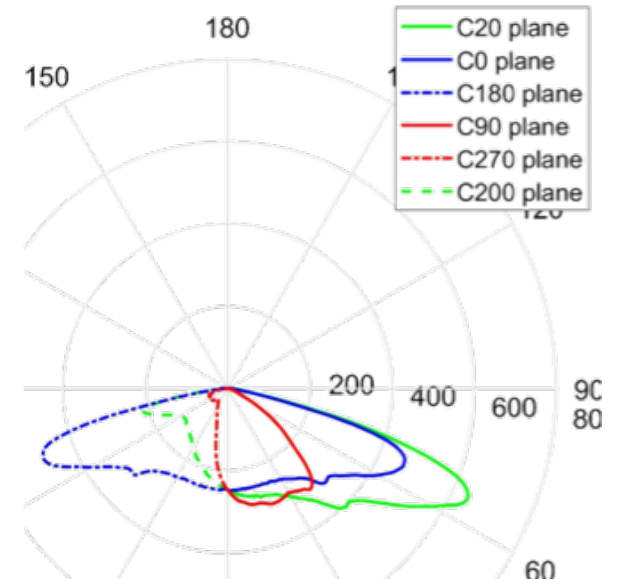
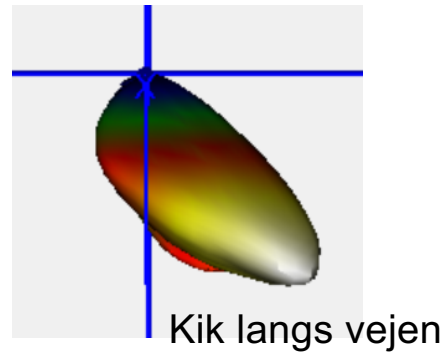
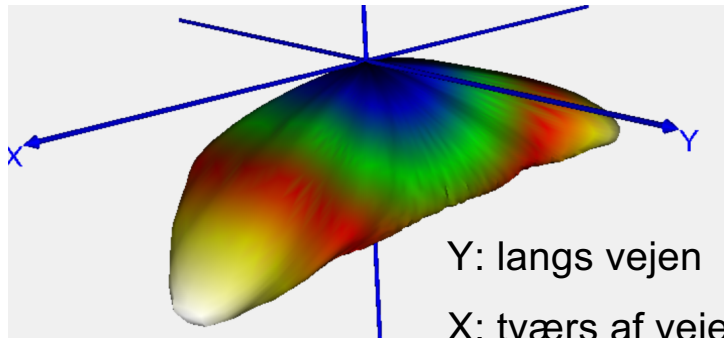
## Lysfordelings graf

- Intensitet cd/klm
- 2-3 specifikke C-planer

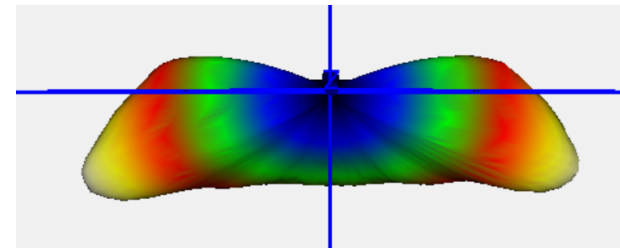


# Lysfordelingsmåling, visualisering

Software: f-eks. [Technoteam 3D-viewer](#), freeware



Fra anden side af vejen



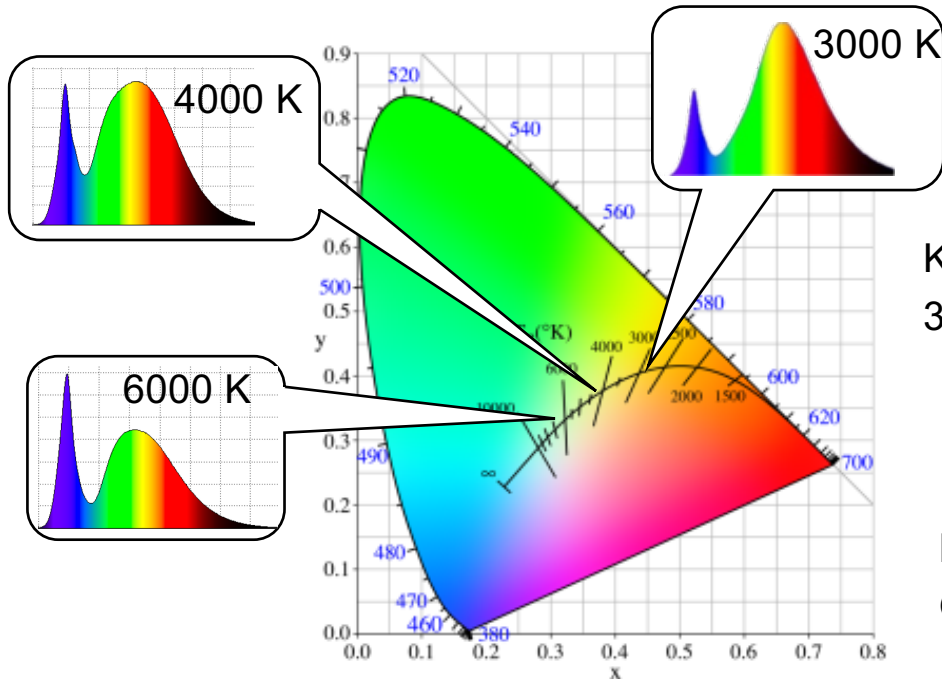
Oppefra

# Test af prøvearmatur

I integrerende kugle spektroradiometer måles

Total spektral flux [W/nm]

Farvekoordinater (x,y)



Korreleret farvetemperatur [K] (Duv)  
3000 K eller 4000 K anbefales

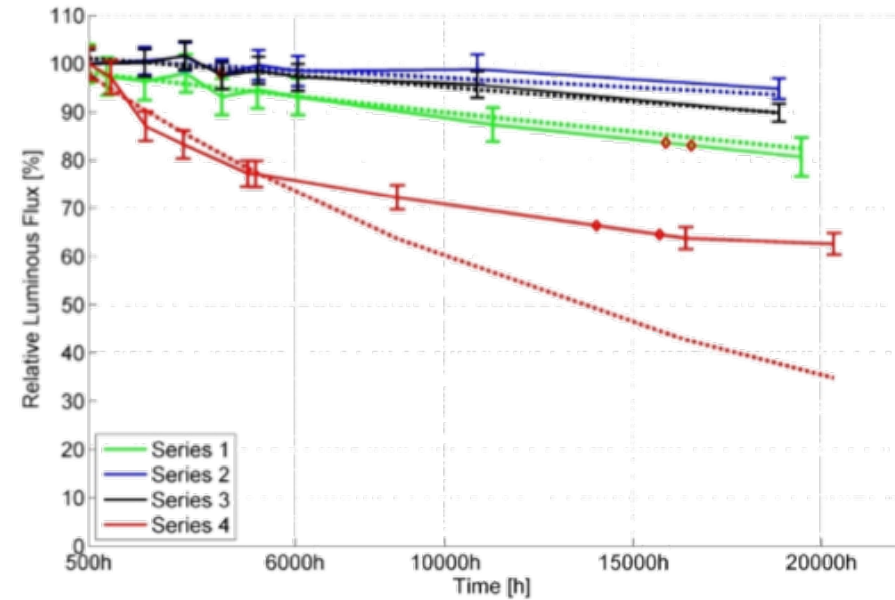
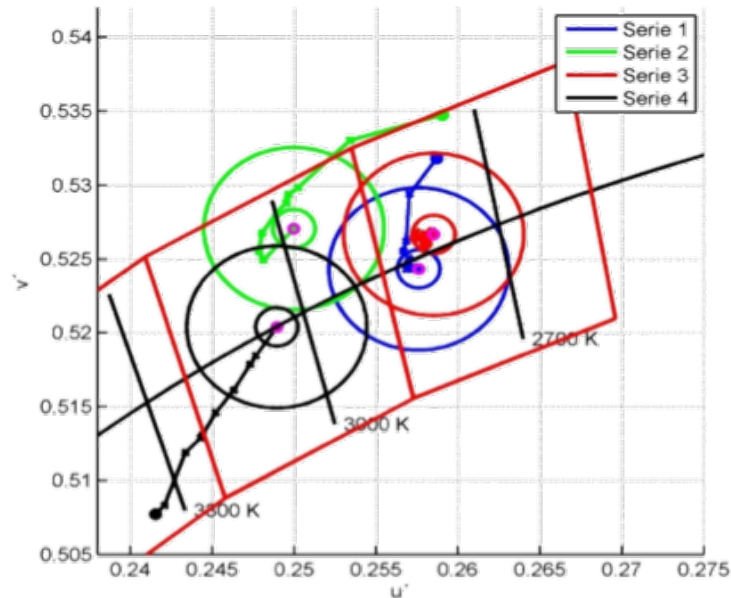
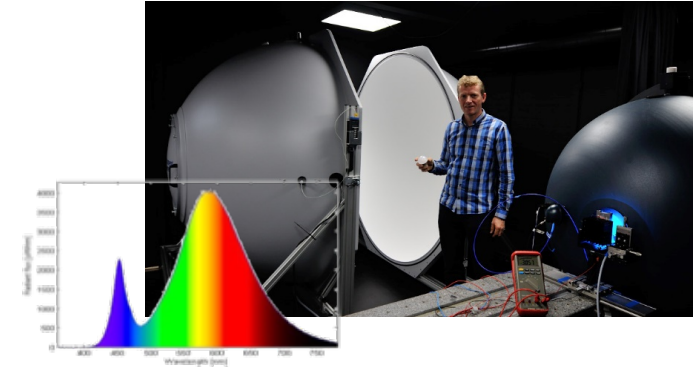
Vigtigt at de er ens over  
lange strækninger

Ra-indeks for farvegengivelse  
Generelt > 70, eller > 80



# Test af prøvearmatur/lyskilde

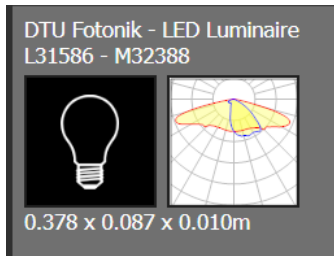
Farve og lysstrøms vedligehold (color and luminous flux maintenance)





# Design/Simuleringer

Ud fra lysfordelingsmålinger simuleres vejbelysningen, i f.eks. Dialux® og Relux®



Luminaire arrangements

1. DTU Fotonik - LED Lu... x

Name: DTU Fotonik - LED Luminali x

Operating Hours: 4000 Hours per year

Luminaire: DTU Fotonik - LED Luminaire (L31586 - M32388)

Luminous flux: 6138.00 lm

Connected load: 39.8 W

Fitting: 6138 lm | 39.8 W

Luminaire arrangement

Arrangement type: [Icons showing different luminaire layouts]

Pole distance: 26.000 m  Opti...

Minimum: 10.000 m

Maximum: 50.000 m

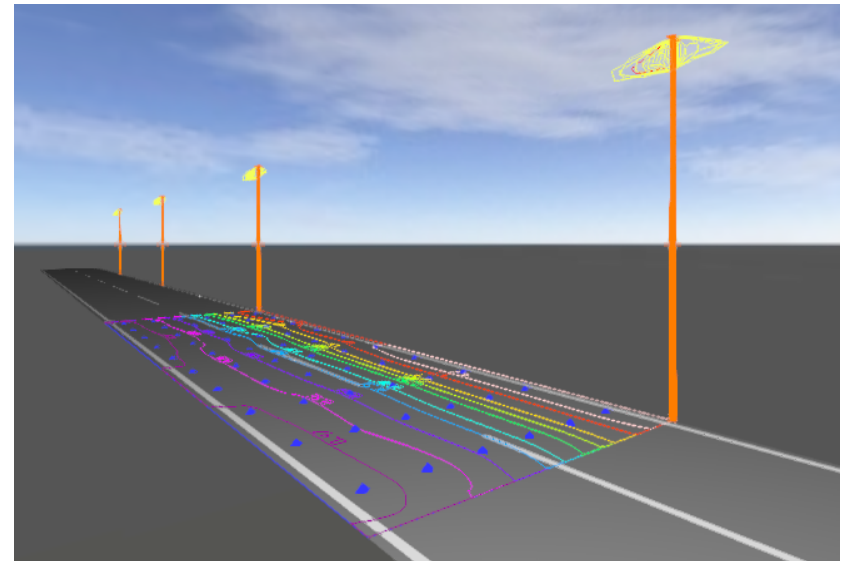
Step width: 1.000 m

Light centre height: 8.000 m

Boom angle: 0.0 °

Light overhang: 0.000 m

Pole rotation: 0.0 °



# Design/Simuleringer

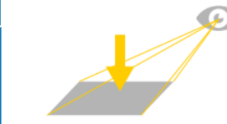
## Belysningsklasser

| EN 13201-2:2015 | Håndbog Vejbelysning | Hovedkrav                   |
|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| M-class         | L-klasse             | Luminans                    |
| C-class         | LE-klasse            | Belysningsstyrke            |
| HS-class        | E-klasse             | Halvrumlig belysningsstyrke |

| Belysningsklasser i L-rækken                         |                           | Motorveje og motortrafikveje <sup>2)</sup> |      |      | Trafikveje og motortrafikveje <sup>2)</sup> |      |      |      |      |
|--|---------------------------|--|------|------|---|------|------|------|------|
|  |                           | L1   | L3   | L5   | L2  | L4   | L6   | L7a  | L7b  |
| <b>Tør kørebane:</b>                                 |                           |  |      |      |   |      |      |      |      |
| Middelluminans, minimum, (driftsværdi) <sup>1)</sup> | $L_m$ , cd/m <sup>2</sup> | 2,00                                       | 1,50 | 1,00 | 2,00  | 1,50 | 1,00 | 0,75 | 0,50 |
| Regelmæssighed, minimum                              | R                         | 0,40                                       | 0,40 | 0,40 | 0,40  | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| Langsregelmæssighed, minimum                         | $R_L$                     | 0,60                                       | 0,60 | 0,60 | 0,30  | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Synsedsættende blænding, maksimum                    | TI, %                     | 6,1  | 6,5  | 6,8  | 6,1   | 6,5  | 6,8  | 7,0  | 7,0  |

| Belysningsklasser i LE-rækken                                |             | LE1  | LE2  | LE3  | LE4  | LE5  |
|--|-------------|------|------|------|------|------|
| Belysningsstyrker på kørebanen:                              |             |      |      |      |      |      |
| Middelbelysningsstyrke, minimum, (driftsværdi) <sup>1)</sup> | $E_m$ , lux | 45   | 30   | 20   | 15   | 7,0  |
| Regelmæssighed, minimum                                      | R           | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |

| Belysningsklasser i E-rækken                                 |                | E1   | E2   | E3   | E4 |
|--|----------------|------|------|------|----|
| Halvrumlige belysningsstyrker på færdselsarealet som helhed: |                |      |      |      |    |
| Middelbelysningsstyrke, minimum, (driftsværdi) <sup>1)</sup> | $E_{hr}$ , lux | 5,00 | 2,50 | 1,00 | -  |
| Regelmæssighed, minimum:                                     | R              | 0,15 | 0,15 | 0,15 | -  |



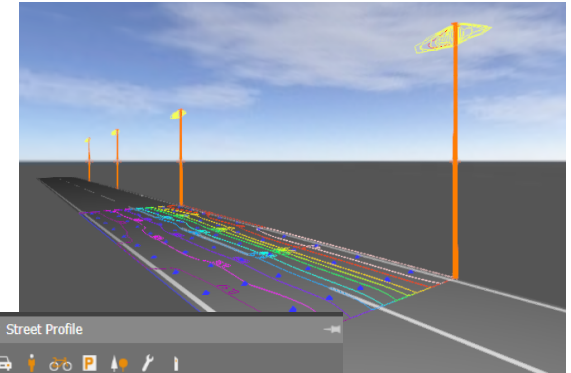
Luminans af vejoverfladen som set af en motorfører



Belysningsstyrke på vejoverfladen (vandret)



Halvrumlig (hemisfærisk) belysningsstyrke



Street Profile

Roadway 1

Active profile element

Name: Roadway 1

Roadway surface: CIE R3 Q0 0.07

Roadway width: 7.000 m

Number of lanes: 2

Valuation field

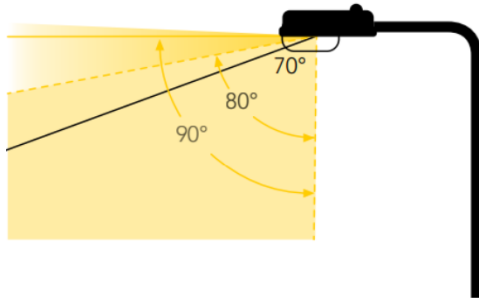
Name: Roadway 1 (M4)

Illuminance Class: M4

| Valuation field (M4) |                      | Roadway 1 (M4) |        |
|----------------------|----------------------|----------------|--------|
| $L_m$                | [cd/m <sup>2</sup> ] | ≥ 0.75         | 0.81 ✓ |
| $U_o$                |                      | ≥ 0.40         | 0.51 ✓ |
| $U_l$                |                      | ≥ 0.30         | 0.89 ✓ |
| TI                   |                      | ≤ 7            | 15 ✗   |

# Afskærmnings klasse

Ud fra lysfordelingsmålinger kan afskærmningsklasse bestemmes



Eksemplet er et LED board med optik som ikke er målt i armaturet

| Afskærmningsklasse | Maksimum lysstyrke, [cd/klm] |                       |                       | Total afskærmning            |
|--------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
|                    | ved 70° <sup>1)</sup>        | ved 80° <sup>1)</sup> | ved 90° <sup>1)</sup> |                              |
| G1                 |                              | 200                   | 50                    | Ingen krav                   |
| G2                 |                              | 150                   | 30                    | Ingen krav                   |
| G3                 |                              | 100                   | 20                    | Ingen krav                   |
| G4                 | 500                          | 100                   | 10                    | fra og med 95° <sup>1)</sup> |
| G5                 | 350                          | 100                   | 10                    | fra og med 95° <sup>1)</sup> |
| G6                 | 350                          | 100                   | 0                     | fra og med 90° <sup>1)</sup> |

<sup>1)</sup> Enhver retning, som danner den angivne vinkel med lodlinjen med armaturet monteret som i belysningsanlægget.

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Imax at 70° and above [cd/klm] | 608 |
| Imax at 80° and above [cd/klm] | 156 |
| Imax at 90° and above [cd/klm] | 21  |
| Imax more than 90° [cd/klm]    | 21  |
| Imax more than 95° [cd/klm]    | 11  |
| Glare index class              | D.2 |
| Luminous intensity class       | G*1 |

Table A.1 — Luminous intensity classes

| Class | Maximum luminous <sup>a</sup> intensity in directions below the horizontal in cd/klm of the output flux of the luminaire. |                               |                               | Other requirements  |
|-------|---|-------------------------------|-------------------------------|---|
|       | at 70° and above <sup>b</sup>   | at 80° and above <sup>b</sup> | at 90° and above <sup>b</sup> |   |
| G*1   |   | 200                           | 50                            | None  |
| G*2   |   | 150                           | 30                            | None  |
| G*3   |   | 100                           | 20                            | None  |
| G*4   | 500   | 100                           | 10                            | Luminous intensities above 95° <sup>b</sup> to be zero <sup>c</sup> |
| G*5   | 350   | 100                           | 10                            | Luminous intensities above 95° <sup>b</sup> to be zero <sup>c</sup> |
| G*6   | 350   | 100                           | 0 <sup>c</sup>                | Luminous intensities above 90° <sup>b</sup> to be zero <sup>c</sup> |

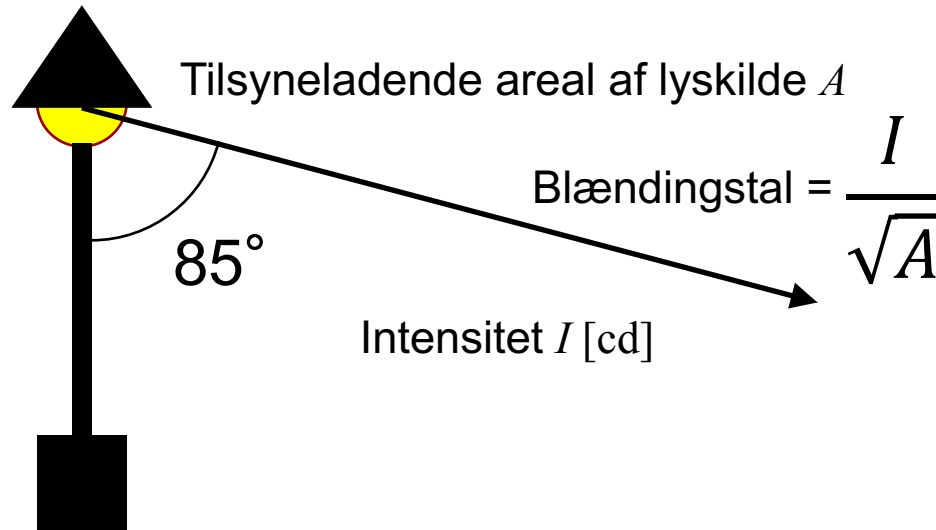
<sup>a</sup> Luminous intensities are given for any direction forming the specified angle from the downward vertical with the luminaire installed for use.

<sup>b</sup> Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

<sup>c</sup> Luminous intensities up to 1 cd/klm can be regarded as being zero.

# Blændingstals klasse

| Blændingstalsklasse    | D0 | D1   | D2   | D3   | D4   | D5   | D6  |
|------------------------|----|------|------|------|------|------|-----|
| Blændingstal, maksimum | -  | 7000 | 5500 | 4000 | 2000 | 1000 | 500 |



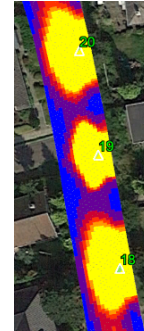
|   |     |
|---|-----|
| $I_{max}$ at $70^\circ$ and above [cd/km] | 608 |
| $I_{max}$ at $80^\circ$ and above [cd/km] | 156 |
| $I_{max}$ at $90^\circ$ and above [cd/km] | 21  |
| $I_{max}$ more than $90^\circ$ [cd/km]    | 21  |
| $I_{max}$ more than $95^\circ$ [cd/km]    | 11  |
| Glare index class                         | D.2 |
| Luminous intensity class                  | G*1 |

# Test af installationer

Hvorfor teste installationer?

Lever installation op til standard krav? og design forventninger?

- Simuleringer er kun rigtig med rigtige input!
- Stemmer vejgeometri med virkeligheden? (installerede mastehøjder, placeringer og afstande)
- Forkerte Lumen-/optikpakker!
- Forkert indstilling af strømniveau



Hvordan?



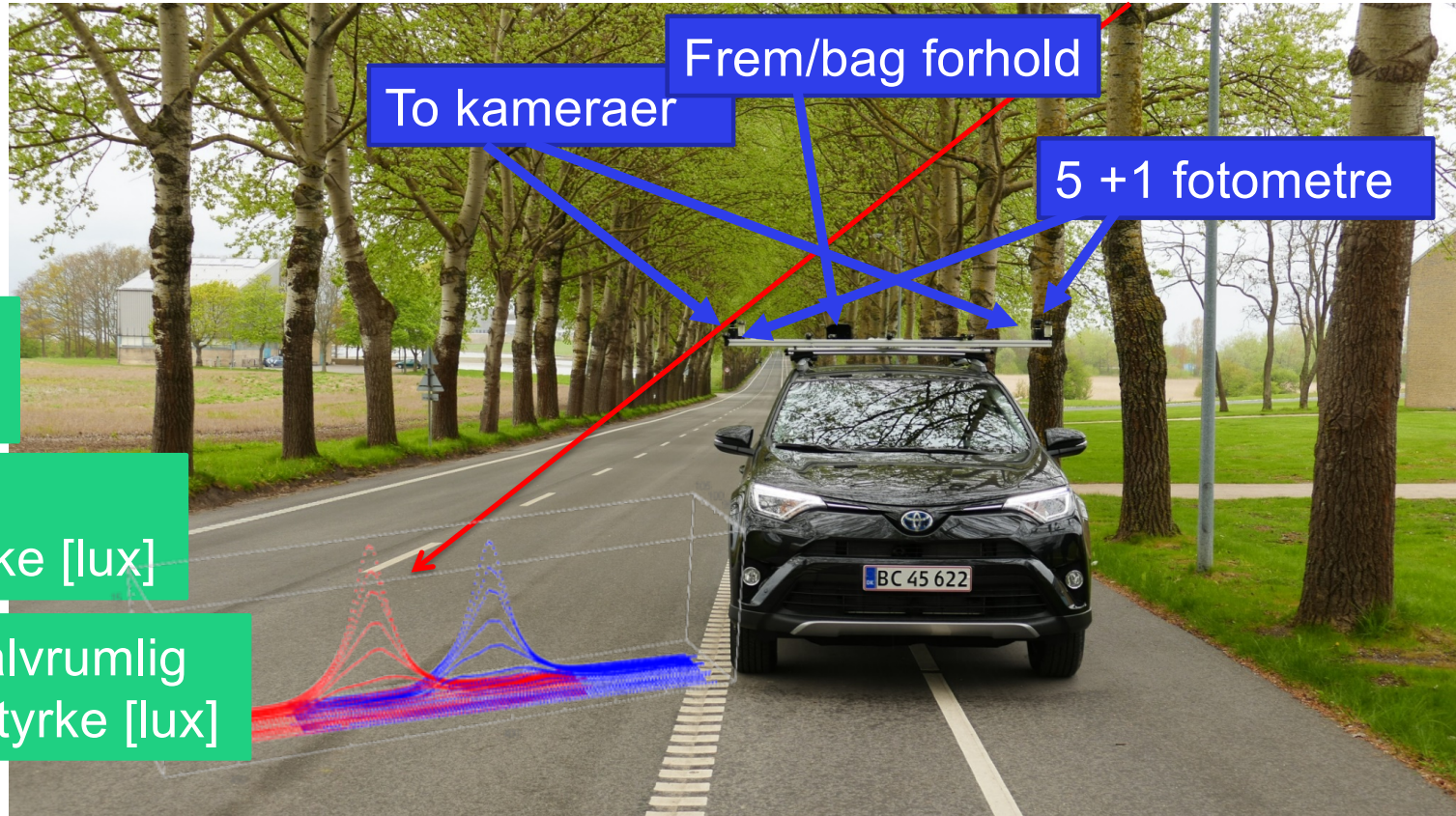
Manuelt: kræver vejafspærringer, ca. 50 punkter pr.lampe



Målebil:

Ingen vejspærringer  
Upåvirket af andre bilers lyskegler  
5000 målepunkter pr. lampe  
hurtige målinger (op til 80km/t)

# Test af installationer, målebil system



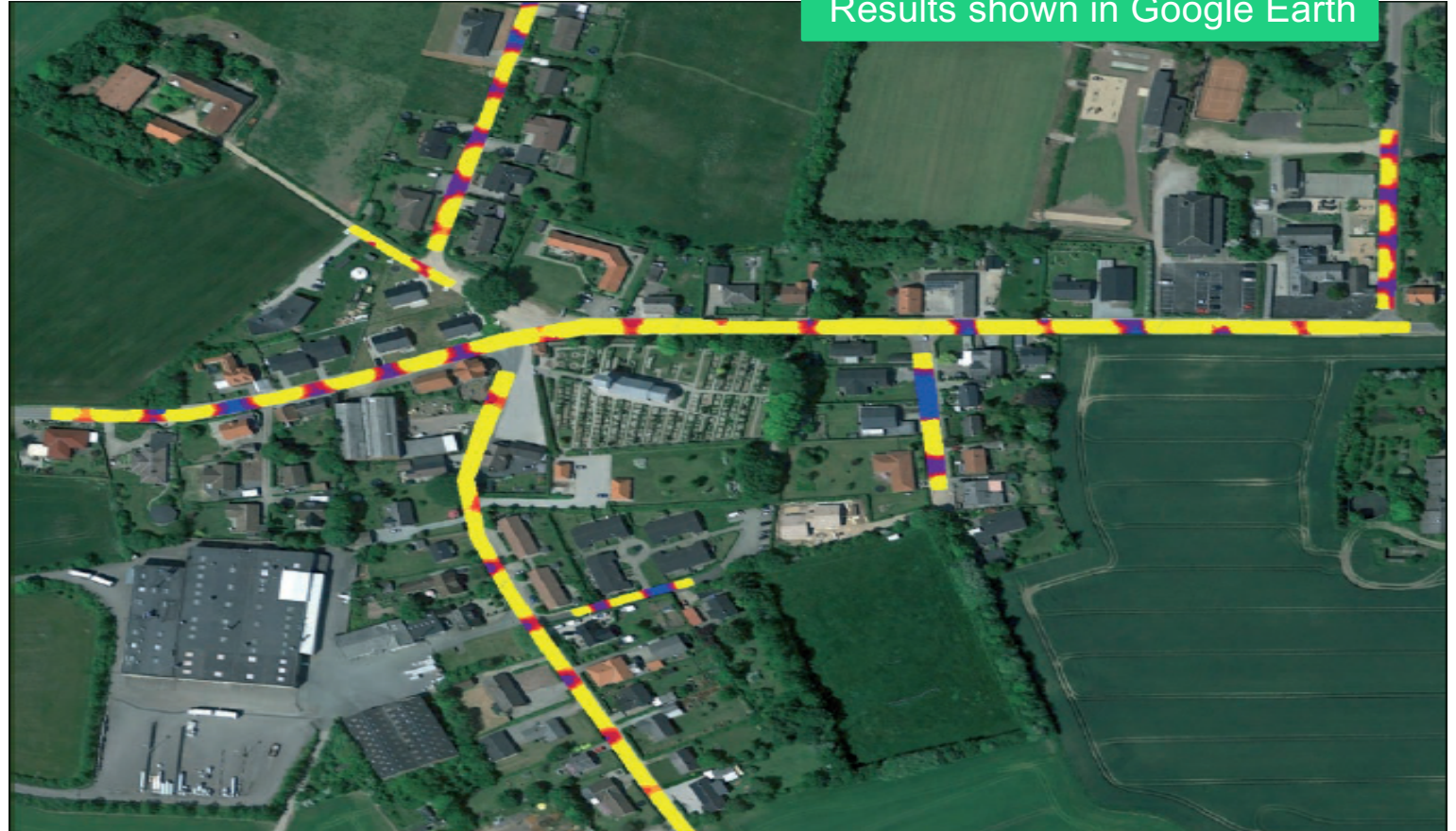
Beregnet  
luminans [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

Beregnet  
belysningsstyrke [lux]

Beregnet halvrumlig  
belysningsstyrke [lux]

# Test af installationer, Almind, Viborg

Results shown in Google Earth



# Test af installationer, Almind, Viborg

Results shown in Google Earth

| Vejstrækning     | Belysnings-klasse | $E_m$ (Lux) <sup>1</sup> | $E_m$ Vedl (Lux) <sup>2</sup> | Vedl-faktor <sup>3</sup> | For-brug <sup>4</sup> | $U_0$ <sup>5</sup> | Lumen på vej <sup>6</sup> | Maste-afstand | Vej-bredde <sup>7</sup> |
|------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|---------------|-------------------------|
| Vranumvej        | E2                | 4,72                     | 4,01                          | 0,85                     | +61%                  | 0,33               | 857                       | 24,8          | 5,2                     |
| Rindsholmvej     | E1                | 11,93                    | 10,14                         | 0,85                     | +103%                 | 0,17               | 3685                      | 31,3          | 6,2                     |
| Markskellet      | E2                | 4,95                     | 4,21                          | 0,85                     | +68%                  | 0,23               | 939                       | 26,2          | 5,3                     |
| Kirkestien del 1 | E2                | 10,65                    | 9,05                          | 0,85                     | +262%                 | 0,20               | 1331                      | 24,6          | 3,4                     |
| Kirkestien del 2 | E2                | 4,81                     | 4,09                          | 0,85                     | +63%                  | 0,27               | 894                       | 26,2          | 4,9                     |
| Silkeborgvej     | E1                | 9,72                     | 8,26                          | 0,85                     | +65%                  | 0,25               | 2318                      | 32,8          | 5,0                     |
| Silkeborgvej sti | E2                | 7,27                     | 6,18                          | 0,85                     | +147%                 | 0,12               | 838                       | 24,1          | 3,0                     |

| Belysningsklasser i E-rækken                                 |                | E1   | E2   |
|--|----------------|------|------|
| Halvrumlige belysningsstyrker på færdselsarealet som helhed: |                |      |      |
| Middelbelysningsstyrke, minimum, (driftsværdi) <sup>1)</sup> | $E_{hr}$ , lux | 5,00 | 2,50 |
| Regelmæssighed, minimum:                                     | R              | 0,15 | 0,15 |



## Test af installationer, hvad vi kan måle

- Illuminans, luminans
  - Uniformitet
  - Vej lumen (lumen effektivitet)
  - Højde af lys punkter, maste afstande, vej bredde
  - KML data (Google Earth)
- 
- GIS data (3D position, billeder of armaturer/master)
  - Korreleret farvetemperatur, Ra-indeks
  - Flicker
  - Stabilitet over tid
- 
- Veje, fortove, cykelstier, enkelt og dobbeltsidet belysning
  - Vej træer

# Konklusion

Overblik over fotometrisk test i forbindelse med gade/vej belysning

- Uvildig test af prøve armaturer,
  - test rapport, fotometriske og kolorimetriske data
  - lysfordelings data
- Simulering
  - Er rigtige lysfordelings data og lysstrøm benyttet?
  - Er de rigtige forudsætninger benyttet?
- Få testet installationen
  - nye installationer, (spar energi, få udbedret fejl i lumenpakker, optikpakker, natsænkning)
  - 1-års og 5-års mangelgennemgang

# Tak for opmærksomheden

Hvis du/I har spørgsmål omkring lysmålinger eller andet:



Carsten Dam-Hansen  
4677 4513  
[cadh@fotonik.dtu.dk](mailto:cadh@fotonik.dtu.dk)



Anders Thorseth  
[andt@fotonik.dtu.dk](mailto:andt@fotonik.dtu.dk)



Linda Christel  
93511500  
[linchr@dtu.dk](mailto:linchr@dtu.dk)



Dennis Corell  
[ddco@fotonik.dtu.dk](mailto:ddco@fotonik.dtu.dk)



Henrik Pedersen  
[hcpe@fotonik.dtu.dk](mailto:hcpe@fotonik.dtu.dk)

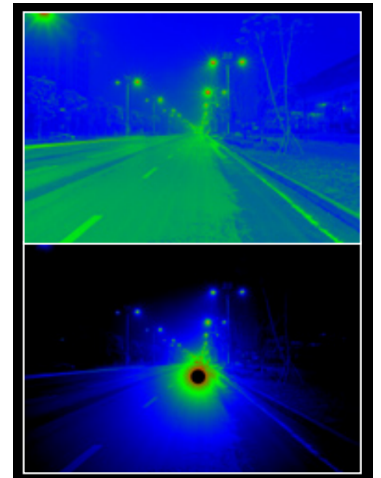
# Måleinstrumenter

- Luminansmåling med Luminanskamera

Canon 70D (DSLR)  
Sigma 17-50mm F2.8 EX DC OS HSM



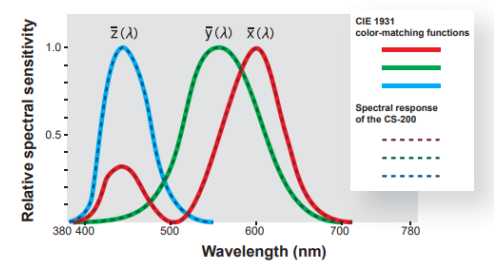
Neutral density filter - set (opt. density: 1.0; 2.0; 3.0) Sigma Fisheye [ 4.5mm F2.8 EX DC HSM ]



Glare assessment based on the TI - method for artificial road lighting (EN13201)

# Måleinstrumenter

- Luminansmåling med spotmeter
- Luminansmeter, spotmåling, farve og luminans
- <https://sensing.konicaminolta.us/products/cs-200-color-and-luminance-meter/>



CIE 1931 color-matching functions and spectral response of the CS-200

(Unit: mm)

| Measuring area at 1000 mm |       |       |
|---------------------------|-------|-------|
| 1°                        | 0.2°  | 0.1°  |
| ∅ 17.7                    | ∅ 3.6 | ∅ 1.8 |

| Model  | Chroma Meter <b>CS-200</b>         |  |           |
|--|------------------------------------|--|-----------|
| Measurement range  | 0.01 - 200,000cd/m <sup>2</sup>    | (Measuring angle 1°)                           |           |
|  | 0.01 - 5,000,000cd/m <sup>2</sup>  | (Measuring angle 0.2°)                         |           |
|  | 0.01 - 20,000,000cd/m <sup>2</sup> | (Measuring angle 0.1°)                         |           |
| Accuracy (Measuring angle 1°) *1                                       | 150 cd/m <sup>2</sup>              | L <sub>v</sub> ±2 % ±1digit                    | xy ±0.002 |
| (Standard Illuminant A; Temperature: 23°C±2°C, Relative humidity: 65%) | 0.01-0.5 cd/m <sup>2</sup>         | L <sub>v</sub> ±0.02 cd/m <sup>2</sup> ±1digit | ---       |
|  | 0.5-1 cd/m <sup>2</sup>            | L <sub>v</sub> ±0.02 cd/m <sup>2</sup> ±1digit | xy ±0.007 |
|  | 1-10 cd/m <sup>2</sup>             | L <sub>v</sub> ±2 % ±1digit                    | xy ±0.004 |
|  | 10-200,000 cd/m <sup>2</sup>       | L <sub>v</sub> ±2 % ±1digit                    | xy ±0.003 |