

Lysfordelinger af forlygter på køretøjer

Kai Sørensen, 16. februar 2015

Baggrund, sammenfatning og konklusion

Baggrund

Denne rapport angår del 2 i et projekt om opdatering af COST 331 på i alt tre dele:

- del 1: en ny platform for Visibility programmet,
- del 2: måling af lysudsendelse fra moderne billygter,
- del 3: køreforsøg som supplement til de, der blev udført i COST 331 projektet.

Rapporten angår in situ måling af lysfordelinger af 50 forlygter på køretøjer.

Med in situ måling menes at lysfordelingerne er målt som lygterne findes på køretøjerne i den aktuelle tilstand af vedligeholdelse og tilsmudsning. For alle 50 forlygter er der målt lysfordelinger af forlygternes nærlys – og for 40 af lygternes vedkommende også af fjernlyset.

En lysfordeling er i princippet en tabel af lysstyrker i enheden candela (cd) for retninger, som angives ved en vinkel H i vandret retning og en vinkel V i lodret retning. I dette tilfælde dækker tabellen vinkelområderne $\pm 10^\circ$ for H og fra -5° til 10° for V med en tæthed på 1° for begge vinkler. Tabellen har således 21 søjler og 16 rækker og omfatter 336 værdier.

Til illustration af en lysfordeling anvendes der ofte et diagram, som optegnes på basis af tabellen.

Målingerne er baserede på det projektforslag, der fremgår af ”Forslag til måling af lysfordelinger af forlygter på køretøjer” af 25. januar 2015. En af begrundelserne for forslaget er at lysstyrkerne fra en forlygte afhænger af den teknik, som forlygten er baseret på, og at den traditionelle teknik med H4 halogenglødelamper, paraboler og spredeglas gradvist forlades til fordel for nyere teknikker. Der henvises til projektforslaget angående en gennemgang af disse teknikker og af tidligere målinger af lysfordelinger af forlygter.

Udførelse af målinger

I praksis er målingerne udført i en carport på undertegnede's hjemadresse ved brug af en måleopstilling, som er beskrevet i afsnit 1, og en fremgangsmåde, som er beskrevet i afsnit 2. Yderligere findes der en diskussion af måleprincipper og måleopstillingen i afsnit 3. Fremgangsmåden kan resumeres således:

- et køretøj køres frem så den ene forlygte befinder sig over en afmærket position midt foran en hvidmalet skærm,
- den anden forlygte afdækkes, så det kun er den ene forlygte, der belyser den hvidmalede skærm,
- ved hjælp af et luminanskamera af typen LMK mobile advanced fra det tyske TechnoTeam tages en serie på tre billeder af skærmen,
- der tages billeder af både nærlysets og fjernlysets belysning af skærmen,
- forlygtens placering i højden over underlaget, samt nærlysets placering på skærmen, registreres.

Hver serie af billeder underkastes en behandling, som er beskrevet i afsnit 4. Behandlingen består i:

- en serie af billeder (tre for hver optagelse) indlæses til den software ”LabSoft”, som følger med kameraet, og der dannes ét billede med kalibrerede luminansværdier,
- dette billede udlæses som en tabel i ”Notebook” format,
- tabellen kopieres og indsættes i et regneark, der er udviklet til formålet,
- regnearket fremdrager den ønskede tabel over lysstyrker.

De tre billeder i en serie har eksponeringer i forholdene 1:0,25:4 og kombineres af "LabSoft" til et billede med høj dynamik. Dette nødvendiggøres af at variationen i nærlyset fra en lygte ofte overstiger en faktor 100 og at der findes yderligere variationer mellem nærlys og fjernlys, og mellem forlygter.

Regnearket forudsætter indlæsning af forlygtens placering i højden over underlaget, nærlysets placering på skærmen og kameraets position. Herved kompenserer regnearket for eventuelle fejljusteringer af forlygten.

Målingerne skal udføres efter mørkets frembrud, så billederne ikke influeres af dagslys. Alligevel kan der være fremmed belysning fra vejbelysning eller andre lyskilder, og på forhånd blev der regnet med at der skal optages et "mørkebillede" af fremmed belysning, som også skal behandles og indlæses til regnearket. Dette viste sig imidlertid ikke at være nødvendigt, da den omtalte carport ligger ved en temmelig mørk vej og i sig selv afskærmer mod fremmed belysning.

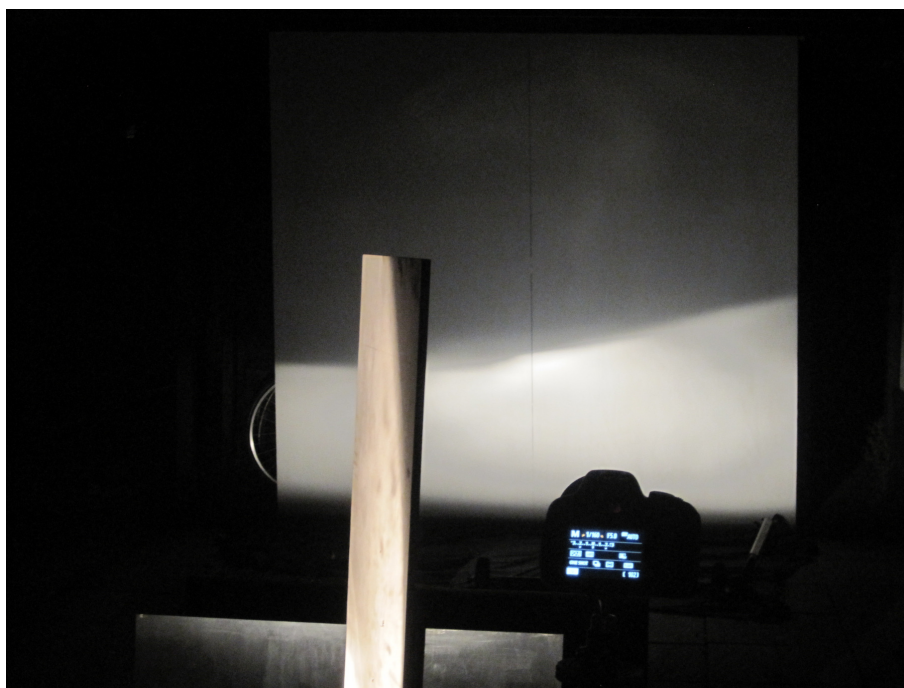
Desuden skal der være passende afskærmninger, som eliminerer indirekte belysning af skærmen gennem refleksion i underlaget eller nærliggende flader. Dette viste sig at kræve forholdsvis store foranstaltninger.

Det lykkedes ikke helt at eliminere fremmed og indirekte belysning, men den resterende belysning er så svag og konstant, at der kompenseres ved fratækning af en konstant værdi på 10 cd fra alle positioner i lysfordelingen.

Fremgangsmåden forudsætter at skærmen har diffus refleksion, så der i hvert punkt på skærmen er proportionalitet mellem belysningsstyrken og luminansen. Derfor er skærmen malet gentagne gange med en hvid maling med lavest mulig grad af glans og der er foretaget omfattende kontroller ved brug af et luxmeter, et luminansmeter, en reflektansmåler og en refleksionsnormal. Disse kontroller, sammenholdt med kameraets egen kalibrering, har bekræftet at fremgangsmåden er brugbar og formentlig har god nøjagtighed.

Opstillingen er vist i figur 1.

Figur 1: Hvid skærm under belysning af nærlyset fra en forlygte, og kamera bag en skærm til reduktion af indirekte belysning.



Skærmen har størrelsen $2,44 \times 2,44 \text{ m}^2$ og den afmærkede position til forlygten befinder sig midt ud for skærmen i en afstand på 5,7 m. Disse mål muliggør at lysfordelingen opsøges i de ovennævnte vinkelrum og at der findes nogen tolerance over for forlygtens sigteretning.

Der er dog tilfælde, hvor nærlyset ligger så lavt på skærmen – og ikke kunne hæves – at vinkelrummet nedad begrænses til -4° eller endda -3° . Det gælder især for lavt monterede forlygter, men har ikke den store betydning for det område, der dækkes på vejen foran køretøjet.

EKSEMPEL: Antag at en lygte er monteret 0,6 m over kørebanen og at vinkelrummet nedad er begrænset til -3° . Dette svarer til en afstand foran kørebanen på $0,6/\tan(3^\circ) = 11,4 \text{ m}$.

Det havde været ønskeligt om afstanden kunne være større, men i så fald skulle skærmen være upraktisk stor, eller vinkelrummene skulle være mindre. Valget af afstand er dermed udtryk for et kompromis, som er metodens væsentligste svaghed. I praksis medfører dette at lysfordelingen udtværes over et vinkelområde på op til cirka $\pm 0,5^\circ$, hvilket især påvirker skarpheden af nærlysets lys/mørke grænse.

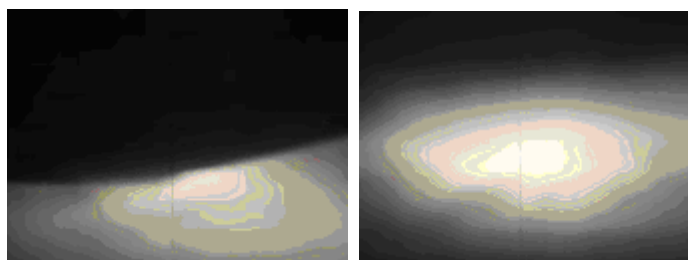
Køretøjer og lysfordelinger

De 50 køretøjer og forlygternes lysfordelinger præsenteres i afsnit 5. Et køretøj beskrives ved dets type og årgang, og hver lysfordeling ved et lille billede af belysningen på skærmen. Dette billede er et udklip, af det første billede i en serie, og er derfor et farvebillede med en rimelig god detaljerigdom. Udsnittet er valgt så det dækker det vinkelområde, der indgår i lysfordelingen (den tabel, der uddrages af regnearket).

Figur 2 viser billeder for nær- og fjernlys af en forlygte med en halogenglødelampe og en parabolisk reflektor. Begge billeder viser et farvespil, som er karakteristisk for forlygter med halogenglødelamper.

Billedet for nærlyset viser desuden en lys/mørke grænse, som dannes af en indbygget skærm ved den glødetråd, som frembringer nærlyset. Lys/mørke grænsen har en omtrent vandret linje til venstre, og en linje med omtrent 15° hældning til højre. Dette er karakteristisk for nærlyset af en forlygte af denne type.

Endelig viser billedet for fjernlyset en lysudsendelse, som ikke er begrænset, og som ligger lidt højere end for nærlyset. Dette er også karakteristisk for en forlygte af denne type, hvor fjernlyset dannes af en anden glødetråd, som ikke er afskærmet.

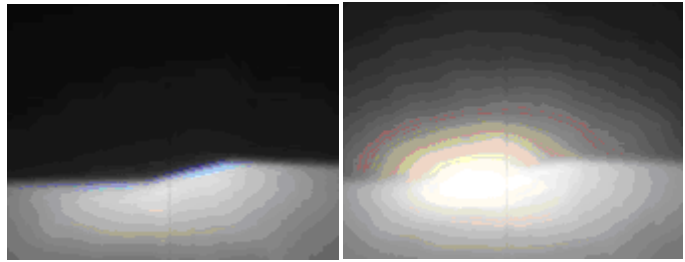


Figur 2: Nær- og fjernlys af en forlygte med en halogenglødelampe og en parabolisk reflektor.

Figur 3 viser billeder for nær- og fjernlys af en forlygte med en udladningslampe og linseoptik, samt en ekstra lampe til fjernlyset. Det ses at nærlyset findes i begge billeder, og at fjernlyset adskiller sig fra nærlyset ved at have en ekstra stråle, som stammer fra en ekstra lygte. Den hvide farve i nærlyset antyder at lampen er en udladningslampe, men farvespillet i den ekstra stråle viser at den ekstra lygte har en halogenglødelampe.

Billedet for nærlyset viser i øvrigt en lys/mørke grænse, som dannes af en indbygget skærm i linseoptikken. Lys/mørke grænsen har en omtrent vandret linje til venstre, og en knækformet hævning til højre. Dette er karakteristisk for nærlyset af en forlygte af denne type.

Figur 3: Nær- og fjernlys af en forlygte med en udladningslampe og linseoptik, samt en ekstra lygte til fjernlyset.



En stor del af de indgående forlygter bruger halogenglødelamper og parabolisk optik. Dette gælder typisk for mindre køretøjer eller køretøjer af ældre årgang. Halogenglødelamperne formodes at være enten H4 eller de noget kraftigere H7.

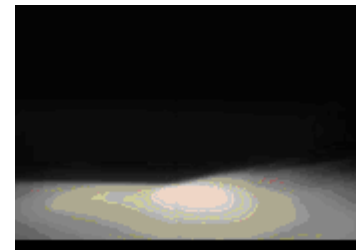
Den paraboliske optik kan være den klassiske udgave med en rund, glatforløbende parabol, eller en nyere udgave, hvor lysspredningen findes indbygget i parabolen i form af facetter eller andet, mens glasset er glat og typisk følger karrosseriets form. De nyere udgaver har formentligt højere virkningsgrad end de ældre på grund af tekniske fremskridt i design og spejlende flader.

De øvrige forlygter har linseoptik med enten halogenglødelamper eller udladningslamper. Det sidstnævnte gælder især for større køretøjer og nyere årgang. Fjernlyset fremkaldes typisk ved tænding af en ekstra lygte, men enkelte lygter har dog en elektromekanisk flytning af den blænde, der indgår i linseoptikken.

Målingerne omfattede kun et par køretøjer med et antal LED's i nærheden af forlygterne. Disse LED's udgør en form for positions- eller markeringslygter, og bidrager ikke væsentligt til hverken nær- eller fjernlys.

I øvrigt bemærkes til afsnit 5 at i de tilfælde, hvor vinkelrummet nedad begrænses til -4° eller -3° , forlænges billedet nedad med et sort areal, så alle billeder får samme højde. Se figur 4.

Figur 4: Et billede, som ikke rækker ned til -5° , forlænges med et sort areal.



Nærmere vurdering af lysfordelingerne

Lysfordelingerne omtales i afsnit 6, hvor der fremdrages en gennemsnitlig lysfordeling af samtlige 50 nærlys og en tilsvarende gennemsnitlig lysfordeling af samtlige 40 fjernlys.

De udsendte lysstrømme sættes i relation til køretøjernes årgang med henblik på at afklare om der sker en teknisk udvikling af forlygter, som fører til en gradvis forøgelse af lysstrømmene. Den udsendte lysstrøm omfatter vinkelrummet i vandret retning på $\pm 10^\circ$ og vinkelrummet i lodret retning fra -3° til 10° . Der ses bort fra vinkelrummet i lodret retning fra -5° til -3° , fordi det ikke dækkes af alle lysfordelinger. Lysstrømmene er i enheden lumen (lm).

Der påvises ikke nogen forøgelse af den udsendte lysstrøm med årgangen, men det skyldes muligvis at større biler holder længere end små biler i kombination med at køretøjer af ældre årgange fra starten kan have ligget over gennemsnittet.

Tanken med at opstille gennemsnitlige lysfordelinger er at lade disse repræsentere køretøjers forlygter ved almindelige betragtninger over læsbarhed af vejtavler og synlighed af vejstriber. Det bør dog tages hensyn til

at der er behov for at lade sådanne betragtninger omfatte forlygter med en lavere lysudsendelse end gennemsnittet.

De 50 forlygter sættes derfor i en rangfølge, hvor nærløsets lysstrøm i opadgående retninger er stigende. Lysstrømmen i opadgående retninger er relevant for belysning af vejtavler. Den opsummeres i vinkelrummet i vandret retning på $\pm 10^\circ$ og i vinkelrummet i lodret retning fra 2° til 10° . Der ses bort fra vinkelrummet i lodret retning fra 0° til 2° , hvor lysfordelingerne har vidt forskellig lysudsendelse.

I denne rangfølge svarer nr. 13, 26 og 38 med lysstrømme opad på henholdsvis 12,8; 15,2 og 20,6 lm til henholdsvis 25%, 50% og 75% fraktiler. Disse lysstrømme er henholdsvis 0,74; 0,88 og 1,19 gange lysstrømmen opad på 17,3 lm hos den gennemsnitlige lysfordeling.

Der dannes en tilsvarende rangfølge, hvor nærløsets lysstrøm i nedadgående retninger er stigende. Denne lysstrøm er relevant for belysning af vejstriber. Den opsummeres i vinkelrummet i vandret retning på $\pm 10^\circ$ og i vinkelrummet i lodret retning fra 0° til -3° .

I denne rangfølge svarer nr. 13, 26 og 38 med lysstrømme nedad på henholdsvis 90,8; 122,3 og 149,8 lm til henholdsvis 25%, 50% og 75% fraktiler. Disse lysstrømme er henholdsvis 0,61; 1,01 og 1,23 gange lysstrømmen nedad på 121,7 lm hos den gennemsnitlige lysfordeling.

Det foreslås at 25%, 50% og 75% fraktiler af lysfordelingerne for nærløset repræsenteres af den gennemsnitlige lysfordeling for nærløset gange henholdsvis 0,67; 0,95 og 1,21. Disse faktorer er gennemsnit for lysstrømme opad og nedad, men det er en forenkling at bruge de samme faktorer. Desuden er det en fordel at bruge en gennemsnitlig lysfordeling, som ikke har de detaljer, der kan findes hos de enkelte lysfordelinger.

NOTE: Den CEN 1997 lysfordeling, der ligger til grund for danske krav til retroreflekterende vejtavlefolier typer 3, 4 og 5 har en lysstrøm opad, som er cirka 0,59 gange værdien for den gennemsnitlige lysfordeling. Dette svarer til en cirka 20% fraktil.

På samme måde foreslås det at 25%, 50% og 75% fraktiler af lysfordelingerne for fjernlyset repræsenteres af den gennemsnitlige lysfordeling for fjernlyset gange henholdsvis 0,52; 0,76 og 1,20.

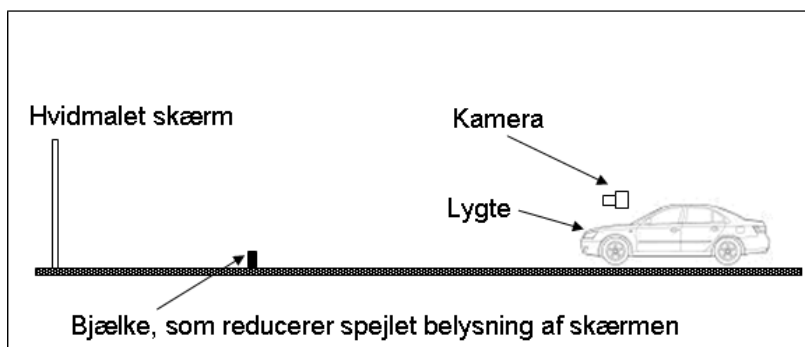
Konklusion

Det er lykkedes at måle lysfordelinger af nær- og fjernlyset af et større antal forlygter på køretøjer i den tilstand af vedligeholdelse og tilsmudsning, som de forefindes i. Det menes at være en bedrift i sig selv og giver sikkert et udmærket billede af den faktiske belysning af både vejtavler og vejstriber. Der er opstillet forslag til lysfordelinger, som repræsenterer 25%, 50% og 75% fraktiler, og som kan benyttes til beregninger af luminans af retroreflekterende vejtavler og vejstriber.

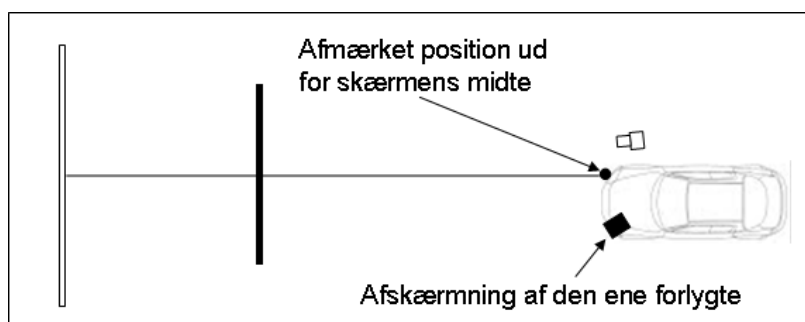
1. Måleopstilling

Målingerne gennemføres i mørke ved brug af en måleopstilling, der er vist i figur 5 og 6.

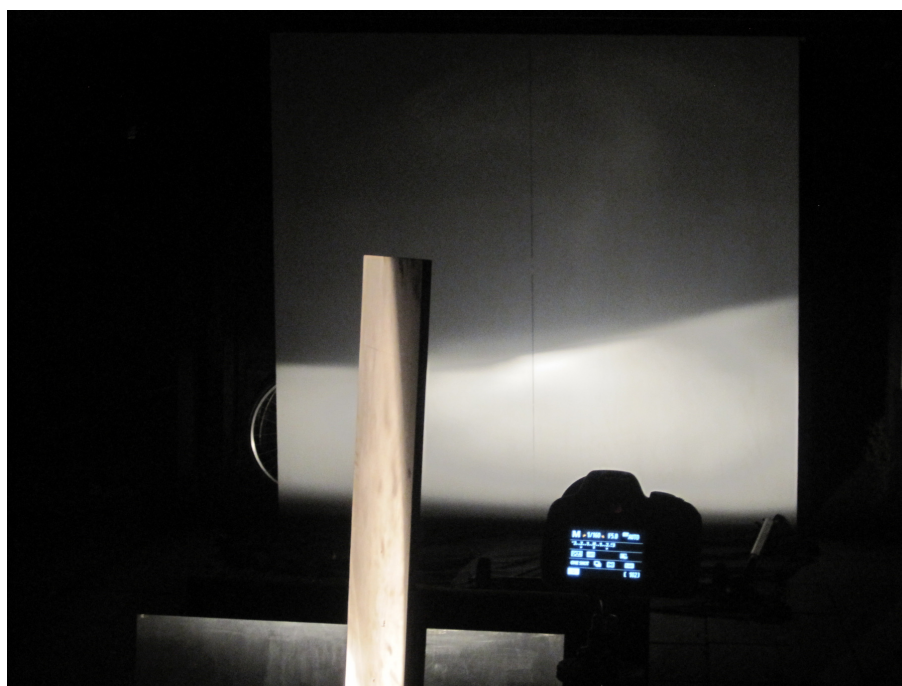
Figur 5: Opstilling til måling af lysfordelingen fra nærlyset af køretøjers forlygte.



Figur 6: Et køretøj placeres så dets ene forlygte befinder sig over en afmærket position på underlaget, mens den anden forlygte afdækkes.



Et køretøj placeres, så dets ene forlygte befinder sig over en afmærket position på underlaget. Den anden lygte afskærmes, så det kun er den uafskærmede lygte, der belyser den hvidmalede skærm. Figur 7 viser et eksempel på belysning af skærmen.



Figur 7: Eksempel på belysning af skærmen.

Skærmen skal have en refleksion, som er diffus eller i det mindste tilnærmet diffus, så luminansen i et punkt er uafhængig af måleretningen. Dette kontrolleres ved brug af et luminansmeter. Der opnås en sådan refleksion ved brug af en maling med lavest mulig glans, hvilket er en glansværdi på 1.

Det er kun den direkte belysning af skærmen, der er interessant, og derfor placeres der en bjælke til at reducere den belysning af skærmen, der måtte komme fra spejling i underlaget. Bjælken er kun et eksempel på den afskærmning, der måtte være nødvendig for at undgå indirekte og interreflekteret belysning af skærmen fra mure eller andet i nærheden.

Note 1: Det har vist sig at der er brug for en mere omfattende afskærmning i praksis.

Målingerne gennemføres i mørke, men der kan være vejbelysning eller anden fremmed belysning, som giver en – helst svag – belysning af skærmen. Derfor tages der indledningsvist et billede af skærmen uden billygtebelysning. Dette billede betegnes ”fremmed belysning”.

Note 2: Under de aktuelle betingelse har det ikke været nødvendigt at benytte et billede af ”fremmed belysning”.

Derefter tages der et billede af skærmen med belysning fra forlygtens nærlys. Herunder skal køretøjets motor holdes i gang, så der er korrekt spænding på elforsyningen til forlygten. Dette billede betegnes ”total belysning”.

NOTE 3: I praksis er der i de fleste tilfælde også taget et billede af fjernlyset.

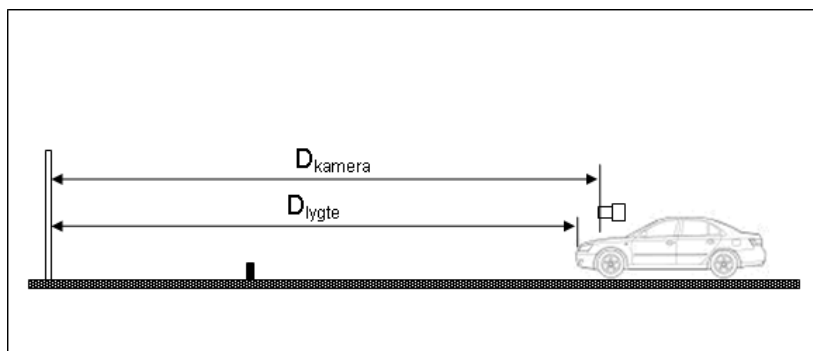
Den afmærkede position er midt ud for skærmen i en afstand D_{lygte} fra skærmen. Kameraets afstand fra skærmen D_{kamera} diskuteres senere; her anføres kun at denne afstand fortrinsvist er større end D_{lygte} . Afstandene er vist i figur 8.

Lytens højde over underlaget H_{lygte} varierer fra køretøj til køretøj, og måles. Kameraets højde over underlaget H_{kamera} diskuteres også senere; her anføres kun at denne højde fortrinsvist er højere end H_{lygte} . Højderne er vist i figur 9.

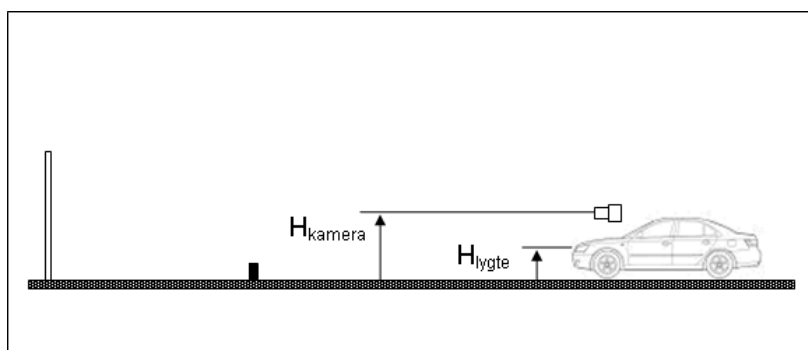
Det er nødvendigt at stille kameraet ud til siden for køretøjet, så det har en sideafstand S i forhold til lygten. Dette er vist i figur 10.

Det antages at køretøjet er placeret så lygten sidder lige ud for skærmens lodrette midtlinje og så dens reference retning peger mod denne linje. Kameraet sigtes, så dets referenceretning er vandret og peger mod skærmens lodrette midtlinje. Disse forhold er illustreret i figur 11. Den lodrette midtlinje bør være markeret, så det bliver nemt at sigte kameraet.

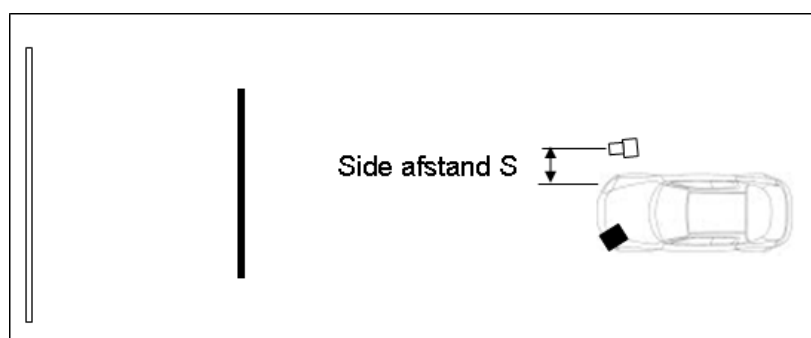
Figur 8: Lygtens og kameraets afstande fra skærmen.



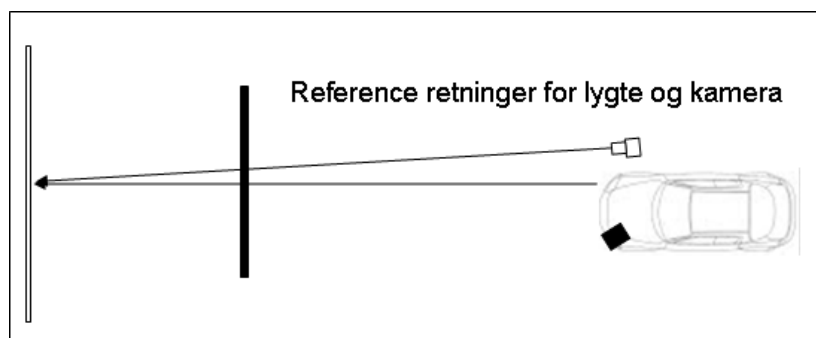
Figur 9: Lygtens og kameraets højder over underlaget.



Figur 10: Sideafstand S af kameraet i forhold til lygten.



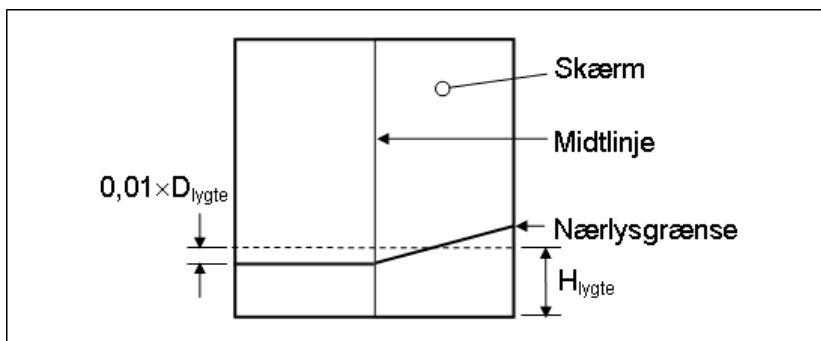
Figur 11: Reference retninger for lygte og kamera.



2. Gennemførelse af målinger

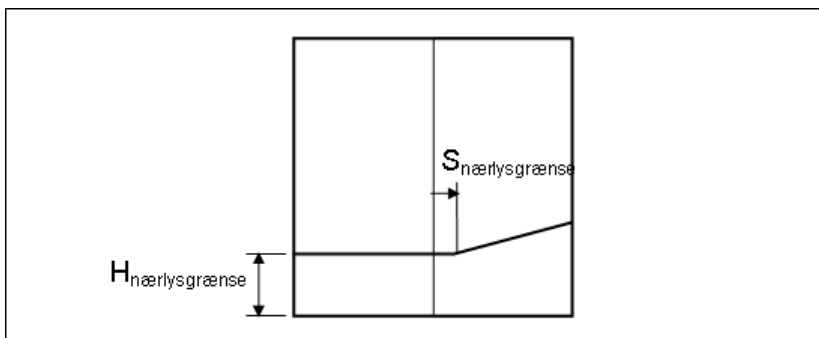
Målinger udføres for et antal køretøjer. Hvis den fremmede belysning af skærmen ændres, tages der et nyt billede af ”fremmed belysning”, og det noteres hvilket af disse billeder der hører til de enkelte billeder af ”total belysning”.

Nærlysgrænsen ligger i en højde over underlaget på $H_{\text{afskæring}} = H_{\text{lygte}} - 0,01 * D_{\text{lygte}}$, hvis køretøjet står vandret og lygten er korrekt oprettet (så nærlysgrænsen falder med 1 cm pr. m afstand). Tilsvarende bør nærlysets knæk til den løftede del mod højre starte ved skærmens midte, hvis køretøjet peger lige fremad og lygten er sigtet korrekt. Disse forhold er illustreret i figur 12.



Figur 12: Korrekt placering af nærlysgrænsen.

Da der kan forventes afvigelser fra korrekt placering af nærlysgrænsen, foretages der en visuel vurdering fulgt af måling af den aktuelle placering. Målene er illustreret i figur 13.



Figur 13: Mål for den aktuelle placering af nærlysgrænsen.

Alle de ovennævnte geometriske mål noteres for hvert køretøj i det omfang at de varierer eller ændres i forhold til det foregående køretøj. Desuden noteres køretøjets type og lygtens art.

3. Diskussion af måleprincipper og måleopstilling

De grundlæggende principper for måleopstillingen er at:

- forlygten belyser skærmen, hvor den fremkalder en fordeling af belysningsstyrker,
- skærmen reflekterer lyset på en sådan måde at den fremstår med en fordeling af luminanser, der er proportionale med belysningsstyrkerne,
- kameraets billede repræsenterer fordelingen af luminanser på skærmen,
- der ud fra kameraets billede fremdrages luminansværdier i de relevante punkter på skærmen
- de fremdragne luminansværdier omregnes til lysstyrker fra forlygten.

Til **princip a.** er der den kommentar af skærmen skal være stor nok til at dække de relevante retninger fra forlygten, som sidder i afstanden D_{forlygte} . Da den horisontale vinkel H dækker $\pm 10^\circ$ skal skærmens bredde være mindst $2 \times \tan(10^\circ) \times D_{\text{forlygte}} = 0,35 \times D_{\text{forlygte}}$. Den vertikale vinkel V rækker op til 10° over forlygtens højde H_{forlygte} , hvorfor skærmens højde skal være mindst $H_{\text{forlygte}} + \tan(10^\circ) \times D_{\text{forlygte}}$. Den største forekommende højde af forlygter sættes til 0,8 m, hvorved skærmens højde skal være mindst $0,8 \text{ m} + 0,18 \times D_{\text{forlygte}}$.

Reelt skal skærmen dog være større for at have tolerance over for de afvigelser, der måtte være i køretøjets og lygtens opretning og sigte. Derfor skal skærmens bredde mindst være cirka $0,42 \times D_{\text{forlygte}}$ og højden skal være mindst $0,8 \text{ m} + 0,21 \times D_{\text{forlygte}}$.

Det foreslås at D_{forlygte} sættes til 5,7 m, hvor den mindste bredde og højde af skærmen bliver henholdsvis cirka 2,4 m og cirka 2,0 m. Herved kan skærmen fremstilles af to plader med målene 1,22 m \times 2,44 m, som er almindelige mål for flere typer af plader, for eksempel krydsfinersplader. De to plader rejses på højkant og stilles side om side, så skærmen har et samlet mål på 2,44 m \times 2,44 m og en lodret midtlinje, der dannes af samlingen.

Den effektivt lysende del af en forlygte har en diameter på cirka 0,1 m. På den forholdsvis korte afstand til skærmen er aperturvinklen af forlygten derved cirka $\pm 0,5^\circ$, så de målte lysstyrker bliver middelværdier inden for kegler med disse radier. Sådanne aperturvinkler er uønsket store, især for retninger omkring nærlys grænsen, men de må accepteres af hensyn til skærmens størrelse.

Princip b. kræver at skærmen males med en hvid maling med lavest mulig grad af glans, så skærmens refleksion bliver en god tilnærmelse til diffus refleksion. Dette svarer til at luminansen i et punkt på skærmen skal være uafhængig af måleretningen, hvilket indledningsvist kontrolleres ved brug af et luminansmeter. Især må der ikke være forhøjet luminans i den retning, hvor punktet svarer til spejling af forlygten.

Ved diffus refleksion er luminansen L i et punkt givet ved $L = \rho \times E / \pi$, hvor ρ er overfladens reflektans og E er belysningsstyrken i punktet. Værdien af ρ i en $45^\circ/0^\circ$ geometri kan bestemmes ved brug af et forholdsvis simpelt måleinstrument, eller den kan bestemmes ud fra sammenhørende værdier af L og E , som måles med henholdsvis et luminansmeter og et luxmeter. Der er sådanne instrumenter til rådighed.

Princip c. bunder sig i at et billede taget med "LMK mobile advanced" kan omdannes til en tabel af kalibrerede luminansværdier ved brug af den software, som følger med kameraet (LabSoft).

Princip d. baseres på at den ovennævnte tabel omfatter retninger, der dækker hele skærmen, og at det er muligt at udvælge den værdi, som svarer til ethvert givet punkt på skærmen.

Kameraet linse er en zoom linse, der stilles til kraftigst muligt zoom, hvor tabellen dækker et vinkeludsnit på $\pm 13,15^\circ$ i vandret retning og $\pm 8,87^\circ$ i lodret retning omkring kameraet reference retning.

Når kameraet har været placeret i en afstand fra skærmen D_{kamera} , der er mindst lig med D_{forlygte} , og det har været rettet mod skærmens midtlinje, omfatter tabellen uden videre hele skærmens bredde.

I lodret retning dækker kameraet en højde på $2 \times \tan(8,87^\circ) \times D_{\text{kamera}} = 0,312 \times D_{\text{kamera}}$. Denne højde skal i følge det ovenstående dække en del af skærmen, som strækker sig fra lidt over bunden og op til cirka 2,0 m. Det foreslås at kameraet placeres i en afstand D_{kamera} på 6,2 m (0,5 m længere væk end lygten) og i en højde på 1 m. I så fald dækkes skærmen i en højde fra 0,03 m over bunden til en højde på 1,97 m. Dette nødvendiggør at kameraet placeres med en vis sideforskydning. For eksempel 0,3 m formodes at være tilstrækkeligt i de fleste tilfælde.

Det bemærkes at der kunne opnås en dækning af et meget større areal ved at stille linsen til mindre kraftig zoom. Det er imidlertid at foretrække at bruge én af de to ydertilfælde for zoom, dels fordi de kan reproducere og dels fordi TechnoTeam giver oplysninger for kameraets vinkeldækning for de to ydertilfælde. Hertil kommer at ydertilfældet med mindst zoom fører til dækning af et meget stort vinkelområde og derfor ikke er tiltalende.

Princip e. Kameraets værdier, som er udtrykt i luminans L , omregnes til belysningsstyrker E på basis af $L = \rho \times E / \pi$ og derefter til lysstyrker ved brug af afstands- og cosinusloven for belysning.

4. Regneark til behandling af tabeller

Der er udviklet et regneark til behandling af tabeller. Tabeller fremstilles ved indlæsning af en serie af billeder (3 styk per optagelse) til LabSoft programmet, som danner ét billede med kalibrerede luminansværdier. Dette billede udlæses som en tabel i "Notebook" format, hvorfra tabellen kopieres og indsættes i regnearket.

Tabellen for "Total belysning" indsættes i regnearkets ark med denne titel, og tabellen "Fremmed belysning" indsættes i arket med denne titel. I arket "Forlygte belysning" dannes der nu en tabel, hvor hver værdi er difference mellem de tilsvarende værdier i de ovennævnte tabeller. Denne tabel repræsenterer de luminanser af skærmen, der er frembragt af forlygtens belysning alene.

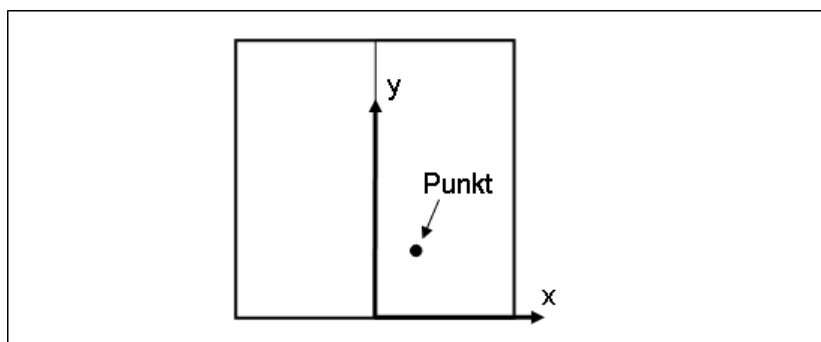
Note: I praksis udføres målingerne på et sted, hvor den fremmede belysning er så svag, at den kan behandles forenklet.

Tabellen med "Forlygte belysning" har 1739 rækker og 2604 søjler med 4.528.356 værdier. Det er upraktisk at arbejde videre med en så stor tabel, hvorfor regnearket opstiller en reduceret tabel, der kun har værdier for hver tiende række og hver tiende søjle og derfor kun cirka 1% af de værdier, der indgår i den fulde tabel. Værdierne i den reducerede tabel er til gengæld gennemsnit for 9×9 værdier i den fulde tabel.

Den fulde tabel har i gennemsnit cirka 0,01° mellem de retninger, der svarer til naboværdier i en tabel, hvorfor den reducerede tabel har cirka 0,1° mellem sådanne retninger. Det giver en fuldt tilstrækkelig dækning i betragtning af at den endelige tabel kun bruger værdier for hver hele grad og at lygtens apertur er væsentligt større.

Den omtalte midling over 9×9 værdier i den fulde tabel tjener til at reducere den måleusikkerhed, det måtte ligge i den enkelte værdi.

Udvælgelsen af de relevante værdier sker i arket "Tabel". For en given position i den endelige tabel – angivet ved (H,V) vinkel koordinater - beregnes (x,y) koordinater af det modsvarende punkt på skærmen i det koordinatsystem, der er vist i figur 14.



Figur 14: Koordinatsystem på skærmen.

x-koordinaten findes ved:

$$x = D_{\text{forlygte}} \times \tan(H)$$

hvor D_{forlygte} er forlygtens afstand fra skærmen.

Retningerne i den reducerede tabel for luminanser er beskrevet ved vinkler (H',V') i et vinkel koordinatsystem af samme type som for (H,V) vinklerne.

Vinklen H' for en søjle i tabellen er givet ved:

$$H' = \arctan(C \times (i - i_0))$$

hvor C er en konstant,
 i er søjlens nummer,
og i_0 nummeret på den midterste søjle.

Konstanten C gælder for den aktuelle indstilling af zoom og er angivet af TechnoTeam til at være 0,0001794 for den fulde tabel. Dette er bekræftet ved en kontrolmåling.

I den reducerede tabel skal værdien af C være 10 gange større, det vil sige 0,001794. Rent faktisk (dette er ikke oplyst af TechnoTeam) afhænger C 's værdi også af fokuseringen på den givne afstand og skal være 0,8% lavere ved en afstand på 6,2 m. Den rette værdi i dette tilfælde er derfor 0,00178.

x -koordinaten i (x,y) koordinat systemet afhænger kun af vinklen H' og er givet ved:

$$x = D_{\text{kamera}} \times \tan(H' - H'_0) + S$$

hvor D_{kamera} er kameraets afstand fra skærmen,
 H'_0 er givet ved $H'_0 = \arctan(S/D_{\text{kamera}})$,
og S er kameraets sideafstand fra skærmens midte.

Heraf bestemmes H værdien for hver søjle i den reducerede tabel ved:

$$H = \arctan(((D_{\text{kamera}} \times \tan(H' - H'_0) + S) / D_{\text{forlygte}}))$$

Herefter udvælges den søjle i den reducerede tabel, hvis H værdi ligger nærmest den værdi på -10° , som er den første H værdi i den endelige tabel. Dette gentages for $H = -9^\circ, -8^\circ, -7^\circ \dots 10^\circ$ og alle de udvalgte søjler bringes sammen til en tabel med kun 21 søjler.

Det bemærkes at de udvalgte søjler ikke svarer præcist til de H værdier, der findes i den endelige tabel – fordi de fremkommer ved valg og ikke ved interpolation. Fejlen er dog højst cirka $0,05^\circ$ og anses for at være uden betydning.

Selve udvælgelsen af en søjle sker ved at der fremstilles en ekstra tabel, hvor de værdier der ligger i den rigtige søjle overføres fra den reducerede tabel, mens værdier i andre søjler sættes til "FALSE". Den ekstra tabel har tilknyttet en yderligere søjle, hvis værdier er maksimum for hver række i den ekstra tabel. Det er denne søjle, der udvælges.

Denne fremgangsmåde er klodset og pladskrævende, men undertegnede har ikke fundet andre muligheder i Excel regneark.

Ud fra tabellen med 21 søjler, udvælges de eftersøgte værdier for $V = 10^\circ, 9^\circ, 8^\circ \dots -5^\circ$ ved en fremgangsmåde, der er meget lig den ovenfor beskrevne. Fremgangs måden er dog lidt mere kompliceret, fordi Y værdien afhænger af både H og V .

De udvalgte værdier bringes sammen i en tabel med samme format, som den endelige tabel, og dets værdier omregnes til lysstyrker på den måde, som er beskrevet i afsnit 3.

Denne tabel er placeret i et ark med navnet "Betjening", hvor kameraets position samt billygtens højde udgør inddata i tillæg til de ovennævnte tabeller med luminans værdier. Yderligere inddata udgøres af en hævnings og en sideforskydning af lyset med henblik på at kompensere for fejlagtig placering af nærløset (se figur 13).

5. Køretøjer og lysfordelinger

Inden gennemførelsen af egentlige målinger blev der foretaget nogle forsøgsmålinger med kontrol med håndholdte instrumenter. Derefter blev målingerne gennemført over 6 aftener, hver gang med indledende opsøgning af bilejere, start umiddelbart efter mørkets frembrud og en varighed på nogle timer. Hver aften blev afsluttet med den behandling af billederne, som er beskrevet i afsnit 4.

De seks måleaftener var den 11., 14., 19. og 21. januar samt den 10. og 11. februar 2015.

Det var oprindeligt tanken at måle nærlyset for alle lygter, og kun at måle fjernlyset for nogle få af lygterne. Derfor blev fjernlyset kun målt for én af lygterne på den første måleaften, men på de følgende måleaftener blev fjernlyset målt på samtlige lygter. Målingerne omfatter 50 forlygter, for hvilke der er målt nærlys i alle tilfælde og fjernlys i 40 tilfælde.

På de følgende 6 sider, en for hver måleaften, præsenteres køretøjerne og lysfordelingerne med nummerering i den rækkefølge, hvori målingerne blev gennemført. Et køretøj beskrives ved dets type og årgang, og lysfordelingerne for nær- og fjernlys ved hvert sit lille billede af belysningen på skærmen. Dette billede er et udsnit af det første billede i en serie, og er et farvebillede med en rimelig god detaljerigdom. Udsnittet er valgt til at dække det vinkelområde, der indgår i lysfordelingen.

I øvrigt bemærkes at i de tilfælde, hvor vinkelrummet nedad begrænses til -4° eller -3° , forlænges billedet nedad med et sort areal, så alle billeder får samme højde. Det gælder for eksempel for billygte nr. 9.

Der er ført notater over de enkelte forlygters lyskildetype og optiske virkemåde, men disse notater er næppe fejlfri, og reelt fremgår både lyskildetype og optisk virkemåde af billederne selv.

Lyskilderne er enten halogenglødelamper eller udladningslamper. Når billederne viser et farvespil, er der tale om halogenglødelamper, hvilket gælder de fleste af forlygterne. Når billederne derimod er hvide, er der tale om udladningslamper, hvilket gælder lygterne nr. 12, 14, 18, 42, 43, 48 og 50.

Nærlyset for forlygter baseret på paraboliske reflektorer har typisk et forløb af lys/mørke grænsen, som dannes af en indbygget skærm ved den glødetråd, som frembringer nærlyset. Forløbet har en omtrent vandret linje til venstre, og et fuldt forløb af en linje med omtrent 15° hældning til højre. Dette gælder for flertallet af forlygter.

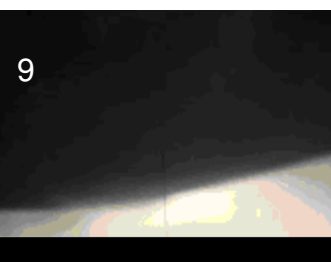
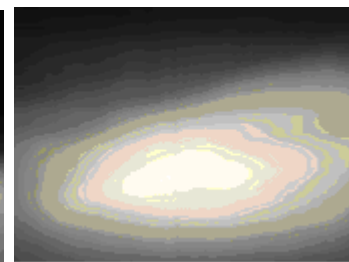
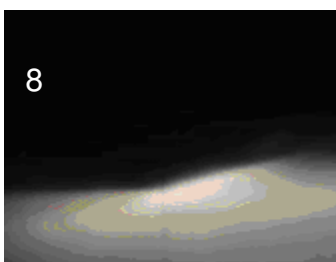
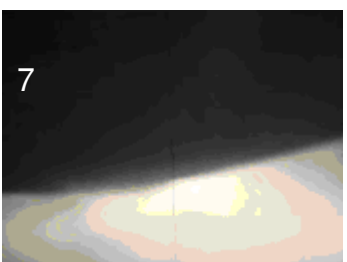
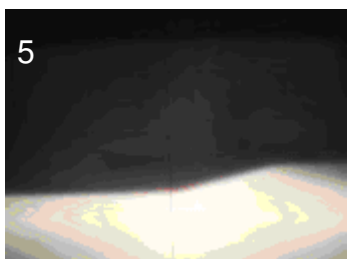
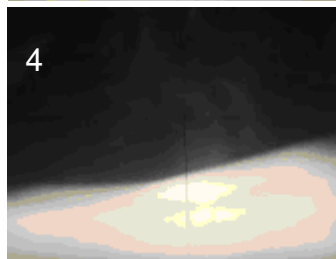
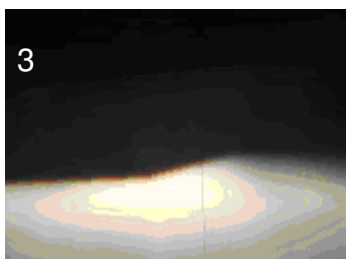
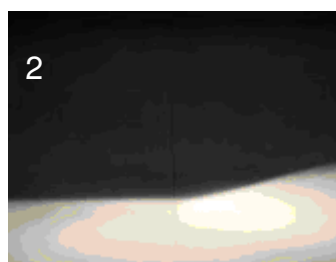
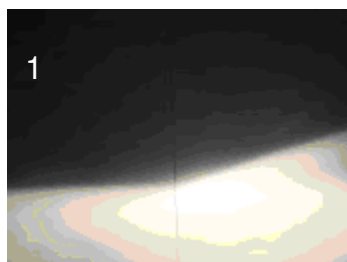
Fjernlyset for forlygter baseret på paraboliske reflektorer viser en lysudsendelse, som ikke er begrænset, og som ligger lidt højere end for nærlyset. Dette er også karakteristisk for en forlygte af denne type, hvor fjernlyset dannes af en uafskærmet glødetråd i en anden position.

Nærlyset for forlygter med linseoptik har en lys/mørke grænse, som også har en omtrent vandret linje til venstre, men kun en knækformet hævnning til højre eller i hvert fald ikke et fuldt forløb med 15° hældning. Dette gælder for forlygter nr. 3, 5, 10, 12, 14, 17, 18, 27, 33, 42, 43, 44, 47, 48, 49 og 50.

Fjernlyset for forlygter med linseoptik fremkommer i de fleste tilfælde ved tilføjelse af lys fra en ekstra lygte. Det ses ved at nærlyset findes i begge billeder, og at fjernlyset adskiller sig fra nærlyset ved at have en ekstra, mere eller mindre isoleret stråle, som stammer fra den ekstra lygte. Den ekstra stråle kan i nogle tilfælde også erkendes ved at dens lysfarve adskiller sig fra nærlysets lysfarve.

Enkelte lygter med linseoptik fremkalder dog fjernlyset ved en elektromekanisk flytning af den blænde, der indgår i linseoptikken.

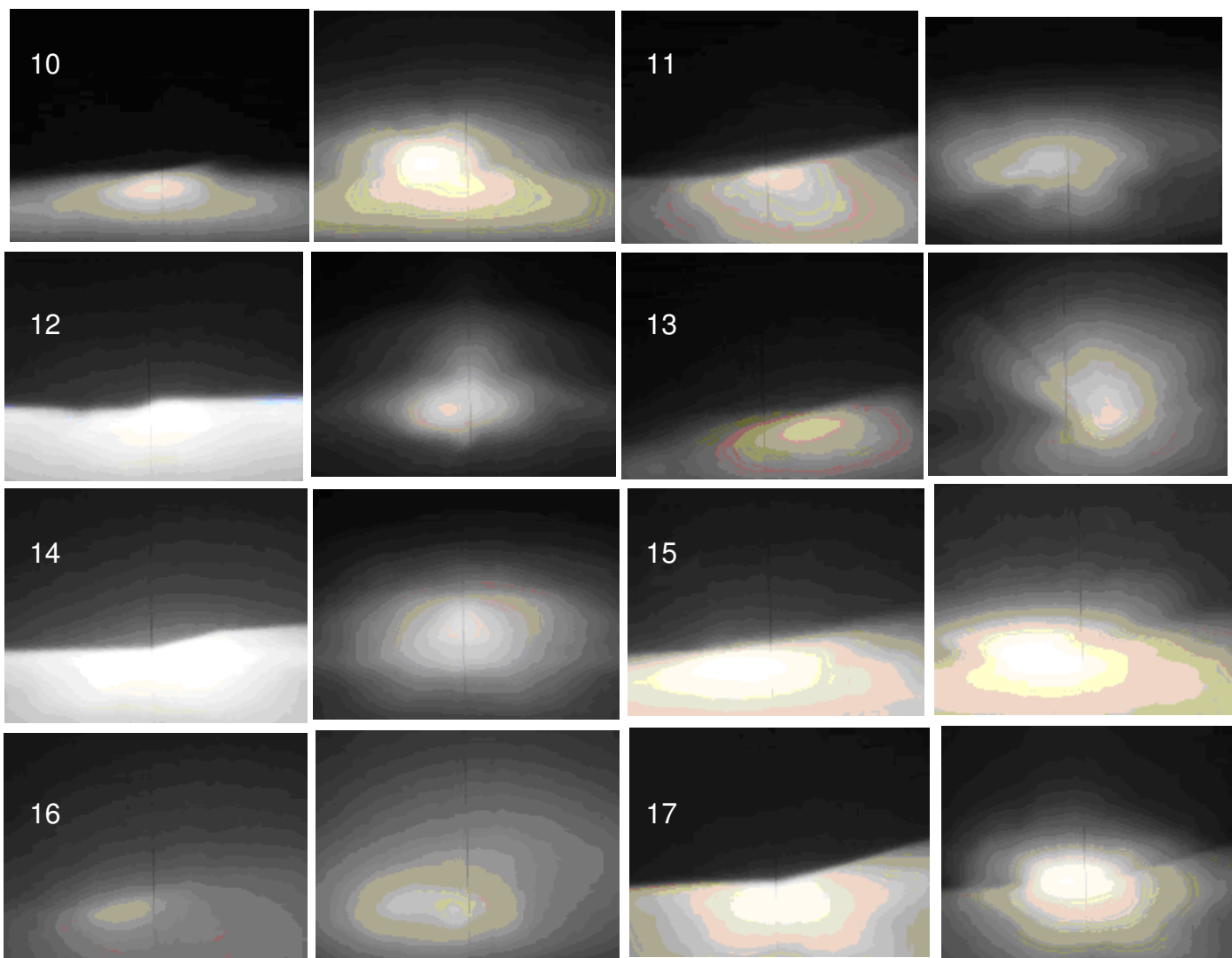
Billygter nr. 1 til 9 målt den 11. januar 2015



- 1: Peugeot Partner Tepee 2015
- 3: Nissan Qashqai 2012
- 5: Ford Avensis 2100
- 7: Ford Mondeo 1996
- 9: Fiat Bravo 2009

- 2: Hyundai I10 2015
- 4: Mercedes C205 2005
- 6: Fiat 500 2011
- 8: Ford Ka 2014

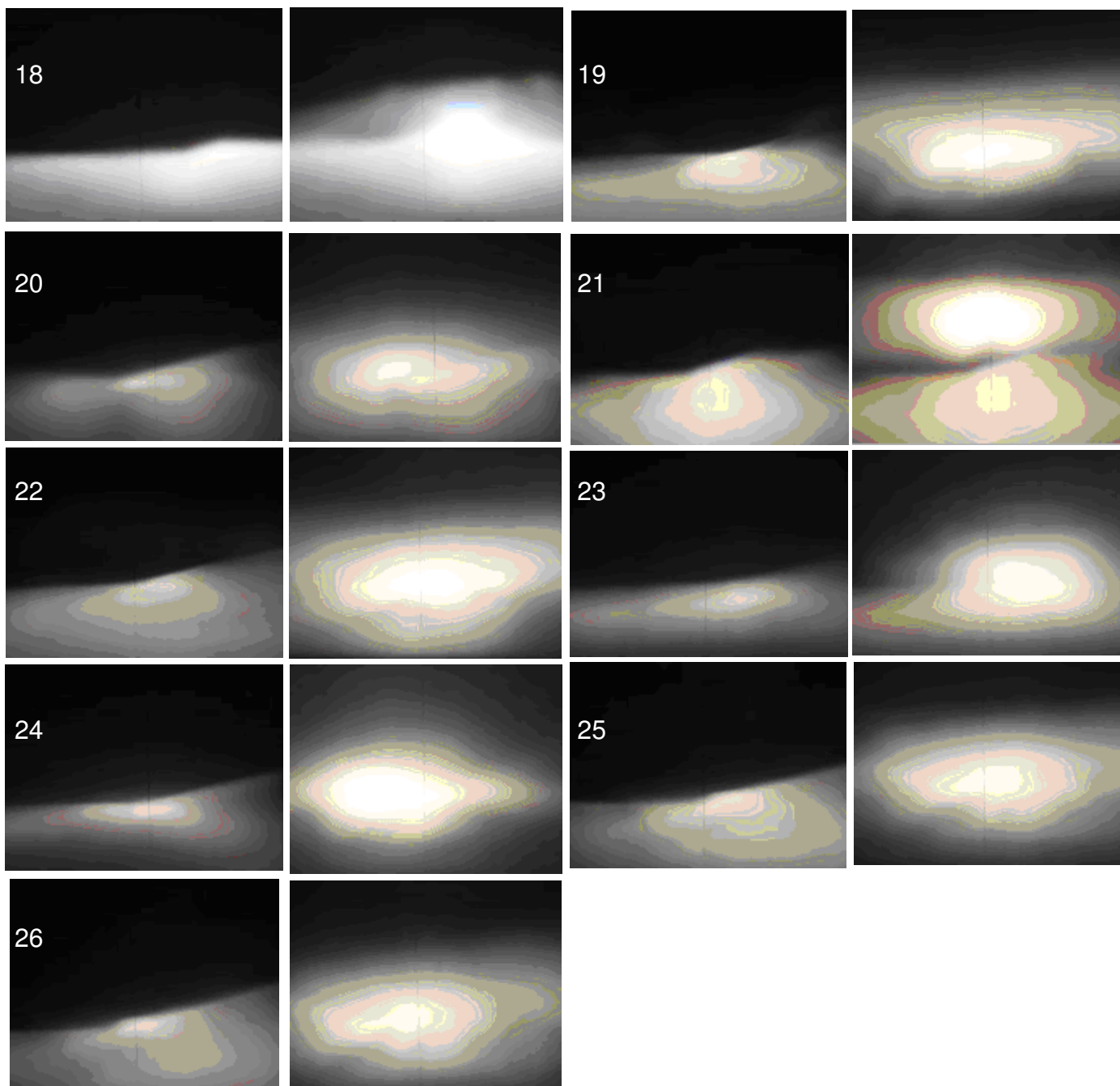
Billygter nr. 10 til 17 målt den 14. januar 2015



10: Mercedes C200 2012
12: Skoda Superb 2011
14: Volvo V60 2013
16: Toyota Yaris 2005

11: Toyota Aygo 2010
13: VW Passat 1999
15: Fiat 500 2011
17: Peugeot 407 SW 2004

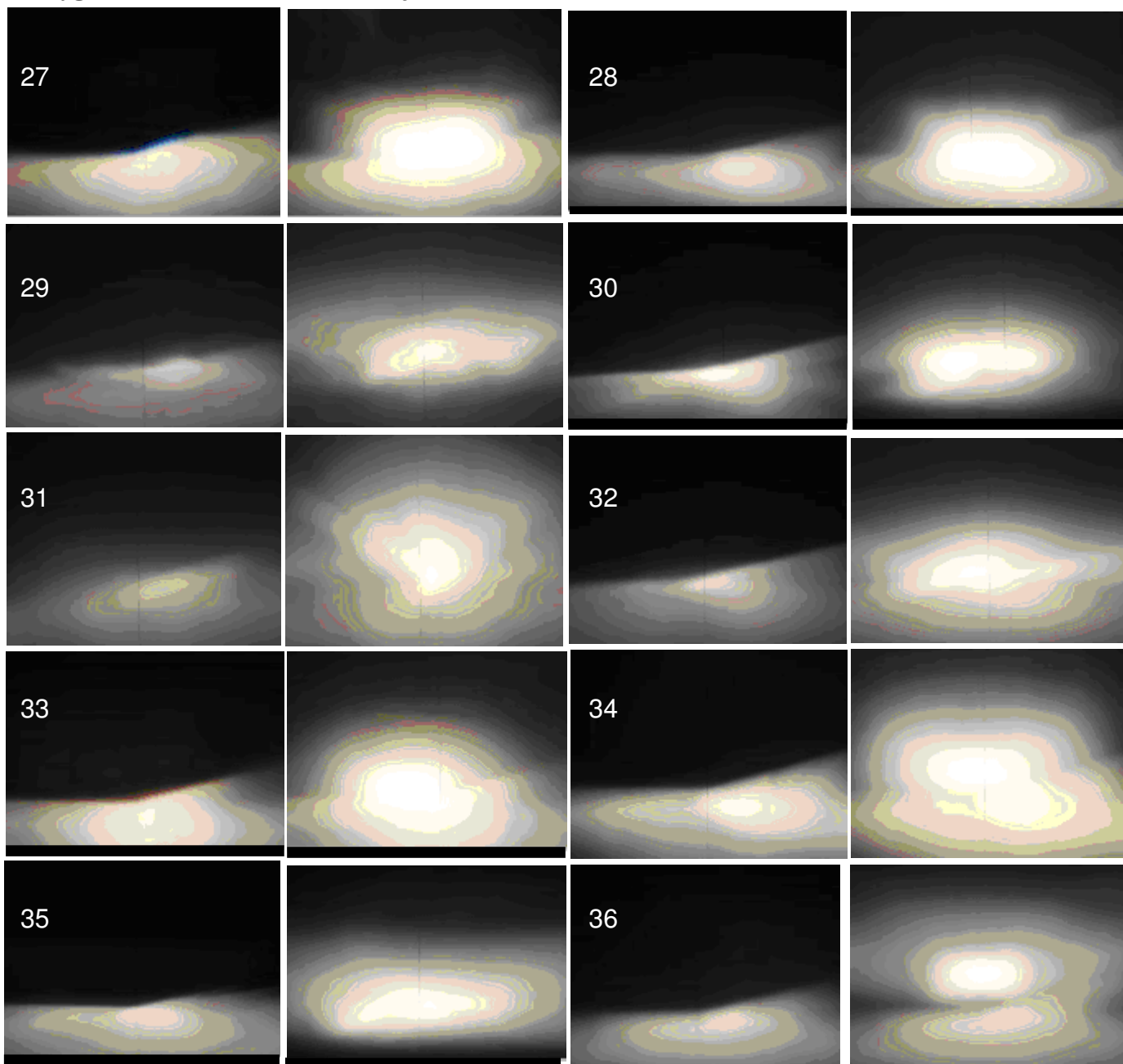
Billygter nr. 18 til 26 målt den 19. januar 2015



18: Mazda 6 Skyactiv 2014
20: Audi A4 1996
22: Skoda Citigo 2015
24: Volvo 940 1996
26: Toyota Aygo 2010

19: Honda Civic 2001
21: Peugeot 807 2004
23: Citroen C3 2012
25: Toyota Aygo 2008

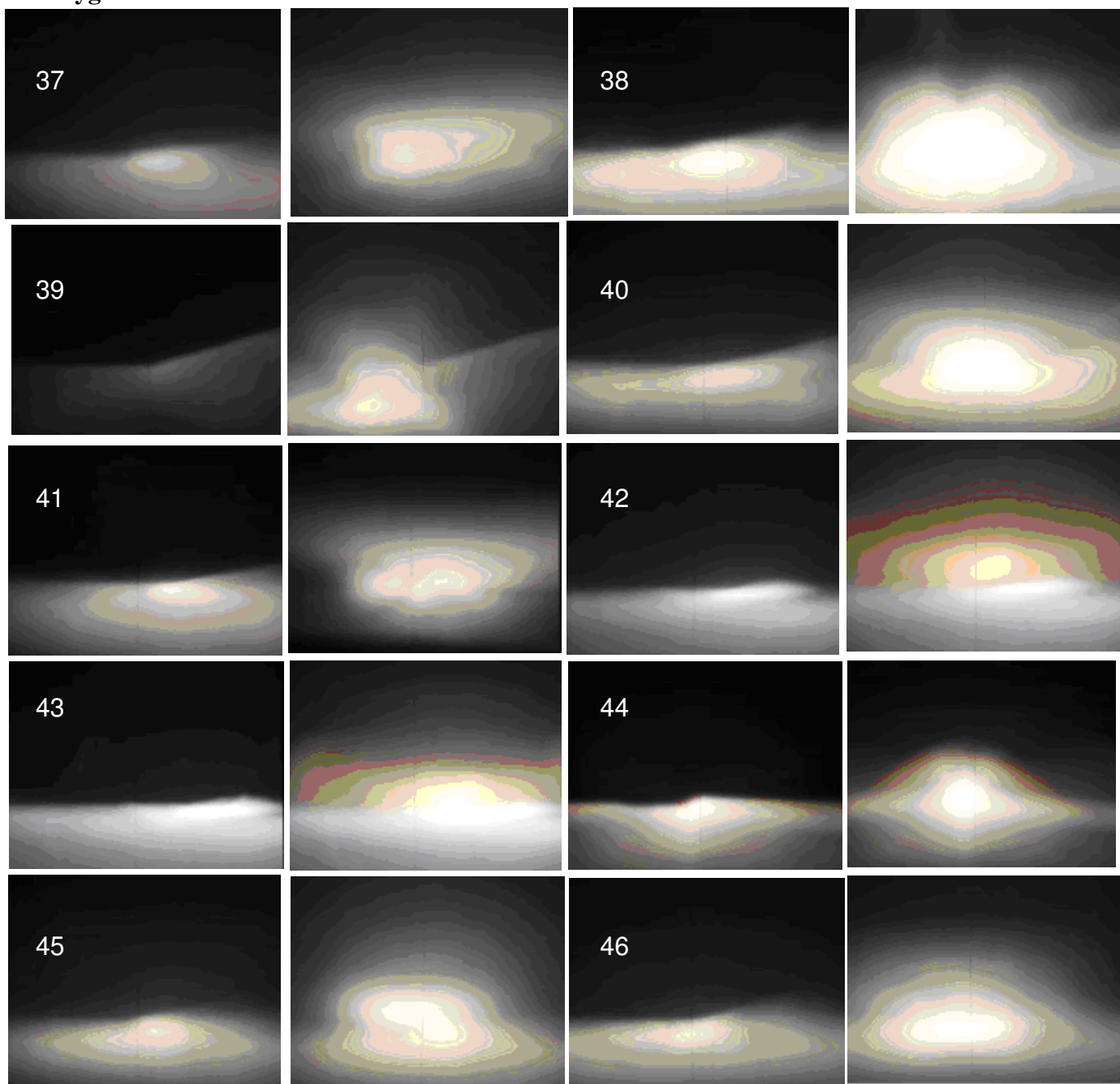
Billygter nr. 27 til 36 målt den 21. januar 2015



27: Peugeot 2014
29: VW Transporter 2006
31: VW Passat 1998
33: Kia Ceed 2011
35: Mazda 2 2007

28: VW Golf 2003
30: Saab 93 2001
32: Seat Cordoba 1998
34: Kia Venga 2011
36: Audi A4 TDI 2010

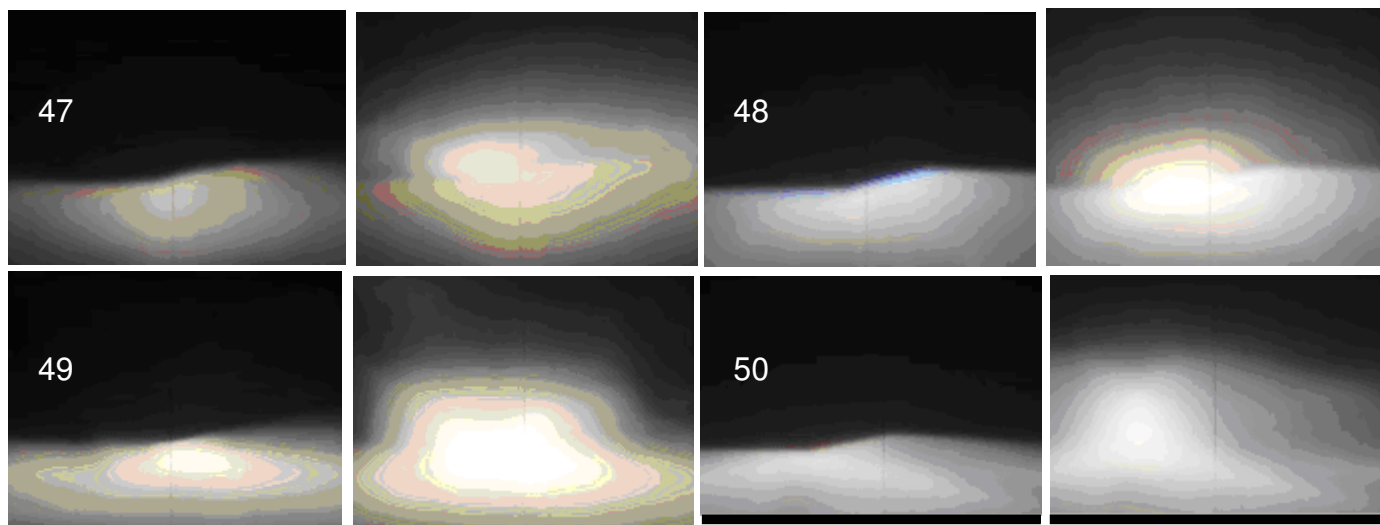
Billygter nr. 37 til 46 målt den 10. februar 2015



37: Fiat Punto 2011
39: Mazda 6 2003
41: Hyundai I20 2009
43: Mercedes 200E 2014
45: Kia Rio 2014

38: Citroen C3 2010
40: Toyota Corolla 2002
42: Mercedes 220 2015
44: Opel Insignia 2014
46: Opel Adam 2014

Billygter nr. 47 til 50 målt den 11. februar 2015



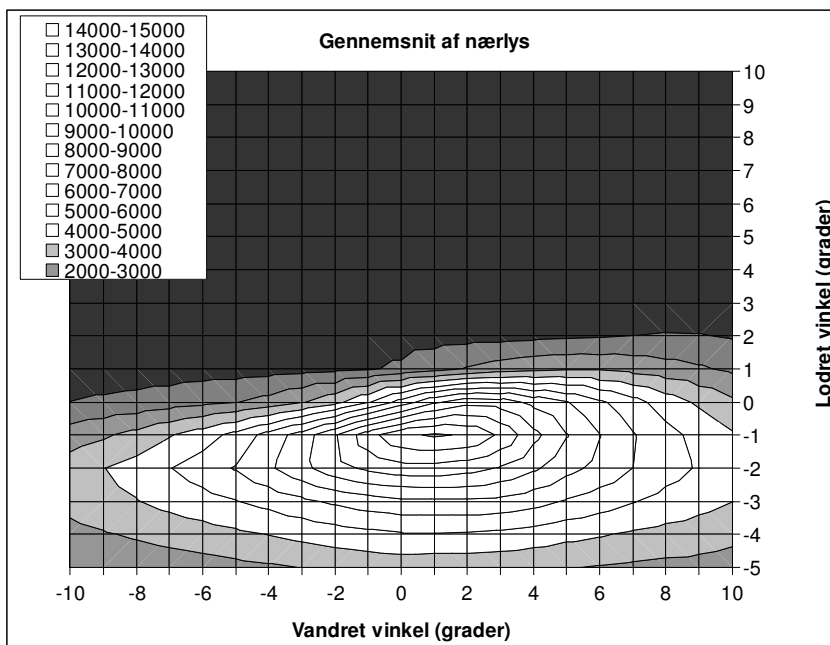
47: Renault Scenic 2014
49: Peugeot 207 2011

48: Nissan Qashqai 2011
50: VW Scirocco 2010

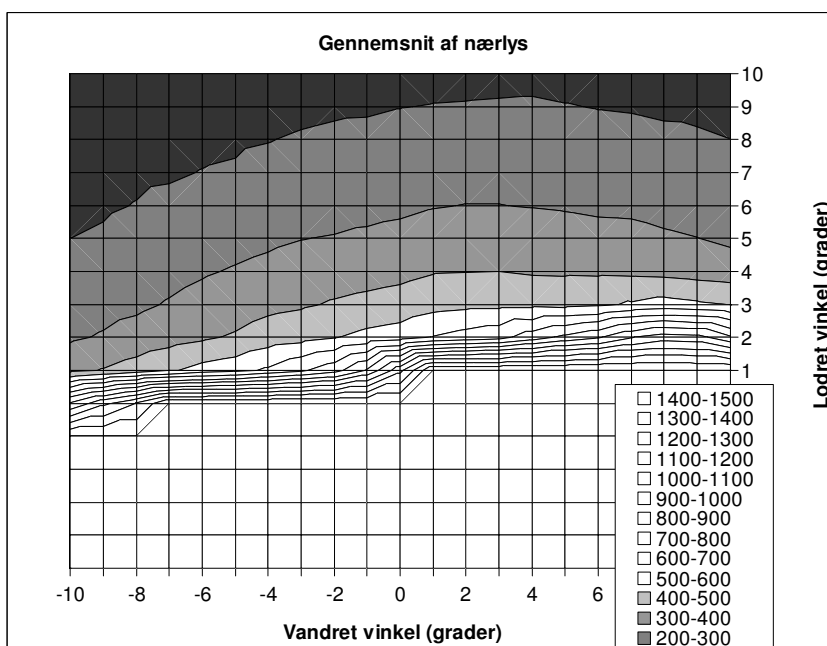
6. Gennemsnitlige lysfordelinger og fraktiler

De gennemsnitlige lysfordelinger af nærllys og fjernlys er illustrerede i diagrammer i figur 15 og 16, mens selve tabellerne findes i tabel 1 og 2.

Figur 15A: Lysstyrker i cd fra cirka 0° og nedad.

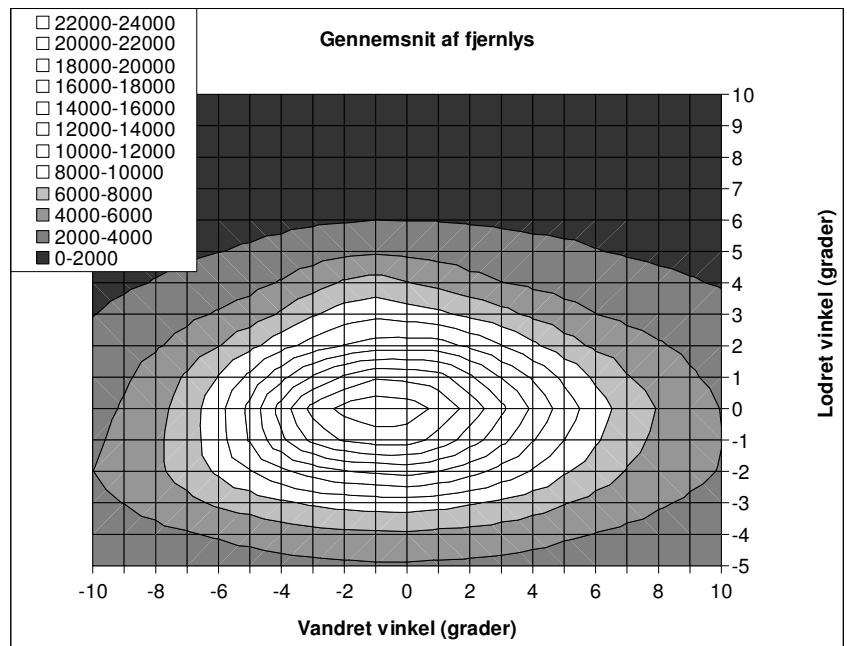


Figur 15B: Lysstyrker i cd fra cirka 0° og opad.

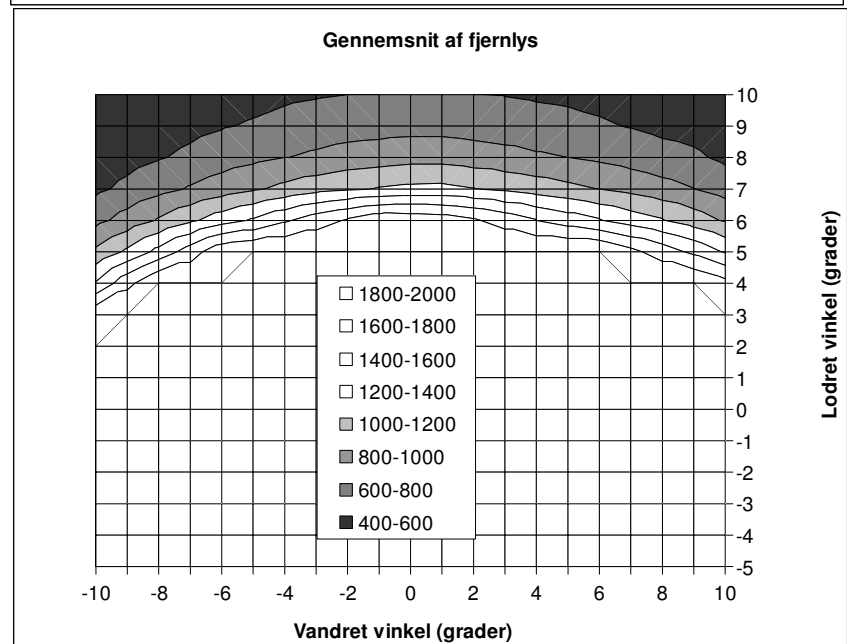


Figur 15: Gennemsnitlig lysfordeling af 50 nærllys.

Figur 16A: Lysstyrker i cd i den centrale stråle.



Figur 16B: Lysstyrker i cd uden for den centrale stråle.



Figur 16: Gennemsnitlig lysfordeling af 40 fjernlys.

Tabel 1: Gennemsnitlig lysfordeling i cd for 50 nærlys.

V/H	-10°	-9°	-8°	-7°	-6°	-5°	-4°	-3°	-2°	-1°	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
10°	127	131	137	141	148	156	162	166	170	174	176	178	179	185	185	180	176	173	169	166	157
9°	130	141	146	154	165	170	178	185	192	192	199	202	204	205	207	203	198	195	188	187	180
8°	146	159	168	174	185	192	198	206	211	216	221	226	228	234	234	227	220	221	215	208	200
7°	163	176	185	190	202	206	220	230	236	240	245	256	262	265	258	257	250	245	239	231	222
6°	180	190	202	219	228	239	246	260	268	273	281	296	302	301	296	292	284	282	272	261	252
5°	200	209	229	241	258	272	284	298	304	315	328	343	346	347	339	334	328	325	312	301	281
4°	221	238	252	272	291	307	322	341	350	362	373	395	398	400	392	388	385	379	372	360	348
3°	250	267	283	307	330	349	375	388	409	425	438	465	475	477	473	468	481	512	534	514	500
2°	286	309	335	361	385	411	446	467	494	526	547	604	638	665	749	825	884	994	1054	1037	915
1°	371	406	444	487	532	563	617	685	758	909	1169	1640	2071	2442	2711	2928	2899	2647	2388	2130	1800
0°	1017	1174	1304	1502	1741	1973	2337	2925	3700	4920	6453	7857	8684	8548	7735	7080	6197	5365	4546	3841	3172
-1°	2485	2859	3313	3923	4534	5296	6366	7493	8886	10620	11779	12132	11886	10801	9284	8050	7036	6068	5337	4684	4113
-2°	3498	3971	4413	4964	5500	6077	6837	7728	8603	9212	9605	9619	9401	8895	8173	7311	6699	5996	5406	4891	4400
-3°	3296	3643	3948	4303	4624	4941	5324	5747	6162	6514	6749	6812	6818	6676	6351	5879	5474	5034	4679	4354	4007
-4°	2706	2918	3124	3360	3572	3796	4030	4278	4519	4712	4900	4907	4863	4773	4577	4287	4092	3855	3676	3499	3269
-5°	2050	2171	2296	2415	2539	2728	2853	3021	3159	3295	3363	3347	3313	3222	3151	3045	2938	2816	2710	2666	2514

Tabel 2: Gennemsnitlig lysfordeling for 40 fjernlys.

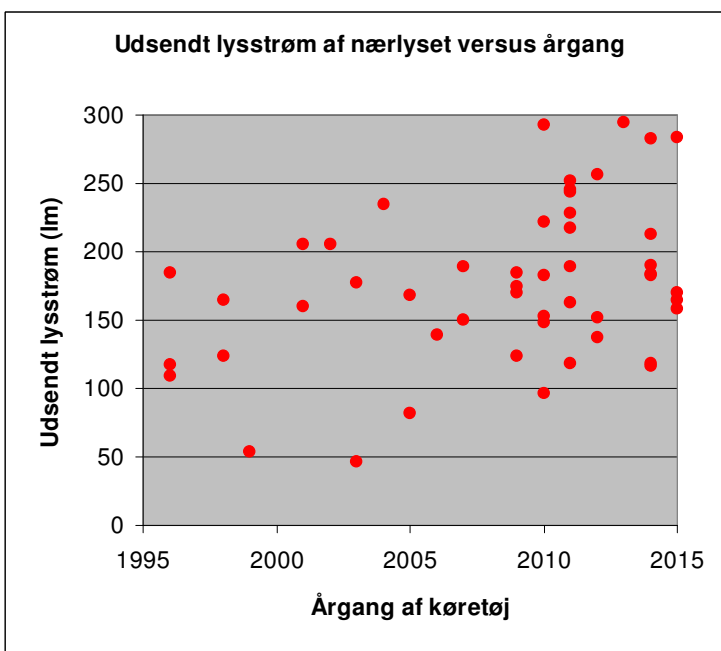
V/H	-10°	-9°	-8°	-7°	-6°	-5°	-4°	-3°	-2°	-1°	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
10°	370	408	437	467	503	529	567	584	596	610	611	616	602	593	576	562	537	502	479	463	408
9°	408	461	497	543	585	620	655	685	711	727	738	735	717	693	670	650	625	588	551	527	469
8°	462	528	583	643	704	750	794	833	879	897	922	921	893	866	827	799	760	715	671	633	561
7°	557	651	734	818	899	971	1046	1118	1168	1210	1249	1249	1207	1157	1102	1047	996	933	868	803	713
6°	740	880	1019	1162	1309	1425	1573	1708	1820	1952	1935	1918	1825	1722	1600	1509	1414	1301	1210	1101	977
5°	1039	1234	1462	1699	1953	2210	2511	2981	3446	3629	3485	3222	2934	2691	2478	2297	2051	1852	1710	1553	1377
4°	1421	1738	2077	2426	2812	3329	4136	5098	6227	6695	6062	5403	4605	4038	3565	3204	2858	2556	2337	2120	1875
3°	1947	2412	2921	3504	4174	4911	6212	7726	8938	9460	8938	8395	7482	6609	5535	4664	4007	3536	3141	2805	2474
2°	2485	3094	3784	4678	5909	7372	9188	10818	12089	12740	12946	12876	11567	10039	8350	6816	5625	4795	4189	3593	3084
1°	2904	3706	4783	6245	8078	10451	13351	16208	18268	19697	19458	18811	16326	13845	11744	9553	7635	6113	5064	4204	3513
0°	3260	4212	5361	6884	9272	12521	16822	20666	22654	23355	22975	21553	19235	16447	13637	11021	8884	7203	5876	4827	3936
-1°	3656	4503	5636	7022	9189	12185	15580	18532	20246	21059	21005	19300	17042	14585	12138	10012	8232	6637	5567	4720	4042
-2°	3987	4826	5596	6847	8335	9869	11545	12946	13910	14379	14773	14017	12731	11294	9838	8218	7005	5906	5128	4460	3893
-3°	3418	4052	4689	5454	6336	6900	7650	8329	8745	8942	9072	8776	8237	7605	6909	6113	5411	4749	4212	3751	3347
-4°	2696	3132	3460	3834	4226	4611	4974	5308	5533	5628	5695	5498	5308	5071	4713	4271	3947	3609	3326	3032	2772
-5°	2046	2313	2513	2713	2957	3159	3383	3510	3703	3792	3809	3681	3633	3485	3270	3079	2890	2728	2572	2435	2288

Med henblik på at afgøre om der er sket en gradvis ændring af forlygternes lysudsendelse på grund af teknisk udvikling eller andre forhold vises den udsendte lysstrøm som en funktion af køretøjernes årgang i figur 17 og 18 for henholdsvis nærlyset og fjernlyset.

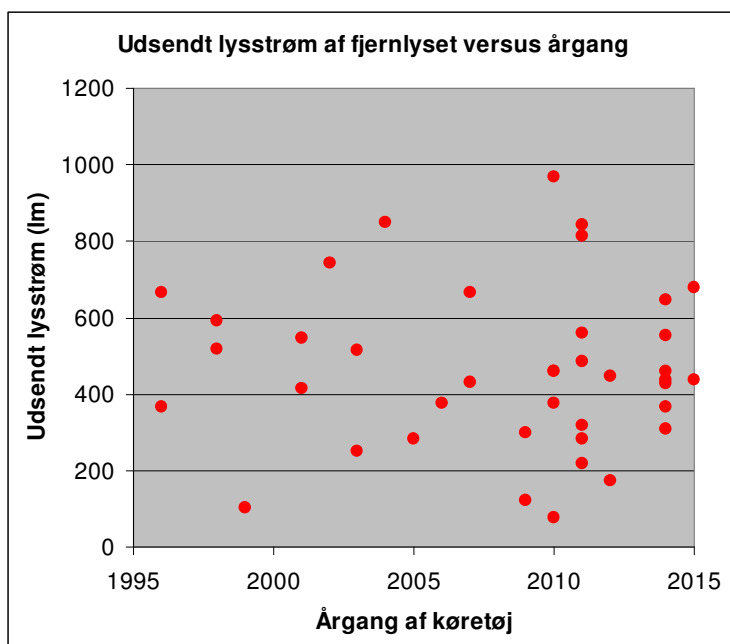
Den udsendte lysstrøm omfatter vinkelrummet i vandret retning på $\pm 10^\circ$ og vinkelrummet i lodret retning fra -3° til 10° . Der ses bort fra vinkelrummet i lodret retning fra -5° til -3° , fordi det ikke dækkes af alle lysfordelinger.

Figur 17 antyder måske en gradvis vækst for nærlysets vedkommende, mens figur 18 ikke synes at vise nogen vækst for fjernlysets vedkommende. Der kan ikke klart påvises nogen forøgelse, men det skyldes muligvis at større biler holder længere end små biler, og at køretøjer af ældre årgange fra starten kan have ligget over gennemsnittet.

Figur 17: Udsendt lysstrøm af nærlyset versus køretøjernes årgang.



Figur 18: Udsendt lysstrøm af fjernlyset versus køretøjernes årgang.



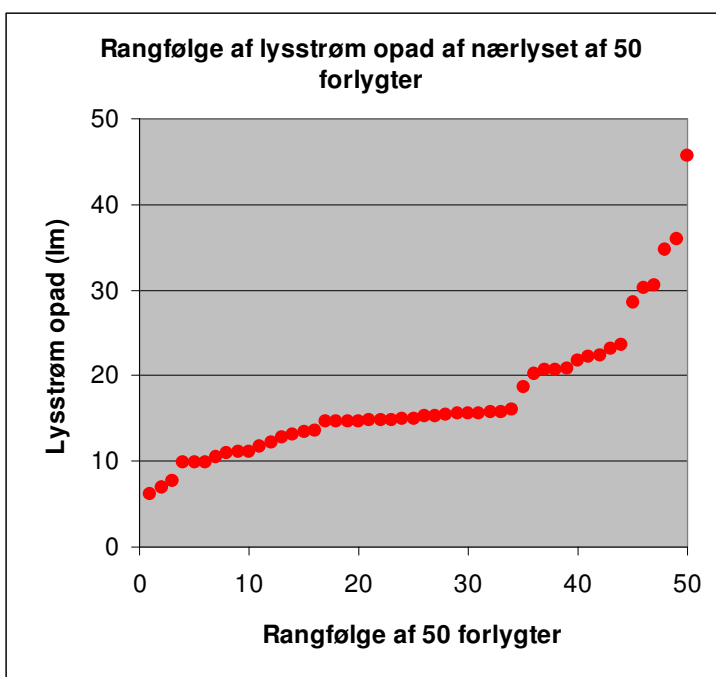
Tanken med at opstille gennemsnitlige lysfordelinger er at lade disse repræsentere køretøjers forlygter ved almindelige betragtninger over læsbarhed af vejtavler og synlighed af vejstriber. Det bør dog tages i betragtning at der er behov for at lade sådanne betragtninger omfatte forlygter med en lavere lysudsendelse end gennemsnittet.

Derfor er nærlýsets lysstrøm for de 50 forlygter vist i rangfølge i figur 19 og 20.

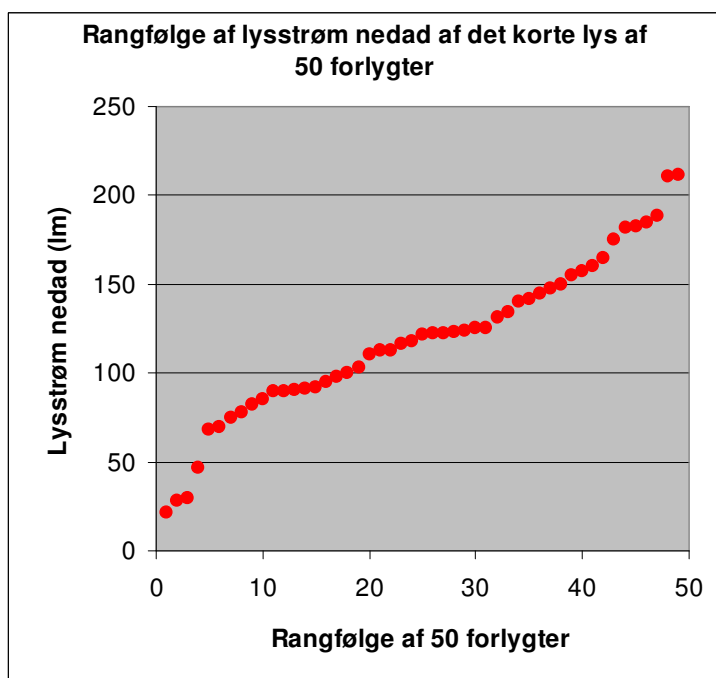
Figur 19 angår den lysstrøm, som udsendes i opadgående retninger, og er relevant for belysning af vejtavler. Denne lysstrøm opsummeres i vinkelrummet i vandret retning på $\pm 10^\circ$ og i vinkelrummet i lodret retning fra 2° til 10° . Der ses bort fra vinkelrummet i lodret retning fra 0° til 2° , hvor lysfordelingerne har vidt forskellig lysudsendelse.

Figur 20 angår den lysstrøm, som udsendes i nedadgående retninger, og er relevant for belysning af vejstriber. Denne lysstrøm opsummeres i vinkelrummet i vandret retning på $\pm 10^\circ$ og i vinkelrummet i lodret retning fra 0° til -3° .

Figur 19: Rangfølge af lysstrøm i opadgående retninger af nærlýset af 50 forlygter.



Figur 20: Rangfølge af lysstrøm i nedadgående retninger af nærlýset af 50 forlygter.



I figur 19 svarer nr. 13 med en lysstrøm opad på 12,8 lm til en 25% fraktil. Denne lysstrøm er 0,74 gange lysstrømmen opad for den gennemsnitlige lysfordeling, som er 17,3 lm. Tanken er at den gennemsnitlige lysfordeling efter omproportionering med en faktor 0,74 kan repræsentere alle forlygters lysudsendelse opad, bortset fra de 25% svageste.

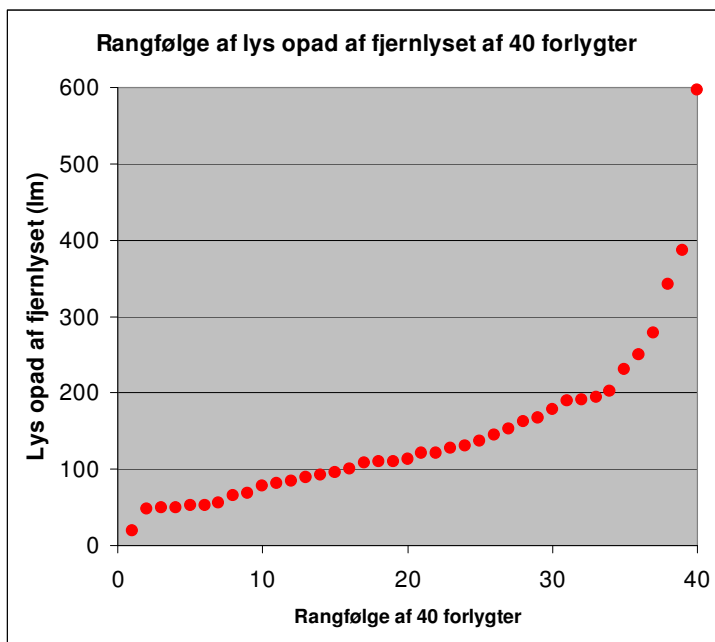
På tilsvarende måde udledes faktorer på 0,88 og 1,19 for henholdsvis 50% og 75% fraktiler.

For lysstrømmen nedad bliver faktorerne 0,61; 1,01 og 1,23 for henholdsvis 25%, 50% og 75% fraktiler. Men i stedet for at der bruges forskellige faktorer for lysstrømme opad og nedad, foreslås at de gennemsnitlige faktorer benyttes for begge lysstrømme. Disse faktorer er 0,67; 0,95 og 1,21 for henholdsvis 25%, 50% og 75% fraktiler.

NOTE: Den CEN 1997 lysfordeling, der ligger til grund for danske krav til retroreflekterende vejtaflefolier typer 3, 4 og 5 har en lysstrøm opad, som er cirka 0,59 gange værdien for den gennemsnitlige lysfordeling. Dette svarer til en cirka 20% fraktil.

På samme måde udledes faktorerne 0,52; 0,76 og 1,20 for henholdsvis 25%, 50% og 75% fraktiler for fjernlyset. Rangfølgerne for fjernlysets lysstrømme opad og nedad er vist i figur 21 og 22.

Figur 21: Rangfølge af lysstrøm i opadgående retninger af fjernlyset af 40 forlygter.



Figur 22: Rangfølge af lysstrøm i nedadgående retninger af fjernlyset af 40 forlygter.

