

Karakterisering og Profilering av Projektorer

Characterization and Profiling of Projector Displays

Monica Strand



Examensarbete
Medieteknik
Kungliga tekniska högskolan



Masteroppgave
Master i teknologi, medieteknikk
Høgskolen i Gjøvik, juni 2004

Forord

Denne masteroppgaverapporten i medieteknikk er utført ved Institutt for informatikk og medieteknikk ved Høgskolen i Gjøvik. Mastergradsstudiet i medieteknikk tilbys i samarbeid med KTH, og denne rapporten er derfor også å betrakte som en KTH-eksamensrapport i Medieteknikk och grafisk produktion. Masteroppgaven har vært utført i samarbeid med Fargelaben ved Høgskolen i Gjøvik. Formålet med oppgaven har vært å finne den kvalitative tilstanden til en bedrifts eller institusjons projektorpark. I tillegg har metoder for å forbedre det visuelle inntrykket av det projisert bilde blitt vurdert.

Under arbeidet med oppgaven har jeg fått uvurderlig hjelp av Dr. Jon Yngve Hardeberg og PhD. student Peter Nussbaum og jeg ønsker å rette en stor takk til disse. I tillegg vil jeg også takke Pr. Rune Hjelsvold for oppmuntring og veiledning under arbeidsprosessen.

For velvillig utlån av projektorer ønsker jeg å rette en takk til President Jørn Eriksen ved Projectiondesign i Fredrikstad, administrasjonene ved skolen og skolens bibliotek.

Ellers ønsker jeg å takke vaktmestrene og IT-tjenesten for deres behjelpelighet med å få på plass utstyr til eksperimentene.

Sammendrag

Dette er en analyse av hvordan digitale projektorer fungerer i ulike lysforhold og omgivelser. Både de bærbare og de fastmonterte projektorene ved Høgskolen i Gjøvik har blitt testet under fire ulike forhold: mørkt og lyst rom med og uten ICC-profil. Måleresultatene ble bearbeidet og analysert for å prøve å finne ut mer om hvor stor betydning lysforholdene i et rom har og hvor stort forbedringspotensiale det ligger i bruk av profil. Profilen ble laget ved hjelp av profileringsverktøyet Eye-One Beamer. Eye-One har en mye lavere pris enn for eksempel spektroradiometer som har vært vanlig å bruke når denne typen profiler skulle lages.

Resultatene fra analysene viste at det var store visuelle forskjeller mellom de ulike projektorene. DLP-projektorer har generelt et mindre fargeomfang enn LCD-projektorer har. Fargeomfanget til eldre projektorer er betydelig mindre enn for nyere. Hvor mye lys som faller på lerretet fra andre lyskilder i rommet har mye å si for det visuelle inntrykket. Lyses lerretet opp virker det projiserte bildet bløtt og kontrastløst. Ved bruk av profil blir forskjellen mellom de ulike projektorene mindre og visuelt virker det som fargene blir mer riktige. Fargen blå vises med størst variasjon på de forskjellige projektorene og vil være vanskeligst å forutsi. Rød og grønn har grovt sett det samme fargeomfanget, men grønn er den mest stabile.

Abstract

This is an analysis of how digital projector displays work under different conditions and lightning. Both the portable and the mounted projectors at Gjøvik University College have been tested under four different conditions: dark and light room with and without an ICC-profile. To find out more about the importance of the lightning conditions in a room and the level of improvement when using an ICC-profile, the results from the measuring was processed and analyzed. Eye-One Beamer was used to make the profile. Eye-One is a low cost product compared to spectroradiometers, which is commonly used when creating a profile for various equipments.

The results from the analysis indicated great visual differences between the projectors. DLP projectors have generally smaller color gamut than LCD projectors. The color gamuts of older projectors are significantly smaller than that of newer ones. The amount of ambient light reaching the canvas is of great importance for the visual impression. If too much reflections and other ambient light reach the canvas, the projected image gets pale and has low contrast. When using a profile, the differences in colors between the projectors gets smaller and the colors appears more correct. The color blue has the greatest variations among the projector displays and makes it harder to predict. Red and green have generally the same color gamut, but green is the most stable one.

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	3
Abstract	3
Innholdsfortegnelse	4
1 Innledning	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Problemstilling	5
1.3 Agenda.....	6
2 Teori og bakgrunn	8
2.1 Fargesyn.....	8
2.2 Måling av farger.....	9
2.3 Fargemodeller	11
2.4 Projektors displayteknologi	12
2.5 Kalibrering og profilering	16
2.6 Tidligere arbeider	17
3 Projektorforhold og eksperimentoppsett	20
3.1 Generelt om HiG, auditoriene og projektorene	20
3.2 Eksperimentoppsett.....	21
4 Sammenligning av projektorene	29
4.1 De fastmonterte projektorene	29
4.2 De bærbare projektorene	30
4.3 Diskusjon rundt de forskjellige projektorene.....	31
5 Sammenligning av projektorene i lyst og mørkt rom	37
5.1 Vurdering av forskjellene mellom lyst og mørkt rom	37
5.2 Diskusjon lyst og mørkt rom	43
6 Sammenligning av projektorene med og uten profil	45
6.1 Vurdering av projektorene med og uten profil.....	45
6.2 Windows Color Quality	51
7 Konklusjon og videre arbeid	53
Referanser	55
Figurliste	57
Tabelliste	59
Vedlegg A – Individuell projektevaluering	60
A.1 De fastmonterte projektorene	60
A.2 De bærbare projektorene	74

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Mange har erfart at ulike farge-/bildevisningsutstyr reproducerer farger forskjellig. Forskjellene er tydeligst hvis man for eksempel sammenligner skrivere og skjermer, men det er også store forskjeller når det gjelder like typer utstyr. To projektorer viser gjerne ikke nøyaktig det samme, selv ikke fra samme leverandør, av samme merke eller fra samme produksjon. Forskjellene kan komme av blant annet ulike typer lamper, hvor lang levetiden en lampe har hatt, ulike typer lerret, lerretets plassering i rommet eller hvordan selve rommet er opplyst.

Projektorer har oftest blitt brukt til presentasjoner og da gjerne i bedrifts- og undervisningssammenheng. Forbedret lysstyrke, fargekvalitet og fargestabilitet har gjort at denne typen utstyr stadig vinner terreng som visningsmedium. Dette vil mest sannsynlig gjøre at disse i overskuelig fremtid vil avløse analoge filmframvisere i de fleste sammenhenger – også til kinodrift. En bærbar projektor blir gjerne tatt med i forskjellige klasserom, konferanserom, møterom og andre steder det er vanlig å kjøre presentasjoner. Lysforholdene kan være varierende og mange av de aktuelle rommene er ikke tilrettelagt med tanke på innfallslys og reflekterende elementer. Det er velkjent at lys som faller rett på lerretet gjør det vanskelig for projektoren å vise klare og fargemettede bilder. Et projisert bilde på et lerret dannes ved at lys med forskjellige bølgelengder sendes mot lerretet. Når det i tillegg kommer lys inn fra andre lyskilder vil dette ødelegge bildet. Mørke rom med lite refleksjon fra andre objekter vil dermed gi de beste forutsetninger, men i presentasjonshenseende er dette sjelden praktisk. I mørke rom vil mulighetene for å ta notater eller å tydelig kunne se den eller de som holder presentasjonen være dårlig.

Den store økningen i bruk av projeksjonsfremvisere gjør fargestyring på ulike typer projektorer til et viktig tema. Det må etableres konsistente og standardiserte karakteriseringsmodeller for at bildekvaliteten, og da spesielt evnen til å reproducere farger, blir best mulig på hele det projiserte bildet.

En videoprojektor viser bilder på lerret ved hjelp av lamper og optikk. Systemet baserer seg typisk på enten LCD (Liquid Crystal Display) eller DLP (Digital Light Processing) teknologi. For å kunne oppnå en konsistent reproduksjon av farger er det nødvendig å utføre en form for korleksjon i hver enkelt projektor. En av måtene konsistente farger kan oppnås på er å tilpasse visningsmediene til hverandres muligheter til å vise de samme fargene. En god fargefremtoningsmodell (eng. Color Appearance Model) tar blant annet hensyn til øyets tilpasning til bakgrunn, bakgrunnssynsfeltet og omliggende omgivelser.

1.2 Problemstilling

IEC (The International Electrotechnical Commission) har jobbet med å standardisere karakteriseringen av projeksjonssystemer, men det har vært liten fremgang siden utgivelsen av et tidlig utkast i 1998. Det er derfor behov for ytterligere forskning på dette området. En Color Appearance Model (CAM) tar hensyn til de andre elementene i rommet og tilpasser det projiserte lyset ved hjelp av avansert matematisk kalkulasjon. Denne oppgaven gir grunnleggende informasjon som videre kan brukes for å kunne teste de ulike CAM-ene som finnes og gir grunnlagsdata som kan brukes til å eventuelt forbedre eller forenkle disse.

Oppgaven tar for seg tilstanden til en antatt vanlig projektorpark. Enkeltprojektorer er til dels grundig testet opp mot CAM-er, karakteristikker og eksterne forhold. Dette er gjort på relativt nye projektorer og lite forskning har

blitt gjort når det gjelder sammenligning av et større antall projektorer av varierende alder og kvalitet. Faktorene som varierer når en tar for seg en hel projektorpark er blant annet alder, modell, teknologi, romforhold og utstyrsprofil. Andre forhold som har betydning for den visuelle oppfatningen er selve projektorens evne til å vise korrekte farger med tilstrekkelig metning uansett alder, modell eller teknologi.

Følgende påstander forsøkes derfor besvart i denne rapporten:

- Det er stor forskjell på den visuelle oppfatningen under henholdsvis mørke og lyse forhold i rommet hvor projektoren blir brukt. Projektorer har generelt dårligere evne til å vise korrekte farger og har et mindre omfang av farger som kan vises når rommet er opplyst.
- Det er mulig å forbedre det visuelle inntrykket til et projisert bilde om man benytter en profil til å korrigere fargene som blir vist. Denne profilen bør helst lages under mørke forhold. Det er heller ikke nødvendig å bruke tungt og dyrt utstyr for å lage profilen siden det finnes rimelige løsninger som gir gode visuelle resultater.
- Projektorteknologi og alder har mye å si for kvaliteten på projektorer og hvor stort forbedringspotensial de har. Det er noen farger det er lettere å reproducere enn andre og noen kombinasjoner av farger det er uheldig å bruke i projeksjonssammenheng.

Resultatene fra eksperimentene og analysene vil kunne være nyttig for forskjellige grupper. Internt på Høgskolen i Gjøvik vil resultatene kunne gi svar på tilstanden projektorparken er i og hvor det eventuelt må legges inn ressurser. For andre institusjoner eller organisasjoner vil det kunne være en fordel å kunne sammenligne seg med en annen projektorpark for å kunne måle deres egen standard opp mot HiG's. I tillegg vil rapporten kunne gi beskrivelse av metoder som kan brukes under evaluering av projektorparker. Produsentene av projektorer vil kunne ha nytte av rapporten siden den beskriver projektorene i praktisk bruk. Dessuten kan rapporten være nyttig for produsentene av måleutstyr som en kundetilbakemelding. Ellers vil forskere innen fagfeltet fargevitenskap, og da spesielt rettet mot projektorer, kunne bruke resultatene som grunnlag for videre forskning innenfor karakterisering og profilering av projektorer.

1.3 Agenda

Denne rapporten er bygd opp slik at etter innledningen i kapittel 1 blir nødvendig bakgrunnsteori og referanser til andres arbeider presentert i kapittel 2. Deretter presenteres forholdene hvor de aktuelle projektorene brukes i kapittel 3. Projektorene og romforholdene presenteres så med hovedvekt på egenskapene som kan vurderes opp mot kvaliteten på projektoren i kapittel 3.2. Mer detaljert informasjon om hvert rom og de ulike projektorene er å finne i Vedlegg A sammen med bakgrunnsdata brukt i analysene.

De ulike projektorene sammenlignes deretter opp mot gjennomsnittet av måledataene i kapittel 4. Etter å ha gitt et bilde av den generelle tilstanden på projektorparken tar rapporten for seg forskjellene fra mørkt og lyst rom og forskjellene med og uten profil i kapitlene 5 og 6. Resultatene vises ved hjelp av diagrammer og figurer. Resultatene diskuteres og en konklusjon presenteres så i kapittel 7. Hvordan dette arbeidet kan gjøres videre og aktuelle elementer som har kommet frem under arbeidet skisseres så til slutt i dette siste kapitlet.

Bakerst i rapporten finnes figur- og tabellister sammen med referanser til andres arbeider som er aktuelle for denne oppgaven.

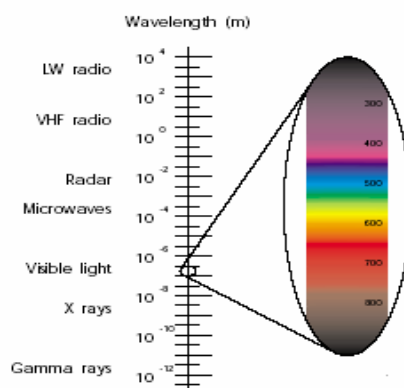
Bakgrunns materialet i form av måledata, utregninger og diagrammer ble så omfattende at de ikke følger med rapporten. Disse vil ligge tilgjengelig på <http://slahan.com/diplom>. For spørsmål eller kommentarer kan forfatteren kontaktes på monica@slahan.com.

2 Teori og bakgrunn

I dette kapittelet presenteres først teori som ikke er allment kjent, men som er nødvendig for å få en forståelse av arbeidet. Relevant arbeid andre har utført innenfor dette fagfeltet presenteres så for å gi et bilde av hvor forskningsfronten står i dag.

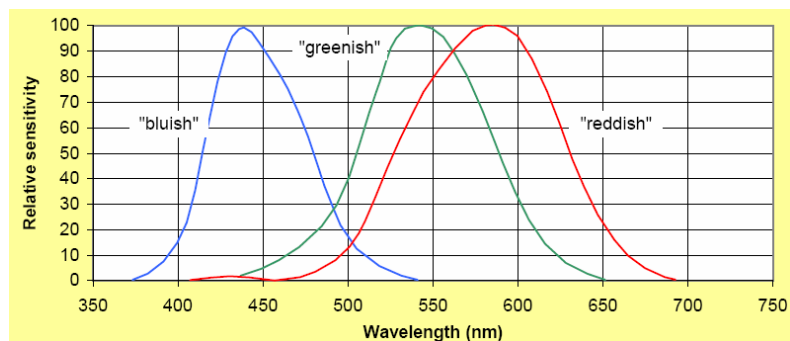
2.1 Fargesyn

Kunnskap om hvordan øyet oppfatter og prosesserer fargeinntrykk er grunnleggende for å forstå bakgrunnen for de ulike fargestyringsmekanismene. For at man skal kunne oppfatte farger er det tre elementer som må være til stede: en lyskilde, et objekt og en observatør [1]. Det synlige strålingsspekteret av lys er som Figur 1 viser mellom 400 og 700 nm [2].



Figur 1: Lys er elektromagnetisk energi. [2]

Bakerst i øyet finner vi retina. Her fanges lyset opp av fotoreseptorer som gjør om lysenergi til elektrisk energi. Fotoreseptorene er konsentrert på et lite område av retina som kalles fovea. Vår evne til å se detaljer og farger er mye bedre her enn i andre deler av retina. Fovea har en vinkel på cirka 2° motstående til det visuelle feltet. Det er to typer reseptorer. Disse kalles staver og tapper. Stavene er bare aktive ved lave lysnivåer og det er flest av dem er i utkanten av synsfeltet. Tappene er de reseptorene som gir oss fargesyn og de er konsentrert i fovea. Det er tre typer tapper som er følsomme for hver sin bølgelengde av lys: lange, middels og korte. Ved lange bølgelengder oppfatter vi fargen rød, middels gir oss grønn og de korteste viser fargen blå.



Figur 2: Menneskets fargesyn. [3]

Hvor lett vi oppfatter de ulike fargene avhenger av hvor stort bølgelengdeområde de ulike tappene er følsomme for. Som Figur 2 viser, er det minste området blått og det største grønt. Vi oppfatter derfor lettest fargen grønn og har vanskeligere for å sjeldne blå. Derimot har vi større evne til å sjeldne mellom forskjellige blåfarger enn de andre to.

2.2 Måling av farger

Som for den visuelle fargeoppfatningsprosessen krever også instrumentelle fargemålingsprosesser de tre elementene lyskilde, objekt og observatør for å matematisk kunne beskrive farger. Instrumentene som brukes måler de reflekterte bølgelengdene fra objektet eller lyskilden og gir spektrale måldata.

2.2.1 Luminans

Luminans er et mål for den mengde lys en flate sender ut. Luminansen avhenger av hvor mye lys overflater mottar og hvor mye den reflekterer, noe som igjen er avhengig av farge og overflatebeskaffenhet.

Informasjon om lyst og mørkt er viktigere for vår persepsjon enn fargeinformasjon. Det er derfor viktig å ha en måling av mengden lys som reflekteres fra et objekt i motsetning til fargen på lyset.

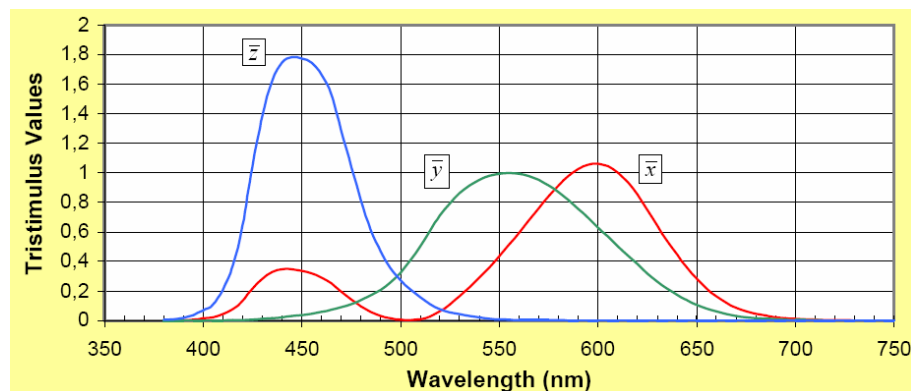
2.2.2 Tristimulus fargesammenligning

Likeverdige fargeinntrykk kan produseres ved hjelp av en blanding av kun tre farger [4]. Grunnen til dette er at øyets evne til å analysere farger er dårlig sammenlignet med andre sanseorganer. En kompleks lysstimulus blir oppfattet som en enkel følelse. Om man sammenligner med den komplekse lyden fra et konsertorkester, er det mulig å skille ut de enkelte instrumentene og for eksempel bare lytte til fiolinene. Det er derimot ikke mulig å kun være oppmerksom på de røde komponentene i for eksempel hvitt lys i en kompleks, visuell stimulus.

Fargesystemene, hvis parametere er proporsjonale med lysintensiteten kalles gjerne tristimulus. Det er ikke nødvendig å gjenskape fargespekteret eksakt for å gi en identisk opplevelse av fargene. Tre farger er nok hvis ingen er blanding av de andre, intensiteten til hver farge kan varieres og negative blandinger tillates. I noen tilfeller er det ikke mulig å få en match til en gitt farge med noen kombinasjon av de tre primærfargene, men hvis en av primærfargene legges til den gitte fargen kan en match oppnås. Dette kalles negativ blanding.

2.2.3 Standard observer

Basert på en serie sammenligningseksperimenter ble «standard observer» definert i 1931 av Committee Internationale de L'Éclairage (CIE) [4]. Dette datasettet definerer tre primærfarger for fargemålinger og tilstander for hvert bølgelengdeintervall, hvor mengden av disse primærfargene er det som trengs for å få en match med en spektralt ren farge for en observatør. Figur 3 viser en graf som beskriver matchingsfunksjonene. De tre primitivene kalles X, Y og Z.



Figur 3: CIE fargematchingsfunksjon. [3]

X, Y og Z brukt for å definere «standard observer», er imaginære farger i den forstand at de ikke sammenfaller med synlige farger. De er mye mer mettet enn virkelige farger slik at ingen farger trenger et negativt bidrag fra noen av primærfargene for å oppnå en sammenfallende farge. X er supermettet purpuraktig (blårød) rød; Y er en supermettet form av den virkelige spektrale grønn for bølgelengden 520 nm og Z er en supermettet form av den virkelige spektrale blå med en bølgelengde på 477 nm. I tillegg ble den spektrale sammenligningsfunksjonen til Y-primitiven valgt til å nøyaktig sammenfalle med lyseffektivitetskurven. Den inneholder derfor all luminansinformasjon om fargen.

For å sikre at menneskelig persepsjon ble inkludert i måleresultater som definerte parametrene måtte en standard lages for det menneskelige syn. Utgangspunktet var at alle fargene kunne oppfattes uten noen form for fargesynshemming. Det ble i tillegg tatt utgangspunkt i at farger oppfattes mest presist om den treffer fovea. Dette området avviker fra den optiske akse med omtrent 2° om fargeprøven observeres fra normal avstand. Vinkelen ble stipulert til å sammenfalle med denne vinkelen. Fordi øyet ser på mer fjerntliggende objekter med en annen observasjonsvinkel, ble en annen «standard observer» senere definert. Denne standarden er satt til 10° og gir toleranse for disse betingelsene også.

2.2.4 Utregning av tristimulus verdier

Fargen til en lyskilde er definert av mengden med X-, Y- og Z-primitiver som trengs for å finne en match [4]. For å regne ut disse blir det synlige spekteret fra 380 til 730 nm delt inn et antall bølgelengdeintervall og intensiteten til målingene av et testbilde i hvert intervall for å lage et spektrum. Et intervall på 10 nm er vanlig å bruke. Høyden for hver primitiv blir etter tur multiplisert.

I praksis blir prosessen med å måle spekteret gjort automatisk av et spektroradiometer.

2.2.5 Adaptasjon

Det visuelle inntrykket av en overflate varierer noe når det blir sett på under ulike lyskilder, men vi oppfatter det fortsatt som hvitt selv om de målte spektrene og tristimulusverdiene varierer betydelig. Dette fenomenet kalles fargekonstanthet og krever kompleks visuell prosessering i hjernen som prøver å korrigere for langsomme endringer i det samlede lysnivået og kvaliteten. Dette avhenger av den generelle forfatningen til adaptasjonen til øyet. Vi adapterer til den «hvite» fargen og karakteriserer de andre fargene ut derfra.

Det er også forskjell på objektfarger og utstrålende farger. For å forstå forskjellene opp mot adaptasjon kan man se for seg en stor gul firkant på en pc-skjerm. Man

ville da oppfattet fargen som gul. Så kan man tenke seg at et hvitt ark blir opplyst av det samme gule lyset. Selv om det er den samme gulfargen som treffer øynene vil man oppfatte arket som hvitt fordi man intuitivt vil forstå at den gule fargen skyldes lyset og man kompenserer dermed automatisk.

2.2.6 Hvitpunktet

Hvitpunkt er det resultatet som vises på lerretet når rød, grønn blå vises samtidig med full intensitet [12]. For å kompensere for problemet med adaptasjon er det vanlig å definere et hvitpunkt. Det er fargen som under disse omstendigheter er akseptert som hvit. For farger som projiseres er dette en av de «hvite» lyskildene. Hvit er definert som fargen man får når man setter rød (R), grønn (G) og blå (B) til maksimale verdier. Hvitpunktet til en pc-skjerm er vanligvis blålig med en fargetemperatur på 8000 K – 9500 K. Dagslys er i området 5000 K til 6500 K og halogenlamper ligger mellom 2600 K og 4200 K. Med bakgrunn i dette er det definert idealiserte standard illuminanter. For projektorer er det mest vanlig å bruke D65 som tilsvarer dagslys på 6500 K. For grafisk industri er D50 (5000 K) mest vanlig.

2.3 Fargemodeller

Gitt kompleksiteten av fargepersepsjon er det nyttig å kunne definere en forenklet, abstrakt metode ved å konsist spesifisere farger med et lite antall parametere [4]. Det brukes vanligvis tre parametere, som regel primærfargene, som igjen kan blandes til de andre fargene.

2.3.1 Kromatisitetskoordinater

Det er ofte nyttig å utforske fargen i en prøve separert fra dens lyshet. For å gjøre dette blir tristimulusverdiene normalisert.

$$\begin{aligned}x &= X / (X+Y+Z) \\y &= Y / (X+Y+Z) \\z &= Z / (X+Y+Z)\end{aligned}$$

$x + y + z = 1$ i alle situasjoner. Det er derfor vanlig å ikke ta med z-koordinatet og heller lage et 2D plot av x og y, CIE (x,y)-diagram.

Denne måten å visualisere farger på er ikke i samsvar med hvordan vi oppfatter fargeforskjeller. Det er i det grønne området for liten avstand mellom farger i forhold til hva vi oppfatter og i sammenligning med det røde og blå området.

2.3.2 CIE L*u*v*

Hvis luminansen til en farge blir dividert med det samme i referansehvitt oppnår man en relativ luminansskala fra 0 til 100 % (svart til hvitt). Målt luminans korresponderer imidlertid ikke godt til den oppfattede lysheten. CIE anbefaler derfor en ikke-lineær formel for lysheten, L*, som korresponderer nærmere til den opplevde.

$$\begin{aligned}L^* &= 116 (Y/Y_w)^{1/3} - 16 \text{ for de fleste verdier av } Y ((Y/Y_w) > 0,008856) \text{ eller} \\L^* &= 903.3 (Y/Y_w) \text{ for veldig mørke farger } ((Y/Y_w) \leq 0,008856)\end{aligned}$$

Y_w er tristimulusverdien til referansehvitt, med andre ord den hvite som øyet har adaptert. I de fleste tilfeller brukes en standard illuminant som D65 som referansehvitt.

CIE har anbefalt et 3D fargerom - CIE 1976 (L*u*v*)

$$\begin{aligned}u^* &= 13 L^* (u' - u'_w) \\v^* &= 13 L^* (v' - v'_w)\end{aligned}$$

hvor u'_w og v'_w er koordinatene til referansehvitt:

$$u' = 4X / (X + 15Y + 3Z)$$

$$v' = 9Y / (X + 15Y + 3Z)$$

$$\text{Hue angle } h_{uv} = \arctan (v^*/u^*)$$

$$\text{Chroma } C^*_{uv} = (u^{*2} + v^{*2})^{1/2}$$

Lyshet, kroma og fargetonevinkel definerer en alternativ polar form av CIELUV.

2.3.3 CIE L*a*b*

En alternativ modell er anbefalt av CIE for reflekterende farger som malte ting og fargede stoffer. Den er optimalisert for å kvantifisere fargeforskjellene mellom to prøver for tilnærmet like farger. L^* er den samme som for CIE $L^*u^*v^*$.

$$a^* = 500 ((X/X_w)^{1/3} - (Y/Y_w)^{1/3})$$

$$b^* = 200 ((Y/Y_w)^{1/3} - (X/X_w)^{1/3})$$

2.3.4 Fargeavstandsformler

I utgangspunktet ble fargeavstanden regnet kun ved hjelp av $L^*a^*b^*$ -verdiene.

$$\Delta E^*_{ab} = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$$

hvor $\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2$ (avstanden mellom to punkter) og tilsvarende for Δa^* og Δb^* . Flere evalueringer av CIELAB har vist at ΔE^*_{ab} ikke er et spesielt godt mål for fargeavstand. Andre fargeavstandsformler som CMC, M&S, BDF og CIE 94 skal alle være mer uniforme enn ΔE^*_{ab} [5].

ΔE^*_{ab} kan også regnes ut med utgangspunkt i $L^*u^*v^*$ -verdiene, ΔE^*_{uv} , men denne metoden blir lite brukt.

ΔE_{94} er en nyere fargeavstandsformel som tar hensyn til metningen av fargen. Bruken av denne er i følge dokumentasjonen begrenset til området med antatt lave verdier. Den er ikke spesielt god til å måle forskjellen mellom forskjellige farger om avstanden er stor.

I 2001 presenterte CIE en ny utregningsmåte kalt CIEDE2000. Det er bevist at denne formelen er mer nøyaktig, men ΔE^*_{ab} blir allikevel brukt fremfor denne i mange tilfeller. Formelen er meget avansert og kan studeres på sidene 4 og 5 i Sharma, Wu og Dalals artikkel om CIEDE2000 fargeavstandsformel [6].

2.4 Projektorers displayteknologi

En bred forståelse av hvordan prosessen med å projisere bildet fungerer gir en bedre forståelse for begrensningene man møter når man skal framvise farger og hvordan man kan minimalisere arbeidet rundt disse restriksjonene.

2.4.1 Projektorer

De tre teknologiene som er vanlig i dag er CRT-, LCD- og DLP-projektorer [7]. Det finnes andre teknikker også, men de er enda ikke spesielt utbredt. PC-er, laserdiskspillere, videomaskiner, paraboltunere og andre signalkilder kan koples direkte til ved hjelp av blant annet s-video, komponent, RGB eller kompositt signal.

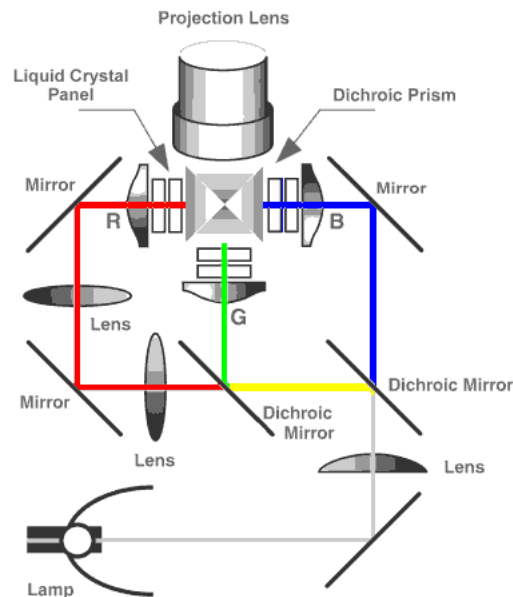
Den beste projektorteknologien når man tenker på bildekvalitet er CRT-projektorer. Den bruker tre katodestråler som hver sender ut en av de tre fargene som bygger opp bildet, se Figur 4. Et sett med linser fokuserer lyset fra katodestrålerørene på lerretet og bildet blir gjengitt. Selv om CRT-projektorer har mange fordeler foran sine digitale konkurrenter, har de en del store ulemper som

gjør at denne typen projektorer ikke blir brukt der brukervennlighet er en av de viktigere faktorene. Den er dyr, stor og avansert å bruke og å stille inn og på grunn av svak lysgjengivelse virker den dårlig i opplyste rom.



Figur 4: CRT-projektorer har tre katodstrålerør. [8]

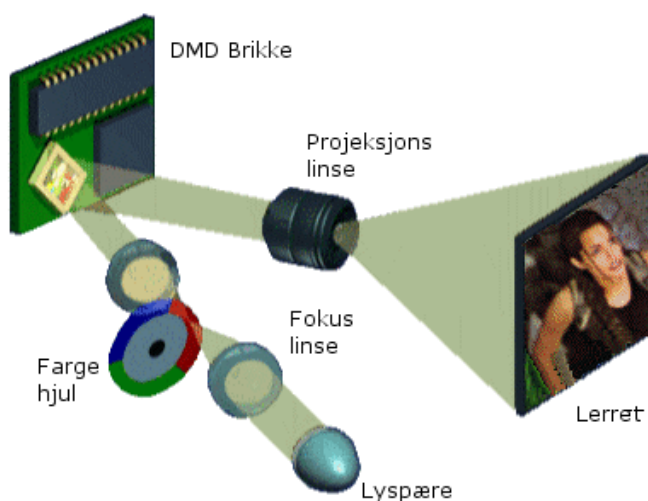
LCD-projektorer består som regel av tre LCD glasspanel, en for rød, en for grønn og en for den blå delen av bildet, se Figur 5. Disse tre panelene blir belyst av en lyspære. LCD panelene består av tusenvis av deler som kan lukkes og åpnes for å sperre eller slippe gjennom lys. Hver slik del kalles en piksel. Ved å lukke og åpne disse lukene i LCD panelet dannes det et bilde. Dette bildet blir ved hjelp av en linse projisert mot et lerret. Sortnivå og kontrastforhold er svakheter med LCD-teknologien. LCD-panelene klarer ikke å sperre lyset helt og derfor vil deler av bildet som skulle være svart få en gråtone over seg. Dette skaper dårligere svartnivå og kontrast.



Figur 5: Illustrasjon av LCD-teknologien. [9]

DLP teknologien baserer seg på bruk av mikroskopiske speil og refleksjon. I stedet for et elektronisk panel som blir gjennomlyst er det en liten elektronisk brikke (DMD) som blir belyst av en kraftig pære, se Figur 6. På denne brikken befinner deg seg tusenvis av bitte små speil som reflekterer lyset ut til en linse som projiserer lyset på et lerret. Disse speilene vrir slik at lys enten reflekteres mot linsen eller vekk fra linsen. Et speil kan vrir flere tusen ganger i sekundet. Andelen av tid hvor lys reflekteres til linsen avgjør hvilken gråtone bildet får. En DLP

projektor kan vise opptil 1024 forskjellige gråtoner. Fargene blir tilsatt ved bruk av et fargehjul som inneholder rød, grønn og blå. Dette hjulet roterer mellom lyspæren og DMD-brikken og ved å vri speilene alt etter hva man viser klarer projektoren å tilsette rette farger til bildet. På dyrere DLP-projektorer bruker man tre DMD-brikker og et prisme for å oppnå farger. En av fordelene med DLP er at DMD-brikken ikke slites over tid som LCD gjør. Dette kommer blant annet av at varmen fra pæren reflekteres og ikke absorberes som på LCD-projektorer.



Figur 6: Illustrasjon av hvordan en DLP-projektor virker. [7]

2.4.2 Kabler

Bildekvaliteten som kan oppnås på en projektor avhenger også av hvilken type tilkobling man velger. Mulighetene presenteres her i rekkefølge etter hvor gode de er i forhold til de andre [7]. Ikke alle projektorer har alle disse tilkoblingsmulighetene.



HDMI kobling
HDMI er en heldigital kobling som har mulighet

til å overføre høykvalitets bilde og lydsignal. Denne tilkoblingen finnes på noen få projektorer og DVD-spillere, men er forventet å bli den digitale standarden for fremtiden.



DVI kobling
DVI er den digitale overføringsstanden som har blitt brukt til å

overføre bilde mellom PC- og LCD-skjermene en god stund. Den finnes nå på en god del digitale projektorer og noen få DVD-spillere.



Komponenttilkobling.

Komponenttilkobling gir den beste analoge tilkoblingsmuligheten mellom DVD-spiller og projektor. Denne er tilkoblingsmåten hvis man ønsker å benytte en progressiv DVD spiller sammen med en bildefremviser som støtter progressiv scan.



VGA tilkobling

Noen få DVD-spillere har VGA-utgang i stedet for

SCART eller komponentutgang. Ved å koble med VGA inngang vil man få RGBHV overføring som kvalitetsmessig er like godt som komponent og RGB. RGBHV er i utgangspunktet progressivt.



RGB tilkobling.

I utgangspunktet har RGB en bedre kvalitet enn komponentsignal,

men på grunn av at signalet lagres med komponentsignal på DVD-platene plasseres signalet under komponent i kvalitet. RGB kan overføres via en rekke tilkoblingsmåter hvor den vanligste er via en SCART-kabel. Det er ikke så mange projektorer som er utstyrt med SCART-kontakter slik at SCART-tilkobling er uvanlig til projektor.



S-video tilkobling.

Stort sett alle DVD-spillere og

projektorer har en S-videoutgang. Kontakten består av en rund plugg med 4 pinner. På disse pinnene blir det overført separat farge og luminanssignal.



Kompositt tilkobling.

Kompositt er den dårligste form for videooverføring. Her er

fargesignalet og luminans signalet satt sammen til et signal. Dette signalet kan overføres via en kompositt videokabel eller via SCART.

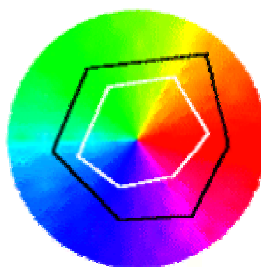
2.4.3 Gamut

Utstyr av forskjellig slag har gjerne fysiske begrensninger når det gjelder reproduksjon av farger. Når primærfargene blir så urene som Figur 7 viser er det ikke mulig å blande fargene slik at de rene fargene kan reproduseres. De rene fargene derimot kan stort sett alltid blandes til de urene fargene [10].



Figur 7: Rene vs. urene farger. [10]

Den fulle rekkevidden av farger utstyr kan reprodusere kalles fargegamut eller fargeomfang. Det er populært å tegne et bilde av tilgjengelige farger inn i en figur hvor ideelt fargerom ligger som bakgrunn, se Figur 8.



Figur 8: Fargerom – bilde av gamut. [10]

I denne figuren vises både primær- og sekundærfarger, men den kan også illustreres med for eksempel bare primærfargene. I denne illustrasjonen representerer det svarte polygonet de rene fargene og det hvite viser de urene fra Figur 7.

2.5 Kalibrering og profilering

2.5.1 Kalibrering

En skjerm eller projektor viser forskjellige farger i forhold til andre skjermer eller projektorer. Dette gjelder også for helt nye skjermer produsert på samme tidspunkt på fabrikken. Hovedpoenget bak en kalibrering er å få det du ser på skjermen til å se likt ut som det alle andre ser på sin skjerm.

I tillegg til hvitpunktreferanse er Gamma en annen karakteristikk av farger. Gamma blir brukt for å beskrive overgangen av lysstyrke fra hvit til sort. Gammaverdien kan variere fra 1.0 til 3.0, men den «brukbare» skalaen går fra 1.8 til 2.2. Faktorer som er med på å bestemme den mest optimale Gammaverdien, er skjermkort, skjermtype og hvilket system det gjelder (Mac/SGI/PC). Kombinasjonen av disse faktorene gjør at det er best å justere skjermen eller projektorene selv [11].

2.5.2 ICC-profil

En ICC profil er en fargebeskrivelse av en skanner, monitor, printer eller projektor [12][13]. Det er en liten fil som er lagret på harddisken i industristandardformat som kan brukes av mange forskjellige pc-programmer og operativsystemer. ICC-profiler blir brukt til å korrigere farger mellom inputenheter og outputenheter. Profiler genereres med måleinstrumenter og software ved å måle fargekarakteristikker for hver enkelt fargeenhet, for deretter å sammenligne målingene med kjente fargereferanser i profilgenereringsprogramvaren [15].

2.5.3 Verktøy

Kalibrering kan gjøres på ulike måter, men det mest vanlige er å bruke programvare som veileder brukeren gjennom alle metodene steg for steg. CMS (color management system) er mer avanserte programmer som fungerer som et lag mellom programmene og utstyret som skal produsere fargene. De utfører de fargetransformasjoner som er nødvendig for å utveksle eksakt like farger mellom ulike typer utstyr [14]. Man kan også manuelt endre innstillinger for kontrast, lysstyrke og farger [11].

Det finnes software som lager profiler ved hjelp måledata som lastes inn og sammenlignes opp mot originale verdier. Data som skal inn i programmet måles da gjerne med et spektrofotometer. Det finnes også verktøy som både måler og, ved hjelp av tilhørende software, lager en profil automatisk.

2.6 Tidligere arbeider

Sharma og Trussell [20] har utført et meget omfattende studium av digitale bilder og farger. De så på datidens teknologi og forskningen på dette området. Målet var å kartlegge bakgrunn og få en oversikt over terminologi, fundamentale konsepter for oppfattelse av farger og måling av disse. Selv om artikkelen begynner å bli gammel innenfor dette fagfeltet gir den en omfattende oversikt over konsepter og grunnlaget for matematiske modeller. En annen artikkel fra de samme forfatterne sammen med Vrhel [21] tar for seg mye av det samme, men her legges det større vekt på fargestyring og kalibrering av utstyr. De hevder at om man skal kunne bruke farger i multimedieapplikasjoner effektivt, er det nødvendig å forstå farger fra et perspektiv som går dypere og lengre enn enkle RGB-fargerommodeller som ofte ble og fortsatt blir brukt i dataprogrammer. De påpeker viktigheten av å ta hensyn til fargeomfanget til det mediet man skal reproducere fargene på. I tillegg har de en analyse av lysforhold og hvilken effekt dette har det visuelle inntrykket. De konkluderer med at mennesker har stor evne til å oppfatte farger som er tilnærmet hvit som hvite og bekrefter dermed vår store evne til å adaptere til de «riktige» fargene. De legger også vekt på at noe fargeforskjell er uunngåelig når et bilde reproduseres på ulike medier.

I artikkelen til Aditi Majumder [19] tar hun for seg fargevariasjoner i multiprojeksjonskjermer. Hun undersøker hvor velbegrunnede tidligere resultater fra lignende forskning er og sammenligner resultatene med konklusjonene fra forskning på CRT- og LCD-skjermer. Resultatene viser at projektorene er rimelig forskjellige fra skjermene når det gjelder matematiske funksjoner for å rette opp på uregelmessigheter over bildeflaten. Videre viser studiet at noen av antagelsene man kan ta når man bruker matematiske modeller på skjermer ikke gjelder for projektorer. Ellers konsentrerer rapporten seg mest om å få uniforme farger over hele bildeflaten.

Artikkelen til Jensen *et al* [22] tar for seg gjengivelse av kvelds- og nattscener i bilder. Det som er interessant i denne artikkelen i forhold til denne oppgaven er deres bakgrunnsstudium på hvordan vi oppfatter farger i forskjellige lyssettinger. Drøftingen på bakgrunn av en del refererte arbeider som har eksperimentert på dette, konkluderer at skjermer så vel som opplyste lerreter har de mest optimale seerforholdene under helt mørke omgivelser. I tillegg foretrekker observatørene et høyere gammanivå.

Majumder [23] har forsket på elementene som spiller inn når man prøver å danne et uniformt bilde ved hjelp av flere projektorer. Det er interessant å se at blant resultatene fra undersøkelsene ble det funnet ut at det er 2-3 % variasjon i kromatisitetskoordinatene mellom projektorer av samme merke, modell og produksjonstidspunkt. Mindre overraskende er de relativt store forskjellene mellom projektorer av ulike merker og produksjonsår. Andre ting som ble påpekt er at det ikke finnes noen projektorer som klarer å reproducere 100 % svart. Egenskapene til det projiserte bildet varierer også en del over bildeflaten. Grunnen til dette er i hovedsak at luminansen synker omtrent 60 % fra sentrum og ut til kantene av det projiserte bildet.

Sun og Morovic [25] har tatt for seg observatøren i eksperimenter med fargebildeproduksjon. Eksperimentene viste at fargeforskjeller var viktigere enn kontrast og detaljforskjeller i reproduksjon på tvers av medier og at mer enn 50 % av forskjellene var til stede bare i lokale regioner av bildet. Det ble også vist at størrelsen på de avbildede objektene i et bilde ikke hadde noen sterk innvirkning på hva som ble vurdert til å være viktig for bildet.

Hardeberg og Schmitt [26] har skrevet flere artikler som omhandler fargestyring, karakterisering og profilering av forskjellig utstyr. De legger i denne artikkelen vekt på viktigheten av å benytte fargestyring. Det fortelles kort om grunnene for

at dette er viktig, grunnleggende tiltak som må settes i verk og nytten av fargestyringsverktøy (CMS). Det fokuseres her på forskjellen mellom skanning, utskrift og skjerm, men de samme elementene er også til stede når visningsmediet er en projektor. En annen artikkel av Hardeberg [27] tar for seg mye av det samme, men fokuserer her på algoritmene som brukes i fargestyringsverktøy.

Brown *et al* [28] ser på lerretet som visningsmedium i en operasjonssal hvor alt må være 100 % sterilt. I denne typen rom er det mange ting som gir refleksjon av lyset og det er svært viktig at lerretet kan holdes sterilt. Resultatene viste at blanke materialer ga dårlige resultater mens småkornet teksturoverflater forbedrer bildekvaliteten. Opplysning ellers i rommet og lysstyrken til projektoren har mye å si for kontrasten i det projiserte bildet, men riktig valg av materialer kan takle dette.

Nyström [29] har i sin masteroppgave ved den Tekniska Högskola i Linköping undersøkt en gitt DLP-projektor inngående. Resultatene viste at den kolorimetriske ytelsen til projektoren var overraskende dårligere med et fargeomfang som var merkbart mindre enn hos en CRT-skjerm som bruker standardiserte fosforer. Grunnen til dette er de bredstripete filtrene som blir brukt som gir økt lysstyrke på bekostning av renheten til primærfargene. Ellers tok oppgaven for seg testing av fargefiltre for å oppnå flere primærfarger. Filtrene som ble testet er kommersielt tilgjengelige og for et mål på ytelse ble CIE 1976 (L*u*v*) fargerom brukt. Resultatene viste her at den kolorimetriske ytelsen til systemet blir forbedret betraktelig med rett valg av filter. Økningen i fargeomfang ble på hele 79 % relativt til de ordinære tre primærfagene.

Kwak og MacDonald [30] viser i sin artikkel til sin karakterisering av en typisk LCD-projektorer. Hardeberg og Seime [31] tar også for seg karakterisering av projektorer. Spektorradiometer ble brukt for å måle spektrale karakteristikk og intensiteten til primær- og hvitfargene. I tillegg ble det målt grunnleggende kolorimetriske karakteristikk, avhengighet mellom kanaler, fargetonekarakteristikk, fargesporingskarakteristikk, romlig ensartethet, bakgrunnsavhengighet og tidsmessig stabilitet. Resultatene viste blant annet en dårlig konstanthet i primærfargenes fargerenhet. Testing av bakgrunnsavhengighet viste at en DLP-projektor har størst fargevariasjon ved hvit bakgrunn, mens LCD-projektoren har størst variasjoner ved full blå og grønn bakgrunn.

Hardeberg *et al* [32] har en noe annerledes innfallsvinkel i sin artikkel, nemlig karakterisering ved hjelp av et kolorimetrisk kamera. Ved å evaluere den absolutte og relative kolorimetriske presisjonen til kameraet, ble det konkludert med at kameraet ikke kunne brukes som det eneste måleinstrumentet, men at det var et stort komplement til spektorradiometeret. Artikkelen beskriver en vellykket implementering av en modifisert versjon av en tradisjonell karakteriseringsmodell.

Hardeberg, Farup og Stjernvang ved Høgskolen i Gjøvik og Høgskolen i Lillehammer har skrevet en artikkel [33] hvor de presenterer deler av resultatene som studenter ved Høgskolen i Gjøvik kom frem til i sin hovedoppgave i 2002. Målet med prosjektet var å utvikle metoder og verktøy for å forbedre kontrollen av fargeinformasjon i produksjon og presentasjon av digital video. Studiet baserte seg på testing av en rekke projektorer ved flere kinoer i Norge. Resultatene viste blant annet at flaskehalsen når det gjelder kvalitet ligger hos projektoren og ikke nødvendigvis i komprimeringsmetode. Spesielt i større saler yter ikke «businessstypen» av projektorer tilstrekkelig fargekvalitet.

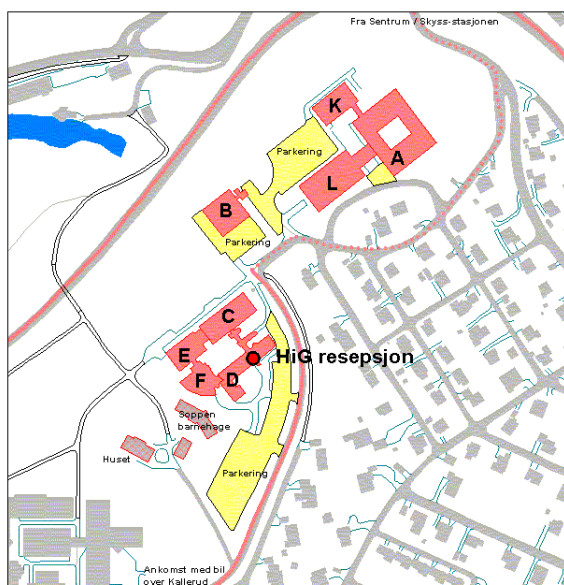
Kwak og MacDonald [34] tar for seg testing av to nylig utviklede karakteriseringsmodeller i sin artikkel til IS&T og SIDs niende konferanse om fargebildebehandling. Artikkelen beskriver testprosessen detaljert og gir klare

begrunnelser for hvorfor den ene modellen er bedre enn den andre i de forskjellige situasjonene. Testingen gikk blant annet ut på å måle endringer i fargerenhet i primærfargene og de akromatiske (grå) områdene, avhengig av enhetens signalnivå for hver kanal. Fire LCD-projektorer ble testet og resultatene viste at alle hadde dårlig konstanthet i kanalkromatisiteten. Tre matematiske metoder ble brukt for å prøve å forutsi de reproduserte fargene. Modellene S-Curve Modell I og II kan brukes på LCD-projektorer. De påpeker videre viktigheten av dette resultatet siden dette da er en presis matematisk modell for den kolorimetriske ytelsen til LCD-projektorer. I tillegg hevder de at dette vil åpne veien for fargestyringsystemer for å kontrollere det projiserte bildet. De ser da for seg en ny standard for ICC-profiler hvor dette blir tatt med.

3 Projektorforhold og eksperimentoppsett

3.1 Generelt om HiG, auditoriene og projektorene

Høgskolen i Gjøvik har i overkant av 1600 studenter og 200 ansatte, og er lokalisert på Kallerud på Gjøvik. Undervisningslokaler og arbeidsrommene er fordelt rundt i skolens tre bygningskomplekser. For en oversikt over bygningsmassen og de forskjellige byggenes bokstavkoder, se Figur 9.



Figur 9: Oversikt over høgskoleområdet med oversikt over bokstavkodene på byggene. [www.hig.no]

Undervisningen ved høgskolen foregår stort sett i auditorier, klasserom, laboratorier og via fjernundervisning. Høgskolens projektorer blir brukt en del i undervisningssammenheng. Alle seks auditorier har fastmonterte projektorer i taket og muligheter for å dimme lysene eller å slå av deler av lysene. I vanlige klasserom blir det som regel brukt en bærbar projektor som skolens administrasjoner låner ut. Klasserommene har generelt dårlige muligheter for optimale lysforhold og mye innfallslys fra store vindusflater gjør ikke forholdene noe bedre.

I auditoriene er det lagt opp til at brukerne skal sende data til projektoren ved hjelp av en stasjonær pc som hver projektor er koblet til. Brukervennligheten til disse systemene er svært varierende. De tekniske forholdene er heller ikke optimale alle steder. Dette gjelder spesielt gamle kabler på nytt utstyr og dårlig kontakt mellom kontrollenhet og utstyr.

Hvor mye lys som faller inn i rommet fra vinduer og dører har mye å si for hvor mørkt man klarer å få et rom. Bortsett fra rom E212 har ikke auditoriene vinduer. E212 er et auditorium med mye teknisk utstyr. Utstyret er gjennomgående svært bra, men innfallslys ødelegger forholdene noe. Bakerst i rommet er det store vindusflater, men selv med tykke gardiner lyser det gjennom tekstilene og fordi gardinene ikke ligger helt inntil vinduene, lyser det også en del rundt vinduet. Andre lys som har betydning for hvor mørkt man klarer å få et rom er nødlampene. Alle auditoriene har opptil flere av disse og noen av dem er

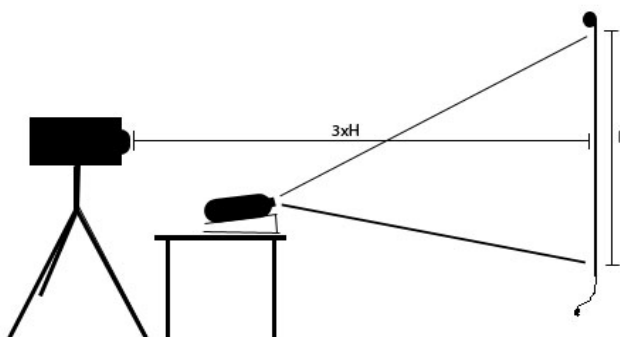
uforholdsmessig store. I rom C007 lyser den ene av disse lampene rett på lerretet og gir et grønnskjær på høyre side av et lyst, projisert bilde.

Når det gjelder de bærbare projektorene er det svært varierende kvalitet på disse. Avdeling for Teknologis (AT) projektor nr. 1 og begge projektorene på Avdeling for Helsefag (AH) er relativt gode og det samme gjelder bibliotekets helt nye projektor. De tre andre på AT er derimot ikke særlige gode lenger. Det projiserte bildet flyter kraftig utenfor projeksjonsfeltet og både støynivå og oppstarttid er lite brukervennlig.

3.2 Eksperimentoppsett

Siden projektorene er av varierende alder, er ulikt kalibrert og er plassert i rom med ulike størrelses- og lysforhold ble målingene utført uten å endre på noen av innstillingene. Ideelt sett burde projektorene blitt satt tilbake til fabrikkoppsett for å muliggjøre reproduksjon av måledata. Et annet alternativ hadde vært å kalibrere projektorene før testingen startet. Forsøk på å stille tilbake til fabrikkoppsett viste at projektorene allerede var kalibrert. Med utgangspunkt i at tilstanden til projektorparken per i dag skulle testes, ble derfor de aktuelle innstillingene værende uforandret.

Romforholdene ble heller ikke endret. Det hadde vært mulig å slå av nødlamper og dekket bedre til vinduer, men dette ville da ikke gjenspeilet de faktiske forholdene brukerne møter.



Figur 10: Eksperimentoppsett.

3.2.1 Projektorene

Projektorene var aktive i minst 30 minutter før målingene startet. Grunnen til dette er at det tar litt tid før projektoren stabiliseres og bildet ble dermed ikke endret underveis i testperioden.

Projektorene ble testet uten å endre på noen av innstillingene og alle visningene ble kjørt i fra en medbrakt bærbar pc. Projektorene som ble testet presenteres i detalj i Vedlegg A.

3.2.2 Spektroradiometer

For å kunne måle fargene som reflekteres fra lerretet kan man bruke et spektroradiometer. Det aktuelle spektroradiometeret som ble brukt under målingene var et Minolta CS-1000, se Figur 11.



Figur 11: Minolta CS-1000.

Høyden (H) på det projiserte bildet ble målt og spektroradiometeret ble plassert tre ganger høyden fra lerretet, se Figur 10. Vinkelen mot sentrum av det projiserte bildet burde egentlig være 0° , men av praktiske årsaker måtte vinkelen variere noe.

Det tok omtrent en time å gjennomføre en måling på målesettet. Det ble derfor ikke kjørt flere målinger på hver farge for å få et gjennomsnitt.

Spektroradiometeret ble montert på et vatret stativ.

Et spektroradiometer av denne typen koster rundt 150.000,- kr og er for mange en for stor investering i forhold til formålet. I tillegg trengs et program for å lage profil om det er det man ønsker å oppnå med denne typen utstyr.

3.2.3 Profileringsverktøyet Eye-One

Eye-One Beamer er en fargestyringsløsning for digitale projektorer og skjermer. Den er liten, hendig og enkel å bruke, se Figur 12. Den brukes til å kalibrere og profilere både skjermer og projektorer [24]. Verktøyet kalibrerer og profilerer skjerm og projektor hver for seg for å oppnå en ideell match mellom disse.



Figur 12: Eye-One Beamer fra GretagMacbeth. [24]

Eye-One Beamer er laget for å være enkel i bruk og steg for steg ledes brukerne gjennom prosessen ved hjelp av medfølgende programvare. Det er mulig å velge hvitpunkt selv, men ellers er alt standardisert. Prosedyren starter med at man velger projektor som profileringsenhet. Eye-One kan også brukes til å lage profil til skjermer, skannere og skrivere. Eye-One kalibrerer seg selv før brukeren grovt må stille inn Eye-One til å peke mot ønsket sted på lerretet. Finjustering ordner utstyret selv før den starter målinger av 42 forskjellige fargepatcher, se kapittel 3.2.7. Prosessen tar omtrent fem minutter og programvaren lager så en profil som automatisk lagres i samme mappe som pc-ens andre profiler ligger. I tillegg settes profilen til å være standard projektorprofil.

Eye-One Beamer ble plassert i samme avstand til lerretet som spektroradiometeret. Av praktiske årsaker ble den ikke plassert i samme høyden som spektroradiometeret.

Eye-One koster mellom 10.000,- og 15.000,- kr og er et rimelig alternativ til spektroradiometeret.

3.2.4 Lerret

Lerretet som er montert til å bruke sammen med de fastmonterte projektorene ble brukt under målingene og kvaliteten ble vurdert.

Når det gjelder målingen av de bærbare projektorene ble det montert et eldre, hvitt lerret i A004.

3.2.5 Tilleggsutstyr

PC 1

For å kunne kommunisere med spektroradiometeret ble en eldre bærbar pc benyttet. Dette var en Toshiba med Windows 95 operativsystem. Denne ble koblet til spektroradiometeret for å kontinuerlig kunne hente ut måleresultatene. Programvaren som ble bruket for å kommunisere med spektroradiometeret var CS-S1RW og er Minoltas egen programvare til Minolta CS-1000 spektroradiometer. Programvaren gjør det mulig å endre innstillingene til spektroradiometeret og oppsettet i programvaren listes opp i Tabell 1.

Tabell 1: Innstillingene til spektroradiometeret.

Innstilling	Verdi
Colorimetric	Light-Source Color
User Cal	Off
ND	Off
Observer	2°
Intensity Units	cd/m ²
Number Averaged	1 time

PC 2

For å kunne projisere farger på lerretet benyttet Microsoft Power Point 2002 på Compaq Presario 1725 1 GHz Notebook PC. Grafikkortet er av merket ATI M6 8 Mb hvor all annen fargestyring er slått av. Driveren som ble brukt under målingene var ati2dvag.dll, versjon 6.13.10.6071.

Lysmåler

Sekonic Flashmate L308 II ble brukt til å måle lysforholdene [16]. Denne har en egen funksjon for måling av det omsluttende lyset (eng. ambient) og det er denne som ble brukt under eksperimentet. Alle måleresultater angis med 1/10 blenders nøyaktighet. For å regne om til lux-verdier kan tabellen i brukermanualen benyttes, se Figur 13. Lux er en SI-enhet for belysningstetthet (illuminans), altså lysstrøm delt på arealet av en flate. Lux forteller oss hvor mye lys som faller på en flate.

$\frac{1}{100}$ EV \ EV	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0.0	2.5	5.0	10	20	40	80	160	320	640
0.5	3.5	7.1	14	28	57	110	230	450	910
$\frac{1}{100}$ EV \ EV	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0.0	1300	2600	5100	10000	20000	41000	82000	160000	330000
0.5	1800	3600	7200	14000	29000	58000	120000	230000	460000

Figur 13: Omregningstabell fra EV til lx. [16]

3.2.6 Lysforhold

Målingene ble foretatt under to ulike lysforhold. Det ene er helt mørkt eller så mørkt det går an å få det under gjeldende omstendigheter. De fleste målinger er tatt på kveldstid når ikke sollys er enda en forstyrrende faktor. De fleste rommene blir aldri helt mørke på grunn av nødlamper og refleksjoner fra lyskasser og annet. Så lenge målingene utføres under uendrede forhold var det ingen hensikt å manipulere på disse forholdene. Nødutgangslampene er det mulig å slå av, men de færreste av brukerne av utstyret ville gjort det. De andre faktorene som opplyser rommet eller som reflekterer det projiserte bildet vil også være der under vanlig bruk. Som bakgrunn for valg av lysforhold refereres det til håndboken i lysmåling [35].

Lysforholdene i rommet ble målt og forholdene i de ulike rommene ble forsøkt tilnærmet et lysforhold hvor det er mulig å gjøre notater i tillegg til å kunne lese hva som står på lerretet. Alle rommene hadde forskjellig grad av muligheter for dimme lyset. Lyset som faller mot lerret ble derfor målt i tillegg til hvor mye lys som kommer mot der seerne sitter. Forholdene ble tilnærmet følgende lysforhold:

- Lyset mot lerret – 10 lx (f/2.0)
- Lyset fra lerret – 14 lx (f/2.5)

3.2.7 Målesettet

Målesettet som ble brukt for å måle fargene er det samme som Eye-One bruker til å profilere projektorer.

Fargene er konstruert ved tre forskjellige metningsgrader av hver kanal, full (255), halv (128) og av (0). I tillegg er det en serie på fem nivåer for hver rene kanal, slik at hver rene kanal til sammen har åtte forskjellige nivåer.

Tabell 2 viser hvilke RGB-verdier som er brukt for hver farge og for å lettere kunne skjønne hvilke farger dette er legges farger som bakgrunn i tabellen.

Tabell 2: RGB-fargene som måles.

Kode	Rød	Grønn	Blå		Kode	Rød	Grønn	Blå
A1	0	0	0		D4	255	128	0
A2	0	0	128		D5	255	128	128
A3	0	0	255		D6	255	128	255
A4	0	128	0		E1	255	255	0
A5	0	128	128		E2	255	255	128
A6	0	128	255		E3	255	255	255
B1	0	255	0		E4	0	0	32
B2	0	255	128		E5	0	0	64
B3	0	255	255		E6	0	0	160
B4	128	0	0		F1	0	0	192
B5	128	0	128		F2	0	0	224
B6	128	0	255		F3	0	32	0
C1	128	128	0		F4	0	64	0
C2	128	128	128		F5	0	160	0
C3	128	128	255		F6	0	192	0
C4	128	255	0		G1	0	224	0
C5	128	255	128		G2	32	0	0
C6	128	255	255		G3	64	0	0
D1	255	0	0		G4	160	0	0
D2	255	0	128		G5	192	0	0
D3	255	0	255		G6	224	0	0

3.2.8 WinColorKit

Windows Color Quality Specifications for Front Projector OEMs [17] er en spesifikasjon av metoder for å sikre fargekvalitet for frontprojektorer laget av Microsoft Corporation i samarbeid med Seiko Epson Corporation og Mitsubishi Electric Corporation. Spesifikasjonen beskriver testoppsett og gir detaljerte begrunnelser for metodevalg og prosedyrer. I tillegg har Microsoft i samarbeid med Hewlett Packard laget en spesifikasjon som tar for seg de generelle aspektene bak farge- og bildekvalitet [18].

To sett med referansepatcher blir anbefalt brukt. Det første settet består av sju fargepatcher som spesifikasjonen mener er innenfor de fleste projektorers fargeomfang. Patchene illustreres i Tabell 3 på samme måte som Eye-One's 42 patcher i foregående kapittel.

Tabell 3: Spesifikasjon på de sju fargepatchene i første del av Windows Color Quality Specification.

Kode	Rød	Grønn	Blå
1	160	64	64
2	160	160	64
3	96	160	96
4	96	160	160
5	64	64	160
6	160	64	160
7	128	128	128

Det andre settet består av 32 fargepatcher [17] og er en del av en metode for måling av frontprojektorer. Metoden beskriver detaljert hvordan romforholdene skal være med tanke på luftfuktighet, lysforhold, refleksjon fra gjenstander i rommet, utstyrets oppvarmingstid og romtemperatur. Andre forhold som må tas hensyn til under målingene er hvilket fargerom som skal benyttes (sRGB), at fabrikkoppsett skal brukes på projektorene og avstander fra måleutstyr, projektorer og lerret. I tillegg beskrives nødvendig måleutstyr og metode for behandling av data. Fargepatchene fra det andre oppsettet illustreres i Tabell 4.

Tabell 4: Spesifikasjon av WinColorKits 32 fargepatcher.

Kode	Rød	Grønn	Blå	Kode	Rød	Grønn	Blå
1-Grå1	32	32	32	17-Blå1	0	0	128
2-Grå2	64	64	64	18-Blå2	64	64	192
3-Grå3	96	96	96	19-Blå3	0	0	255
4-Grå4	128	128	128	20-Blå4	128	128	255
5-Grå5	160	160	160	21-Gul1	128	128	0
6-Grå6	192	192	192	22-Gul2	192	192	64
7-Grå7	224	224	224	23-Gul3	255	255	0
8-Grå8	255	255	255	24-Gul4	255	255	128
9-Rød1	128	0	0	25-Magenta1	128	0	128
10-Rød2	192	64	64	26-Magenta2	192	64	192
11-Rød3	255	0	0	27-Magenta3	255	0	255
12-Rød4	255	128	128	28-Magenta4	255	128	255
13-Grønn1	0	128	0	29-Cyan1	0	128	128
14-Grønn2	64	192	64	30-Cyan2	64	192	192
15-Grønn3	0	255	0	31-Cyan3	0	255	255
16-Grønn4	128	255	128	32-Cyan4	128	255	255

Oppsettet beskrevet i spesifikasjonen er fulgt så godt det har latt seg gjøre. Der hvor eksperimentet avviker fra oppsettet blir visse detaljer presentert, men ellers refereres det til WinColorKit [17].

Resultatene fra målingene legges inn i et Excel-ark som regner ut ΔE_{94} -verdier og gir svar på om projektoren er godkjent eller ikke godkjent etter deres krav.

Kravene som stilles bygger på ΔE_{94} -toleransen til de fargene projektoren projiserer. Resultatene gir bare godkjentstatus og det er ikke nødvendigvis ønskelig å få så lave ΔE_{94} -verdier som mulig. Spesifikasjonen understreker at det å sammenligne ΔE_{94} -verdiene til de forskjellige projektorene som et verktøy for å vurdere fargekvalitet ikke er anbefalt.

Godkjentstatus avhenger av følgende kriterier:

- Gjennomsnittlig ΔE_{94} mindre enn eller lik 20 for WinColorKit-settet
- For fargene 1-6 av de sju fargepatchene i det første settet med fargepatcher
 - Gjennomsnittlig ΔE_{94} mindre enn eller lik 10
 - Maksimum ΔE_{94} mindre enn eller lik 15
- For farge 7 av de sju fargepatchene i det første settet med fargepatcher
 - $-0.02 < dx < +0.02$ og $-0.02 < dy < +0.035$ (særlig viktig siden denne er nøytral middels grå)

3.2.9 Visuelle vurderinger

Hvordan vi oppfatter det projiserte bildet kan avvike fra måleresultatene. Det er derfor viktig å gjøre en slik vurdering i tillegg. Fargepatchene som blir projisert vurderes derfor opp mot hvordan man i utgangspunktet forventer seg de gitte fargene. PC-en som projiserer fargepatchen har kalibrert skjerm og selv om en LCD-skjerm og en projektor i utgangspunktet ikke kan sammenlignes, får man en viss antydning om hvordan fargen egentlig skal se ut om man gjør dette. I tillegg til å vurdere fargegjengivelsen bør også konstantheten i bildeoverflaten vurderes. Man ser da etter missfarginger og andre feil i bildet. Når profilen benyttes under visningen av fargepatchene bør det også legges merke til om fargene endres. Dette er ikke lett å se uten å projisere bildet med og uten profil samtidig, men man kan likevel få et visst inntrykk. Inntrykkene fra alle disse vurderingene noteres og sammenlignes så opp mot måldata for å se om det kan være noen sammenheng.

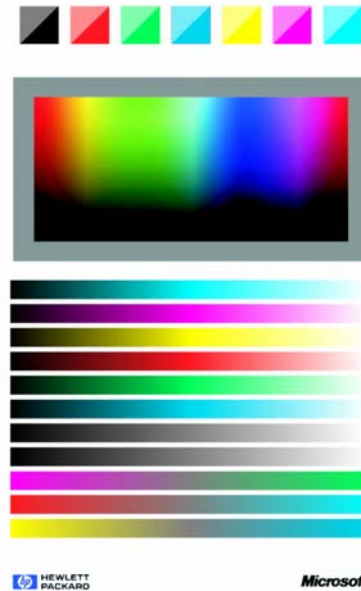


Figur 14: Testbilde for visuell vurdering.

WinColorKit har i tillegg til de spesifiserte målingene oppsett på valgfrie visuelle vurderinger. Bildet vist i Figur 14 benyttes til disse vurderingene. Observatøren skal:

- Vurdere balansen i fargetonene inkludert skygger og fremtredende detaljer
- Vurdere den gjennomgående fargebalansen (For grønn? For rød?)
- Vurdere fargemetningen i bildet (For kraftig? For blek?)

Et annet bilde, vist i Figur 15, kan også brukes i den visuelle vurderingen. Her skal observatøren se etter konsistente og jevne overganger i graderingene. Disse vurderingene kan brukes for å justere profilen og/eller innstillingene til projektoren.



Figur 15: Testbilde med RGB-nyanser.

4 Sammenligning av projektorene

Projektorene ble delt inn i to grupper: fastmonterte og bærbare. Dette ble gjort fordi omgivelsene til de bærbare var konstante og målingene av disse ga derfor et entydig bilde av selve projektorene. Omgivelsene til de fastmonterte er derimot svært varierende med tanke på lysforhold, refleksjon, størrelse og avstander.

X-, Y- og Z-verdiene fra målingene ble lagt inn i et regneark som regnet ut $L^*a^*b^*$ -verdier, kroma, vinkel og ΔE^*_{ab} . Disse verdiene ble så brukt for å lage diagrammer som viser hvordan hver projektor er i forhold til snittet av projektorgruppen.

Fordi det fortsatt er vanlig å vurdere fargeavstand ved hjelp av CIELAB ΔE^* ble denne formelen brukt for alle projektorene. I tillegg ble CIEDE2000 brukt på et utvalg for både å vise forskjellene mellom metodene og å bedre vise dempingen på saturerte farger. I tillegg beskrives noen av resultatene ved hjelp av ΔE_{94} siden dette blir brukt i WinColorKit.

I tillegg ble X-, Y- og Z-verdiene lagt inn i et regneark som regnet ut u^*v^* -verdier for primærfagene (rødt, grønt og blått) og sekundærfargene (cyan, magenta og gul). Disse verdiene ble så lagt inn et u^*v^* -diagram. Bakgrunnsbildet som ligger i u^*v^* -diagrammet må sees på som tilnærmet grunnet problemer med å få illustrert fargene i Microsoft Excel. Verdiaksene kan derimot sees på som nøyaktige. For nøyaktige fargereferanser bør resultatene sammenlignes med et mer nøyaktig oppsatt u^*v^* -diagram.

Noen av projektorene ble valgt ut til å være med i et mindre utvalg ut fra et mangfoldskriterium. Disse projektorene ble brukt i mer detaljerte analyser. Av auditorieprojektorene ble en ny og en noe eldre projektor tatt med. De utvalgte er ikke blant de som hadde mangler av ekstern karakter. Når det gjelder de bærbare projektorene ble projektorene valgt ut med bakgrunn i alder. Hvilke projektorer som ble tatt med i utvalget vises i Tabell 5. Alle projektorene er fra samme produsent og bortsett fra AT nr. 4 er alle LCD-projektorer.

Tabell 5: Projektorene som ble tatt med i et mindre utvalg.

Projektor	Kriterium
3M MP8795, K102	Ny projektor – fastmontert
3M MP8775i, E212	Eldre projektor – fastmontert
3M MP7760, AT nr. 4	Eldre projektor – bærbar
3M MP8749, AH nr. 1	Nyere projektor – bærbar
3M X50, Biblioteket	Ny projektor – bærbar

Både de målte verdiene og de visuelle betraktningene av hver enkelt projektor vises og beskrives i detalj i Vedlegg A.

4.1 De fastmonterte projektorene

Høgskolen har fastmonterte projektorer i underetasjen i C-bygget, C007, to stykker i Eureka, F101A og F101B, en i andre etasje i E-bygget, E212, to i K-bygget, K102 og K105 og en i andre etasje i B-bygget, B209. Projektorene i K102, K105, F101A og F101B er helt nye og montert i februar 2004. De resterende er to til fire år gamle. Projektoren i K105 manglet rød kanal under testperioden og er derfor ikke med i vurderingen.

Alle projektorene ble testet under de samme forholdene som de vanligvis blir brukt. Det vil si at den bærbare pc-en blir koblet til den ekstra kablen beregnet for bærbare pc-er som alle rommene har. De installerte kablene som går opp til projektoren ble brukt i alle rommene, selv om dette viste seg å være langt fra optimalt. Testingen ble dermed utført under de faktiske forholdene som brukerne av utstyret møter til daglig.

4.2 De bærbare projektorene

Alle skolens bærbare projektorer ble testet i det samme rommet under nøyaktig like forhold, se Figur 16. Alle projektorene ble koblet til den bærbare pc-en med samme VGA-kabel og til strømmettet med samme strømkabel. Lyset i rommet er delt i to kretser og hver krets kan dimmes ned til et minimumsnivå. Når lyset er avslått er rommet helt mørkt. Det eneste andre lyset i rommet var fra en 19" flatskjerm som sto i le bak et pc-kabinett. Denne ble brukt for å styre målingene med spektroradiometeret. Standarden for eksperimentoppsettet ble fulgt 100 % i dette rommet. Under de lyse forholdene ble alt lyset i taket slått på og dimmet ned til laveste nivået. Spesifikasjonene til eksperimentoppsettet for alle de bærbare projektorene vises i Tabell 24 i Vedlegg A. Eye-One ble plassert oppå den bærbare projektoren som illustrert i Figur 12.



Figur 16: Eksperimentoppsettet i A004.

Lerretet er et standard, hvitt lerret. Det har noen bretter og skrukker, men i det projiserte området er det rimelig slett.

Det projiserte bildet til hver enkelt projektor ble tilpasset lerrets størrelse så langt det lot seg gjøre. Størrelsen på det projiserte bildet fra de ulike projektorene varierte en del, men ved å justere litt på avstanden fra lerretet til projektoren blir bildene tilnærmet like høye for alle projektorene. Bortsett fra å justere størrelsen på bildet og å fokusere ble alle de bærbare projektorene brukt akkurat slik de var innstilt.

4.3 Diskusjon rundt de forskjellige projektorene

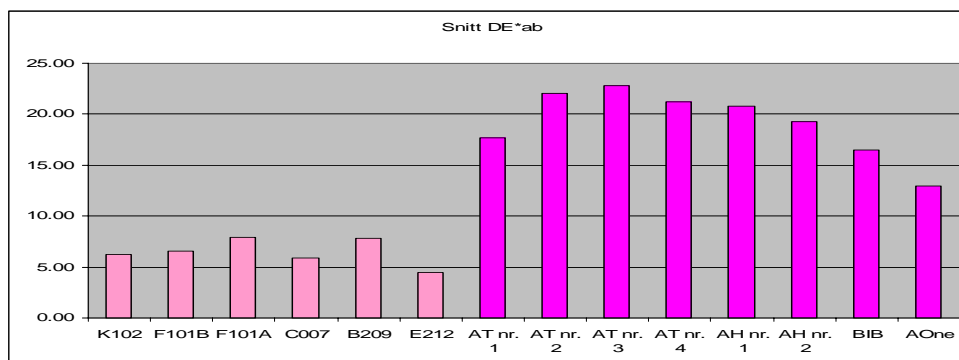
For å kunne sammenligne projektorene ble snittet av $L*a*b^*$ -verdiene regnet ut. Projektorene ble som nevnt tidligere delt inn i to grupper og alle projektorene som ble testet ble sammenlignet opp mot gjennomsnittsverdiene for sin respektive gruppe. $L*a*b^*$ -verdiene for disse gjennomsnittsprojektorene presenteres i Tabell 6. Gjennomsnittsverdiene viser at de to gruppene ikke har like gjennomsnittspjektorer, men verdiene følger hverandre.

Tabell 6: $L*a*b^*$ -verdier for gjennomsnittsprojektorene til de to gruppene.

Kode	Auditoriene			De bærbare		
	L'	a'	b'	L'	a'	b'
A1	7,14	2,05	-3,86	3,98	1,00	-4,79
A2	13,57	58,40	-69,76	12,74	48,06	-65,60
A3	27,01	108,00	-123,29	28,07	87,77	-113,93
A4	51,04	-45,22	61,85	46,54	-35,33	51,31
A5	51,98	-22,34	-5,15	48,24	-17,41	-8,11
A6	55,67	29,38	-74,48	53,87	23,41	-70,79
B1	91,88	-73,42	114,73	90,56	-60,31	95,67
B2	92,26	-63,74	59,84	91,16	-53,08	52,30
B3	93,77	-34,75	-10,50	93,13	-31,15	-8,37
B4	25,46	44,97	27,86	20,08	40,94	24,33
B5	28,01	65,71	-44,88	24,35	56,91	-46,13
B6	35,87	105,48	-108,17	34,75	88,08	-102,49
C1	55,22	-15,30	69,00	50,06	-12,77	56,85
C2	56,05	0,69	1,82	51,24	0,34	-2,86
C3	59,36	41,24	-68,25	56,66	33,31	-66,06
C4	93,63	-59,40	117,70	91,73	-50,92	97,49
C5	94,03	-50,82	62,76	92,37	-44,35	54,21
C6	95,52	-24,62	-7,73	94,32	-23,99	-6,39
D1	46,69	75,41	64,24	43,10	72,65	59,72
D2	47,83	85,08	-10,84	44,90	78,87	-11,17
D3	51,99	110,53	-80,55	50,35	96,36	-74,44
D4	65,31	29,89	86,33	60,42	32,73	73,14
D5	65,97	39,08	18,77	61,51	39,32	13,87
D6	68,53	65,22	-52,58	65,15	58,77	-50,31
E1	98,31	-27,32	125,71	95,91	-21,86	104,26
E2	98,66	-20,70	70,67	96,33	-16,69	61,13
E3	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
E4	7,52	7,81	-13,17	4,72	8,02	-17,84
E5	8,57	21,73	-31,26	6,50	22,30	-35,85
E6	16,84	73,93	-85,72	16,40	59,18	-78,44
F1	20,34	87,76	-100,31	20,45	70,39	-91,75
F2	23,86	99,33	-113,08	24,42	79,98	-103,69

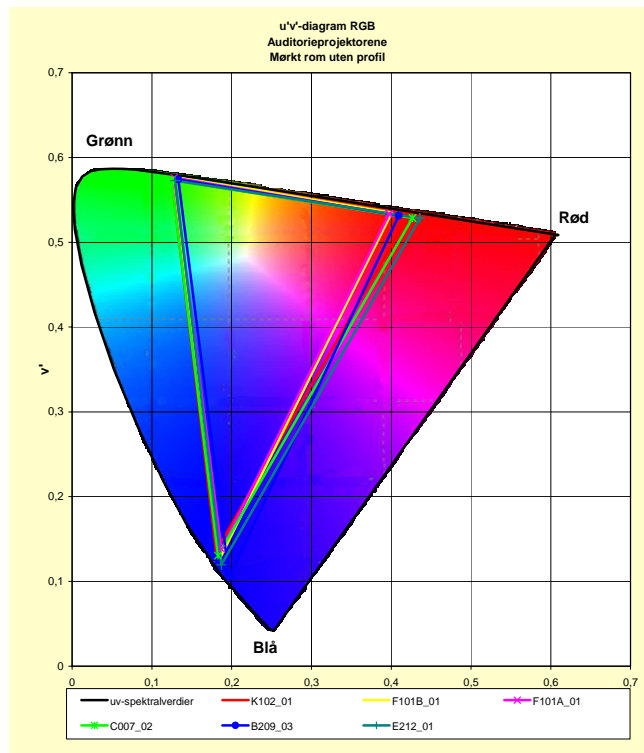
F3	13,01	-8,19	5,86	10,06	-8,40	6,26
F4	25,78	-23,56	25,69	23,07	-19,75	23,89
F5	63,15	-54,20	77,88	58,34	-42,56	63,80
F6	74,41	-62,09	92,48	69,91	-49,26	75,49
G1	83,67	-68,29	104,32	81,46	-55,59	86,65
G2	8,44	7,75	-1,46	5,22	8,58	-1,55
G3	12,94	21,38	6,40	8,86	20,49	5,68
G4	31,65	54,32	38,38	26,27	49,97	34,22
G5	37,55	62,77	48,51	32,60	58,65	43,39
G6	42,32	69,42	56,69	38,34	66,25	52,17

Det er store visuelle forskjeller mellom de bærbare projektorene og de fastmonterte. Som Figur 17 viser, er også ΔE^*_{ab} -verdiene for de forskjellige fargene gjennomgående høyere hos de bærbare. Dette er på tross av at omgivelsene til de bærbare projektorene var statiske. De bærbare projektorene er i snitt en del eldre enn de fastmonterte. Fire av de seks fastmonterte som er med i målingene er helt nye, mens bare to av åtte av de bærbare er nye. De eldste bærbare er visuelt svært dårlige og gir dermed høyere gjennomsnittsverdier og ΔE^*_{ab} -verdiene blir da større sammenlignet med de fastmonterte. En annen ting det er verdt å bemerke er at projektorene baserer seg på to ulike teknologier, DLP og LCD. Det virker som LCD-projektorene har et generelt høyere fargeomfang enn DLP-projektorene [29].

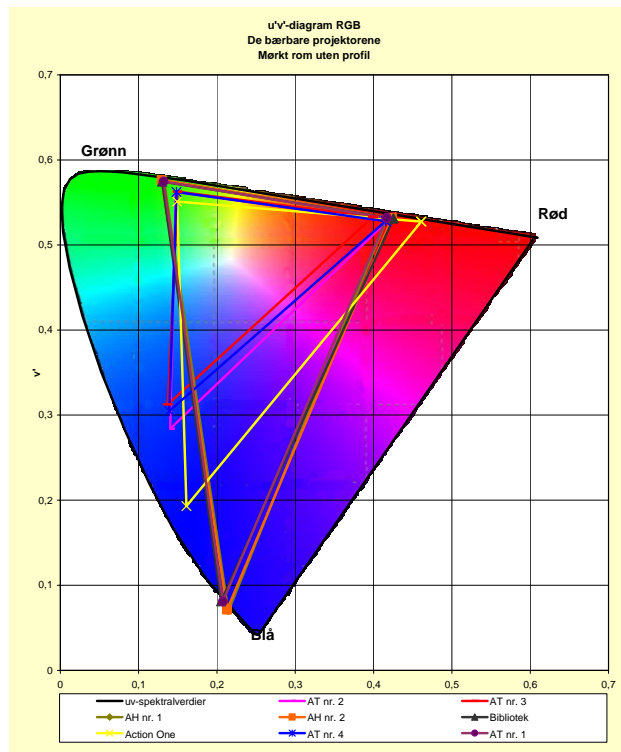


Figur 17: ΔE^*_{ab} - snittverdier på alle projektorene sammenlignet med henholdsvis auditorieprojektorene og de bærbare projektorene. De fastmonterte projektorene illustreres med lyse søyler, de bærbare er mørke.

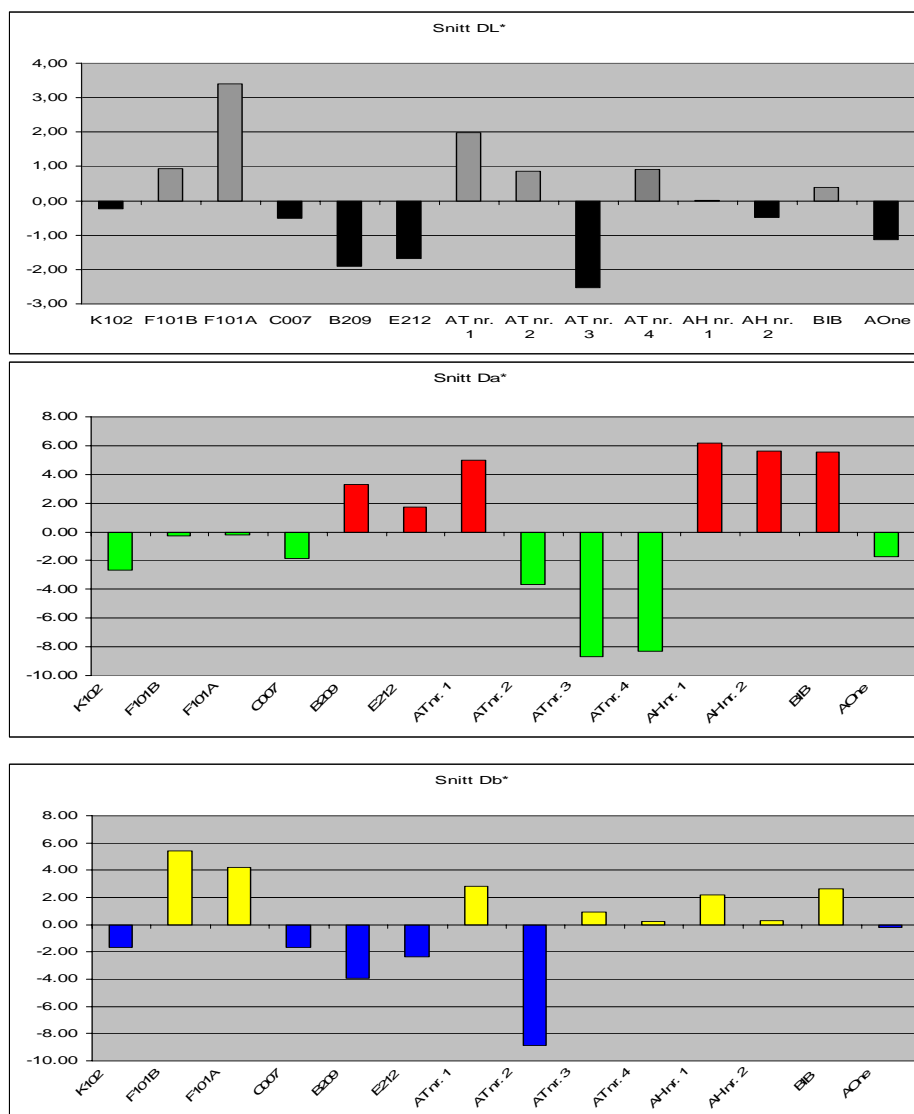
Figur 18 viser primærfargen til alle auditorieprojektorene i mørkt rom uten profil. Her kommer det tydelig frem at projektorene har lignende egenskaper og ingen av projektorene skiller seg vesentlig ut fra de andre. Eureka-auditoriene har de minste fargerommene (F101B og F101A), mens E212 og til dels B209 har de største.



Figur 18: u'v'-diagram for auditorieproktorene i mørkt rom uten profil.



Figur 19: u'v'-diagram for de bærbare proktorene i mørkt rom uten profil.



Figur 20: Snittverdier for Delta L*, Delta a* og Delta b* for alle projektorene.

Om vi ser på Figur 19 hvor de bærbare projektorene blir presentert på samme måte, ser vi raskt hvorfor disse projektorene har så store ΔE^*_{ab} -verdier. Det er store forskjeller på hvilke fargeomfang de forskjellige projektorene har. Det er fire av dem som skiller seg særlig positivt ut. Disse har mye større fargeomfang enn de andre og har mulighet til å gjengi primærfargene godt. Dette gjelder AH nr. 2, AH nr. 1, Bibliotekets og AT nr. 1. På den andre enden av skalaen finner vi henholdsvis AT nr. 3, AT nr. 4 og AT nr. 2. Midt mellom disse gruppene ligger projektoren fra Projectiondesign, Action One.

De to nevnte figurene viser altså nøyaktig det samme som den visuelle vurderingen til hver projektor ga indikasjoner om. Andre detaljer som kan leses ut fra disse diagrammene er i hvilke fargeområder projektorene er dårligst. Auditorieprosjektorene er ganske jevne, men om vi for eksempel ser på den blå trekanten Figur 18 som viser B209, så ser vi at den er bedre til å vise blåfarger enn de andre. I tillegg kan det nevnes at den er middels god til å vise rødfarger i forhold til de andre. En annen ting det er verdt å bemerke er at når det gjelder

fargen grønn, så ligger alle projektorene omtrent på samme nivå. Dette stemmer overens med måledata for hver enkelt projektor. Grønn hadde generelt lave ΔE^*_{ab} -verdier.

Om vi ser nærmere på de bærbare projektorene (Figur 19), ser vi at tendensen er noe av den samme, selv om fargeområdet er svært forskjellige. De dårligste projektorene klarer ikke å oppnå i nærheten av hva de andre klarer når det gjelder blått, men ser vi på grønt, ligger de derimot nærmere. I motsetning til de fastmonterte projektorene er alle projektorene samlet når det gjelder visning av rødfarge. Det er interessant å se nærmere på Action One (gul trekant). Denne projektoren er helt ny og virker svært god visuelt, men fargeområdet er mye mindre enn hos de fire nyeste projektorene til høyskolen. Den er dårligere til å vise både grønt og rødt. Grønt er den faktisk dårligst til å vise av alle, mens den er den beste av alle på rødt.

Fargeområdet på projektorene av typen DLP er små i forhold til LCD-projektorene. Dette gjelder spesielt de eldste.

Etter å ha studert u'v'-diagrammene får man et inntrykk av at fargerommene til hver projektor krymper mye med alderen. I tillegg ser det ut til at LCD-projektorer har et større fargeomfang enn hva DLP-projektorer har. Verdt å bemerke er det at disse to teknologiene er svært ulike og det vi oppfatter visuelt ikke nødvendigvis tilsvarer de målte data bestandig.

En annen metode for å sammenligne projektorene er også blitt brukt. Figur 20 viser snittverdien for henholdsvis ΔL^* , Δa^* og Δb^* for alle projektorene. Fargene på søylene viser om projektoren generelt viser lysere eller mørkere farger enn snittet. I tillegg viser den om fargene er grønnere eller rødere og om de er gulere eller blåere enn snittet.

Vi ser at projektorene i de to auditoriene i Eureka er lysere enn snittet, noe som til en viss grad samsvarer med de visuelle vurderingene. Verdt å bemerke er at det ser ut til å være rimelig stor forskjell i lyshet mellom disse rommene, men visuelt ble det derimot ikke lagt merke til særlige forskjeller. Projektorene i disse rommene er i tillegg av samme merke, har samme styrke på lampe og er like gamle. En annen projektor som ser ut til å være en del lysere enn snittet er den bærbare AT nr. 1. Dette stemmer godt overens med de visuelle vurderingene. Når det gjelder projektorer som er mørkere enn snittet er det mest utslag på AT nr. 3. Denne hadde synlig mye mørkere bilder enn de andre bærbare. Projektorene i rom B209 og E212 slår også ut, men det visuelle inntrykket av disse ga ingen indikasjoner på dette. Lysstyrken til disse projektorene er varierende, i B209 er det kraftig mens de andre er middels. AT nr. 2 og AT nr. 3 er av samme merke og alder, men oppfører seg ulikt.

AT nr. 2 viser at den projiserer mye blåere og noe grønnere enn de andre. De to eldste projektorene til AT, nr. 3 og nr. 4 ser ut til å være en god del grønnere enn snittet. De nyere projektorene AT nr. 1, AH nr. 1 og AH nr. 2 slår alle ut en del på rødt og litt på gult. Biblioteket slår også ut en del på rødt. Verdt å legge merke til er spesielt de to helt nye projektorene i Eureka. Disse slår begge ut rimelig mye på gult.

Tabellarisk oppsett over gjennomsnitt- og maksimalverdier av ΔE^*_{ab} for auditorieprojektorene vises i Tabell 7. Snittverdiene ligger jevnt mellom 4 og 8 og bortsett fra projektoren i E212 på 4 er det ingen som skiller seg nevneverdig ut. E212 kan dermed sees på som en gjennomsnittspjektor, noe som stemmer godt overens med de visuelle betraktningene. Maksimalverdiene gir omtrent de samme antydningene. Verdiene spenner fra 10 for projektoren i E212 til 16 for projektoren i B209. Alle maksimalverdiene unntatt den i E212 slår ut på mettet, ren blå eller ren grønn. I E212 slår det ut på ren blå med lav intensitet.

Tabell 7: Snitt og maks ΔE^*_{ab} -verdier for auditorieprosjektorene.

Projektor	Snitt	Maks
K102	6,193	11,086
F101B	6,543	14,234
F101A	7,902	14,348
C007	5,903	11,336
B209	7,832	16,006
E212	4,474	9,808

Tabellen for gjennomsnitts- og maksimalverdier for de bærbare prosjektorene, Tabell 8, viser som tidligere illustrert høye snittverdier for ΔE^*_{ab} . Verdiene spenner fra 13 på Action One til 23 hos AT nr. 3. Det ser dermed ut som Action One kommer best ut i gjennomsnitt. I forhold til de visuelle vurderingene stemmer dette bra. Den projektoren med nest minst snitt er Bibliotekets, tett fulgt av AT nr. 1 og AH nr. 2. De to nyeste prosjektorene er dermed de med lavest ΔE^*_{ab} -snitt. Den nyeste til AT og den ene til AH er også blant de med lavest verdi. De tre eldste har de høyeste ΔE^*_{ab} -verdiene. Som L*a*b*-vurderingen ovenfor også viser, er det en viss forskjell på de to like prosjektorene til AH og tendensen er den samme. Bortsett fra den høye snittverdien til AH nr. 1 stemmer verdiene godt overens med de visuelle betraktningene. Om man tar for seg maksimalverdiene er disse til dels svært høye. Spriket mellom den laveste og den høyeste er stort med Action One på 31 og AT nr. 3 på hele 80. Action One har den desidert laveste maksimale verdien, noe som stemmer greit med snittverdiene. De neste er Biblioteket og AT nr. 1 på 57. Disse er forholdsvis nye. AT nr. 2 kommer noe positivt ut med en ΔE^*_{ab} -verdi på 64, noe som er lavere enn AH nr. 1 og AH nr. 2 som er en del nyere. AT nr. 3 og AT nr. 4 kommer dårligst ut også her.

Tabell 8: Snitt og maks ΔE^*_{ab} -verdier for de bærbare prosjektorene.

Projektor	Snitt	Maks
AT nr. 1	17,657	56,604
AT nr. 2	22,072	64,006
AT nr. 3	22,777	80,036
AT nr. 4	21,185	75,006
AH nr. 1	20,817	69,530
AH nr. 2	19,276	64,578
Bibliotek	16,502	57,389
Action One	12,975	30,950

5 Sammenligning av projektorene i lyst og mørkt rom

For å sammenligne egenskapene til de forskjellige projektorene under henholdsvis mørke og lyse forhold, plottes begge dataseriene inn i samme diagram. Mørkt rom vises som fargede søyler, mens lyst rom vises som en punktlinj. Fargeavstandsmetoden ΔE_{00} brukes her. Under sammenligning av gjennomsnittsverdier og maksimalverdier benyttes ΔE^*_{ab} som før.

Det samme utvalget av projektorer som er beskrevet i kapittel 4 brukes også her.

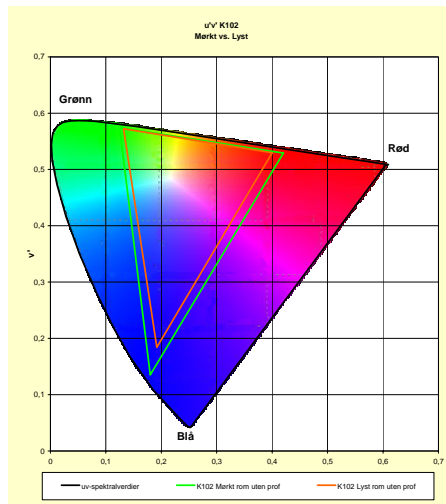
For å vise forskjellene i fargeomfang ble programmet ICC3D brukt [36][37]. Dette programmet gjør det mulig å vise flere fargerom oppå hverandre i samme 3D-diagram. Forskjellene kommer da tydelig frem om man gjør det største rommet transparent. En annen måte å vise forskjellene på er å bruke et 2D u'v'-diagram hvor primærfargen plottes inn og danner en trekant. Trekanten viser hvor stort fargerommet er i forhold til maksimalt fargerom.

For å illustrere størrelsesforskjellene på fargerommene i ICC3D benyttes her Convex Hull. Dette er en enkel og generell metode for å finne overflaten til et fargeomfang.

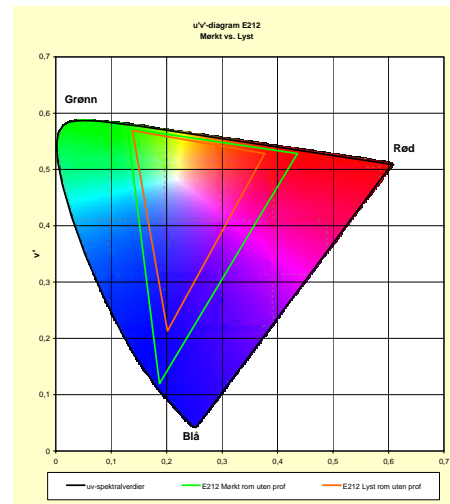
5.1 Vurdering av forskjellene mellom lyst og mørkt rom

ΔE_{00} -verdiene, det vil si fargeforskjellen i forhold til en gjennomsnittsprjektor, er generelt mye høyere for lyst rom enn for mørkt, se Figur 22. Det er tydelig at intensiteten har mye å si for evnen projektorene har til å vise riktige farger når forholdene er lyse. Hvor stor forskjell det er på fargerommene mellom lyst og mørkt rom dette utvalget av projektorer varierer en del med hensyn på alder. Om vi ser nærmere på de fem u'v'-diagrammene i Figur 21 ser vi tydelig dette. De nyeste projektorene (K102 og Biblioteket) har liten forskjell mellom lyst og mørkt rom. E212 klarer seg bra under lyse forhold når det gjelder grønn, men er en del svakere når det gjelder blå og rød. AH nr. 1 har samme tendensen, men her er ikke avstanden til rød og blå så store under lyse forhold. AT nr. 4 har i utgangspunktet et lite fargerom og får et svært lite et når lyset er slått på. Denne klarer seg også bra når det gjelder grønt, men er svært dårlig når det gjelder rød.

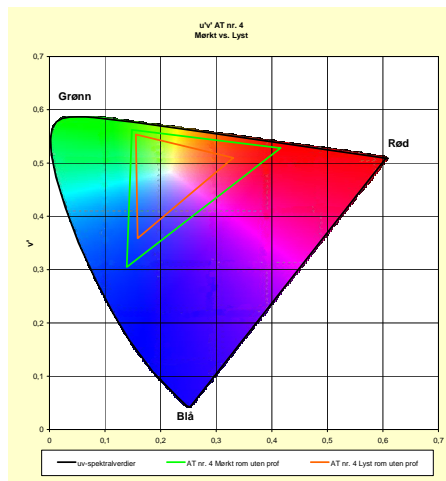
De visuelle vurderingene stemmer godt overens med måleresultatene. AT nr. 4 blir svært blass og sliter tydelig med å vise klare, rene farger. De andre fire ser man ikke stor forskjell på annet enn en generelt større blasshet. Fargene virker derimot rimelig riktige og det er bare E212 som skiller seg ut. Når det gjelder denne projektoren legger man merke til en noe dårligere gjengivelse av blått. Dette stemmer bra med måledataene.



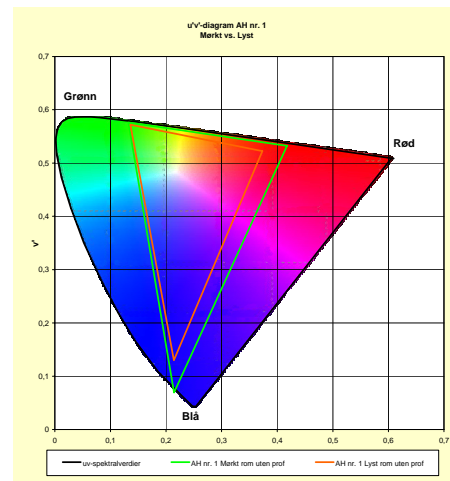
K102



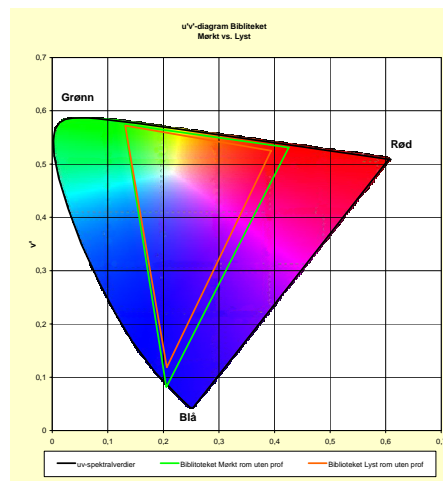
E212



AT nr. 4



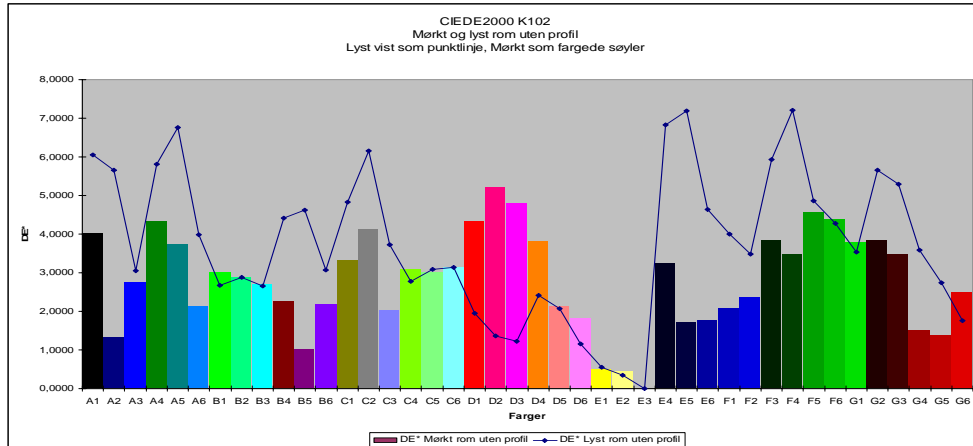
AH nr. 1



Biblioteket

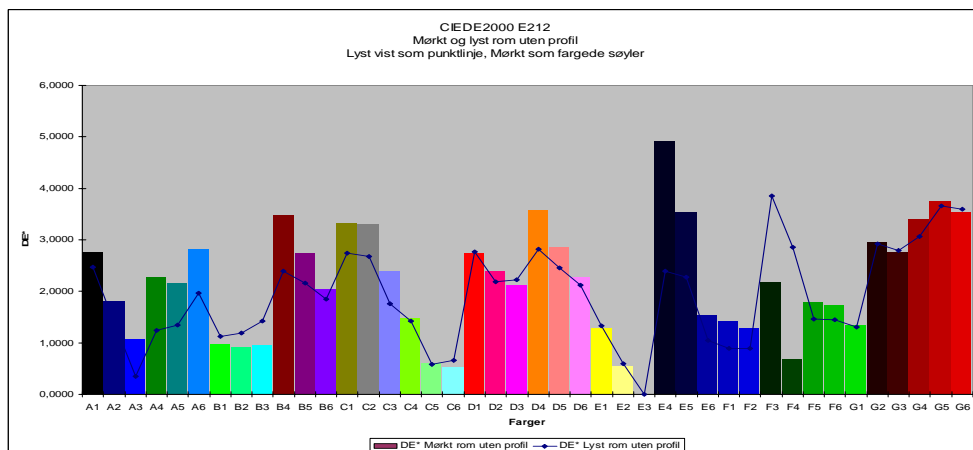
Figur 21: u'v'-diagram for mørkt og lyst rom på for de utvalgte projektorene.

Om vi ser litt nærmere på egenskapene til hver enkelt projektor ser vi at projektoren i K102 har store forskjeller i ΔE_{00} -verdier når de rene kanalene har lav intensitet, Figur 22. Dette gjelder spesielt blå, men også grønn. For rød kanal med høy intensitet er tendensen derimot den motsatte. Her ser det nesten ut til at fargene vises mer riktig når lyset er slått på.



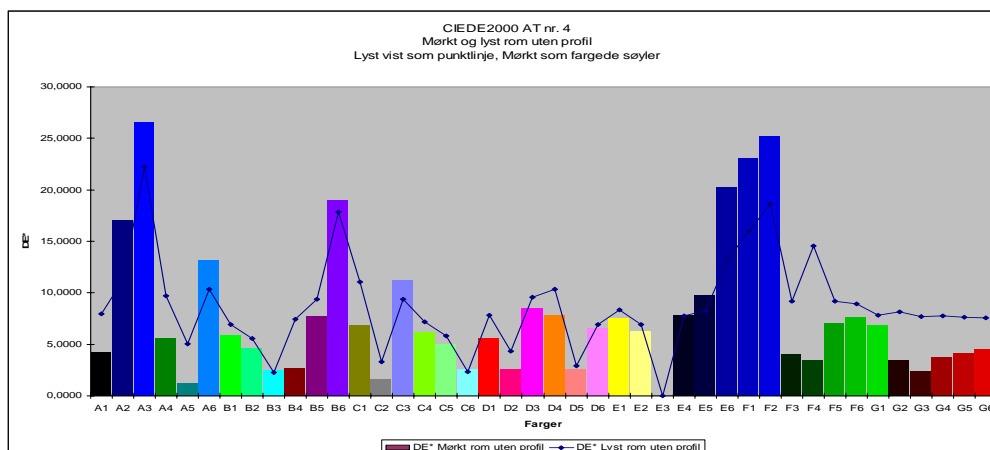
Figur 22: Forskjell på lyst og mørkt rom i K102, uten profil.

Projektoren i E212 har som tidligere vist ikke så stor forskjell på ΔE_{00} -verdiene i lyst og mørkt rom. Dette kommer også frem i Figur 23. Her ser vi at det er når det gjelder grønn ren kanal at verdiene for lyst rom er større enn for mørkt. De er også høyere der mettet grønn er blandet med blå. Når det gjelder blått blir verdiene mindre i forhold til snittet av auditorieprojektorerne for lyst rom.



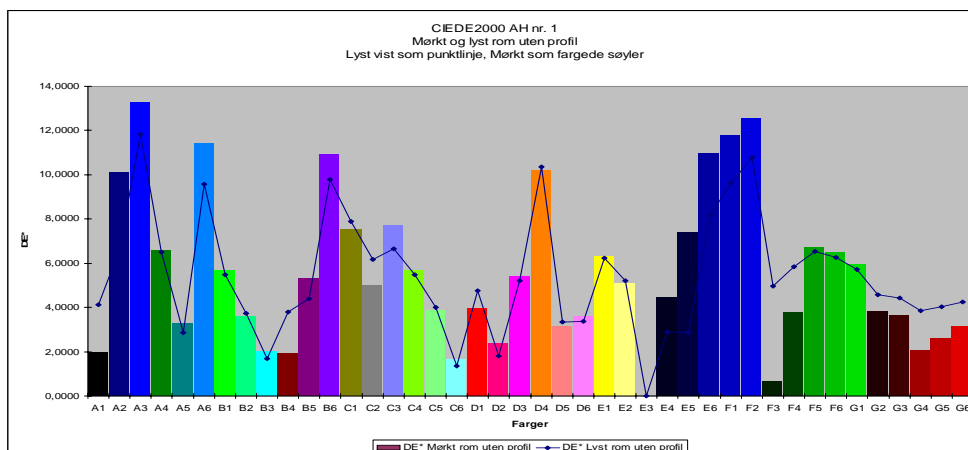
Figur 23: Forskjellen på lyst og mørkt rom i E212, uten profil.

Når det gjelder de bærbare projektorerne har disse noe av den samme tendensen som hos auditorieprojektorerne. AT nr. 4 er en gammel projektor med forholdsvis høye ΔE_{00} -verdier. Figur 24 viser at den i forhold til snittet har generelt høyere verdier under lyse forhold. Også her er det umettet grønn som slår mest ut. Ser man på blå derimot ligger den nærmere opp mot gjennomsnittsprojektoren. Dette gjelder både ren blå kanal og blå kanal i kombinasjon med en eller begge av de andre.



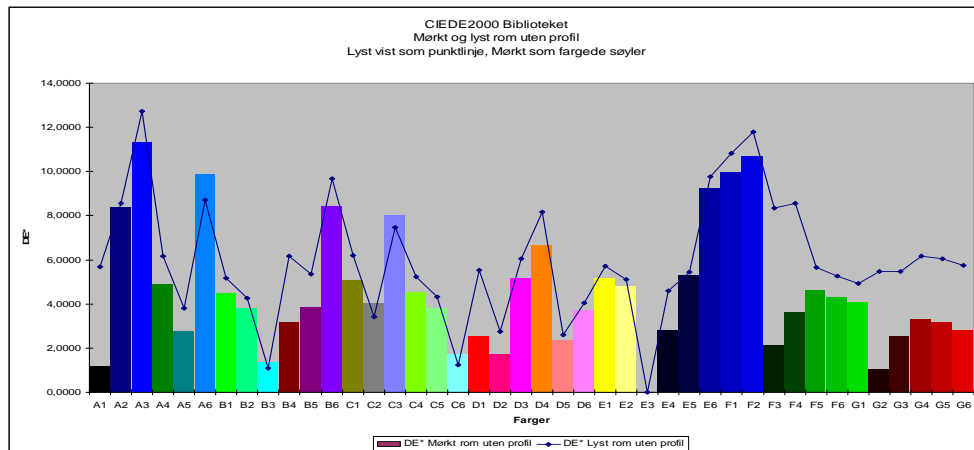
Figur 24: Forskjellen på lyst og mørkt rom AT nr. 4, uten profil.

AH nr. 1 er av de nyere projektorene og her er ikke forskjellen mellom lyst og mørkt rom så stor. Umettet grønn slår ut ganske mye og blå kanal har lavere ΔE_{00} -verdier under lyse forhold. Dette gjelder også i kombinasjon med de andre kanalene.



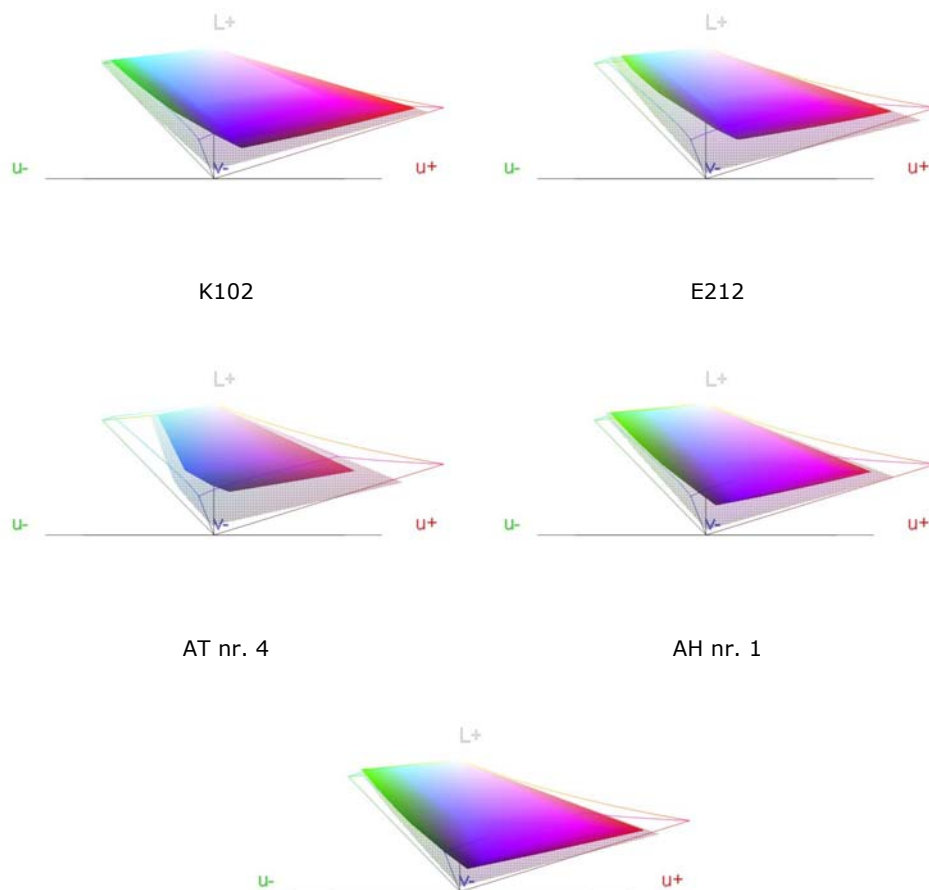
Figur 25: Forskjellen på lyst og mørkt rom AH nr. 1, uten profil.

Bibliotekets projektor, Figur 26, er helt ny, men har likevel noe forskjell mellom lyst og mørkt rom. ΔE_{00} -verdiene er ikke spesielt høye, men slår som beskrevet i Vedlegg A ut på den blå kanalen, både som ren kanal og i kombinasjon med de to andre kanalene. Verdiene for lyst rom følger samme kurven som for mørkt rom. Avstanden er noe større for ren rød kanal og noe mindre for ren blå. Et annet element det kan være verdt å bemerke er at svart har større avstand til gjennomsnittet under lyse forhold.



Figur 26: Forskjell på lyst og mørkt rom Biblioteket, uten profil.

Når vi bruker ICC3D får vi et enda bedre bilde på forskjellene mellom lyst og mørkt rom, selv om det ikke er lett å illustrere et tredimensjonalt objekt på ark. Figur 27 viser Luv-diagrammer for de utvalgte projektorene. Hvilke farger de forskjellige projektorene ikke er spesielt god til å vise kommer godt frem på denne visualiseringsmåten. En ting det er verdt å legge merke til er at de nyere projektorene ikke på langt nær er så dårlig til å vise farger som de eldre under ugunstige forhold.

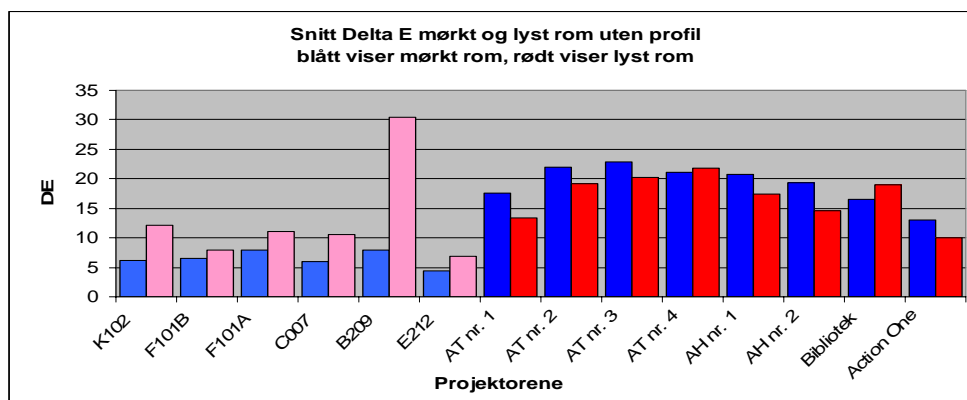


Biblioteket

Figur 27: Luv-diagram for de utvalgte projektorene - transparent viser målinger under mørke forhold, lyse forhold er opaque.

5.2 Diskusjon lyst og mørkt rom

Ser vi på resultatene samlet kommer det frem tydelige tendenser. Gjennomsnittsverdiene for alle projektorene i henholdsvis mørkt og lyst rom illustreres i Figur 28. Her ser vi igjen den store forskjellen mellom de bærbare projektorene og de fastmonterte.



Figur 28: Snittverdier for Delta E*_{ab} i mørkt og lyst rom uten profil.

Tabell 9 og Tabell 10 viser gjennomsnitt- og maksimalverdier for projektorene i henholdsvis mørkt og lyst rom. De fastmonterte viser at alle har en høyere snittverdi under lyse forhold. B209 slår kraftig ut, men som det har blitt fortalt tidligere så har dette å gjøre med at det ikke var mulig å få rommet tilstrekkelig mørkt. K102 og C007 har større forskjell i snittverdi enn de andre, om vi ser bort fra B209. Store Eureka er det auditoriet med minst gjennomsnittlig fargeavstand.

Tabell 9: Snitt- og maksverdier for ΔE^*_{ab} i mørkt og lyst rom, auditoriene.

Projektor	Snitt mørkt rom	Snitt lyst rom	Maks mørkt rom	Maks lyst rom
K102	6,193	11,086	12,180	18,024
F101B	6,543	14,234	7,909	14,594
F101A	7,902	14,348	11,077	24,185
C007	5,903	11,336	10,551	14,499
B209	7,832	16,006	30,447	55,031
E212	4,474	9,808	6,921	13,464

De bærbare projektorene viser litt andre resultater. Her er faktisk ΔE^*_{ab} -verdiene for lyst rom gjennomsnittlig mindre enn for mørkt rom. Det er bare AT nr. 4 og Biblioteket som har høyere snittverdier under lyse forhold. Noe av grunnen til dette kan være at det er flere eldre projektorer og at disse viser jevnt dårligere under lyse forhold, noe som vil gi jevnere verdier. Dette medfører igjen at få av projektorene skiller seg spesielt ut fra de andre under de lyse forholdene.

Tabell 10: Snitt- og maksverdier for ΔE^*_{ab} i mørkt og lyst rom, bærbare.

Projektor	Snitt mørkt rom	Snitt lyst rom	Maks mørkt rom	Maks lyst rom
AT nr. 1	17,657	56,604	13,319	37,201
AT nr. 2	22,072	64,006	19,153	47,956
AT nr. 3	22,777	80,036	20,161	62,074
AT nr. 4	21,185	75,006	21,734	62,977
AH nr. 1	20,817	69,530	17,354	53,294
AH nr. 2	19,276	64,578	14,546	44,559
Bibliotek	16,502	57,389	18,931	56,527
Action One	12,975	30,950	10,004	22,231

Ser vi på maksimalverdiene vise disse samme tendenser. De fastmonterte har for K102 og F101A mye høyere maksimalverdier enn snittet. Den største forskjellen kommer naturlig nok hos projektoren i B209. Minst forskjell er i F101B, C007 og i E212.

Når det gjelder de bærbare projektorene viser tendensen fra snittverdiene seg igjen i maksimalverdiene. AT nr. 3 og AT nr. 4 har de høyeste maksimalverdiene, mens Action One har den laveste. Dette gjenspeiler alderen på projektorene. Verdt å bemerke er de høye maksimalverdiene hos Bibliotekets projektor.

6 Sammenligning av projektorene med og uten profil

Eye-One Color Point er en tilleggsmodul til presentasjonsverktøyet Microsoft Power Point. Programmet følger med Eye-One Beamer [24]. Den har blitt utviklet fordi det i utgangspunktet ikke lar seg gjøre å kjøre fargestyring på presentasjoner vist ved hjelp av det mye brukte Power Point. Etter installasjon av programvaren blir en ekstra verktøylinje tilgjengelig i Power Point. Her kan brukerne velge hvilken profil man vil knytte til presentasjonen og kan deretter velge å slå på eller av bruken av denne profilen. Målet med å bruke en profil tilpasset hver projektor er å kunne gjøre det visuelle inntrykket mest mulig likt mellom ulike visningsmedier.

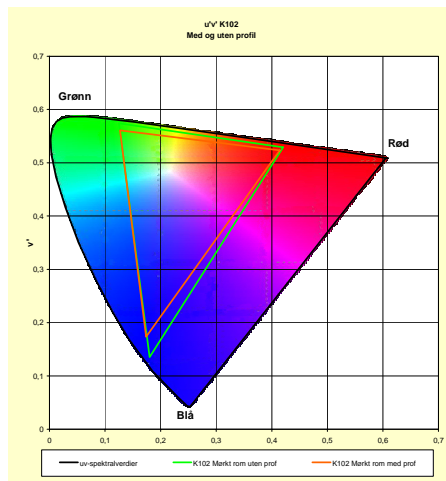
For å sammenligne med og uten profil kan man se om fargeomfanget til projektoren er endret. Ved ren kalibrering ville dette antagelig være mer tydelig siden en profil bare retter på fargene slik at de blir mest mulig riktige opp mot originalfargen.

De samme metodene som ble brukt under rom med ulike lysforhold kan også benyttes her for å illustrere eventuelle forskjeller. I tillegg har det blitt gjort en visuell vurdering basert på WinColorTest.

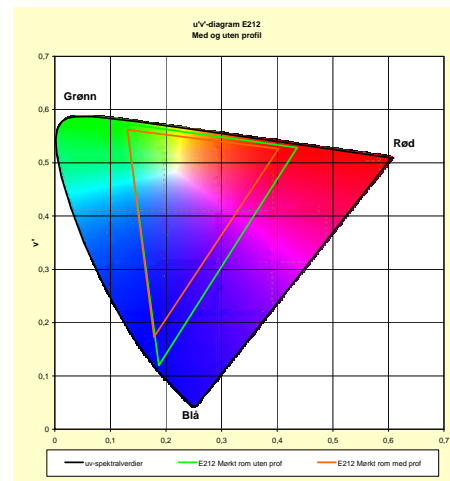
6.1 Vurdering av projektorene med og uten profil

Det kommer tydelig frem at fargerommene er rimelig like i oversikten over de utvalgte projektorene i Figur 29. De fastmonterte projektorene i K102 og E212 har ganske like fargerom. K102 er like store når det gjelder grønt og rødt, men en vridning bort fra rødlig blå. E212 har samme rom når det gjelder grønn, men er lik K102 når det gjelder og blå og har noe mindre omfang i det røde feltet. For de bærbare er det noe større forskjeller. For AT nr. 4 har den blå en motsatt vridning av blå farge enn de andre projektorene, mens grønn og rød har samme tendens som for projektoren i E212. AH nr. 1 og Bibliotekets har svært like tendenser. AH nr. 1 klarer rødt og grønt bra, men har noe mindre omfang når det gjelder blått. Bibliotekets har en liten forskyvning når det gjelder rødt, men ellers er den lik AH nr. 1.

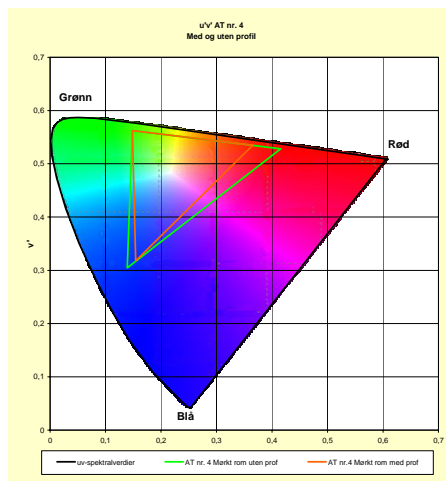
Fargerommene for alle projektorene blir, som nevnt tidligere, naturlig nok noe mindre når man bruker profil. Ellers er det liten forskyvning på grønn farge. Når det gjelder rød og blå er det noe mer varierende, men stort sett alle har samme tendens. Bortsett fra AT nr. 4 trekker alle blå seg bort fra det rødlike, mens tre av fem har et noe mindre omfang på rødt.



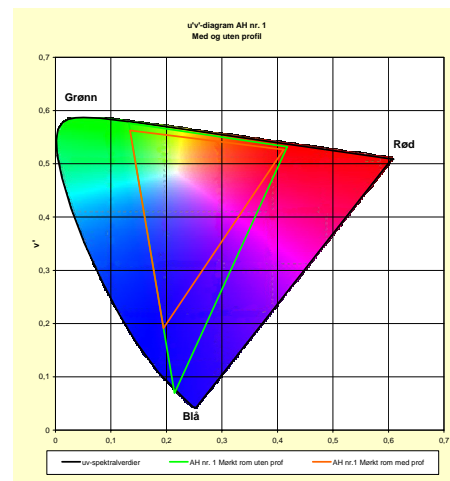
K102



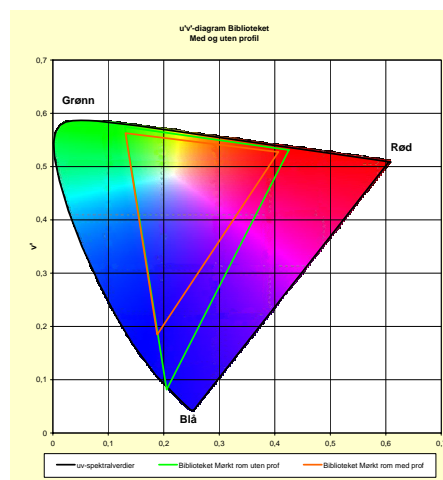
E212



AT nr. 4



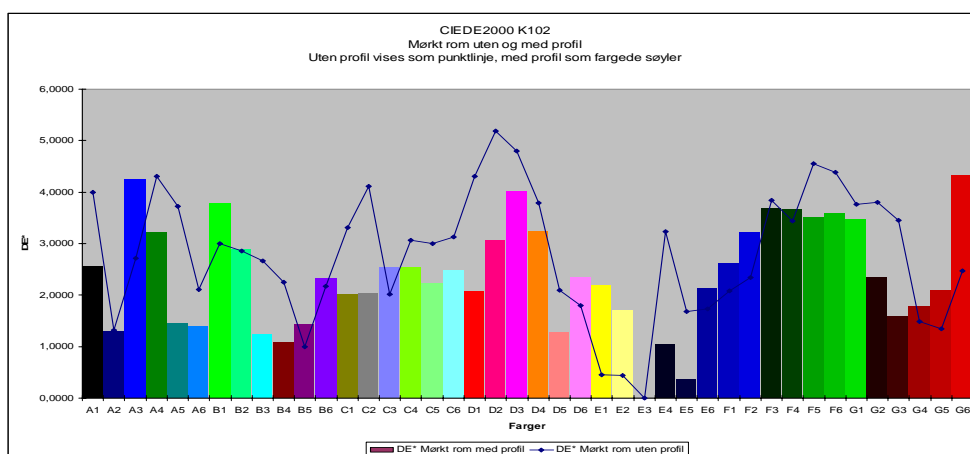
AH nr. 1



Biblioteket

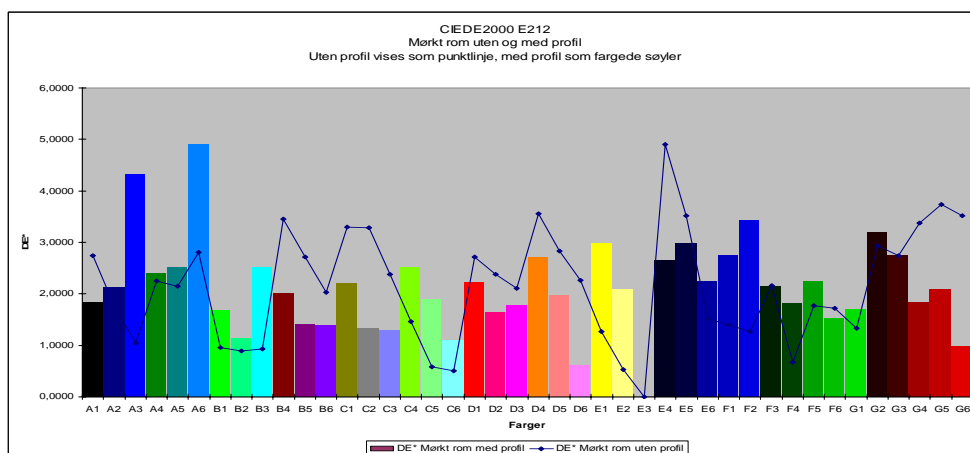
Figur 29: u'v'-diagram for mørkt rom med og uten profil på de utvalgte projektorene.

Ser vi på de fem projektorene hver for seg farge for farge får vi frem mer om hvor forskjellene ligger. Figur 30 viser måledata for K102 med og uten profil. Det kommer tydelig frem at ΔE_{00} blir mindre når man bruker profil. Dette gjelder spesielt de fargene som er blandinger av flere kanaler. De største forbedringene finner vi for rød i kombinasjon med blå og der hvor alle tre har middels metning. Når det gjelder mettet, ren blå er det derimot det motsatte som skjer, nemlig at ΔE_{00} blir større med profilen i forhold til snittet.



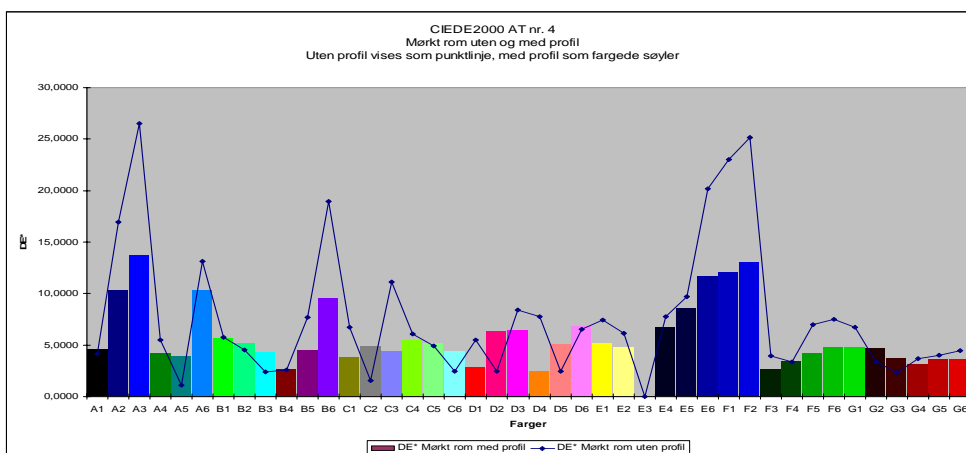
Figur 30: Forskjellen mellom med og uten profil i K102, mørkt rom.

I E212 ser vi også at ΔE_{00} blir mindre når man bruker profil, Figur 31. Forskjellene her er ikke så store som hos projektorene i K102. De største forbedringene finner vi her når alle tre kanaler er blandet og ved ren blå kanal med lav intensitet. ΔE_{00} blir derimot større for gul og høyt mettet blå kanal, enten ren eller i kombinasjon med de andre. For ren grønn kanal er det også en større avstand i ΔE_{00} .



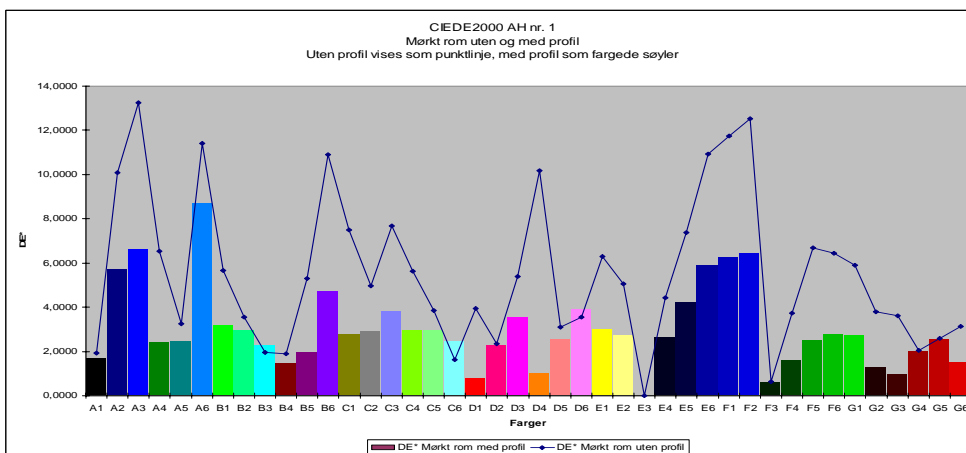
Figur 31: Forskjellen med og uten profil i E212, mørkt rom.

For AT nr. 4 ser vi stor forbedring i ΔE_{00} når man bruker profil, se Figur 32. Spesielt blå ren kanal gir mye mindre verdier. Det er også lavere verdier for blandinger med blått, spesielt når den er blandet med grønn. Den røde rene kanalen har ikke så stor forskjell, heller ikke sammen med de andre kanalene.



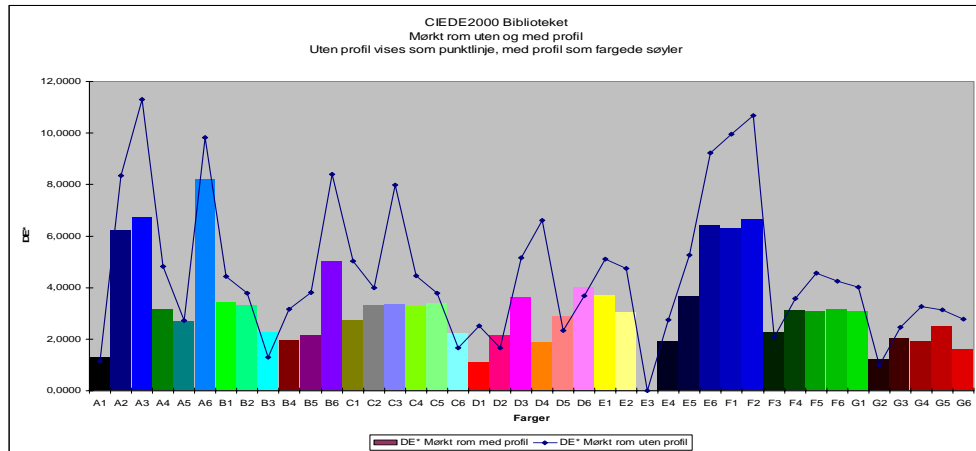
Figur 32: Forskjellen med og uten profil for AT nr. 4, mørkt rom.

ΔE_{00} -verdiene for AH nr. 1, Figur 33, er enda lavere for målingene med profil i forhold til uten enn AT nr. 4. Stort sett alle fargene har lavere verdier når man bruker profil. De største forbedringene kommer også her ved ren blå kanal eller blå kanal i kombinasjon med en eller begge av de to andre. Også ren grønn kanal har stor forbedring, mens rød kanal ligger på det jevne.



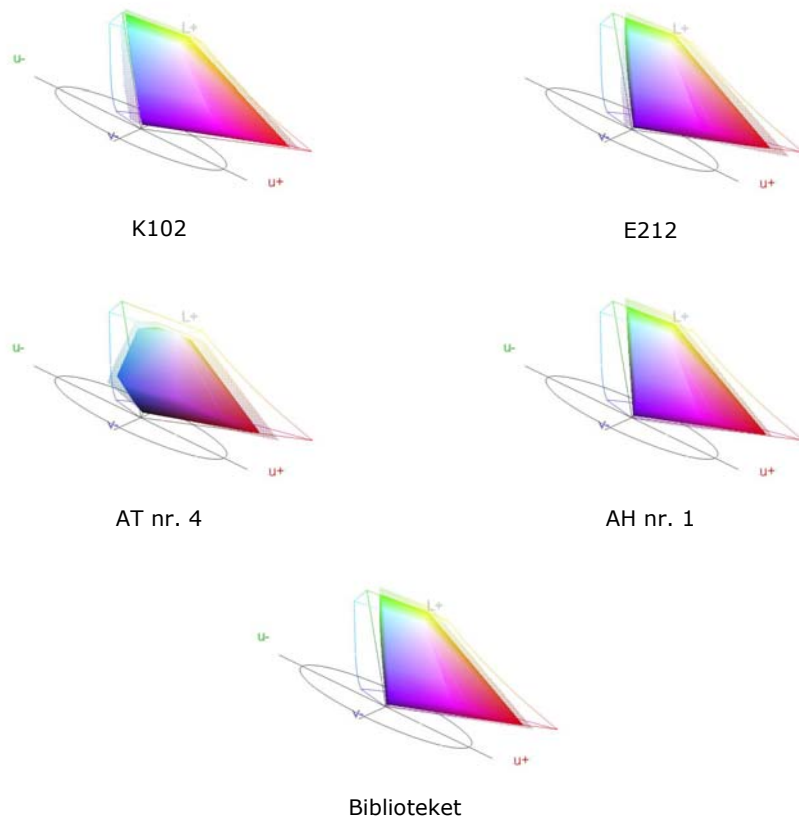
Figur 33: Forskjell med og uten profil for AH nr. 1, mørkt rom.

Også Bibliotekets projektor har positive forskjeller i ΔE_{00} -verdier når man bruker profil. Her er det akkurat samme tendens som hos AH nr. 1.



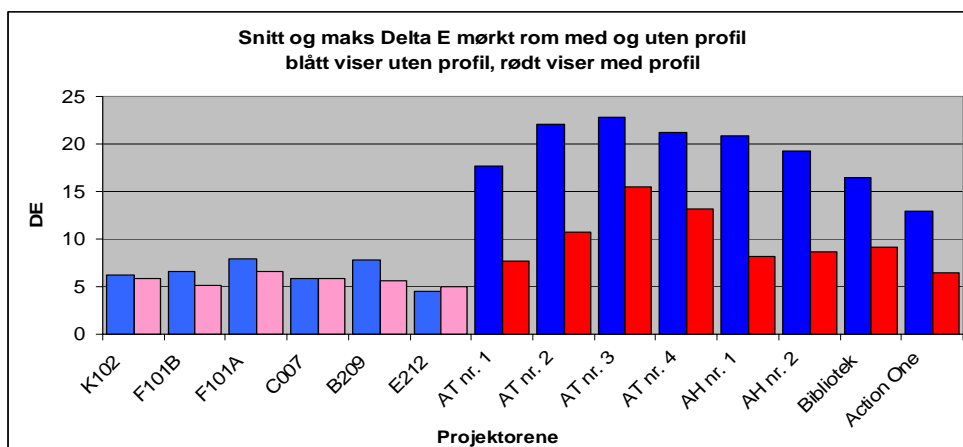
Figur 34: Forskjell med og uten profil for Biblioteket, mørkt rom.

Figur 35 viser fargerommene ved hjelp ICC3D. Her ser vi det samme som u'v'-diagrammene viste, nemlig at rommene blir noe mindre ved bruk av profil.



Figur 35: Luv-diagram for de utvalgte projektorerne - transparent viser målinger under mørke forhold uten profil, med profil er opaque.

Figur 36 viser hvor store forbedringene i ΔE_{00} -verdier er ved bruk av profil. Av de fastmonterte finner vi størst forbedring for projektorene i Eureka og B209. Alle de bærbare blir kraftig forbedret i snitt.



Figur 36: Snitt- og maksverdier ΔE^*_{ab} mørkt rom med og uten profil.

Tabell 11 viser gjennomsnitts- og maksimalverdier for de fastmonterte projektorene. Snittverdiene er her enten omtrent like eller noe lavere for målinger med profil i forhold til uten. Unntaket er E212 hvor snittverdien faktisk blir litt større.

Tabell 11: Snitt- og maksverdier uten og med profil for de fastmonterte.

Projektor	Snitt uten profil	Snitt med profil	Maks uten profil	Maks med profil
K102	6,193	11,086	5,833	15,080
F101B	6,543	14,234	5,071	10,710
F101A	7,902	14,348	6,556	16,554
C007	5,903	11,336	5,903	11,336
B209	7,832	16,006	5,599	11,647
E212	4,474	9,808	5,013	10,773

For de bærbare projektorene er forbedringene tydelig store, Tabell 12. Alle de nyere projektorene får snittverdier under 10 med profil i motsetning til verdier opp mot og over 20. Forbedringen er også stor for de tre eldste, AT nr. 2, AT nr. 3 og AT nr. 4.

Tabell 12: Snitt- og maksverdier uten og med profil for de bærbare.

Projektor	Snitt uten profil	Snitt med profil	Maks uten profil	Maks med profil
AT nr. 1	17,657	56,604	7,715	24,636
AT nr. 2	22,072	64,006	10,785	20,460
AT nr. 3	22,777	80,036	15,460	44,043
AT nr. 4	21,185	75,006	13,170	41,560
AH nr. 1	20,817	69,530	8,162	25,143
AH nr. 2	19,276	64,578	8,669	24,625
Bibliotek	16,502	57,389	9,089	26,842
Action One	12,975	30,950	6,445	57,293

Om vi ser på maksimalverdiene for disse to gruppene får vil litt sprikende resultater. For B209 blir maksimalverdien en del lavere med profil. For K102, F101B og til dels E212 blir de noe høyere. Ellers er de rimelig jevne. Når det gjelder de bærbare blir alle mindre. Forbedringen ligger opp mot 40 på de fleste. De høyeste er fortsatt AT nr. 2 og AT nr. 3, men en forbedring fra 80 til 44 og fra 75 til 42 tyder jo på at profilen gjør at projektorene yter mer likt når man bruker profil. Dette er jo også hele hensikten med profilen.

6.2 Windows Color Quality

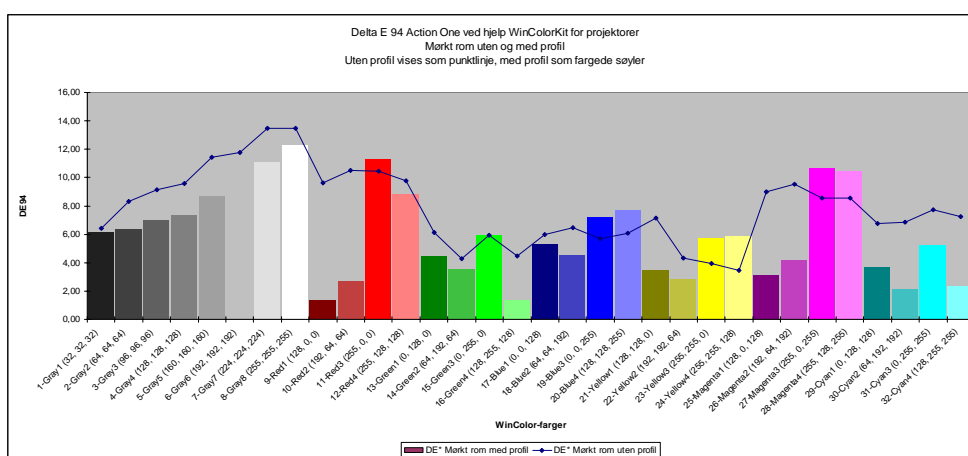
Oppsettet til kvalitetsvurdering av projektorer som Windows har laget benyttes så for å finne ut riktigheten av fargene profilen viser. Settet er kun kjørt på Action One fra Projectiondesign. Den vil dermed ikke kunne gi en helhetlig vurdering, men den vil kunne bekrefte eller avkrefte de resultatene som har kommet frem ved hjelp av de andre metodene. De målte verdiene fra mørkt rom med og uten profil ble lagt inn i et ferdig Excel-ark som produserte ΔE_{94} -verdier. Disse verdiene sammen med Δx og Δy ga så svar på om projektoren var godkjent eller ikke, se Tabell 13. For de kriteriene WinColorKit setter for projektorer så er Action One godkjent på alle punkter før bruk av profil. Når man bruker profil blir den ikke godkjent på Δx -verdien, men ellers går den gjennom.

Tabell 13: WinColorKits godkjent/ikke godkjent for Action One med og uten profil.

Sample	E* (94)	E* (94)	dx	dy	E* (94)	E* (94)	E* (94)
	Common color Snitt	Common color Maks	Fargepatch-7	Fargepatch-7	IEC Patch Snitt	ΔE_{94} Snitt gamutfarger	ΔE_{94} Snitt primær -og sekundærfarger
Uten profil	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	7,88	12,10
Med profil	PASS	PASS	FAIL	PASS	PASS	5,96	12,42

Om vi ser nærmere på de konkrete ΔE_{94} -verdiene, Figur 37, ser vi den samme tendensen her som de projektorene som har blitt illustrert tidligere. Forbedringen er størst for mørk rød og mørk magenta. Den er også stor for cyan, men derimot ikke for blå. Når det gjelder gråtonene har den en jevn forbedring.

Resultatene fra denne måten å vurdere projektorer på er ganske lik resultatene fra metodene brukt i de to foregående kapitlene. Det er verdt å legge merke til at målingene med profil feiler på de fargene som Microsoft mener alle projektorer bør klare. Dette skjer ikke uten profil. Med profil er gjennomsnittet for alle målte farger lavere, men om man ser på primær og sekundærfargene så er faktisk gjennomsnittet av ΔE_{94} -verdien høyere. Om vi hadde brukt samme kriterium for å godkjenne eller underkjenne de andre projektorene ved å sette grensen for gjennomsnittet av også ΔE^*_{ab} til 20, ville alle projektorene blitt godkjent med bruk av profil. Uten profil derimot, ville AT nr. 2, AT nr. 3, AT nr. 4 og AH nr. 1 blitt underkjent.



Figur 37: Forskjellen med og uten profil for Action One med WinColor ΔE_{94} .

I tillegg til målresultatene inneholder WinColorKit et oppsett for visuell vurdering. Under denne vurderingen ble det spesielt lagt merke til balansen i fargetonene, den generelle fargebalansen og fargemetningen på bilde vist i Figur 14. Vurderingene viste at kontrasten var ypperlig både med og uten profil. Fargene virket også veldig bra. Hudtonene på delbilde oppe til høyre og nede til høyre virket kanskje en tanke riktigere ved bruk av profil. Bassengvannet bak jenta på delbildet nederst i midten så noe feil ut både med og uten profil. Når det gjelder den generelle fargebalansen virket denne bra. Det var ingen synlige fargestikk i bildet og for eksempel hvit opp på bildet så lik ut hvit lenger ned. Metningen av fargene så også bra ut. Med profil ble bildene noe klarere i fargen som antagelig er grunnet økt metning av fargen med profil. Action One er fra produsentens side laget med ekstra kontrast og fargedybde og uten spesielle hensyn til riktigheten av fargene. Fargene virker allikevel riktige når man ser dem i sammenheng med andre bilder ved en normalvisning.

Om vi derimot ser på det andre bildet i WinColorKit, Figur 15, som viser nyanser i RGB-verdiene, ser man lettere noen av svakhetene ved fargegjengivelsen. Overgangene var stedvis hakkete og spesielt de mørke partiene virket homogene i fargen i stedet for nyansert. Fargene som projektoren sliter mest med å projisere er blått og rødt.

7 Konklusjon og videre arbeid

Det ser ut til at alderen på projektoren har mye å si for hvor god projektoren er. Det ser også ut til at fargerommet til DLP-projektorer er en del mindre enn hos LCD-projektorer. Dette kan skyldes at teknologiene er svært forskjellige. Allikevel viser de visuelle vurderingene at projektorene ikke gir inntrykk av å vise et dårligere projisert bilde. Grunnen til dette er antagelig at det med DLP-teknologien satses mye på kontrast og renhet i bildet og at dette i tillegg til at man ikke kan sjeldne pikslene gjør at bildet virker vel så skarpt og klart. Hvilken teknologi man bør velge avhenger dermed av hva man skal bruke projektoren til. Om det er svært viktig at fargerommet er størst mulig bør man velge LCD. Om klarhet, kontrast og stabilitet i bildet er viktigst bør man gå for en DLP-projektor. Når det gjelder høgskolens projektorer burde de tre eldste projektorene til AT byttes ut. Dette ville økt den generelle kvaliteten på de bærbare projektorene. I tillegg til et utflytende og uklart bilde, er støy et stort problem med disse tre projektorene. De fleste av auditorieprojektorene er byttet ut. Problemet er at kablene i Eureka er gamle og ikke har den overføringskapasiteten som de nye projektorene krever.

Når det gjelder forskjellen mellom lyst og mørkt rom kan det konkluderes med det samme som begynner å bli allment kjent, nemlig at lys fra andre lyskilder på lerretet gjør det projiserte bildet bløtt og konturløst. Fargene virker mindre mettet og er til dels uklare. Action One har med hell klart å oppveie dette ved å satse på kontrast og fargemetning. Når det gjelder lys i rommet kan det også nevnes at refleksjon fra objekter i rommet og lys fra nødlampene påvirker det projiserte bildet om refleksjonen eller lampelyset treffer direkte på lerretet. Uten at det er nevnt tidligere i rapporten har det også blitt kjørt målinger og visuelle vurderinger på profil i lyst rom. Bildet blir noe riktigere når det gjelder farger, men blassheten er der fortsatt. Visuelt sett kommer også her de tre eldste projektorene til AT dårligst ut. I tillegg bør det vurderes å gjøre noe med forholdene i B209. Det bør være mulig å kunne få rommet mørkere på dagtid. Dessuten burde det være mulig å bare slå av lyset over lerretet, mens resten av lyset i rommet kunne være slått på.

Bruk av profil gir et visuelt mye riktigere bilde i og med at hvitpunktet justeres. Selv om fargerommet blir noe mindre er ikke dette noe man merker når man studerer det projiserte bildet. Fargeavstanden til gjennomsnittsprojektorene ble mindre ved bruk av profil. Dette tyder da bra siden man ved hjelp av profilen prøver å gjøre det gitte utstyret tilnærmet likt de andre. Oppsettet for fargeavstand til Windows Color Quality ga tilnærmet de samme resultatene. Ved bruk av profil ble alle projektorene godkjent. Uten profil ble fire av de åtte bærbare projektorene underkjent, mens alle auditorieprojektorene også ble godkjent her. Sammenligning mellom de to gruppene av projektorer viste viktigheten av å kjøre en kalibrering på utstyret før man lager profilen. Grunnen til dette er at profilen ikke gjør andre endringer enn å prøve å korrigere fargene. Når det gjelder for eksempel kontrast og gamma må dette justeres manuelt eller ved hjelp av et kalibreringsverktøy.

En annen ting som også ble testet, men som ikke er nevnt tidligere er hvordan en profil fungerer om den er laget under lyse romforhold. Det står i manualen til Eye-One at rommet bør gjøres så mørkt som mulig. Tester som ble utført bekreftet raskt dette. Profilen klarte ikke å justere fargene nok til at man synes bildet ble særlig mye riktigere [22].

Prisen på Eye-One er mye lavere enn det man må ut med for å kjøpe et spektroradiometer og programvare for lage profil. Testresultatene viste at Eye-One er en god investering om man ønsker å gjøre ulike typer utstyr visuelt likt i størst mulig grad.

Ut fra resultatene som er beskrevet kan man også komme med noen råd om fargevalg for at projektoren skal kunne virke best mulig under ugunstige forhold. Grønn er tydelig en farge de fleste projektorene klarer bra. I tillegg er våre visuelle evner god når det gjelder denne fargen. Blått er vi veldig flinke til å skille mellom nyanser i, men mange av projektorene har til dels dårlig evne til å vise denne fargen. Likevel er omfanget fortsatt så stort at fargen med fordel kan brukes. Rødt derimot er ikke en farge å anbefale, i hvert fall ikke som kontrastfarge. Gul og magenta vises ofte litt for henholdsvis gul eller grønn. Der hvor riktigheten av fargen er riktig er kanskje ikke dette det beste fargevalget. Generelt kan det sies at man bør bruke en større metning av farger i presentasjoner enn det man har tenkt å vise. Dette vil gi et best mulig utbytte av det projiserte bildet. I tillegg er det noen generelle regler man bør følge om man skal kombinere farger som for eksempel bakgrunn og tekst. En bakgrunn bør i utgangspunktet ikke være mørkt. Grunnen er at det er vanskelig å få det mørke mørkt nok til å gi en god kontrast mot skriftfargen. Så lenge blå er en såpass dominerende farge er heller ikke dette å anbefale som bakgrunnsfarge. Om man allikevel velger å benytte det bør kontrastfargen det som ligger i motsatt ende av et u'v'-diagram, nemlig gul. I diagrammer bør man bruke farger som skiller seg klart fra hverandre og ikke vil nærme seg hverandre for mye om fargerommet til projektoren er liten.

For å sjekke hvor god Eye-One er i forhold til et spektroradiometer bør disse testes opp mot hverandre.

Å undersøke Color Appearance Modeller som et ledd i videre arbeid er viktig. Når det gjelder projektorer har lysforhold og omgivelser mye å si og må derfor tas med i betraktning når en utstyrsprofil skal lages [30].

Når det gjelder projektorer er de også andre elementer som spiller inn for den totale opplevelsen. En av disse tingene er støy. Dette er ikke tatt hensyn til i dette arbeidet, men er helt klart noe man bør undersøke nærmere. Hvor mye støy som kommer fra en projektor har mye å si om man sitter i et klasserom eller et konferanserom hvor lydnivået ellers ikke er høyt nok til å overdøve viften i projektoren.

Som nevnt i rapporten er det viktig at de omliggende forholdene til en projektor også blir tatt hensyn til. Typen kabler, refleksjon og annen belysning i rommet innvirker på det projiserte bildet og bør tas hensyn til når det gjelder plassering og tilpasning av projektorforholdene.

Profilene som er laget til hver projektor er å finne på <http://slahan.com/diplom>. Profilen lagres i mappen C:\WINDOWS\system32\spool\drivers\color på PC. For å kunne bruke profilen i forbindelse med en Power Point-presentasjon må programmet Eye-One Color Point installerer [24] for så å aktivisere fargestyring ved hjelp av det nye menyelementet «Color Management» i Power Point. Selv om det er bevist at profilene gir et mer riktig bilde av fargene er det allikevel mest optimalt å kalibrere alle projektorene og lage nye profiler til hver av dem.

Referanser

- [1] Bruce M. Mulholland, *Introduction to color theory*,
- [2] Colin Ware, *Introduction to Color Vision*,
<http://www.ccom.edu/vislab/VisCourse/ColorBasic.html> besøkt 12.6.2004
- [3] Danny Pascale, *A Review of RGB Color Spaces ...from xyY to R'G'B'*, The BabelColor Company, Montreal, Canada, 2003
- [4] Lilly, C, et al, "*Colour in Computer Graphics, Student Notes*", ITTI Computer Graphics and Visualisation, Department of Computer Science, The University of Manchester, ukjent år.
- [5] Dr Stephen Westland, *Frequently asked questions about Colour Physics version 3*, Colorware Ltd, 2001, <http://www.colourware.co.uk>
- [6] G. Sharma, W. Wu, E. N. Dalal, *The CIEDE2000 Color-difference Formula*, USA, 2004,
<http://www.ece.rochester.edu/~gsharma/ciede2000/ciede2000noteCRNA.pdf> besøkt 12.6.2004
- [7] Hjemmekino.no, <http://hjemmekino.no/guide/projektorguide.asp>, besøkt 30.5.2004
- [8] Andreas Åkre Solberg, *CAVE og Virtual Reality*, NTNU, 19.11.2002
- [9] Alfred Poor, *Projection Display Technology*, ExtremeTech, 5.10.2001,
http://www.extremetech.com/print_article/0,3998,a=15893,00.asp besøkt 12.6.2004
- [10] Jay Griffin, *Color Gamut and Gamut Mapping*, Wasatch, Inc, 1.2002,
<http://www.techexchange.com/thelibrary/ColorGamut.html> besøkt 12.6.2004
- [11] Øivind Dahle, *Den store LCD-testen: Del 2*, Hardware.no, 9.3.2004,
<http://hardware.no/art.php?artikkelid=6051&side=3> besøkt 12.6.2004
- [12] Lars Eriksson og Preben Røikjær, *Viten om ... Fargestyring*, Hefte nr. 2 i Agfas informasjonsserie Fra Tanke Til Trykk, Agfa, Skytta, Norge, ukjent år
- [13] Jonath Sachs, *Color Management*, Digital Light & Color, 1999
- [14] Charles Poynton, *Frequently Asked Questions about Color*, Toronto, Canada, 1997
- [15] International Color Consortium, *Specification ICC.1:2003-09, File Format for Color Profiles (Version 4.1.0)*, 9.2003, <http://www.color.org> besøkt 12.6.2004
- [16] Sekonic, *Operating Instructions for Flashmate L-308B11 Exposure meter*, Sekonic Corporation, Tokyo, Japan, ukjent år,
<http://www.spanix.com/download/lighting/sekonic/L-308.pdf> besøkt 12.6.2004
- [17] Microsoft Corporation, *Windows Color Quality Specifications for Front projector OEMs*, 2001, <http://www.microsoft.com/hwdev/color> besøkt 15.6.2004
- [18] Microsoft Corporation, *Windows Color Quality Specifications Overview*, 2001,
<http://www.microsoft.com/hwdev/color> besøkt 15.5.2004
- [19] Aditit Majumder, *Properties of Color Variation Across a Multi-Projector Display*, Dept. of Computer Science, University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA, 2000
- [20] Gaurav Sharma og H. Joel Trussell, *Digital Color Imaging*, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 7, juli 1997
- [21] Gaurav Sharma, Michael J. Vrhel og H. Joel Trussell, *Color Imaging for Multimedia*, Proceedings of the IEEE, Vol. 86, No. 6, Juni 1998
- [22] Henrik Wann Jensen *et all*, *Night Rendering*, Stanford University, University of Utah og Cornell University, ukjent år

- [23] Aditi Majumder, *Properties of Color Variation Across a Multi-Projector Display*, Department of Computer Science, University of North Carolina, 2001
- [24] Eye_One Color,
http://www.i1color.com/products/i1_pro_with_i1beamer.asp, besøkt 31.5.2004
- [25] Pei-Li Sun og Ján Morovic, *What Difference Do Observers See In Colour Image Reproduction Experiments?*, Color in Graphics Imaging and Vision (CGIV), 181-186, 2002
- [26] Jon Yngve Hardeberg og Francis Schmitt, *Colour Management: Why and How*, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris, France, 1999 (?)
- [27] Jon Yngve Hardeberg, *Color Management: Principles and solutions*, DeviceGuys/Conexant Systems, Inc., Redmond, WA, USA, 2000
- [28] Brown et al, *Optimization of the projection screen in a display system for minimal access surgery*, Surgical Endoscopy, 13. mai 2003
- [29] Daniel Nyström, *Multispectral Color Reproduction Using DLP*, Examensarbete utfört, I Medieteknik vid Linköpings Högskola, Campus Norrköping, Sverige, 8.5.2002
- [30] Y. Kwak og L. MacDonald, *Characterisation of a desktop LCD projector*, Displays 21, 179-194, 2000
- [31] L. Seime og J. Y. Hardeberg, *Colorimetric Characterisation of LCD and DLP Projection Displays*, *Journal of the Society for Information Display*. May 20, 2003
- [32] J. Y. Hardeberg, L. Seime og T. Skogstad, *Colorimetric characterization of projection displays using a digital colorimetric camera*, *SPIE Proc. 5002, Projection Displays IX* (Electronic Imaging 2003)
- [33] Jon Y. Hardeberg, Ivar Farup, and Gudmund Stjernvang, *Digital cinema commercials in Norway - is the quality good enough?*, Presented at SMPTE'03 INTERNATIONAL CONFERENCE - D-CINEMA AND BEYOND, Milan, Italy, November 2003
- [34] Y. Kwak og L. W. MacDonald, *Accurate prediction of colours on liquid crystal displays*, *In Proceedings of IS&T and SID's 9th Color Imaging Conference: Color Science, Systems and Applications*, pp. 355-359, (Scottsdale, Arizona), 2001
- [35] Alex Ryer, *Light Measurement Handbook*, International light Inc, USA, 1998, ISBN: 0-9658356-9-3
- [36] ICC3D – Interactive Color Correction in 3 Dimensions
<http://colorlab.hig.no/icc3d/index.php>, besøkt 29.6.2004
- [37] Ivar Farup, Jon Y. Hardeberg, Arne M. Bakke, Ståle Kopperud, and Anders Rindal, *Visualization and Interactive Manipulation of Color Gamuts*, *In proceedings of IS&T and SID's 10th Color Imaging Conference*, pages 250-255, Scottsdale, Arizona, November 2002

Figurliste

Figur 1: Lys er elektromagnetisk energi. [2].....	8
Figur 2: Menneskets fargesyn. [3]	8
Figur 3: CIE fargematchingsfunksjon. [3].....	10
Figur 4: CRT-projektører har tre katodestrålerør. [8]	13
Figur 5: Illustrasjon av LCD-teknologien. [9]	13
Figur 6: Illustrasjon av hvordan en DLP-projektor virker. [7]	14
Figur 7: Rene vs. urene farger. [10].....	15
Figur 8: Fargerom – bilde av gamut. [10]	16
Figur 9: Oversikt over høgskoleområdet med oversikt over bokstavkodene på byggene. [www.hig.no].....	20
Figur 10: Eksperimentoppsett.	21
Figur 11: Minolta CS-1000.	22
Figur 12: Eye-One Beamer fra GretagMacbeth. [24]	22
Figur 13: Omregningstabell fra EV til lx. [16]	24
Figur 14: Testbilde for visuell vurdering.	27
Figur 15: Testbilde med RGB-nyanser.	28
Figur 16: Eksperimentoppsettet i A004.	30
Figur 17: DE* _{ab} - snittverdier på alle projektorene sammenlignet med henholdsvis auditorieprojektorene og de bærbare projektorene. De fastmonterte projektorene illustreres med lyse søyler, de bærbare er mørke.	32
Figur 18: u'v'-diagram for auditorieprojektorene i mørkt rom uten profil.....	33
Figur 19: u'v'-diagram for de bærbare projektorene i mørkt rom uten profil.	33
Figur 20: Snittverdier for Delta L*, Delta a* og Delta b* for alle projektorene.	34
Figur 21: u'v'-diagram for mørkt og lyst rom på for de utvalgte projektorene.	38
Figur 22: Forskjell på lyst og mørkt rom i K102, uten profil.	39
Figur 23: Forskjellen på lyst og mørkt rom i E212, uten profil.	39
Figur 24: Forskjellen på lyst og mørkt rom AT nr. 4, uten profil.	40
Figur 25: Forskjellen på lyst og mørkt rom AH nr. 1, uten profil.	40
Figur 26: Forskjell på lyst og mørkt rom Biblioteket, uten profil.	41
Figur 27: Luv-diagram for de utvalgte projektorene - transparent viser målinger under mørke forhold, lyse forhold er opaque.	42
Figur 28: Snittverdier for Delta E* _{ab} i mørkt og lyst rom uten profil.....	43
Figur 29: u'v'-diagram for mørkt rom med og uten profil på de utvalgte projektorene.	46
Figur 30: Forskjellen mellom med og uten profil i K102, mørkt rom.	47
Figur 31: Forskjellen med og uten profil i E212, mørkt rom.	47
Figur 32: Forskjellen med og uten profil for AT nr. 4, mørkt rom.	48
Figur 33: Forskjell med og uten profil for AH nr. 1, mørkt rom.	48
Figur 34: Forskjell med og uten profil for Biblioteket, mørkt rom.	49
Figur 35: Luv-diagram for de utvalgte projektorene - transparent viser målinger under mørke forhold uten profil, med profil er opaque.	49
Figur 36: Snitt- og maksverdier ΔE^*_{ab} mørkt rom med og uten profil.	50
Figur 37: Forskjellen med og uten profil for Action One med WinColor ΔE_{94}	52
Figur 38: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, K102	62
Figur 39: Delta E* _{ab} K102, mørkt rom uten profil	62
Figur 40: CIEDE2000 for mørkt rom uten profil, K102.....	63
Figur 41: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, F101B	64
Figur 42: Delta E* _{ab} F101B, mørkt rom uten profil	65
Figur 43: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, F101A	66
Figur 44: Delta E* _{ab} F101A, mørkt rom uten profil.....	67
Figur 45: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, C007	68
Figur 46: Delta E* _{ab} C007, mørkt rom uten profil	69
Figur 47: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, B209	70

Figur 48: Delta E*ab B209, mørkt rom uten profil	71
Figur 49: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, E212	73
Figur 50: Delta E*ab E212, mørkt rom uten profil	73
Figur 51: CIEDE2000 mørkt rom uten profil, E212.....	74
Figur 52: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AT nr. 1	75
Figur 53: Delta E*ab A004 AT nr. 1, mørkt rom uten profil	76
Figur 54: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AT nr. 2.....	77
Figur 55: Delta E*ab A004 AT nr. 2, mørkt rom uten profil	77
Figur 56: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AT nr. 3.....	78
Figur 57: Delta E*ab A004 AT nr. 3, mørkt rom uten profil	79
Figur 58: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AT nr. 4.....	80
Figur 59: Delta E*ab A004 AT nr. 4, mørkt rom uten profil	80
Figur 60: CIEDE2000 mørkt rom uten profil, AT nr. 4	81
Figur 61: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AH nr. 1.....	82
Figur 62: Delta E*ab A004 AH nr. 1, mørkt rom uten profil.....	82
Figur 63: CIEDE2000 mørkt rom uten profil, AH nr. 1	83
Figur 64: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AH nr. 2.....	83
Figur 65: Delta E*ab A004 AH nr. 2, mørkt rom uten profil.....	84
Figur 66: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 Biblioteket.....	85
Figur 67: Delta E*ab A004 Biblioteket, mørkt rom uten profil.....	85
Figur 68: CIEDE2000 mørkt rom uten profil, biblioteket	86
Figur 69: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 Action One	87
Figur 70: Delta E*ab A004 Action One, mørkt rom uten profil	87

Tabelliste

Tabell 1: Innstillingene til spektroradiometeret.	23
Tabell 2: RGB-fargene som måles.	25
Tabell 3: Spesifikasjon på de sju fargepatchene i første del av Windows Color Quality Specification.	26
Tabell 4: Spesifikasjon av WinColorKits 32 fargepatcher.	26
Tabell 5: Projektorene som ble tatt med i et mindre utvalg.	29
Tabell 6: $L^*a^*b^*$ -verdier for gjennomsnittsprøktorene til de to gruppene.	31
Tabell 7: Snitt og maks ΔE^*_{ab} -verdier for auditorieproktorene.	36
Tabell 8: Snitt og maks ΔE^*_{ab} -verdier for de bærbare proktorene.	36
Tabell 9: Snitt- og maksverdier for ΔE^*_{ab} i mørkt og lyst rom, auditoriene.	43
Tabell 10: Snitt- og maksverdier for ΔE^*_{ab} i mørkt og lyst rom, bærbare.	44
Tabell 11: Snitt- og maksverdier uten og med profil for de fastmonterte.	50
Tabell 12: Snitt- og maksverdier uten og med profil for de bærbare.	51
Tabell 13: WinColorKits godkjent/ikke godkjent for Action One med og uten profil.	51
Tabell 14: Projektor 3M MP8795's tekniske spesifikasjoner.	61
Tabell 15: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett.	61
Tabell 16: Projektor 3M MP8777's tekniske spesifikasjoner.	63
Tabell 17: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett i F101B.	64
Tabell 18: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett F101A.	66
Tabell 19: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett C007.	68
Tabell 20: Projektor 3M MP8747's tekniske spesifikasjoner.	69
Tabell 21: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett B209.	70
Tabell 22: Projektor 3M MP8775i's tekniske spesifikasjoner.	72
Tabell 23: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett E212.	72
Tabell 24: Spesifikasjonene for eksperimentoppsett A004.	74
Tabell 25: Projektor 3M MP7740i's tekniske spesifikasjoner.	75
Tabell 26: Projektor 3M MP7770's tekniske spesifikasjoner.	76
Tabell 27: Projektor 3M MP7760's tekniske spesifikasjoner.	79
Tabell 28: Projektor 3M MP8749's tekniske spesifikasjoner.	81
Tabell 29: Projektor 3M X50's tekniske spesifikasjoner.	84
Tabell 30: Projektor Projectiondesign Action Model One's tekniske spesifikasjoner	86

Vedlegg A – Individuell projektevaluering

A.1	De fastmonterte projektorene	60
	3M MP8795, K102	60
	3M MP8770, F101B (Store Eureka)	63
	3M MP8770, F101A (Lille Eureka)	65
	3M MP8795, C007	67
	3M MP8747, B209	69
	3M MP8775i, E212.....	71
A.2	De bærbare projektorene	74
	3M MP7740i AT nr. 1	74
	3M MP7770 AT nr. 2	76
	3M MP7770 AT nr. 3	78
	3M MP7760 AT nr. 4	79
	3M MP8749 AH nr. 1.....	81
	3M MP8749 AH nr. 2.....	83
	3M X50 Biblioteket	84
	Projectiondesign Action Model One.....	86

A.1 De fastmonterte projektorene

3M MP8795, K102



K102 er et auditorium uten vinduer og har derfor ikke noe innfallslys. Lyskasser i taket reflekterer en del av lyset og to store nødutgangslamper lyser opp fremme i auditoriet.

Projektoren i K102 er festet fra en arm i taket ~4,5 m fra lerretet og ~2 m over gulvnivå. Projektoren stråler i en rett vinkel mot senter av lerretet og det projiserte bildet er 1,63 m høyt. Projektoren er en LCD-projektor av fabrikat 3M og modell MP8795. Tabell 14 viser mer detaljert informasjon om projektoren. Projektoren ser ellers ut til å virke grei. Det blafrer noe i det projiserte bildet og med lyset på blir fargene ujevnt fordelt over bildeflaten. En liten blå prikk lyser omtrent midt på lerretet. Dette gjelder spesielt når lyse farger projiseres. Ellers registreres det litt grønt fargestikk øverst i venstre hjørne og nederst i venstre hjørne.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Lysstyrke	4500 ANSI Lumens ("whisper mode": 3500)
Diagonal bildestørrelse	1,9 – 7,4 m
Bildestørrelse	101,6 – 508,0 cm
Display	LCD
I salg fra	April 2003

Tabell 14: Projektor 3M MP8795's tekniske spesifikasjoner

Lerretet er et standard, hvitt lerret og har lite synlige skader. Det kan registreres noen rifter helt nederst på lerretet, men dette har lite å si for det projiserte bildet.

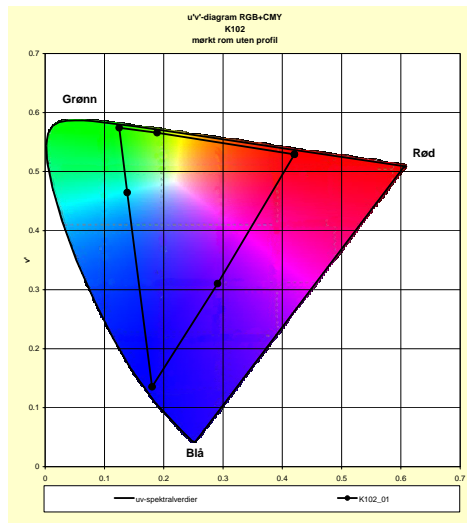
Standarden for eksperimentoppsettet ble brukt så langt det praktisk lot seg gjøre. På grunn av auditoriets form ble avstanden til lerret noen cm lengre enn tre ganger høyden og Eye-One fikk større vinkel opp mot lerretet enn det spektroradiometeret hadde. På grunn av nødutgangslampene var det ikke mulig å få rommet helt mørkt. Under målingen under lysere forhold slås kun de innebygde spottene på og disse står på fullt. Det bemerkes at en av de innebygde spottene lyser rett ned ca. 1,5 m foran lerretet.

Spesifikasjoner på eksperimentoppsett vises i Tabell 15.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Avstand projektor – lerret	~4,5 m
Størrelsen på lerretet (h x b)	~2 x ~2,5 m
Høyde på det projiserte bildet	1,63 m
Optimal avstand spektroradiometer – lerret	4,89 m
Faktisk avstand spektroradiometer – lerret	~5 m
Avstand Eye-One – lerret	~5 m fra lerret, litt foran spektroradiometer
Vinkel spektroradiometer – senter lerret	7°
Lysmålinger for lyst rom	
Fra lerret mot projektor	Ev: f/2,5 – 14 lx
Fra lerret mot spektroradiometer	Ev: f/1,5 – 7,1 lx
Fra spektroradiometeret mot lerretet	Ev: f/2,2 – ca. 12 lx

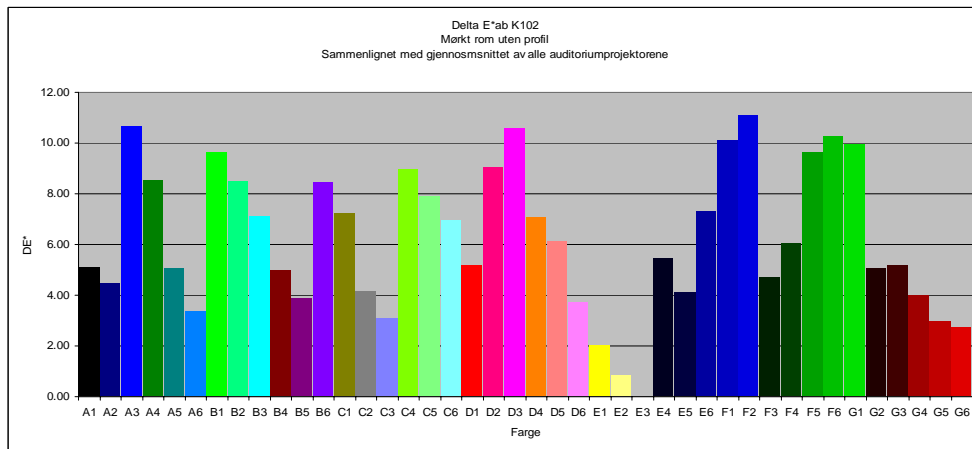
Tabell 15: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett

Figur 38 viser primær- og sekundærfargene i et u'v'-diagram. Vi ser her at projektoren er god til å vise forholdsvis riktig primærfarger. Når det gjelder sekundærfargene klarer den cyan bra, mens gul blir litt for grønn og magenta er mye blåere enn ideelt.



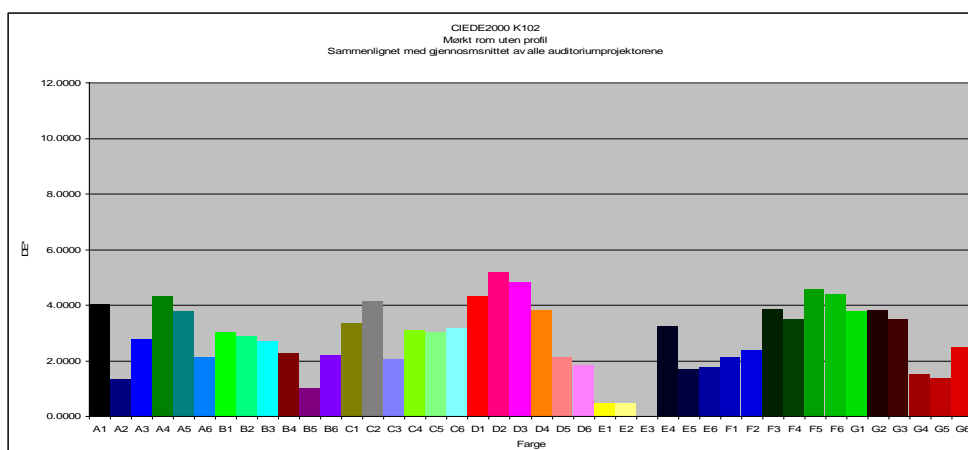
Figur 38: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, K102

Måledata fra spektroradiometeret i mørkt rom uten profil viser at den største ΔE^*_{ab} i forhold til de andre projektorene ute i auditoriene er for ren blå mettet kanal, se Figur 39. Den minste ΔE^*_{ab} -verdien, om man ser bort fra referanshvitt, er når rød og grønn kanal er fullt mettet. ΔE^*_{ab} er også relativt liten når rød og grønn kanal er slått på halvt og blå på fullt.



Figur 39: Delta E*ab K102, mørkt rom uten profil

Om vi ser på ΔE_{00} -verdiene til projektorene får vi et noe annet inntrykk se Figur 40. Her er de den grønne rene kanalen som har størst utslag og blå den minste. Rød og blå sammen gir også her forholdsvis høye verdier og gul er fortsatt de laveste. Generelt er alle verdiene lave med en blanding av full rød og halv blå gir den høyeste på 5,2.



Figur 40: CIEDE2000 for mørkt rom uten profil, K102

3M MP8770, F101B (Store Eureka)



Eureka er et stort auditorium med plass til nesten 400 personer. Rommet deles i to ved hjelp av skillevegg og danner rommene F101A og F101B. F101B, eller Store Eureka som rommet også kalles, er et stort auditorium uten vinduer med sitteplasser til 255 personer. Avstanden fra de bakerste radene er stor og lerretet og det projiserte bildet er derfor også større enn i skolens andre auditorier. Lyskassene i taket reflekterer en del lys og tre store nødlamper lyser opp rommet slik at det aldri blir helt mørkt. Rommet har lyse vegger, men bak lerretet er det mørke gardiner i forskjellige farger. Lysene i rommet kan kontrolleres ved at lysene er skilt og har hver for seg flere nivåer.

Projektorene er en LCD-projektor av merke 3M MP8770 og er festet til en lang arm i taket $\sim 7,5$ m fra lerretet og $\sim 2,5$ m over gulvnivå. Projektoren stråler i en rett vinkel mot senter av lerretet og det projiserte bildet er 2,5 m høyt. Tabell 16 viser flere detaljer om projektoren. Projektoren er ny og montert i februar 2004, men den virker ikke veldig god. Oppløsningen måtte justeres ned til 800x600 for at den kunne vise bilder fra den bærbare Compaq-PC'en. I tillegg var bildet kornete og flimret en del. Grunnen til dette er at kablene mellom projektoren og pc-ene er gamle og ikke er tilpasset den datastrømmen som denne projektoren forventer. Ellers er et rødt fargestikk synlig nede i høyre hjørne.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Lysstyrke	2200 ANSI Lumens
Diagonal bildestørrelse	1,4 – 9,8 m
Bildestørrelse	76,2 – 762,0 cm
Display	LCD
I salg fra	September 2000

Tabell 16: Projektor 3M MP8777's tekniske spesifikasjoner

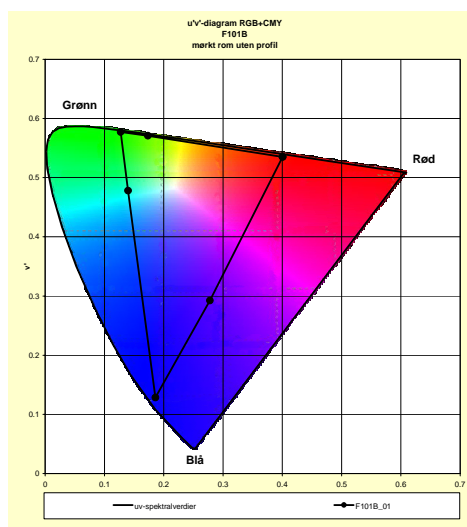
Lerretet henger fra taket helt fremme i auditoriet. Lerretet er standard hvitt og har lite synlige skader, bortsett fra et en knekk over hele lerretet litt over midten. Lerretet har en god del hengebølger fra sidene og innover mot midten. Det er bare sentrum av lerretet som ikke har hengebølger.

Standarden for eksperimentoppsettet ble fulgt bortsett fra at spektroradiometeret fikk en 13° vinkel opp mot senter av lerretet og at rommet ikke kunne gjøres helt mørkt. Eye-One fikk av praktiske årsaker en noe større vinkel opp mot sentrum av lerretet. Målingen under lyse forhold ble utført med halvparten av lysstoffrørene slått på halvt, resten av lysene var avslått. Spesifikasjonene for eksperimentoppsettet vises i Tabell 17.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Avstand projektor – lerret	7,5 m
Størrelsen på lerretet (h x b)	2,5 x 3 m
Høyde på det projiserte bildet	2,5 m
Optimal avstand spektroradiometer – lerret	7,5 m
Faktisk avstand spektroradiometer – lerret	7,5 m
Avstand Eye-One – lerret	7,5 m
Vinkel spektroradiometer – senter lerret	13°
Lysmålinger for lyst rom	
Fra lerret mot projektor	Ev: $f/2,8$ – ca. 18 lx
Fra lerret mot spektroradiometer	Ev: $f/2,7$ – ca. 17 lx
Fra spektroradiometeret mot lerretet	Ev: $f/2,2$ – ca. 11 lx

Tabell 17: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett i F101B

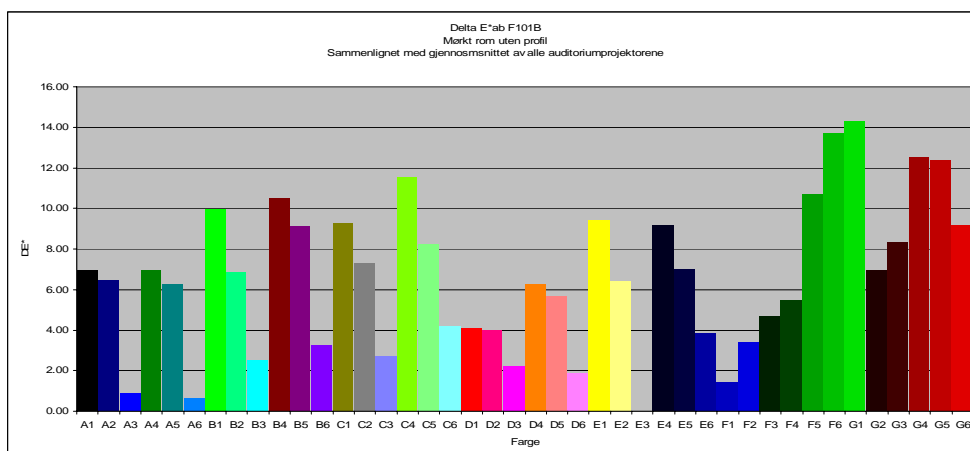
Om man ser på primær og sekundærfargene, se Figur 41, viser $u'v'$ -diagrammet at projektoren er god til å vise fargen blå og delvis grønn. Rød derimot går ganske mye mot oransje. Cyan ser ut til å være riktig representert, mens magenta er noe for blå og gul for mye mot grønt.



Figur 41: $u'v'$ -diagram for mørkt rom uten profil, F101B

Figur 42 viser ΔE^*_{ab} -verdiene for projektoren opp mot gjennomsnittet av alle auditorieproktorene. Grønn kanal har sterkt økende ΔE^*_{ab} -verdier etter hvert som metningsgraden øker. Det samme skjer med ren rød kanal, men her synker den når det nærmer seg full metning. Den rene blå kanalen er her mye lavere og de høyeste verdiene finner vi når metningen er liten.

De høyeste verdiene finner vi ved mettede rene grønne og rød kanaler. I tillegg er verdiene høye. Blanding av halvt mettede kanaler gir også rimelig høye verdier. Full rød og full grønn sammen (gul) gir også høy verdi.



Figur 42: Delta E*ab F101B, mørkt rom uten profil

3M MP8770, F101A (Lille Eureka)



F101A er den andre delen av Eureka og kalles Lille Eureka. Dette auditoriet er halvparten så stort som Store Eureka med sitteplasser til 123 personer. Auditoriet har ingen vinduer og belysningen består av spotter og lysstoffrør i blanke kasser i taket. Lyset kan dimmes å nivåer og kan skilles. Heller ikke dette rommet blir helt mørkt grunnet to store nødlamper. Rommet er ellers lyst, men som i Store Eureka er det fargede gardiner bak lerretet.

Projektoren er festet til en lang arm i taket ~6,5 m fra lerretet, lyset fra projektoren stråler i en rett vinkel mot senter av lerretet og det projiserte bildet er 2,13 m høyt. Projektoren er av samme merke som den i Store Eureka, 3M MP8770. For mer detaljerte tekniske spesifikasjoner, se Tabell 16. Projektoren i Lille Eureka har akkurat de samme problemene som den i Store Eureka, kapittel 0. Projektoren er ny, men kablene er gamle, bildet flimrer og pikslene er svært tydelige i fremre del av auditoriet.

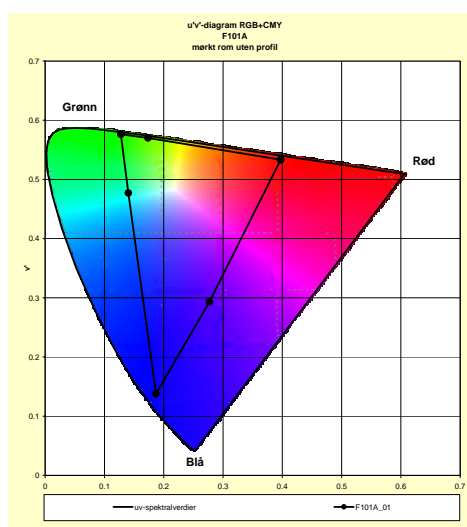
Lerretet er et standard, hvitt lerret med svart kant rundt. Bortsett fra en liten brett tvers over midten av lerretet er det ingen synlige skader på det. Også her er det hengebølger, men ikke så mye som i Store Eureka.

Standarden på eksperimentoppsettet er fulgt bortsett i fra at rommet ikke kunne gjøres helt mørkt og at det av praktiske årsaker noen centimeter lengre avstand fra lerretet til spektroradiometeret enn tre ganger høyden. Spektroradiometeret og Eye-One står heller ikke vinkelrett mot senter av lerretet. Målingene under lyse forhold ble foretatt med halvparten av lysrørene i taket slått på halvt og den andre halvparten på det laveste dimmenivået. Tabell 18 viser spesifikasjonene til eksperimentoppsettet.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Avstand projektor – lerret	6,5 m
Størrelsen på lerretet (h x b)	2,2 x 2 m
Høyde på det projiserte bildet	2,13 m
Optimal avstand spektroradiometer – lerret	6,39 m
Faktisk avstand spektroradiometer – lerret	6,5 m
Avstand Eye-One – lerret	6,5 m
Vinkel spektroradiometer – senter lerret	13°
Lysmålinger for lyst rom	
Fra lerret mot projektor	Ev: f/2,5 – 14 lx
Fra lerret mot spektroradiometer	Ev: f/2,3 – ca. 12 lx
Fra spektroradiometeret mot lerretet	Ev: f/1,9 – ca. 4,5 lx

Tabell 18: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett F101A

Figur 43 viser at også denne projektoren er rimelig god på å vise primærfargene i tillegg til cyan. Magenta og gul er henholdsvis for blå og noe for grønn.



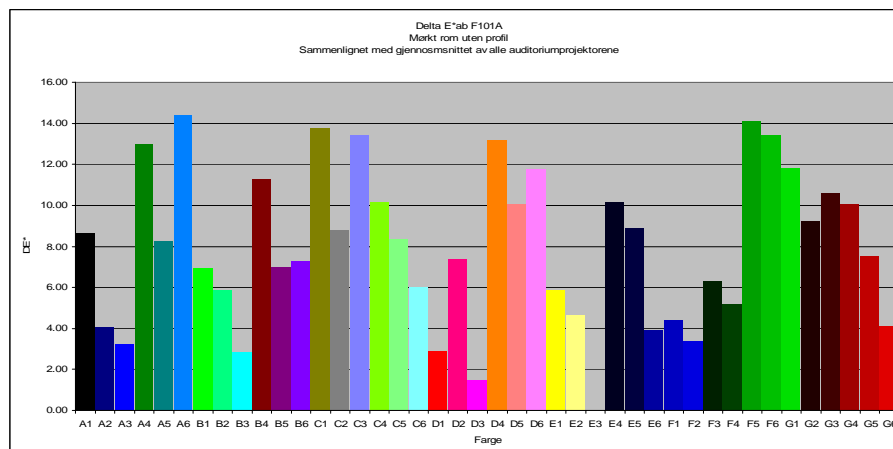
Figur 43: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, F101A

ΔE^*_{ab} -verdiene til ren rød og blå kanal øker noe fra lav metningsgrad til middels metning før de synker jevnt med metningen. ΔE^*_{ab} for blå kanal stiger noe i starten, men synker og blir forholdsvis lav etter halv metning og opp mot full.

Kobling av de enkelte kanaler gjenspeiler oppførselen til de rene kanalene. Som Figur 44 viser oppnås de høyeste ΔE^*_{ab} -verdiene når grønn kanal er full og når den er blandet med rød eller grønn. De laveste ΔE^*_{ab} -verdiene finnes ved full blå og blanding av full blå og enten full rød eller full grønn.

Ellers viser diagrammet at halv grønn kanal gir høye ΔE^*_{ab} -verdier når den er blandet med de andre to kanalene. ΔE^*_{ab} -verdiene er høyere om en av de andre to kanalene er fullt mettet. Når blå kanal er full gir en blanding med de andre

kanalene høye verdier. Det samme blandingsforholdet gir lavere ΔE^*_{ab} -verdier om blå kanal er halv. Sekundærfargene gir lave ΔE^*_{ab} -verdier.



Figur 44: Delta E*ab F101A, mørkt rom uten profil

3M MP8795, C007



Auditoriet C007 har ikke vinduer og selv om det er en dør med stort vindu bakerst i rommet stopper muren på andre siden av døren det aller meste av lyset som kunnet sive inn. Taket i rommet skråner ned i takt med de 92 setene i auditoriet.

Rommet har lyse vegger med påmalte mønstre på sideveggene. Lyset i rommet består også her av spotter og lysstoffrør som kan dimmes i nivåer og er delt i ulike kretser, men det er ikke lett å finne et mellomnivå på lyset og noen av lysene har bare muligheter for av og på. Det er mindre reflekser fra lyskassene i dette rommet siden taket skråner. Dette rommet har fire svært store nødlamper som gjør at rommet kan bli langt fra mørkt. I tillegg lyser den ene lampen rett på lerretet og gir noe grønnskjer på høyre side når lyse farger projiseres.

Projektoren henger fra taket over plass $\sim 4,5$ m fra lerretet. På grunn av skråtaket er den vippet ned mot senter av lerretet. Projektoren virker god og har ingen synlige fargefeil. I øvre del av lerretet er det en missfarging, men det tyder på at dette kan skyldes skitt på eller i linsa. Denne projektoren er av samme type som er montert i K102, 0, og nærmere spesifikasjoner finnes i Tabell 14.

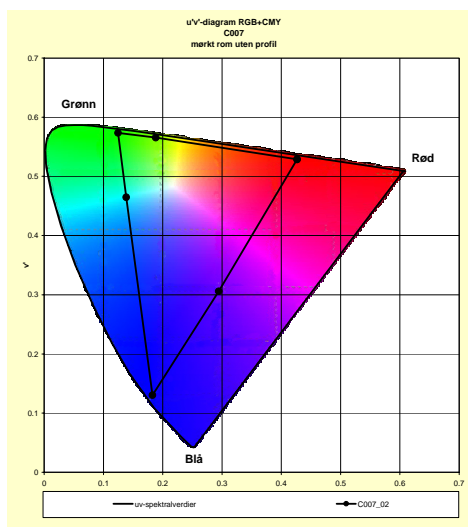
Lerretet henger lavt i taket foran tavla. Det er et hvitt, standard lerret med svart kant. Det ser bra ut, bortsett fra en knekk tvers over på øverste halvdel og litt hengebølger, spesielt på høyre side.

Standarden for eksperimentoppsettet er brukt, bortsett fra at rommet ikke kunne gjøres helt mørkt. Spektrometeret har en liten vinkel opp mot sentrum av lerretet og Eye-One har en noe større vinkel. Det var vanskelig å finne et mellomnivå på lysene når målingene i lyst rom skulle gjennomføres. Rommet ble derfor litt lysere enn de andre rommene var. Alle lys er slått av foran i auditoriet i tillegg til alle spottene. Lysstoffrørene er satt i en mellomposisjon. Se Tabell 19 for flere detaljer.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Avstand projektor – lerret	~4,5 m
Størrelsen på lerretet (h x b)	~2 x 3 m
Høyde på det projiserte bildet	1,6 m
Optimal avstand spektroradiometer – lerret	4,8 m
Faktisk avstand spektroradiometer – lerret	4,8 m
Avstand Eye-One – lerret	4,8 m
Vinkel spektroradiometer – senter lerret	3°
Lysmålinger for lyst rom	
Fra lerret mot projektor	Ev: f/3,0 – 20 lx
Fra lerret mot spektroradiometer	Ev: f/3,1 – ca. 22 lx
Fra spektroradiometeret mot lerretet	Ev: f/2,8 – ca. 18 lx

Tabell 19: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett C007

Primærfargene til projektoren viser rimelig gode verdier sammen med cyan. Gul er noe for grønn og magenta ligger mer mot blått enn ønskelig, se Figur 45.



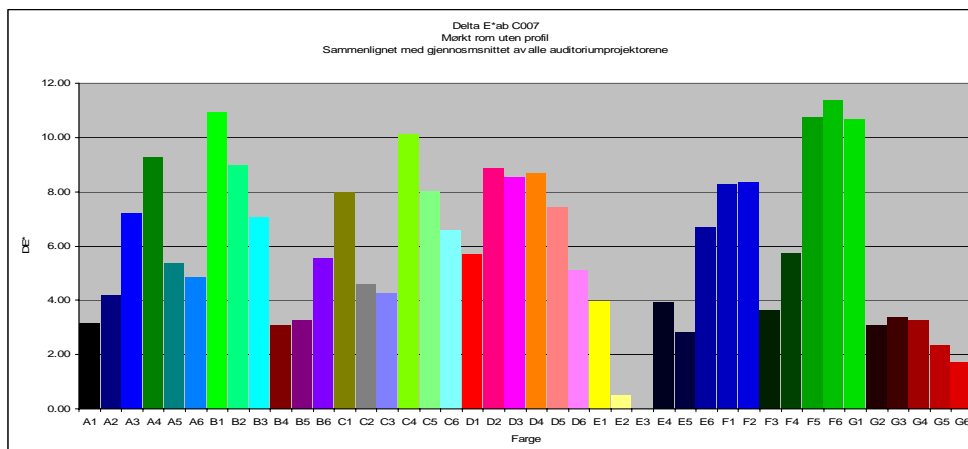
Figur 45: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, C007

Måledata for de rene kanalene viser at rød kanal har de laveste ΔE^*_{ab} -verdiene, mens grønn har de høyeste. Rød kanal holder seg lav ved økt metning helt til kanalen nærmer seg full for da øker ΔE^*_{ab} . Grønn kanal er generelt høy selv om den starter lavt. Den øker en del opp mot halv metning for så å holde seg jevnt høy. Blå kanal er lav frem til halv kanal, da øker den jevnt til den begynner å synke ved en metning på ~200.

Som det kommer frem i Figur 46 oppnås den høyeste ΔE^*_{ab} -verdien ved nesten full ren grønn kanal. Grønn kanal gir generelt høye ΔE^*_{ab} -verdier. Den laveste verdien finnes ved lys gul, altså når rød og grønn kanal har full metning og blå kanal har halv.

Blå og grønn kanal sammen gir synkende ΔE^*_{ab} -verdier etter hvert som blå mettes. Det samme skjer om blå blandes med både rød og grønn. Om grønn og

rød kanal blandes synker ΔE^*_{ab} kraftigere ved økning i rød. Rød kanal sammen med en eller begge av de andre gir økende ΔE^*_{ab} -verdier.



Figur 46: Delta E*ab C007, mørkt rom uten profil

3M MP8747, B209



B209 er et vanlig klasserom med store vinduer som slipper inn mye lys på formiddagen og utover dagen. Gardinene er mørke, men slipper likevel inn en del lys så når det lyst ute blir det aldri helt mørkt inne. Når det er mørkt ute kan rommet bli helt mørkt og det har lite å si at det siver inn litt lys fra døra på lerretveggen. Rommet har lyse vegger og mørkt spraglete gulv. Bak lerretet er det ei mørk grønn tavle. Lyset i rommet består av lysstoffrør som er bygd inn i taket og det er ingen refleksjon fra disse. Slik som rommet er nå er det plass til 14-20 personer.

LCD-projektoren som er montert i taket midt foran lerretet er av merket 3M MP8747 og virker som en god projektor. Det er ingen synlige fargestikk eller andre missfarginger. For nærmere spesifikasjoner på projektoren, se Tabell 20.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Lysstyrke	1600 ANSI Lumens
Diagonal bildestørrelse	1,2 – 12,9 m
Bildestørrelse	76,2 – 762,0 cm
Display	LCD
I salg fra	Februar 2001

Tabell 20: Projektor 3M MP8747's tekniske spesifikasjoner

Lerretet er standard hvitt med svart ramme. Virker som et godt lerret, men det har litt hengebølger på høyre side og er litt skrukkete nederst utenfor det projiserte bildet. Det er mulig å oppnå et større projisert bilde siden store deler av lerretet ikke blir brukt.

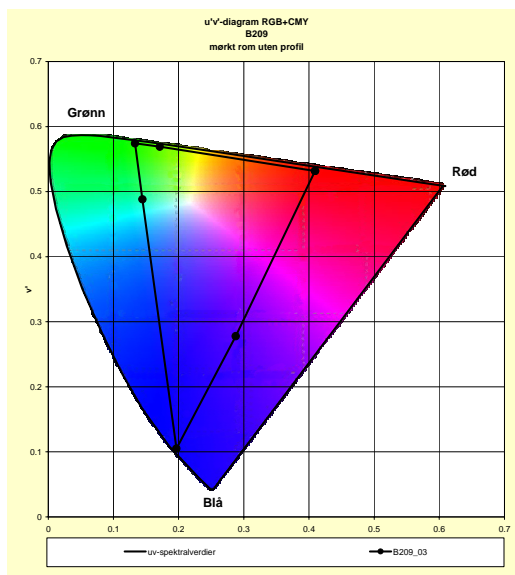
Bortsett fra at spektrometeret ikke står vinkelrett på sentrum av lerretet er standarden for eksperimentoppsettet brukt under mørke forhold. Når det gjelder de lyse forholdene var det svært vanskelig å få til et mellomnivå siden lysene ikke kunne dimmes eller skilles. På dagtid ville de beste forholdene vært med

gardinene trukket fra vinduene og lyset av, men selv om øyet ikke oppfatter endringer i rombelysningen vil målingene påvirkes. For å oppnå statiske lysforhold måtte derfor lyset være slått på og gardinene trukket for. Dermed ble det mye lysere i dette rommet enn i de andre rommene. Det projiserte bildet ble svært bløtt under de lyse forholdene og på grunn av øyets adaptasjon vil avslått taklys og gardinene trukket fra være et bedre seeralternativ. Tabell 21 viser detaljene for eksperimentoppsettet.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Avstand projektor – lerret	~3,4 m
Størrelsen på lerretet (h x b)	~2 x 3 m
Høyde på det projiserte bildet	1,12 m
Optimal avstand spektrometer – lerret	3,36 m
Faktisk avstand spektrometer – lerret	3,36 m
Avstand Eye-One – lerret	3,36 m
Vinkel spektrometer – senter lerret	5°
Lysmålinger for lyst rom	
Fra lerret mot projektor	Ev: f/5,3 – ca. 100 lx
Fra lerret mot spektrometer	Ev: f/5,4 – ca. 105 lx
Fra spektrometeret mot lerretet	Ev: f/5,7 – ca. 130 lx

Tabell 21: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett B209

Figur 47 viser at denne projektoren har et stort blått spekter å spille på i forhold til de tidligere presenterte projektorene. Rødt gjengis også bra, mens grønt område ikke har fullt så stort spekter. Cyan og gul gjengis noe grønnere enn ideelt, mens magenta er for blå.

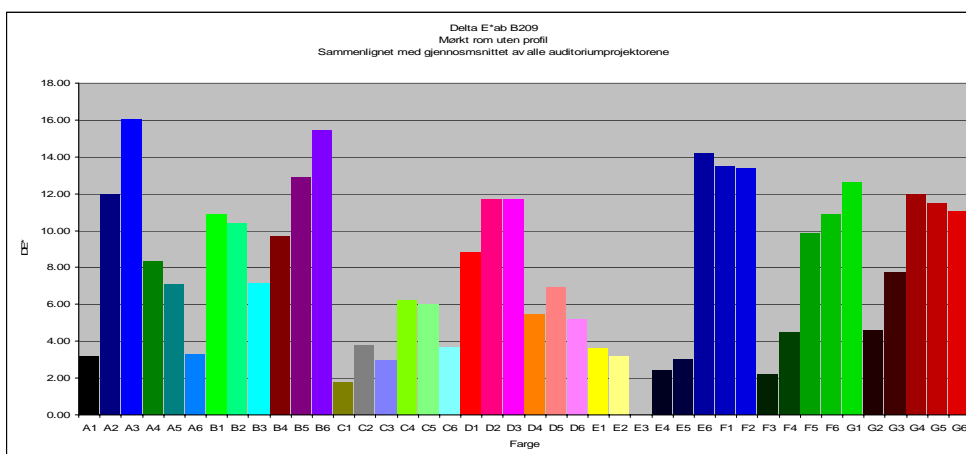


Figur 47: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, B209

Som Figur 48 viser finner vi de høyeste ΔE^*_{ab} -verdiene ved full blå kanal. De rene blå kanalene er generelt høye og i tillegg gir blandingen av full blå og halv rød også høye verdier. Den laveste ΔE^*_{ab} -verdien finnes ved en blanding av rød og grønn, begge med en metning på 128.

De rene kanalene viser at her øker den røde kanalen med metningsgraden. Når kanalen nærmer seg full metning begynner den derimot å synke noe. Grønn kanal øker jevnt fra lave ΔE^*_{ab} -verdier ved lav metning til ganske høye verdier når metningen nærmer seg full. Som for rød kanal synker ΔE^*_{ab} når kanalen nærmer seg full metning. Når det gjelder den blå kanalen er den lav helt frem til en metning på 64, da øker den mye frem til neste nivå på 128. Etter dette øker kanalen hele veien i takt med metningsgraden.

Generelt kan det sies at så lenge blå kanal ikke er med i blandingen er ΔE^*_{ab} ganske lav, bortsett fra når kanalene er rene.



Figur 48: Delta E*ab B209, mørkt rom uten profil

3M MP8775i, E212



Et lite, men meget teknisk auditorium. Blant utstyret som er her er projeksjonsskjerm, dokumentkamera, gjennomlysningskamera, fjernundervisningsutstyr og projektor i tillegg til flatskjerm-tv, vanlig tv, video- og dvd-spiller. Rommet består av tre seterekker i en halvsirkel med plass til 60 personer. Rommet har lyse vegger og blir opplyst av lysstoffrør i kasser som henger fra taket. I tillegg består bakveggen i rommet av tre store vinduer som slipper inn en del lys. Det er mørke doble gardiner foran vinduene, men de er ikke mørke nok til å holde alt lys ute. De ligger heller ikke helt inntil vinduet og lys slipper inn på alle sidene. Rommet blir relativt mørkt allikevel og siden de nødlampene er avslått lyser heller ikke disse opp. Rommet inneholder mange gjenstander som reflekterer, blant annet lyskassene som henger ned fra taket og de mange ulike skjermene i rommet. På lerretveggen er det en del forstyrrende elementer som projeksjonsskjerm, tavle, tv, to dører og sikringskap.

Projektoren henger fra en arm i taket og er vippt litt ned mot sentrum av lerretet. Den virker med det blotte øyet veldig god selv om bildet flimrer litt. Projeksjonsteknologien er LCD og det er ingen synlige fargestikk eller andre missfarginger. Nærmere spesifikasjoner på projektoren vises i Tabell 22.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Lysstyrke	3500 ANSI Lumens (2800)
Diagonal bildestørrelse	1,8 – 7,5 m
Bildestørrelse	101,6 – 508,0 cm
Display	LCD
I salg fra	Februar 2002 (produksjonsslutt juli 2003)

Tabell 22: Projektor 3M MP8775i's tekniske spesifikasjoner

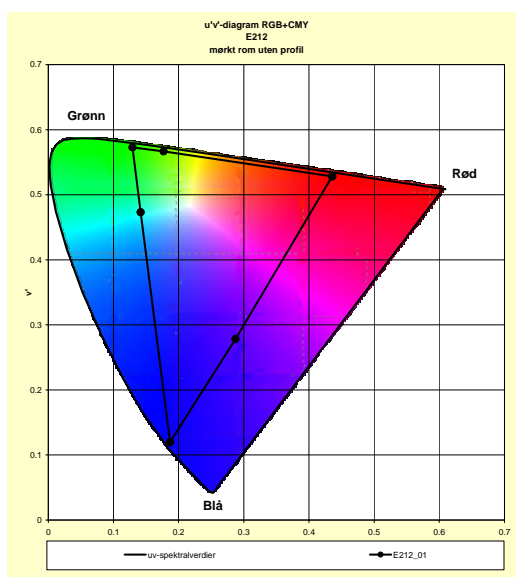
Lerretet henger litt til venstre i rommet. Det er et hvitt, standard lerret og det ser bra ut. Det er litt hengebølger fra høyre nedre hjørne og opp mot midten.

Målingene er foretatt på dagtid med overskyet vær og det kommer inn noe lys rundt vinduene. Standarden for eksperimentoppsettet brukes, men med en vinkel på spektroradiometeret. Under lyse forhold var lysrørene bak og ytterst på sidene slått på. Dette var det mørkeste alternativet med lyset på siden lysene ikke kunne dimmes. Tabell 23 viser detaljer for eksperimentoppsettet i E212.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Avstand projektor – lerret	~4,3 m
Størrelsen på lerretet (h x b)	1,6 x 2,4 m
Høyde på det projiserte bildet	1,44 m
Optimal avstand spektroradiometer – lerret	4,32 m
Faktisk avstand spektroradiometer – lerret	4,32 m
Avstand Eye-One – lerret	4,32 m
Vinkel spektroradiometer – senter lerret	~2°
Lysmålinger for lyst rom	
Fra lerret mot projektor	Ev: f/2,9 – ca. 19 lx
Fra lerret mot spektroradiometer	Ev: f/3,0 – 20 lx
Fra spektroradiometeret mot lerretet	Ev: f/2,8 – ca. 18 lx

Tabell 23: Spesifikasjoner for eksperimentoppsett E212

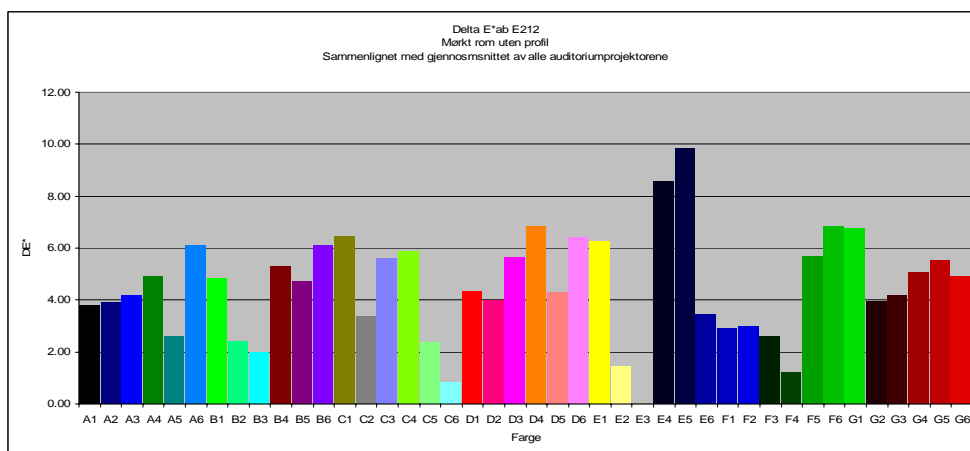
Figur 49 viser at projektoren er god til å gjengi fargene rød og blå. Grønn og cyan er også gode. Gul og magenta derimot er henholdsvis litt for grønn og noe for blå.

Figur 49: $u'v'$ -diagram for mørkt rom uten profil, E212

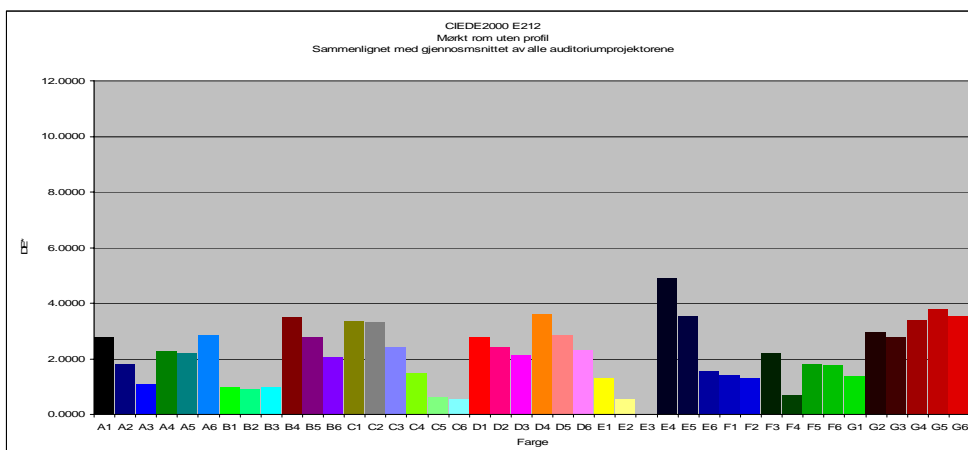
Denne projektoren har generelt lave ΔE^*_{ab} -verdier, se Figur 50. De høyeste verdiene oppnås ved lav metning på ren blå kanal og disse verdiene skiller seg klart ut fra de andre. Når blandingen av full blå, full grønn og halv rød kanal blandes gir det den laveste ΔE^*_{ab} -verdien.

Den røde kanalen holder jevnt på et nivå rundt en ΔE^*_{ab} -verdi på fem. Den grønne kanalen synker i starten for så å øke til et nivå litt over den røde kanalen. Den blå kanalen øker en del til å begynne med, men synker kraftig mellom en metningsgrad på 64 og 128. Verdiene holder seg deretter på et lavt nivå.

ΔE^*_{ab} er lav når blå er høy, men verdiene øker med metningen av rød.

Figur 50: Delta E^*_{ab} E212, mørkt rom uten profil

ΔE_{00} -verdiene er mye mindre enn ΔE^*_{ab} -verdiene se Figur 51. Ren blå kanal med lav metning slår også her ut mest. Forskjellene ligger hos rød og grønn ren kanal. Ren rød kanal er forholdsvis høy, mens ren grønn er lav. Den høyeste verdien finner vi når ren blå kanal er svært lav, 4,9. Denne er også ganske høy med ΔE^*_{ab} . Den laveste verdien når grønn og blå kanal er slått på fullt sammen med halv rød kanal. Det stemmer overens med ΔE^*_{ab} .



Figur 51: CIEDE2000 mørkt rom uten profil, E212

A.2 De bærbare projektorene

Spesifikasjonen til eksperimentoppsettet til alle de bærbare projektorene vises i Tabell 24.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Avstand projektor – lerret	2,6 m
Størrelsen på lerretet (h x b)	~2 x 2 m
Høyde på det projiserte bildet	~1,10 m
Optimal avstand spektrometer – lerret	~3,3 m
Faktisk avstand spektrometer – lerret	~3,3 m
Avstand Eye-One – lerret	~2,6 m
Vinkel spektrometer – senter lerret	~0°
Lysmålinger for lyst rom	
Fra lerret mot projektor	Ev: f/2,6 – ca. 15 lx
Fra lerret mot spektrometer	Ev: f/2,4 – ca. 13 lx
Fra spektrometeret mot lerretet	Ev: f/2,0 – 10 lx

Tabell 24: Spesifikasjonene for eksperimentoppsett A004

3M MP7740i AT nr. 1



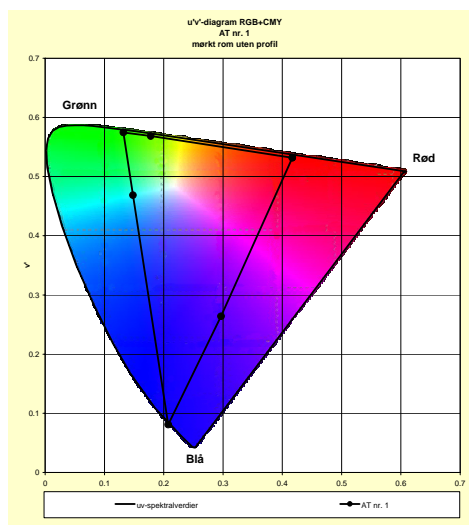
LCD-projektoren 3M MP7740i er en av AT's fire projektorer. Bildet som projiseres er noe større enn det som er brukt under de andre testene. Dette skyldes at det ikke er mulig å komme så nær at bildet blir tilstrekkelig mindre. Projektoren er plassert 40 cm lengre frem for å få bildet lite nok, men fortsatt projiseres det litt utenfor lerretet på sidene.

Bildet er rent og fint og det er ingen synlige missfarginger eller andre fargefeil. Tabell 25 viser projektorens tekniske spesifikasjoner.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Lysstyrke	1200 ANSI Lumens (whisper: 1000)
Diagonal bildestørrelse	1,2 – 4,9 m
Display	LCD
I salg fra	Februar 2002

Tabell 25: Projektor 3M MP7740i's tekniske spesifikasjoner

Figur 52 viser at blått blir gjengitt bra på denne projektoren. Rød og grønn klarer også å representere et rimelig stort fargeområde. Cyan ligger der den bør ligge, mens gul og magenta er henholdsvis litt for grønn og litt for blå.



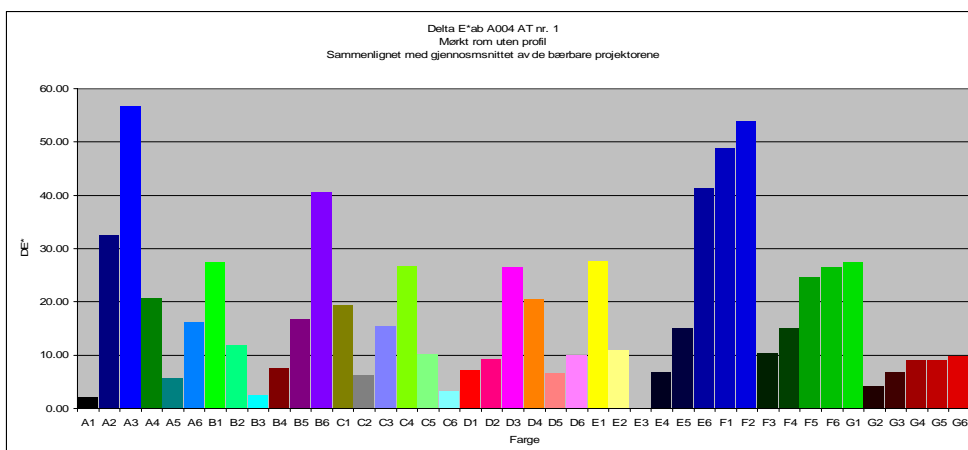
Figur 52: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AT nr. 1

Projektoren har generelt høye ΔE^*_{ab} -verdier, se Figur 53. De høyeste verdiene ble målt ved mettet ren blå kanal. Den laveste ΔE^*_{ab} -verdien oppnås ved blanding av full grønn og full blå kanal.

Den røde kanalen er jevnt lav uansett metningsgrad. Den øker noe fra lav metning til høy, men synker igjen ved full metning. Den grønne kanalen stiger noe i takt med metningsgraden, men flater ut når den nærmer seg full metning. Den blå kanalen begynner lav og øker jevnt opp mot full metning.

En blanding av rød og blå kanal gir høye ΔE^*_{ab} -verdier og øker med metningen av rød. Rød og grønn gir også høye verdier, mens en blanding av blått og grønt gir lave verdier.

Blandingene av kanalene virker annerledes her enn ved de fastmonterte.



Figur 53: Delta E*ab A004 AT nr. 1, mørkt rom uten profil

3M MP7770 AT nr. 2

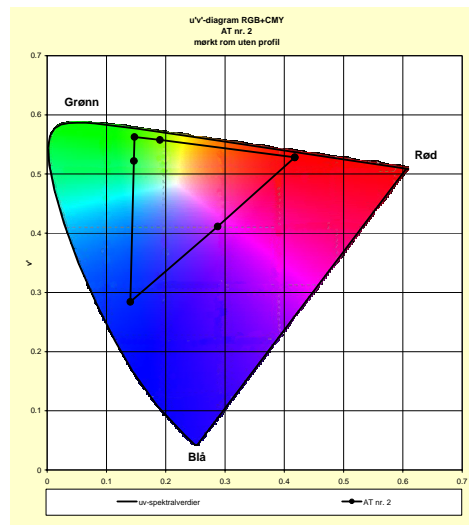
Denne DLP-projektoren nummer to av AT's fire projektorer.

Det projiserte bildet har ikke helt definerte kanter og flyter en del utenfor lerretet. Bildet har et generelt gult fargestikk og er i tillegg matt rundt kantene, spesielt på høyre side. Nede til høyre er bildet mørkere og oppe til venstre er det en missfarging som ser ut som et fingermerke, linsen er helt ren. Projektorens spesifikasjoner vises i Tabell 26.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Lysstyrke	1700 ANSI Lumens
Diagonal bildestørrelse	0,9 – 7,75 m
Bildestørrelse	0,9 – 7,75 m (diagonal)
Display	DLP, XGA
I salg fra	2001

Tabell 26: Projektor 3M MP7770's tekniske spesifikasjoner

Figur 54 viser u'v'-diagrammet for projektoren. Fargerommet er en god del mindre enn hos de tidligere presenterte projektorene. Primærfargene ligger innenfor riktige fargeområder, men er generelt mindre mettet enn ideelt. Magenta er den av sekundærfargene som ligger innenfor korrekt fargeområde. Dette er helt motsatt av de tidligere presenterte projektorene. Cyan og gul er begge grønnere enn det som er korrekt fargegjengivelse.

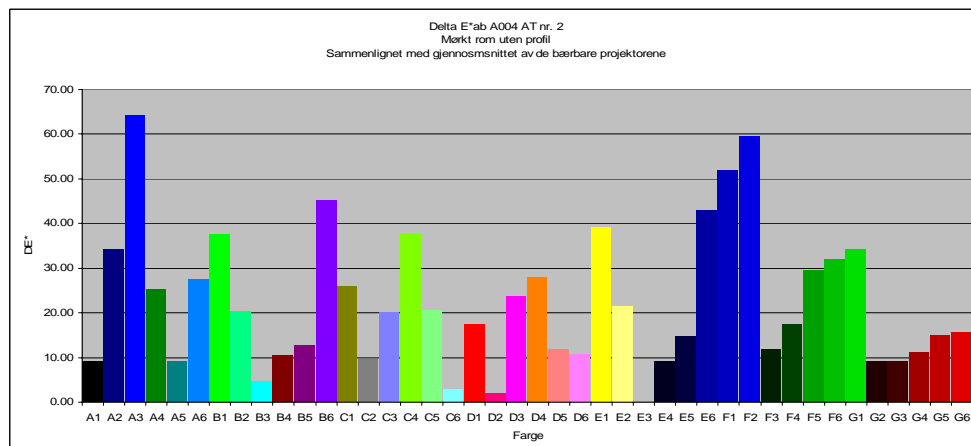


Figur 54: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AT nr. 2

ΔE^*_{ab} -verdiene til projektoren er svært varierende og noen av verdiene er svært høye, se Figur 55. Den høyeste verdien finner vi ved full blå kanal. Andre høye verdier oppnås ved full grønn ren grønn kanal, blanding av halv rød og full blå kanal, blanding av halv rød og full grønn og full rød og full grønn (gul). De laveste ΔE^*_{ab} -verdien får vi ved en blanding av full rød og halv blå kanal.

Den røde kanalen har forholdsvis lave ΔE^*_{ab} -verdier. Verdiene øker noe metningen kommer over 160. Den grønne kanalen øker jevnt i takt med metningsgraden. Den blå kanalen holder seg lav frem til en metning på 64, da øker ΔE^*_{ab} kraftig og fortsetter å stige med metningen av kanalen.

Rød kanal har lav ΔE^*_{ab} -verdier når kanalen er ren, men når den er blandet med de andre fargene blir høy ved høy metningsgrad hos de andre. Blå blandet med grønn gir overraskende lave ΔE^*_{ab} -verdier med tanke på hvor høye de er alene. Blå blandet med rød gir derimot høye verdier. Halv rød og full grønn synker kraftig med metningsøkningen av blå kanal.

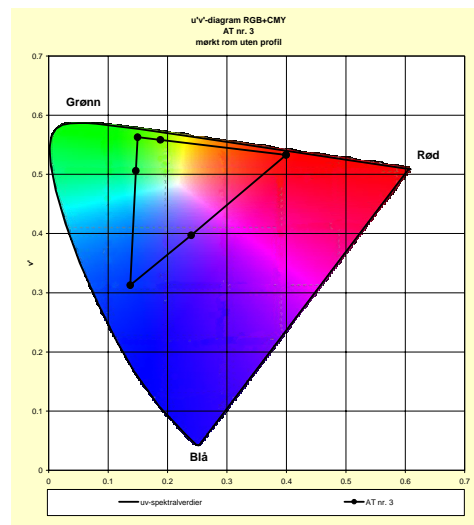


Figur 55: Delta E*ab A004 AT nr. 2, mørkt rom uten profil

3M MP7770 AT nr. 3

Denne DLP-projektoren er AT's projektor nummer tre og er av samme merke som AT's projektor nummer to. Den lyser ikke opp rundt det projiserte bildet som nummer to gjør. Bortsett fra opp i venstre hjørne er det ingen synlige missfarginger i det projiserte bildet. Bildet er litt matt i kantene, men ellers fordeles fargene forholdsvis jevnt. Projektorens spesifikasjoner vises i Tabell 26.

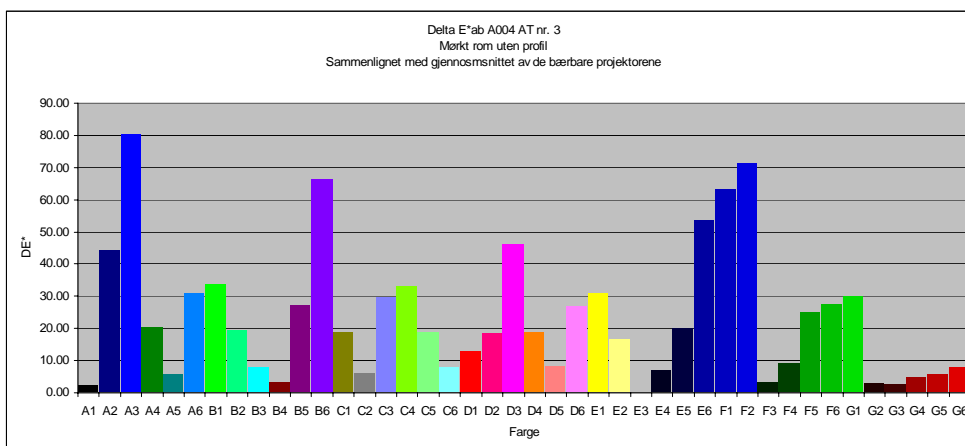
Som AT's projektor nummer 2 har også denne muligheten til å dekke et forholdsvis lite fargerom, se Figur 56. Primærfargene viser riktige farger, men for lite mettet. Sekundærfargene er litt utenfor ideelt område. Gul og cyan er litt for grønn, mens magenta er noe for blå.



Figur 56: $u'v'$ -diagram for mørkt rom uten profil, A004 AT nr. 3

Målingene fra projektoren gir svært høye ΔE^*_{ab} -topper og de høyeste verdiene finner vi når blå nærmer seg full metning, se Figur 57. ΔE^*_{ab} er også rimelig høy når full metning på blå kanal i kombinasjon med halv til full metning på rød kanal. Når blå blandes med grønn derimot, synker ΔE^*_{ab} med metningen av blå. Lave ΔE^*_{ab} -verdier oppnås ved ren rød kanal med lav metning.

Måledata fra de rene kanalene viser en rød kanal som er jevnt lav, men som øker noe når den nærmer seg full metning. Den grønne kanalen er lav ved liten metning, men øker ganske mye mellom 64 og 128 i metning før den fortsetter jevnt med litt mindre økning. Blå kanal begynner lavt men øker mye i takt med metningsgraden.



Figur 57: Delta E*ab A004 AT nr. 3, mørkt rom uten profil

3M MP7760 AT nr. 4

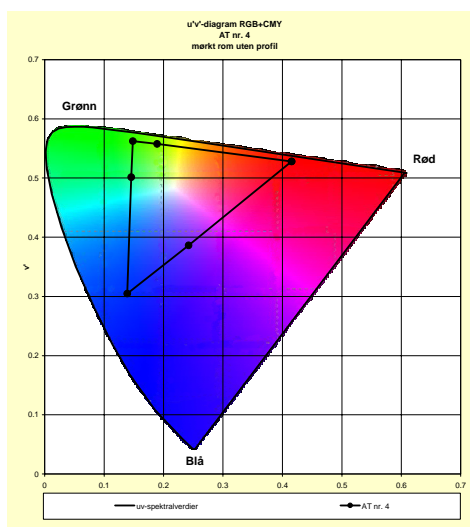


Denne DLP-projektoren av merke 3M MP7760 er gammel og det projiserte bildet er dårlig. Lyset fra projektoren lyser opp utenfor bildeflaten, spesielt på venstre side. Bildet er klart, men fargene er ikke uniforme. På grunn av de synlige fargefeilene ble denne projektoren satt tilbake til standardinnstillinger før målinger og profileringer ble utført. Fargene er gråe og bildet har et generelt gult fargestikk. Nederst er det en mørkere skygge og opp mot høyre hjørne blir fargene gråere og mer uklare. På venstre side er fargene litt for lyse på kanten og det er en mørkere skygge opp i venstre hjørne. Tabell 27 viser projektorens tekniske spesifikasjoner.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Lysstyrke	1200 ANSI Lumens
Diagonal bildestørrelse	2,0 – 7,5 m
Display	DLP
I salg fra	Mars 2000

Tabell 27: Projektor 3M MP7760's tekniske spesifikasjoner

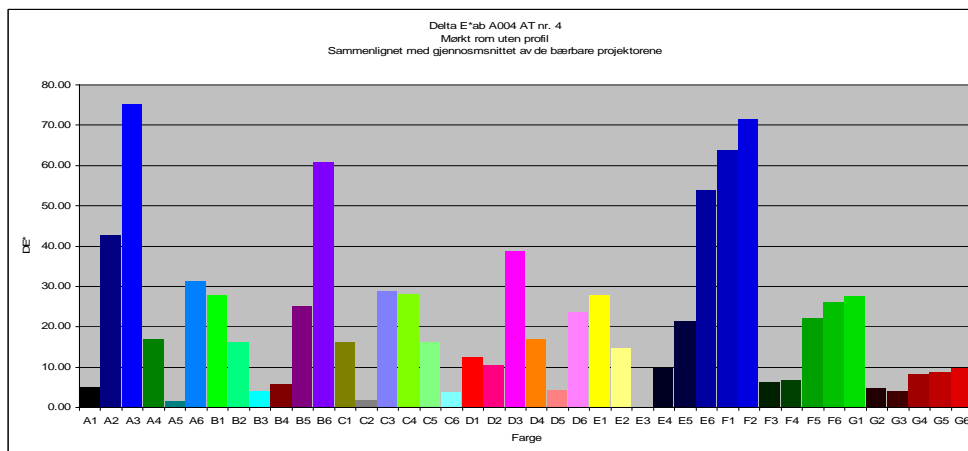
Figur 58 viser samme tendens som de to foregående projektorene (AT nr. 2 og AT nr. 3). Fargerommet er relativt lite og primærfargene klarer ikke å vise full metning. Den røde fargen har litt bedre omfang enn hos de to nevnte projektorene. Når det gjelder sekundærfargene er også her cyan og gul for grønne og magenta er noe for blå.



Figur 58: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AT nr. 4

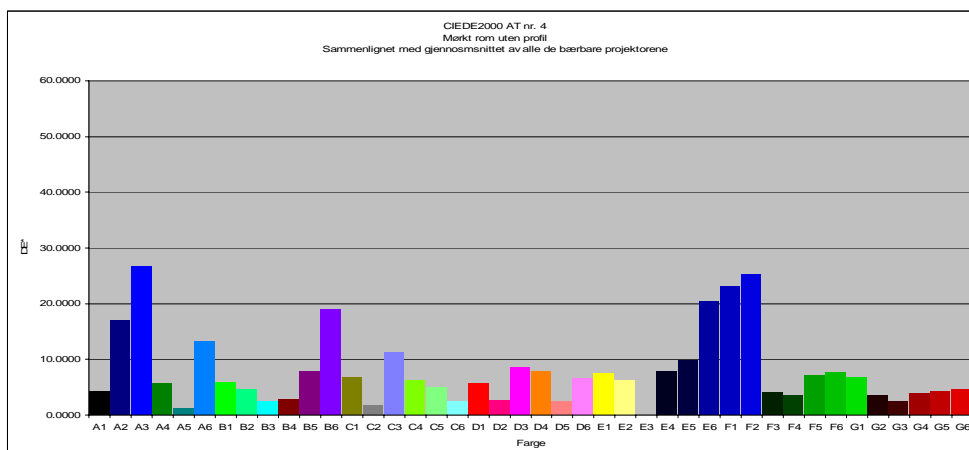
Figur 59 viser at den rene blå kanalen gir svært høye ΔE^*_{ab} -verdier. I tillegg er det stor topp når blå er full og rød er halv. Med ytterligere metning av rød kanal synker ΔE^*_{ab} -verdiene. De laveste verdiene finner vi ved halv metning av grønn og blå i tillegg til halv metning av både rød, grønn og blå. Halv blå kanal gir lave verdier når den er blandet med de andre, men høyere metning av kombinasjonen rød og blå gir høyere verdier igjen. Full rød og full grønn gir også høye ΔE^*_{ab} -verdier.

Alle kanalene øker med metningsgraden. Rød øker lite mens blå øker kraftig til å bli veldig høy. Den grønne kanalen øker svakt i begynnelsen, øker kraftigere etter metning på 64 før kurven slakker av igjen opp mot full metning. Blå kanal øker kraftig hele vegen.



Figur 59: Delta E*ab A004 AT nr. 4, mørkt rom uten profil

ΔE_{00} -verdiene til denne projektoren har stort sett de samme tendensene som ΔE^*_{ab} -verdiene, se Figur 60. De høyeste verdiene finner vi også her ved ren blå mettet kanal og den høyeste finner når blå kanal er fullt mettet, 26,5. De fargeblandingene som skiller seg ut er når rød er halv sammen med full blå i tillegg til de stedene hvor blå kanal er full.



Figur 60: CIEDE2000 mørkt rom uten profil, AT nr. 4

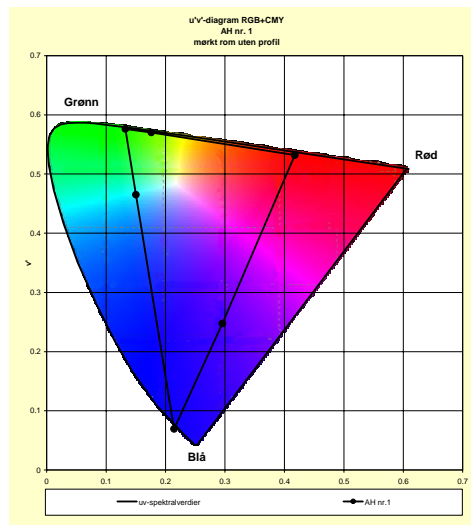
3M MP8749 AH nr. 1

Denne LCD-projektoren er AH's projektor nummer en. Det projiserte bildet virker klart og fint og det er minimalt med lys som flyter utenfor det projiserte bildet. Bildet er rent og uten spesielle feil i fargene eller konstanthet over bildeflaten. Tabell 28 viser projektorens tekniske spesifikasjoner.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Lysstyrke	2100 ANSI Lumens (1680)
Diagonal bildestørrelse	1,4 – 6,1 m
Bildestørrelse	101,6 – 508,0 cm
Display	LCD
I salg fra	Februar 2002

Tabell 28: Projektor 3M MP8749's tekniske spesifikasjoner

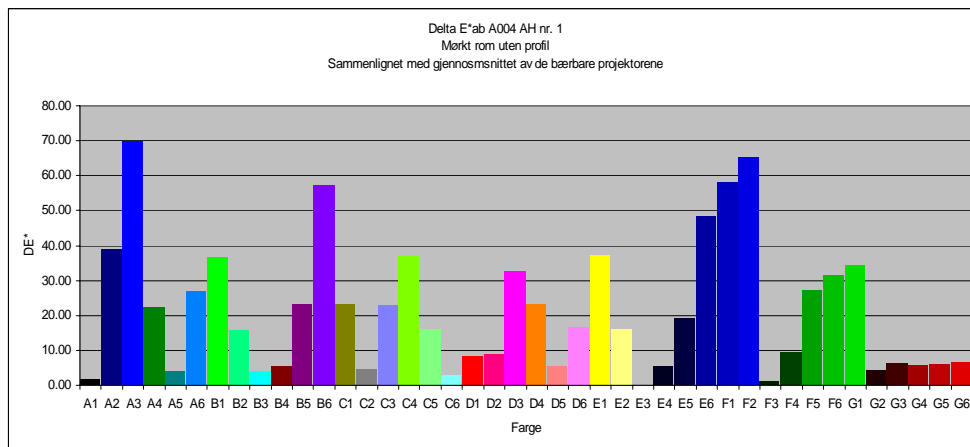
Fargerommet til denne projektoren er stort i forhold til de andre projektorene som har blitt presentert tidligere, se Figur 61. Av primærfargene er den best til å vise blå. Rødt er den også rimelig god på, men grønn har noe mindre omfang. Cyan representeres relativt riktig, mens gul er for grønn og magenta er langt ned på blått område.



Figur 61: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AH nr. 1

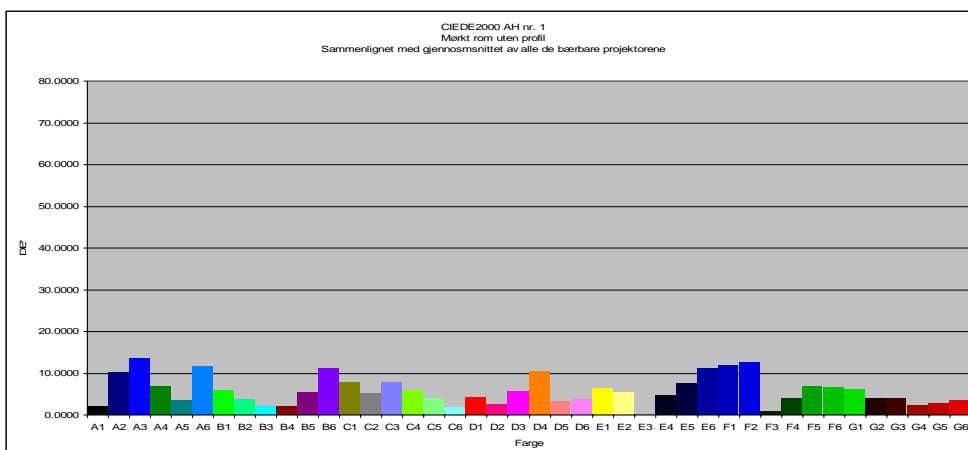
Også denne projektoren gir høye ΔE^*_{ab} -verdier for ren blå kanal, vist i Figur 62. Også her er ΔE^*_{ab} høy når rødt og blått blandes. Ren grønn gir høye verdier i tillegg til gul, altså mettet blanding av grønn og rød. Rød er svært lav alene, men blandet med de andre kanalene gir det høye verdier. De laveste ΔE^*_{ab} -verdiene finner vi ved lav grønn ren kanal, full blå, full grønn og halv rød kanal og ved halv grønn og halv blå.

De rene kanalene beskriver jevne lave ΔE^*_{ab} -verdier for rød kanal. Den grønne kanalen er svært liten i starten, øker en del mellom en metning på 32 til 128. Derfra øker verdiene jevnt mot full metning. Blå kanal har stor økning på ΔE^*_{ab} -verdiene fra lav metning til rundt halv metningsgrad. Den fortsetter å øke mot full metning, men nå med en litt slakker kurve.



Figur 62: Delta E*ab A004 AH nr. 1, mørkt rom uten profil

Ren blå kanal for også her de høyeste ΔE_{00} -verdiene, se Figur 63. Den høyeste verdien finner vi når ren blå kanal er fullt mettet, 13,3. Jevnt over de samme tendensene her som ved ΔE^*_{ab} , men full grønn og blå sammen og full rød og grønn sammen slår mye mer ut. De laveste verdiene er de samme for begge regnemåtene.



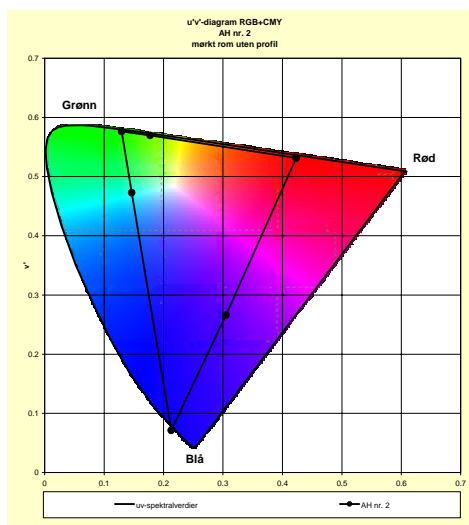
Figur 63: CIEDE2000 mørkt rom uten profil, AH nr. 1

3M MP8749 AH nr. 2

Dette er AH's projektor nummer to og er av samme modell og merke som AH's projektor nummer en. Bildet er klart og rent og svært lite av lyset faller utenfor det projiserte bildet. Tabell 28 viser projektorens tekniske

spesifikasjoner.

Figur 64 viser at denne projektoren har omtrent samme fargeomfang som AH's projektor nummer en. Forskjellen ligger på fargen magenta som er litt blåere. Ellers er primærfargene sammen med cyan innenfor områder som gjengir fargene tilnærmet riktig. Gul er litt grønnere enn ideelt.

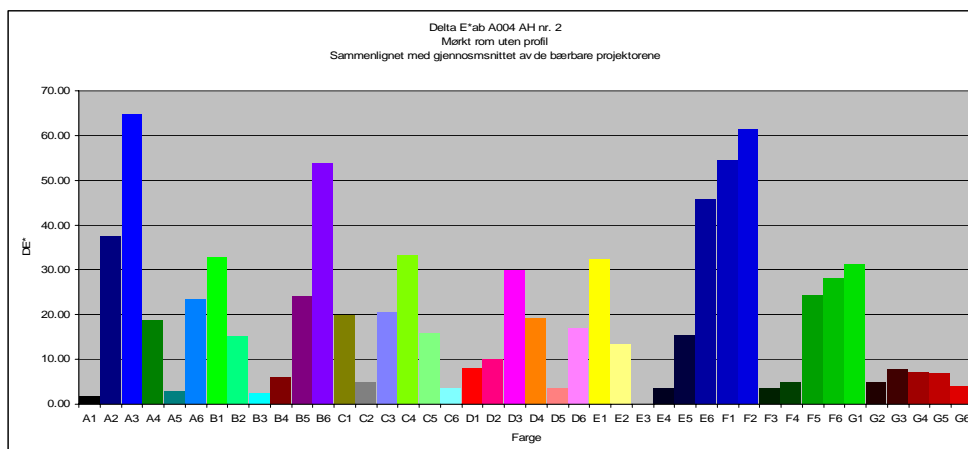


Figur 64: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 AH nr. 2

Figur 65 viser ΔE^*_{ab} for alle de målte fargene. Ren blå kanal gir de høyeste verdiene i tillegg til kombinasjonen av rød og blå. Andre høye verdier oppnås ved blanding av mettet grønn og rød. De laveste verdiene finner vi når alle kanalene er slått av, altså svart, ved full grønn og full blå sammen og ved lavt mettet blå og lavt mettet grønn ren kanal.

Mørke farger gir her lave ΔE^*_{ab} -verdier. En kombinasjon av rød og grønn kanal gir også lave verdier, men disse øker med metningsgraden til grønn.

ΔE^*_{ab} -verdiene fra målingene av de rene kanalene viser det samme bildet som hos de andre bærbare projektorene, nemlig en stabil lav rød kanal uansett metning, en økende grønn kanal og en bratt stigende blå kanal som ender rimelig høyt.



Figur 65: Delta E*ab A004 AH nr. 2, mørkt rom uten profil

3M X50 Biblioteket

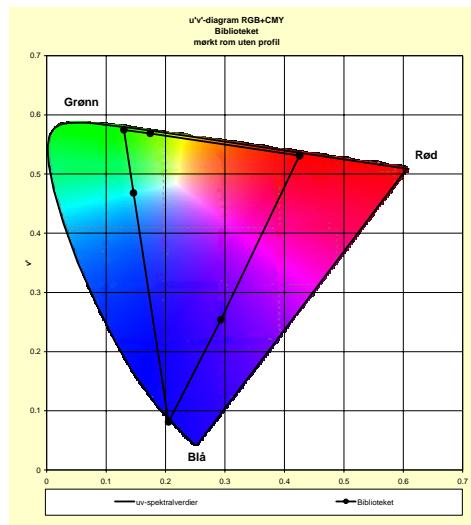


Dette er en helt ny projektor tilhørende høgskolens bibliotek. Det projiserte bildet er meget godt og skarpt. Tabell 29 viser projektorens spesifikasjoner.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Lysstyrke	2000 Lumens
Diagonal bildestørrelse	1,2 – 7,3 m
Bildestørrelse	30 – 300 inches
Display	LCD
I salg fra	2004

Tabell 29: Projektor 3M X50's tekniske spesifikasjoner

Som Figur 66 viser, har denne projektoren et forholdsvis stort fargeomfang. Primærfargene gjengis i forholdsvis godt, det samme gjør cyan. Tendensen med gul og magenta er den samme også med denne projektoren selv om den er ny. Gul ligger litt mot det grønne området og magenta gjengis nede på blå området.

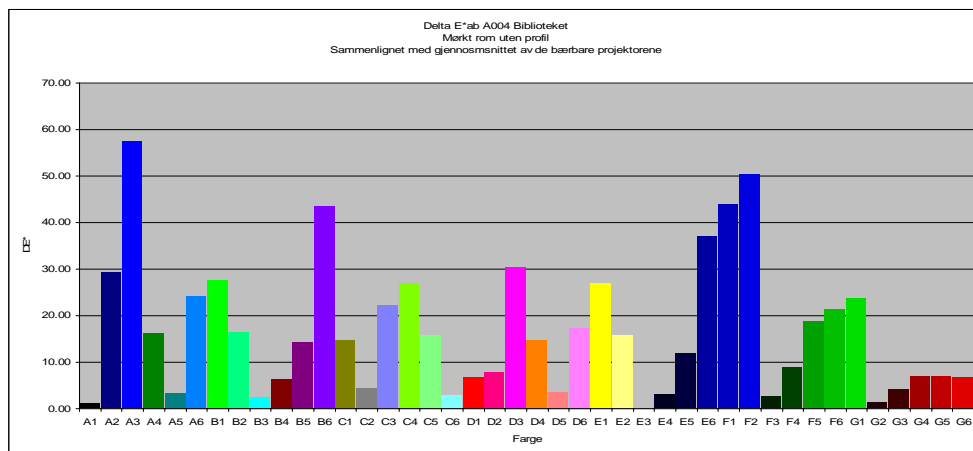


Figur 66: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 Biblioteket

Som Figur 67 viser er det også her den rene blå kanalen som gir de høyeste ΔE^*_{ab} -verdiene. Blanding av rød og blå kanal gir også høye verdier. I tillegg er det relativt høye verdier ved ren grønn kanal og mettet koblinger av rød og grønn kanal. De laveste ΔE^*_{ab} -verdiene oppnås ved svart når ingen av kanalene er slått på, ved lav rød ren metning, når grønn og blå kanal er fulle med halv rød (lys gul) og ved lav blå metning.

Mørke farger gir altså lave verdier, men det gjør også lys gul. Blanding av rød og blå gir kraftig økning ved økt metning av blå kanal. Blå og grønn sammen gir lave verdier ved økt metning av grønn. Rød og grønn kanal sammen gir økning i ΔE^*_{ab} ved økt metning av grønn, men også ved høy metning av rød.

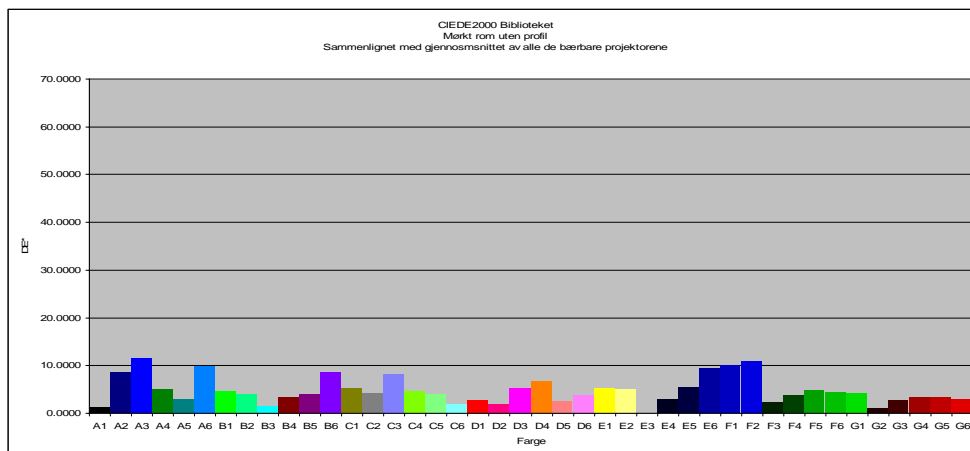
ΔE^*_{ab} -verdiene for ren rød kanal jevnt lave. Grønn kanal er lav i starten, men øker i takt med metningsgraden. Den blå kanalen øker mye med metningen i starten, men kurven slakker litt av fra halvfull kanal og mot full kanal.



Figur 67: Delta E*ab A004 Biblioteket, mørkt rom uten profil

ΔE_{00} -verdiene slår ut på stort sett de samme stedene som ΔE^*_{ab} selv om verdiene er betydelig lavere enn ved ΔE^*_{ab} -metoden. Den høyeste verdien finner vi ved full blå kanal, 11,3. Andre verdier som skiller seg ut er blandingen av full grønn og full

blå, halv rød og full blå, halv rød, halv grønn og full blå i tillegg til full rød og halv grønn. De minste verdiene finnes på samme sted i begge metodene.



Figur 68: CIEDE2000 mørkt rom uten profil, biblioteket

Projectiondesign Action Model One



Dette er en DLP-projektor utlånt fra Projectiondesign i Fredrikstad. Modellen er Action Model One og det projiserte bildet er noe mindre enn det 3M-projektorene viser. Brukte ca. 30 cm mindre avstand fra projektor til lerret for å få optimal størrelse på bildet. Dette var da maks, mens jeg brukte ned mot det minste på alle de andre bærbare projektorene.

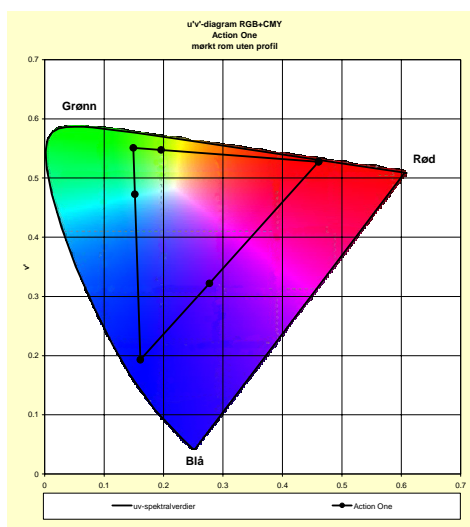
Bildet er meget klart og tydelig og det er ikke mulig å se noen forringelser i det projiserte bildet. De små antydningene som finnes regner jeg med at skyldes bulker og skrukker i lerretet. Projektoren er meget støysvak, men slippet ut svært varm luft.

Tabell 30 viser projektorens tekniske spesifikasjoner.

Spesifikasjon	Beskrivelse
Lysstyrke	600 – 1200 ANSI Lumens
Diagonal bildestørrelse	3,55 – 7,39 m
Bildestørrelse	114 – 264 cm
Display	DLP
I salg fra	May 2003

Tabell 30: Projektor Projectiondesign Action Model One's tekniske spesifikasjoner

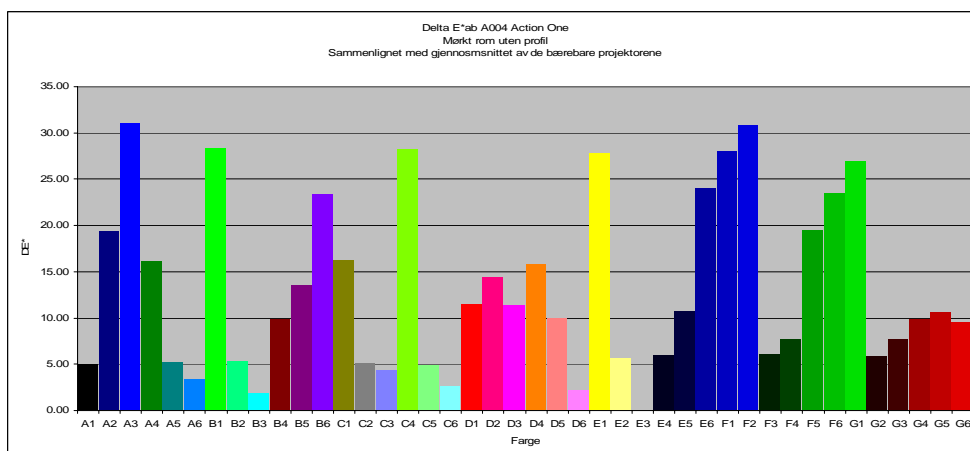
Figur 69 viser u'v'-diagrammet til Projectiondesigns Action One. Dette er jo en helt ny DLP-projektor. Fargeomfanget er noe mindre enn hos de nyere LCD-projektorene, men de gjengitte fargene har samme tendens. Primærfargene representeres bra og rød har et større fargeområde den kan spille på. Cyan er rimelig nøyaktig og gul er også veldig nær ren gul selv om den ligger litt inn på grønnlig område. Magenta er også her litt for blå, men ikke så mye som hos mange av de andre.



Figur 69: u'v'-diagram for mørkt rom uten profil, A004 Action One

For denne projektoren er ΔE^*_{ab} -verdiene relativt lave for alle de tre rene kanalene. Rød kanal holder seg jevnt lav med bare en liten økning i takt med metningsgraden. Blå og grønn kanal følger hverandre med blå kanal med noe høyere ΔE^*_{ab} -verdier enn grønn. De øker gradvis med metningsgraden, men på langt nær så mye som hos de andre bærbare projektorene.

De høyeste ΔE^*_{ab} -verdiene får vi ved mettede grønne og blå rene kanaler. Andre farger som gir relativt høye verdier er når blå er fullt mettet sammen med halv rød, fullt mettet grønn sammen med halv rød og fullt mettet grønn og rød. De laveste verdiene oppnås når grønn og blå sammen er mettede. Dette gjelder også om disse to er blandet med rød. De høye verdiene kommer altså når rød og en av de andre blandes, mens lave verdier kommer fra en blanding av grønn og blå, se Figur 70.



Figur 70: Delta E*ab A004 Action One, mørkt rom uten profil