

OPTIMA

Metodstudie om färg, ljus och rumsupplevelse



Slutrapport Karin Fridell Anter mars 2011

SYN-TES rapport 1



Förord

Denna rapport utgör slutredovisning för projektet Pilotstudier kring optimering av energibesparing, rumsupplevelse och funktionalitet vid belysningsplanering (OPTIMA), finansierat av Energimyndigheten inom programmet Energieffektivisering inom belysning, projektnummer P32266-1.

Projektet har genomförts vid Perceptionsstudion, Konstfack, under perioden mars 2010 – februari 2011. Projektgruppen har bestått av forskare från Konstfack och ljus- och färgexperter från Alcro och Philips. Arbetet har bedrivits integrerat med projektet SYN-TES. Människa, färg och ljus. Syntetisering för ett sammanhållet kunskapsfält, finansierat av KK-stiftelsen (ref. nr 2009/0195).

Stort tack till alla medarbetare som har medverkat konkret i OPTIMA-arbetet och/eller bidragit med expertkunskaper vid projektformulering och rapportskrivning. Tack också till alla försökspersoner.

Speciellt tack till Philips och Alcro som inom ramen för SYN-TES har bekostat material, design och hantverksarbete i fullskalerummen och till NCS Colour som har tillhandahållit material för testerna i rummen.

Stockholm mars 2011

Karin Fridell Anter
docent, arkitekt SAR/MSA
projektledare för OPTIMA och SYN-TES
karin.fridell.anter@konstfack.se

Projektgrupp för projektet OPTIMA

Karin Fridell Anter, Docent, Konstfack (projektledare)

Ulf Klarén, Höskolelektor, Konstfack (biträdande projektledare)

Johanna Enger, Ljus- och industridesigner, Konstfack
(ansvarig för observationernas genomförande)

Yvonne Karlsson, Färgsättare, Alcro-Beckers AB (färgsättningsansvarig)

Svante Pettersson, Ljusdesigner, Philips AB, Lighting (ljussättningsansvarig)

Ida Järslöj, Ljusdesigner, Philips AB, Lighting (ljussättning, assistent)

Leif Berggren, Senior ljusexpert

Pär Duwe, Teknisk säljchef, Alcro-Beckers AB

Johan Lång, Försäljningsdirektör, Philips AB, Lighting

Referensgrupp = seminariegruppen inom projektet SYN-TES

Harald Arnkil, Konstnär, universitetslektor vid University of Art and Design, Helsingfors

Monica Billger, Bitr. professor, Institutionen för Arkitektur, Chalmers, Göteborg

Anders Gustafsson, Teknisk chef, Alcro-Beckers AB, Stockholm.

Cecilia Häggström, Tekn. dr., inredningsarkitekt och konstnär, HDK, Göteborg

Thorbjörn Laike, Docent i miljöpsykologi, Lunds Universitet.

Barbara Matusiak, Professor, Institutt for byggekunst, form og farge, NTNU Trondheim

Anders Nilsson, Chef för den kolorimetriska verksamheten vid NCS Colour, Stockholm

Helle Wijk, Docent i medicinsk vetenskap, Inst. f. vårdvetenskap o. hälsa, Göteborgs Universitet

Samarbetspartners för projektet OPTIMA

I SAMARBETE MED
KK-stiftelsen ><



PHILIPS

OPTIMA

Perceptionsstudion/Konstfack 2010-2011

Finansierat av: **Energimyndigheten**

Projektnummer P32266-1.

Projektledare: **Karin Fridell Anter**

Layout och grafisk form: **Johanna Enger**

Fotografier: **Ulf Klarén**

Innehåll

1. Sammanfattning	6	9. Resultat: Färgåtergivning	44
2. Projektets bakgrund, syfte och mål	8	Färgdiskriminering	
Behovet av kunskap om ljus och färg i samverkan		Färgkategorisering	
Projektets utgångspunkter		Jämförelse mellan de båda färgtesternas resultat	
Projektets syfte och mål		Diskussion av resultatet utifrån försöksgruppernas sammansättning	
3. Tidigare forskning	10	Diskussion av resultatet utifrån ljusintensiteten	
4. Teoretiska och metodologiska utgångspunkter	14	Diskussion av resultatet utifrån spektralfördelningen	
5. Genomförande		Kommentarer om färgåtergivning	
Kvalitetskriterier och undersökningsmetoder formulerade av		10. Resultat: Rummets stämning och atmosfär	50
tvärdisciplinär seminariegrupp		Sammanfattning av kommentarerna om rum 1:2	
Experimentrum i full skala		Sammanfattning av kommentarerna om rum 2:1	
Successiv approximering – beskrivning och utvärdering av metoden		Sammanfattning av kommentarerna om rum 2:2	
6. De olika försöksrummen	18	Kommentarer om själva försökssituationen	
Rum 1:1 "Dynamiskt och stimulerande"		Slutsatser om stämning och atmosfär	
Rum 1:2 "Dynamiskt och stimulerande"		11. Slutsatser: Energibesparing, rumsupplevelse och funktionalitet	54
Rum 2:1 "Lugnt och harmoniskt"		12. Slutsatser: Metoder att beskriva och utvärdera samverkan av färg och ljus	56
Rum 2:2 "Lugnt och harmoniskt"		Försökspersoner i fullskalerum	
Referensrum med dagsljus och ljusskåp		Successiv approximering baserad på designerfarenhet	
7. Genomförda tester	30	Frågor om rummets utseende och stämning	
Försöksgruppernas sammansättning		Funktionalitetstest – läsning	
Försöksuppläggning och frågor		Färgdiskriminerings- och färgkategoriseringstester	
Tekniska mätningar och specifikationer		Egen reglering av ljussituationen	
8. Resultat: Ljus, mörker och funktionalitet	38	13. Sammanfattande kommentarer och förslag till fortsatt arbete	60
Ett ljust eller mörkt rum?		Energibesparing genom samverkan mellan färg och ljus	
Vad krävs av bra läsljus?		LED i rumsliga situationer	
		Förhållandet mellan olika rumsdelars belysning	
		Referenser	62
		BILAGOR:	
		Tekniska specifikationer	63

1 Sammanfattning

OPTIMA är ett pilotprojekt som främst syftar till metodutveckling till stöd för framtida forskning. Dess primära mål är att

- hitta och pröva kriterier och metoder att beskriva, utvärdera och planera hur ljus och färg kan samverka till att ge goda rumsliga kvaliteter med låg energiförbrukning
- fördjupa förståelsen för den komplexa rumsliga samverkan mellan ljus och färg och utifrån detta formulera hypoteser för fortsatt forskning.

I tidigare forskning om färg och ljus i rum har man oftast koncentrerat sig på en aspekt som varierats medan rummets övriga egenskaper hållits konstanta. OPTIMA skiljer sig från detta genom ambitionen att undersöka samverkan mellan en rad olika variabler: Ljusnivå, ljusfördelning, ljusets färgtemperatur och spektralfördelning, valda färger på rummets ytor och inredning samt placeringen och kontrastverkan mellan dessa färger. Arbetet har bedrivits i samverkan med seminariegruppen inom det större forskningsprojektet SYN-TES, bestående av forskare och produktutvecklare som alla är experter på någon aspekt av problemkomplexet färg – ljus – rum.

Metod och metodutvärdering

Den metodik som prövats inom OPTIMA bygger på den erfarenhetsgrundade praktik som tillämpas inom konst och design, i växelverkan med vetenskapligt genomförda tester. Undersökningarna har bedrivits i fullskalerum enligt en variant av metoden successiv approximering, som har testats och utvecklats som en del av projektet.

Forskarteamet har formulerat mål för energiåtgång och rumsliga kvaliteter efter förberedande diskussioner med expertis från färg- och ljusindustrin. Professionella färg- och ljusdesigners har gjort en ljus- och färgsättningslösning utifrån dessa mål. I detta har de utgått från sin egen professionella erfarenhet och inte från belysningstekniska eller andra normer. Rummets ljus- och färgsättning har utgjort en konkret erfarenhetsgrundad "hypotes" som vetenskapligt testas och analyseras av forskarteamet. Analysresultaten har diskuterats gemensamt av forskare och designers, vilket lett till ny förståelse och en preciserad "hypotes" i form av reviderad ljus- och färgsättning.

Genom kontinuerlig upprepning av detta förlopp har det skett en kunskapsackumulation och en utveckling av ny kunskap. Även att omformulera målen har varit en del i denna kunskapsprocess, där det viktiga resultatet är det vi upptäckt under arbetets gång. Vår slutsats är att metoden med successiv approximering är mycket lämpad för att undersöka samvariationen mellan ljuskvalitet, ljusfördelning, valda färger och deras placering i komplext utformade rum.

Följande kvalitetskriterier och funktionskrav har använts i arbetet med OPTIMA:

- Energiåtgången ska vara så liten som möjligt
- Rummet ska ge en positiv upplevelse. Två olika specifikationer gavs: Det första rumsalternativet skulle upplevas som dynamiskt och stimulerande, det andra som lugnt och harmoniskt.
- Läsning: Vid bordet i försöksrummet ska det vara möjligt att läsa en pocketbok lika bra som i en jämförelsesituation med dagsljus.
- Ljuset ska göra det möjligt att skilja mellan mycket likartade färger: Resultatet av ett förenklat Farnsworth-Munsell färgdiskrimineringstest (utfört vid bordet) ska vara lika bra som i en jämförelsesituation i ett ljusskåp med god dagljussimulator.
- Färger ska återges på ett naturligt sätt: Kategorisering av färgprover utifrån kulörthet och kulörton ska ge samma resultat som i ett ljusskåp med god dagljussimulator.

OPTIMA slutrapport till Energimyndigheten Karin Fridell Anter mars 2011 6
Kravet var vidare att belysningslösningen skulle utnyttja produkter och kunnande som ligger i framkant av dagens möjligheter och samtidigt vara tekniskt och ekonomiskt genomförbar i större skala.

Inom pilotförsöket testades fyra olika rumsalternativ, som vart och ett bedömdes av 12-15 personer med olika ålder och kön. Vissa av dem arbetade professionellt med färg och/eller ljus, andra gjorde det inte. Avsikten med denna spridning var att få en bredd i kommentarerna och i försökspersonernas förmåga att genomföra testerna. Däremot gjordes ingen jämförelse mellan olika kategorier av försökspersoner.

Rummet observerades av en person i taget, enligt en i förväg uppgjord procedur med observationsprotokoll och manual för försöksledaren. Försökspersonerna fick svara på frågor som rörde rummets utseende och om den stämning de upplevde i rummet samt genomföra tester med läsning, färgdiskriminering och färgkategorisering. I varje rumsalternativ noterades belysningsstyrka och luminans på c:a 20 punkter, ljuskällornas färgtemperatur, spektralkurvor och teoretiska färgåtergivningens förmåga, samt hela belysningsanläggningens effekt uttryckt i W.

Resultat och hypoteser inför fortsatt forskning

Undersökningen visar att rummets färgsättning har stor betydelse för dess upplevda ljushet och funktionalitet. Detta gäller inte bara det relativt självklara faktum att ljusare rumsytor ger ljusare rum om belysningen är konstant, utan också betydligt mer komplicerade samband mellan belysningen och ytornas färger.

Med utgångspunkt i de genomförda försöken ställer vi hypotesen att rumsfärgernas kontrastomfång har betydelse för den upplevda ljusheten i ett rum, på så sätt att ett större kontrastomfång ger upplevelsen av mera ljus. Preliminärt gäller detta både kontrastfånget i ljushet, från vitt till svart, och kontrastomfånget mellan färger med olika kulörthet och kulörton. Vi ställer också hypotesen att den rumsliga fördelningen av färger kan samverka med ljusets verkliga eller förväntade spridningsmönster på ett sätt som förstärker upplevelsen av ljus.

Tydliga gränslinjer mellan olika färgfält och mellan ytor med olika riktning är väsentliga för att ge rummet en distinkt form och motverkar att färger flyter ihop. Vi ställer hypotesen att en sådan klarhet i rummet medverkar till upplevelsen av god belysning. Om dessa hypoteser kunde bekräftas skulle det kunna leda till att färgsättningen aktivt används för att minska belysningsbehovet med bibehållen upplevd ljusnivå.

OPTIMA-försöken har visat på färgåtergivningseffekter (blåförskjutning) som uppstått både i kallt och varmt LED-ljus. Detta kan bero på spektralfördelningen hos de använda dioderna men som också kan ha andra orsaker. Detta är en fråga som bör undersökas närmare.

En annan viktig erfarenhet är att ljusfördelningen i de LED-belysta rummen har varit mycket ojämn, vilket inverkat negativt på både rumsupplevelse och funktionalitet. Detta är en följd av att LED-armaturer har utformats för att vara så energisnåla som möjligt och därför minimera det som kan kallas "spilljus". Den ojämnna ljusspridningen är dock ingen nödvändig följd av LED-teknologin utan kan åtgärdas genom att man sprider ljuset med en inbyggd lins e.d. Detta gör dock att en viss del av energin hejdas av linsen vilket ger en något mindre energieffektivitet. För att få ett ljus som fungerar väl och upplevs positivt av de människor som ska leva i de belysta rummen ser vi det som nödvändigt att avstå från en viss del av den teoretiskt möjliga energibesparingen och utveckla armaturer som ger ett mjukare spridningsmönster. Sådana armaturer skulle också kunna öka acceptansen för LED och därmed bidra till att dessa energisnåla ljuskällor skulle användas mera.



2 Projektets bakgrund, syfte och mål

Behovet av kunskap om ljus och färg i samverkan

Färg och ljus i samverkan bygger vår mentala visuella föreställning om rummet. Dessa upplevelser är ömsesidigt beroende av varandra och kan inte analyseras separat. Det omgivande rummets färger påverkar ljusupplevelsen och behovet av belysning, samtidigt som belysningens intensitet, kvalitet och placering är avgörande för hur vi ser och upplever rummets färger; även utomhus, och i invändiga dagsljusbelysta rum sker en motsvarande ömsesidig påverkan mellan färg och ljus.

Dagens utvidgade krav på låg energiförbrukning, klimathänsyn och en hållbar utveckling kan i den byggda miljön mötas genom att färg och belysning bringas att samverka på ett optimalt sätt. Nya tekniska möjligheter inom färg- och ljussättning ger en stor potential för sådana lösningar och erbjuder också nya möjligheter att skapa upplevelser och känslor med hjälp av ljus och färg.

För närvarande sker en storskalig övergång från traditionella till nya ljuskällor. De nya tekniska lösningarna har delvis oprövade egenskaper vad gäller rumsupplevelse, visuell komfort, biologisk påverkan på människan etc. Därmed finns risken att de används på ett sätt som tillgodoser vissa specificerade och mätbara kvalitetskrav (t.ex. låg energiförbrukning) utan tillräcklig förståelse för andra kvaliteter (t.ex. rumsupplevelse och biologisk påverkan på människan).

Projektets utgångspunkter

Projektet utgår från behovet av att minska energiåtgången för belysningsändamål och från den aktuella övergången till mer energisnåla ljuskällor. Den nya situationen ställer nya krav på kunskapsmässigt underlag för belysningsplaneringen. De kunskaper om färg, ljus och deras rumsliga samverkan som finns inom olika akademiska discipliner och praktiska tillämpningsområden samordnas dock inte i tillräckligt hög grad, vilket leder till att befintlig kunskap inte alltid beaktas, och det finns därmed en stor risk att potentiella möjligheter att spara energi inte förverkligas. Bristen på kunskapssamordning kan också leda till att energisparande åtgärder i onödan får negativa konsekvenser för rummens funktion och/eller för upplevelserna hos de människor som vistas där. Det finns alltså ett behov av att undersöka hur olika belysningslösningar påverkar

rumsupplevelse och rummens funktionalitet, med målet att hitta lösningar där artificiellt ljus, dagsljus och rummets utformning och färgsättning samverkar på ett optimalt sätt vad gäller både perceptuella, funktionella och energimässiga faktorer.

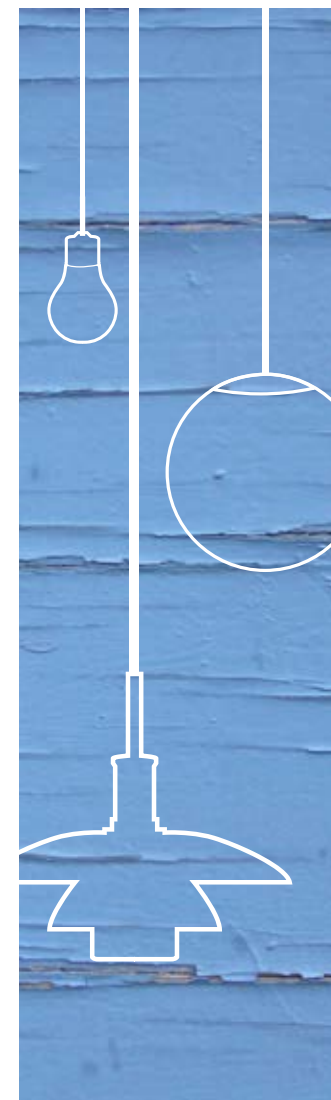
Projektet har direkt anknytning till det större forskningsprojektet SYN-TES: Human colour and light synthesis. Towards a coherent field of knowledge. I detta större projekt samverkar forskare från ett flertal discipliner med utvecklingsansvariga inom belysningsindustri, färgmaterialindustri, färgstandardutgivare och fönsterglastillverkare.

Projektets syfte och mål

OPTIMA är ett pilotprojekt som främst syftar till metodutveckling till stöd för framtida forskning. Dess primära mål är att

- hitta och pröva kriterier och metoder att beskriva, utvärdera och planera hur ljus och färg kan samverka till att ge goda rumsliga kvaliteter med låg energiförbrukning
- fördjupa förståelsen för den komplexa rumsliga samverkan mellan ljus och färg och utifrån detta formulera hypoteser för fortsatt forskning

En ytterligare målsättning är att upprätta några tydliga exempel på hur olika faktorer samverkar för att ge ett gott ljus, dokumentera dem och visa dem som ett led i opinionsbildning och information kring energisparande åtgärder.



3

Tidigare forskning

En djup förståelse av den rumsliga samverkan mellan färg och ljus förutsätter ett tvärvetenskapligt angreppssätt som innefattar sådant som psykologi, neurologi och ljusteknologi tillsammans med en djup förståelse av färg- och ljusställning i byggda rum. Trots att relevant forskning länge har utförts inom alla dessa områden är kunskapen dock fragmentariserad och otillräckligt samordnad.¹

Den internationella forskningen om ljus bedrivs till stor del inom industriföretag. Den är huvudsakligen inriktad på tekniska applikationer men innefattar också mer grundläggande forskning om ljus och dess psykologiska och fysiologiska betydelse för människor.² Forskning om olika aspekter av ljus bedrivs också vid akademiska institutioner.³

Den internationella forskningen om färg är i hög grad inriktad på frågor om färgmätning och färgreproduktion i olika medier, och endast till relativt liten del relevant för frågor som rör rumsgestaltning.⁴ I det forskningsfält som berör färgupplevelse samt ljus och färg i rumslig samverkan finns svensk forskning sedan flera decennier i den internationella forskningsfronten.⁵

1 En sammanställning av aktuell svensk forskning finns i Fridell Anter 2008a och 2008b.

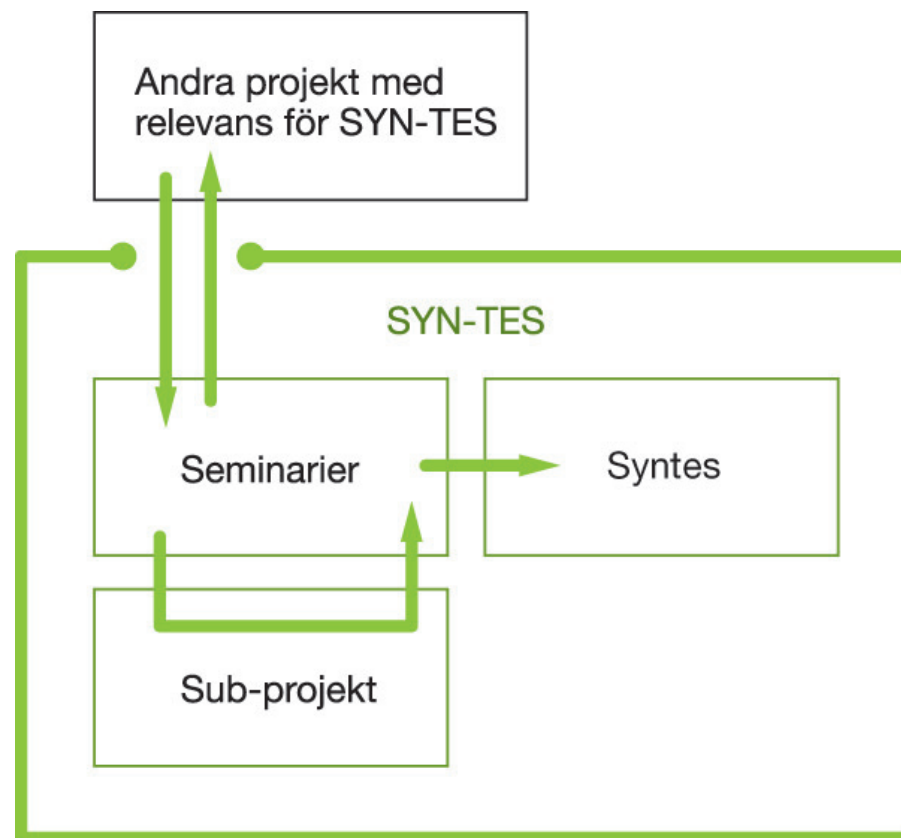
2 Ett exempel är Vogels 2008.

3 Några exempel är Matusiak 2006; Sandström et al 2002.

4 Problematiken diskuteras i Fridell Anter & Billger 2010.

5 Sammanställningar av forskning fram till 1990-talets början finns i Hård & Svedmyr 1995a och Hård et al. 1995b. Nyare forskning finns i doktorsavhandlingarna Billger 1999, Fridell Anter 2000 och Hårleman 2007.

Projektprocess för SYN-TES



Projektprocess för det tvärvetenskapliga projektet SYN-TES. Människa färg och ljus. Syntetisering för ett sammanhållet kunskapsfält.

Genom att forskningen om färg och ljus är uppdelad mellan olika institutioner och organisationer har det kommit att utvecklas olika forskningstraditioner och kunskapskulturer, vilket innebär att forskare ofta har svårt att tillgodogöra sig och förhålla sig till varandras metoder och resultat, trots att de arbetar med likartade frågor. En viktig aspekt av detta är frånvaron av gemensamma och allmänt accepterade begrepp.⁶

Forskningsprojektet SYN-TES

Under 2010-2011 pågår vid Konstfack det tvärvetenskapliga projektet SYN-TES. *Människa färg och ljus. Syntetisering för ett sammanhållet kunskapsfält.* Det omfattar ca femton färg- och ljusspecialister från företag och olika akademiska discipliner. Alla deltagarna arbetar dessutom med annan forskning och/eller utvecklingsarbete om ljus- och/eller färgfrågor. I arbetet med SYN-TES träffas gruppen regelbundet till seminarier för att närma olika kunskapstraditioner till varandra och gemensamt formulera grunderna för ett sammanhållet kunskapsfält som innefattar både färg och ljus. I anslutning till detta genomförs ett antal delprojekt kring avgränsade frågeställningar. OPTIMA är ett av dessa delprojekt.

⁶ Begreppsproblematiken diskuteras vad gäller färg i Green-Armytage 2006 och vad gäller ljus i Liljefors 2006.

4

Teoretiska och metodologiska utgångspunkter

Den metodik som provas inom OPTIMA bygger på den erfarenhetsgrundade praktik som tillämpas inom konst och design, i växelverkan med vetenskapligt genomförda tester. Piet Hein – den danske matematikern, filosofen, designern, poeten etc. – menar att konst, i betydelsen kreativitet, är att lösa problem som inte kan formuleras klart förän de är lösta.⁷ Han säger också att man i kreativ verksamhet inte kan tydligt särskilja problemet från lösningen. Att formulera ett problem är att lösa det.⁸

Utifrån detta formulerar Hein en vetenskaplig metodik som skiljer sig från det som vetenskapsfilosofen Thomas Kuhn kallar normalvetenskapens.⁹ Traditionell undersökningsmetodik kan beskrivas som problemformulering/hypotes - undersökning/experiment - slutsats/bevis. Mot detta kan man inte göra några formella invändningar, men det främjar, enligt Piet Hein, inte kreativitet eller nytänkande.

Verkligt nya synsätt kommer till då någon skissartat och intuitivt ”börjar med slutsatsen”, formulerar ”svaret” först och därefter ifrågasätter formuleringen, korregerar och formulerar om, om och om igen; gör formuleringen mer och mer riktig. Hein kallar en sådan metod för successiv approximering – att vi alltmer närmar oss det rätta – vetenskapens egen produktionsprocess, och han beskriver processen i en gruk, Heins egen karakteristiska uttrycksform:

Visdommens vej

Det findes een visdommens vej:

der er dèn

som bør være let

at erindre:

dum dig

og dum dig

og dum dig igen,

men mindre

og mindre

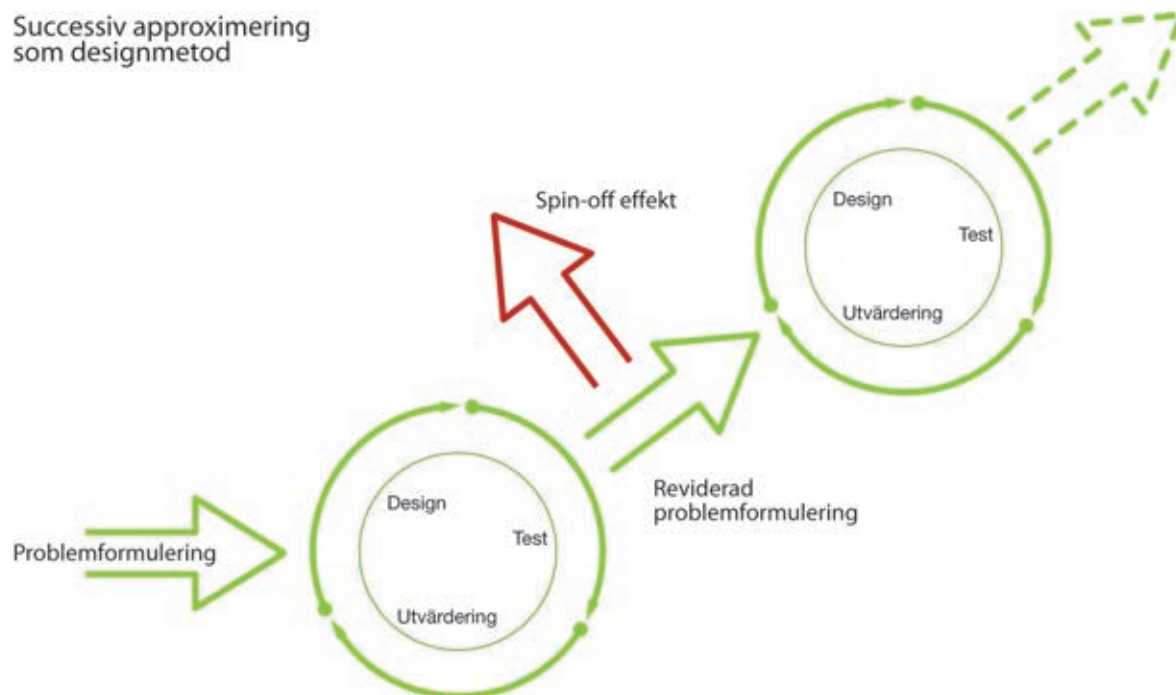
og mindre

Piet Hein (1905-1996)

Successiv approximering är ett viktigt inslag i den konstnärliga processen, liksom då vi i vardagslag kontinuerligt formulerar – och formulerar om – vår världsbild. Piet Hein visar också på hur avancerade och nydanande forskare inom naturvetenskaperna nyttjar denna metod.

Vetenskapsteoretikern Karl Popper (1902-1994) menar att uppställandet av nya hypoteser är en kreativ verksamhet, som inte behöver följa några logiska regler och vars omedelbara resultat utgöres av intuitiva helhetsformuleringar grundade i erfarenhet. Prövningen av hypoteserna sker däremot enligt rationella logiska kriterier.¹⁰ Utan ett "vilt" förstadium till det vetenskapliga arbetet kan inte vetenskapen utvecklas utan kröker in sig i sina egna redan accepterade teorier och riskerar hamna i försvarsställning mot nya och annorlunda synsätt. Utan de vilda hypoteserna konserverar sig vetenskapen mot paradigmskiften.

Successiv approximering som designmetod



Intuitiva formuleringar kan naturligtvis ske på olika nivåer. Deras kvalitet eller grad av komplexitet beror av den enskilde forskarens totala erfarenhet och kunskaper. Forskaren kan tillåta sig göra en helhetsformulering utan att säkert veta, och omedelbart därefter påbörja korrigeringen på samma sätt som när en konstnär gör ett utkast eller en skiss som sedan korrigeras om och om igen tills han uppfattar att den stämmer – åtminstone tillfälligt.

Undersökningarna inom OPTIMA har bedrivits i fullskalerum enligt en variant av metoden successiv approximering, som har testats och utvecklats som en del av projektet. Forskarteamet har formulerat mål för energiåtgång och färg- och ljuskvaliteter efter förberedande diskussioner med expertis från färg- och ljusindustrin. Professionella färg- och ljusdesigners har gjort en ljus- och färgsättningslösning utifrån dessa mål. Rummets ljus- och färgsättning har utgjort en konkret erfarenhetsgrundad "hypotes" som vetenskapligt testats och analyseras av forskarteamet. Analysresultaten har diskuterats gemensamt av forskare och designers, vilket lett till ny förståelse och en preciserad "hypotes" i form av reviderad ljus- och färgsättning. Genom kontinuerlig upprepning av detta förlopp har det skett en kunskapsackumulation och en utveckling av ny kunskap. Även att omformulera målen har varit en del i denna kunskapsprocess, där det viktiga resultatet är det vi upptäckt under arbetets gång.

⁷ Texten i rapportens avsnitt 4 är delvis hämtad ur Klarén 1997.

⁸ Hein 1985

⁹ Mårtensson 1980

¹⁰ Ibid

5 Genomförande

Kvalitetskriterier och undersökningsmetoder
formulerade av tvärdisciplinär seminariegrupp

OPTIMA skiljer sig från tidigare forskning om färg och ljus i rum genom ambitionen att undersöka samverkan mellan en rad olika variabler: Ljusnivå, ljusfördelning, ljusets färgtemperatur och spektralfördelning, valda färger på rummets ytor och inredning samt placeringen och kontrastverkan mellan dessa färger. Möjligheterna och svårigheterna med ett flerdimensionellt angreppssätt har diskuterats av seminariegruppen inom projektet SYN-TES, bestående av forskare och produktutvecklare som alla är experter på någon aspekt av problemkomplexet färg – ljus – rum. Se sidan 4 för en presentation av seminariegruppen.

Med utgångspunkt från sin egen forskning och erfarenhet och från sin kännedom om den internationella forskningsfronten har seminariegruppen diskuterat hur man kan formulera krav på "bra ljusmiljö" utan att ge tekniska specifikationer eller mätvärden för hur denna kvalitet ska uppnås. Diskussionerna har resulterat i ett antal kvalitetskriterier och funktionskrav att läggas till grund för tester i fullskalerum. Vad som är "bra ljusmiljö" i fungerande rum varierar naturligtvis med situationen och rummets funktion, och de kriterier vi har valt syftar inte till att formulera några allmängiltiga krav. Avsikten är i stället att pröva i vilken mån man kan nå fram till önskvärda kvaliteter utan att utgå från tekniska specifikationer, och att uppdaga potentiella samverkanseffekter och/eller konflikter mellan olika kvaliteter.

Följande kvalitetskriterier och funktionskrav har använts i arbetet med OPTIMA:

- Energiåtgången ska vara så liten som möjligt
- Rummet ska ge en positiv upplevelse. Två olika specifikationer gavs: Det första rumsalternativet skulle upplevas som dynamiskt och stimulerande, det andra som lugnt och harmoniskt.
- Läsning: Vid bordet i försöksrummet ska det vara möjligt att läsa en pocketbok lika bra som i en jämförelsesituation med dagsljus.
- Ljuset ska göra det möjligt att skilja mellan mycket likartade färger: Resultatet av ett förenklat Farnsworth-Munsell färgdiskrimineringstest (utfört vid bordet) ska vara lika

bra som i en jämförelsesituation i ett ljusskåp med god dagljussimulator.

- Färger ska återges på ett naturligt sätt: Kategorisering av färgprover utifrån kulörthet och kulörton ska ge samma resultat som i ett ljusskåp med god dagljussimulator.

Kravet var vidare att belysningslösningen skulle utnyttja produkter och kunnande som ligger i framkant av dagens möjligheter och samtidigt vara tekniskt och ekonomiskt genomförbar i större skala.

Seminariegruppen diskuterade också fram metoder för att undersöka i vilken mån utförda färg- och ljuslösningar tillgodosåg de olika kraven. Här användes:

- frågor till försökspersoner om rumsupplevelse, synkomfort m.m
- tester där försökspersoner fick olika sorters färgbedömningsuppgifter
- mätning av lux-värden och därur framräknade luminansvärden
- Spektrofotometrisk mätning av spektralfördelningen hos direkt ljus från ljuskällorna och hos reflekterat ljus från olika rumsytor.
- Beräkning av energiåtgång gjordes utifrån tillverkarens angivna prestanda hos ljuskällor och armaturer, inklusive drifttdonsförluster.

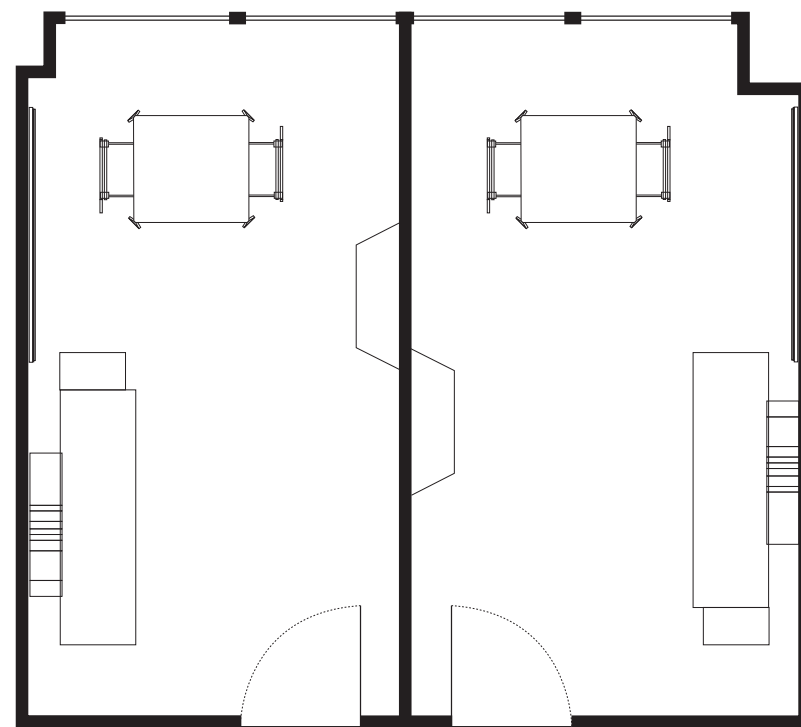
En noggrann redogörelse för undersökningsmetoderna och deras resultat ges i rapportens avsnitt 7.

Experimentrum i full skala

För ändamålet inreddes två experimentrum. Det ena är det egentliga testrummet, medan det andra används som referens i vissa delar av undersökningen.

Testrummet är på c:a 18 kvadratmeter med takhöjd 2.60. Det har ett fönster mot (fingerat) nattmörker och är möblerat med specialbyggda möbler som gör det möjligt att sitta på stolar vid ett bord (matbordshöjd) samt att sitta/ sträcka ut sig på en soffa. Inredningen är utformad för att skapa en rumslighet som inte skvallrar om tidsepoker eller stil, och inte heller signalerar någon specifik funktion för rummet som helhet.

Referensrummet har samma ytmått och möblering som testrummet men mycket högre takhöjd. Det har stora fönster samt högt sittande lysrörsarmaturer .

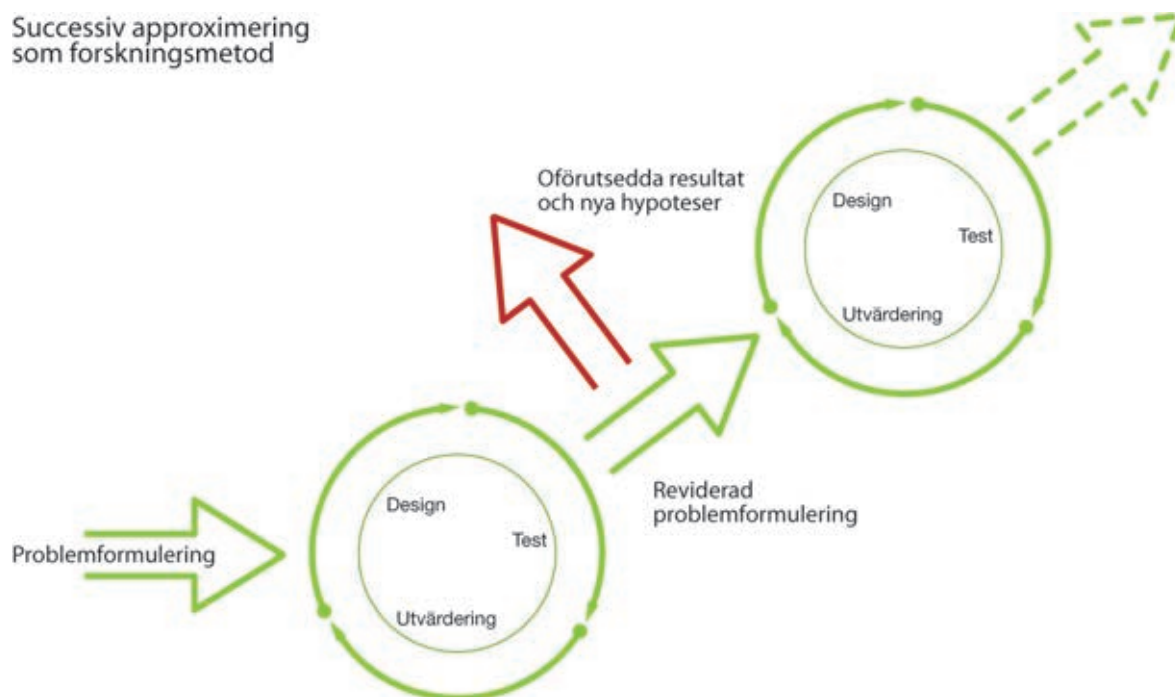


Ritning på dagsljusrum/referensrum och försöksrum

Successiv approximering – beskrivning och utvärdering av metoden

Undersökningarna har bedrivits i fullskalerum enligt en variant av metoden *successiv approximering*, som har testats och utvecklats som en del av projektet. Metoden är ett sätt att skapa samverkan mellan teoretisk förståelse och erfarenhetsbaserad kunskap och att skapa ny förståelse och kunskap genom att kritiskt utvärdera och successivt förändra preliminära lösningar på specifika problem.

Successiv approximering som forskningsmetod



Konkret har arbetet bedrivits på följande sätt:

- **Kravformulering:** De ovan formulerade kvalitetskriterierna och funktionskraven specificerade inte vilka medel som skulle användas för att uppnå målen.
- **Rumsgestaltning:** Erfarna färg- och ljussättare (Yvonne Karlsson, Svante Pettersson och Ida Järsljö) fick uppgiften har gemensamt utifrån sin erfarenhet färg- och ljussätta testrummet så att det motsvarade kraven, på det sätt som de själva valde, samt att konkret genomföra målning, belysningsmontering etc. enligt sina intentioner.
- **Test:** Forskargruppen undersökte med hjälp av försökspersoner i vilken mån testrummet motsvarade de uppställda kraven (metodik för detta, se nedan).
- **Utvärdering:** Forskarna och de färg- och ljussättningsansvariga träffades i rummet och gick igenom testresultatet. Vi konstaterade på vilka sätt rummet hade lyckats eller misslyckats med att leva upp till de ställda kraven, diskuterade möjliga orsaker till de erhållna testresultaten och kom gemensamt fram till konkreta förslag till förändringar av rummets ljus- och /eller färgsättning, för att bättre motsvara de ställda kraven.
- **Modifiering av rumsgestaltning:** Rummets ljus- och färgsättning förändrades enligt utvärderingsmötets beslut.
- **Test:** En ny omgång tester gjordes med nya försökspersoner.
- **Utvärdering:** Vid ett nytt utvärderingsmöte drogs nya slutsatser.

Hela processen har genomförts två gånger under perioden aug 2010 – jan 2011. Rummet skulle i den första omgången upplevas som dynamiskt och stimulerande, i den andra som lugnt och harmoniskt. Övriga krav var lika i båda omgångarna. Efter det första utvärderingsmötet reviderades försöksprotokollet/proceduren, som sedan hölls konstant. Anteckningarna från utvärderingsmötena ledde till slut-

satser som inte hade kunnat dras utan projektgruppens samlade expertis. Detta gäller både konkreta iakttagelser om färgens och ljusets samverkan i rummet och tolkning av försöksresultaten mot bakgrund av specifika kunskaper.

I tidigare forskning om färg och ljus i rum har man oftast koncentrerat sig på en aspekt som varierats medan rummets övriga egenskaper hållits konstanta.¹¹ Arbetet med OPTIMA visar att metoden med successiv approximering är mycket lämpad för att undersöka samvariationen mellan ljuskvalitet, ljusfördelning, valda färger och deras placering i komplext utformade rum.

Genom den successiva approximeringen har vi gradvis kunnat definiera vilka aspekter i rummets helhetsutformning som har varit betydelsefulla för försökspersonernas bedömningar och testresultat. I en längre försöksserie, där tiden tillåter flera omgångar av utvärdering och modifiering utifrån en oförändrad kravspecifikation, kan denna metod leda till mera specifika slutsatser än vad som varit möjligt i detta pilotförsök. Lätt modifierad kan metoden också användas så att man först varierar endast ett fåtal faktorer och gör utvecklade expertbedömningar av helheten. I det på så sätt optimerade rummet kan man sedan använda en större grupp försökspersoner för att på mera traditionellt sätt undersöka dess kvaliteter.



Färgdiskrimineringstest Farnsworth-Munsell.

¹¹ Billger 1999; Hårleman 2007; Vogel 2008; Matusiak 2006

6 De olika försöksrummen

Försöksrummen

Huvuddelen av testerna utfördes i ett och samma rum, som modifierades ett antal gånger och därmed behandlas som fyra olika rum. Den första rumsvarianten var designad för att upplevas som dynamisk och stimulerande. Den hade grå och vita väggar och starkt kulörta detaljer i huvudsakligen rött och gult. Inledningsvis testades rummet med fyra olika ljussättningar, som var och en bedömdes av endast ett fåtal försökspersoner (rum 1:1). Efter utvärdering av dessa försök gjordes rummet om, bland annat genom att den röda gardinen togs bort. Rummet fick då en kall LED-belysning monterad som en "string" utefter väggarna och några enstaka spotlights (rum 1:2).

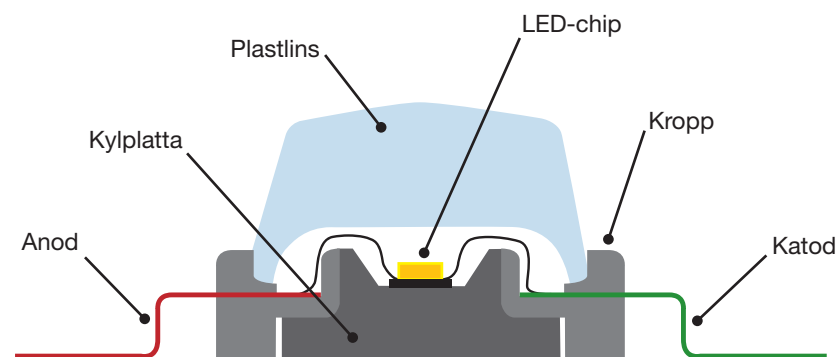


Försöksrum variant 1:1

Nästa variant av försöksrummet var designad för att upplevas som lugn och harmonisk. Väggarna var varmgrå och vita och inredningsdetaljerna hade dämpade färger i en brun-grön färgskala. Belysningen bestod av spotlights med varm LED (rum 2:1). Efter utvärdering av testerna i detta rum förändrades färgsättningen till att bli något mera kontrastrik och belysningen kompletterades med ytterligare några varma LED-ljuskällor (rum 2:2).

De fyra rumsalternativen presenteras närmare på följande sidor.

Principskiss av en lysdiod - LED (Light Emitting Diod)



Den teknik som används för att producera LED-ljus skiljer sig markant från de traditionella teknikerna för att framställa glödljus och urladdingsljus. LED-ljus produceras genom att likström leds genom en halvledare i ett LED-chip som då stimuleras till att avge ljus. Det ljus som alstras är monokromt och har olika färg beroende på typen av halvledare. För att få vitt LED-ljus utgår man ofta från en blå diod som täcks av ett lyspulver med fosfor som konverterar en del av ljusstrålningen från dioden till fler våglängder.

Referensrum med dagsljus och ljusskåp

I vissa av testmomenten användes det intilliggande dagsljusbelysta rummet som referens. Rummet var inrett och färgsatt likadant som i rumsalternativ 1:1, men utan gardin och med mycket högre takhöjd. Dagsljuset kom genom fyra stora fönster och varierade mycket mellan de olika testsituationerna. Vid ett fåtal tillfällen var dagsljuset för svagt för att man skulle kunna utföra uppgifterna, och då var rummet även belyst med lysrör.¹²

I dagsljusrummet fanns en ljusbox¹³ med en god dagsljussimulator, som användes som referens i vissa tester. Luxvärdet i ljusskåpets mitt var 2560.



Dagsljusrum/referensrum.

¹² Spektralkurva för lysrör i dagsljusrummet visas i bilaga 3.

¹³ Ortospectra. Invändigt grå 2000-N. Mått 50x50x70 cm.

Skiss på referensrum/dagsljusrum

Testrummet och referensrummet fick inledningsvis identisk inredning, som utformades och tillverkades av två masterstudenter vid Konstfack utifrån diskussioner med projektgruppen. Deras arbete inbegrep varken ljus- eller färgsättning.

Koncept

Genom att se "rummet" som en monokrom kropp och inte skilja på ytor som rör vid varandra har vi stiliserat objekten till en "bordighet", "stolslighet" o.s.v. Detta för att skapa en "rumslighet" som inte skvallrar om tidsepoker eller lägger någon vikt vid "design". (Marcel Granfelt Saavedra & Peter Svensson)



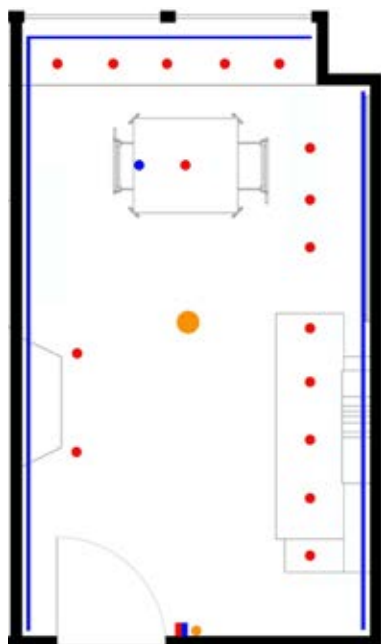
Skiss över dagsljusrummet. Marcel Granfelt Saavedra & Peter Svensson, masterstudenter vid Konstfack 2010



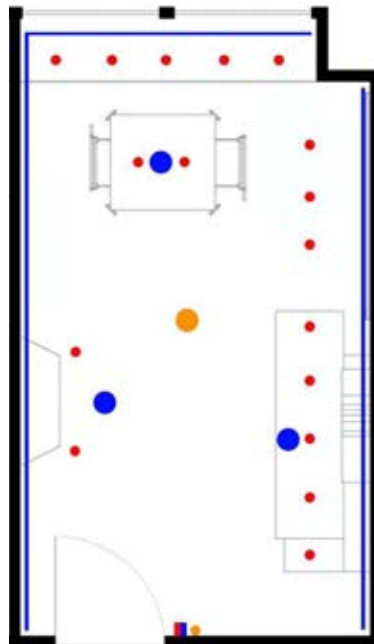
Belysningsplaner

Försöksrummets belysning planerades för att tillsammans med färgerna åstadkomma en positiv atmosfär, som skulle vara antingen dynamisk och situmlerande (blå markeringar i planerna) eller lugn och harmonisk (röda markeringar). Samtidigt var ambitionen att använda så lite energi som möjligt för att uppnå en funktionell miljö.

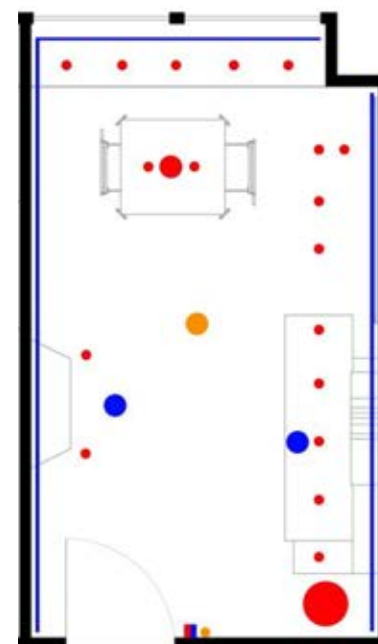
All belysning monterades samtidigt, vilket gav möjligheten att testa olika kombinationer. Som referens monterades även en 60W glödlampa (gul markering). Testresultaten och diskussionerna efter varje försöksomgång ledde till att belysningen ändrades genom att armaturer tillkom, byttes ut eller riktades om. Processen kan följas i den successivt förändrade ritningen. På kommande sidor anges vilka ljuskällor som användes i varje rumsalternativ.



Figur 1



Figur 2



Figur 3

- Philips LEDstring
6300K
4,8W / m
ca 10W driftönsförlust
- Philips LEDspot 3
4000K
ca 10W / spot
- Philips LEDspot 1
2700K
ca 2W / spot
- Klar glödlampa i tak
2700K
60W
- Strömbrytare på vägg
Röd för Lugn
Blå för Aktiv
- Stickpropp vid golv
För glödlampa i tak
- Philips LEDspot 3
2700K
ca 10W / spot
- Golvampa
Philips MasterLED 7W
2700K

Rum 1:1 "Dynamiskt och stimulerande"

Väggarna var grå utom fönsterväggen som var vit. Bord och stolar var vita, övriga möbler målade i starkt rött, grönt och gult. Fönstret var igensatt med svart plast som skulle föreställa nattmörker och "utsikten" doldes av en gråvit persienn. I rummet fanns inredningsdetaljer och textilier i rött, orange, gult och grått.

Rummet testades med olika typer av LED kombinerade på tre olika sätt, samt med glödljus. Varje belysning användes för endast tre-fyra försökspersoner, och försöken ska ses som ett sätt att trimma in metodiken och göra en första bedömning av dess ljus- och färgsättning. De låg till grund för klargörande diskussioner i projektgruppen och ledde till ändringar i både rumsutformning och försöksprocedur. Resultatet av dessa diskussioner presenteras i nästa stycke samt under rubriken Ett ljust eller ett mörkt rum i rapportens avsnitt 8.

Siffrorna nedan anger NCS-koder respektive glansvärden.

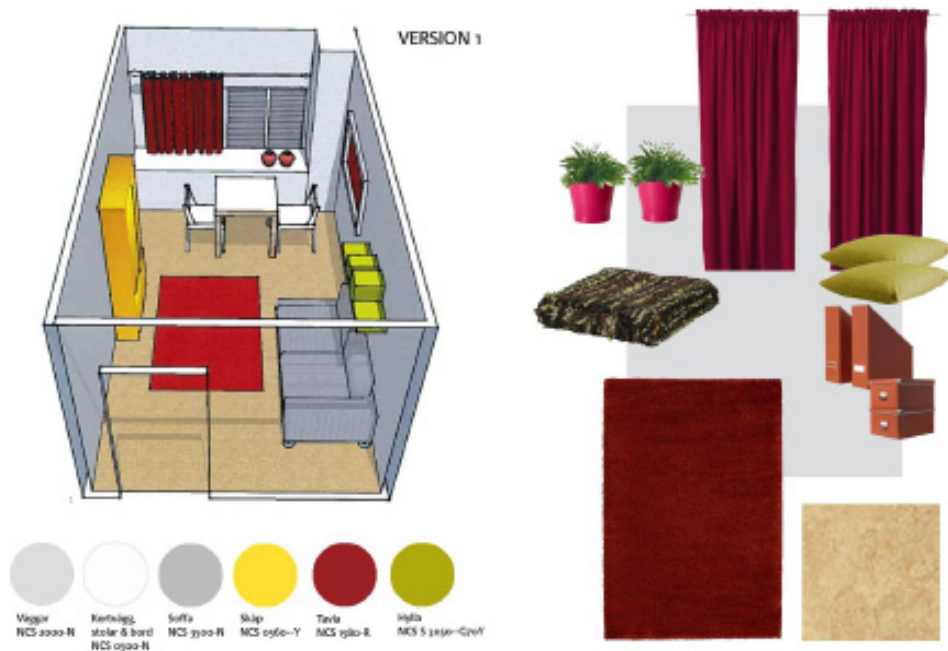
Lång- och bakväggar:	Grå (2000-N), fotometrisk ljusreflektans c:a 59%. Matt (5)
Fönstervägg:	Vitt (0500-N), fotometrisk ljusreflektans c:a 95%. Matt (5)
Golv:	Ljust beigemelerad linoleum (c:a 2010-Y20R) med en starkt röd matta (c:a 1085-Y95R) mitt på.
Tak:	Vitt. Helmatt (2)
Stolar och bord:	Vitt (0500-N). Matt (10)
Skåp:	Gult (0560-Y). Blank (80)
Soffa:	Grå (3500-N) Matt (10)
Hylla:	Grön (3050-G70Y). Matt (10)
Tavla:	Röd (1580-R). Matt (10)
Tavelram:	Grå (2000-N). Matt (5)

Rummet testades 8/9-16/9 2010 i fyra olika ljussituationer, se ljusskiss sid. 21.

Ljuskällorna var:

- A) Den som ursprungligen planerats att vara "dynamisk och stimulerande". (Blåa alternativet i Figur 1).
- B) Denna i kombination med den som ursprungligen planerats vara "lugn och harmonisk". (Blåa och röda alternativet i Figur 1).
- C) En klar 60 W glödlampa mitt i taket (gula alternativet i Figur 1)
- D) En förstärkt variant av den ljussättning som planerats vara "dynamisk och stimulerande". (Blåa alternativet i Figur 2).

Med undantag för situation C (3,3 W/kvadratmeter) har belysningens energiförbrukning för dessa situationer inte beräknats. Inte heller har några lux-värden eller spektralkurvor mätts upp.



Figur 4: Färgskiss över rummet i alternativ 1:1 "dynamisk och stimulerande" (Yvonne Karlsson)



Alternativ 1:1 "Dynamiskt och stimulerande"

Rum 1:2 "Dynamiskt och stimulerande"

Efter utvärderingsmöte 21/9 2010 gjordes följande förändringar av färgsättning och inredning i förhållande till alternativ 1:1

- Persiennen drogs upp så att fönstret blev svart, försökspersonerna fick uttryckligen information om att man skulle tänka sig att det var natt.
- Gardinen togs bort och ersattes med små enfärgade tavlor med svarta ramar.
- Svarta detaljer lades till för att öka kontrastomfånget
- Gränserna mellan vita och grå väggpartier flyttades för att kontrasten mellan dem skulle bli tydligare.
- Vissa av ljuskällorna riktades om.

Siffrorna nedan anger NCS-koder respektive glansvärden.

Lång- och bakväggar:	Grå (2000-N), fotometrisk ljusreflektans c:a 59%. Matt (5)
Fönstervägg:	Vitt (0500-N), fotometrisk ljusreflektans c:a 95%. Matt (5)
Golv:	Ljust beigemelerad linoleum (c:a 2010-Y20R) med en starkt röd matta (c:a 1085-Y95R) mitt på.
Tak:	Vitt. Helmatt (2)
Stolar och bord:	Vitt (0500-N). Matt (10)
Skåp:	Gult (0560-Y). Blank (80)
Soffa:	Grå (3500-N) Matt (10)
Hylla:	Grön (3050-G70Y). Matt (10)
Tavla:	Röd (1580-R). Matt (10)
Tavelram:	Grå (2000-N) + svart (9000-N). Halvblank (35)

Rummet tetades 28/9-6/10 2010. Ljuskällorna var:

- en LED-string osynligt monterad utefter tre väggar i vinkeln tak/vägg, med nedåtriktad släpljus utefter väggen, färgtemperatur 6300 K
- tre LED-spotar i taket över bordet, soffan respektive golvet framför skåpet, färgtemperatur 4000 K (Se belysningsplan, blåa alternativet i Figur 2 sid. 21)

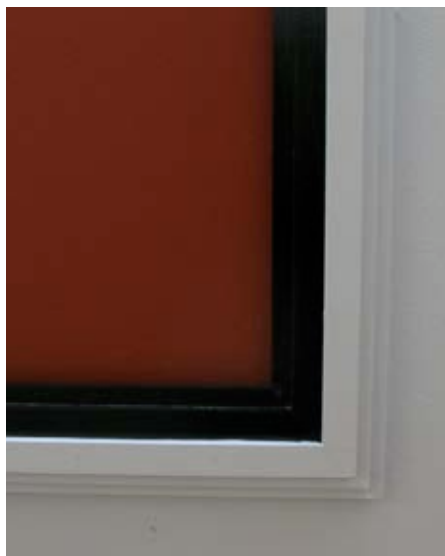
Ljufördelningen och ljusfärgen mellan rummets olika delar var varierad. Det var mycket mera ljus högt uppe på väggarna än längre ned och några starka punkt-belysningar på möbler och golv. Skåpets och mattans starka färger gav tydliga återspeglningar i väggarnas grå.

Energiåtgången i detta rum var c:a 5 W/m².

Belysningsstyrka och luminans på olika punkter redovisas på sid. 65



Figur 5: Färgskiss över rummet i alternativ 1:2 "dynamisk och stimulerande" efter halvtidsomdaning (Yvonne Karlsson)



Alternativ 1:2 "Dynamiskt och stimulerande"

Rum 2:1 "Lugnt och harmoniskt"

Långväggarna var varmgrå , kortväggarna var vita.

Bord och stolar var vita, övriga möbler målade i beige, brunt och grågrönt.

Fönstret var igensatt med svart plast som skulle föreställa nattmörker

I rummet fanns inredningsdetaljer och textilier i brunt, beige, svart och vitt.

Siffrorna nedan anger NCS-koder respektive glansvärden.

Långväggar:	Grå (2005-Y20R, fotometrisk ljusreflektans c:a 59%. Matt (5)
Kortfälggar:	Vitt (0500-N), fotometrisk ljusreflektans c:a 95%. Matt (5)
Golv:	Ljust beigemelerad linoleum (c:a 2020-Y20R) med en mörkare beige matta (c:a 3010-Y20R) mitt på.
Tak:	Vitt. Helmatt (2)
Stolar och bord:	Vitt (0500-N). Matt (10)
Skåp:	Grågrönt (3010-G60Y). Blank (80)
Soffa:	Brun (7020-Y50R). Matt (10)
Hylla:	Beige (4010-Y10R). Matt (10)
Tavla:	Vit (0502-Y) Matt (5)
Tavelram:	Beige (4010-Y10R). Halvblank (35)

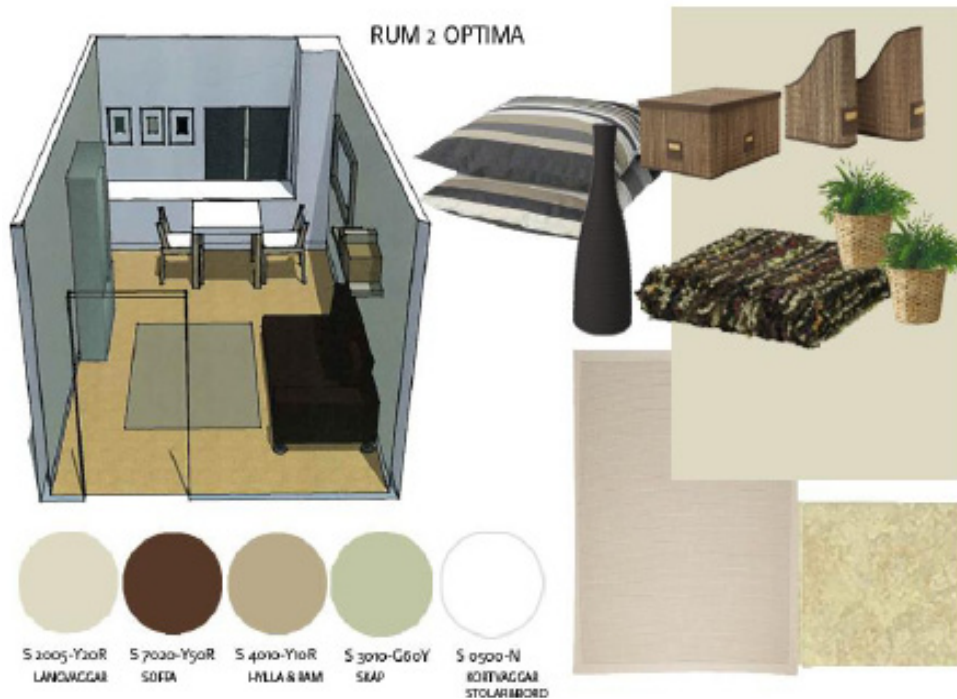
Rummet testades 25/10-3/11 2010. Ljuskällorna var:

- 17 st. LED-spotar i taket över bordet och soffan, över golvet framför skåpet och tavelramen samt över fönsterbänken. Färgtemperatur 2700 K.
(Se belysningsplan, röda alternativet figur 2 sid. 21)

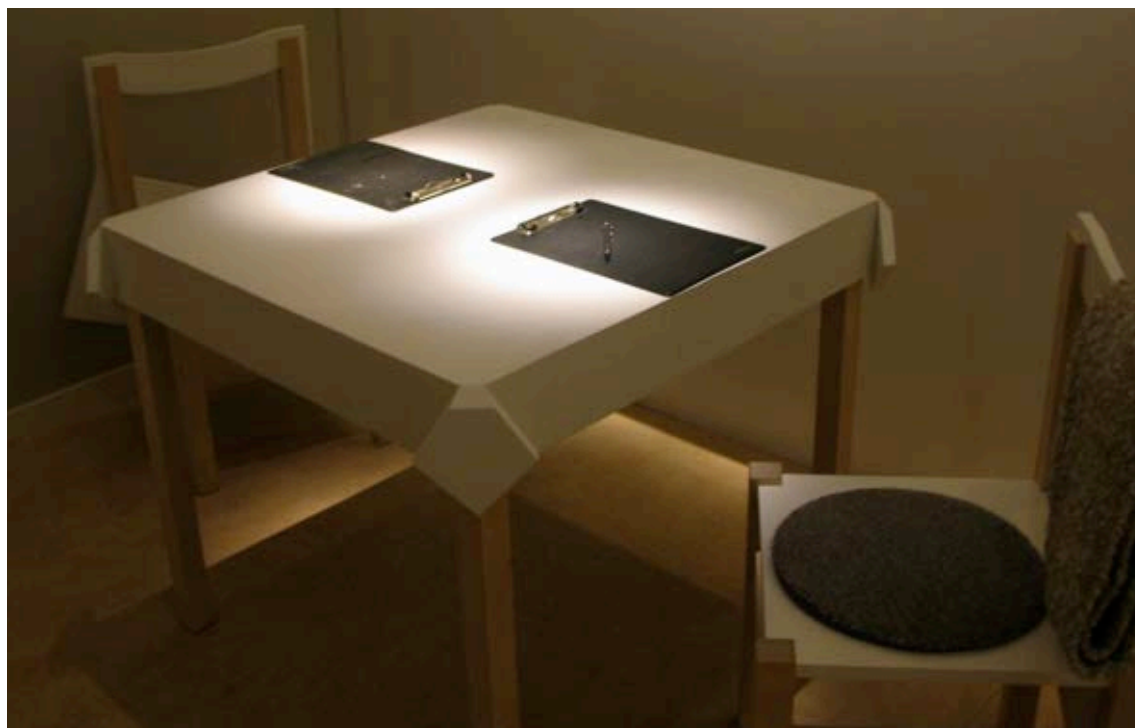
Ljusfördelningen mellan rummets olika delar var mycket varierad, med höga ljusnivåer inom små spot-belysta områden och mycket mörkare däremellan.

Energiåtgången i detta rum var c:a 2 W/m².

Belysningsstyrka och luminans på olika punkter redovisas på sid. 65.



Figur 6: Färgskiss över rummet i alternativ 2:1 "Lugnt och harmoniskt" (Yvonne Karlsson)



Alternativ 2:1 "Lugnt och harmoniskt"

Rum 2:2 "Lugnt och harmoniskt"

Efter utvärderingsmöte 9/11 2010 gjordes följande förändringar av färgsättning och inredning i förhållande till alternativ 2:1

- Skåpet målades om i en mörkare och starkare grön nyans för att öka kontrastomfånget
- Ytterligare keramikvaser i beige, vitt och mörkturkost placerades på fönsterbänk och hylla, som "mål" för befintliga spotlights.
- Ytterligare brun- och beigemönstrade textilier placerades i soffan.
- Ljuskällorna kompletterades med en stor spotlight som ökade och jämnade ut belysningen över bordet samt ljuskällor invid två av hörnen för att tydliggöra gränsen mellan olika väggfärger.
- Vissa av ljuskällorna riktades om.

Siffrorna nedan anger NCS-koder respektive glansvärden.

Långväggar:	Grå (2005-Y20R, fotometrisk ljusreflektans c:a 59%. Matt (5)
Kortfägggar:	Vitt (0500-N), fotometrisk ljusreflektans c:a 95%. Matt (5)
Golv:	Ljust beigemelerad linoleum (c:a 2020-Y20R) med en mörkare beige matta (c:a 3010-Y20R) mitt på.
Tak:	Vitt. Helmatt (2)
Stolar och bord:	Vitt (0500-N). Matt (10)
Skåp:	Grönt (6020-G10Y). Blank (80)
Soffa:	Brun (7020-Y50R). Matt (10)
Hylla:	Beige (4010-Y10R). Matt (10)
Tavla:	Vit (0502-Y) Matt (5)
Tavelram:	Beige (4010-Y10R). Halvblank (35)

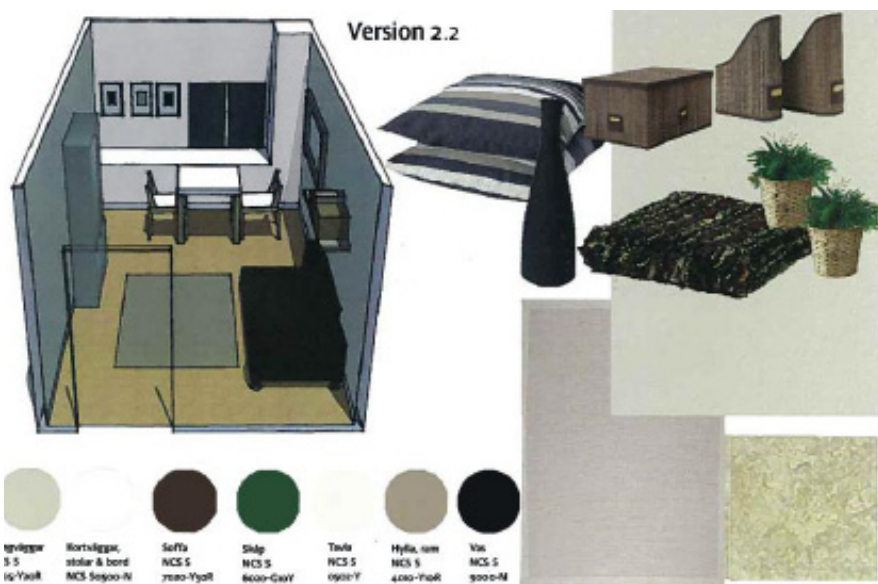
Rummet tetades 30/11-17/1 2010. Ljuskällorna var:

- 17 st. små LED-spotar i taket över bordet och soffan, över golvet framför skåpet och tavelramen samt över fönsterbänken.
Färgtemperatur 2700 K, Ra-index 80
- En liten spot av samma sort och temperatur (2700 K, Ra-index 80) som de andra, riktad mot det inre högra hörnet. Den sitter i linje med den bastersta av de tre spottarna som belyser tavlan och mitt emellan den och tavlan/väggen (tillkom efter justering från 2:1)
- En större LED-spot över bordet (2700 K, Ra-index 80) (tillkom efter justering från 2:1)
- En golvarmatur med LED (2700 K, Ra-index 80) placerades i det högra hörnet närmast dörren (tillkom efter justering från 2:1). (Se belysningsplan, röda alternativet figur 3 sid. 21)

Ljusfördelningen mellan rummets olika delar var mycket varierad. Nära fönstret och i vissa ljuskäglor riktade mot möbler, föremål och golv var ljuset mycket starkare än längre in i rummet och mellan ljuskäglorna.

Energiåtgången i detta rum var c:a 3 W/m².

Belysningsstyrka och luminans på olika punkter redovisas på sid. 65.



Figur 7: Färgskiss över rummet i alternativ 2:2 "lugn och harmonisk" efter halvtidsomdaning (Yvonne Karlsson)



Alternativ 2:2 "Lugnt och harmoniskt"



Genomförda tester

Försöksgruppernas sammansättning

I var och en av de fyra omgångarna observerades rummet av 12-15 personer med olika ålder och kön (se tabell 1). Vissa av dem arbetade professionellt med färg och/eller ljus, andra gjorde det inte. Avsikten med denna spridning var att få en bredd i kommentarerna och i försökspersonernas förmåga att genomföra testerna. Däremot gjordes ingen jämförelse mellan olika kategorier av försökspersoner.

Inför varje försök fick försökspersonen frågan om han/hon hade någon känd färgseendedefekt, och en angav att hon var "svagt färgblind". Färgseendet testades även indirekt genom att Farnsworth-Munsell färgdiskrimineringstest ingick i försöket, och svaren från de två som hade låg färgdiskrimineringsförmåga har inte beaktats i den del av försöket som gällde färgåtergivning.¹⁴ Vidare ställdes frågan om eventuella andra syndefekter. Ingen hade allvarliga defekter, men många använde glasögon som användes på normalt sätt vid försöken.¹⁵ Inga glasögon var tonade. Sex personer angav dyslexi, vilket har beaktats i den del av försöket som gällde läsning.

Försöksuppläggning och frågor

Rummet observerades av en person i taget, enligt en i förväg uppgjord procedur med observationsprotokoll och manual för försöksledaren. Varje observation var planerad till ungefär en timme, inklusive c:a 10 minuters inledande adaptionstid samt referensobservationer i det intilliggande dagsljusbelysta rummet. Den procedur och de frågor som användes i den första försöksomgången (rum 1:1) utvärderades vid det första utvärderings-mötet och reviderades därefter. I följande tre försöksomgångar användes en och samma procedur. Nedan följer en sammanfattande presentation och diskussion om metodiken. De slutgiltiga frågorna samt en utvärdering av den första försöksomgångens frågor finns på sidan 35-37. Där finns också förteckningar över de färgprover som användes i testerna.

¹⁴ Manualen för Farnsworth-Munsell 100 hue test (sid 4) anger att 16% av befolkningen får mer än 100 felpoäng första gången de gör ett test med 85 färgprover under standardiserade ljusförhållanden, och klassificerar detta som låg diskrimineringsförmåga, dock ej nödvändigtvis sammanfallande med defekt färgseende. I våra försök använde vi 20 av dessa 85 färgprover, och en omräkning ger då att låg färgdiskrimineringsförmåga skulle karakteriseras av 24 felpoäng eller mer. Två försökspersoner, varav en var den som angivit färgblindhet, fick 24 felpoäng i ljusskåpet. Deras resultat ingår ej i analysen av färgåtergivning.

¹⁵ Två hade glömt ta med sina speciella läsglasögon. Detta beaktades vid den delen av försöket som gällde läsning. En hade grå starr på vänster öga men i försöken visar hans svar ingen specifik avvikelse från de övrigas.

Försökspersonerna fick svara på frågor som rörde rummets utseende. I det reviderade frågeformuläret skedde detta genom val av högst fyra av tolv givna ord, där försökspersonernas val av ord gav besked om vilka färg- och ljuskvaliteter som uppmärksammades och hur dessa värderades. Dessutom ställdes öppna frågor om rummets utseende. Dessa metoder visade sig lämpliga för att fånga vad personen tyckte var viktigt, och styrde inte in uppmärksamheten på sådant som inte upplevdes spontant.

De fick också svara på frågor om den stämning de upplevde i rummet. Även här fick försökspersonen välja högst fyra av tolv givna ord, och de fick också svara på andra frågor som rörde rummets stämning. De olika sätten att fråga om stämningen gav sinsemellan samstämmiga svar, vilket stödjer svarens tillförlitlighet.

Rummets funktionalitet för läsning testades genom att försökspersonerna fick läsa några sidor i en pocketbok i två olika ljussituationer och svara på frågor om detta. Det visade sig att alla försökspersoner utom någon enstaka kunde läsa boken i båda ljussituationerna. Värdet av detta test låg därmed främst i försökspersonernas kommentarer, där de jämförde de olika situationerna.

Möjligheten att särskilja sinsemellan mycket likartade färger testades med ett urval prover ur Farnsworth -Munsells färgdiskrimineringstest. Det fullständiga testet innehåller 85 prover och är utformat för att spåra och diagnosticera eventuella färgseendefekter.

Det ska då användas i dagsljus eller under en god dagsljussimulator. Vi använde det i stället för att jämföra prestationen hos en och samma person i två belysningsituationer. 20 utvalda prover sorterades dels i testrummet dels i en ljusbox med simulerat dagsljus, placerad i det dagsljusbelysta rummet. För varje person jämförde vi resultatet i de båda situationerna. Analysen av samtliga försökspersoners resultat visade i vilken mån situationen i testrummet skiljde sig från den i dagsljusboxen när det gällde möjligheten att diskriminera färger, och om detta var olika för olika kulörtonområden.¹⁶ Metoden visade sig ge tolkningsbara resultat.

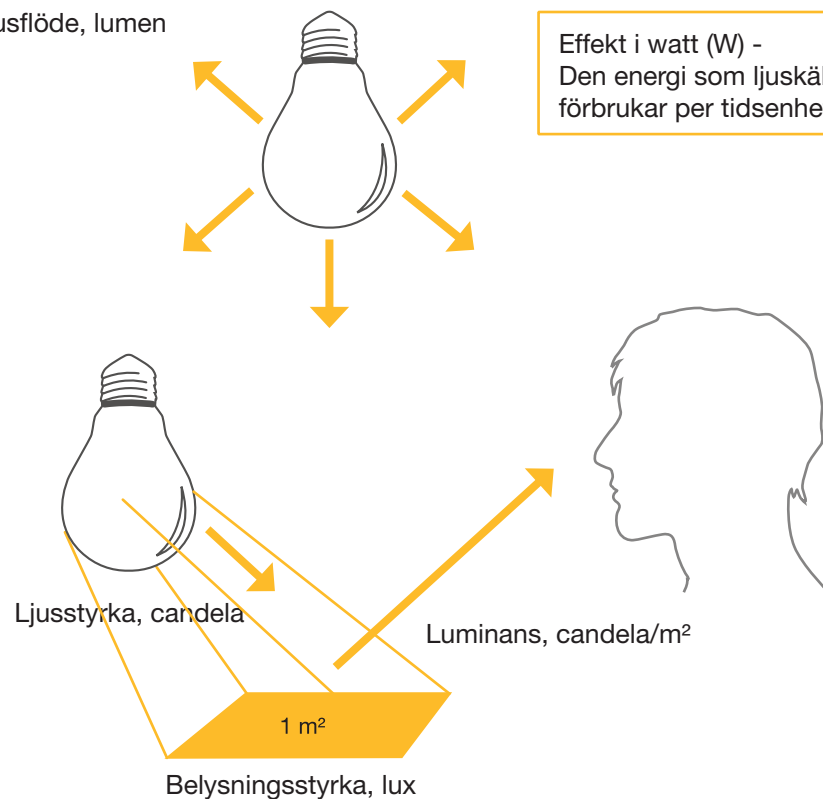
Ljusets färgåtergivningsförmåga testades genom ett enkelt färgkategoriseringstest. Försökspersonen fick svara på förenklade frågor om kulörton och nyans hos tolv färgprover som visades i slumpvis ordning både i testrummet och i en ljusbox med god dagsljussimulator, placerad i referensrummet. Avsikten var att visa om situationen i testrummet gav systematiska kulörtonförskjutningar (t.ex. grönstick hos gula färger) och/eller släckte ut eller förstärkte vissa kulörtonområden (t.ex. gröna färger blir gråare eller röda färger blir starkare). Varje persons bedömningar jämfördes bara med hans/hennes egna i den andra situationen, vilket eliminerade effekten av att de olika personerna var olika vana och skickliga att kategorisera färger.

Rum nr	Antal personer	Födelseår	Medianålder	Studenter	Personal	Övriga	Män	Kvinnor
1:1	15	1946-88	28 år	7	7	1	6	9
1:2	15	1943-87	45 år	4	5	6	6	9
2:1	12	1964-89	28 år	8	1	3	8	4
2:2	15	1962-88	37 år	5	3	7	7	8
Totalt	57	1943-89	37 år	24	16	17	27	30

Tabell 1. Försöksgruppens sammansättning med studenter och personal från Konstfack och övriga.

¹⁶ Två personer som visade svaga resultat i båda situationerna utgick ur analysmaterialet.

Ljusflöde, lumen



Rumsalternativ	Total belysnings effekt	Effekt per kvadratmeter
1:2	98 W	5,4 W
2:1	34 W	1,9 W
2:2	52 W	2,9 W

Tabell 3. Belysningsanläggningarnas effekt beräknad av Svante Pettersson

Tekniska mätningar och specifikationer

I varje rumsalternativ noterades tekniska data enligt nedan. De har endast delvis analyserats och lagts till grund för slutsatser, men samtliga data finns redovisade för den som vill ställa ytterligare frågor till materialet.

Belysningsstyrka

I rumsalternativ 1:2 samt 2:1 och 2:2 mättes lux-värdet på c:a 20 punkter, som innefattade

- väggar på olika höjd (60, 12 och 180 cm) och olika avstånd från fönstren
- bordsytans ljusaste och mörkaste del
- mörka och ljusa parter mitt på golvet
- andra punkter som bedömdes intressanta

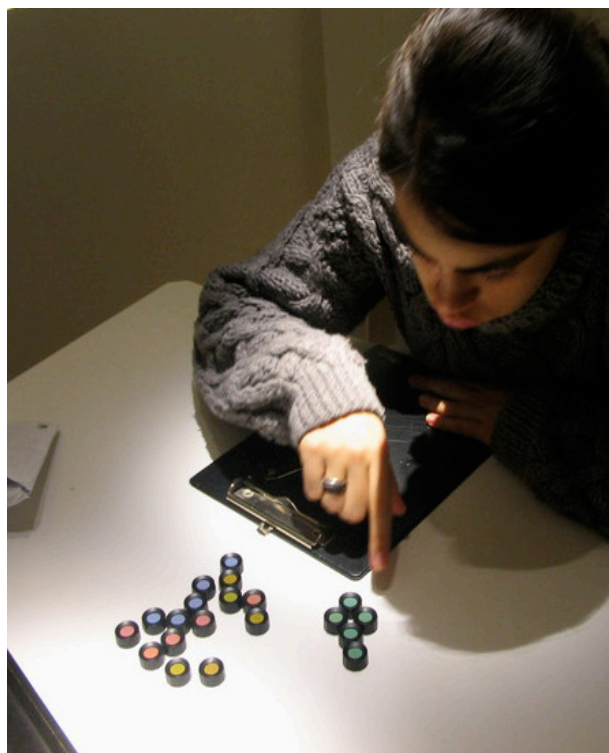
Lux-värdena redovisas på sidan 65.

Luminans

För ett antal punkter inom varje rumsalternativ beräknades luminansen. För varje ytfärg (grå vägg, vit vägg, golv etc.) valde vi ut de punkter som hade det högsta respektive lägsta uppmätta lux-värdet och för dessa beräknades luminansen (cd/m^2) enligt formeln $\text{Luminans} = \text{Ytans reflektionsvärde} \times \text{Uppmätt luxvärde} / \pi$. Beräkningarna gjordes endast för ytor målade med matt färg eller belagda med linoleum eller tyg. Värdet för ljusreflektans skiljer sig dock mellan olika källor, där vi speciellt kan konstatera att den fotometriska ljusreflektansfaktor (Y1) som anges i NCS atlas är högre än de värden som vanligtvis tillämpas vid belysningsberäkningar. Tabell 2 på sid. 35 visar ljusreflektansfaktorer hämtade från tre olika källor. I våra beräkningar har vi använt Matusiaks siffror. Luminansvärdena redovisas i bilaga på sidan 65.

Ljuskällornas teoretiska färgåtergivningensförmåga uttryckt i Ra, hämtades från fabrikantens produktspecifikation.

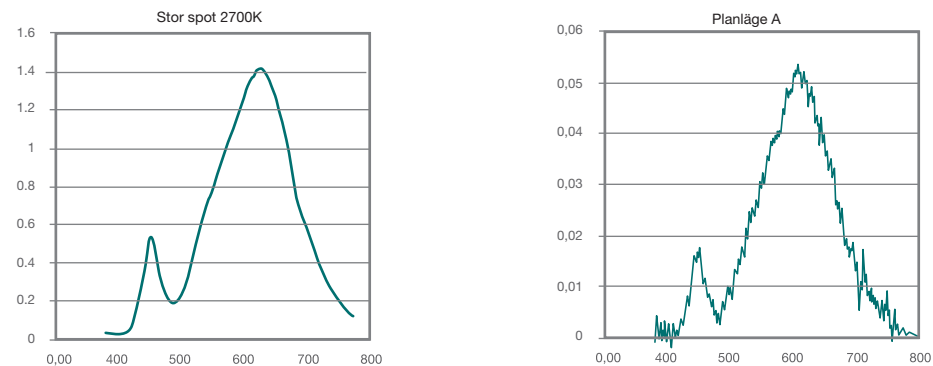
Ljuskällornas färgtemperatur uttryckt i K hämtades från fabrikanternas produktspecifikation



Färgdiskrimineringstest och färgkategoriseringstest.

Belysningsanläggningens effekt uttryckt i W

Energiåtgången för varje rumsalternativ beräknades utifrån tillverkarens angivna prestanda hos ljuskällor och armaturer, inklusive drifttdonsförluster. Se tabell 3. Spektrala fördelningskurvor för ljuskällorna samt för reflekterat ljus från vissa ytor mättes in med spektrometer.¹⁷ Här intill visas kurvan för den stora spotlighten ovanför bordet i rum 2:2, inmätt med mätaren liggande på bordsytan, samt kurvan för reflekterat ljus från den grå väggen i närheten av denna spotlight, bakom försökspersonen. För övriga kurvor, se sidan 68.



Figur 8: Spektralfördelningskurvor för spoten ovanför bordet och det reflekterade ljuset från den grå väggen.

Färgnamn/ placering i testrum	NCS- nummer	Ljusreflektans enl. NCS atlas	Ljusreflektans enl. Starby 155 ¹⁸	Ljusreflektans enl. Matusiak ¹⁹	Kommentar
Vitt som på fönstervägg och bord	0500-N	95%		88%	
Vit lackfärg			85%		Ej närmare specificerat
Vitt papper			80%		Ej närmare specificerat
Grått som i vägg rum 1	2000-N	59%		57%	
Ljusgrå lackfärg			60%		Ej närmare specificerat
	3500-N	40%		39%	
Mörkgrå lackfärg			15%		Ej närmare specificerat
	6500-N	16%		14%	
Röd tavla i rum 1	1580-R	8%		6%	Avser 8000-N som enl. NCS atlas har samma ljushet som 1580-R
	9000-N	4%		1%	

Tabell 2. Ljusreflektans hos olika färger enligt olika källor.

¹⁷ AvaSpec-2048 Fiber Optic Spectrometer från Avantes. Mätningarna genomfördes 10/2 2011 av Thorbjörn Laike och Johanna Enger

¹⁸ Lars Starby: En bok om belysning är ett standardverk inom belysningstekniken

¹⁹ Mätningar av NCS-prover utförda av Barbara Matusiak, NTNU, 28/5 2010

Olika frågeställningar i undersökningsprotokollet

Uppfattat ljus och färger

Val bland rumsbeskrivande ord

Försökspersonen får uppgiften att markera vilka av tolv givna ord som bäst beskriver hur rummet ser ut. Minst ett och högst fyra ord ska markeras. Orden är placerade i två slumpvis ordningar, varav hälften av försökspersonerna fått vardera. Försökspersonernas val av ord ger besked om vilka färg- och ljuskvaliteter som uppmärksammades och hur dessa värderades.

Orden har valts på följande sätt.

Fyra ord (ljus, mörkt, färgstarkt, färgsvagt) beskriver färg- och ljussituationen

Fyra ord (varierat, samstämt, enahanda, spretigt) beskriver variation och kontrastrikhet, med positiv respektive negativ bibetydelse

Fyra ord (kallt, varmt, glåmigt, kraftfullt) värderar helheten med avseende på färg och ljus.

Upplevd stämning

Markeringar på semantiska differentialskalor

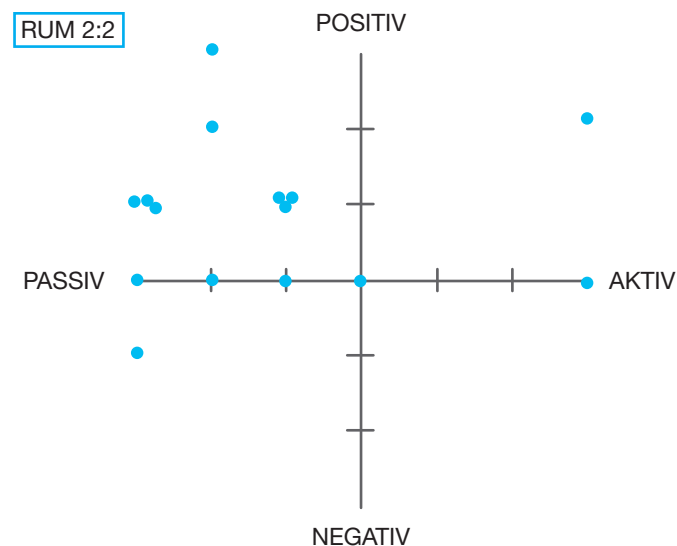
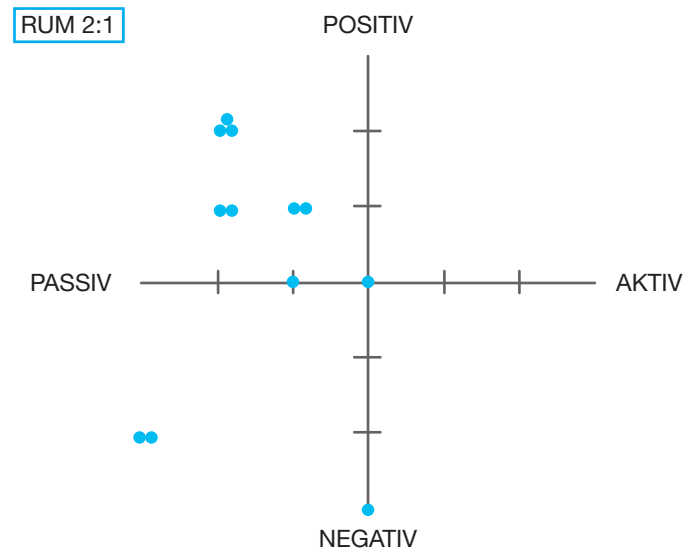
Försökspersonen får frågan: Hur upplever du stämningen i rummet?

Svaret anges på två separata skalor, där den ena går mellan "positiv" och "negativ" och den andra mellan "aktiv" och "passiv". Vid bearbetningen ställs de två skalorna samman till ett kors. Om stämningen uppfattas enligt intentionerna "dynamisk och stimulerande" kommer försökspersonernas markeringar att falla övre högra fältet (positiv – aktiv), och om den uppfattas enligt intentionerna "lugn och harmonisk" kommer markeringarna att hamna i det över vänstra fältet (positiv – passiv).

Val bland stämningsbeskrivande ord

Försökspersonen får uppgiften att markera vilka av tolv givna ord som bäst uttrycker stämningen i rummet. Minst ett och högst fyra ord ska markeras. Orden är placerade i två slumpvis ordningar, varav hälften av försökspersonerna fått vardera. Försökspersonernas val av ord ger besked om i vilken mån stämningen uppfattas enligt intentionerna.

Upplevd stämning i rum 2:1 och rum 2:2



Orden har valts på följande sätt:

Fyra ord (trivsam, inbjudande, otrivsam, avvisande) förväntas kunna användas för båda rumsalternativen, som positivt eller negativt omdöme.

Fyra ord (stimulerande, dynamisk, orolig, splittrande) förväntas kunna användas för det "dynamiska" rumsalternativet, som positivt eller negativt omdöme.

Fyra ord (lugn, harmonisk, tråkig, sovande) förväntas kunna användas för det "lugna" rumsalternativet, som positivt eller negativt omdöme.

Frisvarsfrågor

"Vad är positivt i rummet?" – "Vad är negativt i rummet?" – "Är någonting störande i rummet, i så fall vad?"

"Vilken funktion – utöver experimentrum – skulle rummet kunna ha? Motiveta ditt svar!"

Dessa öppna frågor gav svar som vi kanske inte hade fått med mer styrda frågor, och ger oss också en möjlighet att se vilka aspekter i rummet som försökspersonerna tyckte var viktiga.

Funktionalitet - läsning

Försökspersonen får till uppgift att läsa ett uppslag i en skönlitterär pocketbok med liten text. När boken slagits igen får försökspersonen svara på en enkel sakfråga om texten (för att kontrollera att han/hon verkligen har läst den) samt göra följande bedömningar som markeringar på semantiska differentialskalor:

- Hur ansträngande tyckte du det var att läsa texten (kunde inte läsa den – läste helt utan svårighet. (skala i tabellen nedan 1-7)
- Påverkades din läsoplevelse av ljussituationen (negativt – inte alls - positivt) (skala i tabellen nedan 1-7)
- Hur känner du inför tanken på att läsa en hel pocketbok, som du väljer själv, i denna ljussituation? (Definitivt inte - Inga som helst problem) (skala i tabellen nedan 1-7)

Dessutom ombeds försökspersonen ge egna kommentarer till situationen.

Försöket görs om två gånger (vid bordet i testrummet och vid bordet i dagsljusrummet). Två textavsnitt ur en och samma bok används. Olika försökspersoner får dem i olika ordning. Efter läsningen i kontrollsituationen ombeds försökspersonen jämföra de båda situationerna.

Vid analysen jämförs de båda situationerna i rummet med kontrollsituationen vad gäller:

- textförståelsen
- försökspersonens bedömning av situationen

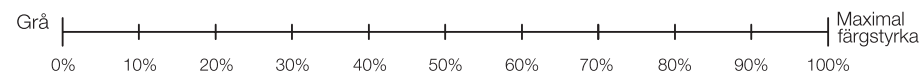
Funktionalitet - färgdiskriminering

Detta test kan ge kunskap om i vilken mån situationen i testrummet gör det svårare att skilja mellan färgobjekt med mycket likartade färger, och även om detta skiljer sig mellan olika kulörtonområden.

Vi använder delar av "The Farnsworth-Munsell 100-hue test for the examination of Color Discrimination". Testet är utformat för att undersöka människors färgseende i dagsljus eller en dagsljuslikande belysnings-situation. Vi använder det i stället för att undersöka skillnaden i färgdiskrimineringsförmåga mellan testrummet och ett ljusskåp med god dagsljussimulator. För varje person jämför vi alltså resultaten i dessa båda situationer. Genom att varje person bara jämförs med sig själv minimerar vi effekten av att olika försökspersoner kan vara olika bra på att utföra uppgiften.

Av testets 85 små färgprover har vi valt ut tjugo, fördelade på fem gröna (nr 35-39, spridda kring NCS c:a 3030-G), fem gula (nr 15-19, kring 2030-Y) fem röda (nr 84-85 samt 1-3, kring Y90R) och fem rödaktigt blå (60-64, kring 3030-R75B). Försökspersonen får alla proverna blandade och ombeds att först gruppera dem efter huvudsaklig kulörton och sedan sortera dem efter kulörton inom varje grupp. Resultatet noteras och bedöms enligt testets manual.

1. Hur stark är färgen i förhållande till den gulaste gula du kan tänka dig?



2. Drar färgen mot grönt, mot rött eller ingetdera? (ringa in ett alternativ)

Funktionalitet färgkategorisering

Avsikten med denna test var att visa om situationen i testrummet ger systematiska kulörtonförskjutningar (t.ex. grönstick hos gula färger) och / eller släcker ut eller förstärker vissa kulörtonområden (t.ex. gröna färger blir gråare eller röda färger blir starkare). Detta görs genom att varje person gör bedömningar i testrummet och i en ljusbox med god dagsljussimulator, varefter resultaten från de båda bedömningarna jämförs för varje person.

Observationsmaterialet var tolv NCS-prover (A6) monterade på vit papp (A4).

Proverna var utvalda för att täcka in olika nyansområden och samtidigt enkelt kunna benämnas med färgnamnen gul, röd blå eller grön. Proverna var:

Gula: 0510-G90Y, 0580-Y, 1040-Y10R

Röda: 1085-Y90R, 3050-R, 2020-R10B

Blå: 2065-R90B, 1010-B, 6030-B10G

Gröna: 6020-B90G, 3010-G, 2070-G10Y

Momentet inleddes med en kort genomgång av de variabler som skulle användas. Försökspersonen fick sedan fylla i ett övningsformulär för att försöksledaren skulle veta att försökspersonen förstått frågeställningen och metoden. Frågorna utgick från de kategorier som utgör grunden för färgsystemet NCS, men det krävdes ingen tidigare eller djupare kunskap om NCS för att besvara frågorna.

För varje färgprov ställdes en fråga enligt följande modell (exemplet gäller ett gult prov):

Proverna visades i slumpvis ordning, i två olika ordningsföljder som användes för varannan försöksperson. Samma prover i annan ordningsföljd tillsammans med ytterligare några visades senare under försökstimmen i ljusskåpet i dagsljusrummet, utan att försökspersonen fick information om att samma prover ingick i serien. Varje försökspersons bedömningar jämfördes med hans/hennes egna i den andra situationen och vi noterade i vilken av situationerna färgen bedömdes som starkare (fråga 1) och jämförde hur kulörtonen bedömts. I och med att de olika försökspersonerna inte jämfördes med varandra kunde man bortse från de stora skillnader i förkunskaper som bedömningsförmåga som fanns mellan försökspersonerna.

Kommentarer rörande den första försöksomgångens frågor

Det första frågeformuläret innehåll frågan om rummet var ljust eller mörkt . Det visade sig att frågan gav disparata och icke tolkningsbara svar. En anledning kan vara att förväntningarna vad gäller uppfattad ljusnivå är mycket olika i rum med olika funktion. Därför är det i detta sammanhang inte lämpligt att uttryckligen ställa dessa frågor. I stället valde vi i följande försöksomgångar att låta frågor om ljust och mörkt ingå bland andra ord som man kan välja att notera eller ej.

Det första frågeformuläret innehöll också direkta frågor om ljusfördelning och färgkontraster , men de visade sig tolkas helt olika av olika försökspersoner. Vi konstaterade att sådana frågor förutsätter att man har lärt sig att bryta ned en helhetsupplevelse i separata och benämnbara aspekter. De kan därmed förstås av fackfolk men knappast av lekmän och är inte lämpliga i ett test som vill fånga helhetsupplevelsen. Frågan om bländning tenderar att vara styrande¹. Om man får den uttryckliga frågan om något är bländande så hittar man alltid något. Bättre att inte nämna bländning utan i stället ge en öppen fråga om något är störande.

¹ enligt våra erfarenheter även från PERCIFAL, ett annat delprojekt inom SYN-TES



8

Resultat: ljus, mörker och funktionalitet

I nedanstående avsnitt bygger vi på försökspersonernas svar. Eftersom försöksgrupperna var små och inte hade kontrollerad sammansättning kan man inte göra meningsfulla statistiska bearbetningar eller dra några säkra slutsatser av svaren. I stället använder vi svaren som utgångspunkt för en diskussion där vi även tar fasta på projektgruppens egna erfarenheter och kunskaper. Diskussionen leder fram till möjliga samband, som sedan läggs till grund för de hypoteser som presenteras i avsnitt 13.

Ett ljust eller mörkt rum?

Försökspersonerna fick uppgiften att bedöma rummets utseende genom att markera högst fyra av tolv ord, där ljust och mörkt ingick. De ombads också att kommentera ljussituationen i samband med läsning vid bordet, där belysningsstyrkan var högre än i resten av rummet.

För rum 1:2 var det endast fyra av femton försökspersoner som alls valde ord som angav ljusnivån i rummet, och de var inte överens om ifall det var ljust eller mörkt. När de läste vid bordet (belysningsstyrka 605 lux i ljuskäglans starkaste del) kom en hel del kommentarer om ljuset, men de rörde frågor om ljusets kvalitet och inte frågeställningen "ljust eller mörkt".

För rum 2:1 angav sex av tolv försökspersoner att rummet var mörkt och ingen att det var ljust. När de läste vid bordet (belysningsstyrka 1040 lux i ljuskäglans starkaste del) kom en hel del kommentarer om ljuset, men ingen av dem handlade om att det var ljust eller mörkt.

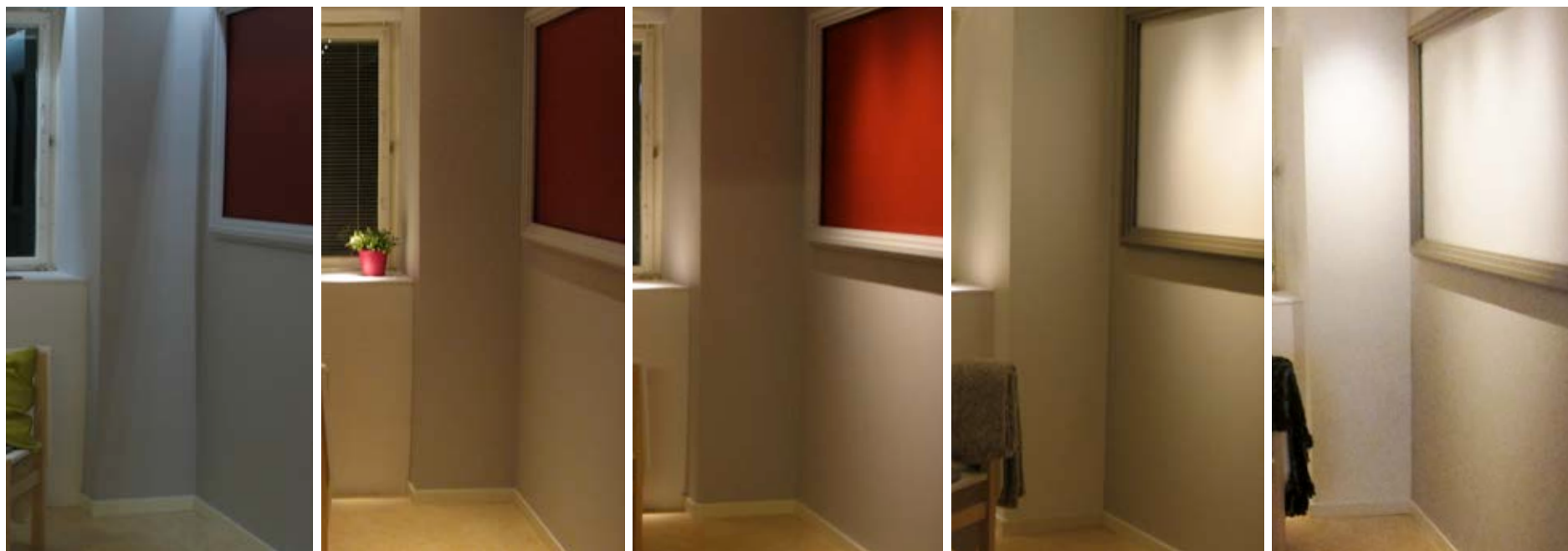
För rum 2:2 angav sex av femton försökspersoner att rummet var mörkt och en att det var ljust. Här gav ljuskägla över bordet hela 1600 lux på bordsytan, men inte heller här gav läsningen upphov till kommentarer om ljust eller mörkt.

Hur väl stämmer då dessa svar med vad man kan förvänta sig utifrån uppmätta luminanser?

I rum 1:2 varierade väggarnas luminans mellan 6 och 27 cd/m², i rum 2:1 mellan 2 och 11 cd/m² och i rum 2:2 mellan 5 och 28 cd/m². Att rum 2:1 uppfattades som mörkast är alltså förväntat med tanke på luminansen. Men varför uppfattades rum 2:2 som mörkare än rum 1:2 trots att luminanserna var i stort sett desamma i dessa båda alternativ?

En möjlighet har att göra med det som kan kallas kontrastomfång. Begreppet används ofta för att ange relationen mellan ljusheten hos den mörkaste och ljusaste färgen i en bild, eller i synfältet. Men det handlar också om att en starkare belysning ger möjligheten att uppfatta många flera steg /grader av kulörthet mellan gråskalan och den mest kulörta=intensiva färgen. I ett starkare ljus uppfattar vi ljushets- och/eller kulörthetskontrast mellan färgfält som i ett svagare ljus är likadana.

Och omvänt: Om vi uppfattar ett större kontrastomfång hos ytornas färger (från riktigt ljus=vitt till riktigt mörkt= svart) så upplever vi att det finns mera ljus i rummet. Om kontrastomfånget är litet så kan det tolkas som effekten av "dåligt ljus" – även om det beror på att det inte finns några riktigt ljusa eller mörka föremål / ytor i rummet. Motsvarande gäller även kontrasterna mellan gråaktiga och starkt kulörta färger. Om vi inte uppfattar några sådana kontraster så kan vi uppfatta ljuset som "skumt" ("skymningsaktigt") och om vi ser tydliga skillnader mellan olika färger så kan vi uppfatta ljuset som starkare och klarare.



I hörnet mellan långvägg och fönstervägg prövades olika placeringar av gränsen mellan vitt och grått.

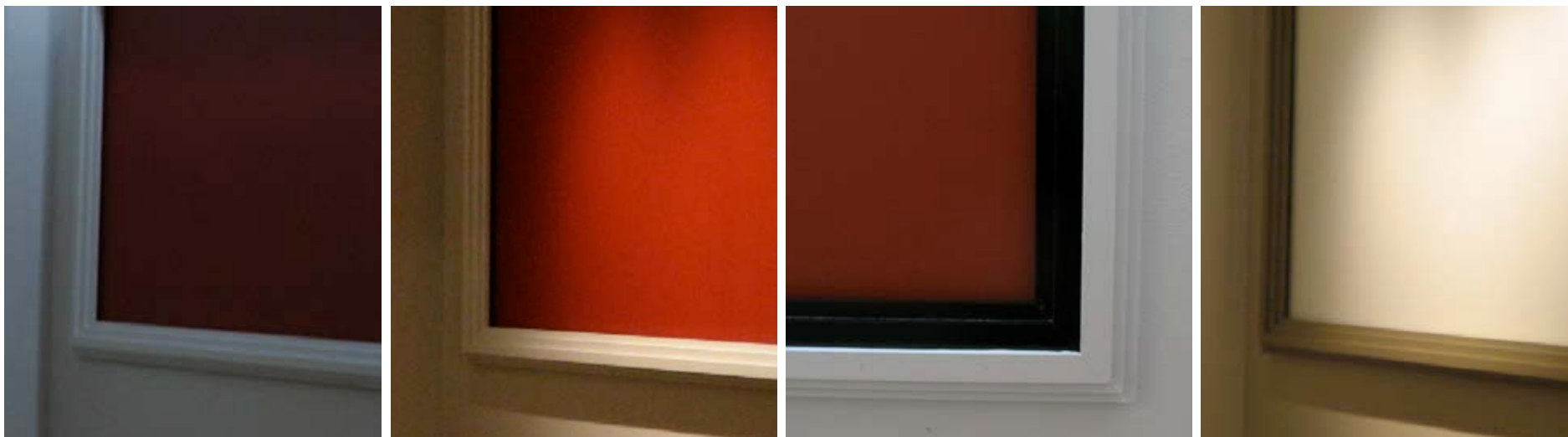
Rum 1:2 hade ett stort kontrastomfång mellan okulörta och starkt kulörta färger och mellan vitt och svart. Även i rum 2:2 fanns motsvarande kontrastomfång mellan vitt och svart, men däremot inte mellan tydligt olika kulörta färger. Med andra ord: De starka färgerna på det gula skåpet och den röda mattan kan ha bidragit till att rummet uppfattades som ljusare än när motsvarande saker hade svagare och mer samstämda färger.

Ytterligare ett exempel på kontrasternas betydelse upplevde vi vid utvärderingsmötet om rum 1:1, som inte behandlas i detalj i denna rapport. I detta rumsalternativ var gränserna mellan vit fönstervägg och grå sidoväggar svåra att uppfatta (dold av gardinen respektive skymd inne i fönsternischens vinkel). Detta ledde till att det inte var tydligt att de grå sidoväggarna verkligen var målade grå. De kunde i stället uppfattas som vita och mycket svagt belysta, vilket kunde ge ett totalintryck av mörker. För att undvika detta tog vi i rum 1:2 bort gardinen så att man såg mera av den vita fönsterväggen, och i det inre vänstra hörnet blev det då tydligt att fönsterväggen var vit och långväggen grå.

Motsvarande förändrades i inre högra hörnet, genom att pelaren målades vit så att det blir en tydligt gräns mellan grått och vitt.

Vidare placerade vi en svart vas inne i rummet och lade till en svart rand på den röda tavlans ram. Detta ökade kontrastomfånget och gav en svartreferens som de grå väggarna kunde jämföras med.

I de aktuella försöksrummen användes främst dioder med mycket samlade, smalstrålande ljusbilder som inte sprider ljuset särskilt mycket. Detta ger underlag för en annan möjlig men till synes paradoxal förklaring till att rum 2:2 uppfattades som mörkt. De starkt belysta partierna i detta rum var ljusare än i alla andra alternativ, samtidigt som det var mycket skarpa gränser mellan dessa ljuskäglor och de större och mörkare delarna av rummet. Kontrasten mot de avgränsade ljusa partierna gjorde då att



Kontrastomfånget i rummet ändrades genom tillägg av helt svarta detaljer, till exempel en svart list på tavelramen i rum 1:2.

huvuddelen av rummet upplevdes som mörkt. Dessutom blev rummets och möblernas kantlinjer mycket tydligare i de starkt belysta områdena, och den relativa otydligheten i de mörkare delarna kan ha bidragit till att de upplevdes ännu mörkare.

Fördelningen av ljuset kan också ha påverkat själva rumsförståelsen på ett negativt sätt. När ett rum är belyst av dagsljus eller av armaturer med god ljusspridning förändras ljusnivån gradvis mellan rummets olika delar, och den förändring man kan iaktta uppfattas som logisk i förhållande till ljuskällorna och rummets form. Ljuset har en riktning som hjälper oss att förstå rummets färger, former och storlek. En svårförståelig ljusfördelning ger ett svårförståeligt rum, och detta kan lätt leda till upplevelsen av att det är svårförståeligt för att det är mörkt.

Vad krävs av bra läsljus?

Försökspersonerna fick läsa en pocketbok vid testrummets bord och vid bordet i det dagsljusbelysta rummet. För båda situationerna fick de svara på samma frågor om själva situationen, och efter båda läsningarna fick de också ange i vilken av lässituationerna det var svårast respektive lättast att läsa texten. Svaren på den jämförande frågan överensstämde väl med det som kunde utläsas av försökspersonernas bedömning av de enskilda situationerna.

I rum 1:2 angav den absoluta majoriteten (11 av 15) att det var lättare att läsa i dagsljusrummet än i testrummet. Detta berodde inte på att det var mera ljus på boken i dagsljusrummet – tvärtom var belysningsstyrkan i de flesta fall lägre i dagsljusrummet än i testrummet. Luxtalet på testrummets bordsyta var 580 lux mitt i ljusstrålen och 370 lux längst ut på kanten, och de flesta försökspersonerna föredrog att läsa i dagsljusrummet trots att dess bordsyta belystes av ned till 215 lux.

Även i rum 2:1 angav den absoluta majoriteten (7 av 11) att det var lättare att läsa i dagsljusrummet än i testrummet. Lux-talet på bordsytan i dagsljusrummet varierade för dessa personer mellan 290 och 5 lux medan bordet i testrummet belysts av två ljuskällor som gav varsin ljusfläck på 1040 lux och 40 lux vid bordets kant. Två angav att det



Testrummets bord belyst med en LED-spot med färgtemperatur 4000K respektive två LED-spotar med färgtemperatur 2700 K

var lättare att läsa i testrummet, och för dem var luxtalet på bordsytan i dagsljusrummet 410 respektive 210 lux. Det var alltså inte ljusnivån i dagsljusrummet som avgjorde vilket man föredrog, och de flesta föredrog dagsljusrummet trots att belysningsstyrkan där var mycket lägre än i testrummet.

I rum 2:2 var belysningsstyrkan på bordet hela 1600 lux i ljuskäglans mitt och 115 i kanten på bordet. Luxtalet på bordet i dagsljusrummet varierade mellan 283 och 84 för de olika personerna. Bedömningen av vilken situation som var bäst varierade mellan personerna och visade inget samband med luxtalet i dagsljusrummet. Det var alltså inte ljusnivån i dagsljusrummet som avgjorde vilket man föredrog. Vi kan dra slutsatsen att lässituationen i detta testrum var likvärdig med den i relativt svagt dagsljus. Alldeles uppenbart är det alltså så att "bra läsljus" inte är liktydigt med "mycket ljus". Med hjälp av försökspersonernas kommentarer kan vi i stället hitta andra indikationer på vad som krävs av ett bra läsljus.

Åtskilliga försökspersoner kommenterade positivt att ljuset i dagsljusrummet var just dagsljus ("att följa dagen") och att man hade utsikt mot yttvärlden ("minskar den klaustrofobiska känslan"). Att människor föredrar dagsljus framför de flesta typer av artificiellt ljus och accepterar lägre ljusnivå i dagsljusbelysta rum har visats i flera tidigare studier.²⁰ För att öka förståelsen av hur artificiellt ljus bör vara beskaffat går vi här ett steg längre och analyserar vad hos dagsljuset som uppfattades positivt i lässituationen, och vad i testrumsljuset som uppfattades negativt.

En återkommande kommentar gällde ljusfördelningen. Dagsljuset uppfattades som jämnt och därmed som positivt, medan läsljuset i testrummet gav starka störande skuggor, upplevelse av att boksidan blev bländande, för smalt ljusfält och för stora kontraster i synfältet. Dessa kommentarer gällde alla testrummen. Det är alltså tydligt att det är lättare och trevligare att läsa om det inte är så stor kontrast mellan läsljus



De blankt målade ytorna i kombination med smalstrålande ljuskällor gjorde att redan små förändringar i ljusets riktning gav stora effekter för helhetsuppfattningen av rummet.

och omfältsljus. Detta stämmer väl med tidigare forskning och rekommendationer. För de belysningsstyrkor som fanns på testrummens bord (ca 600 – 1600 lux på ljusaste stället) rekommenderar Starby²¹ att arbetsytans närmaste omgivning ska belysas med 3-500 lux, för att inte störande och obehagliga kontraster ska uppstå. I våra försök var omgivningsbelysningen mycket lägre, i extremfallet endast 40 lux vid bordets kant när belysningen mitt på arbetsytan var 1040 lux (rum 2:1). Dessutom skapades både starka skuggor och risk för bländning genom att ljuset var riktat rakt uppifrån. Vi kan alltså dra slutsatsen att den valda placeringen av belysningen (takmonterade spotlights) inte gav ett bra ljus för läsning.

Andra kommentarer gällde mer svårfångade egenskaper hos ljussituationen. I rum 1:2 (med LED 4000-6300 K) användes ord som kallt, trist, statiskt, irriterande och påfresande. I rum 2:1 och 2:2 (med LED 2700 K) fanns kommentarer både om att ljuset var stickigt och att det var mjukt och hade behaglig färgtemperatur. I dessa båda rum uttryckte fem av totalt 27 försökspersoner att de upplevde oförklarliga svårigheter vid läsningen: Svårt att fokusera, mina ögon hoppade lite över texten som om jag var trött, kände mig skumögd.

Orsakerna till att ljuset uppfattades som besvärande kan inte fastslås inom ramen för detta projekt, men vi kan presentera några tänkbara hypoteser. En möjlighet är att diodernas spektralfördelning gav upphov till kromatisk aberration, vilket innebär att olika våglängder bryts till olika lägen framför, på och bakom näthinnan. Synsinnet får då flera olika näthinnebilder att hantera, något som kräver extra ansträngning även om vi inte medvetet uppfattar att vi "ser dubbelt". Som framgår av bilaga 4 hade alla de använda dioderna en brant strålningstopp kring 440 nm, en vågdal kring 490 nm och en ny topp kring 590 nm. Detta skulle kunna innebära att synsinnet fick arbeta med två näthinnebilder på ett sätt som inte sker när strålningsfördelningen är mera kontinuerlig. En annan möjlig störning av seendet kan bero på att de använda LED-armaturerna gav skarpt avgränsade ljuskäglor utan diffuserat ljus däremellan. På platser som belysts av flera dioder blev resultatet flera samtidiga skuggor, och i kanterna av varje ljuskägla krävdes stark omadaptation för att se mellan belysta och mörka partier. Multipla skuggor uppstår även i en mindre skala, som följd av att varje LED-armatur är uppbyggd av ett flertal små lysande punkter.

21 Starby 2006 sid 269.

De använda LED-armaturerna i rum 2:1 och 2:2 hade nominellt enhetlig färgtemperatur på 2700 K, men vid noggrant betraktande kan man se att de har något olika ljusfärg. En och samma diod förefaller också ha olika ljusfärg beroende på betraktningens vinkel. Möjligtvis kan man också iaktta ett litet frekvensflimmer i periferin av ljuskäglan. Till detta kommer de redan diskuterade svårigheterna att skapa sig en tydlig rumsuppfattning när ljusfördelningen avviker starkt från det förväntade.

Alla dessa möjliga störningskällor kan ha medverkat till att synsinnet fick arbeta mer än vanligt för att ge en tydlig visuell bild av rummet och av den text försökspersonerna hade att läsa. Sådant arbete kan ge visuell trötthet även om vi faktiskt ser en tydlig bild. Adaption kostar i form av ansträngning.

9 Resultat: färgåtergivning

För att undersöka hur ljussituationen påverkar uppfattningen av färger har vi använt två olika metoder. Den ena gick ut på att sortera prover med mycket små kulörtonskillnader (färgdiskrimineringstest) och den andra gick ut på att ange uppfattad kulörton och kulörthet för pappersprover mot vit bakgrund (färgkategoriseringstest). I båda fallen jämfördes försökspersonens resultat i testrummet med hans/hennes egna resultat i en ljusbox med simulerat dagsljus. Se tabell 4 för belysningsdata.

Färgdiskriminering

Resultatet av färgdiskrimineringsförsöket visas i tabell 5. Eftersom de olika serierna omfattade olika personer som eventuellt hade olika god förmåga att utföra testet så kan man inte göra några direkta jämförelser mellan resultatet i de olika rummen. Kolumnerna som anger skillnaden mellan testrummet och ljusskåpet är dock jämförbara, eftersom de bygger på skillnaden i varje persons resultat i de båda situationerna. En omkastning mellan två prover motsvarar 4 felpoäng. Skillnader som är mindre än 0,4 felpoäng motsvarar alltså att var tionde person placerat en enda bricka annorlunda i testrummet än i ljusboxen. Detta betraktas som marginellt och beaktas inte i nedanstående analys.

Tabell 5 visar inga stora skillnader mellan resultaten i ljusboxen och respektive testrum, men där finns ändå en genomgående tendens att försökspersonerna gjorde flera fel i testrummen. Detta skulle kunna bero på att belysningen var starkare i ljusboxen än i

	Bakgrundsfärg	Belysning typ	Belysningsstyrka
Testrum 1:2	Vit	LED 4000 K	610 lux
Testrum 2:1	Vit	LED 2700 K	1040 lux
Testrum 2:2	Vit	LED 2700 K	1600 lux
Ljusbox	Vit	Lysrör typ D65	2560 lux

Tabell 4. Sammanställning av ljussituationen på arbetsytan vid färgdiskriminerings- och färgkategoriseringstesterna.

någon av testsituationerna. Den förklaringen är dock inte trolig, eftersom den största skillnaden mellan testrum och ljusbox gäller rum 2:2, som hade det högsta luxtalet på arbetsytan.

Om man delar upp proverna i färgområden kan följande konstateras:

Gulaktiga prover kunde särskiljas sämre i testrummen än i ljusboxen, oavsett vilken LED-belysning som användes.

Rödaktiga prover kunde särskiljas lika bra i kallt LED-ljus som i ljusboxen, men klart sämre i varmt LED-ljus.

Blåaktiga prover kunde särskiljas lika bra i testrummen som i ljusboxen, oavsett vilken LED-belysning som användes.

Grönaktiga prover kunde särskiljas ungefär lika bra som i ljusboxen i rum 1:2 och 2:1, och klart sämre i rum 2:2.

Skillnaden i förhållande till ljusboxen var alltså störst i rum 2:2, med varmt LED-ljus och minst i rum 1:2, med kallare LED-ljus.

Färgkategorisering

I färgkategoriseringstestet fick försökspersonerna förenklat ange kulörton och nyans hos tolv prover visade i testrummet och i ljusboxen. Vid bearbetningen jämfördes svaren för varje person och vi noterade hur svaren i testrummet skiljde sig från de i ljusboxens standardiserade ljus. Endast skillnadens riktning (mer eller mindre kulört,

dragning mot den ena eller andra kulörtonen) och inte dess storlek noterades.

Färgkategoriseringstestet gav följande resultat:

Kulörtoner kring Y: Tydlig tendens till minskad kulörthet och kulörtonförskjutning från rött mot grönt i alla tre rummen.

Kulörtoner kring R: Inga förskjutningstendenser i kallt LED (rum 1:2), medan varmt LED i både 2:1 och 2:2 gav tendens till kulörtonförskjutning från blått mot gult samt i rum 2:1 till minskad kulörthet.

Kulörtoner kring B: Tendens till ökad kulörthet, som var större i varmt LED (både 2:1 och 2:2) än i kallt LED. Ingen tendens vad gäller kulörton i kallt LED, viss tendens till förskjutning mot grönt i varmt LED (både 2:1 och 2:2).

Kulörtoner kring G: Tendens till minskad kulörthet i kallt LED, tydlig tendens till ökad kulörthet i varmt LED (både 2:1 och 2:2). Tydlig tendens till kulörtonförskjutning från gult mot blått i kallt LED, ingen kulörtonförskjutning i varmt LED (gäller både 2:1 och 2:2).

Resultaten i de båda rummen med varmt LED var sinsemellan helt samstämmiga sånär som på den eventuella kulörthetsminskningen hos rödaktiva prover. Däremot fanns vissa skillnader mellan resultaten i varmt respektive kallt LED-ljus. Inte överraskande försköts rödaktiga prover från blått/mot gult i varmt LED-ljus medan grönaktiga prover försköts från gult/ mot blått i kallt LED-ljus. Mera förvånande – åtminstone för

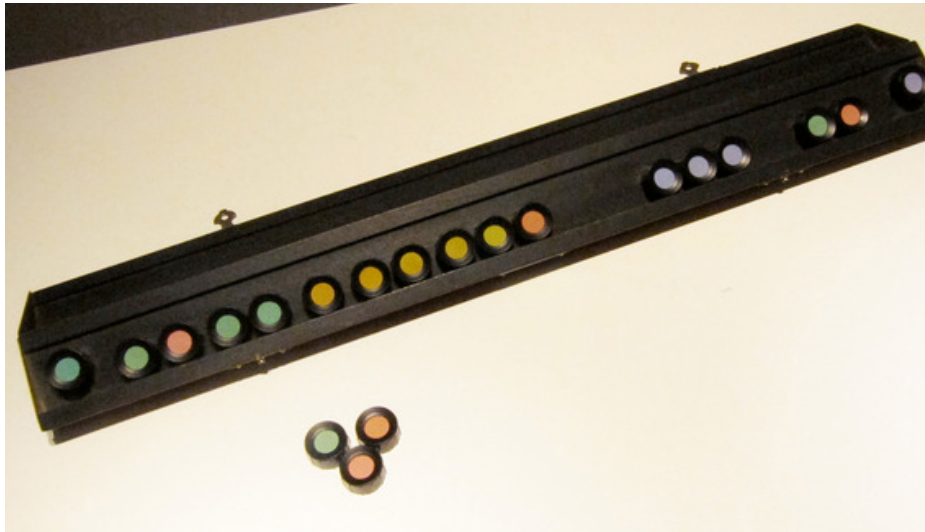
		Testrum (T)				Ljusskåp (L)				Skillnad T-L				
Serie	n=	G	Y	B	R	G	Y	B	R	G	Y	B	R	Tot.
1:2	13	2,5	0,9	1,8	1,5	1,8	0	1,2	1,8	0,7	0,9	0,6	-0,3	1,8
2:1	12	1,0	0,7	1,3	1,7	0,7	0	1,3	0,3	0,3	0,7	0	1,4	2,3
2:2	15	1,9	1,6	1,1	1,3	0,3	0,3	0,8	0,3	1,6	1,3	0,3	1,0	4,3
Tot.	40	1,8	1,1	1,4	1,5	0,9	0,1	1,1	0,8	0,9	1,0	0,3	0,5	2,9

Tabell 5. Genomsnittlig felpoäng/person i färgdiskrimineringstest per färgområde och försöksserie. En omkastning mellan två prover motsvarar 4 felpoäng. G, Y, B, R anger kulörtonsområden enligt NCS.

projektledaren – var att det varma LED-ljuset ledde till ökad grönhets hos både gröna och blåaktiga färger och att de blåaktiga färgernas kulörthet förstärktes mera i varmt än i kallt LED –ljus.

Jämförelse mellan de båda färgtesternas resultat

De båda färgtesternas resultat pekar till stora delar åt ett och samma håll: I jämförelse med ljusboxens standardljus medförde både det kalla och det varma LED-ljuset att gulaktiga färger minskade i kulörthet och blev svårare att särskilja. Rödaktiga färger kategoriserades och särskiljdes lika bra i kallt LED som i ljusboxen, medan det varma LED-ljuset gav sämre resultat i båda avseendena. Blåaktiga färger fick ökad kulörthet i både varmt och kallt LED, något som rimligen stärker möjligheten att särskilja olika kulörtoner.²² För gröna färger däremot kan resultaten inte tolkas på något tydligt sätt.



Material för Farnsworth-Munsells färgdiskriminerings-test

²² När vi ställde frågan om väggarnas färg pekade även detta åt samma håll: De nominellt neutralgrå väggarna uppfattades blåare i rum 1:2 (kallt LED) än i dagsljusrummet. I rum 2:1 och 2:2 med varmt LED –ljus var väggarna ommålade i en nominellt varmgrå kulör, vilket omöjliggjorde jämförelse med det oförändrade dagsljusrummet.

²³ En gjorde inte tester, den andra utgick p.g.a. generellt dålig färgdiskrimineringsförmåga.

Att det kalla LED-ljuset förstärker blåheten och försvagar gulheten kan upplevas som ganska logiskt, men det var svårare att förstå att dessa tendenser uppstår även i varmt LED-ljus. Mitt (projektledarens) spontana antagande var i stället att varmt ljus skulle förstärka varma färger och kallt ljus skulle förstärka kalla färger.

Hur skulle man då kunna förklara detta överraskande resultat? Nedan diskuteras tre alternativa förklaringar:

- 1) Skillnaden i uppfattade färger berodde på att försöksgrupperna i de olika alternativen var olika sammansatta – detta skulle alltså betyda att de tre situationernas resultat inte var jämförbara.
- 2) Skillnaden i uppfattade färger berodde på intensiteten hos det ljus som belyste arbetsytan i de olika situationerna.
- 3) Skillnaden i uppfattade färger berodde på spektralfördelningen hos det ljus som belyste arbetsytan i de olika situationerna.

Diskussion av resultatet utifrån försöksgruppernas sammansättning

Alla försöksgrupperna hade ganska jämn fördelning mellan kvinnor och män men åldersfördelningen varierade genom att försöksgrupp 1:2 innefattade fyra personer som var betydligt äldre än de övriga. Av dessa fyra har dock två utgått vid analysen av färgtesterna²³ och svaren från de övriga två skiljer sig inte specifikt från resten av gruppen. Det fanns också en skillnad i gruppernas sammansättning vad gäller det professionella förhållandet till design, men detta har inte givit några systematiska skillnader vad gäller färgbedömningsfrågorna. Skillnaderna mellan de olika testsituationernas resultat kan alltså inte förklaras med att försöksgrupperna var olika. Se tabell 1.

Diskussion av resultatet utifrån ljusintensiteten

Det är väl känt att olika ljusintensitet kan förändra den uppfattade kulörtonen hos ett oförändrat fysiskt objekt. Uttryckt på ett annorlunda sätt innebär detta att en och samma spektralfördelning hos ljusenergin ger olika uppfattade kulörtoner beroende på intensiteten.

Bezold-Brücke-effekten är välkänd i ljus- och färglitteraturen och innebär att en högre strålningsintensitet förstärker kulörtonens blåhet eller gulhet (beroende på våglängd) medan en lägre intensitet förstärker rödheten eller grönheten. För rent blått, grönt och gult uppstår ingen förändring.²⁴ Denna effekt har visats för strålning med endast en våglängd och det är osäkert i vilken mån den gäller fysiska föremål sedda i sammansatta ljussituationer. Om vi antar att detta skulle vara fallet, så skulle gulaktigt gröna färger uppfattas som mindre gulaktiga och blåaktigt gröna som mindre blåaktiga med minskad ljusintensitet. Tabell 7 visar hur kulörtonen hos tre gröna färgprov bedömdes i de tre testsituationerna, i jämförelse med betraktning i ljusboxen, som var den situation med högst belysningsstyrka.

Den största minskningen av ljusintensiteten fanns mellan ljusboxen och rum 1:2. Där uppfattades det nominellt gultonade provet genomsnittligt som mindre gulaktigt i den lägre intensiteten samtidigt som det nominellt blåtonade provet uppfattades som blåare. I rummen 2:1 och 2:2 uppfattades det nominellt blåtonade provet i stället mindre blått än i ljusboxen medan det gultonade provet bedömdes ungefär likadant. Resultatet tyder alltså inte på att de påvisade kulörtonförskjutningarna kan förklaras med Bezold-Brücke-effekten.

Kulörtonförskjutningar i mera sammansatta belysningssituationer har studerats av Hunt, som har visat att när ljusintensiteten ökar förändras den uppfattade kulörtonen hos ljusa färgprover i riktning mot blått medan mörka prover blir gulare.²⁵ I tabell 8 och 9 visas hur kulörtonen hos undersökningens ljusa respektive mörka färgprover bedömdes i de olika ljussituationerna, i jämförelse med ljusboxen. Svaren tyder på att de mörkare färgerna fick en mindre blåhet/större gulhet när ljusintensiteten minskade, alltså tvärt emot den effekt som påvisats av Hunt.

De resultat som visas i tabellerna 8 och 9 måste tolkas med största försiktighet, eftersom underlaget var för litet för en säker statistisk behandling och färgproverna varierade i både kulörton och nyans. Vi har inte hittat någonting som tyder på att kulörtonförskjutningarna mellan de olika ljussituationerna beror på ljusstrålningens intensitet. För att närmare klargöra detta föreslår vi dock ytterligare försök, som utformas speciellt för att belysa denna frågeställning.

Serie	Antal	Gulaktiga prover				Rödaktiga prover				Blåaktiga prover				Grönaktiga prover			
		Mot C	Från C	Mot R	Mot G	Mot C	Från C	Mot Y	Mot B	Mot C	Från C	Mot R	Mot G	Mot C	Från C	Mot Y	Mot B
1:2	36	6	16	2	8	12	10	5	7	12	9	4	5	8	12	4	13
2:1	36	5	15	5	9	10	14	8	3	15	5	3	7	17	7	7	7
2:2	45	7	15	7	12	13	14	9	6	17	9	1	4	18	13	6	7

Tabell 6. Färgkategorisering. Kolumnen Antal anger totalt antal bedömningar av nyans respektive kulörton inom varje färgkategori. För varje färgkategori anges antal bedömningar där provet bedömdes olika i testrum och ljusbox. Övriga bedömningar gav samma svar i båda situationerna. Färgmarkeringar anger tydliga tendenser, som förklaras i texten

Nyansskillnad (två första kolumnerna inom varje färgkategori):

Mot C = provet bedömdes som mer kulört i testrummet
Från C = provet bedömdes mindre kulört i testrummet

Kulörtonskillnad (två följande kolumnerna inom varje färgkategori):

Mot R = provet bedömdes rödare eller mindre grönt i testrummet
Mot R = provet bedömdes rödare eller mindre grönt i testrummet
Mot G = provet bedömdes grönare eller mindre rött i testrummet
Mot Y = provet bedömdes gulare eller mindre blått i testrummet
Mot B = provet bedömdes blåare eller mindre gult i testrummet

²⁴ Lillo et al. 2004; Derefelt & Berggrund 1994 sid 22

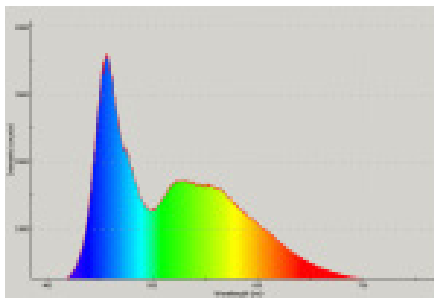
²⁵ Fridell Anter 2000 not 12 sid 232 .

Diskussion av resultatet utifrån spektralfördelningen

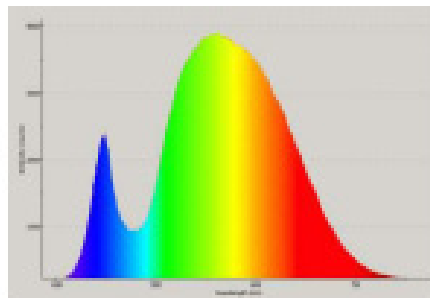
Kan det då vara så att skillnaden i uppfattade färger berodde på spektralfördelningen hos det ljus som belyste arbetsytan i de olika situationerna? Kortvågigt ljus kan dominera även i dioder som ger en varm ljusfärg (se bilaga 4) och enligt projektgruppens erfarenhet är det fullt möjligt att detta då skulle kunna leda till en förstärkt blåhet och försvagad gulhet hos ytor och föremål i rummet. Problemet är välkänt för ljuskälleindustrin, som kontinuerligt förbättrar sina produkter för att få bättre färgåtergivning.

Spektralkurvorna för de dioder som användes vid försöket visar att alla hade en topp för våglängder kring 440 nm men att den var betydligt mera dominant hos dioderna med kall ljusfärg (6300 K) jämfört med de med varm ljusfärg (se bilaga 4). Därmed så kan vi inte hitta någon förklaring till att de varma dioderna gav lika stor blåförskjutning som de kalla. Detta bör undersökas närmare i försök som utformas speciellt för att belysa denna frågeställning.

Äldre generation LED



Nyare generation LED



Figur 9 Principiell spektralfördelning hos olika generationer av LED. Bild från Philips AB.

Kommentarer om färgåtergivning

Vi kan dra slutsatsen att ljusfärgen säger mycket litet om hur färger kommer att upplevas, och att varmt ljus faktiskt kan resultera i blåstickiga färger. Detta är ett problem som uppstått i och med att man övergivit ljuskällor med kontinuerligt spektrum, som är det vårt synsinne har utvecklats för. De nya mer energisnåla ljuskällorna ställer helt nya krav på redovisning av både ljusfärg och färgåtergivning för att man ska förstå hur de kommer att påverka vår upplevelse av ett rum och dess färger.

Exemplet pekar också på hur viktigt det är att skilja mellan ljusets tekniska/fysikaliska och upplevelsemässiga egenskaper. Kortvågig strålning med våglängder kring 440 nm brukar ofta kallas för "blått ljus", men en sådan benämning blir bara förvirrande när man inser att ljus från en LED med en strålningstopp inom detta område inte alls behöver vara blåaktigt utan tvärtom kan vara varmt, både upplevelsemässigt och i sin korrelerade färgtemperatur (K).

Förutom ljusets färgåtergivande egenskaper uppmärksammade vi hur möbler och andra föremål i rummet påverkade den uppfattade färgen på andra rumsytor. Tydligast var att de nominellt neutralgrå väggarna i både dagsljusrummet och rum 1:2 fick en rödtoning genom återspeglning från den röda mattan. Sådana återspeglningseffekter spelar stor roll i rumsliga sammanhang och har utforskats närmare av Monica Billger.²⁶

Ytterligare en iakttagelse gjordes i rum 2:2, där belysningen mot de grå väggarna var mycket högre i den främre än i den bakre delen av rummet, samtidigt som alla ljuskällornas färgtemperatur var densamma (2700 K) och deras spektralfördelning var mycket likartad (Stor spot, Liten spot och Golvlampa i bilaga 4). Vi uppmärksammade att den nominellt varmgrå väggfärgen uppfattades som kallare/nästan blåaktig där den var starkt belyst och mera grönaktig där ljuset var svagare. Att utreda orsakerna till detta har inte varit möjligt inom ramen för detta pilotprojekt, men effekten var mycket påtaglig och bör undersökas närmare för att öka förståelsen för hur LED-belysning påverkar det vi ser i ett rum.

²⁶ Billger 1999; Billger 2006

Kulörtonförskjutning hos gröna prover

Rum nr / lux	Antal bedömn.	Nominellt gultonat grönt prov 2070-G10Y		Prov med nominellt elementar- grön kulörton 3010-G		Nominellt blåtonat grönt prov 6020-B90G	
		Mindre gult än i ljusboxen	Gulare än i ljusboxen	Blåare än i ljusboxen	Gulare än i ljusboxen	Blåare än i ljusboxen	Mindre blått än i ljusboxen
1:2 / 610	12	5	0	3	2	5	2
2:1 / 1040	12	3	1	3	1	1	5
2:2 / 1600	15	3	2	3	1	1	3
Summa	39	6	3	9	4	7	10

Tabell 7. Uppfattad kulörtonförskjutning hos gröna prover. Siffrorna anger hur många försökspersoner som angav en annan kulörton i testrummet än i en ljusbox med 2560 lux. De som angav samma kulörton i båda fallen listas inte. Luxangivelse avser belysning på arbetsytan.

Kulörtonförskjutning hos ljusa prover

Rum nr/lux		Antal bedömn.	Mindre gult/ blåare än i ljusboxen	Mindre blått/ gulare än i ljusboxen
1:2 / 610	Ljusaste röda provet 2020-R10B, Y ₁ =46%	12	0	1
	Ljusaste gröna provet 3010-G, Y ₁ =41%	12	3	2
2:1 / 1040	Ljusaste röda provet 2020-R10B, Y ₁ =46%	12	1	0
	Ljusaste gröna provet 3010-G, Y ₁ =41%	12	3	1
2:2 / 1600	Ljusaste röda provet 2020-R10B, Y ₁ =46%	15	2	2
	Ljusaste gröna provet 3010-G, Y ₁ =41%	15	3	1
Summa	Ljusa prover	78	12	7

Tabell 8. Uppfattad kulörtonförskjutning hos ljusa prover. Siffrorna anger hur många försökspersoner som angav en annan kulörton i testrummet än i en ljusbox med 2560 lux. De som angav samma kulörton i båda fallen listas inte. Luxangivelse avser belysning på arbetsytan. Y₁= fotometrisk ljusreflektans enligt NCS atlas.

Kulörtonförskjutning hos mörka prover

Rum nr/lux		Antal bedömn.	Mindre gult/ blåare än i ljusboxen	Mindre blått/ gulare än i ljusboxen
1:2 / 610	Mörkaste röda provet 1085-Y90R, Y ₁ =13%	12	1	2
	Mörkaste gröna provet 6020-B90G, Y ₁ =11%	12	5	2
2:1 / 1040	Mörkaste röda provet 1085-Y90R, Y ₁ =13%	12	0	7
	Mörkaste gröna provet 6020-B90G, Y ₁ =11%	12	1	5
2:2 / 1600	Mörkaste röda provet 1085-Y90R, Y ₁ =13%	15	1	7
	Mörkaste gröna provet 6020-B90G, Y ₁ =11%	15	1	3
Summa	Mörka prover	78	9	26

Tabell 9. Uppfattad kulörtonförskjutning hos mörka prover. Siffrorna anger hur många försökspersoner som angav en annan kulörton i testrummet än i en ljusbox med 2560 lux. De som angav samma kulörton i båda fallen listas inte. Luxangivelse avser belysning på arbetsytan. Y₁= fotometrisk ljusreflektans enligt NCS atlas.

10

Resultat: rummets stämning och atmosfär

Ett av kraven på rummets ljus- och färgsättning var att de skulle upplevas positivt, med specifikationen dynamiskt och stimulerande för rum 1 och lugnt och harmoniskt för rum 2. Detta visade sig mycket svårt att åstadkomma, och det var endast alternativ 2:2 som i någon mån motsvarade de ställda kraven. Undersökningens syfte var dock inte att åstadkomma perfekt ljus- och färgsatta rum. Avsikten med de successivt förändrade färg- och ljus-sättningar var i stället att utforska hur färg och ljus kan samverka till att ge rummet dess egenskaper, däribland dess stämning och atmosfär. Vad gäller själva värderingen av rummen fanns det, föga överraskande, vitt skilda uppfattningar, men däremot går det att dra en hel del slutsatser ur de mera beskrivande kommentarerna.

Sammanfattning av kommentarerna om rum 1:2

Detta rumsalternativ var färg- och ljussatt med avsikten att det skulle upplevas som positivt, dynamiskt och stimulerande. Det bedömdes av 15 personer.

Rummet uppfattades av de flesta som varken särskilt ljust eller särskilt mörkt. Färgerna kommenterades direkt av hälften, men de var inte överens om ifall det var färgstarkt eller färgsvagt, alltså hade de fokus på väggarna eller på möblerna. Mer än hälften (åtta personer) valde ordet kallt som beskrivning av rummet, men två personer bedömde det i stället som varmt.

Vid valet mellan stämningsbeskrivande ord var de vanligaste valen lugn och sovande, medan endast en person angav att rummet var stimulerande. De (positiva och negativa) orden som anger passiva stämningslägen valdes mycket oftare än de ord som anger aktiva stämningslägen.

De negativt laddade orden valdes något oftare än de positivt laddade.

När de ombads beskriva rummet med egna ord återkom ord som anonym, opersonlig o.d. De allra flesta föreslog rummet för stillsamma passiva funktioner (vilorum, väntrum). De gjorde det dock av olika skäl: Vissa angav att rummet inte innehöll något som distraherade medan andra pekade på att där fanns intressanta saker som fångade uppmärksamheten.

När det gäller ljuset är bristen på dagsljus entydigt negativ för dem som kommenterat det. För övrigt rådde stor oenighet om vad som var positivt respektive negativt. Färgen kommenterades av nästan alla. Väggfärgen uppfattades som negativt kall av flera, och möblernas färger fick många att reagera antingen positivt eller negativt, helt utan samstämmighet. Det verkar alltså som att den positiva eller negativa upplevelsen av ljus och färg varierar mycket mellan människor, även när de kan enas om en mera värdeneutral beskrivning.

Som sammanfattning pekar svaren samstämmigt på att rummet upplevs som lugnt, men det fanns olika uppfattningar om detta var positivt eller negativt. Uppenbarligen har vi inte lyckats att få rummet stimulerande och dynamiskt, så som målsättningen var.

Sammanfattning av kommentarerna om rum 2:1

Detta rumsalternativ var färg- och ljussatt med avsikten att det skulle upplevas som positivt, lugnt och harmoniskt. Det bedömdes av 13 personer.

När försökspersonerna fick välja mellan rumsbeskrivande ord rådde det stor enighet om att rummet uppfattades som mörkt, färgsvagt och samstämt. Ljusnivån kommenterades direkt av hälften, och de var helt eniga om att det var mörkt. Värderingen av ljuset var dock inte samstämmiga, vid något tillfälle inte ens för en och samma person (som själv noterade sina motsägelser). Den vanligaste kommentaren gick ut på att det fanns en för stor – ibland störande – kontrast mellan starkt och svagt belysta ytor och delar av rummet. I jämförelse med rumsstudie 1:2 är det anmärkningsvärt att ingen nämnde bristen på dagsljus.

Färgerna kommenterades direkt av hälften, som var helt eniga om att de var svaga. Men även här gick värderingarna isär. Man kunde tycka att rummet var behagligt och harmoniskt färgsatt, men också att färgsättningen gjorde att allt flöt ihop och blev smetigt: "Ingen klang i rummet".

Övriga kommentarer pekade på en dubbelhet i rummets karaktär – å ena sidan mysigt å andra sidan lite konstigt. "Lite som att titta genom ett dis, lite opiumhåla, rusigt dåsig känsla". Jag tolkar detta som att rummets färg- och ljussättning upplevdes som lite märklig genom att det var så stor samstämdhet och samtidigt så stora kontraster. Många gjorde den typen av kommentarer, men de var inte överens om detta var positivt eller negativt.

De allra flesta föreslog rummet för stillsamma passiva funktioner (vilorum, meditationsrum). De som tyckte illa om rummet kunde inte komma på någon funktion. Som sammanfattning pekar svaren samstämmigt på att rummet upplevs som lugnt, men samtidigt upplevde flera en konflikt mellan lugnt och störande, över tiden eller beroende på var i rummet man befann sig. Vi har alltså tydligt lyckats med att göra rummet lugnt men inte lika bra med att få det harmoniskt.

Sammanfattning av kommentarerna om rum 2:2

Detta rumsalternativ tillkom genom att rum 2:1 förändrades efter genomgång av försöksresultaten. Liksom rum 2:1 var det färg- och ljussatt med avsikten att det skulle upplevas som positivt, lugnt och harmoniskt. Det bedömdes av 15 personer.

Det rådde stor enighet om att rummet uppfattades som samstämt, färgsvagt och mörkt. Ljuset kommenterades av de flesta, men omdömena var inte samstämmiga, och samma person kunde vara positiv till en aspekt av ljuset och negativ till en annan. De negativa kommentarerna handlade oftast om att ljuset var för ojämnt fördelat ("jag vill ha mer allmänljus för att trivas") och specifikt att detta var störande vid bordet. Den ojämnare belysningen gav dock också de flesta positiva kommentarerna i och med att intressanta föremål i rummet var spot-belysta. Liksom i alternativ 2:1 nämnde ingen bristen på dagsljus.

Mer än hälften av försökspersonerna kommenterade färgerna uttryckligen. Även här var det jämn fördelning mellan positiva och negativa kommentarer, ibland från en och samma person, men endast en angav något färgrelaterat som direkt störande ("att

möblerna smälter ihop med väggarna”). Kommentarererna, både positiva och negativa, tog framför allt fasta på samstämmigheten. Några upplevde att det gav harmoni medan andra efterlyste mera kontraster.

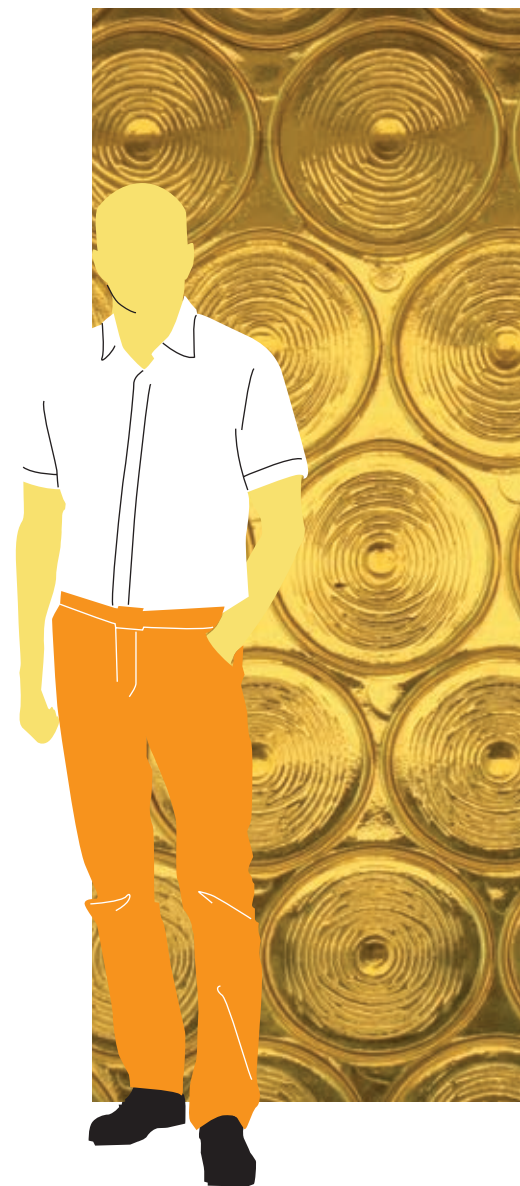
Det var alltså uppenbart att ljuset upplevdes som varierat och färghållningen som enhetlig, men värderingen av detta gick isär. Ett negativt omdöme som sammanfattar både färg- och ljusaspekter var ”känslan av skumögdhet”. Flera angav att rummet var lugnt, mysigt, harmoniskt vilsamt, medan andra angav att det var kyligt, tråkigt, opersonligt, konstlat. Dessa stora skillnader hade säkert att göra med hur man värderade de samstämda färgerna i kombination med det varierade ljuset.

De allra flesta föreslog rummet för stillsamma funktioner (vilrum, väntrum, terapirum). Motiveringarna för detta var övervägande positiva. Som sammanfattning pekar svaren samstämmigt på att rummet upplevs som lugnt, så som målsättningen var. Vissa uppfattade dock lugnet som tråkigt och negativt snarare än som harmoniskt. Även hos en och samma bedömare fanns ofta någon sorts dubbelhet mellan positivt och negativt, en motsättning som också påpekades uttryckligen av några.

Kommentar om själva försökssituationen

En hel del av försökspersonernas kommentarer gällde varken ljus eller färg utan i stället själva försökssituationen och rummets utformning och möblering. Akustik och luftkvalitet nämndes av åtskilliga, ibland i positiv mening (lugnt och tyst) men betydligt oftare som störande. Även rummets möbler gav upphov till många kommentarer, både positiva (lekfulla detaljer) och negativa (abstrakt, konstiga trompe l'oeil-stolar).

Vår avsikt vid rumsutformningen var att skapa ett rum som inte skulle skvallra om tidsepoker eller stil, och inte heller signalera någon specifik funktion för rummet som helhet. De masterstudenter som designade och tillverkade möblerna fullföljde vår intention och gjorde en ”rumslighet” med ”möbelheter”. Försökspersonerna fick dock inte den eftersträfvade upplevelsen av allmängiltighet utan började i stället undra varför möblerna såg ut som de gjorde, och hur de som försökspersoner skulle förhålla sig till detta.



I de tidiga rumsalternativen, och speciellt i det första alternativet, störde sig vissa personer på den perfekta ordningen. I senare alternativ har vi försökt att kompensera detta genom att placera in flera föremål – keramikskålar, textilier mm. Detta ledde till positiva kommentarer, men fortfarande uppfattade många rummet som konstigt och opersonligt. Att rummet uppfattas som opersonligt är dock en naturlig följd av att det är, och uppfattas som, ett försöksrum.

Man kan inte se ut genom fönstret, och då försöker man i stället tillskriva rummet en person. Varför ser det ut just såhär? Varför står det blommor här? Man söker hela tiden associationer och eftersom ingenting ser ut som det brukar måste man bestämma sig för om det är snyggt eller inte. Det blir en störning. (Kommentar från en försöksperson)

Kanske hade det varit bättre att inte försöka göra rummet neutralt utan i stället göra det så vanligt som möjligt, med möbler som man lätt kan associera med både hem och offentlig miljö? Vårt motiv till att välja bort det alternativet var att det skulle kunna ge oönskade personliga associationer och därmed sammanhängande värderingar. Efter utvärderingsdiskussionen kan vi dock konstatera att även de nyskapade möblerna gav okontrollerbara associationer och värderingar.

Det kan också vara så att vi i vår strävan att skapa ett rum som känns äkta har höjt försökspersonernas tröskel för vad som är acceptabelt. Om detta var ett verkligt rum, för att bo eller arbeta i, så är det såklart väldigt opersonligt. Om vi hade gjort ett renodlat strikt försöksrum hade vi kanske fått andra typer av svar, eftersom man där skulle haft mycket lägre förväntningar.

Slutsatser om stämning och atmosfär

Kommentarerna om atmosfären och stämningen i de olika försöksrummen visar, att vi inte lyckades åstadkomma de positiva rumsupplevelser som var avsikten. Inte heller lyckades vi med färgens och ljusets hjälp skapa rum med specifikt olika stämning: dynamiskt och stimulerande (rum 1:1) respektive lugnt och harmoniskt (rum 2:1 och 2:2). Orsakerna till detta har till stor del redan diskuterats. De kan delvis hänföras till själva försökssituationen och rummets utformning, oavsett dess färg och ljus. Rummet uppfattades exempelvis som lugnt oavsett ljus- och färgsituation. Helt klart räcker det alltså inte med starka färger för att skapa en aktiverande stämning i rummet.

Ljusets intensitet, kvalitet och fördelning spelar stor roll för hur man upplever och värderar rummet. Om man tycker att det är svårt att se så är detta naturligtvis en negativ aspekt av hela situationen. Även att ljuset uppfattas som logiskt har visat sig ha stor betydelse för rumsupplevelsen och värderingen av rummet. Här är vi troligen ganska styrda av konventioner och av de mönster som ges av dagsljus från fönster. Spotlights som pekar mot golvet eller till synes slumpvis valda delar av väggen kan upplevas störande, medan det ses som positivt om de belyser speciella föremål som är värda vår uppmärksamhet. Man föredrar också en förståelig riktning hos ljuset, med gradvis övergångar mellan starkare och svagare belysta rumsdelar.

Kontrastomfånget mellan färgerna har stor betydelse för om rummet upplevs som tydligt eller ej och påverkar även upplevelsen av ljust eller mörkt. Ett för litet kontrastomfång leder lätt till att rummet blir diffust eller "simmigt" och uppfattas som mörkt. Även om man väljer en färgställning med likartade färger är det därför viktigt att det finns detaljer som är både svarta och vita, och även relativt starkt kulörta detaljer med tydligt olika kulörtoner.



Slutsatser: energibesparing,
rumsupplevelse och
funktionalitet

Projektet OPTIMA har sin utgångspunkt i behovet av att minska energiåtgången för belysningsändamål och den aktuella övergången till mer energisnåla ljuskällor. För att testa hur ljus och färg kan samverka till att ge goda rumsliga kvaliteter med låg energiförbrukning har vi valt belysningslösningar med mycket låg effekt. I tre olika rumsalternativ har vi använt belysning med effekterna 5, 3 respektive 2 W per kvadratmeter rumsyta.

Dessa effektnivåer ligger mycket under den nivå som rekommenderas av belysningsbranschen och energimyndigheten. I planeringsguiden LJUS OCH RUM²⁷ anges exempelvis att mindre pausrum i kontor ska kunna belysas med effekten högst 10 W/kvadratmeter, och att man i väl planerade anläggningar ska klara sig med 8 W/kvadratmeter. De låga effektnivåer som vi har använt rekommenderas endast för sådant som garage och industrilager. Se tabell 10.

Utvärderingen av försöksrummen visar, att de uppfattades som alltför mörka. Vi har alltså inte lyckats åstadkomma rum med god funktionalitet och rumsupplevelse. Det finns dock ganska mycket utrymme för att förstärka belysningen i rummen och ändå ligga långt under rekommenderade värden. Detta bör testas i kommande försök.

Undersökningen visar vidare att rummets färgsättning har stor betydelse för dess upplevda ljushet och funktionalitet. Detta gäller inte bara det relativt självklara faktum att ljusare rumsytor ger ljusare rum om belysningen är konstant, utan också betydligt mer komplicerade samband mellan belysningen och ytornas färger. Detta ger underlag för specifika hypoteser som, om de visar sig hållbara, kan fördjupa kunskapen om hur färgsättning och belysning kan samverka i att spara energi utan förlust av andra kvaliteter. Detta utvecklas i rapportens avsnitt 13.

OPTIMA slutrapport till Energimyndigheten Karin Fridell Anter mars 2011 43
Utvecklingen av LED har styrts av en strävan att spara så mycket energi som möjligt. Kvaliteten hos det ljus som erhålles med LED beror inte bara på själva ljuskällan – dioden – utan i hög grad på den armatur där ett antal dioder är monterade tillsammans. Dioden som sådan ger ljus som är riktad åt endast ett håll, och ett ”paket” med dioder har normalt ett riktat ljus inom en sektor på 120-160 grader. Utanför denna

vinkel finns inte det "spilljus" som vi är vana vid från traditionella riktade ljuskällor.²⁸ Detta bidrar till en ojämn ljusspridning med skarpa gränser mellan ljust och mörkt, något som i våra försöksrum har upplevts som störande och försämrat upplevelsen av rummet.

Denna ojämn ljusspridning är ingen nödvändig följd av LED-teknologin utan kan åtgärdas genom att man sprider ljuset med en inbyggd lins e.d. Detta gör dock att en viss del av energin hejdas av linsen vilket ger en något mindre energieffektivitet. För att få ett ljus som fungerar väl och upplevs positivt av de människor som ska leva i de belysta rummen ser vi det som nödvändigt att avstå från en viss del av den teoretiskt möjliga energibesparingen och utveckla armaturer som ger ett mjukare spridningsmönster. Sådana armaturer skulle också kunna öka acceptansen för LED och därmed bidra till att dessa energisnåla ljuskällor skulle användas mera.



²⁸ Annell & Berggren 2011 sid 41.

12

Slutsatser: metoder att beskriva och utvärdera samverkan mellan färg och ljus

Försökspersoner i fullskalerum

Arbetet med OPTIMA har bedrivits i fullskalerum som bedömts och utvärderats med hjälp av försökspersoner. Detta har givit en fördjupad förståelse som inte hade kunnat uppnås med andra metoder. Bedömning av bilder, digitala representationer eller skalm modeller är väl beprövade metoder för att undersöka delaspekter hos ett rum, men om man vill fånga helheten är de otillräckliga. En rumslig situation kan inte fullt ut upplevas av någon som inte själv befinner sig i rummet, och det är först när man befinner sig i den situationen som man kan formulera de relevanta frågorna om den rumsliga helheten och vad som skapar den. Det visade sig dock svårt att hitta principer för rumsmöblering och inredning som inte leder försökspersonernas uppmärksamhet från de frågor som undersöks. Vidare blev det uppenbart att även icke-visuella aspekter såsom akustik och luftkvalitet måste beaktas när rummet utformas.

Successiv approximering baserad på designerfarenhet

Arbetet med OPTIMA visar att metoden med successiv approximering är mycket lämpad för att undersöka samvariationen mellan ljuskvalitet, ljusfördelning, valda färger och deras placering i komplext utformade rum. Det viktigaste momentet i denna metodik är utvärderingsdiskussionerna där projektdeltagare med sinsemellan olika kompetenser diskuterar försökspersonernas bedömningar och med utgångspunkt från detta formulerar ny förståelse om den rumsliga situationen och förslag till ändringar inför nästa testomgång.

Genom den successiva approximeringen har vi gradvis kunnat definiera vilka aspekter i rummets helhetsutformning som har varit betydelsefulla för försökspersonernas bedömningar och testresultat. I en längre försöksserie, där tiden tillåter flera omgångar av utvärdering och modifiering utifrån en oförändrad kravspecifikation, kan denna metod leda till mera specifika slutsatser än vad som varit möjligt i detta pilotförsök. Lätt modifierad kan metoden också användas så att man först varierar endast ett fåtal faktorer och gör utvecklade expertbedömningar av helheten. I det på så sätt optimerade rummet kan man sedan använda en större grupp försökspersoner för att på mera traditionellt sätt undersöka dess kvaliteter.

Frågor om rummets utseende och stämning

Försökspersonerna fick svara på frågor som rörde rummets utseende. I det reviderade frågeformuläret skedde detta genom val av högst fyra av tolv givna ord, där försökspersonernas val av ord gav besked om vilka färg- och ljuskvaliteter som uppmärksammades och hur dessa värderades. Dessutom ställdes öppna frågor om rummets utseende. Dessa metoder visade sig lämpliga för att fånga vad personen tyckte var viktigt, och styrde inte in uppmärksamheten på sådant som inte upplevdes spontant.

De fick också svara på frågor om den stämning de upplevde i rummet. Även här fick försökspersonen välja högst fyra av tolv givna ord, och de fick också svara på andra frågor som rörde rummets stämning. De olika sätten att fråga om stämningen gav sinsemellan samstämmiga svar, vilket stödjer svarens tillförlitlighet.

De ord som försökspersonerna får välja mellan kan anpassas efter målsättningen i det enskilda försöket och ge en grov kontroll av huruvida rummet motsvarar de ställda kraven. Öppna frågor av typen "vad är positivt – vad är negativt – vad är störande" är mycket värdefulla genom att de ger kompletterande och ofta mera precis information om vad försökspersonen uppmärksammar och hur han/hon värderar olika aspekter av rummet.

Mer styrda frågor om upplevelsen av färger eller ljus visar sig mindre lämpade att fånga det som bedöms som väsentligt, eftersom försökspersonen då uppmanas att titta efter och kommentera sådant som han/hon kanske annars skulle ha bortsett ifrån. Ett tydligt exempel är frågan om bländning – i de flesta ljussituationer kan man uppleva bländning om man letar efter den, medan man kanske inte alls märker den om man inte får frågan.

Funktionalitetstest – läsning

Rummets funktionalitet för läsning testades genom att försökspersonerna fick läsa några sidor i en pocketbok i två olika ljussituationer och svara på frågor om detta. Det visade sig att alla försökspersoner utom någon enstaka kunde läsa boken i båda ljussitu-



ationerna. Läsningen gav därmed ganska litet till förståelsen av rummets funktionalitet. Därmed kan vi i efterhand se att uppgiften fick onödigt stor andel av försökstiden. Det visade sig också att valet av bok riskerade att styra försökspersonernas föreställning om hela försökssituationen och därmed indirekt påverka deras svar även på andra frågor. Trots dessa invändningar hade lästestet ett stor värde genom att det föranledde kommentarer där försökspersonerna jämförde de olika situationerna och berättade hur de uppfattade ljuset. För att man ska få den typen av kommentarer är det nödvändigt att försökspersonen sätts i en konkret situation utifrån vilken han/hon ska utvärdera ljuset. Kanske går det att hitta lämpligare uppgifter som sätter igång motsvarande process – teckna, prata om bilder, bygga med lego, baka en sockerkaka?

Färgdiskriminerings- och färgkategoriseringstester

För att påvisa ljussituationens färgåtergivande egenskaper användes två metoder, vilkas resultat kompletterade varandra. Färgtesterna ledde oss till slutsatser som vi inte hade förutsett och bidrog därmed väsentligt till en ökad förståelse av de valda ljuskällornas verkan i realistiska rumsliga situationer.



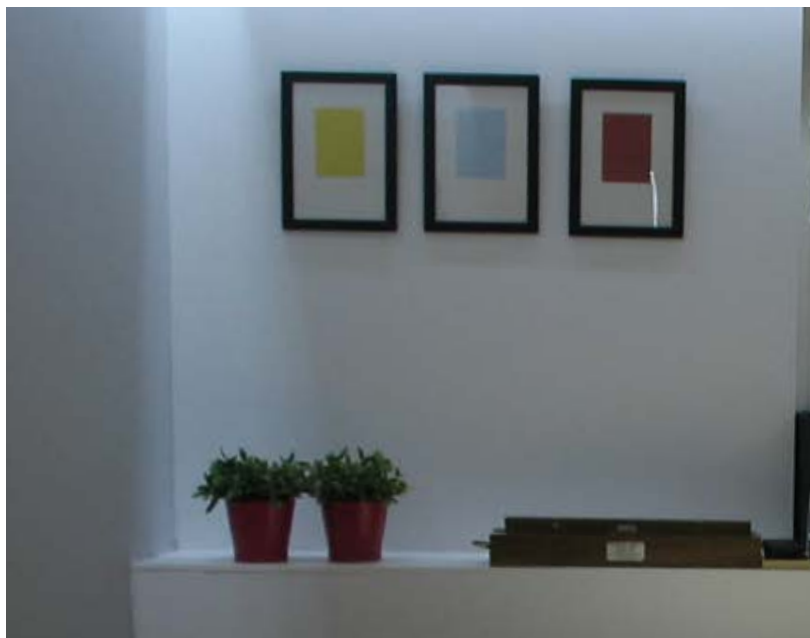
Användningen av Farnsworth - Munsells färgdiskrimineringsstest visade sig vara lätt att förstå och utföra och ge tolkningsbara resultat. I och med att vi jämförde prestationen hos en och samma person i två belysningssituationer eliminerades effekten av att de olika personerna var olika vana och skickliga i att diskriminera färger, och resultaten från olika försöksgrupper blev inbördes jämförbara. Urvalet av tjugo olika prover inom fyra färgområden gav information om olika delar av färgcirkeln, men det kan vara meningsfullt att testa ett annat urval och se om det ger ännu tydligare resultat.

I färgkategoriseringstestet fick försökspersonerna göra enkla bedömningar av kulörton och nyans hos tolv färgprover i två belysningssituationer. Försökspersonernas förkunskaper om de använda kategorierna var mycket olika, men vi räknade med att effekten av detta skulle elimineras genom att varje persons bedömningar jämfördes bara med hans/hennes egna i den andra situationen. I många fall kan vi se att personen gjorde genomgående fel i jämförelse med vad en van färgbedömare skulle ha angivit, men dessa fel föreföll hålla i sig under båda försöksserierna och därmed, som väntat, inte påverka resultatet. Trots detta vore det önskvärt om mera tid kunde ges till introduktion och genomförande av en testomgång för att träna in metodiken. Det vore också värdefullt att kunna få bedömningar av något flera prover än de 12 som nu användes.

För båda färgtesterna fick försökspersonen först göra uppgiften i testrummet och sedan i ljusboxen. Vi bedömer inte att detta gjorde någon skillnad för prestationen, men för säkrare resultat rekommenderar vi att hälften av uppgifterna görs i motsatt ordning.

Egen reglering av ljussituationen

De genomförda försöken har inte innefattat någon möjlighet att själv reglera belysningens styrka eller riktning. För en ökad förståelse av hur olika personer uppfattar ljussituationen skulle det dock vara värdefullt med försök där försökspersonen själv ställer in belysningen så att den motsvarar hans/hennes krav på trivsel, komfort eller funktion, med möjlighet till direkt kartläggning av de val som görs. En sådan försökssuppläggning kräver annan utrustning än den vi använde i OPTIMA.



Inredningsdetaljer från de olika rumsalternativen

13

Sammanfattande
kommentarer och förslag
till fortsatt arbete

OPTIMA har genomförts som ett pilotprojekt där en viktig del av resultatet är att formulera frågeställningar för fortsatt forskning. Vi kan här urskilja tre viktiga områden som berör energiförbrukning och den nya belysningstekniken

- Möjligheterna att spara energi genom samverkan mellan färg och ljus
- Ökad förståelse av hur LED verkar i realistiska rumsliga situationer
- Förhållandet mellan olika rumsdelars belysning

Energibesparing genom samverkan mellan färg och ljus

Med utgångspunkt i de genomförda försöken ställer vi hypotesen att rumsfärgernas kontrastomfång har betydelse för den upplevda ljusheten i ett rum, på så sätt att ett större kontrastomfång ger upplevelsen av mera ljus. Preliminärt gäller detta både kontrastfånget i ljushet, från vitt till svart, och kontrastomfånget mellan färger med olika kulörthet och kulörton.

Vi ställer också hypotesen att den rumsliga fördelningen av färger kan samverka med ljusets verkliga eller förväntade spridningsmönster på ett sätt som förstärker upplevelsen av ljus. Tydliga gränslinjer mellan olika färgfält och mellan ytor med olika riktning är väsentliga för att ge rummet en distinkt form och motverkar att färger flyter ihop. Vi ställer hypotesen att en sådan klarhet i rummet medverkar till upplevelsen av god belysning.

Om dessa hypoteser kunde bekräftas skulle det kunna leda till att färgsättningen aktivt används för att minska belysningsbehovet med bibehållen upplevd ljusnivå. Hypoteserna gäller dock bara helhetsupplevelsen, alltså det som uppfattas med omgivningsseendet. Huruvida rummets kontrastomfång också påverkar förutsättningarna för ett gott detaljseende är en öppen fråga. Dessa hypoteser bör testas genom fullskalestudier, eventuellt med förstudier i skalmodeller.

Man kan också tänka sig att energi kan sparas genom att rumsytornas reflektionskurvor anpassas till spektralfördelningen hos ljuskällorna och hos eventuella belagda fönsterglas. Denna möjlighet har inte undersökts inom OPTIMA men skulle kunna formuleras som ett projekt där belysningsindustri, färgindustri och glasproducenter medverkar med respektive specialistkompetens.

LED i rumsliga situationer

OPTIMA-försöken har visat på färgåtergivningseffekter (blåförskjutning) som kan bero på spektralfördelningen hos de använda dioderna men som också kan ha andra orsaker. Detta är en fråga som bör undersökas närmare.

Ibland har det varit svårt att fokusera i de LED-belysta rummen. Här fanns olika teorier om vad det skulle kunna bero på: kromatisk aberration, flimmer i elektroniken, multipla skuggor, adaptationsansträngningar i gränsen mellan en skarpt avgränsad ljuskägla och dess mörka omgivning.

Vi har vidare upplevt att dioder med nominellt samma färgtemperatur har givit visuellt sett kallare ljus när de haft större ljusstyrka och/eller snävare spridningsmönster. Detta har givit tydligt olika uppfattad väggfärg i olika delar av rummet. En teori är att detta har att göra med LED-armaturernas utformning, men effekterna bör också testas om tillgänglig färgteoretisk kunskap om sådant som Bezold-Brücke-effekten.

Det vi har uppmärksammat om LED i rumsliga sammanhang kan kanske delvis förklaras med hjälp av redan tillgänglig teknisk specialistkunskap. Ytterligare förståelse kan erhållas genom laboratorieförsök utformade med tanke på specifika frågeställningar. Detta kan leda till hypoteser som sedan kan testas i fullskalerum.

Förhållandet mellan olika rumsdelars belysning

Under diskussionen kring OPTIMA-rummen nämndes 5-3-1 som en ofta tillämpad rekommendation för upplevda ljushetsförhållanden i ett rum. I *Ljus och Rum*²⁹ finns liknande rekommendationer för luminansförhållanden mellan en arbetsplats och dess omgivning på olika avstånd. Dessa rekommendationer kan antas bygga på erfarenheter av traditionella ljuskällor. En intressant uppgift för fortsatta studier vore att med hjälp av försökspersoner testa dessa rekommendationer i LED-belysta rum och jämföra resultaten med de undersökningar som ligger till grund för rekommendationerna.



Referenser

Annell, S & Berggren, L, 2011: *Våra vanligaste ljuskällor*. Stockholm: Annell Ljus+Form.

Billger, M, 2006: 'Rummet som färgernas mötesplats' i Karin Fridell Anter (red): *Forskare och praktiker om FÄRG LJUS RUM*. Stockholm: Formas.

Billger, M, 1999: Colour in Enclosed Space, Göteborg: Dep. of Building Design, Chalmers University of Technology

Derefelt G & Berggrund U, 1994: *Färg som informationsbärare*. Stockholm: FOA

Fridell Anter, K, 2000: *What colour is the red house? Perceived colour of painted facades*, Stockholm: Arkitektur, KTH

Fridell Anter, K, 2008a: Aktuell svensk litteratur om ljus och färg. Annoterad bibliografi 2007, SE RUM, web publication www.explicator.se

Fridell Anter, K, 2008b: Ljus, färg och deras samverkan i rummet. Kunskapsöversikt 2007, SE RUM, web publication www.explicator.se

Fridell Anter, K & Billger, M, 2010: 'Colour research with architectural relevance: How can different approaches gain from each other?' *Color Research and Application* 35:2 sid 145-152

Green-Armytage, P, 2006: 'The Value of Knowledge for Colour Design' *Color Research and Application* 31:4 sid 253-269

Hein, P, 1985: 'Att formulera ett problem är att lösa det.' I *Forskning och Framsteg* 6/85

Hård, A & Svedmyr Å, 1995a: *Färgsystemet NCS. Tanke, tillkomst, tillämpning. Färgantologi bok 1*, Stockholm: Bygghälsorådet

Hård, Küller, Sivik & Svedmyr, 1995b: *Upplevelse av färg och färgsatt miljö. Färgantologi bok 2*, Stockholm: Bygghälsorådet

Hårleman, M, 2007: *Daylight Influence on Colour Design. Empirical study on perceived colour and colour experience indoors*, Stockholm: Axl Books

Klarén, Ulf, 1997: 'Varför skrattar femåringen' I Ulf Klarén: *Diverseartiklar*. Stockholm: Konstfack

Kronqvist, A, 2010: 'The influence of the Lighting Environment on Performance and Well-being in Offices.' i Zennaro, red: *Colour & Light in Architecture. International Conference Venice 11-12 November 2010*. Verona: Knemisi.

Lillo, Aguado, Moreira & Davies, 2004: 'Lightness and hue perception: The Bezold-Brücke effect and colour basic categories' *Psicológica* 25 sid 23-43.

Liljefors, A, 2006: 'Ljus och färg i seendets rum' i Fridell Anter, red: *Forskare och praktiker om FÄRG LJUS RUM*, Stockholm: Formas

Ljuskultur, 2010: *Ljus och Rum. Planeringsguide för belysnings inomhus*.

Matusiak, B, 2006: 'The impact of window form on the size impression of the room. Fullscale studies.' *Architectural Science Review*, 49:1

Mårtensson, Bertil. 1980: 'Falsifiering eller förändring genom vetenskapliga revolutioner Popper versus Kuhn', i Bengt Hansson (red): *Metod eller anarki – moderna teorier om vetenskapens väsen och metoder*. Lund: Bokförlaget Doxa

Sandström, Bergqvist, Küller, Laike, Ottosson & Wibom, 2002: *Belysning och hälsa. En kunskapsöversikt med fokus på ljusets modulation, spektralfördelning och dess kronobiologiska betydelse*. Arbete och hälsa, Stockholm: Arbetslivsinstitutet

Starby, L, 2006: *En bok om belysning*. Ljuskultur.

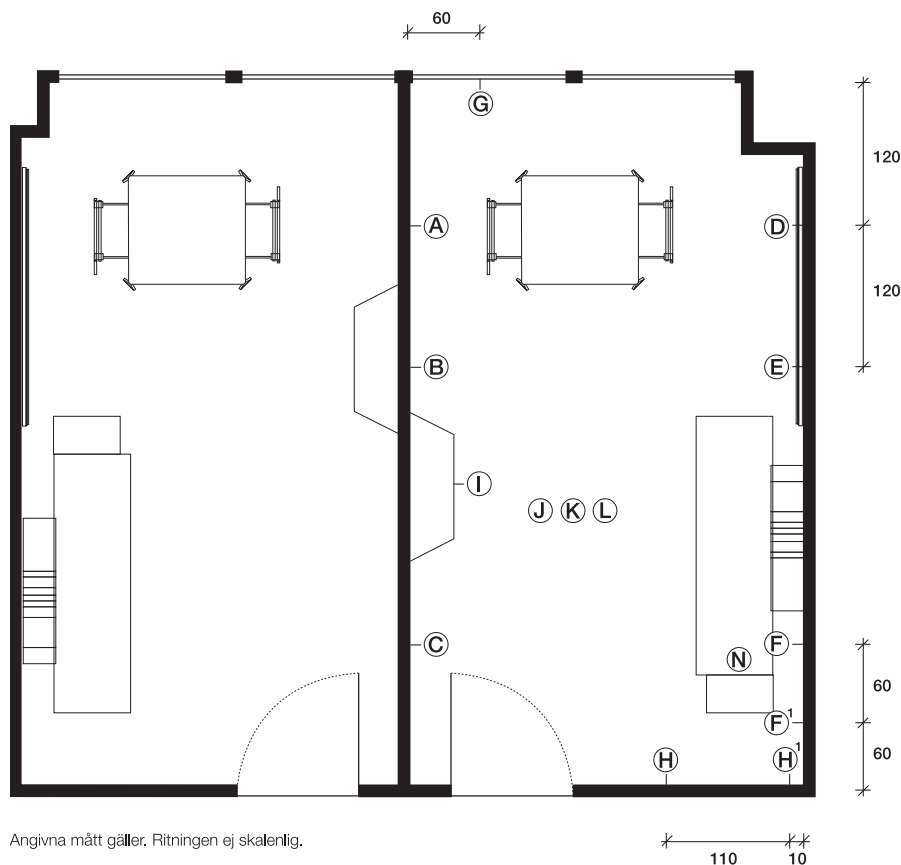
Vogels, I, 2008: 'Effect of coloured light on atmosphere perception' *Proceedings from AIC Interim Meeting Colour - Effects and Affects, Stockholm June 2008*, web publication <http://www.aic-colour.org/histo.htm>

Tekniska specifikationer

Ritning med mätpunkter

I vart och ett av rumsalternativen 1:1, 2:1 och 2:2 mättes belysningsstyrkan på väggar och golv. Se nedanstående plan för mätpunkter. Mätningen på väggarna gjordes i de flesta fall på tre höjder – 60, 12 och 180 cm över golvet. Med utgångspunkt från lux-värdena och ytornas reflektans beräknades luminansvärden för samtliga punkter.

På följande sidor presenteras ett urval av värdena för respektive rumsalternativ. Samtliga mätvärden samt kommentarer om mätsituationerna finns på sid. 65-67.



Mätvärden rum 1:2

Beräknad energiåtgång C:a 5 W / kvadratmeter

Uppmätt belysningsstyrka (avrundat till närmaste 5 lux utom för värden under 10)

Väggar på höjd 180 cm	55-95 lux
Väggar på höjd 120 cm	35-70 lux
Väggar på höjd 60 cm	35-50 lux

Det mest belysta väggpartiet var i hörnet bakom soffan, direkt belyst av spoten över soffan. Det minst belysta väggpartiet var skuggan under hyllan ovanför soffan.

Golv, mest belysta del (på den röda mattan)	360 lux
Golv, mitt på mellan ljuskäglor (på beige linoleum)	65 lux
Golv i slagskuggor från möbler	ej inmätt
Gult skåp, mest belysta del (blank yta)	160 lux
Gult skåp, minst belysta del (blank yta)	50 lux
Vitt bord, mest belysta del	605 lux
Vitt bord, minst belysta del	155 lux

Beräknade luminansvärden	
Grå sidoväggar	6-15 cd/m ²
Vit fönstervägg	23 cd/m ²
Vit bakre vägg	13-27 cd/m ²
Röd tavla på väggen	1-2 cd/m ²
Vitt bord	43-170 cd/m ²
Röd matta	12 cd/m ²
Golv utanför slagskuggor	10-11 cd/m ²

Det gula skåpet var blankt och speglande och det går därför inte att beräkna luminansen.

Den högsta luminansen fanns i ljuskäglan på bordet, den näst högsta på den direkt spotbelysta filten i soffan.

Mätvärden rum 2:1

Beräknad energitåg C:a 2 W / kvadratmeter

Uppmätt belysningsstyrka (avrundat till närmaste 5 lux utom för värden under 10)

Väggar på höjd 180 cm	10 - 120 lux
Väggar på höjd 120 cm	10 - 50 lux
Väggar på höjd 60 cm	7 - 25 lux

Det mest belysta väggpartiet var i närheten av det högra hörnet vid fönstret, på och kring tavlan.

Golv mellan skåpet och soffan	10-235 lux
Grågrönt skåp, mest belysta del (blank yta)	110 lux
Grågrönt skåp, minst belysta del (blank yta)	11 lux
Vitt bord, mest belysta del	1040 lux
Vitt bord, minst belysta del	40 lux
Filt i soffan, direkt under spot	1100 lux

Beräknade luminansvärden	
Grå sidoväggar	2 - 9 cd/m ²
Vit fönstervägg	11 cd/m ²
Vit bakre vägg	3 cd/m ²
Vit tavla på väggen	6-61 cd/m ²
Vitt bord	10-291 cd/m ²
Golv utanför slagskuggor	2-37 cd/m ²
Filt i soffan (räkna med reflektans 50%)	175 cd/m ²

Det grågröna skåpet var blankt och speglade och det går därför inte att beräkna luminansen.

Den högsta luminansen fanns i ljuskäglan på bordet, den näst högsta på den direkt spotbelysta filt i soffan.

Mätvärden rum 2:2

Beräknad energitåg C:a 3 W / kvadratmeter

Uppmätt belysningsstyrka (avrundat till närmaste 5 lux utom för värden under 10)

Väggar på höjd 180 cm	25-90 lux
Väggar på höjd 100 – 120 cm	25-100 lux
Väggar på höjd 60 cm	25-35 lux
Golv mellan skåpet och soffan	30-680 lux
Grönt skåp, mest belysta del (blank yta)	215 lux
Grönt skåp, minst belysta del (blank yta)	25 lux
Vitt bord, mest belysta del	1600 lux
Vitt bord, minst belysta del	115 lux

Beräknade luminansvärden	
Grå sidoväggar	5-12 cd/m ²
Vit fönstervägg	17 cd/m ²
Vit bakre vägg	9 - 28 cd/m ²
Vit tavla på väggen	25-26 cd/m ²
Vitt bord	32 - 450 cd/m ²
Golv utanför slagskuggor	9-108 cd/m ²

Det gröna skåpet var blankt och speglade och det går därför inte att beräkna luminansen.

Den högsta luminansen fanns i ljuskäglan på bordet, den näst högsta i en ljuskägla på golvet

Rum 1:2 Inmätta belysningsstyrkor och beräknade luminanser

Tabellen visar inmätta lux-värden på en rad punkter enligt plan (sid.63). Mätningarna har gjorts på 60, 120 och 180 cm höjd om inget annat anges. Luminansen har beräknats för de ljusaste respektive mörkaste partierna av varje yta.

Planläge	Inmätt lux-tal på höjd över golv					Luminansberäkning för utvalda punkter					
Se sid. 63	Golv	60cm	120cm	180cm	Kommentar	Beskrivning	Läge	Reflektans	Lux	cd/m ²	Kommentar
A		49	68	85		Grå vägg max	A 180	57%	85	15	
B		40	52	68							
C		36	41	54							
D		47	55	81	180=på tavlan	Röd tavla max	D 180	6%	81	2	
E		44	48	62	180=på tavlan	Röd tavla min	E 180	6%	62	1	Mörkast
E1											
F			38		Ej i hyllskugga						
F1			34		I hyllskugga	Grå vägg min	F1 120	57%	34	6	
G				81	Höjd 164 cm	Vit fönstervägg	G 164	88%	81	23	
H			45			Vit bakvägg min	H 120	88%	45	13	
H1			59	96		Vit bakvägg max	H1 180	88%	96	27	
H2											
I			162		Ljusaste delen. Höjd ej angiven						
I1			50		Mörkaste delen. Höjd ej angiven						
I2											
J	362				Mitt på mattan	Röd matta	J	10%	362	12	
J1											
K	72				Belyst	Golv,ljust parti	K	50%	72	11	
L	64				Mellan ljuskäglor	Golv,mörkt parti	L	50%	64	10	
L1											
L2											
M	607				Ljusaste delen	Bord max	M	88%	607	170	
M1	153				Mörkaste delen	Bord min	M1	88%	153	43	Ljusast
N											

Rum 2:1 Inmätta belysningsstyrkor och beräknade luminanser

Tabellen visar inmätta lux-värden på en rad punkter enligt plan (sid.63). Mätningarna har gjorts på 60, 120 och 180 cm höjd om inget annat anges. Luminansen har beräknats för de ljusaste respektive mörkaste partierna av varje yta.

Planläge	Inmätt lux tal på höjd över golv					Luminansberäkning för utvalda punkter					
Se sid. 63	Golv	60cm	120cm	180cm	Kommentar	Beskrivning	Läge	Reflektans	Lux	cd/m ²	Kommentar
A		15	32	38							
B		7	20	22							
C		12	11	12							
D		23	48	117	180=på tavlan	Grå vägg max	D 120	57%	48	9	
E		13	19	23	180=på tavlan	Vit tavla min	E 180	88%	23	6	
E1				216	Ljusast på tavlan	Vit tavla max	E1 180	88%	216	61	
F			11		Ej i hyllskugga						
F1			9		I hyllskugga	Grå vägg min	F1 120	57%	9	2	Mörkast
G				41	Höjd 164 cm	Vit fönstervägg	G 164	88%	41	11	
H			12			Vit bakvägg max	H 120	88%	12	3	
H1			10			Vit bakvägg min	H1120/180	88%	10	3	
H2											
I			108		Ljusaste delen. Höjd ej angiven						
I1			11		Mörkaste delen. Höjd ej angiven						
I2											
J	13				Mitt på mattan	Beige matta	J	40%	13	2	Mörkast
J1	235				Ljusast på golv	Golv,ljust parti	J1	50%	235	37	
K	52				Belyst vid soffan						
L	13				Ej direkt belyst	Golv,mörkt parti	L	50%	13	2	Mörkast
L1											
L2											
M	1038				Ljusast på bordet	Bord max	M	88%	1038	291	Ljusast
M1	37				Mörkast -"-	Bord min	M1	88%	37	10	
N		1100			Filt på soffgavel, direkt under spot						

Rum 2:2 Inmätta belysningsstyrkor och beräknade luminanser

Tabellen visar inmätta lux-värden på en rad punkter enligt plan (sid.63). Mätningarna har gjorts på 60, 120 och 180 cm höjd om inget annat anges. Luminansen har beräknats för de ljusaste respektive mörkaste partierna av varje yta.

Planläge	Inmätt lux tal på höjd över golv					Luminansberäkning för utvalda punkter					
Se sid. 63	Golv	60cm	120cm	180cm	Kommentar	Beskrivning	Läge	Reflektans	Lux	cd/m ²	Kommentar
A		33	66	67		Grå vägg max	A 180	57%	67	12	
B		33	55	61							
C		26	25	27		Grå vägg min	C 120	57%	25	5	
D		36	38	92	120 i ramskugga, 180 på tavlan	Vit tavla max	D 180	88%	92	26	
D			60		Höjd 100 cm = ej i ramskugga						
E		27	28	88	180=på tavlan	Vit tavla min	E 180	88%	88	25	
E1					Ljusast på tavlan					61	
F			25		I hylskugga						
F1			46		Ej hylskugga					2	
F2			53		Ej i ljuskägla från golvlampa						
G				62	Höjd 164 cm	Vit fönstervägg	G 164	88%	62	17	
H			32		Ej i ljuskägla från golvlampa	Vit bakvägg min	H 120	88%	32	9	
H1			38		Ej i ljuskägla från golvlampa						
H2			99		I ljuskägla fr. golvlampa	Vit bakvägg max	H2 120	88%	99	28	
I		27			Nedre delen av skåpet						
I1				214	Övre delen av skåpet						
I2											
J	31				Mitt på mattan	Beige matta	J	40%	31	4	Mörkast
J1					Ljusast på golvet						
K	679				Under ljuskägl, vid skåp	Golv, ljus parti	K	50%	679	108	
L	54				Mellan ljuskägl, vid skåp	Golv,mörkt parti	L	50%	54	9	
L1	214				I ljuskägla, fr. golvlampa						
L2	130				I ljuskägla, vid bord						
M		1605			Ljusast på bordet	Bord max	M	88%	1605	450	Ljusast
M1		113			Mörkast på bordet	Bord min	M1	88%	113	32	
N											

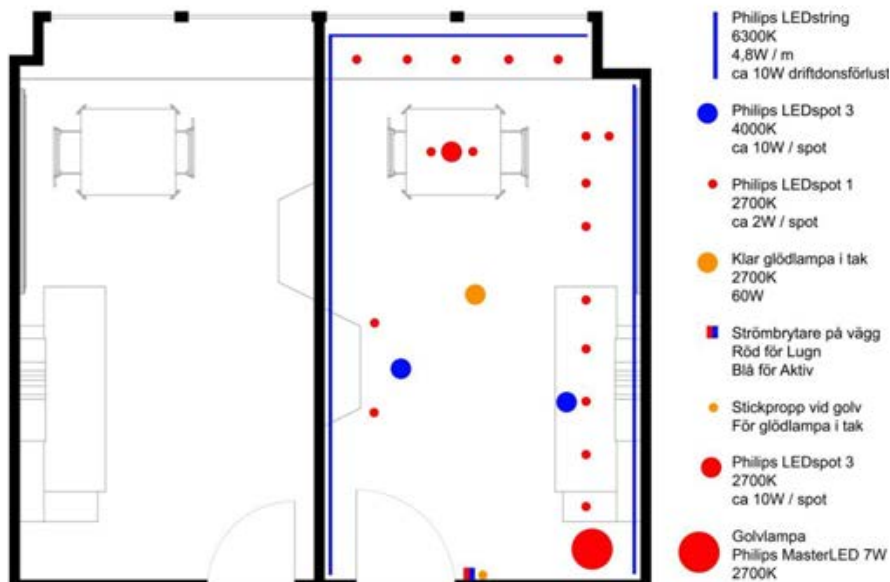
Spektralfördelningskurvor

Spektralfördelningen hos använda ljuskällor och på olika delar av väggarna mättes in den 10/2 2011 med AvaSpec-2048 Fiber Optic Spectrometer från Avantes. Mätningen av de takmonterade ljuskällorna gjordes rakt under ljuskällan, c:a 70 cm över golvet. Mätningen av golvlampan gjordes ovanifrån och från sidan omdelbart utanför skärmen, i båda fallen c:a 30 cm från ljuskällan. För varje ljuskälla anges i vilket/vilka rum den användes.

Mätningarna i dagsljusrummet gjordes c:a kl 14.30 och representerar en av många möjliga dagsljussituationer i rummet. Hälften av de åtta fönsterlufterna hade neddragna men ej vinklade persienner, resten hade uppdragna persienner. Vädret var mulet, marken var snötäckt. Dagljuset från fönstret mättes direkt innanför fönstret, med mätaren liggande på bordet, där belysningsstyrkan var c:a 220 lux.

Det reflekterade ljuset från väggarna i dagsljusrummet och rum 2:2 mättes som medelvärde utefter vertikallinjer vid ett antal planlägen enligt figuren på sid 63. Som illustrationsexempel visas även spektralkurvor från dagsljusrummets lysrör och en 60W klar glödlampa.

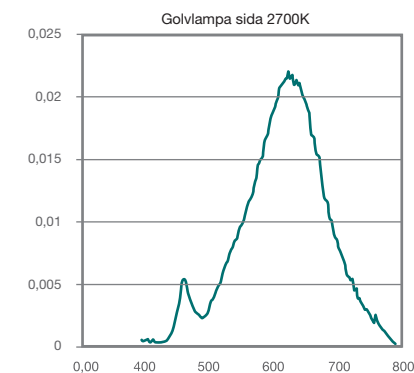
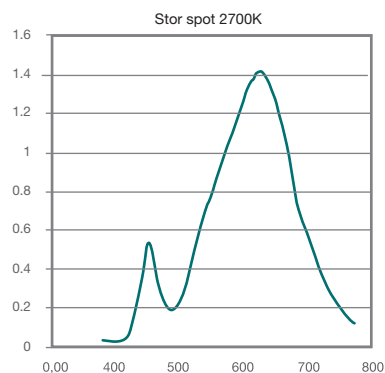
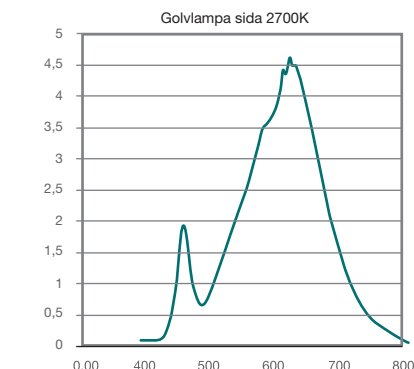
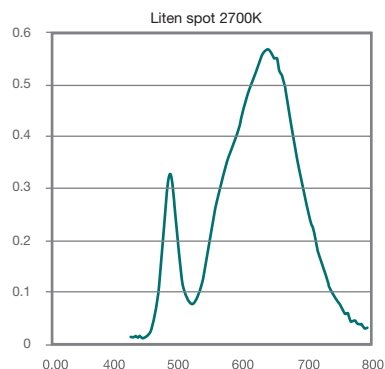
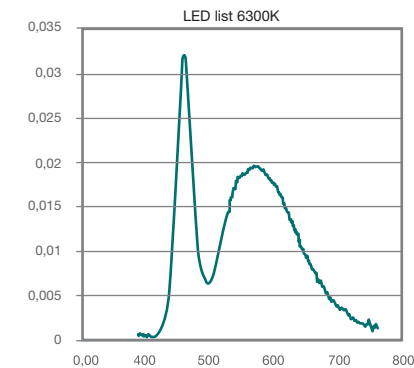
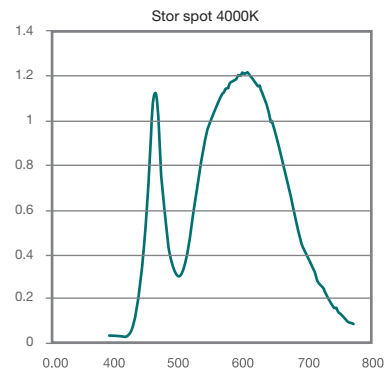
Observera att skalan varierar mellan de olika diagrammen!



Belysningsplan (Svante Pettersson - Philips Lighting)

Spektralkurvor för de ljuskällor som användes i försöken

Stor spot 4000 K , rum 1:2, LED list 6300 K, rum 1:2
Liten spot 2700 K, rum 2:1 och 2:2
Stor spot 2700 K, rum 2:2, Golvlampa 2700 K, rum 2:2



Spektralfördelning hos reflekterat ljus från väggarna i rum 2:2 (se ritning sid 63)

Planläge A (grå vägg)

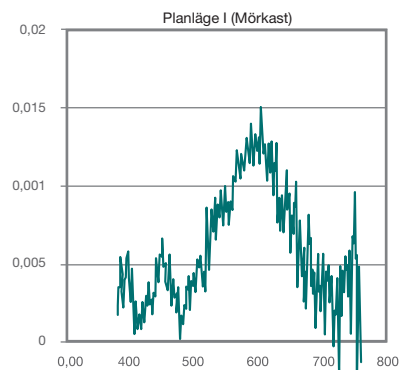
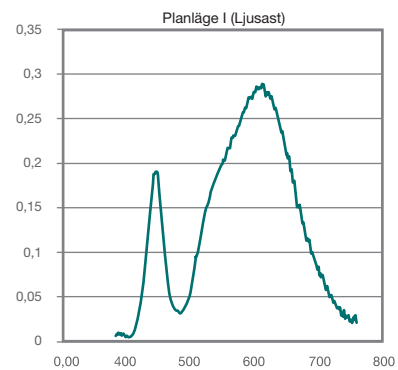
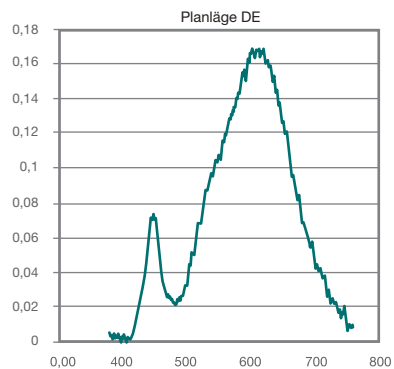
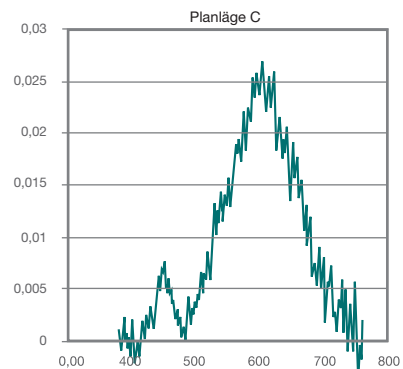
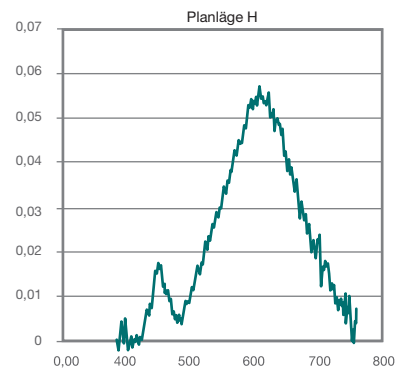
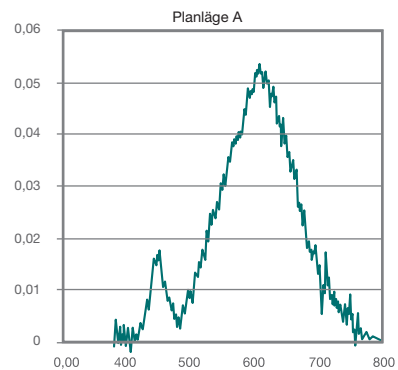
Planläge C (grå vägg)

Planläge I (de ljusaste delarna av grönt blankt skåp)

Planläge H (vit vägg)

Planläge DE (grå vägg under tavlan)

Planläge I (de mörkaste delarna av grönt blankt skåp)



Spektralkurvor av ljuskurvor i dagsljusrummet samt för glödlampan

