

DESIGN FÖR
ENERGIEFFEKTIV
VARDAG



SLUTRAPPORT

Projektnamn: Perceptuella mått för ljusdesign
Datum: 20251118
Författare: J. Enger, C.Hiller, K.Pollack, K. Wendin

Design för energieffektiv vardag

– ett program från Energimyndigheten med SVID som koordinator

c/o SVID, Stiftelsen Svensk Industridesign | Svensksundsvägen 13 | 111 49 Stockholm

08 – 406 84 40 | info@svid.se | www.designforenergi.se

 Energimyndigheten

SVID

Datum

2025-11-18

Projektnr:

39707

Energimyndighetens titel på projektet – svenska

Perceptuella mått för Ljusdesign

Energimyndighetens titel på projektet – engelska

Perceptual Metrics for Lighting Design

Universitet/högskola/företag

Konstfack

Avdelning/institution

DIV – Institutionen för Design, Inredningsarkitektur och Visuell kommunikation

Adress

LM Ericssons väg 14

Namn på projektledare

Johanna Enger

Namn på ev. övriga projektdeltagare

Carolina Hiller, Karin Wendin, Kajsa Pollack, Erik Einebrant, Kristin Hammarberg, Victor Marklund

Nyckelord: 5–7 st

Ljusdesign, visuell perception, sensorisk analys, upplevd ljuskvalitet, energianvändning



Förord

Detta arbete har möjliggjorts av våra finansiärer: Energimyndigheten, inom programmet *Design för energieffektiv vardag* (huvudfinansiär), Bertil & Britt Svenssons Stiftelse för Belysningsteknik samt ARQ forskning.

Vi vill också rikta ett varmt tack till det fyrtiotal personer från belysningsbranschen – ljusdesigners, belysningsplanerare, representanter för leverantörer samt arkitekter, inredningsarkitekter och forskare – ingen nämnd, ingen glömd – som generöst har bidragit med sin kunskap och sitt engagemang i referensgruppsmöten, fysiska och digitala workshops samt intervjuer kring det digitala kommunikationsverktyget LjusAssistenten.

Vi vill även tacka forskare vid RISE Mätteknik för värdefullt stöd med ljusberäkningar, Hamid Eizadi vid KTH för DIALux-simuleringar samt Peter Götlind, intendent vid Ekonomikum, Uppsala universitet, för engagerat stöd i samband med fältstudien.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning/bakgrund – Mått på upplevd ljuskvalitet.....	5
Genomförande	7
Beskrivning av studier och delresultat	11
Resultat	22
Diskussion	24
Publikationslista	25
Referenser, källor	26

Sammanfattning

Projektet adresserar glappet mellan mätbara ljusdata, såsom luxnivåer och lm/W, och hur ljus faktiskt upplevs i rum genom sensorisk/psykometrisk metodik.

Det har även utvecklats och använts en metod för att kvantifiera upplevd ljuskvalitet, kallad PLMD (Perceptual Metrics for Lighting Design), som i sin helhet eller delvis har tillämpats genomgående i studierna, från undersökningar av skalmodeller och belysningsarmaturer till fullskalemiljöer, och där resultaten löpande har jämförts med tekniska parametrar.



Ett problem med att använda luxvärden i belysningsstandarderna är att de främst mäter det infallande ljuset på en yta, medan våra ögon uppfattar det ljus som reflekteras från rummets ytor. Ytorna har olika texturer och färger som i varierande grad absorberar eller reflekterar ljuset. Man kan därför säga att ytorna är en lika viktig del av den upplevda ljuskvaliteten som ljuskällans och armaturens egenskaper. En annan begränsning med det fotometriska systemet, ur ett upplevelseperspektiv, är att det mäter det fysiska stimuli (ljusstrålningen) korrelerat till ögats ljuskänslighet, men inte den rumsliga upplevelsen av ljus. För att kunna mäta detta behöver man både ta hänsyn till ytorna och undersöka själva upplevelsen. Grundläggande för ljusupplevelsen är inte bara ljusnivån, utan i hög grad även kontrast. Kontrast kan skapas genom färgsättning eller genom ljussättning, exempelvis med riktat ljus som skapar skuggor, eller med en färgsättning som innehåller kontraster.

Genom att kombinera typologierna (Fig. 2) i ett antal skalmodeller blev det möjligt att systematiskt studera hur människor uppfattar ljuskvalitet. I samma projekt utvecklades även en terminologi för upplevd ljuskvalitet, där ord för upplevd ljuskvalitet sorterades under kategorierna Upplevelsen av rummet som helhet, Upplevd ljuskaraktär och Upplevd skuggkaraktär. Orden samlades in under workshops med representanter från både praktik och forskning inom belysning och sorterades därefter in i fyra kategorier: Upplevelsen av rummet som helhet, Ljuskaraktären, Skuggkaraktären och Atmosfär. Bedömningarna omfattar även Upplevd ljusnivå, Upplevd kontrast samt Attraktivitet (Appeal).

Studie B – Upplevd ljuskvalitet i rumsliga miljöer

Ansvariga: Karin Wendin/HKR, med assistans av Johanna Enger

Skalmodellerna transporterades till Högskolan Kristianstad, där det finns ett sensoriklaboratorium som normalt används för sensoriska studier av livsmedel. Varje modell bedömdes i ett avgränsat bås. Deltagarna i studien utgjorde en panel på 13 personer med erfarenhet av sensoriska tester, men utan särskilda kunskaper om ljus. De fick en beskrivning av varje begrepp och tränade därefter gemensamt på två testmodeller för att komma överens om hur begreppen skulle tolkas i modellerna. Studien genomfördes i triplikat och i randomiserad ordning. Syftet med studien var främst att validera PLMD-metodiken. Resultaten från båda studierna bearbetades därefter med statistiska analyser, vilka jämfördes med simuleringar av luxvärden och energianvändning.

Studie C – Forskningsstudier om upplevd ljusfärg och ljuskaraktär för ljuskällor

Ansvariga: Carolina Hiller/RISE med assistans av Karin Wendin och Johanna Enger

En huvudstudie och en pilotstudie genomfördes i RISE:s lokaler i Borås. Syftet med huvudstudien var att undersöka hur kombinationer av två ljuskällor med varierande placering, ljuskaraktär (diffus respektive riktad) och ljusfärg (varm/kall) påverkar den upplevda



Ljuskvaliteten. Utgångspunkten var att rum ofta innehåller flera ljuskällor av olika slag. Studien genomfördes som en sensorisk analys i specialbyggda bås, där en tränad panel med åtta deltagare bedömde olika scenarier i randomiserad ordning och i triplikat. Resultaten analyserades statistiskt.

I pilotstudien undersöktes upplevelsen av ljusfärg genom parvisa jämförelser i specialbyggda försöksupställningar. Utgångspunkten var att vår vardagliga vokabulär för ljusfärg – varmt, neutralt, kallt – är begränsad, samtidigt som även vitt ljus kan uppfattas med skiftande färgtoner. Spektralmätningar och olika fotometriska mätningar genomfördes i båda studierna. Båda studierna använde konsumentprodukter i syfte att pröva om resultaten kan ligga till grund för en mer informativ märkning av ljuskällor i handeln.

Studie D – Upplevd ljuskvalitet för armaturer i kontorsmiljö

Ansvariga: Carolina Hiller/RISE med assistans av Karin Wendin och Johanna Enger

Studien genomfördes i RISE:s lokaler i Borås, där identiska kontorsrum byggdes upp för ändamålet. En tränad panel med åtta personer genomförde en sensorisk analys av flera ljusscenarier, där varje scenario prövades i triplikat. Syftet var att identifiera den optimala balanspunkten mellan ljuseffektivitet och upplevd visuell kvalitet. Rummen utrustades med armaturer för uppljus, nedljus och spotljus i olika kombinationer. Parallellt genomfördes fotometriska mätningar samt registrering av energianvändning. Resultaten analyserades därefter statistiskt.

Studie E – Upplevd ljuskvalitet i verklig miljö (fältstudie)

Ansvarig: Johanna Enger/Konstfack

På Ekonomikum vid Uppsala universitet genomfördes en studie i två befintliga lokaler: en läsesal och en skrivsal. Lokalerna är identiska vad gäller dimensioner och proportioner, men har helt olika ljus- och färgsättning. Sjutton deltagare i varierande åldrar och med skilda yrkesbakgrunder bedömde båda lokalerna med PLMD-metoden i randomiserad ordning. I respektive lokal mättes luxvärden, NCS-koder samt energianvändning. Resultaten analyserades med statistiska metoder.

LjusAssistenten- från forskning till praktik

Ansvariga: Kajsa Pollack och Erik Einebrant/RISE




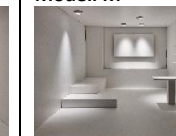





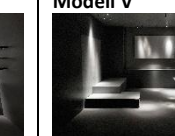
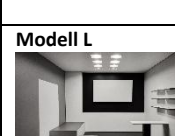
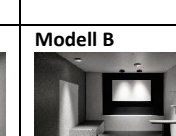

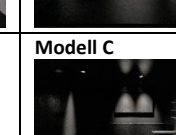
För att göra kunskapen tillgänglig tog vi inom projektet fram en prototyp av ett digitalt kommunikationsverktyg. Utvecklingen har baserats på en användarcentrerad designprocess, med målgrupps- och behovsanalyser samt återkommande intervjuer och tester med branschaktörer. En litteraturstudie om belysning i byggprocessen genomfördes också. Målet med verktyget är att stödja dialogen i tidiga skeden mellan ljusdesigners, arkitekter, beställare,



även atmosfär och i hur hög grad modellerna/ljuskällorna upplevdes som tilltalande, till skillnad från Studie B.

Studie B: Genomfördes med sensorisk analys i ett särskilt sensoriklaboratorium. Här deltog en tränad panel på åtta personer som hade fått utbildning i samtliga begrepp. Bedömningarna gjordes i randomiserad ordning och i triplikat för att säkerställa statistisk tillförlitlighet.

Båda studierna genomfördes i nästan helt mörklägda rum för att förhindra att deltagarna adapterade till höga ljusnivåer. I Studie A var skalmmodellerna placerade så att det endast gick att se in i en eller två åt gången, vilket innebar att intrycken inte kunde jämföras genom en överblick. Studie B utfördes i ett sensoriklaboratorium, där varje modell bedömdes individuellt i ett mörklagt bås. Deltagarna använde samma typ av frågeformulär, där varje ord bedömdes och markerades på en steglös skala från *Inte alls* till *I mycket hög grad*. Bedömningarna översattes sedan till 10-gradiga skalor, och resultaten kunde bearbetas statistiskt.

Ljussättning / Färgsättning	Horisontellt, jämnt ljus Dålda ljuskällor Svaga skuggor	Vertikalt, jämnt ljus Infällt ljus Svaga skuggor	Horisontellt, jämnt ljus Synliga ljuskällor Svaga skuggor	Riktat, varierat ljus Tydliga skuggor	Riktat ljus. Slumpmässig ljussättning Tydliga skuggor
Färg: Vit Reflektans: Hög Kontrast: Låg	Modell G 	Modell D 	Modell P 	Modell M 	Modell R 
Färg: Gråskala Medelhög Reflektans: Medelhög Kontrast: Låg eller medel	Modell T 	Modell H 	Modell N 	Modell S 	Modell V 
Färg: S/V+gråskala Reflektans Medelhög Kontrast: Hög			Modell L 	Modell B 	
Färg: Svart Reflektans: Låg (Modell C: höglansig) Kontrast: Låg /Medel (C)	Modell F 			Modell C 	

Figur 3. Matris för skalm modeller: I Studierna A och B användes samma uppsättning av fjorton skalm modeller. Kombinationerna av ljus- och färgsättning i respektive modell baserades på typologier för ljussättningsprinciper och färgsättning/kontrast (Fig. 1). Syftet var att skapa ett brett spann av variationer – från extrema exempel, såsom mycket mörka eller starkt kontrastrika modeller, till sådana som mer liknar de ljusmiljöer vi vanligtvis omger oss med i vardagen.



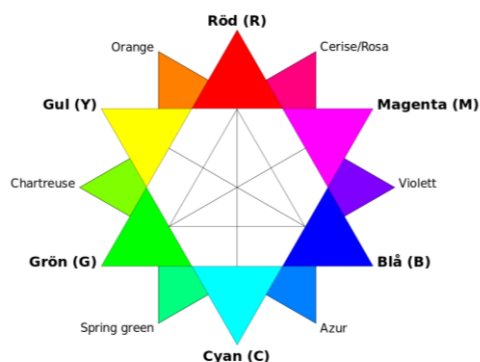
Fyra tydliga kluster framkom:

1. **Mest distinkt ljus:** riktade ljuskällor både som punkt- och allmänbelysning. Gav skarpa skuggor och starka reflektioner.
2. **Distinkt med mildare reflektioner:** kombination av riktad punktbelysning och rundstrålande allmänbelysning.
3. **Mellanläge mot diffus:** rundstrålande punktbelysning med riktad allmänbelysning. Skuggorna var mjukare, men reflektioner fanns kvar.
4. **Mest diffust ljus:** rundstrålande ljuskällor både som punkt- och allmänbelysning. Gav mjuka skuggor och få reflektioner.

Studien visar att även små förändringar i ljuskällans egenskaper och placering kan ge påtagliga skillnader i den upplevda ljuskaraktären. Vid planering av ljusmiljöer är det därför viktigt att inte enbart utgå från mätvärden, utan också ta hänsyn till hur ljuset faktiskt upplevs av människor. Resultaten visade att ljuskällornas typ och placering hade störst inverkan på upplevelsen av ljusets karaktär. Skillnader mellan distinkt (eller direkt) och diffust ljus uppfattades som tydligare än variationer i ljusfärg, vilket understryker betydelsen av ljusfördelning och rumslig utformning vid belysningsplanering.

Pilotstudie: Ljusfärg i parvisa jämförelser

I pilotstudien jämfördes tre par vanliga LED-lampor med små skillnader i färgtemperatur, ljusflöde och ytfinish (klar eller matt kupa). Varje par visades samtidigt för paneldeltagarna, som beskrev upplevelsen med hjälp av en fördefinierad uppsättning färgtermer. Bedömningen genomfördes i en kontrollerad testmiljö och kombinerade parvisa jämförelser med kvantitativ beskrivande analys.



Figur 5. RGB färghjul (Bildkälla: Creative Commons)



Figur 6. Paneldeltagare som jämför två ljusfärger



Trots att de fysikaliska skillnaderna mellan lamporna var små blev de upplevda skillnaderna tydliga vid direkt jämförelse. Till exempel uppfattades en ljuskälla som neutral vid isolerad bedömning som varmare och mer gulaktig när den jämfördes med en något kallare ljuskälla. Panelen identifierade även färgtoner som inte fångas av det traditionella "varm–neutral–kall"-språket, såsom magentaaktig och cyanaktig ljusfärg. Dessa visade sig särskilt användbara i fall där ljuskällor låg nära varandra i spektrum men ändå upplevdes som distinkt olika. Studien indikerade dessutom att vissa färgtoner, exempelvis orangeaktig, saknas i det befintliga vokabuläret. Detta visar på behovet av ett mer nyanserat språk för att beskriva ljusfärg, särskilt vid jämförelser mellan flera ljuskällor.

Resultaten understryker att upplevelsen av ljusfärg är starkt relativ och inte alltid speglar fysikaliska mätvärden. I ett av paren överensstämde upplevelsen med etablerade kategorier för kalla och varma ljusfärger, vilket även bekräftades av färgtemperaturmätningar. I andra fall framträdde dock en mer komplex struktur, där vissa ljuskällor upplevdes som magenta-, röd- eller blåaktiga, medan andra uppfattades som grön- eller gulaktiga. Detta pekar på att mänsklig färgupplevelse av ljus inte enbart följer den traditionella varm-kall-skalan, utan även rör sig längs ytterligare perceptuella dimensioner.

Studie D: Upplevda ljuskvaliteter för armaturer i kontorsmiljö – Resultat och analys

Vid planering av belysning för kontorsmiljöer utgår man ofta från gällande standarder, där fokus ligger på att uppnå rekommenderade luxnivåer på arbetsytor. Resultatet blir ofta en jämn ljusfördelning över hela rummet. Detta uppfyller de tekniska kraven för god belysning, men kan samtidigt skapa en ljusmiljö som upplevs som monoton och utan djup. En sådan belysning tenderar också att vara överdimensionerad, vilket ökar energiförbrukningen utan att nödvändigtvis bidra till ökad trivsel. Forskning visar att människor ofta föredrar ljusmiljöer med mjuka kontraster och variation, där skuggor och ljusfläckar skapar en mer levande och behaglig atmosfär.

Sambanden mellan energieffektiv belysning, visuella kvaliteter och välbefinnande i ljusmiljöer är alltså inte helt tydliga. Som beskrevs inledningsvis i rapporten saknas dessutom väletablerade begrepp för att beskriva de upplevda ljuskvaliteterna. För att undersöka detta utformades ett sensoriskt belysningsförsök i en verklig kontorsmiljö, med syftet att studera hur olika ljusdistributioner påverkar upplevelsen och hur dessa relaterar till ljusutbytet.

Studien utgick från två centrala frågeställningar:

- Kan eleffekten minskas genom olika ljusdistributioner utan att den visuella kvaliteten försämras?
- Hur påverkar olika ljusdistributioner de upplevda kvaliteterna?



Studie C – Ljuskällors karaktär och Ljutfärg:

I en faktorstudie med vanliga LED-produkter visade sig ljusdistribution och placering vara viktigare än färgtemperatur (CCT) för hur ljusets karaktär upplevdes (distinkt ↔ diffust). En pilotstudie med parvisa jämförelser bekräftade att upplevelsen av ljutfärg är relativ: små spektrala skillnader gav tydliga perceptuella skillnader. Termer som *magentaaktig* och *cyanaktig* visade sig användbara som komplement till de traditionella begreppen *varmt*, *neutralt* och *kallt*.

Studie D – kontorsmiljö (armaturers ljusdistribution):

Tre ljusdistributioner testades – nedåtriktad, uppåtriktad + spotlight samt enbart uppåtriktad – vid två effekter (≈ 17 W och ≈ 13 W). Kombinationen uppåtriktad + spotlight bedömdes oftast som mest inbjudande och trivsamt, särskilt vid lägre effekt, medan enbart uppåtriktad ljus upplevdes som monotont trots högt ljusutbyte. Detta belyser dilemmat att det mest energieffektiva inte alltid är det mest uppskattade, och att ljusdistributionen har större betydelse för upplevelsen än själva ljusnivån. Mätningarna omfattade bland annat 93–924 lx på skrivbord samt beräknat ljusutbyte för respektive scenario.

Studie E – fältstudie (två identiska undervisningsrum):

PLMD-metoden visade sig fungera väl även i verklig miljö. Läsesalen – med mörkare, varierad ljussättning och individuell dimring – upplevdes som signifikant mer tilltalande och bättre lämpad för koncentration och digitalt arbete än Skrivsalen, som hade högre allmän ljusnivå och statisk belysning. Parvisa t-tester visade bland annat en tydlig skillnad i upplevd ljusnivå ($p < 10^{-6}$). Trots den högre ljusnivån i Skrivsalen förbättrades inte arbets kvaliteten. Energianvändningen skilde med över 40 % mellan rummen, vilket visar att energisnål ljusdesign kan förenas med hög upplevd kvalitet genom rumslig variation, tydlighet och riktad ljussättning.

LjusAssistenten – från forskning till praktik:

Prototypen strukturerar forskningsbaserade begrepp i kategorierna *Rummet*, *Ljuset* och *Skuggor*, kopplade till bildreferenser från studierna. Den erbjuder två vyer – *Kommunicera* och *Utforska* – med möjligheter till filtrering, sparade urval och delning. Användartester med ljusdesigners, arkitekter och armaturleverantörer visar behov av möjlighet att lägga in eget ord- och bildinnehåll, testa verktyget i skarpa projekt och undervisning samt koppla det till tekniska verktyg som NCS och DIALux. Prototypen bedöms vara ett praktiskt stöd som binder samman upplevelsekvaliteter och tekniska krav i planeringens tidiga skeden.

Syntes:

Projektet har etablerat en validerad metod och ett praktiskt verktyg för att formulera, visualisera och väga upplevelsemål mot energiprestanda och fysikaliska mått. Rekommendationen är att planering och standardtillämpning kompletteras med perceptuella



mått, samt att fokus flyttas från enbart lux och lm/W till även kontrast, ljusfördelning och upplevd balans. Fortsatta pilotprojekt och systemintegrationer rekommenderas för att möjliggöra bred tillämpning i branschen.

Diskussion

Dagens planerings- och standardpraxis, med fokus på luxnivåer enligt exempelvis EN 12464-1, säkerställer visuell säkerhet men tenderar samtidigt att leda till jämn och överdimensionerad belysning som varken maximerar upplevelse eller energieffektivitet. Traditionella effektivitetsmått (lm/W) och fotometriska data fångar ljusets stimulus men inte upplevelsen. De behöver därför kompletteras med perceptuella mått och begrepp. Projektets resultat erbjuder just en sådan komplettering. Genom att utgå från principen om *läsbarhet av rummet* – rätt ljus, på rätt plats, i rätt mängd och riktning – minskar risken för överbelysta anläggningar. Detta kan både sänka installerad och använd effekt samt förbättra den upplevda ljuskvaliteten.

Sett i ett systemperspektiv kan en bred tillämpning av dessa principer ge betydande energibesparingar i stora fastighetsbestånd, såsom kontor, skolor och vårdmiljöer. I kombination med effektiva ljuskällor och smart ljusstyrning (dimring, scenarier, automatisk avstängning nattetid) kan den totala effektbelastningen på elsystemet minska, samtidigt som användaracceptansen ökar när miljöerna upplevs som mer behagliga och funktionella.

Fältstudien visar dessutom att när styrbarhet och scenarier kombineras med medveten ljusgestaltning ger det mätbara effekter i energiförbrukningen. Perceptuella mått – såsom *tydligt*, *inbjudande* och *koncentrationsstödjande* – kan översättas till tekniska beslut, från armaturdistribution till färgsättning, vilket i sin tur kan öka brukaracceptansen för energieffektiva lösningar.

Vad behöver göras härnäst?

1. **Vidareutveckling av LjusAssistenten** till en lanseringsbar version med gemensam ord- och bildbank, kvalitetsgranskning och metadata för robust filtrering och delning i projekt. Verktøget bör också kunna kopplas till etablerade system som NCS och DIALux.
2. **Genomförande av skarpa pilotprojekt** i tidiga planeringsskeden där upplevelsemål formuleras med PLMD-metoden och följs upp i färdig miljö, jämfört med installerad effekt och faktisk energianvändning (kWh/m²).
3. **Kompetenslyft för beställare och byggherrar**, med fokus på tidig kravställning av kvalitativa och visuella värden i upphandling och projektering.



Förväntade samhällseffekter:

- Energieffektivare byggnader utan att kompromissa med upplevelse eller arbetsförmåga – med potential till tvåsiffriga besparingar när jämn och onödigt hög allmänbelysning ersätts av varierad och styrbar ljussättning.
- Bättre arbets- och lärmiljöer genom ljusmiljöer som upplevs som tydliga, inbjudande och koncentrationsstödjande.
- Effektivare planeringsprocesser tack vare ett gemensamt språk och ett praktiskt verktyg (LjusAssistenten) som underlättar dialogen mellan gestaltungs- och teknikroller.

Slutsats:

Genom att integrera perceptuella mått i planering, upphandling och styrning kan branschen ta ett konkret steg från *lux-fokus* till *upplevelse- och energifokus*. Det är en nyckel för att samtidigt höja kvaliteten i vardagens ljusmiljöer och minska belastningen på energisystemet. Nästa steg är att institutionalisera arbets sättet genom pilotprojekt, standardmappningar och digitala integrationer – och därigenom göra *rätt ljus, på rätt plats, i rätt mängd* till ny praxis.

Publikationslista

Wendin, K., Hiller, C., & Enger J. (2023). *Perception of light qualities – A designed study on light sources in combinations*. In conference proceedings of the CIE 2023 Session, Ljubljana, Slovenia (Konferensproceedings och posterpresentation)

Hiller, C., Wendin, K., & Enger J. (2023). *The perception of light colour is relative – A pilot study describing perceived light colour*. In conference proceedings of the CIE 2023 Session, Ljubljana, Slovenia (Konferensproceedings och posterpresentation)

Enger, J., Wendin, K., & Hiller C. (2023). *Perceptual metrics for light quality in spatial environments*. In book of abstract of the CIE 2023 Session, Ljubljana, Slovenia (Konferensproceedings och posterpresentation)

Ytterligare publikationer relevanta för projektet

Hiller, C. Boork, M., Enger, J. & Wendin, K. (2023). User-Centric Measures of the Perceived Light Qualities of Lighting Products. *Emerging Science Journal*, Vol 7, No 2, pp. 609-628.

Enger, J., Hiller, C., Scander, H. and Wendin, K. (2023) *The impact of atmosphere on the experience of wine*. In book of abstract of Stockholm Gastronomy Conference, Sweden.

