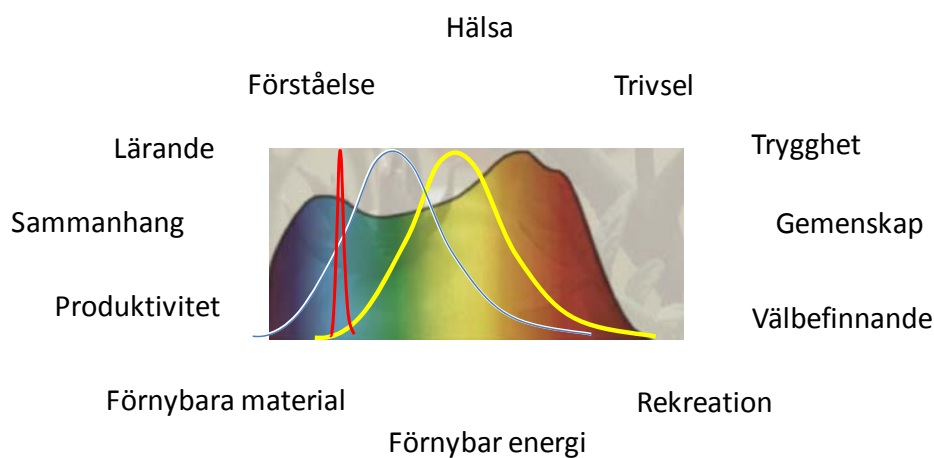


Kompetensutveckling för hållbar belysning

Möjligheten att höja nivån på belysningssektorns värdeskapande genom flervetenskaplig samverkan



Energimyndigheten
Slutrapport för projekt 33876-1

2011-10-31

Kompetensutveckling för hållbar belysning

Möjligheten att höja nivån på belysningssektorns värdeskapande genom flervetenskaplig samverkan

En kartläggning för Energimyndigheten,
som grund för planering av ett forskningsprogram
för energieffektiv belysning.

Reine Karlsson och Thorbjörn Laike

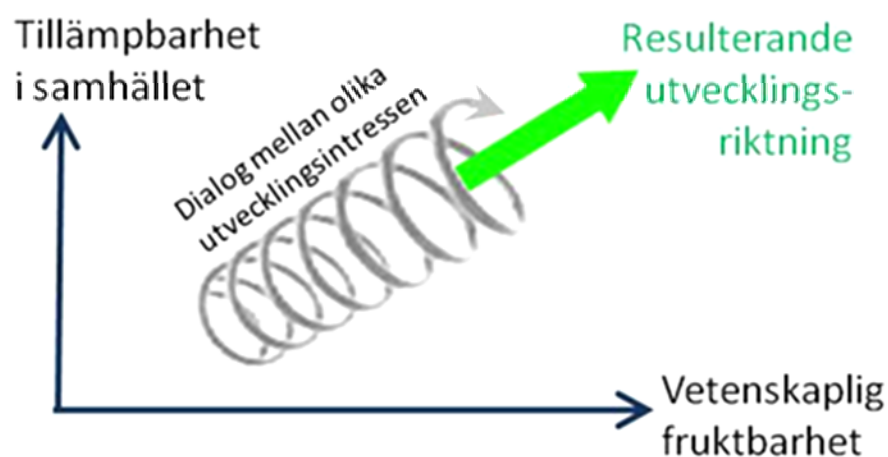
Rapporten inkluderar material från och bygger på dialog med
Raul Carlson, Informatik för hållbarhet
Sven Huldt, Plasmafysik
Hillevi Hemphälä, Ergonomi och industridesign
Kristoffer Johnsson, Belysningsentreprenörskap
Marie Löwegren, Entreprenörskap
Thomas Lindhqvist, Styrmedel
Conrad Luttrupp, Ecodesign
Allan Rasmusson, Biologi
Lars Samuelson, Halvledarfysik
Klas Sjöberg, Medicin
Nils Svendenius, Optik
Lars Vegehall, Belysningslära
Susanne Widell, Biologi

Gruppens forskare har fått värdefull hjälp av många intresserade kollegor.
Ett varmt tack till dem vi intervjuat och alla de som bidragit med värdefulla kontakter,
kommentarer och synpunkter. Ett särskilt tack till Monica Billger, Kyrre Dahl, Jan Ejhed,
Magnus Frantzell, Tommy Govén, Katarina Hennig, Roy Holmberg, Peter Kisch, Jonas
Kjellander, Arne Lowden, Anders Liljefors, Peter Lindhqvist, Johan Nordén,
Rikard Sjöqvist, Kåre Rumar och Torbjörn Åkerstedt.

HiFi-ljus ger möjlighet att se världen som den är.

Det viktiga och det vackra syns ofta bäst då man undviker att slösa med ljus.

Lärspiral för hållbar utveckling



Behovet av bättre ljuskvalitet har varit aktuellt i flera omgångar. Nu finns det tekniska förutsättningar att åstadkomma väsentliga förbättringar. En person som satt ord på den mångsidiga betydelsen av bra ljus är fotobiologen Dr. John Ott, som på 1960-talet myntade termen fullspektrumljus.

Vi har till sist börjat förstå att ljus, är en näringskälla precis som mat och precis som att en obalanserad kost kan göra oss sjuka så kan en felaktig belysning göra oss sjuka, och rätt belysning kan bevara vår hälsa. Forskning inom detta område har gjort stora framsteg, men det är fortfarande en lång väg kvar att gå.

Dr. John Ott

Innehåll

Sammanfattning	7
Förslag till riktlinjer.....	9
Förslag på konkreta åtgärder	10
Executive Summary	11
1. Inledning.....	13
1.1 Värde av bra belysning.....	13
1.2 Teoretiska utgångspunkter.....	14
1.3 Syfte	16
1.4 Metod	16
1.4.1 Gränsöverskridande forskning.....	16
1.4.2 Projektets arbetsmetodik	17
1.5 Avgränsningar	17
1.6 Rapportens innehåll	18
1.6.1 Belysningskvalitet	19
1.6.2 Energieffektivitet.....	19
1.6.3 Miljö	19
2. Verksamhetsutveckling	20
2.1 Beskrivning av Sveriges belysningsbransch.....	20
2.1.1 Belysningsmarknaden – Planering, inköp och specifikationer.....	21
2.2 Vision 2020	23
2.3 Begreppsutveckling	23
2.3.1 Begreppsmodellering.....	24
2.4 Utbildning.....	26
2.5 Framtid	28
2.5.1 Humanvetenskaplig forskning om förändring.....	28
2.6 Utveckling av forskningsförutsättningar	28
2.6.1 Pedagogiskt ljus på Matildelunds förskola.....	28
2.6.2 Exempel på forskningsrelaterade styrkefaktorer	30
3. Ljus och liv	31
3.1 Forskningsöversikt	31
3.1.1 Biologi	31
3.1.2 Medicin.....	34
3.1.3 Psykologi	37
3.2 Ljus och liv -Vision 2020.....	40
3.3 Framtiden.....	41
3.3.1 Biologi.....	41
3.3.2 Medicin.....	41
3.3.3 Psykologi.....	42

3.4	Ljuslaboratorium	44
3.4.1	Biologi	45
3.4.2	Medicin	45
3.4.3	Psykologi	46
3.5	Nytan av samverkan mellan biologi, medicin och psykologi	46
4.	Hållbar innovation	48
4.1	Hållbar innovation - Vision 2020	49
4.2	Hållbart systemtänkande	50
4.2.1	Miljövetenskapliga grunder	50
4.2.2	Livscykelanalys	50
4.2.3	Ljus och energi i byggnader och miljöer	50
4.2.4	Miljöledningssystem	52
4.3	Belysningssektorns möjliga värdeskapande	53
4.3.1	Produktifiering	55
4.4	Entreprenörskap	56
4.4.1	Användaren	57
4.4.2	Strukturer i belysningsbranschen	57
4.5	Styrmedel	58
4.6	Framtiden	59
4.7	Betydelsen av att kunna beskriva och mäta	61
4.7.1	Ljusbädd	61
4.7.2	Kvalitetssystem	63
5.	Teknik- och systemutveckling	65
5.1	Vision 2020	65
5.2	Ljusdistribution & Ljus kvalitet	65
5.2.1	Tekniskt möjligt ljusutbyte	67
5.3	Teknisk utveckling	68
5.4	Verktyg för teknisk systemutveckling	69
5.4.1	Teknisk konstruktion	70
5.4.2	Optimering av systemlösningar	70
5.4.3	Arbetsformer och ledningssystem	71
5.5	Industridesign	71
5.6	Ljuskällor och ljusalstrande processer	72
5.6.1	Glödlampor	72
5.6.2	Gasurladdningar	72
5.6.3	Halvledarbaserade ljuskällor	73
5.6.4	Utvecklingspotentialen för LED	73
5.6.5	Optiska möjligheter med små ljuskällor	74

5.7	Lysdiodfysik.....	75
5.8	Framtid	76
5.9	Simulator för belysningsstyrning	77
6.	Betydelsen av flervetenskaplig arbetsmetodik	78
7.	En samlad bild.....	81
7.1	Belysningsbranschens värdeskapande.....	82
7.2	Forskning och innovation.....	83
7.3	HiFi-ljus öppnar upp för att kunna se värden som den är.	85
7.3	Möjligheten med flervetenskap.....	86
8.	Slutsats.....	89
	Referenser.....	90

<i>Figur 1</i>	<i>Affärssystemets totala värdeskapande.....</i>	<i>20</i>
<i>Figur 2</i>	<i>Lärspirall med dialog mellan forskning och tillämpning.....</i>	<i>23</i>
<i>Figur 3</i>	<i>Begreppsmodell över belysningsområdet.....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 4</i>	<i>Fyra nivåer av kompetensutvecklingsbehov för belysningssektorn.....</i>	<i>27</i>
<i>Figur 5</i>	<i>Mobil flexibel pilotanläggning (MobiLED) för försök inom biologi, medicin och psykologi..</i>	<i>44</i>
<i>Figur 6</i>	<i>Växter tar nytta av ljus med olika våglängder, som drivkraft och informationskälla.....</i>	<i>47</i>
<i>Figur 7</i>	<i>Livscykelekonomi för en kortsiktig och en mer hållbar affärslogik</i>	<i>48</i>
<i>Figur 8</i>	<i>Risken för negativ långsiktig effekt på resursbasen på grund av kortsiktighet.....</i>	<i>53</i>
<i>Figur 9</i>	<i>Värdehöjande resursuppbyggnad genom affärsutveckling för olika utvecklingsvägar</i>	<i>53</i>
<i>Figur 10</i>	<i>Det är viktigt att göra sig intressant för flera olika former av intressenter.....</i>	<i>55</i>
<i>Figur 11</i>	<i>Faciliterande och blockerande funktioner i kedjan från teknikutveckling till marknad.</i>	<i>58</i>
<i>Figur 12</i>	<i>Ljusbåddocka för att mäta och visa upp kvalitativa och kvantitativa ljusegenskaper</i>	<i>62</i>
<i>Figur 13</i>	<i>Utvecklingsspiral för ständiga förbättringar i kvalitets- och miljöledningssystem</i>	<i>64</i>
<i>Figur 14</i>	<i>Diodens koppling till omgivningen; optiskt, elektriskt, mekaniskt och värme</i>	<i>68</i>
<i>Figur 15</i>	<i>QFD-matrisens uppbyggnad.....</i>	<i>70</i>
<i>Figur 16</i>	<i>Lysdiodens grundläggande funktion.</i>	<i>75</i>
<i>Figur 17</i>	<i>Belysningens värdeskapande är beroende av kompetens från flera områden</i>	<i>76</i>
<i>Figur 18</i>	<i>Simulator för att studera det visuella resultatet av olika former av belysningsstyrning.....</i>	<i>77</i>
<i>Figur 19</i>	<i>Utvecklingsspiral för att skapa tydlighet kring vad en fråga egentligen innebär</i>	<i>79</i>
<i>Figur 20</i>	<i>Kopplingen mellan dialog om en aktuell fråga och tvärvetenskaplig teori</i>	<i>80</i>
<i>Figur 21</i>	<i>Kopplingen mellan flervetenskaplig dialog och teoretiska grunder inom flera områden.....</i>	<i>80</i>
<i>Figur 22</i>	<i>Hållbar innovation och industridesign för att skapa mer hållbar belysning</i>	<i>81</i>
<i>Figur 23</i>	<i>Belysning har kopplingar till flera ämnesområden och samhällsaktörer</i>	<i>83</i>
<i>Figur 24</i>	<i>Växter och djur tar nytta av ljus med många olika våglängder</i>	<i>87</i>
<i>Figur 25</i>	<i>Samspel mellan flervetenskaplig forskning och utveckling inom olika områden</i>	<i>88</i>
<i>Tabell 1</i>	<i>Fyra fält med effekten av produktens och affärsmodellens relativa nivå av nytänkande.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabell 2</i>	<i>Den nuvarande och möjliga situationen för belysningssektorn i Sverige.</i>	<i>21</i>
<i>Tabell 3</i>	<i>Den svenska belysningssektorns värdeskapande och dess fördelning över värdekedjan.</i>	<i>82</i>
<i>Tabell 4</i>	<i>Dagens tankesätt i jämförelse med ett öppnare mer framtidsinriktat synsätt.</i>	<i>85</i>

Sammanfattning

Den svenska belysningsforskningen är inne i en spännande utvecklingsfas. Ny kunskap inom psykologi, medicin och biologi visar på ljusets och belysningens betydelse för människan, inom djurhållningen och inom jordbruket. Sverige har en tradition av att skapa god arbets- och boendemiljö, förstklassig forskning inom flera nyckelområden och erkänd förmåga att skapa högvärdiga systemlösningar. Detta ger unikt goda möjligheter att förbättra belysningen, spara el och utveckla och förnya belysningssektorn. Denna rapport är ett underlag för planeringen av ett forskningsprogram och fokuserar på behovet och möjligheten att stärka kunskapsgrunden för belysningssektorns förnyelse.

Internationellt görs det mycket stora satsningar på materialvetenskaplig forskning och utveckling av ljusrelaterad halvledarteknik. Sverige har stark tradition inom optisk halvledarfysik och satsningarna kring MAX IV och European Spallation Source, ESS ger möjlighet till utveckling av ledande optoelektronisk teknik. Synkrotronljuset ger möjlighet att se in i biologiska och medicinska nanoprocesser. Detta stärker möjligheten att bygga mer välgrundad förståelse kring det verkliga användarvärdet av avancerad belysning. Kopplingen till forskningsfronten inom materialvetenskap och nanoteknik stärker Sveriges möjlighet att ta en ledande roll i utvecklingen av hållbar belysning.

Tillväxten för LED gör att det internationellt satsas mycket på LED-relaterad affärsutveckling. Den snabba utvecklingen av sensorer och inom ICT möjliggör allt mer avancerade belysningslösningar. Belysningens kvalitet påverkar produktivitet, sammanhang, förståelse, lärande, trivsel, säkerhet, hälsa och välbefinnande. Kombinationen av de mångfacetterade möjligheterna gör att det finns stor potential för förnyelse. Betydelsen av bra ljus gör att den svenska belysningssektorns värdeskapande kan höjas med 15-25 miljarder kronor per år till 2017, om Sverige omgående mobiliserar en kraftfull satsning på mer avancerat nyttiggörande av den ledande belysningskunskapen och belysningstekniken. Samtidigt kan Sverige spara 6 TWh el/år, 2017, vilket motsvarar ca 6 miljarder kronor.

För att komma snabbare framåt med utveckling och introduktion av högkvalitativ belysning är det angeläget att skapa ett mer givande samspel mellan användare, media, entreprenörer, utbildare och forskare. Om Sverige omgående börjar investera mycket mer offensivt och om vi ofördröjligen satsar rejält finns det mycket stor utvecklingspotential för Sveriges belysningssektor, tekniskt, miljö- och affärsmässigt. Om vi inte investerar i utveckling av belysningssektorn är risken stor att andra mutar in de mest utvecklingsbara affärsområdena och att användarnas negativa upplevelser leder till missnöje.

Ljusets energi och information är grundläggande för de fotobiologiska reaktioner och sinnesintryck som möjliggör alla former av liv. Ljus och belysning har väsentliga kopplingar till flera vetenskapliga discipliner. Studiens arbetsform bygger på öppen dialog och ömsesidig respekt mellan olika ämnesområden. En stor del av inventeringen har inriktats på att finna relevanta personer som idag inte explicit arbetar med belysningsforskning. Vissa av deras kunskaper kan vara av stor betydelse för den kommande utvecklingen. Den medverkande gruppen har därför sedan 2009 kontinuerligt vidgats till att inkludera experter inom allt fler områden. Samtliga medverkande har, från sina olika utgångspunkter, sökt ytterligare kompetenser med potential att medverka till att höja nivån på Sveriges belysningsrelaterade forskning. Rapporten bygger på material från och dialog med 19 medförfattare som täcker en ämnesbredd från fysik och biologi, till estetik, psykologi och filosofi.

Arbetet med rapporten visar att det finns mycket inaktiv ljuskunskap, inom flera vetenskapliga områden. Den flervetenskapliga dialogen är intellektuellt stimulerande och vi gör bedömningen att den ökar förmågan att snabbt och effektivt ta mer relevanta grepp på viktiga forskningsfrågor. Belysning är både allmänmänniskt och tekniskt och kunskapsmässigt avancerat. För att utveckla samspelet mellan djupgående kunskap och tolkningar av användarnas behov och upplevelser är det önskvärt att skapa dialog mellan personer med olika former av perspektiv, tankesätt och erfarenheter. Det är önskvärt att involvera både personer som kan branschen och nytänkande entreprenörer, teoretiker och praktiker,

flera vetenskapliga perspektiv, kvinnor och män, äldre och yngre från flera kulturer. Belysning är ett område där det är viktigt med tankemässig mångfald och öppenhet.

Utmaningen är för det första att rätt avläsa och tolka användarnas behov. För det andra gäller det att utnyttja kunskap från vitt skilda vetenskapsområden. Det krävs grundläggande forskning, fallstudier, utbildningsinsatser och möjlighet att demonstrera nya produkter och system. Det krävs också – för det tredje – ett skickligt entreprenörskap och effektiv industridesign.

Det finns väsentlig, hittills nästan outnyttjad, ljusrelaterad kunskap inom biologi, medicin och psykologi. Analysen av det livsvetenskapliga fältet visar att det finns stor potential för positiv korsbefrukning mellan olika ämnesområden. Det finns potential för stora samhällsvinster genom att göra kunskapen mer användbar och motiverande för hela befolkningen. Det är viktigt att integrera inslag om belysning i alla nivåer av utbildningar, från forskarskolor, via akademiska, ingenjers- och andra professionsutbildningar och i flera former av fortbildningar. Det är vitalt att starta en process där vi informerar hela befolkningen om den moderna belysningsteknikens möjligheter och begränsningar. För att stärka förutsättningarna för en hållbar utveckling bör man uppmuntra användning av sådana systematiska arbetsformer att man förbättrar underbyggnaden för kontinuerligt, tillämpat och teoretiskt, lärande.

Den största potentialen att de närmaste åren åstadkomma en stor belysningsförbättring och energibesparing ligger i det existerande fastighetsbeståndet. Arbete med renovering leder också till en öppenhet i sökandet efter nya lösningar. Kompetensutveckling kring metodik för renovering kan därför öppna upp för mönsterbrytande förändring.

Det finns mycket att vinna på användaranpassad ljusplanering med huvudmålet att skapa bra ljus kvalitet. Belysningens kvalitet är viktig för att se varandra, det vi arbetar med och de rum vi fungerar i. I vissa situationer behöver vi mer ljus, i en hel del situationer finns det fördelar med låg ljusnivå. Dagens teknik ger stora möjligheter att skapa dynamisk belysning som genererar rätt ljus i rätt tid. Det är dock inte enkelt att förändra affärslogiken från att sälja mer ljus till att ta bättre betalt för verkligt bra ljus och öka ljusets värde genom att motverka slöseri med ljus.

För att Sverige skall ta en ledande roll i utvecklingen av hållbar belysning är det viktigt att skapa incitament och styrmedel för ett vidsynt framtidsinriktat lärande. Det är bråttom att komma igång med fler pilotinstallationer och teknikupphandling som möjliggör ett tidigt lärande kring den kommande teknikens möjligheter och problem. Man bör integrera kvalificerad miljökunskap i kärnan av de analyserande och beslutsfattande processerna. Utvecklingen bör inriktas på att skapa användaranpassad belysning och baseras på hållbarhetsinriktat systemtänkande kring fastigheternas belysnings- och energisystem.

För att olika aktörer på allvar skall satsa på förnyelse av belysningssektorn är det viktigt att tydliggöra belysningsfrågornas betydelse. Det är angeläget att se till att politiker, beslutsfattare och kunder förstår varför det är så väsentligt med bra belysning. För att höja motivationen att satsa på belysningsområdet behövs en tydlig nationell belysningsstrategi. För att uppnå trovärdighet för att satsningen är långsiktig är det viktigt att etablera någon form av bestående plattform och inte enbart satsa på tidsbegränsade projekt.

Förnyelse inom belysningssektorn ger stora fördelar både för miljön och för landets näringsliv och bör uppmuntras. Ljusrelaterad forskning bör samordnas nationellt och belysning bör formuleras som ett specifikt styrkeområde. Vinsterna av hälsofrämjande och produktiva ljusmiljöer i kombination med energieffektiviseringar är så pass stora att forskningsområdet bör prioriteras.

Förslag till riktlinjer

Forskningsprogrammet bör öppna upp för nytänkande kring hur Sveriges belysningssektor kan skapa mer värde genom att verka för en hållbar samhällsutveckling. Det möjliga värdeskapandet bygger på att göra belysningslösningar som ger en verklighetsnära bild av det vi arbetar med och de rum vi fungerar i. För speciella behov kan det ibland vara bra med mer ljus, t.ex. som läsljus för äldre, i andra fall är det tvärtom. En väsentlig del av det möjliga värdeskapandet ligger i att minimera alla former av slöseri, med ljus, elenergi och alla andra resurser. Som gemensam grund för programmets forskning och branschens utveckling är det önskvärt att:

1. Skapa samling kring en nationell strategi för utveckling av belysningsbranschen.
2. Bygga bred medvetenhet om den mänskligt väsentliga betydelsen av bra ljus.
3. Etablera arbetsformer som stärker användarnas möjligheter att artikulera sina behov.
4. Utveckla en begreppsapparat och kompletterande mätvärden för fler ljuskvaliteter.
5. Skapa förutsättningar för effektivt arbete med fallstudier med olika belysningslösningar.
6. Öka den samlade nyttan av kunskap från alla områden som har anknytning till ljus.
7. Profilera Sverige som en ledande nation inom användaranpassad belysning.

Förslag på konkreta åtgärder

Sverige bör skapa förutsättningar för utvecklingsinriktat samspel mellan användare, media, entreprenörer, utbildare och forskare. Det är vitalt att:

- Stärka förmågan att identifiera frågor som har potential att bli verkligt väsentliga för branschens utveckling. Tre betydande aspekter är att Sverige har en åldrande befolkning, skolmiljöer med outvecklad belysning och en mörk vinter. Ett exempel på konkret fråga är att det förekommer många påståenden om att LED-lampor ger bättre seende än glödlampor, vid ett och samma lumenvärde. Sådana påståenden bör beforskas.
- Skapa sådana projekt, demonstrations- och försöksanläggningar att ”användarna” kommer med som en tongivande part i läroprocessen. Det är viktigt att satsa på teknikupphandling för HiFi-ljus och ny belysningsteknik. Ett väsentligt område för att komma framåt med detta är att satsa på belysning för offentliga miljöer.
- Involvera aktörer inom teknikområden där Sverige ligger långt framme, t.ex. användarvänliga styrsystem och optoelektronisk kunskap.
- Stärka möjligheterna att testa nya belysningskomponenter och utveckla former för att märka och utbyta information om olika belysningsprodukter.
- Skapa en starkare nationell gruppering som tar en drivande och samlande roll i att aktivera, utveckla och kommunicera fler former av ljuskunskap. Generellt sett är det viktigt att stimulera till närmare och mer intensiva internationella kontakter och konkret samarbete

Tre förslag på konkreta åtgärder för att stärka förutsättningarna för effektiv forskning:

1. Ljuslaboratorium

För att på ett effektivt och kontrollerat sätt kunna arbeta med ingående studier och för att ha närhet till kontakt med flera forskare är det önskvärt att skapa ett ljuslaboratorium med flexibel möjlighet att variera och styra belysningen och med utrusning för kontinuerlig automatisk mätning av ljuset och ljusrelaterade effekter, se avsnitt 3.4.

2. Effektiva fallstudielokaler

Det är viktigt att göra fallstudier och det görs en hel del t.ex. på skolor och sjukhus. Det är dock kostsamt och ofta tidsödande att göra fallstudier. För att möjliggöra mer givande studier är det önskvärt att skapa förutsättningar för effektivt fallstudiearbete, t.ex. i växthus, se 3.4.1 och på en vårdavdelning, se avsnitt 3.4.2.

3. Ljusbilddocka

För att öppna upp för hållbar belysningsutveckling är det viktigt att ge belysningskvalitet den nödvändiga påtaglighet och fysiska begriplighet som belysningsfrågan saknar idag. Det är viktigt att kunna beskriva och mäta en ljusmiljö på ett helhetsmässigt relevant sätt och med konkret information om flera aspekter, se avsnitt 4.7.1.

Executive Summary

Lighting is a major sustainability concern. On a global level, access to electrical lighting is a vital prerequisite for a modern standard of living. Night time production has been one of the main factors behind the surplus that has enabled investments, for examples in the factories, hospitals and schools that characterize wealthy societies. There is a lot to gain when the children can start to read and do their homework in the evening. However, the global electricity consumption for lighting is in the order of 3000 TWh and ever more lighting is being installed. Furthermore, some light sources contain environmentally questionable materials and scarce resources, e.g. all fluorescent tubes contain mercury. Light pollution is starting to be noticed as an environmental issue and the total human effect of continuously lighted modern lifestyle is difficult to assess.

The energy and information that is carried by light is fundamental for the photo-biological processes that enable all kinds of life. This report has a foundation in multidisciplinary studies of the development potential for light related research. One aspect is that there is great technical potential for development of advanced lighting solutions. Another aspect is that the effects of various kinds of light, on plants and humans, can be studied in more advanced case studies that have become comparatively easy to arrange by means of new, primarily LED-based, light sources, sensors and ICT, for control and data acquisition. Furthermore, advanced light based research facilities, like Lund's synchrotron light laboratory Max IV, can be used for high resolution studies of light related characteristics within various kinds of materials. The nano-scale development of light generating technologies enables effective production of various kinds of light and the nano-scale imaging of the interiors of matter can be used to advance understanding of photo-biological processes and effects.

The development is now very rapid for light related technologies. LED based luminaries' have great development potential. Their optical characteristics make it feasible to dynamically vary the light in a room so that each different part of the room gets its appropriate light level, with a suitable direction and spectral distribution. Furthermore, LED can be used to save 80-90% of the electricity that is being used for a specific application. This has been noticed by numerous business actors and authorities that have created strong drivers for renewal of the lighting sector, e.g. the EU Ecodesign Directive. It is essential to avoid and stop ineffective use of light. Lighting that doesn't work in an appropriate way is always a waste of resources and a meaningless environmental load. Wasteful use of light is ineffective and production of disturbing light, e.g. glare, is a double waste.

To enable introduction of eco-effective lighting it is indispensable to develop high quality lighting solutions that are, or at least can be made, truly attractive for a sufficient number of customers and users. To create such awareness that it becomes possible to promote high quality lighting it is crucial to clarify the actual need for various kinds of light properties, for each specific situation.

Sweden has a long tradition of high ambition to provide a good quality of life, domestically and in work environments. Lighting is one main aspect of this quality-oriented focus on the user needs and sustainable solutions. The building sector and facility management is working in accordance with established standards for appropriate lighting. During the winter we do not have much day-light in Sweden and consequently lighting is important during the dark season. Most Swedes are used to a relatively high quality of lighting. Many Swedes started to use high quality fluorescent tubes fairly early and also started to use compact fluorescent tubes quite early. However, there has been a fair bit of frustration regarding the quality of the low energy "lamps". Quite a number of people think their color rendering properties are unsatisfactory, they give too little light, their startup is too slow and the life-time is too short. This has been noted and one example of action is that in 2008 the Swedish Energy Agency initiated a research program on energy efficient lighting in a human perspective. Sweden now has a growing number of research projects on sustainable lighting.

The most obvious goal for this initiative is to save energy. However it is emphasized that the quality of lighting and customer satisfaction are imperative for a smooth introduction of new more sustainable lighting. The quality of light is a multifaceted issue and consequently there is a need for multidisciplinary research. The group of authors for this report includes researchers from physics, biology, medicine, psychology, architecture and design. The multidisciplinary dialogue draws attention to numerous similarities between what is being noted in different subject areas, regarding the buildup of biological sensor systems for light and also in the signal processing. Biologists have in-depth knowledge about the plant's light receptors and how various kinds of light influence various kinds of plants, in different respects, for example how they shape their growth and when they start flowering. Physicists have in-depth knowledge about the opto-electronic properties for various materials. Doctors and researchers in medicine have experience and statistics regarding human health and light related parameters, like vitamin D and melatonin. The multidisciplinary dialogues often show that a number of the basic elements and processes are fairly similar from a biological and medical point of view. From an evolutionary point of view it is quite natural that parts of the signal processing that evolved in early organisms has been transferred to ever more plants and animals. It is also interesting to note that people in design, architecture and psychology are observing the effects from similar light related processes.

There is a lot of noteworthy, so far almost unused, light related knowledge in biology, medicine and psychology. This report shows that there is great potential for sustainability oriented learning through interdisciplinary dialogue between different scientific fields. It is crucial to build awareness about the importance of high quality lighting, e.g. as a stimulus for activity in nursing homes and for the pedagogical results in schools. The amount, distribution and characteristics of light is important for our ability to see each other's facial expressions, the tasks we are reading and working with and to perceive the rooms where we are.

Lighting is a general concern for everybody and also an advanced technical subject area. To promote a user adapted introduction of the new technology there is a need for renewal oriented interplay between advanced scientific knowledge, in several fields, and interpretations of the users' needs and wants. There is a need to engage people with different perspectives, thinking and experience. It is desirable to involve both people who know the industry and also innovative entrepreneurs, academics and practitioners, several scientific perspectives, men and women, young and old from many cultures. Lighting is an area where intellectual diversity and openness are essential to create mutual learning for sustainable societal development.

... Martin älskade dessa gröna lampor, som icke hettade och icke luktade illa och vilkas ljus hade ädelstenens rena och kalla glans, och han längtade efter den dag, då det elektriska ljuset skulle bli billigt nog att tränga ända ned till de fattigas hem.

Hjalmar Söderberg (1869-1941), Martin Bircks ungdom

Vision: Sverige är ledande på hållbar belysning.

Arbetsplatser och miljöer i Sverige har belysningslösningar som främjar produktivitet, välbefinnande och hälsa. Vi är ledande på att klargöra betydelsen av bra ljus och att introducera och bygga gedigen systemförståelse kring kommande former av belysningsteknik.

1. Inledning

De nu ledande personerna inom den internationella belysningsorganisationen CIE framhåller att det är viktigt att börja hantera de ljusrelaterade frågorna på ett mer sammanhängande sätt. De standards för belysning på arbetsplatser som har kommit de senaste tio åren betonar att det är viktigt att samtidigt tänka på flera olika aspekter för att kunna skapa en bra ljuskvalitet.

Sverige har en stark tradition som föregångsland när det gäller miljöanpassad belysning på arbetsplatser. Vi har haft internationellt ledande ljusforskning och det finns fortfarande nätverk med mycket ljusintresserade personer, t.ex. i Stockholmsregionen. Under 1990-talet var dock belysning inte något prioriterat område och Sverige satsade knappast på forskning och utbildning.

För fem år sedan genomförde Energimyndigheten en inventering och fann ett utbildningskluster i Jönköping och ett forskningskluster i Lund. Emellertid täckte inte dessa båda miljöer in hela det flervetenskapliga området Belysning. En centrumbildning (Ceebel) skapades inom programmets ram med syfte att koordinera, informera om och sprida forskning för att underlätta samverkan mellan olika forskningsmiljöer. Som en del i detta engagerades stiftelsen TEM vid Lunds Universitet speciellt med avsikt att involvera andra aktörer i det fortsatta arbetet. Under våren 2009 arrangerades ett seminarium där forskare från olika discipliner med relation till belysning var inbjudna, men också branschmänniskor och olika avnämare som fastighetsförvaltare och myndigheter. Detta seminarium blev mycket uppskattat av de medverkande och ledde fram till att en flervetenskaplig grupp bildades vid Lunds Universitet. Det fortsatta arbetet har inom detta projekt varit inriktat mot att vidga kretsen till fler universitet och högskolor. De första stegen mot en nationellt samordnad belysningsforskning har tagits.

1.1 Värdet av bra belysning

Ljusets energi och information är grundläggande för de fotokemiska och fotobiologiska reaktioner och sinnesintryck som möjliggör alla former av liv. Belysningens kvalitet påverkar produktivitet, sammanhang, förståelse, lärande, trivsel, arbetsrelaterade risker och hälsa. Bra belysning är ett kostnadseffektivt verktyg för att skapa bra arbetsmiljöer och felaktig belysning gör att människor mår dåligt. Eftersom personalkostnaden i de flesta verksamheter är mycket större än kostnaden för belysningsutrustning kan man få mycket hög uppväxling på det som investeras i bra belysning. Samtidigt som arbetsmiljön förbättras kan man med modern teknik ofta spara mycket el och underhållsarbete. När man inkluderar arbetsmiljöns betydelse för produktiviteten i livscykelkalkylen är det påtagligt att det finns mycket att vinna på att satsa på bra belysningslösningar.

De nya tekniska möjligheterna och kunskapen om ljusets funktionella, upplevelse- och trivselmässiga betydelse gör att projektgruppen gör bedömningen att verkligt bra belysningslösningar totalt sett kan

ge 2-5 gånger så stort värdeskapande som dagens belysningskvalitet. Det är svårt att mäta värdet av bra ljus men om man antar att människor agerar rationellt är det rimligt att kunderna lägger lika mycket pengar på belysning som vad den resulterande belysningen är värd för dem. Man kan då använda sektorns omsättning som ett mått på värdeskapandet. Försäljningen av armaturer och ljuskällor till professionella användare uppgår till 2,5-3 miljarder kr/år. Den privata marknadens omsättning kan uppskattas till 1 miljard. Dessutom utförs det en hel del belysningsrelaterat arbete inom fastighetssektorn och av t.ex. elkonsulter och elektriker. Detta innebär att Sveriges belysningssektor totalt omsätter 5-7 miljarder/år. Eftersom belysningen kan göras mer funktionell och attraktiv för brukarna och även mer värdeskapande för samhället blir det beräknade resultatet att belysningssektorns värdeskapande kan förbättras med 5-30 miljarder/år. Samtidigt som belysningens brukar- och samhällsvärde kan förbättras väsentligt ser vi en möjlighet att 2017 spara 6 TWh/år, vilket kan värderas till storleksordningen 6 miljarder kronor per år. Som jämförelse kan nämnas att den svenska vindkraften nu producerar 4 TWh.

Totalt sett räknar vi med att en rejäl satsning på snabbt komponent nyttiggörande av den nya belysningsteknikens potential kan bygga grund för en möjlig total samhällsvinst i storleksordningen 15-25 miljarder kronor år 2017. Om tekniken och kunnandet kan kommersialiseras i form av produkter och tjänster, som görs värdefulla i attraktiva systemlösningar, och som fungerar bra på den internationella marknaden kan Sveriges vinst bli ännu större. Om systemlösningarna kopieras kan en rejäl svensk belysningssatsning resultera i ett ännu viktigare bidrag till en hållbar global utveckling.

Arkitektur och belysning är sedan gammalt en betydelsefull metod att skapa stämningsfulla miljöer. De senaste belysningsmässiga utvecklingsprången kan kopplas till introduktionerna av glödlampor och lysrör. Det växer nu fram tekniska möjligheter att skapa ett mer dynamiskt användar- och situationsanpassat ljus på allt mer förfinade sätt. För att åstadkomma en hållbar affärsutveckling är det grundläggande att utgå från gedigen förståelse av användarnas verkliga och upplevda behov; affärsmässigt sett och ur ett samhällsperspektiv. Det förstnämnda för att möjliggöra utveckling av sunda företag och det senare som vägledning för belysningsutveckling som ger bra funktion, folkhälsa och estetiskt tilltalande miljöer.

Sverige har en stark tradition av hållbarhetsinriktad systemutveckling. Svenska aktörer tog tidigt ledande initiativ för att skapa bra bostadsmiljöer, arbetsmiljöer och styrmedel med inriktning på att förbättra brukarnas möjligheter att köpa välfungerande produkter.

Denna rapport presenterar den potential av vetenskaplig kompetens som kan aktiveras för att öka nyttan av den nya belysningstekniken. Som en benämning på ljus som ger goda förutsättningar att se varandra, det vi arbetar med och de rum vi fungerar i har vi inom projektet börjat använda HiFi-ljus. High Fidelity betyder trohet till originalet. Benämningen används i överförd bemärkelse analogt med HiFi-ljud och fokuserar på högkvalitativ belysning som ger möjlighet att se världen som den är.

1.2 Teoretiska utgångspunkter

För att bättre förstå och för att kunna utveckla belysningsområdet behövs som ovan beskrivits kunskap från flera olika områden. Det behövs också ett teoretiskt resonemang kring förändringsarbete. När det gäller samverkan mellan vetenskapliga discipliner har detta teoretiskt bearbetas framför allt inom den vetenskapsteoretiska disciplinen. Begrepp som tvärvetenskap och flervetenskap har använts flitigt, men inte alltid definierats på ett klart och entydigt sätt. I detta arbete utgår vi från (Michaud et al., 1972) och den taxonomi som de utvecklat avseende hur olika vetenskaper arbetar tillsammans. Vidare är den epistemologiska definitionen också av betydelse då det handlar om att föra samman akademisk kunskap med praktiskt värdeskapande. Bromberg (1984) talar om två källor till kunskapsproduktion, en som är helt nyfikenhetsinriktad (grundforskning) och en som har ett värde för tillämpning i praktiken (tillämpad forskning). Den tillämpade forskningen är speciellt lämpad för flervetenskap då

olika praktiska frågeställningarna har anknytning till olika ämnesområden. Frågeställningarna emanerar inte ur en teori utan från verkligheten. Detta medför att frågor bör belysas i relation till flera olika vetenskapliga discipliner och att det inte är lämpligt att utveckla en ny tvärvetenskaplig teori för varje ny frågeställning. Mer koncentrerade satsningar på gränsöverskridande forskning och uppstod för första gången i USA på 1930-talet. Samverkan kan idag beskrivas på flera sätt beroende på hur nära de olika vetenskaperna ligger varandra utifrån ett ontologiskt och metodologiskt perspektiv. En vedertagen definition när vetenskaper arbetar sida vid sida utan att för den skull ta över varandras metoder och kunskapssyn brukar kallas flervetenskaplig, medan mer närliggande vetenskapers samverkan där man lånar metoder och arbetssätt kallas för pluridisciplinär. Det finns också tvärvetenskaplighet som innebär att en disciplin överför sina metoder och arbetssätt till en annan disciplin. Slutligen finns transdisciplinäritet där två eller flera vetenskaper slås samman och får en gemensam ontologisk grund (Michaud et al 1972). I denna rapport tar vi en utgångspunkt i den flervetenskapliga ansatsen.

Den andra teoretiska utgångspunkten handlar om innovation och nytänkande. Det använda perspektivet har en utgångspunkt i forskning om förändringsmotstånd, se t.ex. (Christensen, 1997). För att kunna göra väsentliga förbättringar är det naturligtvis viktigt att ha gedigen kunskap om den nya formen av möjlighet och att ha tillgång till resurser. Även om man har detta är det dock inte enkelt att åstadkomma förnyelse.

Christensen förklarar på ett pedagogiskt sätt varför kunniga personer och företag har särskilt stor benägenhet att försöka fortsätta med det de är duktiga på. En grundläggande anledning ligger i den allmänmänniska benägenheten att fortsätta använda det tankesätt man känner sig trygg med. De som har ledande kunskap om ett visst område vill dessutom fortsätta vara ledande och därför har de särskilt stor benägenhet att fortsätta använda den tankegrund som de är så bra på. Denna form av mekanism ingår i flera former av förändringsmotstånd och är en anledning till att det är så svårt att åstadkomma olika nivåer av ”paradigmskiften”.

För att få en begriplig bild av möjligheten för och hindren mot förnyelse väljer vi här att beskriva hur olika former av affärsaktörer kan arbeta med att introducera nya lösningar. Tabell 1 bygger på teori för innovativ affärsutveckling, se t.ex. (Trott, 1995) och beskriver för- och nackdelar med olika kombinationer av nya och etablerade, produkter och affärsaktörer. För att åstadkomma och långsiktigt upprätthålla en hög nivå av värdeskapande är det viktigt med en tillräcklig nivå av nytänkande och arbete med att utveckla nya lösningar. För att kunna komma igång med något nytt krävs det investeringar. På dagens marknad bör man ha nära kontakt med kunderna, eftersom en stor del av värdeskapandet ligger i affärsleden nära kunderna. För att kunna ta bra betalt är det viktigt att presentera någon form av nyhetsvärde som skapar nytt mänskligt väsentligt och attraktivt mervärde.

Tabell 1 Fyra fält som beskriver den resulterande kombinerade effekten av produktens och affärsmodellens relativa nivå av nytänkande.

Nya produkter, med en ny form av högre mervärde	Ser ut att vara en bra kombination, men etablerade aktörer har svårt att förändra sin affärslogik.	Innovationsmässigt intressant, i vart fall som en grund för lärande. Dock svårt att komma igång med.
Etablerade produkter och effektiviserad produktion	Tenderar att utvecklas till volymproduktion med låg nivå av specifikt mervärdesskapande.	Bygger ofta på att sänka kundernas pris och pressar då de etablerade producenternas priser ännu mer.
	Etablerade affärsaktörer	Ny affärsmodell, nya affärsaktörer

En etablerad aktör har som regel svårt att flytta fokus till nya former av mervärden. Etablerade företag har svårt att ändra sin marknadsprofil till att betona nya faktorer som inte stämmer med företagets etablerade profil. Etablerade experter tenderar att vara skeptiska till lösningar som ligger utanför det kunskapsområde de arbetar med. Forskare inom etablerade ämnesområden har traditionellt sett haft svårt att ta egen vetenskaplig nytta av kunskap från andra ämnesområden. Denna rapport belyser behovet av flervetenskaplig dialog och möjligheten att skapa en arbetsform som förbättrar de deltagande aktörernas möjlighet att skapa gemensamma resultat och samtidigt ta egen nytta av flervetenskapligt samarbete.

1.3 Syfte

Rapporten avser att klargöra hur en utvecklad forskningssatsning kan förbättra förutsättningarna för en snabb seriös affärsutveckling för belysningslösningar som sparar energi och befrämjar funktion, hälsa och välbefinnande.

1.4 Metod

1.4.1 Gränsöverskridande forskning

Det viktigaste målet med den belysningsrelaterade forskningsuppbyggnaden är att höja förmågan att ta kombinerad nytta av kunskap från flera olika vetenskapsområden. För att nå målet ser vi ett flervetenskapligt angreppssätt som essentiellt. Det som kännetecknar ett sådant förhållningssätt är:

1. Att kombinera kunskap från olika ämnesområden till flervetenskaplig teoribildning och flervetenskapliga tolkningar av praktiskt baserade observationer.
2. Att utveckla en arbetsmetod för flervetenskaplig forskning, gränsöverskridande dialog och samarbete.

Denna rapport fokuserar på att ge en flervetenskaplig bild av olika former av ljusrelaterad kunskap, punkt 1 ovan. Projektet är en kartläggning av utvecklingssituationen för Sveriges belysningsrelaterade kompetensutveckling.

Arbetet med att ta fram rapporten bygger på en flervetenskaplig forskningsmetodik. Genom att kombinera kunskap från olika områden har vi skapat en mer innehållsrik och delvis ny bild av hur situationen ser ut. Vi har involverat kompetens och aktörer från olika områden i läroprocessen. Vetenskapligt kan detta beskrivas som abduktiv forskning eller aktionsforskning. Projektets arbetsform avser att förbättra förutsättningarna för kompetent och förnyelseinriktat samarbete.

Samtidigt som vi tar fram en tydligare karta över den belysningsrelaterade kunskapen och den möjliga kompetensutvecklingen studerar och dokumenterar vi också samtidigt hur vi gör och borde göra för att åstadkomma ett sådant gemensamt lärande att vi skapar en tydligare och mer användbar gemensam ”karta” över belysningskompetensen. Kapitel 6, *Betydelsen av flervetenskaplig arbetsmetodik* beskriver projektets lärdomar kring hur man kan arbeta med den här formen av processer och varför den här formen av arbetsprocess är så viktig. Huvuddelen av rapporten beskriver den ”karta” över den belysningsrelaterade kompetensutvecklingssituationen som projektet har tagit fram.

1.4.2 Projektets arbetsmetodik

Projektets arbetsform bygger på öppen dialog och ömsesidig respekt mellan olika ämnesområden. Utgångspunkten har varit att hela tiden eftersträva ett fritt förutsättningslöst sökande efter alla former av akademisk kompetens som skulle kunna användas för att vidareutveckla forskningsområdet. Detta innebär att en stor del av sökandet har inriktats på att finna de personer som idag inte explicit arbetar med belysningsforskning. Deras kunskaper kan vara av stor betydelse för utveckling av ämnet. Vi har därför inte enbart nöjt oss med en inventering utan vi har valt att i en process möta de forskare som har kunskap som kan vara användbar för belysningsrelaterad utveckling och talat med dem om deras visioner och önskemål för framtiden. Därifrån har vi kommit i kontakt med andra intressenter vilka vi fört samman med de tidigare nämnda. Genom seminarier där dessa kompetenser mötts har vi fått insikt i både belysningsbranschens som avnämarnas behov. Genom att arbeta på detta sätt och låta de olika företrädarna beskriva sin situation och sin syn har vi därefter gått vidare med en grupp forskare som i ett fördjupat seminariearbete behandlat frågan om utvecklingspotentialen för svensk belysning. Bland annat har vi då också genomfört en modellutveckling som ett led i förståelsen. Vi har på så sätt försökt lyfta oss över att enbart beskriva pågående och tänkta forskningsprojekt inom området och strävat efter att förstå den generella kunskapsgrunden och de mekanismer som kan förbättra förutsättningarna för en positiv utveckling av den svenska belysningssektorn.

En grundläggande faktor som vi noterade under projektets inledning är att seendets grundfunktion bygger på dynamik och kontraster. Vi noterade också att den formen av aspekter knappast är med i dagens metoder för att beskriva och mäta ljus. Under projektet har vi därför varit observanta på när och hur det kan finnas anledning bredda tankesättet kring ljuskvalitet. Gruppen har arbetat med underlag för rapporten under en period av elva månader och haft sju gemensamma seminarier. Undergrupper från fälten humanvetenskap, naturvetenskap och teknik har arbetat i nära kontakt och olika delfrågor har diskuterats i mindre grupper. Fyra av författarna har besökt forskare vid KTH, Chalmers, Karolinska, Konstfack, Umeå och Skellefteå. Vi har haft kontakter med såväl alla svenska belysningsforskare vi har funnit, ett antal ledande personer vid de tekniska högskolorna och hela tiden har vi på ett öppet sätt sökt kontakt med personer inom ett flertal ämnesområden. Sökandet har inte begränsats till dem som forskar om belysning. Ambitionen har snarare varit att på ett öppet sätt söka kontakt med alla forskare som har någon form av ljusrelaterade kunskaper och intressen. Alla författarna har skrivit olika deltexter som sedan i tre steg har redigrats samman, först till separata kapitel, sedan till en första sammanhängande rapport och sedan till den nuvarande versionen med huvudkapiteln om Ljus och liv, Hållbar innovation och Teknikutveckling. De enskilda forskarna och grupperna har gjort en litteraturgenomgång för sina respektive områden och beskrivit varje områdes forskningsfront. De olika kapitlen och den kompletta rapporten har granskats och kommenterats i flera steg, av alla författarna.

De pågående svenska belysningsrelaterade forskningsprojekten och utbildningarna har inventerats i en tidigare studie (Karlsson & Laike, 2010).

1.5 Avgränsningar

Rapporten fokuserar på att beskriva ett perspektiv och ett antal ämnesområden som är viktiga för att höja nivån på Sveriges belysningsrelaterade flervetenskapliga forskning. En sida av detta är att ta in den akademiskt ledande kunskapen i tillämpade forskningsprojekt. Den andra sidan är att arbeta på ett sådant sätt att programmets forskningsprojekt bidrar till att höja den akademiska nivån på de grundläggande ämneskunskaper som kan bli viktiga för den belysningsrelaterade forskningen.

Beskrivningen i kapitlen 3, 4 och 5 har strukturerats för att beskriva det belyningsrelaterade värdet av samordnad kompetensutveckling inom de tre ämnesområdena livsvetenskap, innovation och teknik. Kapitlen handlar om hur forskningen kan användas och förbättras. Exempelvis handlar kapitalet om hållbar innovation om några former av kunskapsutveckling som är viktiga för att möjliggöra mer kompetent och givande entreprenörskap. Rapporten beskriver också hur forskningen kan samspela med innovativa företag och samhällsaktörer, exempelvis genom tillämpad forskning och fallstudier.

Kapitel 2 beskriver hur man kan stärka grunden för förnyelseinriktat samarbete, bl.a. mellan forskning och praktiskt verksamma teknik- och affärsutvecklare. Kapitlet behandlar behovet av och i viss mån hur man kan arbeta med begreppsutveckling och utbildning.

I arbetet för denna rapport har vi pratat med handplockade personer inom flera svenska forsknings- och utbildningsorganisationer. Vi har sökt kompetens, arbetsformer och satsningar som det kan vara intressant att knyta an till i den fortsatta utvecklingen av forskningsprogrammet om energieffektiv belysning. Det finns stor och belyningsmässigt potentiellt väsentlig kunskap inom livsvetenskaperna. Denna är dock inte organiserad med fokus på belysning och vi har därför valt att gå djupare och beskriva den mer generella kunskapsgrunden. Projektgruppens deltagare har tagit en hel del kontakter, till stor del informellt, och analyserat hur t.ex. Karolinska institutet skulle kunna medverka och inkluderat sådana aspekter i hela rapporten. Vi har inte direkt involverat alla Sveriges starka forskningsaktörer inom biologi, medicin och psykologi i processen med att ta fram denna rapport.

Utöver de presenterade områdena kan det vara berikande att involvera forskning från fler human- och samhällsvetenskaper, t.ex. beteendevetenskaper som sociologi och pedagogik, i en del aktiviteter och forskningsprojekt. Rapporten analyserar i begränsad omfattning hur man skulle kunna organisera en mer aktiv samverkan med innovativa affärsaktörer och tar i viss mån upp den sidan av de möjliga fördelarna med att skapa ett kompetenscentrum, institut eller innovationssystem.

1.6 Rapportens innehåll

Möjligheten till ett mer värdeskapande utvecklingssprång bygger på att det nu börjar bli ekonomiskt intressant att ta nytta av nya former av teknik, främst LED. Sverige ligger bra framme inom materialvetenskaplig forskning med anknytning till LED. Den forskningen ligger dock till största delen inom andra forskningsprogram och LED-området beskrivs därför bara kortfattat i kapitel 5.

Det är fundamentalt att bygga vetenskaplig kunskap som utvecklar grunden för att tolka användarnas verkliga behov. Det här områdets fundamentala betydelse gör att vi har inkluderat en djupgående översikt av kunskapsgrunden inom biologi, medicin och psykologi, se kapitel 3.

Kompetensbehoven för att ta mer värdeskapande och hållbar samhällsnytta av de grundläggande förutsättningarna beskrivs i kapitel 5, om behovet av teknisk systemutveckling och kapitel 4 som beskriver behovet av förnyelseinriktad begrepps- och affärsutveckling.

Hållbarhetsmässigt är det viktigt att hushålla med energi och miljöresurser. För att få igång en process som ökar möjligheten för sund förnyelse av belysningssektorn är det grundläggande att klargöra vilket ljus människor behöver och vill ha. Ur detta perspektiv kan man betrakta kunskaperna om *Liv och ljus* som en vetenskaplig grund för att kunna tolka det verkliga värdet av olika former av ljus, d.v.s. som en grund för fördjupad marknadsanalys för olika former av belysningslösningar. De tre punkterna nedan ger en läsanvisning med koppling till Energimyndighetens ambition att verka för belysningsutveckling som integrerar användarnas belysningskvalitet, energieffektivitet och miljö.

1.6.1 Belysningskvalitet

Under de senaste decennierna har det vuxit fram ny väsentlig kunskap om hur människans livsmöjlighet påverkas av ljus och oljus. Det finns nya kunskaper om hur synen och perceptionen fungerar. Introduktionen av nya former av belysning och allt mer avancerade verktyg för att mäta hur människor reagerar på olika former av ljus ger ny kunskap om belysningens direkta och indirekta funktionella effekter. Forskarna har också konstaterat att det finns ickevisuella effekter som är väsentliga, både medicinskt och psykologiskt. Det finns motiv och grund för att ta fram nya begrepp och mätetal för att beskriva ”bra ljus”.

Några av den svenska belysningssektorns ledande aktörer har börjat arbeta på att höja kunskapen om betydelsen av belysningskvalitet. Två exempel är att Ljuskultur föreslår att vi inför begreppet ”Ljuskvalitet” <http://www.ljuskultur.se/fakta-och-miljo/belysningsplanering/krav-pa-bra-belysning> och att Fagerhult presenterar förslag att använda kvalitetsindex som inkluderar flera faktorer <http://np.netpublicator.com/netpublication/n64913491>.

Kapitel 3 beskriver den vetenskapliga grunden för att kunna tolka användarnas egentliga behov. Avsnitten 2.3 och 2.4 förklarar behovet att översätta de grundläggande kunskaperna till användbara begrepp och mätetal. Avsnitt 5.2 förklarar den tekniska ljusfördelningens betydelse.

1.6.2 Energieffektivitet

Teoretiskt sett är den ljusmängd som ögat egentligen behöver för att skapa en bra synupplevelse försumbar i förhållande till de ljusmängder som alstras med dagens ljuskällor. En avsevärd del av dagens belysning gör knappast någon nytta och orsakar även oljus som försämrar möjligheten att se. Det finns stora möjligheter att spara el genom att använda modern avancerad teknik för att på ett dynamiskt sätt anpassa ljuset till användarnas behov. De nya ljuskällorna ger dessutom mycket mer ljus per W än dagens mest använda ljuskällor.

Kapitel 5 beskriver möjligheter att utveckla mer effektiva tekniska systemlösningar. Avsnitt 5.6 förklarar de grundläggande ljusgenererande processernas möjliga effektivitet och avsnitt 4.2.3 förklarar ljusets teoretiska roll i en fastighets energiomsättning.

1.6.3 Miljö

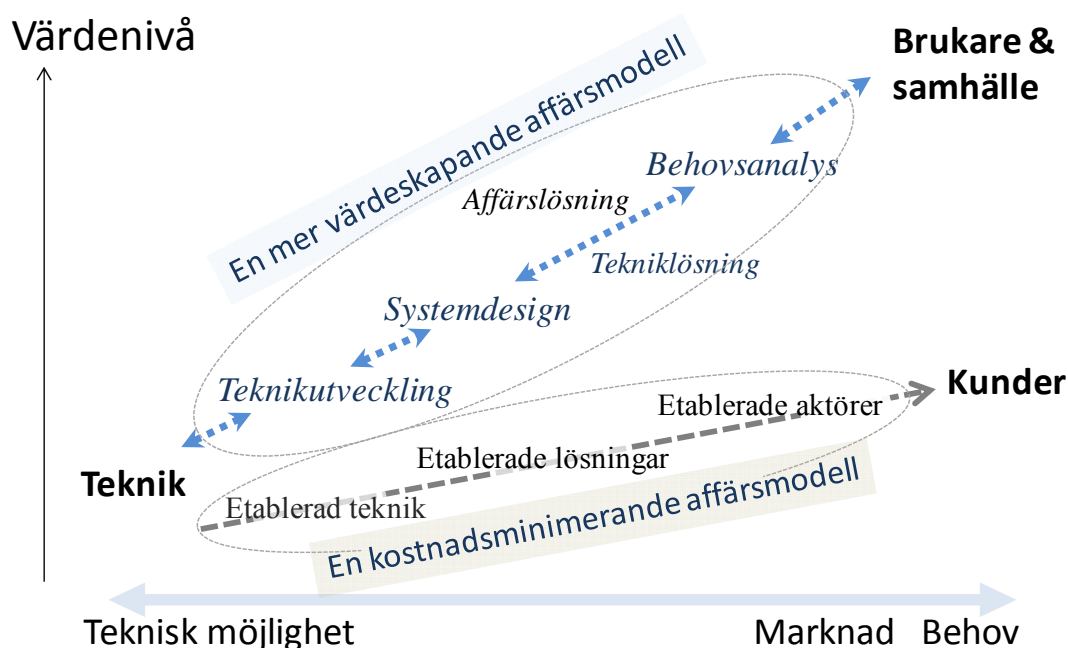
Energiförbrukningen är en viktig faktor för ljuskällornas miljöpåverkan, men andra faktorer som materialval, utvinnings- och produktionstekniker, tillämpningen av miljöteknik i olika led av livscykeln, omfattningen och formen för transporter, produktutformningen och det slutliga omhändertagandet är också väsentliga. Avsnitt 4.2 diskuterar dessa utmaningar och behovet av att på ett integrerat sätt se på energi- och miljöfrågor såväl när det gäller företagsinternt arbete, som för samhällets användning av olika styrmedel. Medan grundläggande kunskap när det gäller miljöeffekter och systemanalytisk forskning är väsentlig för vår förståelse finns det ett väsentligt behov av forskning som fokuserar på hur företagen och samhället vidareutvecklar sina verktyg och styrmedel för att förbättra förmågan att förhålla sig till olika hållbarhetsutmaningar. Avsnitt 4.5 behandlar styrmedel, och Figur 7 i inledningen kapitel 4 beskriver grunden för livscykelutvärderande. Hela rapporten bygger på en flervetenskaplig tankemodell.

Framtidsinriktade länder och företag intresserar sig allt mer för belysningsrelaterad teknik- och affärsutveckling. Det finns starka skäl för en snabb introduktion av den nya tekniken. Samtidigt finns det risk att allt för hastig introduktion av nya former av ljuskällor leder till en negativ uppfattning om den nya tekniken. Det finns också risk att en utbredd användning av nya ovanliga material och oprövade ljuslösningar leder till oförutsedda miljökonsekvenser och hälsorisker. De aktörer som agerar snabbt och klarar att hantera de nya möjligheterna på ett kompetent, lagom visst och långsiktigt sätt kan ta mycket viktiga och lönsamma roller för en hållbar samhällsutveckling.

2. Verksamhetsutveckling

2.1 Beskrivning av Sveriges belysningsbransch

Belysningssektorn borde kunna ta fram och installera mer högkvalitativa belysningslösningar, som ger dynamisk situations- och användaranpassad belysning, och som totalt sett är enklare och mer ekonomiska att styra och underhålla. Den övre ”kedjan” i Figur 1 visar några arbetsmoment som kan bidra till utveckling av en mer värdeskapande affärsmodell. Den nedre ”linjen” illustrerar en kostnadsminimerande affärsmodell, vilket är en viktig aspekt inom dagens belysningssektor.



Figur 1 Affärssystemets totala värdeskapande för dagens kostnadsminimerande belysningssektor, i jämförelse med en mer värdeskapande värdekedja.

Stora delar av arbetet med den nedre affärsmodellen i Figur 1 görs som delar inom byggsektorn, t.ex. av elkonsulter. I dagens verksamhet får armaturleverantören ofta en väsentlig påverkan genom att de föreslår belysningslösning. Skissen på den mer värdeskapande arbetsformen nämner behovsanalys, affärlösningar, teknisklösningar, systemdesign och teknikutveckling som exempel på ett antal delmoment som tillsammans kan åstadkomma ett högre värdeskapande. Det är grundläggande att stärka brukarnas möjlighet att artikulera sina behov av bra belysning.

Grundproblemet med den nuvarande utvecklingssituationen är att belysningsfrågor hanteras som om belysning skulle vara en trivial fråga. För att kunna åstadkomma en totalt sett mer värdeskapande utveckling är det viktigt att förbättra medvetenheten om att belysningens kvalitet har stor inverkan på produktivitet, hälsa och välbefinnande. Som det nu är tenderar intresset att bli begränsat till att minimera inköpspriser och kostnader. För att minimera kostnaden finns det en tendens att förorda standardiserade lösningar och söka enkla vägar. Belysningsplaneringen utförs ofta av armaturleverantören, som tillhandahåller tjänsten ”gratis”. Det är viktigt att tydliggöra vad som verkligen är ”tillräckligt bra” och klargöra varför de aktuella kraven är så angelägna för brukarna och samhället.

För att kunna ta mer värdeskapande nytta av den nya kunskapen om ljusets betydelse och den nya belysningsteknikens potential är det viktigt att involvera många fler i ett förnyelseinriktat lärande med koppling till den nyaste tekniken. Vi är på väg in i en tid av väsentlig förnyelse och i sådana här lägen finns det risk för att plötsliga språng i teknikvalet leder till att man gör väldigt många installationer med samma ”barnsjukdom”. Då det är troligt att det kommer stora förändringar är det viktigt att förbereda sig genom att i god tid börja träna på den kommande tekniken, så att man har en erfarenhetsgrund att stå på då introduktionen av den nya tekniken får upp farten.

För att kunna ge vägledning för ett bättre värdeskapande, för brukarna och samhället, är det viktigt att bygga djupare och tydligare förståelse kring hur belysningsbehoven ser ut. Det är viktigt att öka förmågan att specificera och säkerställa att de olika aktörerna tillsammans ser till att det verkligen blir högkvalitativa flexibla situations- och användaranpassade belysningslösningar. Dagens metod att arbeta med enhetliga krav, som 500 lux på arbetsytan, är primitiv och riskerar till exempel att resultera i lösningar som i många situationer ger obehagligt mycket ljus och bländning.

Belysningsbranschens nuvarande sätt att fungera gör att väsentliga delar av de grundläggande förutsättningarna för belysningsutvecklingen i Sverige styrs av utländska affärsaktörer. För att öka möjligheten att Sverige skall kunna ta en ledande roll i att introducera mer högvärdiga och hållbara belysningslösningar är det önskvärt att träna upp fler sunda svenska aktörer så att de på ett lagom vidsynt och framtidsinriktat sätt kan ta utvecklingsledande roller.

De viktigaste faktorerna i det ovanstående resonemanget sammanfattas i Tabell 2.

Tabell 2 Åtta faktorer som karakteriserar den nuvarande situationen för belysningssektorn i Sverige, i jämförelse med en kolumn med faktorer som borde resultera i en mer givande utvecklingssituation.

<u>Nuläget karaktäriseras av</u>	<u>Önskvärd situation</u>
Målet är mycket ljus.	Målet är HiFi-ljus och att undvika slöseri med ljus.
Belysningsfrågan trivialiseras p.g.a. etablerat språkbruk, strukturer och tankesätt.	Bred medvetenhet om ljusets praktiska betydelse för produktivitet, hälsa och välbefinnande.
Trubbiga kravskiffror (500 lux) och outvecklat språkbruk.	Tydliggjorda användarbehov, med bas i en rikare och mer konsistent begreppsapparat.
Lägsta inköpspris	Högre värdeskapande och låg livscykelkostnad.
Plötsliga språng till en ny produktmodell som hastigt blir en ”modetrend”.	Tidig ”träning” på kommande teknik och systemlösningar som ger flexibilitet.
Standardlösningar och uppgivenhet beträffande möjligheten att göra väsentliga förbättringar.	Kontinuerligt systematiskt lärande och medvetenhet om att mönstren kan förnyas.
Utvecklingen i Sverige styrs i väsentliga delar av vad utländska affärsaktörer gör.	Sunda hållbarhetsinriktade svenska aktörer tar utvecklingsledande roller.
Få vågar tro på att de får någon egen nytta av att försöka förändra/ta ställning.	Innovationssystem som påtagliggör att det finns intressanta möjligheter är etablerat.

2.1.1 Belysningsmarknaden – Planering, inköp och specifikationer

Belysningsmarknaden kan delas upp i hembelysning och belysning för offentlig miljö. Hembelysning väljs och köps till största delen av användaren själv. Belysning för offentlig miljö kan likställas med det som benämns den professionella belysningsmarknaden. Den senare marknaden består av fem huvudaktörer: beställare (byggherre, byggföretag, fastighetsförvaltare), beskrivare (arkitekt, ljusdesigner, elkonsult), produktleverantör (armaturföretag), inköpare (elgrossist, elentreprenör, byggentreprenör) och slutanvändare (hyresgäst, brukare).

Professionella marknaden kan delas i ROT-marknad (Renovering-Ombyggnad-Tillbyggnad) och projektmarknad. Fördelningen dem emellan beror på konjunkturen. Oftast är projektmarknaden dominerande del av bygginvesteringarna.

Belysning för ROT initieras oftast av fastighetsägaren själv och blir antingen ett byggprojekt eller ett uppdrag direkt (ibland via elgrossist) till elentreprenören. Är omfattningen lite större blir det ett byggprojekt och följer då processen för projekt nedan. Direkt uppdrag till elentreprenören innebär att belysningsplaneringen kan utföras av en elkonsult, sällan via ljusdesigner, och oftast av armaturleverantören som tillhandahåller tjänsten gratis. Vid större ROT-projekt infordras anbud, ofta från några olika elentreprenörer.

På projektmarknaden ingår belysningen som en del av byggprojektet och följer olika processer beroende på entreprenadform. Entreprenadform beslutas av byggherren. De vanligaste entreprenadformerna är:

1. Generalentreprenad: En övergripande general-entreprenör, som tar in anbud på detaljstyrd planering och utförande. På den detaljerade specifikationen infordras anbud från underentreprenörerna.
2. Delad entreprenad: Beställaren låter göra specifikationer och köper själv upp de enskilda entreprenörerna.
3. Totalentreprenad: En totalentreprenör tar totalansvaret för byggnationen baserad på en ramhandling. Totalentreprenören köper på anbud upp arbete och material av underentreprenörerna. Underentreprenörerna planerar och utför anläggningen baserad på ramhandlingen. En alternativ form är styrd totalentreprenad där man låser specificerade produkter.

General /Totalentreprenören är oftast ett byggföretag. Inköpsförfarandet i generalentreprenaden följer processen: Specifikation – Anbud – Offert – Inköp.

I generalentreprenader, ca en fjärdedel av Sveriges samlade offentliga projekt, utförs belysningsplaneringen av en oberoende ljusdesigner och/eller elkonsult. Förutsättningen för att belysningsanläggningen skall få ett gott slutresultat är stor.

I totalentreprenader, ca två tredjedelar av Sveriges samlade offentliga projekt, baseras belysningsplaneringen på en ramhandling som ofta är så kortfattad som att t.ex. bara uppfylla standarden. Anbud på elentreprenaden inklusive belysning infordras, ofta från några elinstallatörer som antingen köper in projekteringen av en elkonsult, som ofta blir styrd av elentreprenören. Ett mycket vanligt alternativ är att elentreprenören låter ett armaturföretag göra ett belysningsförslag med tillhörande offert. Det alternativet innebär betydligt lägre kostnad för elentreprenören eftersom armaturleverantören erbjuder tjänsten gratis. Elentreprenören låter gärna infordra några förslag från olika armaturföretag.

Det innebär att totalentreprenören (byggaren) gått ut till några elentreprenörer som i sin tur infordrat anbud från några armaturleverantörer. Det kan innebära att 5-10 olika armaturleverantörer gratis gör en belysningsplanering utan att veta om man får den slutliga ordern. Eftersom dessutom den slutliga upphandlingen prutas ner till absolut lägsta pris blir lönsamheten starkt eftersatt.

Totalentreprenader står för största delen av Sveriges offentliga projektbaserade nya belysningsanläggningar och är den största anledningen till att vi inte kan höja kvaliteten på vår belysning och anpassa den för den enskilde brukaren.

I grunden kan byggherrens beslut om att välja totalentreprenadformen tolkas som den största källan till att det är svårt att höja kvaliteten på belysningen. Armaturföretagens från början kvalitetshöjande och skenbart fördelaktiga erbjudande att gratis göra belysningsplanering är nu en omkostnad, som företagen försöker begränsa. Belysningsplaneringen görs ofta på ett schablonmässigt sätt och detta drabbar kvaliteten på belysningsanläggningen, trots att armaturföretagen besitter stor kunskap.

Även om de ovan beskrivna problemen är välkända behövs en diskussion som leder till att kompetensen hos ljusdesigners/elkonsulter tas tillvara i samtliga entreprenadformer och att samtliga aktörer får utbildning för att bättre förstå hur belysningsanläggningar, som är energieffektiva och av hög kvalitet med brukaren i centrum, bör utformas.

2.2 Vision 2020

Sverige är ledande på snabbt hållbart nyttiggörande av belysningskunskap.

År 2020 arbetar Sverige med en internationellt ledande begreppsapparat för ljus och belysning. Vi har utbildningar som höjer hela befolkningens förmåga att snabbt och effektivt ta hållbar nytta av ny belysningsrelaterad kunskap och ny belysningsteknik. De flesta svenskar förstår hur viktigt det är med bra belysning och det finns en tydlig grund för gränsöverskridande förnyelseinriktad dialog.

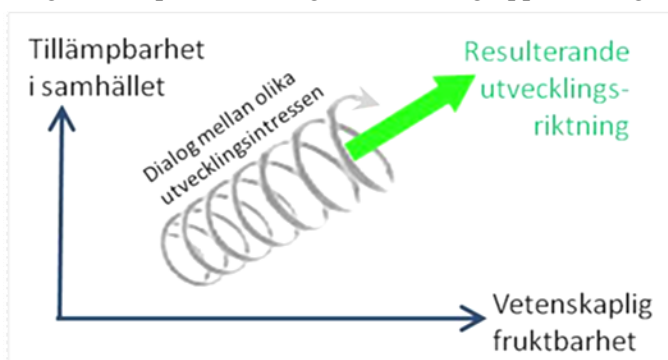
2.3 Begreppsutveckling

Eftersom belysningssektorn befinner sig i en förändringsfas är det viktigt att utveckla ljusbegreppen som dynamiska verktyg för ömsesidig förståelse. De senaste decennierna och i synnerhet de senaste åren har det vuxit fram ny väsentlig kunskap om hur växter, djur och människor påverkas av och tar nytta av ljus. Hittills har man dock knappast ”översatt” den nya grundläggande kunskapen till allmänt användbara begrepp och mätetal.

Ljusets energi och information är grundläggande för de fotokemiska reaktioner och sinnesintryck som möjliggör alla former av liv. För att skapa hållbara belysningslösningar som ger verkligt bra ljus är det viktigt med situationsanpassning, relativa ljusnivåer, bländning, dynamik och ljusstyrning. Ögat reagerar egentligen knappast på ljusmängd, utan snarare på dynamik och kontraster. För att öppna upp för förnyelseinriktat entreprenörskap är det grundläggande att öka möjligheten att förklara och visa upp fördelarna med högkvalitativt användaranpassat ljus.

Eftersom belysningssektorn befinner sig i en förändringsfas bör vi inte betrakta ljusbegreppen som statiska sanningar, utan snarare som dynamiska verktyg för ömsesidig förståelse. Parallellt med att vi använder de ljusord som utvecklats bör vi också tänka på hur vi kan vidareutveckla förståelsen kring det som orden beskriver, hur vi kan vidareutveckla orden som verktyg för dialog.

Arbetet med begreppsutveckling bör baseras på gedigen vetenskaplig kunskap. För att möjliggöra meningsfull tvärvetenskaplig dialog är det viktigt att skapa en sådan gemensam begreppsbildning att personer från olika vetenskapsområdena kan förstå varandra, på en tillräckligt avancerad nivå. Det här är svårt även om den vetenskapliga kunskapen vore statisk. Det är ännu svårare då kunskapen förändras och dagens läge för ljuskunskap är mycket dynamiskt och komplext. Utöver utmaningen med tvärvetenskaplig dialog är det också viktigt att knyta an till den allmänt använda begrepsbilden och att samspela med begreppsutvecklingen i samhället, se Figur 2. För att få verklig betydelse är det viktigt att ljusbehoven kan uttryckas på ett enkelt och tydligt sätt.



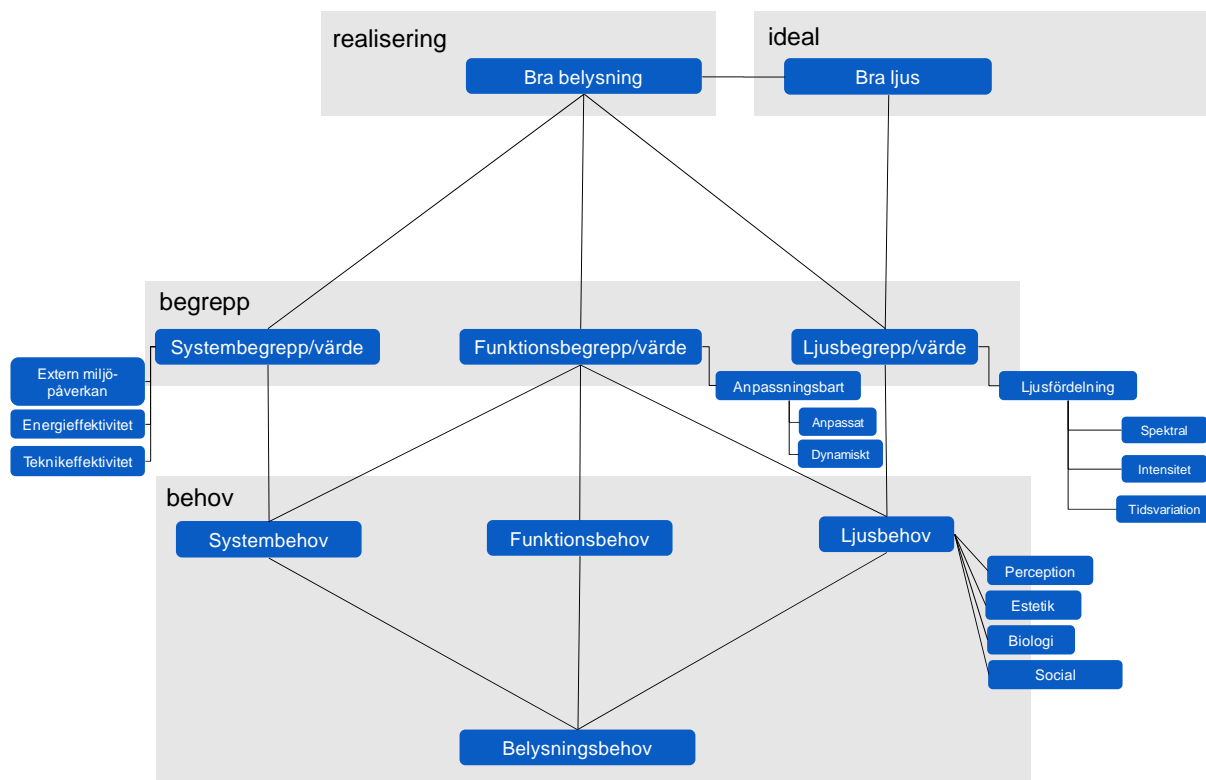
Figur 2 En dynamisk dialog mellan forskare som utvecklar kunskap och samhällets användning av kunskap inom det aktuella området, som grund för ömsesidigt lärande och stimulans för en ständig utvecklingsprocess.

Det är väsentligt att utveckla förmågan att verka via känslomässig intuition och inte enbart kognitivt via explicit saklig information. Det är viktigt att olika former av yrkesverksamma börjar intressera sig för nya sätt att beskriva ljus, så att de kan medverka i en sund introduktion av nya former av mer hållbara och avancerade belysningslösningar. Det är väsentligt att ta fram en begreppsapparat som öppnar upp för att kunna informera allmänheten om olika former av ljuskvaliteter och nya former av belysningsteknik.

De fotometriska mätetalen lumen och lux utvecklades för glödlampor. Mätetalen för färgtemperatur och färgåtergivning har utvecklats för att kunna skilja på olika former av lysrör. Miljöpsykologiskt sett vet vi att vi mår bra av dagsljus. Men dagsljus kan vara så väldigt olika; vid olika tider, på olika platser och i olika byggnader. Allt sedan introduktionen av artificiellt ljus har intresset i huvudsak fokuserat på att producera mer ljus. Det är nu viktigt att ta fram kompletterande begrepp och mätetal för att öka förmågan att tillsammans arbeta för ”bättre” ljus, med hjälp av mer hållbara belysningslösningar.

2.3.1 Begreppsmodellering

Projektgruppen har under projekttiden arbetat med att ta fram en begreppsmodell för belysningsområdet. Målet är att skapa en tydligare gemensam ”karta” över hur de använda begreppen hänger ihop och även att klargöra behoven av olika former av begreppsutveckling.



Figur 3 Begreppsmodell över belysningsområdet.

Figur 3 visar en begreppsmodell över belysningsområdet. Begreppsmodellen är utvecklad tillsammans med olika forskare och andra aktörer i belysningsområdet, med avsikt att beskriva hur olika kunskap, frågor, teknik och behov relaterar till varandra. Målet är att med denna begreppsmodell utveckla en eller flera kunskapsdatabaser som sedan kan användas som verktyg för att analysera affärsutveckling, entreprenörskap, tekniska lösningar samt funktionell och systemmässig behovstillfredsställelse. Exempel på bredden av tillämpningar för denna begreppsmodell är att den kan användas i utvecklingen av den ljusmätdocka som beskrivs i kapitel 4.7 eller att den kan fungera som inspiration för olika strategiska diskussioner för begreppsutveckling och forskningsprioritering. Kort sagt, tillämpningen är

inte låst, utan begreppsmodellen är tänkt att fungera som en öppning för vidareutveckling av området. I det följande ges en övergripande beskrivning av modellen:

De tre gråmarkerade områdena beskriver de fyra huvudbegreppen:

- realisering – sätt att uppnå belysning, t.ex. foton-emitterande tekniker, armaturer, system, såväl grundforskning som utveckling och färdiga produkter
- ideal – ideal beskrivning av belysning, t.ex. beskrivning av ideal ljusfördelning, ljusintensitet, etc.
- behov – kunskap om behov av belysning, t.ex. växthusbelysning, kontorsbelysning, belysning och arkitektur, etc.
- begrepp – de begrepp som används för att beskriva behov, realisering och ideal.

Figur 3 ger en översikt av begrepp inom de fyra nämnda huvudbegreppen. De olika begreppen är arrangerade enligt hur de hänger samman logiskt och funktionellt. Detta beskrivs i det följande.

- Ljusbegrepp/värde – Exempel på begrepp som beskriver ljus är Ljusfördelning. Denna fördelning kan handla om Spektralfördelning, Intensitet, Tidsvariation. Kopplingen mellan Bra ljus och Ljusbegrepp/värde i figuren innebär att idealt bra ljus beskrivs med dessa ljusbegrepp.
- Funktionsbegrepp/värde – En realiserad Bra belysning innebär att den eftersträvar att likna ett Bra ljus. För att lyckas med detta kan belysningslösningen behöva vissa funktioner som beskrivs av begreppen Funktionsbegrepp/värde. Det kan till exempel vara Anpassningsbart, dvs. Anpassat eller Dynamiskt.
- Systembegrepp/värde – Det går att uppnå bra belysning på många olika sätt. Det är värdefullt att Bra belysning uppnås med så effektiva system som möjligt. Därför behövs systembegrepp och värden för att beskriva, studera och kommunicera t.ex. Extern miljöpåverkan från belysningssystem, liksom begrepp för Energieffektivitet och Teknikeffektivitet hos belysningssystem.

Belysningsbehov handlar om flera olika saker. I begreppsmodellen finns de tre stora områdena; Ljusbehov, Funktionsbehov och Systembehov. Dessa behov kan beskrivas på en mängd olika sätt, kvalitativt, tekniskt, affärsmässigt, mode, trend, produkt etc. Men begreppsmodellen visar särskilt på det värde som kan uppnås om belysningsbehoven kan beskrivas i samlande begrepp, som också kan användas för att idealt beskriva, mäta och förstå bra ljus, och som också kan användas för att utveckla, producera och marknadsföra bra belysning. Begreppsmodellen är alltså fullständig när Belysningsbehov beskrivs enligt:

- Ljusbehov, som beskrivs av Ljusbegrepp/värde
- Funktionsbehov, som beskrivs av Funktionsbegrepp/värde
- Systembehov, som beskrivs av Systembegrepp/värde.

Vidareutveckling av begreppsmodellen är nödvändigt, men redan nu är den ett verktyg för att förstå relationerna mellan Bra ljus, Bra belysning, Belysningsbehov och den begreppsapparat som behövs för att beskriva detta.

Begreppen i Figur 3 och dialogen kring begreppen och begreppsmodellen visar att begreppens betydelse är ganska otydlig. För att kunna beskriva belysning och ljus på ett så tydligt sätt att det fungerar som bas för verkligt givande utvecklingsinriktad dialog, om de nya möjligheterna och utmaningarna, finns det behov att arbeta med flerdimensionella ”beskrivningsvektorer”. Det är viktigt att förbättra förutsättningarna för att kunna specificera bra ljus och bra belysning på ett tydligare sätt,

så att man t.ex. minskar risken att uttryck som ”eller likvärdig” tolkas och utnyttjas på ett sådant sätt att den resulterande lösningen försämras. Det finns behov att introducera och utveckla fler och tydligare nyckeltal för att kunna karakterisera olika former av ljusegenskaper och ljuskvalitet.

2.4 Utbildning

Eftersom belysningssektorn befinner sig i en förändringsfas är det viktigt att bygga en kunskapsgrund för att ta fram och introducera nya tankesätt och belysningslösningar. Vi behöver skapa förutsättningar för transformativt lärande (Mezirow, 2000). Det är nödvändigt att knyta an till de begrepp och tankesätt som är kända. Det är grundläggande att nyttiggöra och sprida den vetenskapliga kunskapen. Samtidigt är det viktigt att göra detta på ett sådant sätt att de etablerade begreppen och mätetalen kompletteras med en tankeram som gör att den totala begreppsapparaten utvecklas och blir mer användbar som grund för nytänkande. Detta är krävande och för att vidga erfarenhetsbasen för hur man kan göra är det viktigt att försöka lära av andra branscher och andra länder.

KTH har sedan några år ett designinriktat masterprogram om ljus som har mycket bra internationellt söktryck. Högskolan i Jönköping har en populär utbildning av belysningsplanerare. Detta är en bra start, men det finns behov att starta fler ljus- och belysningsutbildningar och framför allt att integrera mer om ljus och belysning i många olika akademiska och gymnasiala utbildningar. Det har dock varit svårt att få in ljus och belysning i universitetens obligatoriska kurser, eftersom de tenderar att ”ägas” av den lärare som har kursen.

För att snabbt ta bra nytta av den nya teknikens möjligheter är det viktigt att nå tillräckligt många av dem som påverkar belysningen i det existerande fastighetsbeståndet. Det är viktigt att informera och motivera fastighetsägare och fastighetsförvaltare. De belysningsrelaterade valen påverkas också av flera andra aktörer, t.ex. arkitekter, projektörer, elkonsulter, installatörer och elektriker. För att verka för en mer hållbar belysning är det viktigt att

- skapa styrmedel för att säkerställa att man utgår från användarnas verkliga behov
- skapa målgruppsanpassade utbildningar och informationslösningar
- förbättra samverkan mellan olika aktörer.

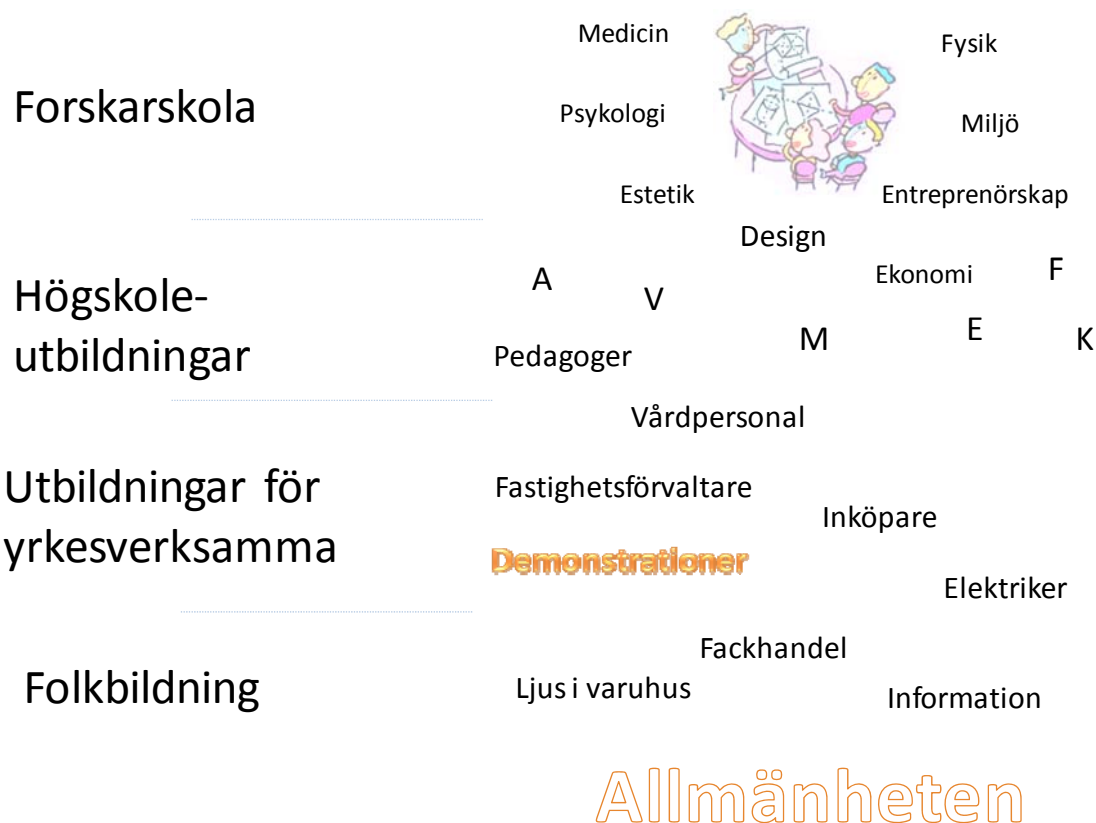
Det kan vara mycket verkningsfullt att ta fram verkligt bra paket med målgruppsanpassad information och utbildningsmaterial om ljus och belysning. För att kunna påverka utvecklingen av det befintliga fastighetsbeståndet är det viktigt att utbilda personer som i sin tur kan ”utbilda” t.ex. elektriker. För att skapa en återkoppling så att ”lärarna” får information om hur det de lär ut fungerar i praktiken är det önskvärt att skapa sådana processer att ”lärarna” lär tillsammans med ”eleverna”.

Det är viktigt att bygga en gedigen kunskapsgrund för framtiden. Samtidigt är det angeläget att vi snarast möjligt involverar mer gedigen kompetens i demonstrationer och experiment där vi visar och utvärderar den kommande teknikens för- och nackdelar.

För att snabbt kunna höja nivån på den kunskapsgrund som används för utveckling av belysningslösningar är det önskvärt att hämta in ledande kunskap från flera vetenskapliga områden. En möjlig form är att starta en forskarskola som fokuserar på belysning och som inkluderar doktorander som har sin vetenskapliga hemvist inom ett antal olika ämnesområden. Figur 4 visar en struktur med fyra olika nivåer av utbildningar.

Ett annat sätt är att involvera personer som på olika sätt praktiskt arbetar med belysning i nivåhöjande (transformativa) kompetensutvecklingsprocesser. Detta är dock svårt eftersom utbildningsintresset bland yrkesverksamma tenderar vara inriktat på konkret vägledning som man kan börja använda

direkt. Inom de flesta områden finns det dock individer som är intresserade av att prova nya lösningar. Det kan vara bra att skapa arbetsgrupper med förnyelseinriktade förändringsledare och praktiker. Det är önskvärt att snarast ordna seminarier för i viss mån blandade grupper kring olika former av konkreta belysningsfrågor och som grund för effektivare samverkan, t.ex. för elektriker tillsammans med ingenjörer, och för fastighetsägare och kommunala inköpare tillsammans med ljus- och regelkunniga.



Figur 4 Fyra nivåer av kompetensutvecklingsbehov för belysningssektorn.

För att öka förmågan att arbeta på ett sammanhängande sätt är det önskvärt att starta utbildningar med flervetenskaplig grund. Den inverterade T-modell som används för Nanoutbildningen i Lund är intressant som en förebild.

Som en grund för att komma igång kan t.ex. Ceebel väcka frågan om ljus- och belysningsutbildningar för yrkesverksamma. Det kan finnas mycket att vinna på att starta en utbildningsprocess med projekt för personer med olika former av kompetens och roller i blandade grupper. Det är lämpligt att hämta inspiration från lärlingsutbildningar och PBL och tillsammans arbeta med projekt som avser att åstadkomma verkliga resultat, som kan visas upp och beforskas.

En viktig grundläggande förutsättning är att skapa en bredare och tydligare allmän medvetenhet om att det är viktigt med bra belysning. Detta är viktigt för att åstadkomma en sund utveckling av den privata belysningsmarknaden. Det är i det här sammanhanget viktigt att notera att även personer som äger fastigheter eller arbetar som t.ex. förvaltare, inköpare, skolledare och föreståndare för äldreboenden påverkas av sina personliga kunskaper och uppfattningar. Den personliga uppfattningen om betydelsen av bra ljus påverkar många professionella beslut.

2.5 Framtid

2.5.1 Humanvetenskaplig forskning om förändring

Belysningsområdet befinner sig i en mycket intensiv förnyelsefas. Forskningsmässigt är det intressant att arbeta med anknytning till demonstrationsanläggningar och nya tillämpningar av belysningsrelaterad kunskap. Den här rapporten beskriver forskningsmöjligheterna inom livsvetenskaper, teknik och hållbar innovation.

Den aktuella nivån av förändring har också koppling till viktiga beteendemässiga, sociala och kulturella frågeställningar. Som en grund för att förstå vad som händer, hindrar och hur man kan få rätt saker att hända är det viktigt att bygga kunskap om hur de belysningsrelaterade frågorna tas upp i de sociala och kulturella systemen. Det kan ge väsentlig förståelse att beforska relevanta frågor ur ett beteendevetenskapligt perspektiv. Då sådan forskning planeras är det viktigt att notera det samtidiga behovet att förnya den belysningsrelaterade begreppsapparaten.

2.6 Utveckling av forskningsförutsättningar

Analogt med att utvecklingen av belysningsystemen bör kopplas till gedigen förståelse kring brukarnas ljusbehov och intressen bör utvecklingen av forskningsresurserna kopplas till forskarnas behov. På nästa nivå är det sedan viktigt att forskningsprojekten kopplas till de utvecklingsmål man eftersträvar. Man bör eftersträva att forskarna kan styra utvecklingen av de verktyg som de behöver. Vi har därför lagt en beskrivning av den möjliga nyttan av ett ljuslaboratorium i slutet av kapitel 3, en ljusmätdocka för att tydliggöra hur bra en viss belysning är, se avsnitt 4.7 och avsnitt 5.9 beskriver av en simulator för teknisk belysningsstyrning.

Ur ett bredare perspektiv är det viktigt med demonstrationsanläggningar.

2.6.1 Pedagogiskt ljus på Matildelunds förskola

För att förklara betydelsen av och utmaningen i att specificera bra ljus har vi valt att inkludera en text som illustrerar hur en uppmärksammas ljusplanerare tänker. Nedan beskrivs en dialog med Jonas Kjellander, som vann Svenska Ljuspriset 2010 för sin ljussättning av miljön i en förskola.

Motivet för Ljuspriset är att Kjellanders engagemang och de nya formerna av systemlösningar har förbättrat möjligheterna att använda sig av ljussättning i pedagogiken för att skapa en harmonisk arbetsplats för barnen. Nedan följer en sammanfattning av ett samtal med Jonas Kjellander:

Vad hade du för motiv för att börja arbeta för den prisbelönade belysningslösningen?

- Belysningen är viktig för atmosfären, välbefinnandet och de pedagogiska resultaten. Jag tycker det är frustrerande att belysningen samtidigt är den mest eftersatta miljöfaktorn, speciellt i förskolor och skolor. Synsinnet är människans viktigaste grund för att kunna förstå sin omgivning. Jag är sedan 20 år mycket intresserad av hur man kan skapa bättre förutsättningar för pedagogiskt arbete.

Vad är grundtanken med din designlösning?

- Att skapa en belysning som ger enkla möjligheter att på ett flexibelt sätt anpassa ljuset till de skiftande verksamheterna vid olika tidpunkter och i olika delar av rummen.

Hur gjorde du för att väcka intresse för satsningen?

- När jag har berättat om projektet har jag ofta noterat att det finns ett brett allmänt intresse för att förbättra de miljöer som våra barn vistas i. De flesta verkar anse att det här är en viktig fråga. För att nå fram är det dock viktigt att beskriva varför det är så betydelsefullt att skapa olika former av stämningar och tydliggöra hur mycket olika former av belysning påverkar atmosfären. Jag har lagt stor vikt vid att på ett målade sätt beskriva hur olika former av belysning påverkar välbefinnandet och hur belysningen kan användas som pedagogiskt

hjälpmedel. Det är viktigt att demonstrera effekten av olika former av ljussättning, helst i fullskala. En sak jag gjorde var att jag tog med några av beslutsfattarna till ett systerprojekt i Mariestad, där jag demonstrerade skillnaden mellan två olika belysningar i kapprummet. Jag visade skillnaden mellan en vertikalbelysning som lyser upp det man behöver se, i jämförelse med standardlysrör mitt i taket, vilket ofta resulterar i att man skuggar sig själv, och vi samtalande om hur upplevelsen av entrén påverkar attityden till den lokal man kommer in i.

Men varför är belysningen i förskolelokalen så viktig?

- Ett vardagligt exempel på vad olika former av belysning leder till är att, det är väl känt att det finns ett samband mellan belysningsstyrka och ljudnivå. Då man reducerar ljuset sänker de flesta rösten och det leder som regel till att ljudnivån minskar. Men ljuset är ännu viktigare. Ett annat vardagligt exempel: Tänk dig ett samtal mellan en treåring och en pedagog i en lokal med starka downlights i taket. Treåringen tittar upp mot pedagogens ansikte, men ser nästan bara en mörk kontur. Barnet uppfattar knappast pedagogens mimik, t.ex. om hon ler, och känner sig ganska förvirrad. Pedagogerna tittar ner på barnets tydligt belysta ansikte och ser knappast någon normal respons på signalerna genom de egna ansiktsuttrycken. Det finns risk att sådana här episoder efter hand leder till en känsla av främlingskap och otrygghet mellan pedagogerna och barnet. Eftersom det tycks som om barnet inte reagerar normalt finns det risk att pedagogerna förändrar sina ansträngningar att uppnå kontakt. Detta känns speciellt angeläget att notera i samband med den stora ökningen av antalet elever med neuropsykiatriska funktionshinder, t.ex. adhd och autismspektrumstörningar. Ljuset är naturligtvis bara en begränsad delmängd av förutsättningarna för kontakter mellan människor. Det är dock en viktig delmängd som går att påverka.

Inte bara ljus

- Tydligheten i hur vi kan uppfatta varandras ansiktsuttryck beror till stor del på kontraster och skuggor. En stark, statisk och likformig belysning, t.ex. med lysrör i taket, ger ett platt ljus som ofta gör att det blir svårt att tolka sådant som ansiktsuttryck. Vår förmåga att tolka omvärlden är i grunden anpassad till naturligt dags- och nattljus, och sådant ljus är i relativt hög grad riktat och dynamiskt. De närmaste kontakterna människor emellan hade vi före glödlampan ofta i svag belysning, t.ex. när man satt runt lägerelden och då man kunde skymning i månskenet. En anledning till att vi trivs med dämpad belysning och stearinljus vid måltider kan vara att sådant ljus ger en trygg känsla av närhet genom att vi ser och kan tolka varandras ansiktsuttryck.

Är det lönsamt att satsa på flexibel belysning på förskolor?

- Ja definitivt, speciellt ur ett långsiktigt samhällsperspektiv. Atmosfären som barnen lever i påverkar deras utveckling. Ljuset är en viktig aspekt av hur atmosfären är. Bättre belysning är det mest kostnadseffektiva sättet att investera i att skapa bättre atmosfär. Det är mycket dyrare att måla om eller köpa nya möbler. Den installerade effekten för belysningsanläggningen på Matildelunds förskola är mindre än 15 W/m² och det är lite lägre än normalt för liknande lokaler. Eftersom en stor del av ljuset kan dimmas och anpassas, så att man lyser upp olika delar av rummen vid olika tidpunkter, så kan man spara mycket elektrisk energi. Vi har hittills inga energimätningar, men våra observationer och beräkningar indikerar att man sparar mycket el.

En avslutande reflektion: Det är tankeväckande att ljuset är så viktigt för att vi verkligen skall kunna se varandras ansiktsuttryck. Den ömsesidiga förståelsen för varandras sinnesstämningar och upplevelser är grundläggande för hur kulturen och arbetsmiljön utvecklas. Den som tycker sig förstå andra tränar sig på att förstå. Den som känner sig förstådd tränar sig på att uttrycka sig ännu tydligare. Forskningen om epigenetik visar allt fler tecken på att vi aktiverar de gener vi använder. Om bättre ljus förbättrar förutsättningarna för att aktivera våra kontaktgener är det ganska fantastiskt.

2.6.2 Exempel på forskningsrelaterade styrkefaktorer

Det pågår ett antal belysningsrelaterade forskningsinsatser och utbildningar. En stor del av dessa har projekt inom Energimyndighetens pågående forskningsprogram. Sveriges belysningsrelaterade forskning beskrivs också i en tidigare rapport (Karlsson och Laike, 2010).

I denna rapport försöker vi ge grund för ett mer fritt tänkande kring alla de olika profileringar och kompetensområden som skulle kunna bidra till och ha nytta av en mer kraftfull svensk satsning på belysningsforskning. Detta avsnitt nämner några svenska styrkeområden och nya arbetsformer inom universitetsvärlden som är intressanta i anknytning till Sveriges möjlighet att ta en ledande roll i utvecklingen av mer avancerade former av hållbar belysning.

För att Sveriges belysningssektor skall kunna ta en ledande position är det viktigt att knyta an till områden där Sverige har en etablerad styrkeposition. En viktig möjlighet är att knyta an till LED-relaterad forskning inom materialvetenskap och nanoteknologi och inom detta område har Sverige en stark position tack vare de Europeiska satsningarna på MaxIV och ESS.

Med tanke på att det är grundläggande att utveckla avancerad förmåga att tolka brukarnas ljusbehov är det viktigt att knyta an till den stora potential av ljusrelaterad kunskap som finns inom biologi, medicin och psykologi, se kapitel 3. Det är naturligtvis också viktigt att knyta an till flera former av teknisk kunskap, se kapitel 5 och kunskap inom arkitektur, design och byggnadsfysik, vilket beskrivs i de tidigare rapporterna (Karlsson och Laike, 2010), (Karlsson, 2010) och (Karlsson m.fl. 2010). Utöver betydelsen av de ämnesrelaterade kunskaperna är det viktigt att tänka på tvärvetenskapliga aspekter och på hur man kan förbättra förmågan att få saker att hända genom tillämpad forskning. Den flervetenskapliga dialogen i Lund har baserats på en bottom-up process där intresserade forskare har skapat en gränsöverskridande *Advanced Study Group* med stöd från Pufendorfinstitutet.

Det är principiellt viktigt att notera att bra belysning är en mångsidig systemfunktion. Betydelsen av och utmaningarna med att integrera kunskap från flera olika ämnesområden har behandlats i dialogen om flervetenskaplig ljusforskning. Med tanke på betydelsen av att integrera belysning som en del i byggsektorns och energisektorns kompetensutveckling kan det i vissa avseenden vara lämpligt att knyta an till den form av fokusering på styrkeområden som Chalmers nyligen har genomfört. Chalmers har också sedan början av 1990-talet satsat på miljöprofilering.

För att växla upp samhällsnyttan av de nya belysningstekniska möjligheterna är det viktigt utveckla metoder för att förnya det existerande fastighetsbeståndets belysningslösningar. KTH har inlett en teknisk och ekonomisk forskningsinsats på renovering. De arbetsformer som utvecklas inom denna satsning kan stärka förmågan att lagom snabbt ta hållbar nytta av nya tekniska möjligheter i satsningar på att effektivisera det existerande fastighetsbeståndet. När det gäller att få saker att hända är detta ett mycket viktigt och samtidigt svårt område för introduktion av ny belysningsteknik. Anknytning till flervetenskaplig forskning om renovering kan öka möjligheten att lagom snabbt och på ett kompetent sätt växla upp nyttan av nya former av belysningssystem.

Det är också viktigt att utveckla samspel mellan den akademiska världen, företag och flera former av samhällsutvecklade aktörer. KTH, Chalmers och LTH har utvecklade former för samverkan med utveckling av företag. Den belysningsrelaterade forskningen i Umeå och Skellefteå samspelar med belysningsföretag och samhällsaktörer. Belysningsutbildningen i Jönköping har entreprenöriell karaktär. Det är också viktigt att skapa förutsättningar för samarbete i internationell forsknings-samverkan. Det kan här nämnas att Kalmar kommun driver ett EU-projekt om LED-ljus i staden.

3. Ljus och liv

De flesta organismer som nås av solljuset känner av det och är mer eller mindre beroende av ljuset för tillväxt, utveckling och välmående. Detta har intresserat människan sedan urminnes tider. Solens elektromagnetiska strålning täcker ett brett spektrum, från kortvågigt ultraviolett till långvågigt infrarött. Ljuset fångas upp av organismerna och är en förutsättning för såväl människors och djurs syn som växternas fotosyntes. I dessa processer är det framförallt olika opsiner i ögonen respektive klorofyll i bladen som fångar upp ljuset. Ljuset fångas också upp av andra system, och är viktigt för välbefinnande, vakenhet mm, eller för att växter ska blomma vid rätt årstid. Ljus av kortare våglängder än det synliga riskerar att vara skadligt. Elektromagnetisk strålning med längre våglängder är energifattigt och ger mest värme. Synligt ljus vid fel tid och i fel färg eller dos, kan vara direkt negativt för organismen. Ett exempel är att ljus mitt i natten kan hindra en del växter från att blomma och helt förskjuta organismers dygnsrytm.

3.1 Forskningsöversikt

I det följande presenterar vi forskningsfronten och den nationella kompetensen inom området ljus och liv, för de tre områdena biologi, medicin och psykologi. En tidigare översikt av kunskapen om belysning och hälsa finns i (Sandström m.fl., 2002).

3.1.1 Biologi

Växternas behov av ljus- fotosyntesen

Växter, alger och cyanobakterier utgör huvuddelen av biomassan på jorden. I växternas fotosyntes omvandlas ljusenergi till kemisk energi. Denna kemiska energi gör det möjligt att binda in och omvandla luftens koldioxid till kolhydrater. Fotosyntesen är en förutsättning för allt liv, eftersom kolhydrater bildas i överskott och därför kan nyttjas som energikälla av organismer som inte fotosyntetiserar. Ljusenergin flyttas till kolföreningarna genom elektroner som tas från vatten, och då bildas syrgas. Förmågan att fotosyntetisera med syrgas som ”biprodukt” finns hos växter, alger och cyanobakterier.

Fotosynteskapaciteten har varit en drivande faktor under evolutionen. Vissa enheter i fotosyntesapparaten är förvånansvärt lika mellan en högre växt och en cyanobakterie. Fotosyntesapparaten är intrimmad för att ge största möjliga utbyte och flexibilitet. Klorofyller och andra pigment ser till att ljusenergi optimalt kan uppfångas och omvandlas till kemisk energi även när det är skuggigt eller när ljuset inte är helt vitt, som för växter under ett bladverk, eller för alger som i havet. Klorofyller har två absorptionstoppar, en i blått och en i rött ljus, medan de knappast absorberar något grönt ljus. Breddning av det verksamma spektrumet möjliggörs av karotenoider (samt olika fykobiliner i rödalger och cyanobakterier). Det är energin motsvarande absorptionen av rött ljus av klorofyllet som omvandlas till kemisk energi.

I eukaryota organismer sker fotosyntesen i kloroplasterna. Fotosyntesapparaten är lokaliserad till platta membranblåsor, tylakoider, i kloroplasternas inre. Två fotosystem och mellanliggande proteinkomplex av elektronbärare arbetar i serie. Centralt i varje fotosystem sitter ett reaktionscentrum som är relativt likt mellan organismer. Större variation finns i omkringliggande pigmenten vilka med resonans ser till att föra energin till det centrala klorofyllet. Storleken på dessa komplex av hjälpigment varierar för att optimera kanaliseringen av ljus in till reaktionscentrumet, så att även svagt ljus kan leda till excitation av det centrala klorofyllet. Slutprodukten i elektrontransportkedjan på tylakoidmembranet är NADPH, en molekyl som sedan används i själva reduktionsprocessen i Calvinykeln. Detta är dock inte den enda produkten. Flödet av elektroner ger ett flöde av protoner in i tylakoidmembranblåsornas inre. En proton-assymetri uppstår vilket ger en drivkraft för bildning av ATP, en molekyl som fungerar som ’energivaluta’ för att driva många biokemiska processer exempelvis i Calvinykeln.

När ljus träffar växten på morgonen aktiveras flera av de enzym som ingår i processerna där koldioxid reduceras till kolhydrat (den så kallade Calvinykeln). De primära reducerade produkterna av ljusreaktionen verkar signalerande, framförallt genom att anpassa kloroplastens metaboliska enzymer till olika aktivitet i ljus och mörker.

Regleringen av fotosyntesen sker även på mer makroskopiska nivåer; kloroplasterna kan orienteras, bladen kan ställa in sig och hela växten kan växa i relation till infallande ljus. Dessa senare processer styrs inte av fotosyntespigmenten utan av en rad signalerande fotoreceptorer (se nedan). Sådana fotoreceptorer styr också öppningsgraden hos klyvöppningarna som reglerar gasutbytet mellan blad och luft. Sammanfattningsvis, så känner växten av ljuset på flera olika nivåer för att ge så effektiv fotosyntes som möjligt (Ort, 2009, Taiz & Zeiger 2010).

Växternas behov av ljus-fotoreceptorer som signalförmedlare

Växter behöver ljus för att fullfölja sin livscykel, inte bara för att driva fotosyntesen, utan också för en lång rad av processer som frögroning, orientering i relation till ljuset, öppning av klyvöppningar, längdtillväxt, blomning mm. Här har en rad signalerande fotoreceptorer utvecklats, de flesta aktiverade antingen av långvägigt ultraviolett till blått ljus eller av rött/mörkrött ljus. Fotoreceptorerna behöver oftast mycket svagare ljus för att aktiveras än vad som behövs för fotosyntesen.

Fototropinerna är proteinbundna blåljusabsorberande pigment (kromoforen är FMN; flavinmononukleotid, med absorptionsmax vid 450 nm) inblandade i ganska snabba processer som vanligtvis inbegriper rörelser, exempelvis att styra växtens tillväxt mot ljuskällan, kloroplaströrelser, bladrörelser, öppning av klyvöppningar, mm. Till denna grupp hör också pigment inblandade i långsammare processer, som kan ställa om den biologiska klockan. Kryptokromerna vilka finns i såväl växter som djur är också blåljusabsorberande proteinbundna pigment med ungefär samma absorptionsmaxima som fototropinerna. De liknar i sin struktur fotolyaser, d.v.s. DNA-reparationsenzym samt pterin, men kan inte reparera DNA. Kryptokromer är viktiga i inställningen av den biologiska klockan samt ett flertal andra processer som enzymsyntes, hämning av längdtillväxt mm. Den tredje stora gruppen av pigment i växten är fytokromerna. Dessa är inblandade i många olika processer som frögroning, blomning, stamsträckning, mm. Fytokromerna är fotoreversibla; när den rödabsorberande formen absorberar rött ljus omvandlas den till den mörkrödabsorberande, och omvänt. Det är den mörkrödabsorberande formen som är aktiv. Balansen mellan de två formerna styrs av färgen på ljuset. Ljus som tränger ner till växter som står under ett bladverk blir anrikat på de våglängder som klorofyll inte kan absorbera, d.v.s. grönt och mörkrött. Det mörkröda ljuset ser till att skjuta över fytokromet i den inaktiva formen. Växten uppfattar detta som skugga och beroende på vad det är för växt, så ökar den tillväxttakten eller inte.

Detta är bara några av de processer där ljus har en roll utöver att vara energikälla till fotosyntesen. Pigmenten ger växten större möjlighet att anpassa sig efter rådande ljusomständigheter och utveckla liv i nya nischer. Optimeringen görs för att inte slösa på resurser, exempelvis gäller att blomma vid rätt tid så att fröna hinner bli klara, liksom att ha klyvöppningarna öppna så fort som möjligt på morgonen för att släppa in koldioxid innan det blir för varmt och för att begränsa vattenförlusten (Taiz & Zieger, 2010).

Människans behov av växter - odling med artificiellt ljus

Människan har sedan yngre stenåldern odlat växter för att föda sig. Man har förlitat sig på naturligt ljus från solen och odlat utomhus. Odling i glashus tog först fart och fick en större kommersiell betydelse när man också kompletterade med extra ljus, för att utsträcka odlingssäsongen. Detta ställer krav på belysningen och lampornas spektrala avgivande, speciellt om solljuset inte är så starkt. De behov som växten har av ljus stämmer dåligt med vad en del ofta använda lampor ger. Dessutom har man kommersiellt olika sorters behov, det handlar inte alltid om högsta produktion i form av biomassa, utan kanske ibland snarare om produktens färg, form och smak. Man har ganska länge använt sig av reglerbara skuggande dukar, t.ex. som en form av rullgardingar under växthusglaset, för

att korta dagen. Man använder också kombinationer av dukar och tilläggsbelysning på kvällen för att variera dagsljusprofilen, t.ex. för att få höstväxter som krysanthemum att blomma tidigare).

Färgsammansättningen på dagens växthusbelysning stämmer dåligt med växternas behov för effektiv fotosyntes, vilket dels ger stora energiförluster. I dag används i huvudsak högtrycksnatriumlampor som ger ett gult sken eller metallhalogenlampor som ger ett vitt ljus. Dessa ljuskällor ger knappast någon möjlighet att dynamiskt anpassa spektralfördelningen för att möta specifika behov hos olika växter.

Belysning med LED är ett attraktivt alternativ till metallhalogen- och högtrycksnatriumlampor. Genom att balansera röda och blå LED kan man hitta en ljusblandning som är optimerad för tillväxt och fotosyntes på ett mera energisnålt sätt. Produktutveckling och försäljning hos tillverkare och importörer kring växternas behov styrs generellt av de mest grundläggande behoven hos växterna i allmänhet, i kombination med att minska energikostnaderna. I handeln finns ett flertal tillverkare av LED av olika färg, vilket ger många kombinationsmöjligheter. Forskningen kring vad som händer i växterna med LED-belysning i växthus är dock fortfarande ganska begränsad, även om den på senare tid börjat ta fart i Nederländerna (ex Hogevoening 2010) och i USA (Massa, 2008). Ett stort intresse finns också kring hur skadegörare påverkas av typen av belysning i växthus exempelvis i Finland (Vänninen et al. 2010). För många odlare känns det ofta säkrare att belysa med konventionell utrustning eftersom det där finns lång erfarenhet. Man vågar knappast satsa på att nya ljuskällor kan möjliggöra högre kvalitet på växterna. Dessutom är investeringskostnaderna initialt för LED fortfarande höga.

Utvecklingspotentialen i Sverige är stor. Det finns en omfattande grundvetenskaplig forskning vid landets universitet om växters behov för effektiv fotosyntes. Kunskapen om ljusets effekt på olika växters utveckling är också gedigen. Den växtbiologiska forskningen i södra Sverige är fokuserad på trädgård, inklusive växthusodling och jordbruk (medan man i norr är fokuserad på skog). Denna kunskap utnyttjas en hel del inom produktionen i växthusen exempelvis för att växterna ska få en jämn blomning eller en optimal tillväxt, men hittills utnyttjar man ganska få variabler i ljussättningen (dagslängd, kombinationer av fasta LED, eventuellt med tillägg av koldioxid). En framväxande distributions- och anpassningsverksamhet rör hittills i huvudsak import av blå och röda lysdioder från Kina och Japan.

Det finns avancerade odlingsanläggningar vid Biologi i Lund och vid SLU i Alnarp där man kan styra flera tillväxtfaktorer (gödning, temperatur, koldioxid, vatten/fukt), såväl som ljusintensitet. Det senare sker dock mest med klassiska ljuskällor. Den samlade kunskapen om ljus i Lund/Alnarp är bred och kan ge landvinningar med betydelse för livsmedelsproduktion och hälsa. Centrum för Sydsvensk Växtforskning, bildades nyligen för att stärka samarbete mellan växtforskningen vid Lunds Universitet och SLU i regionen. I Lund/Alnarp finns allt från utveckling av nya typer av ljuskällor till forskning på effekter av ljus på växter och djur, däribland människan, samt en stark livsmedelsforskning. Dessutom finns många odlingsföretag i regionen med livsmedelsprodukter som tomat, gurka, krukodlad sallat, kryddor mm., såväl som prydnadsväxter. Cirka hälften av Sveriges växthusyta för kommersiell odling finns i Skåne. Med styrbara nya energisnåla ljuskällor finns potential att ta fram odlingssystem för konkurrenskraftiga, närproducerade livsmedel med hög kvalitet. Teknik för starkare LED vars spektrum ännu bättre passar med fotosyntesen, lämpliga för odling är ännu i utvecklingsfas. Anpassning av ljussammansättning kommer att krävas för olika växthusgrödor. Småskaliga, forskningsbaserade försöksodlingar i denna riktning är igång på flera ställen i Sverige. Exempelvis har företaget Heliospektra fått stöd av Västra Götalandsregionen för att utveckla variabel LED-belysning i växthus. I samarbete med forskare vid Biologiska institutionen i Lund (Funktionell zoologi), studeras beteendet hos pollinatörer som humlor i LED-ljus. Sammanfattningsvis är förutsättningarna mycket goda i södra Sverige kring forskning och utveckling av LED-belysning för växter i växthus, i synnerhet om man tar tillvara den starka forskningen och framtagningen av nya nanoLED som sker vid fasta tillståndets fysik i Lund.

3.1.2 Medicin

Forskning kring ljus och hälsa

En medicinskt viktig faktor inom området ljus och hälsa handlar om hur olika former av ljus, vid olika tidpunkter, inverkar på den cirkadiska rytmen och därtill relaterade sjukdomstillstånd. Tidigare förknippade man störningar i detta reglersystem främst med sjukdomstillstånd i samband med skiftarbete där ökad olycksrisk och stressrelaterade hjärtkärlsjukdomar stod i fokus. Med tiden har även andra tillstånd kunnat förknippas med störningar i detta rytmiska system såsom sömnstörningar, vilket är logiskt, men även övervikt, bröstcancer med flera. Lighting Research Center i NY USA www.lrc.rpi.edu har på ett framgångsrikt sätt byggt upp forskning och utbildning med anknytning till dessa frågor och betraktas som ledande organisation inom tvärvetenskaplig ljusforskning. Rubbningar i dygnsrytmen kan leda till ohälsa. En adekvat ljusmiljö kan också befördra hälsa och välbefinnande. LRC rapporterar t.ex. att svag belysning nattetid ger ökad vakenhet, för rött ljus och i ännu högre grad för blått ljus som hämmar melatonin.

Tidskriften "Journal of biological rhythms" relaterar huvudsakligen icke-human forskning kring biologiska rytmer. Dock finns en del spännande artiklar även om rytmer och sjukdomstillstånd hos människan och tidskriften relaterar dessutom till "Society for Research on Biological Rhythms" som har möten vartannat år sedan 20 år tillbaka kring dessa frågeställningar. Mötena hålls i USA och Canada. Vid mötet 2008 framkommer att mötena till mindre del även relaterar humanforskning. I USA men även t.ex. i Frankrike och Asien finns ljusrelaterade forskargrupper. De tillhör ofta enheter för ögonsjukdomar, men även ibland enheter som är inriktade mot Chronobiology, Sleep disorder etc., d.v.s. inte Ljusforskningsgrupper. Någon svensk konferensdeltagare kunde inte identifieras för 2008 trots att det var ett möte med ett flertal publikationer (17-21 maj, 15 symposier, 300 posters, planeringsmöten mm). Ett möte med "National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases" om "Circadian Rhythms and Metabolic Diseases" genomfördes 12-13 april 2010 i USA med deltagare huvudsakligen från USA, vilket innebär att medvetandet om dessa frågeställningar börjar vakna internationellt.

Forskning kring sjukdomstillstånd som är D-vitaminberoende är för närvarande på stark frammarsch, både vad gäller hjärtkärlsjukdomar och cancerformer, se nulägesavsnittet för vidare information. Det är skenbart logiskt att anta att både denna rytmreglering och D-vitaminomsättningen påverkas av dagsljus i allmänhet. Man ska dock vara medveten om att melatoninhämningen medieras av blått ljus och D-vitamin aktiveras av UV-B-strålning. M.a.o. är det rimligt att anta att framtida internationell ljusforskning mer och mer kommer att inriktas på dels monokromatiskt ljus och specifika effekter och därefter polykromatiskt ljus med avseende på vilket mervärde detta kan ge i förhållande till det monokromatiska.

Ursprungligen var människan aktiv under den ljusa delen av dygnet. Därefter kom elden som utsträckte den aktiva tiden något. Under den allra senaste tidsperioden, ca 100 år, har vi haft möjlighet att ändra vårt sätt att leva radikalt genom tillkomsten av elektriskt ljus. Detta innebär att vi måste ta hänsyn till multipla aspekter vid en bedömning av ljusets effekter på hälsan.

Tillgången på elektriskt ljus oavsett källa påverkar också vårt sätt att leva. Uppkomsten av det ständigt öppna servicesamhället är en konsekvens av detta. Detta leder till andra arbetstider där skiftarbete har en dokumenterat hälsoskadlig effekt: Bland annat ökar risken för hjärtkärlsjukdomar (Haupt, 2008) och cancer (Moser, 2006). Samtidigt som utsträckta arbetstider och arbete på andra tider än bara dagtid kan påverka vår hälsa negativt kan tillgången till ljus både ge ett öppnare samhälle och möjliggöra ljusbaserade både förebyggande och behandlingsinsatser där flera organsystem kan påverkas i en gynnsam riktning.

Solen ger värme och ljus, både synligt och UV-strålning. Detta leder till direkta och indirekta effekter som bör beaktas då en del av dessa effekter också kan uppnås respektive förhindras genom artificiell belysning respektive skyddsåtgärder.

Genom påverkan via ögats tredje receptor och åtföljande neurologiska, endokrina och immunologiska effekter påverkas hela organismen på flera olika sätt. Tidigare har solen ansvarat för denna effekt men kunskapen om ljusets effekter via ögat medför att vi också kan påverka dessa system. Ett exempel är ljusbehandling vid årstidsberoende depression (SAD – seasonal affective disorder, se vidare nedan).

Direkta ljuseffekter

Med direkta ljuseffekter avses den verkan elektromagnetisk strålning i våglängdsområdet 380-770 nm utövar på vår organism och delvis även på vår miljö.

D-vitamin

För en adekvat nivå av D-vitamin behövs ett tillräckligt intag i kosten men även exponering för solljus, d.v.s. egentligen UV-B-strålning, som aktiverar inaktivt D-vitamin. Brist bedöms kunna bidra till benskörhet, vilket är välkänt. Förekomsten av benskörhet är högst i vår del av världen, där vi har otillräckligt med solljus under den mörka delen av året.

Även risken för cancer tycks öka av brist på D-vitamin, speciellt bröst-, tjocktarms-, prostata-cancer och lymfom. Det metabola syndromet (diabetes eller förstadier och två av högt blodtryck, höga blodfetter och övervikt) är vanligt i Västvärlden och drabbar i dag ca 10 % av den svenska befolkningen. Både sockerreglering och blodtrycksnivå påverkas av D-vitaminstatus och en rubbning av dessa parametrar ökar i sin tur risken för hjärtinfarkt och slaganfall. Autoimmuna tillstånd som multipel skleros, reumatoid artrit, psoriasis med flera verkar kunna påverkas gynnsamt av D-vitamin och sannolikt påverkas även immunsystemet i allmänhet. Depression verkar också korrelera med lägre D-vitaminnivåer (Humble, 2007, review i Läkartidningen).

Hud- och ögonsjukdomar

Huden är en av våra kontaktytor mot omvärlden och den påverkas både gynnsamt och ogynnsamt av solljuset. Förekomsten av hudcancer som maligna melanom har ökat pga. ökad solning på fel sätt (Abbasi, 2004), medan t.ex. psoriasis förbättras av solbehandling (Menter, 2010).

Ögonen exponeras också för solljuset. Snöblindhet är ett exempel en känd akut effekt medan katarakt, grå starr utgör exempel på en sjukdom som kan uppstå pga. lång tids exponering för UV-ljus (Asbell, 2005).

Indirekta ljuseffekter via 3e receptorn

Berson beskrev förekomsten av en tredje receptor i ögat utöver stavar och tappar som reagerar på ljus och som påverkar vår cirkadiska rytm (Berson, 2002). Denna kunskap bidrar till förståelsen av hur vår biologiska klocka regleras och hur andra hormonella system kan påverkas i sin tur, som t.ex. kortisol som stiger och melatonin som inaktiveras när vi utsätts för solljus på morgonen. Denna rytm ger i sin tur konsekvenser för organismen som helhet både vad beträffar fysiologiska rytmer som sömn – vakenhet och vad beträffar sjukdomsförlopp som t.ex. risken för hjärtkärlsjukdom mm.

Endokrina och immunologiska reglersystem/autoimmunitet

Trots att typ 1 diabetes är en autoimmun sjukdom där den immunberoende destruktionsen av de insulinframställande betacellerna i bukspottskörteln är en process som sträcker sig över längre tid verkar ändå den symtomgivande debuten av sjukdomen vara säsongsb beroende. I en global studie på barn verkar insjuknandet i högre grad inträffa vår och höst vilket tyder på ett mönster där omställningen från vinter till sommar och vice versa har en stressande och immunaktiverande effekt (Moltchanova, 2009).

Utöver en säsongsberoende effekt finns också en dygnsberoende variation där den låga kortisol- och höga melatonin-nivån under efternatten korrelerar med höga nivåer inom den så kallade Th1-beroende delen av immunförsvaret. T-hjälparceller typ 1 (d.v.s. Th1) aktiverar det cellförmedlade immunsvaret. Det är det cellförmedlade immunförsvaret som är aktiverat vid autoimmuna sjukdomar, något som också förklarar varför patienter med reumatism har mer ledvärk och stelhet på morgonen (Cutolo, 2006).

Vid inflammatorisk tarmsjukdom är bilden något mer komplicerad – visserligen föreligger ökad sjukdomsaktivitet under december, men även under sommaren är aktiviteten högre (Hisamatsu, 2007). Teoretiskt skulle man kunna tänka sig stresseffekter både av mycket och lite ljus, men sambandet med lediga perioder och den inverkan dessa kan ha ur stressynpunkt bör nog inte heller underskattas. Antingen kan då sjukdomsaktiveringen bero på andra stressmoment under de skenbart lediga perioderna eller immunmodulation där sänkt stressnivå med åtföljande sänkning av kortisolnivåer skulle kunna inverka genom minskad immunsuppression.

Hjärtkärlsjukdomar – dygn o årstid

Insjuknande i hjärtinfarkt påverkas av tiden på dygnet såtillvida att flesta insjuknar mellan kl 6 och 12 på förmiddagen. En viss ökning kan också noteras mellan kl 6 och 12 på kvällen. Medicinering med betablockad, som minskar sympaticuspådraget kan minska denna dygnsberoende effekt (Hansen, 1992). Kortisolnivån är högre på morgonen och möjligen kan den stresseffekt som uppstår både av uppstigandet på morgonen och av den neurohormonella omställningen bidra till att öka risken. Förekomsten av hjärtsvikt men även risken för dödsfall i hjärtsvikt är högre på vintern och som lägst på sommaren (Stewart, 2002). Till detta kan naturligtvis förutom ljuset även temperaturen bidra, då kall väderlek kan påfresta hjärtat. Denna undersökning genomfördes i Skottland.

Centrala nervsystemet

Centrala nervsystemet är utomordentligt påverkligt av ljusfaktorer. Ljusberoende depression, Seasonal Affective Disorder, SAD, är ett välkänt fenomen som drabbar 1-10% av befolkningen där nedstämdheten med framgång kan behandlas med vitt ljus även om andra behandlingar också kan ges. Förutom sedvanliga antidepressiva har bla även blått ljus föreslagits kunna ha effekt (Howland, 2009). Just användandet av specifikt ljus vid sjukdomstillstånd är ett nytt och spännande område. Vid stavgång hos Parkinsonpatienter förbättrades gångförmågan om staven spred ut grönt ljus jämfört med rött eller inget ljus (Bryant, 2010).

Synergonomi - Ögonbesvär och muskuloskeletala besvär

När ögonen får anstränga sig för att se kommer ögonbesvär, såsom ögontorrhet, ögonirritation och ont i ögonen. Huvudvärk är också en vanlig följd av att ögonen får anstränga sig. För att vi ska kunna se bra måste vår visuella miljö vara väl utformad. Synergonomi handlar om hur vi utformar vår visuella arbetsmiljö med avseende på dagsljus, artificiellt ljus, arbetsuppgifter och individens förutsättningar. I Sverige idag är det ungefär 50 % av alla datoranvändare som har ögonbesvär, i USA ungefär 75-90 %. När en individ har ögonbesvär, påverkar detta också prestationsförmågan. En förbättrad visuell miljö bidrar till mindre ögon- och muskuloskeletala besvär (Aarås et al., 2001). En studie med brevbärare visar att om den visuella miljön förbättras med bättre belysning, så förhöjs prestationsförmågan för de med ögonbesvär, så att den tidigare skillnaden mellan de med och utan ögonbesvär försvinner (Hemphälä et al., 2012). De med ögonbesvär har också en högre andel med muskuloskeletala besvär. Det finns direkta kopplingar mellan ögonen och musklerna i axlar och nacke. Några studier visar nu att om ögat anstränger sig så ökar muskelaktiviteten i m.trapezius (Richter et al, 2011). När vi utsätts för bländning på arbetsplatsen, av t ex. en felplacerad armatur, så ansträngs ögonen, bländning är en av orsakerna till huvudvärk och ögonbesvär. Ögat styr kroppen och för att vi ska kunna se bra så anpassar vi arbetsställningen efter ögonens förutsättningar. Vilket kan leda till felaktiga arbetsställningar och belastningsbesvär.

Slutsatser

Ljus reglerar vår biologiska rytm och det gäller inte bara vakenhet och sömn utan även hormonella, immunologiska och centralnervösa rytmer. Följaktligen har ljus en avgörande inverkan på vår allmänna hälsa. Även om de ovan relaterade undersökningarna talar för mångfaldiga effekter av ljus på vår hälsa utgör de ändå bara ett axplock av vad som är känt och även möjligt. Både den årstidsberoende och den dygnsberoende variationen påverkas av olika former av ljusintervention. Årstidsvariation för sjukdomar och ökad sjuklighet av skiftarbete utgör centrala exempel.

Vi har generellt sett en ökad sjuklighet under vintern, vilket märks på belastningen på landets akutmottagningar vintertid. Det handlar både om ljus- och temperatureffekter. Depression kan t.ex. vara direkt ljusberoende medan influensavirus sprids bättre i kall och torr luft. Vissa sjukdomstillstånd är vanligare vår och höst. Förutom insjuknandet i diabetes enligt ovan är t.ex. magkatarr vanligare under dessa brytningsperioder. Slutligen har vi tillstånd som är vanligare sommartid, där vi återigen måste beakta både ljus och väderlek som bidragande faktorer; vissa hudsjukdomar påverkas t.ex. av ljuset. En övergripande tvärvetenskaplig organisation kan bidra med en övergripande genomgång och systematisering av vilka tillstånd som ska hänföras till vilken årstid /ljusgruppsnivå. Det finns behov av kompletterande forskning kring ännu ej kartlagda tillstånd som skulle kunna vara ljusberoende och möjliga att påverka/behandla med olika former av ljusterapi. Viktigt i sammanhanget är därutöver också möjligheten av modifierad ljusmiljö på arbetsplatser, i hemmet etc. som profylax mot vissa tillstånd.

Vi har således först nu börjat bli medvetna om dessa samband men samtidigt är mycket fortfarande outrett, som t.ex. effekten av ljus med viss våglängd eller effekten av olika ljus över dygnet som behandlingsmetoder vid olika specificerade sjukdomstillstånd. Behovet av forskning kring dessa frågeställningar är stort och ett övergripande samarbete mellan olika grupper är nödvändigt.

3.1.3 Psykologi

Vi vet idag att ljus har en stor påverkan på människan. Visuellt har vi länge varit medvetna om detta och forskningen har också i huvudsak riktat sig mot frågeställningar rörande visuella aspekter av ljus. När det gäller ljusets icke-visuella inverkan är vår kunskap av yngre datum, även om bl. a Linné noterade att människor som lever långt från ekvatorn ofta är melankoliska. Under senare år har forskningen intensifierats och ny kunskap har kunnat läggas fram (Küller, 2004). Vi ser också att praktiker inom såväl medicin som arkitektur tar till sig den nyvunna kunskapen och börjar tillämpa rönen. Emellertid är det fortfarande ett stort gap mellan den experimentella forskningen och praktikernas värld.

Fysiologisk grund

Människan styrs av en dygnsrytm som inkluderar vakenhet och sömn, kroppstemperatur, metabolism och hormonproduktion (Arendt & Prevet, 1991; Hollwich, 1979). Ljuset spelar en viktig roll för att reglera denna process som medieras via retina-hypothalamus-banan som startar i retina och avslutas vid suprachiasmatiske nuclei (SCN¹). Idag vet vi att ljus påverkar såväl tallkottskörteln som hypofysen och hypotalamus som reglerar balansen mellan sömnhormon (melatonin) och stress hormon (kortisol).

¹ Den nervbana som går från ögonbotten till hypothalamus som är en del av hjärnan som reglerar utsläppet av hormoner från hypofysen som i sin tur mha dessa hormoner styr kroppens olika reglerfunktioner. Hypothalamus och hypofys sitter nära varandra centralt i hjärnan. Suprachiasmatiske nuclei är den nervknut i hjärnan som styr vår inre klocka och som gör att vi vet vad klockan är och när det känns som om vi ska vakna eller t.o.m. kan ha försovit oss. Tallkottskörteln eller epifysen är en liten struktur längre bak i hjärnan som framställer melatonin, vårt sömnhormon. Nivåerna är högst på natten i motsats till det aktiverande hormonet kortisol som utsöndras från binjurarna efter signalering från hypofysen. Kortisolnivåerna är högst på morgonen och sjunker sedan långsamt under dagens lopp.

Fram till för c:a tio år sedan ansågs tappar och stavar vara de enda ljuskänsliga receptorerna i ögat. Emellertid antog Ebihara och Tsuji (1980) redan 1980 att varken tappar eller stavar som används för seendet medverkade vid den cirkadiska regleringen. Under 1990-talet genomfördes studier med såväl djur som blinda människor som pekade mot att dygnsrytmen reglerades åtminstone delvis av en annorlunda typ av ljuskänslig receptor (Czeisler et al, 1995; Lockely et al, 1997; Ruberg et al, 1996).

Ett stort steg togs när Berson et al (2002) i en studie på råttor visade att varken tappar eller stavar behövdes för att förändra den cirkadiska rytmen, det var istället en speciell typ av retinala ganglieceller s.k. intrinsic photo-sensitive retinal ganglion-cells (ipRGC) med ett ljuskänsligt pigment kallat melanopsin som innerverade SCN. Under de senaste åren har detta genombrott följts av flera övertygande studier som har visat att människans dygnsrytm påverkas av dessa fotoreceptorer som ibland kallas ”den tredje receptorn”.

Parallellt med den ovan beskrivna forskningen har det pågått forskning rörande betydelsen av ljusets spektrala sammansättning för styrandet av dygnsrytmen. Inledningsvis studerades inverkan av polykromatiskt ljus i relation till biologiska responser. Emellertid studerade Takahashi et al (1984) redan 1984 effekter av monokromatiskt ljus. Emellertid ledde denna forskning inte vidare då. Först när ipRGC påvisades ökade mängden studier radikalt och idag vet vi att melatoninblockering har en pik i det kortvågiga området. Brainard et al (2001) fann en pik-sensitivitet mellan 446-477 nm ($\lambda_{max}=464$ nm), Thapan et al. (2001) mellan 457-462 nm ($\lambda_{max}=459$ nm) och Hankins & Lucas (2002) ($\lambda_{max}=483$ nm).

Denna kunskap är viktig för förståelsen av hur det cirkadiska systemet fungerar. Emellertid använder vi aldrig monokromatiskt ljus i verkliga livet. Som Brainard och Hanifin (2005) pekade på är det av stor betydelse att öka förståelsen för vilken påverkan polykromatiskt ljus har på människan i verkliga applikationer. Några studier har undersökt människor som utsatts för olika färgtemperaturer från lysrörsljus (polykromatiskt ljus). Brainard och Hanifin (2004) jämförde tre typer av lysrör med olika strålning inom det kortvågiga området. Ljuskällan var i denna studie placerad en meter framför ögat med en belysningsstyrka av 2500 lux vinkelrät mot ögat. Resultaten visade att ökad irradians inom det kortvågiga området påverkade melatoninblockeringen.

Sammanfattningsvis kan sägas att det finns övertygande bevis för att ljuset har en icke-visuell påverkan på människan och att hormonblockering kan kontrolleras med ljusstimulering via retinala ganglieceller som är känsliga för viss kortvågig strålning. Emellertid är det svårt att finna belägg för vilken inverkan polykromatiskt ljus har utom under mycket speciella förhållanden som de ovan beskrivna.

Upplevelsen av ljus

Att ta upp rent biologiska aspekter under psykologi kan tyckas märkligt men det finns en koppling till människors känslomässiga tillstånd. Küller et al (2006) visade i en jämförande studie mellan länder långt från och nära ekvatorn att människor som upplevde att man vistades i en ljusare miljö också kände sig mer aktiverade än de som inte upplevde att man vistades i en ljus miljö.

Rörande prestation i relation till färgtemperatur pekar forskningsresultaten åt olika håll. I en studie av Kok (2006) jämfördes traditionella kall-vita lysrör 4000 K med 17000 K i relation till prestation. Man fann att prestationen ökade med 10 % med de ultra-kalla lysrören. Sansal (2007) använde samma typ av lysrör i en laboriestudie men fann ingen skillnad i prestation mellan de två färgtemperaturerna. Ingen av dessa studier lämnade någon information om omfältsljuset eller belysningsstyrkan vinkelrätt mot ögat.

I syfte att undersöka visuell komfort och för att erhålla förutsättningar för hög visuell prestation har många studier genomförts genom åren. För en grundlig litteraturoversikt, se Boyce (2003). Forskningen har koncentrerats kring visuella uppgifter. Den viktigaste faktorn har varit belysningsstyrkan på arbetsytan följt av bländningsstudier och färgåtergivning.

Boyce, (2003) och Veitch et al (2008) fann att en väl upplyst miljö påverkar prestation via känsloläge och motivation. Emellertid har man inte kunnat visa att förprogrammerad dynamisk belysning i en dagsljusmiljö påverkar kontorsarbetares hälsa välbefinnande eller prestation (2010).

Möjligheten att själv styra belysningen kan också påverka människor. (Boyce et al, 2000) fann att i kontor med ljusstyrningsmöjligheter skattade brukarna sin ljusmiljö mer positivt och man skattade arbetsuppgifterna mer positivt. Newsham och Veitch (2001) rapporterade att möjlighet till ljusstyrning leder till ett bättre känsloläge och tillfredställelse genom att brukarna själva kan påverka sin belysningssituation. Andra studier visar att prestationen förbättras avseende uppmärksamhet och arousal när brukarna har möjlighet att påverka belysningssituationen (Newsham et al, 2004). Boyce et al (2006b) fann att kontorsarbetare som hade möjlighet att dimma konstljuset uppvisade högre bestående motivation över arbetsdagen. Newsham et al (2008) rapporterade åter att de kontorsarbetare som hade möjlighet att själva påverka sin belysningssituation var mer tillfredställda.

Belysningsstyrning kan också användas för att uppnå energibesparing. Studier visar att alla typer av styrning sparar energi men individuell styrning leder till lägst besparing medan näravarsensorer och dagsljusutnyttjande sparar mest (Newsham, 2007). Omfattningen av hur stor besparingen är varierar mellan olika studier, från över 50 % (Moore et al, 2003a) till 25 % (Veitch & Newsham, 2000).

Omfältsljuset har oftast studerats i relation till att minska bländning. För låg omfältsluminans påverkar adaptationen negativt och risken för bländning ökar (Küller, 2004). I en annan studie ombads försökspersoner att justera nivåerna av direkt och indirekt ljus från armaturerna i ett klassrum. Resultaten visade att den föredragna proportionen var 55 % indirekt och 45 % direkt ljus. Med detta förhållande var den prefererade medelluminansen i taket och på väggen 128 cd/m² respektive 78 cd/m² vid en konstant horisontell belysningsstyrka av 500 lux² (Govén et al, 2002).

Govén et al (2007) har undersökt betydelsen av omfältsluminansen i en laboriestudie där försökspersonerna vistades en hel dag i ett rum med 500 lux på arbetsytan men med tre olika nivåer av omfältsljus 20, 100 respektive 350 cd/m². Resultaten visade att omfältsljuset påverkade såväl visuell upplevelse, kortisolnivåer som upplevd aktiveringsnivå. Försöken har upprepats och det bestående resultatet är att omfältsljuset påverkar såväl visuellt som biologiskt som emotionellt .

Dagsljusets betydelse för såväl beteende som circadisk rytm är också väletablerad kunskap idag. Küller och Lindsten (1992) visade redan 1992 att skolbarn som vistades i fönsterlösa klassrum reagerade annorlunda både biologiskt och beteendemässigt i förhållande till skolbarn som hade tillgång till dagsljus. Dessa fynd har kunnat visas i andra studier. Bland annat har skolbarn i klassrum med olika tillgång på dagsljus studerats och resultat i linje med Küller och Lindsten har erhållits (Govén et al, 2010).

Ljussättningen i ett rum påverkar upplevelsen av rummet (Newsham et al, 2008). Ett rums färgsättning spelar också roll för hur människorna i rummet aktiveras. Bland annat har man studerat effekten av varma färger i förhållande till kalla. I rummet med den varma färgställningen aktiverades försökspersonerna mer, mätt genom EEG (mer alfarytm), än i det blå rummet (Küller et al, 2008). Dessa effekter har också visats i en studie av Dubois som med ljusfärg varierade ett rums färgställning. Aktiveringsnivån ökade i rummet med den varmare färgställningen mätt som försökspersonernas egen skattning av aktivering. Dessa resultat pekar på en problematik avseende strålningskvalitet och perception. Vi har tidigare konstaterat att melatonin blockeras av kortvågigt ”blått” ljus, vilket skulle

² En ideal isotropt strålande ljuskälla med ljusstyrkan 1 candela ger upphov till ljusflödet 1 lumen/steradian. För en sfär med radien 1 m betyder detta att ljusstyrkan blir 1 candela/m² vilket betyder att 1 lumen/ steradian motsvarar 1 lumen/ m² = 1 lux. Detta betyder för just detta fall (och teoretiskt sett för en punktförmig ljuskälla) att ljusstyrkan 1 cd/ m² ger belysningsstyrkan 1 lux. I många praktiska fall har mätetalen i lux och cd/ m² ungefär samma storleksordning. Det är viktigt att notera att mängden återstrålad ljusstyrka varierar kraftigt med den aktuella ytans reflektans. Det är också väsentligt att komma ihåg att samtliga dessa mätetal är baserade på viktning enligt den standardiserade V(λ)-kurvan för fotopiskt seende.

innebära aktivering, men samtidigt kan vi konstatera att ett rum med kall färgställning ”blått rum” ger en lägre aktiveringsgrad både med neurofysiologisk mätning och med subjektiv skattning av försökspersoner.

Flimmer

En ofta förbisedd faktor är tidsmodulationen hos ljus. Flimmer, eller ljusmodulation (en periodisk tidsvariation i ljusstyrka på sekundnivå), är en av de belysningsfaktorer i vår omgivning som kan påverka oss påtagligt. En viktig fråga är dock om vi även påverkas av ljusmodulation som vi inte visuellt uppfattar, t.ex. när den har en tillräckligt hög frekvens för att tolkas av oss som ett kontinuum, icke visuellt flimmer (ibland uttryckt subliminalt flimmer). Gränsen mellan visuellt och icke visuellt flimmer beror på en rad olika faktorer. Den kritiska flimmerfrekvensen (på engelska Critical Flicker Fusion eller Critical Flicker Frequency, CFF) är ett sätt att beskriva denna gräns (Sandström et al., 2002).

Vid en låg CFF är individen mer påverkbar av det icke visuella flimret än annars. Skillnad i respons studerades i en studie mellan personer med hög respektive låg CFF vid olika belysningsförhållanden. Det visade sig att de med låg CFF presterade sämre och utgjorde ca 40 % av deltagarna (Küller & Laike, 1998).

En studie gjord vid Linköpings Universitet 2001, som ännu ej sammanställts (på grund av dödsfall), hittade skillnader i alfaaktiviteten i EEG när försökspersonerna tittade på CRT i jämförelse med platt skärm och text på papper. Där noterades inga skillnader mellan att titta på platt skärm och att läsa på papper medan ca 50 % av deltagarna hade en mindre förändring av alfaaktiviteten i EEG vid CRT skärmen, något som inte fanns vid de andra alternativen. Ungefär 10 % av deltagarna hade vid CRT skärmen en kraftig förändring av alfaaktiviteten (Wibom, 2004).

Enligt en studie av Sandström et al. (1997) visar det sig att patienter med elöverkänslighet har ett något aktivare nervsystem och därför reagerar starkare på ett antal externa faktorer där ljusmodulation är en av dessa faktorer.

Sammanfattningsvis visar forskningsresultat att det finns samband mellan visuella, biologiska och emotionella aspekter av ljus. För att för att skapa en bra ljusmiljö måste samtliga aspekter beaktas. Emellertid väger olika parametrar olika tungt i olika situationer. I miljöer där människor utövar sin dagliga gärning är kraven betydligt högre för samtliga aspekter än i miljöer där man endast vistas temporärt.

3.2 Ljus och liv -Vision 2020

2020 är Sverige ledande när det gäller att kombinera olika kompetenser för att optimera och variera belysningen utifrån vad organismerna behöver och mår bäst av. Den flervetenskapliga ansatsen ger möjlighet till kvalificerade tolkningar av ljusrelaterade behov och möjligheter. Denna förståelse används för att optimera nyttan av nya tekniska lösningar som möjliggör att dessa behov kan tillfredsställas på ett sätt som är i balans med vad som är energi- och miljömässigt försvarbart. Utgångspunkten tas i organismernas behov, för såväl människor och djur som växter. Den flervetenskapliga ansatsen möjliggör ett tillämpat synsätt där möjligheten att situationsanpassade belysningslösningar på ett adekvat sätt blir en naturlig del av processen. Genom att den samlade kunskapen från flera vetenskapsområden används i de tekniska lösningarna finns det också förutsättningar att kunskapen förs ut till såväl tillverkare som användare av de olika systemen.

År 2020 finns det etablerad flervetenskaplig samverkan kring ljusrelaterade frågor. Flera svenska universitet och högskolor medverkar och dessa har ett nära samarbete med tillverkande företag, fastighetssektorns belysningsrelaterade aktörer. Flera olika användargrupper är involverade i olika former av fallstudier. I det följande beskrivs förverkligandet av denna vision från tre olika forskningsområdens perspektiv: biologi, medicin och psykologi.

3.3 Framtiden

3.3.1 Biologi

Den framtida svenska växthusnäringen kommer att kännetecknas av energieffektivitet och mer systembaserad odling än i nuläget. Belysningen ges från armaturer där man kan justera balansen mellan de olika våglängderna, med fokus på dem som gör mest nytta för växten och därmed undvikande onödig ljusenergianvändning. Ett flertal olika lamptyper, framförallt LED, är tillgängliga och möjliggör detta. Dessa kommer att vara dynamiskt reglerbara och man kan enkelt ställa in belysningsstyrkan så att den stämmer med växtens behov under olika faser av dagen och livscykeln, och odlarens behov av styrning av växtens form och utveckling. Man baserar inställningarna på kompletta odlingsystem som tagits fram för den specifika artens behov, där ett flertal odlingsaspekter beaktas (även koldioxid, bevattning, mm). Det är också fullt tänkbart att specifika odlings sorter och odlingsystem (inkl. ljusstyrning) utvecklas som färdiga, matchade system. I odlingsystemen ingår också lösningar på problemet med att ett extremt växtanpassat ljus inte är optimalt för människor att arbeta i. Dessa kan innefatta ökad automatisering, ljuskonverterande skyddsutrustning, eller att ljuset kompletteras lokalt så att det upplevs som mer vitt av personalen.

Kunskapen om olika ekonomiskt viktiga växter är hög, på grund av att deras genupsättning blivit klarlagd. Man har därför god kännedom om inverkan av olika våglängder på flera nyckelprocesser som intressanta ur både smak- och hälsoperspektiv. Dessa innefattar produktion av näringsämnen, smakämnen, vitaminer och antioxidanter. Man odlar också växter modifierade med avseende på dessa nyckelprocesser, på så sätt att deras ljusreglering kan styras och accentueras. Man kan exempelvis tänka sig att man förstärker ljusregleringen av en komponent så att man, genom specifik belysning, kan stimulera bildningen av ett önskat ämne.

Om tio år vet man också mer om ljusets betydelse för växternas hållbarhet efter skörd, inklusive i butiken. Man vet hur man genom belysning, exempelvis inför skördetillfället, ökar produktens hållbarhet, men man har också program för belysning, t ex med specifika våglängder, för att minimera oönskade skadliga sidoprocesser .

Med ett designat odlingsljus når man en högre produktion och produktkvalitet och samtidigt lägre energiförluster. Uppvärmningen av växthusen sker på andra sätt än genom direktvärme, och som är mer energibesparande (t ex jordvärme).

3.3.2 Medicin

Kunskapsutvecklingen under det närmaste decenniet medför möjligheter att erbjuda ljus med valbar styrka och även med valbar spektralfördelnin. Detta innebär att den ljusmiljö som skapas kan individualiseras utifrån en viss persons eller familjs önskemål eller behov.

Tekniken Genome Wide Scan möjliggör en snabb kartläggning av de gener inom det mänskliga genomet som predisponerar för en viss sjukdom, som t.ex. vid inflammatorisk tarmsjukdom där för närvarande 160 gener är kända . Forskning om miljöfaktorer kommer att klarlägga sambanden mellan detta arv och de miljöfaktorer som är nödvändiga men inte tillräckliga för utveckling av en given sjukdomsbild. Ljusets betydelse för hälsan medieras dels via direkta D-vitaminberoende effekter, dels via indirekta neurohormonella anpassningar p.g.a. ljusnivån via 3e receptorn. Dessutom utgör ljusets samverkan med boende- och arbetsmiljö en psykosocial hälsoeffekt som inte bör underskattas.

Direkta ljuseffekter – D-vitamin

Det generellt ökade ohälsotalet vintertid på våra breddgrader kan bero på mörkret i sig och kylan men även på en ljusbristutlöst D-vitaminbrist. D-vitamin har också föreslagits ha betydelse för infektioner, autoimmunitet (sjukdomar där immunsystemet angriper kroppsegna vävnader, beräknas drabba 5-10% av befolkningen) liksom hjärtkärlsjukdom, benskörhet mm. En ljusmiljö hemma och på arbetet som i viss mån kompenserar för denna ljusbrist skulle kunna få avsevärda effekter på ohälsan i samhället generellt och i så fall skulle stora nationalekonomiska vinster kunna göras. Det är dock ännu okänt i vilken omfattning D-vitamin bidrar till dessa sjukdomstillstånd och även okänt i vilken grad en kompensatorisk ljusmiljö kan bidra till förbättrad hälsa. Följaktligen behövs projekt där D-vitaminets roll i fysiologi och patofysiologi klarläggs.

Neurohormonella effekter via 3:e receptorn

Säsongsberoende depression kan liksom vintertrötthet hänföras till effekter via 3:e receptorn där dagsljus blockerar melatonin och aktiverar kortisol varvid vakenhet under dagen liksom sömnkvalitet under natten förbättras. Genom vårt huvudsakliga inomhuslevande i kombination med det relativa mörkret vintertid uppnås dock inte denna naturliga reglering av den hormonella balansen. Många sjukdomstillstånd är dygnsberoende, hjärtinfarkter inträffar ofta på morgonen och även vintertid och värken vid reumatism är mest påtaglig på morgonen. Dessa effekter beror både på hormonbalans och också immunreglering där dessa system interagerar intimt med varandra. Det är dock ännu okänt i exakt hur hög grad dessa system kan bidra till ohälsa liksom i hur hög grad en kompensatorisk ljusmiljö kan bidra till förbättrad hälsa. Följaktligen behövs flervetenskapliga studier där dessa neurohormonella systems inverkan på fysiologi och patofysiologi, speciellt immunsystemet, klarläggs.

Effekter av ljus med viss våglängd

Utöver dagsljuseffekter föreligger även specifika effekter av ljus med viss våglängd där t.ex. rött ljus är aktiverande och grönt lugnande och dessutom förbättrar den motoriska förmågan vid Parkinson. Härvidlag kan man tänka sig en både psykologisk och fysiologisk, kanske t.o.m. terapeutisk effekt av ljus med vissa våglängder. Detta är ett helt öppet fält med sannolikt enorma möjligheter. Det är önskvärt att studera inverkan av ljus med olika våglängder, på nervsystemet och kroppssystemet, vad beträffar både fysiologi och patofysiologi.

3.3.3 Psykologi

Den framtida belysningen relateras till psykologisk forskning utifrån flera perspektiv. Visionens tre ledord – bra ljus, energieffektivt ljus samt minimal miljöpåverkan – kan samtliga mötas utifrån psykologisk kunskap. Under de senaste decennierna har vår kunskap om och förståelsen för ljusets samlade inverkan, såväl visuellt som icke-visuellt, för människan tagit stora steg framåt. Det finns därför skäl att anta att den erhållna kunskapen kan appliceras i nya belysningsanläggningar. Den främsta utgångspunkten bör vara en holistisk syn där samtidig hänsyn tas till visuella, biologiska och emotionella aspekter av belysningens betydelse. I detta sammanhang måste också situationen ingå som en betydelsefull faktor vid värdering av en belysningsanläggnings kvalitet. I framtiden kommer vi ha möjlighet att på ett bättre sätt än idag avgöra vad som är ”bra” ljus för olika situationer.

Avseende ljuskvalitet och energieffektivitet är användarnas beteende en betydelsefull faktor. Gränssnittet mellan användare och produkt där såväl kunskapen om och viljan att använda produkten på ett energieffektivt sätt är områden där psykologi kan vara av stor betydelse. Utformning av styranordningar, och då inte enbart från ett ergonomiskt perspektiv, utan också från ett miljöpsykologiskt perspektiv där viljan att använda styranordningar på ett energieffektivt sätt kan vara avgörande. Förståelse för hur vardagsbeteenden påverkas av yttre faktorer är en annan ingångsvinkel som kommer att ha betydelse i framtidens användning av ljusstyrningsanordningar. Även beteenden som uppmuntrar användandet av dagsljus och solskyddsstyrning inkluderas i det systemtänkande som

måste vara utgångspunkten för ett energieffektivt användande av belysning. Slutligen finns det socialpsykologiska frågeställningar som kan ha avgörande betydelse för en utveckling mot energieffektivt bra ljus. Före glödlampans tid var tomma rum, släckta rum. Idag kan tomma rum vara tända – detta beroende på en förändrad attityd som ursprungligen hade sin grund i den fara det fanns i att ha levande ljus tända i tomma rum. Den attityden kan återskapas utifrån andra utgångspunkter. Vi har många andra exempel från socialpsykologin där man lyckats i föresatser av denna typ. T.ex. har den generella attityden mot rökning vänt från att vara mycket positiv till direkt negativ. På liknande sätt kan människans relation till ljus och belysning förändras. Förutom det ovan nämnda exemplet kan även kunskap och information till en bredare allmänhet vara nödvändig. Även här kan psykologisk kunskap utnyttjas. När det gäller val och förståelse för olika ljuskällors kvaliteter kan man genom kunskapsöverföring till allmänheten komma långt. Psykologin kan som ämne medverka till att öka förståelsen för hur informationsspridningen skall gå till.

Ett viktigt arbete är att studera samvariationen mellan fysikaliska storheter och mänsklig upplevelse. För att kunna beskriva goda belysningslösningar måste vi använda oss av olika typer av mått. Dessa mått är oftast förankrade i mätning av fysikaliska storheter. Redan i belysningsforskningens tidiga utveckling förstod man vikten av en förståelse för samverkan mellan dessa storheter och människans perception. Genom teknikutveckling kan vi idag alstra ljus på ett sätt som kräver att vi återigen noggrant studerar hur människans perception samverkar med de fysikaliska storheterna. När människans upplevelse av ljus kan beskrivas ökar också möjligheterna till att ställa rätt fotometriska krav och sannolikheten att vi skapar goda ljusmiljöer blir större.

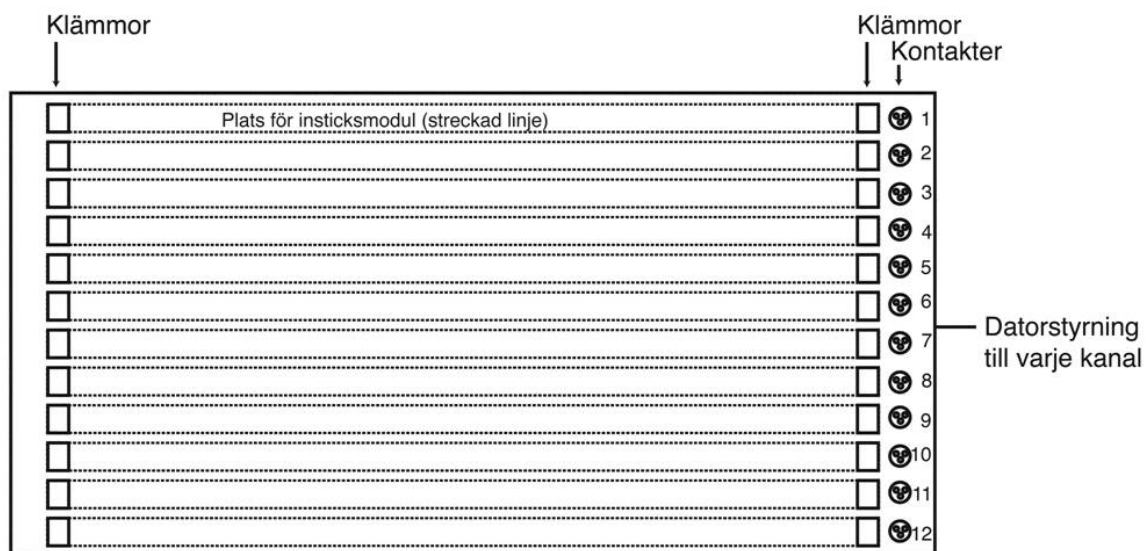
3.4 Ljuslaboratorium

Det finns specifika ansatser för varje vetenskapsområde. Mycket har dock en gemensam grund och det finns fördelar med att skapa en gemensam experimentplattform för ljusrelaterade försök med och behandling av växter och djur.

I centrum står en armatur anpassad för flexibel forskning, och med följande egenskaper (se Figur 5)

- Maximal ljusintensitet i paritet med normalt solljus.
- Datorsystem för tids-, våglängds- och intensitetskontroll av modulvisa LED-batterier av olika typer.
- För att ge en bra ljusgeometri bör LED-batterierna vara stavformade
- Plattformens moduler skall kunna infoga nya typer av LED innan dessa finns integrerade i färdiga produkter, helst redan på prototypstadiet
- Plattformen skall tåla både fuktig och dammig miljö
- Plattformen skall vara mobil, för att kunna användas för olika sorters forskning

Ljusarmatur (Ex. 12 kanaler; Dimension ca. 1000X500 mm)



Insticksmodul (LEDer samkopplade i rörformad modul)



Figur 5 Mobil flexibel pilotanläggning (MobiLED) som kan användas i försök inom främst biologi samt efter viss modifiering även medicin och psykologi.

För att komma igång, måste en pilot-anläggning byggas för att odla växter med next-generation LED (som skall tas fram) i liten skala. Det ger snabbare kunskapsutväxling att prova den nya tekniken under skarpa förhållanden (växthusmiljö). En sådan anläggning skulle kunna användas också för att andra sorters organismer, t ex för synstudier som bedrivs inom Biologiska Institutionen i Lund. Verksamheten bör förstärkas med personal som följer utvecklingen inom belysningsområdet. Samtidigt som man genomför tillväxtstudier för olika ljusförhållanden kan man analysera antioxidanter och vitaminer, också efter skörd.

Det är viktigt att de ljusrelaterade studierna går hand i hand med analyser av växternas allmänna kvalitet. Arbetet bör ske i samarbete med livsmedelsforskare och även inkludera effekter av förpackning och lagring. En del av ljusforskargruppen tillhör och/eller har projekt inom Ideon Agro Food, en stiftelse med ett tvärvetenskapligt forskarnätverk med livsmedelsforskare och andra forskare

inom LU och SLU, Alnarp. Det finns således redan ett aktivt nätverk med kompetens som gör att man kan ta nytta av ett flexibelt ljusforskningslaboratorium.

3.4.1 Biologi

Som framgått ovan är den vetenskapliga kunskapen stor om ljusets betydelse för växter, både i fotosyntes och som signalförmedlare i utvecklingen. Med hjälp av variabla ljusanläggningar som exempelvis MobiLED ovan, kan man enkelt prova olika belysningar och reglera dessa. Man kan därmed optimera tillväxt och utveckling hos en växt både kvalitativt och kvantitativt samt också under växtens livscykel. På så sätt kan ”oljus” minimeras. Denna kunskap kommer att utgöra basen för ljusprogram i uppskalade försök i växthus, inledningsvis i forskningsanläggningarna vid universiteten i Lund/Alnarp, men senare också i försök hos odlare. I detta skede, kommer ljusprogram vara designade för den specifika grödan (exempelvis sallad, gurka, tomat, o.s.v.).

3.4.2 Medicin

Eftersom ljus har inverkan på D-vitaminomsättning och neurohormonell reglering av viktiga hormoner via ljusreceptorer i ögat påverkar ljus centrala mekanismer vid autoimmunitet och hjärtkärlsjukdom, sjukdomsområden som tillhör våra viktigaste folksjukdomar med inverkan både på sjuklighet och livslängd. Nedan utlinjeras några lämpliga forskningsområden.

Direkta ljuseffekter – D-vitamin

Det förefaller som om D-vitamin har betydelse för processer bortom vår nuvarande förståelse. Mona Landin har påvisat lägre förekomst av diabetes hos dem som exponerats för mer solljus. Det verkar också som om immunsystemets reglering kan påverkas av D-vitaminnivån. En miljö tex på sjukhus som tar detta i beaktande och som mha avpassat ljus kan tillföra D-vitamin via huden skulle kunna ha en behandlingseffekt. Detta är dock fortfarande huvudsakligen hypoteser baserade på tidiga data. Genom en ljusmiljö som kompenserar för ljusbrist och som ger vårt behov av D-vitamin skulle den säsongberoende ohälsan kunna reduceras.

Neurohormonella effekter via 3e receptorn

Ljus som används som kompensation för skiftarbete skulle kunna ge hitills oväntade hälsoeffekter. Starkt ljus nattetid kan t.ex. öka vakenheten på samma sätt som kaffe enligt rön från LRC i USA. Dock är det inte bara ljus med brett spektrum som kan ha hälsoeffekter utan även smalbandigt ljus. Dock är mekanismerna för detta oklara. Ett ljuslaboratorium t.ex. på sjukhus skulle kunna bidra till att klargöra dessa samband.

Medicinskt välgrundade fallstudier av belysning

Sverige är bra på klinisk forskning och det finns fördelar med att arbeta i kontakt med patienter som är väl observerade medicinskt sett och som har tid för dialog kring ljusrelaterade aspekter. Att testerna görs med patienter som har olika former av sjukdomstillstånd är en intressant grund för att kunna göra fruktbara observationer. Det finns här en analogi med att utveckling av ergonomiska produkter som skall möta speciella behov ofta ger vägledning för hur man bör utforma användaranpassade produkter. En produkt som är greppvänlig för en person som har speciella svårigheter med sin gripförmåga är ofta mycket greppvänlig för de flesta.

Det är därför intressant att studera effekten och upplevelsen av olika former av belysning i vårdlokaler. För att det skall bli en verkligt bra fallstudiemiljö bör det vara enkelt att göra olika installationer, styra och mäta ljuset på ett flexibelt sätt. Man bör t.ex. göra det enkelt att mäta energiförbrukning, belysning och mängden och formen av dagsljus, separat för varje vårdplats. Det finns en hel del att vinna om man redan i de fasta installationerna gör förberedelser som förenklar för flera omgångar av fallstudier. En konkret grund är att dra ledningarna på ett lämpligt sätt, installera lämpliga former av uttag på

lämpliga platser i rummen och installera separat energimätning för varje vårdplats. Det är också lämpligt att installera fasta ljussensorer och ordna mätdatorplats. Ett exempel på vad som kan göras är att det finns planer på förberedande installationer på en sjukhusavdelning med 16 vårdplatser. Det grundläggande för att sådana installationer skall bli verkligt givande är att det finns lokalt intresse och nätverk för att medverka ljusforskning. En sådan avdelning kan utvecklas som ett internationellt ledande på exempel på flexibel arbetsplattform för medicinskt välgrundade studier med olika former av belysning.

3.4.3 Psykologi

Forskningen har utvecklats från att i huvudsak ha varit inriktad mot belysningsstyrkor och deras betydelse för prestation, till att under den senaste 20-årsperioden även tagit in ljusets icke-visuella betydelse. Även gränssnittet människa-teknik har börjat studeras i större omfattning. Baserat på denna grund kan två huvudlinjer urskiljas. En som handlar om effekter av de nya typerna av ljuskällor som utvecklas och en som handlar om mänskligt beteende i relation till ljus och belysning, inbegripet såväl hur vi väljer ljus och belysning och hur vi på en mikronivå styr och hanterar ljuset i vår omgivning. Den snabba utvecklingen av nya ljuskällor kräver att dessa prövas såväl perceptuellt som icke-visuellt. Frågor som berör mänsklig perception är mycket viktiga att studera. Vi behöver därför bättre kunna beskriva vilka kvaliteter som ger ett bra ljus. Metodstudier för utvecklandet av mätmetoder för upplevelse bör genomföras. Forskningen rör såväl psykologiska som medicinska aspekter varför en mångvetenskaplig ansats är nödvändig. Förståelse för hur vi beskriver ljuset kan ökas om vi hämtar kunskap från andra områden som t. ex växtbiologi som redan idag beskriver ljuset på ett sätt som är adekvat för sitt område. Studier som beskriver samvariation mellan fysikaliska mått och mänsklig upplevelse är viktiga.

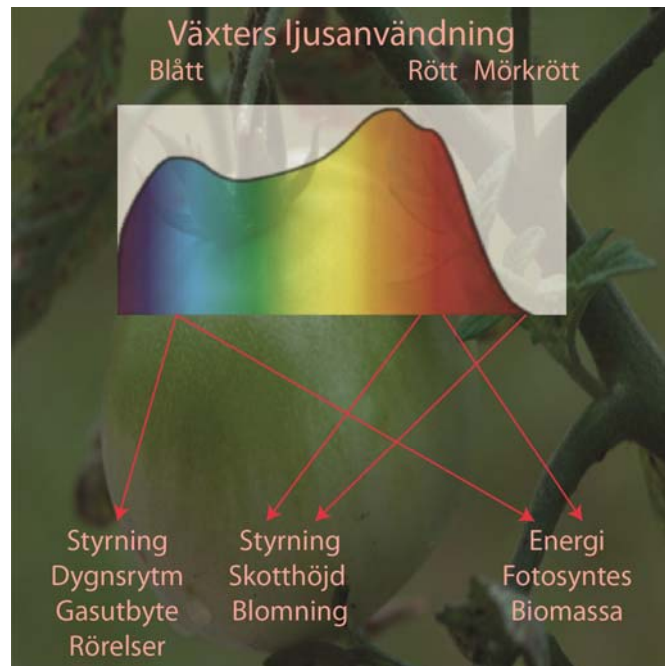
3.5 Nyttan av samverkan mellan biologi, medicin och psykologi

Vårt moderna samhälle är mycket beroende av artificiellt ljus såväl inom- som utomhus. Samtidigt är artificiellt ljus en stor energislukare. Utvecklingen av belysningstekniken ger möjlighet att samtidigt skapa bättre belysning och spara energi. För att få full utväxling av detta tekniskifte krävs att de tilltänkta användarna vill ha den nya tekniken. Hur den nya tekniken tas emot och används i vardagssituationer är av stor betydelse för utfallet. För att förstå de hinder som finns för att människor skall ta till sig de nya tekniska lösningarna bör en integrerad definition av hållbarhet övervägas och den bör innehålla såväl hållbarhetsbegrepp som går utanför ekonomiska frågor som en öppenhet och mångfald som går utanför det redan etablerade. Tillgång till ny belysningsteknologi bör ses som en social resurs som tillför brukarna såväl ett bättre ljus som ett energieffektivt hållbart system. Detta studeras vanligtvis inom området miljövardpsykologi, där individen eller gruppen är studieobjekt. Det kan här också röra sig om tvärvetenskapliga studier där psykologer, ekonomer, etnologer och sociologer möts i ett gemensamt arbete.

Den flervetenskapliga dialogen mellan biologer, medicinare och psykologer aktualiserar ofta att det finns grundläggande likheter i sensorsystemens uppbyggnad och i hur signalbehandlingen sker. Dialogen mellan biologer, medicinare och psykologer visar att växter och djur, åtminstone i viss omfattning och på en grundläggande nivå, reagerar på ett likartat sätt på vissa slags ljus. Vi har viss kunskap om i vilken utsträckning och på vilket sätt, med vilka molekyler osv. Det finns en intressant möjlighet att växtforskning kan ge information som kan utvecklas till kunskap om hur ljus kan användas för att uppnå hälsoskapande effekter hos människan.

Dialogen i anknytning till hur växter påverkas av olika våglängder, se Figur 6, är intellektuellt stimulerande. Vid lite eftertanke är det naturligt att växter och djur påverkas av ljus via nästan samma grundämnen och kemiska föreningar. Evolutionärt sett är det naturligt att delar av den ljusrelaterade signalbehandling som har utvecklats i primitiva organismer har överförts till allt fler växter och djur. Det bör här noteras att även växter använder ljusets information för att styra sitt "beteende", t.ex. som vägledning för om växten bör höja eller sänka sin aktivitetsnivå och när en viss växt börjar blomma. Det är tankeväckande att forskningen kring den tredje receptorn aktualiserar liknande frågor kring hur olika former av ljus påverkar den mänskliga aktivitetsnivån. Projektets flervetenskapliga dialog mellan biologer, medicinare och psykologer aktualiserar att det finns grundläggande likheter i sensorsystemens uppbyggnad och i hur signalbehandlingen sker.

Insikter i de grundläggande mekanismerna bakom de här effekterna, "beteendena", kan ge inspiration till uppbyggnad av mer välförankrad förståelse kring en del grunder bakom psykologiska mekanismer och estetiska upplevelser. Kunskap om hur de grundläggande biokemiska mekanismerna fungerar är en viktig bas för utveckling av medicinsk kunskap. De nya tekniska möjligheterna att enkelt variera flera ljusrelaterade parametrar ger helt nya förutsättningar att i snabb takt kunna växla mellan olika försöksförutsättningar. Detta förbättrar möjligheterna att ta fram mer information i mycket snabbare takt, vilket gör att den ljusrelaterade forskningen kan bli mycket mer givande.



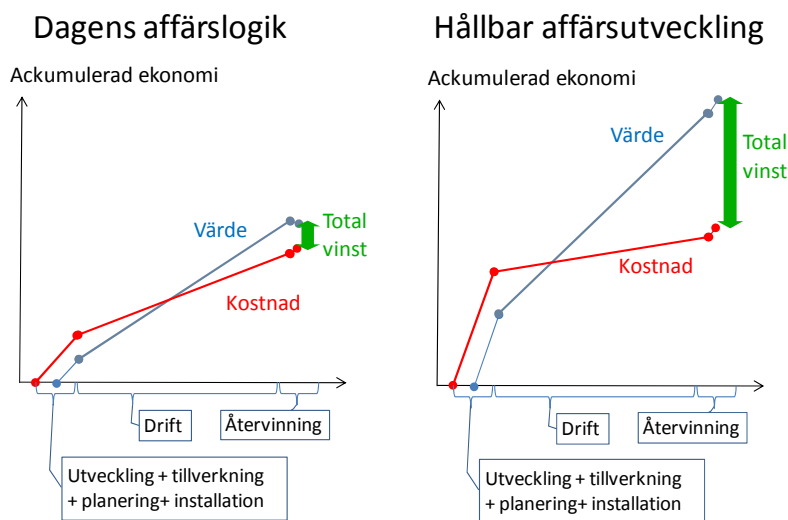
Figur 6 Växter tar nytta av ljus med flera olika våglängder, som drivkraft och informationskälla, för flera olika former av funktioner.

Sverige har sedan decennier forskare, t.ex. Anders Liljefors, som tagit ledande roller i att aktualisera att det är viktigt att utveckla den ljusrelaterade begreppsapparaten och att utveckla kompletterande metodik för mer mångsidiga ljusmätningar. En översikt av forskningsfrontens syn på behovet av mer avancerade mätningar av ljusfördelning och spektralfördelning finns i en avhandling av Bo Persson (1990). Behovet att studera hela spektrum aktualiseras när man studerar ekoeffektiviteten för nya ljuskällor, t.ex. i en analys av en plasmalampa (Karlsson T., 2011). De stora svenska investeringarna i forskningsanläggningar som använder synkrotronljus i forskning om nanoprocesser stärker nu möjligheten att Sverige kan ta en ledande roll i utvecklingen av ljusrelaterad forskning för en hållbar samhällsutveckling.

Den nya belysningstekniken och de nya möjligheterna att analysera ljusrelaterade effekter förbättrar potentialen att skapa mycket mer produktiva försöksförutsättningar för flera former av mer givande forskning inom livsvetenskaperna. Den biologiska, medicinska och psykologiska kunskapen är viktig som vägledning för att kunna ta en ledande roll i att introducera den nya belysningstekniken och spara energi på sådana sätt att den nya belysningen bidrar till mer rättvisande upplevelser, av varandra, det vi tittar på och de rum vi vistas i.

4. Hållbar innovation

Affärslogiken och arbetsformerna inom dagens belysningssektor erbjuder möjligheter för betydande värdeskapande förändringar. Energiförbrukningen är idag hög, livslängden kort och belysningen svår att styra och underhålla vilket gör att den totala driftskostnaden är hög. Med Sveriges kompetens kan en bättre miljöanpassning över produkternas livscykel, för att minimera miljöpåverkan och hållbart ta till vara de material som används, genomföras. Detta betyder att om samhällets sammanlagda vinst är relativt liten idag, se figur 5, (vänstra diagrammet) så kan vi genom kloka investeringar i mer högvärdiga lösningar öka den totala vinsten väsentligt. Det vänstra diagrammet i figur 5 visar effekten av otydlig förståelse av brukarens behov, låg kompetensnivå och bristande samarbete. Förenklat sett illustrerar det vänstra diagrammet en etablerad volymmarknad med små marginaler medan det högra visar en investeringsinriktad nischmarknad med högre marginaler.



Figur 7 Total livscykel ekonomi för dagens affärslogik i jämförelse med det potentiella värdeskapandet med en mer utvecklade och investeringsinriktade arbetsform – en mer hållbar affärsutveckling. Den totala vinsten inkluderar både brukarnas fördel av att ha bra belysning och tillgång till bra belysningslösningar och även samhällets vinst av att lokaler och platser i Sverige har bra belysning.

För att möjliggöra en hållbarhetsinriktad förnyelse är det viktigt att öppna upp för förnyelseinriktad entreprenörskap. Det är också viktigt att skapa styrmedel som ger vägledning och incitament för hållbart agerande.

Under perioder av snabb radikal förändring är det viktigt att relativt snabbt börja ta väsentlig nytta av de uppkommande möjligheterna. För att begränsa risken att en förhastad introduktion leder till motstånd mot den nya tekniken är det dock viktigt att inte gå allt för snabbt fram. För att få saker att hända någorlunda snabbt och samtidigt begränsa riskerna är det viktigt att så tidigt som möjligt börja experimentera med att ta nytta av den nya tekniken – så att man får igång en läroprocess.

Hållbar innovation bygger på att snabbt komma igång med lärande om kommande former av teknik, i relation till ett tillräckligt brett och långsiktigt tänkande. Tankesätten tar fasta på att den bredare och mer gedigna kunskapsgrunden ger möjlighet att samtidigt förbättra både företagets affärsmässiga styrka och dess miljöprestanda. En av de första artiklarna som vann genomslag för sådana tankar var (Porter och Lindhe, 1995).

4.1 Hållbar innovation - Vision 2020

Sverige är ledande på att öppna upp för allt mer högvärdig och hållbarhetsinriktad affärsutveckling inom belysningssektorn.

År 2020 är Sverige ett föregångsland inom hållbar innovation. Vi befinner oss då i ett läge när samhällets styrmedel och företagens strategier och operativa arbete verkar i symbios för att uppnå samhällets hållbarhetsmål. Svenska företag är välkända internationellt för att ta fram nya produkter och system som bygger på en förståelse för vad god belysningskvalitet är och som vilar på hållbarhetsambitioner, såväl vad avser miljö som sociala frågor. Sverige har omsatt de potentiella energi- och miljövinster som den nya tekniken erbjuder i reella energibesparingar och minskad miljöpåverkan, samtidigt som belysningskvaliteten i hem, på arbeten och i offentliga byggnader har höjts på ett genomgripande sätt.

Införandet av styrmedel bygger på en gedigen analys av olika styrmedels effektivitet, kostnader och förmåga att stimulera entreprenörskap som verkar för hållbar förnyelse. Svensk forskning har under det gångna decenniet försörjt svenska myndigheter med utvärderingar av olika styrmedelsinsatser i Sverige och andra länder, samt idéer och förslag för hur styrmedel bäst utformas och kombineras. Härigenom har en balans uppnåtts mellan lagbaserade krav och frivilliga initiativ. Sverige har en ledande roll i att utveckla EUs lagstiftning och har medverkat till att Europa ligger i framkanten när det gäller miljö- och energirelaterade krav på de olika belysningsprodukterna. Kraven är utformade så att de fokuserar på brukarnas intressen av god belysning. Europas krav är globalt trendsättande och är koordinerade med övriga OECD-länder. Utvecklingen av europeiska och internationella standarder bygger ofta på svenska idéer och förslag. Ett nära samarbete med Östasiens starka ekonomier är väletablerat formellt och informellt på olika nivåer: myndigheter, företag och forskning.

Sverige är ledande på att starta upp lärorika utvecklingsprocesser. Det svenska näringslivet har i samverkan med kvalificerad forskning utvecklat effektiva strategiska och operativa verktyg för hållbar innovation. Nya metoder och verktyg för produkt- och systemdesign samt för arbete med leverantörskedjorna har nått god spridning inom belysningsbranschen. Svenska företag har, genom ett nära samarbete med forskningen och en god nationell avsättning för nya förbättrade system, nått och befast tätt positioner för flera delar inom belysningssektorn. Baserat på samhälls- och företagsinriktad forskning har ett företagsklimat skapats som skapar goda möjligheter för nya idéer att utvecklas och för entreprenörer att omsätta dessa i livskraftiga företag.

Beställarna av belysningslösningar har genom system för informationsspridning och utbildningsinsatser blivit effektiva när det gäller att hantera hållbarhetsfrågor, integrerat med frågor som gäller ekonomi och ergonomi, i samband med kravspecifikationer och inköp. Ett bättre utnyttjande av kompetensen hos ljusplanerare och elkonsulter är resultatet av förbättrad förståelse för deras kompetens på marknaden och reviderade former för entreprenader. Informationssystemen för såväl professionella som privata kunder har blivit lättanvända verktyg för att fatta inköpsbeslut som balanserar de olika kraven som ställs på god belysning.

Svensk forskning inom styrmedelsområdet och vad avser anpassade företagsstrategier och -verktyg sker i nätverk som kontinuerligt förser denna forskning med resultat från andra forskningsområden. Svenska forskare är aktiva i internationella nätverk och initierar samarbeten på europeisk och global nivå. Framtidens forskning och utvecklingen i företagen främjas genom välutvecklade utbildningsinsatser på universiteten och tvärvetenskapligt samarbete i starka forskningsmiljöer.

4.2 Hållbart systemtänkande

4.2.1 Miljövetenskapliga grunder

Under de senaste decennierna har gradvis mer och mer uppmärksamhet börjat riktas mot produkternas hela livscykel – från råvaruframställning till användning och slutligt omhändertagande. Detta är bland annat ett resultat av att ökade krav på industrianläggningar har lett till att den relativa andelen miljöpåverkan som kommer från produkternas användning och slutliga omhändertagande blivit allt mer framträdande. Fokus när det gäller vilka miljöaspekter som värderas har också förändrats mot ett ökat fokus för frågor kring klimatförändringar, toxicitet och materialtillgång. Kopplingen mellan materialutvinning och biologisk mångfald kan beräknas bli allt mer betydelsefull i framtiden.

Svensk miljöforskning är traditionellt stark när det gäller så kallad effektforskning. Denna forskning är väl fördelad över landets olika universitet och andra forskningsorganisationer. Tillgången till denna typ av grundforskning är väsentlig för att identifiera miljöhot och hitta olika orsakssamband.

Forskningen är i huvudsak inte specifik för olika produktområden, men när det gäller belysningsfrågor och elektronikområdet generellt kommer det att vara väsentligt att också ta hänsyn till mindre vanliga grundämnen och föreningar, som i allt väsentligt bara används inom dessa områden – ett illustrativt exempel är indium.

4.2.2 Livscykelanalys

Nära relaterad till effektforskningen är den systemanalytiskt orienterade forskningen. Sverige har här ett antal starka forskningsgrupper, inte minst vid Chalmers och KTH men också vid andra universitet och forskningsinstitutioner. Forskningen inom området är, till en inte obetydlig del, av grundforskningstyp och relativt oberoende av tillämpningsområde. Men på samma sätt som för effektforskningen erbjuder produkter som bygger på elektronik och unika material en speciell utmaning genom att det ofta saknas god information om sådana material och påverkan från deras tillverkning. Sådana material är såväl grundämnen, som ovan nämnda indium, och olika föreningar vars framställning och omhändertagande orsakar betydande miljöhot och/eller hög energi- och resursanvändning – exempel är bromerade flamskyddsmedel och superrena kemikalier i halvledartillverkning.

En generell trend verkar vara att den relativa betydelsen av råvaruutvinning och materialframställning för den totala miljöpåverkan tilldelas allt större vikt med ökad kunskap. Detta talar för att frågor om att sluta materialcykler och återanvända material kommer att vara viktiga för att minska den totala miljöpåverkan. Allt fler röster höjs också för att samhället måste säkra tillgången på strategiskt viktiga material, i synnerhet knappa grundämnen, genom förbättrade system för att sluta materialcyklerna. Ett antal sådana material används i nya belysningslösningar. Det finns dessutom ofta en konflikt mellan energieffektivitet och toxicitet hos materialen som behöver vägas in när olika lösningar värderas.

4.2.3 Ljus och energi i byggnader och miljöer

Den kombinerade effekten av dagsljusinsläpp, den uppvärmning detta ger och belysning har stor betydelse för inomhusmiljön och uppvärmnings- och kylbehovet för byggnader. För att undvika suboptimeringar måste byggnaden hanteras som ett mångdimensionellt system.

På grund av högre krav att spara energi för uppvärmning har byggnadsskalet och ventilationssystemen förändrats drastiskt under de senaste åren. Tjockare värmeisolering, nya byggnadsmaterial samt energisnål ventilation med värmeåtervinning har påverkat termiska och hygroskopiska förhållanden och därmed effekten av solinstrålning, dagsljus och belysning.

Bostads- och servicesektorns elanvändning kan delas upp på hushållsel, driftel samt uppvärmning med el. Ett hushåll använder ca 800 kWh per år till belysning. Belysning är den enskilt största delen av hushållselen, följt av kyl, frys och hemelektronik. Ungefär fem procent av den el som går till en glödlampa ger ljus, resten omvandlas till värme. Om alla glödlampor byts till lågenergilampor kan elbehovet för belysning minska med 80 procent. Skulle detta få några andra systemeffekter?

Passivhus saknar traditionellt uppvärmningssystem, så den värme som alstras av de boende, elektriska apparater, belysning mm påverkar inomhustemperaturen. I passivhusen räknar vi med en "Gratis effekt" på några watt per kvadratmeter om man inkluderar personvärme och en viss vintersol. Om de mest effektiva apparaterna och belysningen som finns på marknaden idag används blir det bidraget ca 4 watt per m². När det kommer ännu effektivare system, t.ex. LED - belysning, kommer nivån på gratisenergin att sänkas till kanske 2-3 W per m². Den pågående utvecklingen mot mer energieffektiva hushållsmaskiner och belysningslösningar påverkar således byggnaders energibalans. För att de byggnader som projekteras idag skall ge ett tillfredställande inomhusklimat krävs att man tar med effekterna av denna utveckling i planeringen t.ex. genom att redan idag kräva förbättrade termiska egenskaper hos byggnaders klimatskal. Om man agerar proaktivt finns det möjlighet att skapa bättre komfort på ett totalt sett mer energieffektivt sätt.

Stora fönsterareor innebär att värmeförlusterna från en byggnad ökar under uppvärmningssäsongen medan fönstren sommartid kan orsaka övertemperaturer inomhus på grund av solinstrålning. I dagens passivhus är övertemperaturer på sommaren det stora problemet, inte att det blir för kallt på vintern. Samtidigt vill man minska elanvändningen genom att i så hög grad som möjligt ta tillvara dagsljuset. Ytterväggar tenderar att bli tjockare och tjockare för att få plats med tillräckligt med värmeisolering, vilket försvårar möjligheten att få in dagsljuset djupt in i byggnaden. När det gäller bostäder är det framför allt när det är mörkt ute som ljuset behövs, det är förmodligen då de flesta är hemma. Stora fönster bidrar då inte till att få ljus inomhus utan medför snarare att man belyser trädgården.

Ett av de mest effektiva sätten att reducera energianvändning för artificiell belysning, i industri- och kontorsbyggnader, är att utnyttja dagsljuset (Crisp, 1988, via Mardaljevic, 2006). För en given belysningsnivå ger ljus från en klar blå himmel det minsta värmestillskottet. Förutom direkt besparing som minskar energianvändningen, får man en indirekt energibesparing genom minskad värme- produktion och reducerad energianvändning för luftkonditionering. (Hanselaer et al, 2007).

Stora fönster resulterar dock ofta i hög solinstrålning och mycket varierande värme- och kylbelastning. (Tzempelikos & Athienitis, 2007). Arkitektur med mycket dagsljus riskerar därför att leda till ökad total energianvändning (Mardaljevic, Hescong & Lee, 2009). Ett alltför vanligt scenario i inglasade byggnader är att solskyddsanordningar för att reducera bländning används samtidigt som belysningen är tänd. Belysning måste därför förstås i ett systemperspektiv tillsammans med andra installationer i byggnaden. Värme, kyla och ventilation påverkas i stor utsträckning av belysningsanläggningarna och driften av belysningssystemet.

Energieffektivitet är en viktig fråga för belysningskonsulter men den måste balanseras gentemot behovet av en väl belyst miljö för att säkra produktivitet, välbefinnande, säkerhet och hälsa (Loe, 2009). God belysning kan vara tillfredställande och skapa produktivitet medan dålig belysning skapar otrivsel, trötthet och stress (Küller, 2004). En ohälsosam inomhusmiljö leder till en nedgång i produktivitet och även ökad sjukfrånvaro (Fisk, 2000, via Bluysen & Cox, 2002). I kontor där den stora kostnaden relateras till de anställda (lön, utbildning, kompetens etc), måste huvudsyftet med belysningen vara att stödja de anställda i deras arbetsuppgifter och att försäkra sig om att de är nöjda med belysningsförhållandena (Boyce et al, 2006). Därför är syftet med kontorsbelysning att maximera de kontorsanställdas arbetstillfredsställelse samtidigt som man minimerar energianvändningen (Boyce et al, 2006).

Genom att utforma byggnader som i högre utsträckning använder sig av dagsljus och uppmärksammar de fördelar naturligt ljus ger kan man uppnå en högre tillfredställelse bland de anställda (Webb, 2006). Ljus stimulerar inte enbart vår visuella respons, utan påverkar också vår perception och därmed indirekt vårt känsloläge, motivation och beteende (Goodman et al, 2006; CIE, 2004, via Goodman, 2009). Många kontorsbyggnader på 1980-talet utformades för att isolera de inre förhållandena från dem på utsidan vilket orsakade kostnader (Voss et al, 2007). Idag försöker man konstruera byggnader där individen får större möjlighet att kontrollera inomhusklimatet och att ersätta den totala isoleringen från utomhussituationen med en viss interaktion med förhållandena på utsidan.

Genomföringar för installationer är ofta orsak till otätheter med ökad energianvändning och risk för fuktskador och dålig komfort som följd. Värmen i den luft som läcker ut kan inte tillgodogöras i ett värmeåtervinningssystem. Byggnadens lufttäthet påverkar boendekomforten. En luftläcka från ett varmt och fuktigt utrymme inomhus kan under årets kalla dagar ge kondens i byggnadsstommen. I lägen där kondensvattnet kan absorberas av organiska material är risken stor för angrepp av mögel och rötsvampar. Dåligt tätade genomföringar för installationer har ofta orsakat problem. En vanlig orsak till läckage är att installationer med infällda belysningsarmaturer, strömbrytare och kontakter utförts genom att ett hål skärs upp i takets eller väggens täta skikt, ångspärren. Det är svårt att täta dessa genomföringar effektivt.

4.2.4 Miljöledningssystem

Det industriellt mest använda verktyget för miljöarbete är miljöledningssystem. Standaren för miljöledningssystem fokuserar på att företaget måste se till att arbeta på ett sådant sätt att man vet vilka miljöeffekter verksamheten leder till. Den kräver också att man gör verkligt seriösa försök att göra kontinuerliga förbättringar. Standarden innehåller inga generella kvalitativa krav på hur mycket miljöbelastningen skall minskas.

Det tydliggörande som miljöledningsarbetet leder till tenderar att fungera som en drivkraft för förbättring. Tydliggörandet av hur olika aspekter hänger ihop gör också att man skapar en bättre grund för systematiskt lärande.

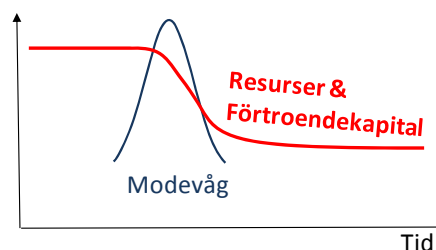
4.3 Belysningssektorns möjliga värdeskapande

För att åstadkomma en hållbar samhällsutveckling är det viktigt att skapa mänskligt värdefulla lösningar på ett totalt sett ekonomiskt sätt. Detta inkluderar att minimera resursanvändningen för varje givet värdeskapande. Ur ett långsiktigt strategiskt perspektiv är det ännu mer grundläggande att i tillräckligt hög takt skapa nya former av värden på klokare sätt.

Dagens situation inom den svenska belysningsbranschen ser ut att fungera som en tillväxtorienterad volymmarknad för lågvärdiga lösningar med små marginaler. Det finns behov av att öppna upp för förnyelse som ger högre värdeskapande.

Det är svårt att greppa vad man avser med hållbar innovation. Innovation handlar om att tjäna mer pengar genom affärsmässig aktivering av uppfinningar och ny kunskap. Det finns idag en tendens att uttrycka sig som om alla sorters affärsutveckling vore ”innovation”. Vår användning av begreppet innovation fokuserar här på affärsutveckling som bygger på att man åstadkommer en högre nivå av värdeskapande för all inblandade parter. En positiv innovation vinner alla på och får därför en naturligt stark utveckling för all inblandade parter. En verkligt bra affärsprocess vinner alla på och den har därför en naturligt stark utvecklingskraft. En utvecklingsmässig svårighet är att även affärsutveckling som bygger på att man knyter an till en tillfällig våg av intresse, en ”modevåg”, kan resultera i en hög nivå av värdeskapande, som dock riskerar att bli kortvarig. För att affärsutvecklingen skall bli långsiktigt lönsam bör man tänka igenom hur man gör anknytningen till den nuvarande affärschansen och vad den näraliggande affärsutvecklingen kan resultera i på längre sikt och ur ett vidare perspektiv.

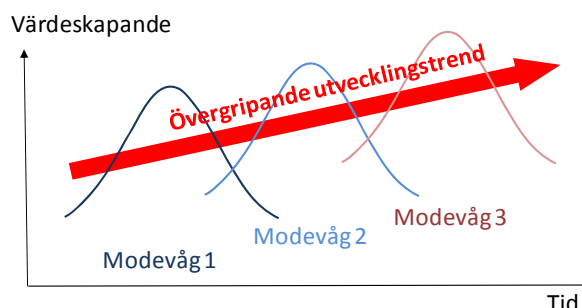
Om ett företag t.ex. har en upparbetad image och kopplar denna till att tjäna pengar på en tillfällig modevåg så riskerar företaget att förbruka mer av sitt immateriella kapital än vad man tjänar på den tillfälliga modevågen, se Figur 8. En analog konsekvens kan uppkomma om företaget har kompetenta ingenjörer och sysselsätter dem med banal kostnadsjakt som inte ger någon kompetens för framtida värdeskapande. Under tiden är det då risk att företagets kunskap tappar aktualitet, och kanske också att man har tappat personal.



Figur 8 Risken för negativ långsiktig effekt på grund av en trångsynt fokusering på nuvarande vinst

Ur ett samhällsperspektiv tenderar utvecklingstrenden att bli ohållbar om man gör kortsiktiga investeringar som resulterar i lösningar med dålig funktion, höga driftskostnader och stora negativa miljökonsekvenser. För att frambringa en hållbar utvecklingstrend är det grundläggande att arbetet med att skapa den nuvarande vinsten görs på sådana sätt att man lägger grund för att kunna göra bra vinst i framtiden. Det nuvarande arbetet med teknik- och affärsutveckling bör utföras på ett sådant sätt att man förbättrar grunden för framtida teknik- och affärsutveckling, på en allt högre värdenivå, se Figur 9.

En tolkning av figurens övergripande trend är att hållbar utveckling handlar om att investera på ett vidsynt och långsiktigt genomtänkt sätt. Varje fas av investering bör skapa förutsättningar för att sedan kunna investera på ett ännu mer givande sätt. En bärande grund är att företag som har en god förmåga att ta till sig ny kunskap som uppkommer utanför företaget, t ex genom forskning, har större möjligheter att vara ledande inom



Figur 9 Värdeskapandet i en verksamhet som tar affärsmässig nytta av olika modevågor och som samtidigt bygger grund för en allt högre nivå av värdeskapande.

branschen (Cohen & Levinthal, 1990). Hur stark denna förmåga är bestäms främst av vilken kunskap som finns internt i företaget. Man har alltså lättare att ta till sig kunskap som ligger nära det man redan kan, och detta betyder t.ex. att de företag som har man kompetenta ingenjörer i företaget kan man också ta till sig och tillämpa den tekniska kunskap som uppkommer externt.

Intressevägarna i Figur 7 är ett sätt att beskriva produktlivscyklar. Alla produkter uppkommer på en marknad som (givet att produkten slår) blir en tillväxtmarknad, för att – när konkurrenter har etablerat sig och utbudet blivit lika stort eller större än efterfrågan – bli en mogen marknad, för att därefter, när nya innovationer kommer, stagnera. I den mogna/stagneringsfasen blir det viktigt för företaget att skapa förnyelse på något sätt. Dessa cykler är olika snabba beroende på produkt och bransch. Tittar vi på mobiltelefoner t.ex. så är cyklerna väldigt snabba, och generellt är det nog så att cyklerna går snabbare och snabbare. När det gäller ljusindustrin tycks cyklerna under en längre tid ha avstannat i mognadsfasen, sannolikt, beroende på att utbud och efterfrågan någorlunda matchats. Under en period tycks det ha funnits för få företag som sysslat med belysning och branschens företag är därför inte vana vid hård konkurrens. Den stora utvecklings- och affärspotentialen för LED-baserad belysning gör nu att branschen går in i en mer dynamisk utvecklingsfas.

Tankemodellen bakom synsättet i Figur 9 knyter an till idéer som har framförts av bland andra Sloan och Friedman. Porter (1985) betonar att det är viktigt att återinvestera i det som skapade den nuvarande konkurrenskraften. Det bör här noteras att det som skapade den nuvarande styrkan var förmågan att identifiera en möjlighet och att man började arbeta på att ta fram en attraktiv lösning.

Även affärsutveckling i anknytning en enstaka kortvarig intresseväg kan hanteras på ett sådant sätt att företaget bygger bestående konkurrenskraft. En grundläggande faktor är om man totalt sett förbrukar resurser eller om företaget arbetar på ett sådant sätt att man förbättrar sin användbara resurstillgång. Behovet att kunna urskilja om man bygger bestående konkurrenskraft, förenklat sett för att kunna skilja på förloppen i Figurerna 6 och 7, gör att det är viktigt att ha ordentlig insikt i kundernas verkliga behov. Det här behovet är också ett starkt motiv för flervetenskaplig dialog.

Ett samhällsområde som tenderar att dra allt större resurser är sjukvård. Claes Sjöberg föreslår att belysning bör användas som ett verktyg för att skapa "hälsohus". Det finns ett gammalt kinesiskt ordspråk om att man gärna bör betala sin läkare mycket bra så länge man är frisk, men att man bör vara restriktiv med att betala sin läkare då man blivit sjuk. Inom ASEA sade man att man inte ville ha brandsoldater (som bygger sin karriär på att göra sig synliga då det är problem). Inom ASEA föredrog man ingenjörer som såg till att det inte blev bränder – som verkade utan att synas. Om man ser på sjukvårdssektorn ur ett hållbarhetsperspektiv tycks det som om det övergripande samhällsmålet borde vara att minska sektorns resursförbrukning. Ur detta perspektiv borde man skapa belysning som ökar oddsen att människor håller sig friska. Det kan vara ett exempel på hållbar innovation.

Ett högt värde på artificiell belysning genereras genom ett flertal olika faktorer. Den främsta faktorn är dock alltid tillgodogörandet av brukarens behov. Brukaren är den som i slutändan "konsumerar" ljuset. Det kan vara människor, växter eller djur. Ljus används i många olika syften. Brukarens behov är därför vitt skilda beroende på vilken tillämpningen är. Ju bättre brukarens behov tillgodoses desto högre produktivitet genererar belysningen. Produktiviteten kan mätas och värderas genom bättre hälsa och tillfredsställelse hos människor, ökad tillväxt och bättre kvalitet hos växter samt hos djuren, bättre tillväxt och hälsa som direkt avspeglar sig i kvaliteten.

För belysningssektorn finns flera vägar till högre värdeskapande. En möjlighet att öka intresset för högkvalitativa produkter är att minska kundens kostnader för energi, underhåll och installation. Många begränsande faktorer beror på konservativt tänkande och gamla invanda arbetsmönster. Genom att ifrågasätta och testa nya arbetsmetoder kan vi skapa förutsättningar för utveckling.

Högst värde genererar vi genom att skaffa oss mesta möjliga kunskap om brukarens behov i den specifika tillämpningen och sedan med tekniska medel tillgodose dessa med så hög verkningsgrad som

möjligt. Belysningsindustrin bör utmanas med högre ställda krav gällande belysningens kvalitet för den aktuella användningen, styrbarhet, produkternas kompatibilitet, livslängd och energieffektivitet. Detta kan göras genom att ta fram bättre formulerade kravspecifikationer i samverkan med brukare och personer med gedigen kunskap om vilket ljus brukarna egentligen behöver. Det är också viktigt att utbilda ljusplanerare, arkitekter, byggmästare, elkonsulter och elektriker om den mänskliga betydelsen av bra belysning, vad som karakteriserar bra belysning och vad man bör undvika.

Värdehöjande tekniska faktorer för systemet som helhet är dess totala livslängd, längden på dess serviceintervall, kompatibilitet som ger möjlighet att ersätta delar av systemet och ta nytta av kommande belysningsteknik samt kostnader för energi och återvinning. Om verkningsgraden av tillgodogörandet av brukarens behov är det som maximerar belysningens produktivitet och ”vinst” så är tidigare nämnda faktorer de som hjälper ägaren av installationen att minimera kostnaderna. Hittills har industrin varit inställd på att minimera investeringskostnaden på bekostnad av produktivitet och energikostnad.

4.3.1 Produktifiering

För att få fart på affärsutvecklingen för en ny typ av produkt eller tjänst är det grundläggande att utforma, ”förpacka” och beskriva den till ett erbjudande som potentiella kunder är intresserade av att köpa. Processen från det att man har en affärsidé tills produkten och/eller tjänsten har utvecklats till ett sådant erbjudande att den går att börja sälja benämner vi produktifiering. Ett bra erbjudande bör klargöra:

- Produkten och/eller tjänstens funktion
- Hur produkten och tjänsten kan tillverkas
- Varför produkten och/eller tjänsten har ett värde för de potentiella kunderna
- Varför kunderna kan lita på den aktuella produkten och leverantören

En del i produktifieringen är att knyta an till kundernas möjliga betalningsvilja och samordna det arbetet med produktutveckling. Företagens varumärkesbyggande vänder sig också i första hand till kunderna. För att ett företag skall lyckas bra är det idag också viktigt att företaget gör sig attraktivt för en bred krets av intressenter. Då ett företag som IKEA gör en ny etablering har de ofta draghjälp av positivt intresse från flera olika former av lokala aktörer och detta gör att t.ex. planeringsprocessen och rekrytering av personal fungerar på ett smidigare sätt. Utöver att det är nödvändigt att ta fram ett attraktivt erbjudande är det också grundläggande att på något sätt tillförsäkra sig någon form av ”äganderätt” till det man investerar i att produktifiera. För att begränsa problematiken med att andra kopierar finns det ibland möjlighet att ta patent. Företag kopplar ofta sina produkter och tjänster till ett ”varumärke” som de äger.



Figur 10 För att totalt sett lyckas verkligen bra bör ett företag göra sig intressant för flera olika former av intressenter, på flera olika sätt.

Ett varumärke kan användas som en bärande grund för den form av utvecklingsprocess som visas i Figur 9 i avsnitt 4.2. Det som ger den värdehöjande effekten är inte enbart ägandet av varumärket. Det som gör att företaget kan utveckla förmågan att åstadkomma en högre nivå av värdeskapande är att det

nuvarande arbetet utförs på ett sådant sätt att det ger ett lärande för framtiden. Då man produktifierar är det därför viktigt att man i tillräckligt hög grad kopplar det nuvarande arbetet till strategiskt tänkande kring den långsiktiga effekten av det man gör och inte gör.

Sverige har förutsättningar att ta en ledande roll i kompetensutvecklingen kring ljus och hälsa. Det kan finnas mycket att vinna på att satsa på belysningsprodukter som genererar en bättre hälsa. Liksom Volvo personbilar är förknippade med säkerhet över hela världen kan svensk belysning förknippas med positiva hälsoeffekter. Vi har medicinsk kunskap och förutsättningar att växla upp nyttan av forskning om seende och hälsa. Likaså har vi systembyggarkompetens och stora byggbolag med intresse av att effektivisera. Vår grogrund för utveckling är god.

Det är också grundläggande att tänka på hur den avgränsade produktens och/eller tjänstens resultat påverkar brukarens och samhällets totala värdeskapande. Om kostnaden för en avgränsad funktion är högre än det totala, direkta och indirekta, värdeskapande som den aktuella lösningen resulterar i så är det totalt sett inte hållbart att lägga resurser på den aktuella produkten och/eller tjänsten. Det är viktigt att produktifieringen görs på ett sådant sätt att företagets verksamhet med produkten och/eller tjänsten gör ett positivt intryck på så många intressenter som möjligt. Den primära aspekten i detta är att den resulterande ljussättningen skall bli så bra som möjligt. Ett exempel på hur man kan tänka är att ett belysningssystem för en förskola bör utformas som ett flexibelt pedagogiskt verktyg, se avsnitt 2.6.1.

Så länge produktens funktionella värde inte kan fastställas så har den svårt att etablera sig på marknaden. Historien är full av exempel på trender inom belysning. Exempelvis lavalampan, halogen-spoten, *wake up light* och så vidare. De är dekorativa och kul men deras funktionella värde är inte fastställt och de blir därför kopplade till temporära trender. För att åstadkomma en hållbar utvecklingsprocess måste man knyta till djupare kunskap om produktens totala värde för kunden, så att produktutveckling baseras på verkliga behov istället för att jaga tillfälliga trender.

4.4 Entreprenörskap

Vi är idag mitt i en snabb utveckling av tekniken vad gäller ljus, samt dess påverkan på människan såväl medicinskt som psykologiskt. Vi står också inför en utfasning av så kallad ”gammal teknik” där den traditionella glödlampan spelat huvudrollen. Nya tekniker banar väg för nya företag enligt vad ”entreprenörskapets fader” Schumpeter skulle kalla kreativ förstörelse (creative destruction). En ny innovation förändrar branschen och branschstrukturen, förstör gamla och etablerade aktörer som inte hänger med i teknikskiftet, och banar väg för nya entreprenörer. Det ska i sammanhanget noteras att entreprenörer kan finnas i såväl nystartade företag som i etablerade dito. Flera stora företag har kommit till insikt om att entreprenöriella processer är väsentliga för företagets överlevnad i och med ökad konkurrens och snabba teknikskiftet. Oavsett företagskontext är det i detta scenario entreprenören som är i fokus, och som förmår förändra strukturerna på basis av den nya tekniken för att därigenom skapa samhällsnytta i termer av nya företag och fler arbetstillfällen.

De nya tekniker som är på frammarsch ger helt andra och nya möjligheter att göra ljus mer energi-effektivt, men också att anpassa ljus till olika situationer och användningsområden. En annan intressant utveckling är styrning av ljus, och ljusets hälsoeffekter. Sammantaget kan man i framtiden tänka sig en helt ny marknad för ljus som ger ljus användaren möjlighet att köpa ljus baserat på helt andra kriterier än de i dagsläget gällande. Detta öppnar upp för helt nya aktörer – entreprenörer – på marknaden.

Det är dock inte helt oproblematiskt att introducera nya tekniker och nya produkter på marknaden. Det finns en mängd hinder som måste övervinnas, och möjligheter som måste tas tillvara, för att lyckas etablera en ny teknik. Två i detta sammanhang väsentliga aspekter från entreprenörens synvinkel är trögheten hos användarna/beställarna samt de befintliga strukturerna i branschen.

4.4.1 Användaren

En del kunder är mycket intresserade av nyheter. Vi vet dock också att kunden/användaren ofta är skeptisk till nyheter som kräver attityd- och beteendeförändringar. Rogers kom redan 1962 fram till att människor är olika benägna att prova nyheter. Han introducerade the Technology Adoption Curve (TAC) som delar in populationen i fyra kategorier; de som gärna provar nyheter och vill vara först med det senaste (innovators), de som är lite mer försiktiga, men ändå gärna följer trenderna (early adopters), den breda massan som följer efter när konceptet är beprövat och verkar fungera (the majority), och slutligen de som helst inte vill följa efter, men som till slut inte har något val (laggards). Vi vet också att det finns ett gap mellan ”early adopters” och ”the majority”, där det fortfarande är osäkert om den nya tekniken kommer att vinna marknaden.

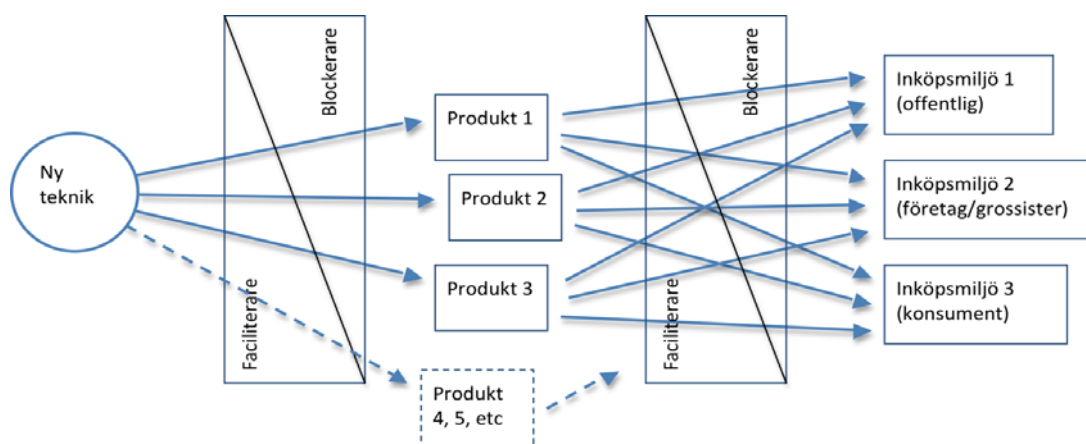
När det gäller kundernas acceptans av ny teknik har det visats att vissa faktorer har betydelse för hur snabbt tekniken slår igenom. Till exempel bör den nya tekniken vara lätt att förstå, skapa ett stort mervärde jämfört med den gamla tekniken, gärna gå att prova för att på så sätt övertyga om funktionen, samt vara lättillgänglig. Det har vidare visats att det är lättare att få ut en ny teknologi på marknaden om man fokuserar sina resurser mot en väl definierad kundgrupp, och presenterar en väl genomtänkt lösning på dennes problem, istället för att försöka nå en bred grupp med en mer generell teknologi. Genom att fokusera på de kunder som har det största behovet – och för vilka man skapar störst mervärde i förhållande till gammal teknik, kan man få fäste på marknaden och sedan utveckla verksamheten mot andra kundgrupper.

Som nämnts ovan måste ny teknik – i detta fall ny ljus teknik – skapa ett stort mervärde för kunden för att denne ska vara intresserad av att över huvudtaget prova den nya tekniken. För att kunna avgöra vad som faktiskt skapar ett mervärde krävs djupare kunskap om hur ljus används i dagens samhälle – både i den privata sfären och i den offentliga. Kunskapen om ljus och ljus användning bland potentiella kunder är essentiell för att kunna utveckla värdeskapande produkter, finna nya affärsmodeller och lösningar och för att kunna övertyga om det givna värdet.

Det krävs emellertid också kunskap hos användare och kunder. Blad och Krantz genomförde 2008 en undersökning om ljus användning där man kom fram till att konsumenter fokuserade mer på det uttagna priset än på priset i förhållande till lampans livslängd och energiåtgång. Man hade också ofta uppfattningen att watt är relaterat till mängden ljus. Undersökningens slutsats är att konsumenternas bristande kunskap och den bristande återkopplingen på ljuskonsumtionen, d.v.s. vad den kostar och dess miljöpåverkan, är ett centralt problem för införandet av energieffektiv belysning. För att den enskilda privatkonsumenten skall kunna göra kloka val är det önskvärt att ta fram tillförlitliga, relevanta jämförelsetal och presentera dessa på ett sådant lättillgängligt sätt att konsumenten kan välja rätt belysningslösning för flera olika former av användningssituationer.

4.4.2 Strukturer i belysningsbranschen

Förnyelse kräver också förståelse för, och förändring av, gamla branschstrukturer som påverkar processen från ny teknik till acceptans på marknaden. I processen ska den nya tekniken först förvandlas till olika typer av produkter som sedan ska accepteras och efterfrågas av olika typer av användare. På ljusmarknaden kan vi se åtminstone tre distinkta inköpare med olika behov: offentliga aktörer, företag/grossister och konsumenter. I olika delar av processen finns dock aktörer som antingen underlättar (faciliterare) eller hindrar (blockerare) teknikens genomslag (se Figur 11). Dessa aktörer drivs av olika incitament och regler, samt ligger på olika kunskapsnivåer vad gäller ny teknik.



Figur 11 Faciliterande och blockerande funktioner i kedjan från teknikutveckling till marknad.

Faciliterare och blockerare är aktörer som: myndigheter, forskare, etablerade företag, (företags-)entreprenörer, byggnadsentreprenörer, ljuskonsulter, upphandlare, konsumenter. Dessa har alla olika incitament för att antingen underlätta (facilitera) eller blockera ny teknik. De har också olika kunskapsnivåer om ny belysningsteknik som kan blockera alternativt facilitera processen. Till exempel har etablerade företag på marknaden som byggt upp sina verksamheter kring en viss standard en tendens att vara förändringsobenägna och protektionistiska, vilket innebär att dessa kommer att motverka nya tekniker, såvida inte en uppenbar vinst – alternativt hot från andra etablerare – uppfattas. Ett annat exempel är forskare, som har stor kunskap om tekniken och som därigenom kan facilitera den nya tekniken, men som kanske saknar incitament att själv kommersialisera densamma. Som situationen ser ut idag är det svårt att nå fram till konsumenterna med systemlösningar som ger bättre möjlighet att ta bra nytta av den nya tekniken. Så länge vi har 230 Volts nätuttag med de etablerade placeringarna i taken och på väggarna är det svårt att nå ut med nya former av lösningar.

Det finns en låsning till konventionell teknik och det krävs möjligheter till nya grepp för att komma runt och ”lösa knuten”. Det krävs tekniska omtag och nya ”arenor” för testa nya förslag på lösningar och konkret visa hur nya former av belysning kan se ut och vad den innebär i praktiken.

4.5 Styrmedel

Samhälliga styrmedel används för att påverka olika aktörer att ta hänsyn till samhällets behov. Behoven kan vara av vitt skilda slag. Här fokuseras de hållbarhetskrav som samhället har. Inom belysningsområdet är det inte minst krav på energieffektivitet och låg miljöpåverkan. Den senare aspekten har fått en vidgad betydelse och det är för forskningen en allt större utmaning att kombinera energiaspekter med utsläpp, avfallsfrågor, toxicitetsfrågor och frågor kring tillgång på viktiga metaller. Dessa frågor är i sin tur relaterade till viktiga utmaningar som klimatförändringar, biologisk mångfald, hälsa m.fl. Men styrmedel kan också användas för att stimulera en sund utveckling inom näringslivet och skapa goda förutsättningar för innovatörer och entreprenörer.

Det finns idag ett flertal styrmedelsingripanden för att reglera hållbarhetsaspekter som på olika sätt och i olika delar av livscykeln påverkar belysningsområdet. Det finns traditionell lagstiftning som reglerar hur anläggningar för råvaruutvinning, materialframställning och produkttillverkning får startas och hur de ska drivas. Som diskuterats ovan har uppmärksamheten under de senaste årtiondena alltmer fokuserat de delar av varornas miljöpåverkan och energiförbrukning som ligger utanför själva produktionen av varorna. Detta har medfört att komplexiteten har ökat när det gäller att påverka relevanta aktörer. Detta beror bland annat på att ett ökat antal aktörer behöver påverkas för att åstadkomma en förändring, t.ex. blir varje enskild konsuments val och beteende allt viktigare för att minska den totala miljöpåverkan.

Allt mer globala leverantörskedjor och ett ökat inflöde av varor från andra länder gör också att det blir allt mer komplicerat att använda styrmedel på ett holistiskt sätt. Den jurisdiktion som vi direkt har kontroll över är i allt väsentligt begränsad till EU och möjligheterna att minska miljöpåverkan från varor som importerats är i praktiken ofta begränsad genom olika handelsavtal.

Olika aspekter av sådan forskning bedrivs vid de svenska universiteten. Sverige har generellt en god position när det gäller forskning kring produkter och styrmedel inom miljöområdet, vilken har stärkts av att Sverige har varit framträdande när det gäller att testa och införa nya styrmedel inom miljöområdet. Institutioner inom ekonomi, juridik och statsvetenskap vid flera svenska universitet – t.ex. Göteborg, Linköping, Luleå, Lund, SLU, Umeå, Uppsala – studerar också olika aspekter av de relevanta styrmedlen. Miljö- och energiaspekter blir tillämpningsområden inom dessa discipliner, emedan företagens organisation på motsvarande sätt studeras av företagsekonomer. Tvärvetenskapligt orienterade institutioner vid olika universitet och högskolor (Chalmers, KTH, m.fl.) bedriver sådan forskning. Lunds universitet har en styrka när det gäller forskning som kombinerar aspekter på hur samhället kan styra olika aktörer och hur företagen kan organisera sig för att mest effektivt behandla samhällets och olika intressenters krav på miljöanpassning och samtidigt utveckla sin konkurrenskraft.

EU och dess medlemsländer bygger en allt starkare grund för styrmedel som ger möjlighet att begränsa miljöpåverkan från flera delar av livscykel. Det finns således mycket att vinna på att använda dagens kunskap om miljöbelastningar till verkningfulla styrmedel. En viktig fråga som behöver hitta mer genomtänkta lösningar är hur krav på energieffektivitet samordnas med krav på minskad användning av giftiga ämnen (t.ex. tungmetaller) och/eller ökad återanvändning av strategiskt viktiga material. Den pågående utvecklingen av standarder för det s.k. EuP-direktivet bör samordnas med andra styrmedel, så att man får en mer samlad bild av olika miljöaspekter och hela livscykel. Det behövs t.ex. en samordning med utvecklingen av producentansvarssystemen.

Likaså behövs en samordning med de olika verktyg och styrmedel som finns inom informationsområdet. En ökad inriktning av informationsinsatserna mot specifika krav hos olika användargrupper tillhör viktiga områden för utveckling inom de närmaste åren. Det är grundläggande att bygga gedigen förståelse kring användarnas verkliga behov och intressen. Det är här också viktigt att notera att affärsutvecklingen till stor del drivs av vinstintressen och utvecklingslust.

Det finns också ett behov av att utveckla strategier och verktyg för hur företagen ska hantera olika legislativa krav och olika marknadsintressen. Områden som behöver prioriteras och där det saknas tillräcklig kunskap är samarbete i långa och komplicerade leverantörskedjor och integration av hållbarhetsfrågor i innovations- och produktutvecklingsprocesser.

4.6 Framtiden

Genom att forska och generera kunskap om brukarens behov kan vi fokusera inriktningen på vår teknikutveckling bättre. I kombination med forskning och utveckling av belysningsystemets ingående komponenter och övergripande funktion kan svensk industri generera belysningsprodukter med högre värde på en global marknad.

För att underlätta för entreprenörskap inom belysningssektorn krävs, förutom själva tekniken, förståelse för användaren/kunden samt för de strukturer/aktörer som blockerar eller faciliterar införandet av ny teknik. I de fall denna förståelse visar på kunskapsbrister bör insatser för att höja densamma göras. Om kunskapshöjande insatser ska göras bör insatserna i första skedet fokuseras mot en väl definierad kundgrupp, och presentera en väl genomtänkt lösning på dennes problem, alternativt ett stort mervärde i förhållande till nuvarande lösning. Eventuellt behöver dessutom incitamentsstrukturer ses över och förändras.

Att stärka och vidareutveckla den svenska forskningen kring styrmedel och företagsstrategier och verktyg är av hög betydelse för att Sverige ska nå en topposition när det gäller innovationer inom belysningsområdet. Att främja en lokal marknad för nya effektiva och miljöanpassade system är en viktig ingrediens för att stimulera och tillåta företagen att utveckla nya varor och system.

Sverige behöver också kunskap om hur olika styrmedel fungerar och hur de bäst kan samordnas. Omedelbara områden för analys är designorienterade styrmedel som EuP-direktivet. En utmaning för många av dessa styrmedel är att bestämma vilka områden (delar av livscykeln, olika miljöaspekter, etc.) som de enskilda styrmedlen kan påverka på ett effektivt sätt och hur de olika styrmedlen kan kombineras för att uppnå en systemeffekt. Sådana studier kan både genomföras som utvärderingar av olika nationella och internationella erfarenheter och för att utveckla nya tillämpningar genom att kombinera generell kunskap med erfarenheter från likartade produktområden. En viktig aspekt att titta närmare på är hur producentansvarssystemen kan samordnas med energieffektiviseringsinriktade styrmedel för att samtidigt adressera toxicitetsfrågor, materialtillgång och energieffektivitet.

Informativa styrmedel används ofta för att förstärka andra styrmedel men har också en självständig roll när det gäller att påverka t.ex. inköpsbeslut. Olika studier visar att det finns en bristande korrespondens mellan informationssystemen och de olika krav som olika användare ställer. En utveckling av anpassade tillämpningar för belysningsområdet bör genomföras och omfatta såväl obligatoriska som frivilliga system. Utgångspunkten bör tas i de behov olika förnyelsedrivande användare har till skillnad från mycket av tidigare utveckling som varit mer driven av utvecklingen av olika systemanalytiska metoder och önskemålen om att tillämpa dessa. Detta betyder också att det kan behövas olika former av energi- och miljömärkningssystem för olika användare, men att synergier mellan systemen måste utvecklas så att företagen kan använda systemen utan orimliga resurser.

En speciell frågeställning berör styrmedel som kan användas för att påverka aktiviteter utanför Sveriges och EUs omedelbara jurisdiktion. Sådan effekt kan uppnås genom styrmedel vars styrsignaler vidarebefordras genom leverantörskedjorna. Exempel finns inom kemikalielagstiftningen (t.ex. RoHS, REACH), miljömärkning och producentansvar.

Det är också viktigt att se till att det utvecklas strategier och verktyg inom företagen för att hantera samhällets olika intressen och krav och omsätta dessa i ett effektivt internt arbete och genom innovationer öka företagens konkurrenskraft. Viktiga områden för sådan forskning och utveckling kommer att vara strategier för effektivt arbete med stora leverantörskedjor. Här gäller det bland annat att identifiera när företagen bör samarbeta och när de bör utveckla egna strategier. Viktiga erfarenheter som kan överföras till belysningssektorn finns inom t.ex. textil-, bil- och elektronikindustrin.

Det är också många som har betonat att det finns mycket att vinna på att integrera miljö i kärnan av företagets prioriterade utvecklingsprocesser: att ”sustainability has to be core business”. Det finns därför behov av att utveckla verktyg och strategier för hur hållbarhetsfrågor på effektiva sätt kan integreras i företagets miljöledningsarbete, produktutveckling och entreprenörskap. Betydande arbete inom miljöområdet har genomförts men ett bredare arbete som inkluderar andra hållbarhetsfrågor behöver utvecklas.

Ett effektivt sätt att förse forskningen med viktigt material är att genomföra pilot- och demonstrationsstudier. Inom belysningsområdet skulle sådana kunna vara kopplade till teknikupphandlingsprojekt, vilket också skulle bidra till att Sveriges kunskap inom det området kommer till tillämpning och vidareutvecklas.

Eftersom mycket av utvecklingen av nya produkter inom belysningsområdet beror av forskning och tillverkning i Östasien bör Sverige också öka forsknings- och utvecklingssamarbetet med länder som Japan, Korea, Taiwan och Kina. Även för forskningen inom styrmedelsområdet behövs en bättre kontakt med dessa länder.

4.7 Betydelsen av att kunna beskriva och mäta

I litteraturen om verksamhetsutveckling påstår man ofta att **det som blir mätt blir gjort**. Det ligger en hel del i detta – det kan ge stora positiva effekter att mäta och synliggöra rätt saker.

Det finns nu avancerade instrument för att mäta ljus. Det är dock svårt att mäta den totala funktionen och upplevelsen av en viss ljussättning. Det kan därför vara intressant att ta fram vad vi kallar en *ljusmätdocka* som ett verktyg för att klargöra de centrala delarna i den totala effekten och upplevelsen av en viss belysningslösning.

4.7.1 Ljusmätdocka

Exempel på belysningsegenskaper som en ljusmätdocka kan utformas för att registrera:

- dockan kan ha en kroppsform och 'sensor'-riktning som ögonen på en människa, och därigenom "uppleva" skuggor, bländning, avstånd och rymdvinklar som en människa
- sensorer i flera olika rymdvinklar
- sensorer som känner samtidig kroppslig värmestrålning och ljusets fysikaliska egenskaper
- sensorer som känner samtidigt avstånd till ljuskällan och ljusets fysikaliska egenskaper
- en 'hjärna' (t.ex. ett neuronät som tränats på verkliga människors ljusupplevelser), som gör det möjligt att
 - laborera med variabelvariationer, som t.ex. tidsvariationer, värme/ljus, ljusspektrum etc. för att skapa olika stämningar och ljusmiljöer
 - laborera med ljusbilder och filmer som ljuskälla för att skapa nya miljöer

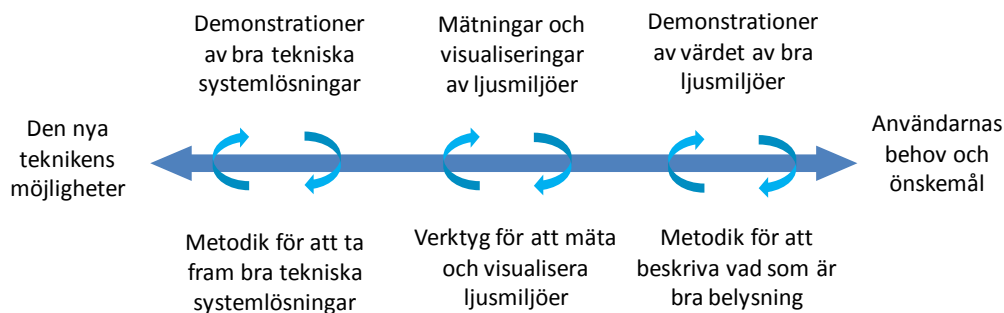
Dialogen inom projektet indikerar att utveckling av en kvalificerad ljusmätdocka är ett intressant verktyg för att öppna upp för belysningsutveckling, genom att ge belysningskvalitet den nödvändiga påtaglighet och fysiska begriplighet som belysningsfrågan saknar idag.

En del av den grundläggande beskrivningen av ljuset kan uttryckas som relativt direkta fysiska mätetal, t.ex. ljusets spektrala effektfördelning. Flera av de ljusparametrar som används, även ljusmängden i Lumen, är dock baserade på beräkningsmodeller som inte är så enkla att förstå. Den totala fördelningen av ljusintensiteter och ljusstrålningsriktningar är komplex och det är vanligt att säga att ljusplanering måste baseras på subjektiva helhetsbedömningar. Arbete med att utveckla en ljusdocka stärker möjligheten att komma igång med begreppsutveckling som förbättrar grunden för att ta nytta av forskning och att kunna skriva tyligare specifikationer av högkvalitativ ljussättning.

För att kunna komma igång på ett smidigt sätt bör utvecklingen av ljusmätdockan inledningsvis fokuseras på ljusmätningen i sig. För att kunna integreras i användbar funktionalitet kan ljusmätningen kombineras med annan metodik för att klargöra den tekniska systemfunktionen så att man kan knyta an till andra användaregenskaper, för styrning av belysningen och t.ex. säkerhet och andra delar i fastigheternas styr- och reglersystem.

Eftersom bra belysning är en systemfunktion bör man forska på vilka former av systemfunktionalitet man bör eftersträva och vilka former av tankesätt, metoder och verktyg man kan använda för att utveckla systemfunktionaliteten på ett hållbart sätt. Det är viktigt att undvika suboptimeringar och utvecklingsriktningar som leder in i "återvändsgränder".

Figur 10 beskriver ljusdockan som verktyg för att mäta och begripliggöra vad som är bra belysning. Metodiken för att beskriva vad som är bra belysning bör inkludera utveckling av begrepp och mätetal. Vi bör också beforska utveckling av metodik för att ta fram bra systemlösningar och för att bygga medvetenhet och intresse är det viktigt att demonstrera bra lösningar och utveckla förmågan att klargöra vad som karakteriserar en bra systemlösning.



Figur 12 Ljusbåddockans roll som ett verktyg för att mäta och visa upp olika kvalitativa och kvantitativa egenskaper för en viss ljusmiljö.

Bra belysning är en mångfacetterad systemfunktion som realiserar med en teknisk systemlösning och som bör beskrivas och mätas på ett mångsidigt sätt. För att åstadkomma bra belysningslösningar är det grundläggande att utgå från användarnas ljusbehov och utveckla metodik för att beskriva det önskvärda ljuset och mäta det resulterande ljuset. Utöver ljuset i sig är belysningslösningens värde för användaren beroende av flera olika former av teknisk funktionalitet. Det är viktigt att utveckla förmågan att mäta hur olika former av ljussättning stämmer med användarnas behov och önskemål, i olika situationer. För att på ett hållbart sätt kunna förbättra belysningssystemens verkliga värde för kunderna är det viktigt att koppla ljusmätningarna till att utveckla en tydlig förståelse av de aktuella belysningslösningarnas systemegenskaper.

Bättre verktyg för att mäta ljus och belysning kan bidra både till att bättre belysning utvecklas och till att bättre belysning faktiskt kommer till användning och efterfrågas. Med inspiration från hur man med sensorfyllda ”kraschdockor” har löst den svåra mätsituation som en bilolycka innebär, tänker vi oss alltså en *ljusbåddocka* som mäter de mest relevanta aspekterna av en ljussituation. Idealt kan mätanordningen mäta alla relevanta aspekter. I laboratorieversioner av ljusbåddockan kan forskare installera den relevanta mätutrustning och de sensorer och analysverktyg som de behöver för sin forskning och som de kan utveckla. Det är också möjligt att man kommer att vilja kommersialisera och utveckla en marknad för ljusbåddockor som avancerade verktyg för belysningskonsulter.

Ljusbåddockan har en viktig funktion som verktyg för att klargöra ljusets anpassning till användaren och situationen. Den kan användas för att klargöra vad man menar med bra ljus, t.ex. HiFi-ljus, se avsnitt 7.2. En tyligare förståelse och ett sätt att visa upp olika ljuskvaliteter kan öppna upp affärsmöjligheter för nya belysningsrelaterade funktioner och tjänster. Det bör här noteras att upplevelsen av ljusets kvalitet påverkas av många olika aspekter, t.ex. spektralfördelning, rumslig fördelning och riktning.

Möjligheten att upptäcka det som är viktigt för oss och kanske framför allt att kunna tolka varandras ansiktsuttryck är beroende av skuggor och kontraster. Naturens ljus är till väsentlig del riktat och det innehåller också alla våglängder i hela det synliga spektrat. Dessutom varierar naturens ljus på flera olika sätt, vilket är stimulerande för synsinnen. Det är inte säkert att naturens ljus är bäst ur alla avseenden, men vårt seende är dock i huvudsak utvecklat för naturens ljus. För att kunna beskriva vad som utmärker verkligt bra ljus, för ett visst ändamål, bör man kunna specificera karaktären och mängden av ett flertal ljusegenskaper. Det är en komplex uppgift att beskriva en ljusmiljö med en sådan tydlighet att man uppmärksammar och klargör ett betydelsefullt urval av de i naturen förekommande ljusegenskaperna, för olika delar av de rum vi vistas i. För att förbättra beskrivningsförmågan bör man bejaka ljusmiljöns komplexitet och utveckla metoder för att specificera och mäta de mest relevanta aspekterna för olika situationer.

För att ge en komplett beskrivning av en ljusmiljöns mångsidiga kvaliteter och funktioner borde man för varje punkt i rummet specificera mängden strålningsenergi för varje kombination av våglängd,

riktning och tidpunkt. En sådan beskrivning skulle dock bli mycket omfattande. För att kunna arbeta på ett smidigt sätt är viktigt att använda förenklande nyckeltal. De hittills använda mätetalen är grundläggande för att möjliggöra dialog med en bredare grupp av belysningskunniga personer och för att kunna anknyta till specifikationerna för de kommersiellt tillgängliga ljuskällorna. För att öppna upp för nytänkande är det samtidigt viktigt att komplettera användningen av de etablerade mätetalen med att andra mätetal och börja ta mer nytta av spektralfördelningskurvor så att man får en mer mångsidig och obunden bild av den aktuella ljusmiljön.

Det bör här noteras att alla former av oljus försämrar upplevelsen av det man i är intresserad av att se och bör upptäcka. En stor del av seendet bygger på kontraster och skuggor och de effekterna förutsätter att det finns riktat ljus och att man inte har för mycket oljus. I många situationer är det intressant att beskriva om det är tillräckligt mörkt och om olika skuggor fungerar på ett lämpligt sätt. Detta innebär att det är grundläggande att mäta om det är tillräckligt mörkt. Det är viktigt att undvika slöseri med ljus, för att kunna skapa bra belysning och för att spara elenergi.

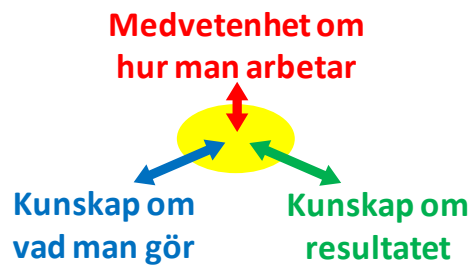
Med avancerad teknik kan man även integrera en del av ljusmätdockas funktioner i de belysnings-system som installeras. Vi kan då kontinuerligt mäta ljussituationen i rummet och koppla detta till att styra belysningen i enlighet med brukarens önskemål.

Mätvärdet är dock inte värt något om vi inte vet hur den aktuella parametern påverkar brukaren i det aktuella fallet. Vi behöver veta betydelsen av exempelvis en höjd eller sänkt ljusnivå, infallande dagsljus och belysningens samspel med detta. Detta bör baseras på forskning kring vilka faktorer som egentligen formar vår visuella omvärld och hur synsystemet och andra funktioner i vår kropp är kopplade till dessa faktorer. Det finns väsentlig kunskap om effekten av olika slags ljus inom biologi, medicin och psykologi, och den kunskapen bör aktivt utvecklas i arbetet med att utforma ljusdockan på ett relevant sätt.

4.7.2 Kvalitetssystem

För att kunna utveckla förståelsen kring vad man bör göra är det fundamentalt att man kan uppfatta den verkliga effekten av det man gör. Om man inte kan se resultatet av det man gör får man ingen hållbar vägledning för hur man bör förändra sitt agerande. Betydelsen av återkoppling ingår som en grundläggande mekanism i tankemodellen för kvalitets- och miljöledning, så som den illustreras med Deming-cirkeln: Plan-Do-Check-Act. Plan och Do behandlar kunskapen om vad man gör. Check ”mäter” resultatet. Act beskriver en återkoppling till att göra sådana ändringar att nästa cirkel fungerar bättre. Det är ofta otydligt vad detta Act innebär och hur det utförs.

Man bör lyfta medvetenheten om hur man arbetar, så att man stimulerar till växelverkan mellan kunskap om vad man gör och kunskap om (mätning och tolkning av) resultatet. Den gula cirkeln i mitten beskriver då företagets verksamhetsutveckling. Kunskapsgrunden för att tolka resultatet behandlas i denna skrift i kapitlet *Ljus och liv* och mätdockan som beskrivs ovan är ett verktyg för att mäta resultatet. Kunskapsgrunden för det konkreta arbetet med att skapa bra belysnings-system beskrivs i kapitlet om *Teknik och teknisk system*. Medvetenheten om hur man arbetar knyter an till ovanstående kapitlet *Hållbar innovation*.



Figur 13 Den cirkel för ständiga förbättringar som används i kvalitets- och miljöledningssystem och en tankemodell som på ett mer konkret sätt illustrerar en medvetenhet om hur man arbetar.

Tankemodellen till höger bygger på en analogi med Damaisos hypotes i Descartes misstag:

Min hypotes är att känslan av personlig identitet uppstår under detta slutliga skede när hjärnan inte bara presenterar bilder av en företeelse, inte bara bilder av organismens reaktion på företeelsen i fråga, utan när den alstrar en tredje typ av bilder, bilder av en organism i färd med att observera och reagera på en företeelse. Damasio sid 270

För att skapa en bra tankegrund för hållbar innovation bör man knyta an till hur det man gör påverkar omvärlden och framtiden, det bör ingå i medvetenheten om hur man arbetar. Analogt med hur Damasio tänker sig att den konstruktiva tankeförmågan har en grund i nervsystemets konkreta koppling till kroppsliga förändringar kan man tänka sig att ett system för hållbar innovation bör inkludera känslspröt som känner av hur de faktiska affärsförutsättningarna förändras.

Bra belysning är en systemfunktion. För att bygga gedigen kunskap om systemfunktionen räcker det dock inte att studera systemet. Kunskapen om vad systemet åstadkommer bygger på gedigen kunskap om de delar som ingår i systemet. För att finna vägar till att förbättra systemkunskapen är det ofta lämpligt att djupdyka i en studie av någon aspekt av resultatet eller i kunskapsuppbyggnad om någon av komponenterna. Kunskapsuppbyggnaden bör dock organiseras på ett sådant sätt att man förbättrar förmågan att göra bra systemlösningar. Det föregående kapitlet beskriver betydelsen av att ta integrerad nytta av kunskap från biologi, medicin och psykologi. Det efterföljande kapitlet behandlar kunskapsuppbyggnad för teknisk systemutveckling. För att åstadkomma hållbar innovation bör man knyta an till gedigen kunskap om flera olika aspekter. Hållbar innovation är kunskapsintensiv och kunskapsutvecklande – det är därför det är en så viktig grund för högre värdeskapande.

5. Teknik- och systemutveckling

För att åstadkomma en bra belysningslösning är det viktigt att ha kunskap om och tillgång till bra komponenter. Det är ännu mer grundläggande att kunna tolka användarnas intressen och översätta dessa till en systemlösning som på ett smidigt sätt ger det ljus brukaren vill ha, där brukaren vill ha det och när brukaren vill ha det. För att kunna skapa en högvärdig, situationsanpassad, flexibel och optimerad belysningslösning är det viktigt att ha goda kunskaper om teknisk systemutveckling.

5.1 Vision 2020

Sverige är ledande på att ta fram flexibla belysningslösningar som ger situationsanpassat ljus med resurseffektiva systemlösningar som optimerar nyttan av nya tekniska möjligheter.

År 2020 har Sverige en plats bland de ledande länderna när det gäller framtagande av teknik och kunskap för högvärdig belysning. Svensk forskning har framgångsrikt dragit nytta av nationella och europeiska forskningsprogram och befäst och utvecklat den ställning man hade ett decennium tidigare. Genom närheten till forskargrupper inom medicin, biologi och psykologi har tekniken utvecklats med hänsyn till användarnas behov och för att skapa god belysning. Grundforskningen är väl kopplad till grupper som arbetar med hela belysningslösningar och vägen till praktisk tillämpning är kort. Svensk produktdesign, systemlösningar och patent har ökat vitaliteten hos de svenskbaserade företagen och lett till nyetableringar. Energieffektivitet och miljö är tillsammans med god belysning ledord för forskningen och företagen, och detta underlättas av en stark forskningsmiljö.

2020 satsar företagen framåt och den materialvetenskapliga forskningssatsningen som inleddes med MaxIV och ESS ger förutsättningar för fortsatt framgång inom ljusrelaterad teknik. Satsningen på starka tvärvetenskapliga forskningsmiljöer och de samarbeten som är etablerade med användarsidan föder den tekniska forskningen med ny kunskap, idéer och goda möjligheter att skapa pilot- och demonstrationsprojekt.

5.2 Ljusdistribution & Ljus kvalitet

Enligt den definition som formulerats och antagits av CIE är ljus den del av det elektromagnetiska spektrat som ögats ljussensorer tappar och stavar detekterar och förmedlar till den bakre delen av hjärnan och som upplevs av medvetandet som ljusförnimmelse. Definitionen är strikt fysikalisk och ger ingen information om hur hjärnan ”ser”, upplever eller tolkar ljusupplevelsen. Med start 2001 har en tredje sensor som påverkar av dygns- och årsrytmer dokumenterats. Det är inte klarlagt om stavar och tappar påverkar de cirkadiska rytmerna och inte heller om den tredje sensorn (ganglioncellerna) deltar i synupplevelsen. Tre olika typer av tappar förekommer i det mänskliga ögat och skapar ljusupplevelser i olika våglängdsområden; en i det röda området med känslighetstopp vid ca 600 nm, en i det gulgröna området, vid 555 nm och en tredje i det blåa området, vid 445 nm. Den sammansatta mycket komplicerade tolkningsprocessen ger möjlighet att uppleva en färgbild av den ”sedda” omgivningen. Tapparna fungerar enbart vid relativt höga belysningsnivåer och fungerar för full färgupplevelse enbart vid nivåer över 50 lux och bäst vid de höga nivåer som förekommer utomhus under dagtid (1000 – 100000 lux). Vid lägre belysningsnivåer träder stavarna i funktion tillsammans med tapparna (mesopiskt seende) och vid ännu lägre nivåer fungerar enbart stavarna. Stavarna är av endast en typ och medger för hjärnan att endast tolka synupplevelsen i svartvita nyanser.

Ögat fungerar delvis som ett optiskt instrument och fokuserar (vid normal funktion och ljussatt synfält) bilden av omgivningen på ögats bakre del, näthinnan. Näthinnan innehåller samtliga tappar, stavar och ganglionceller utspridda så att bilden av omgivningen kan registreras av sensorerna och via elektriska impulser som sammansätts i näthinnan föras vidare till hjärnans bakre del. Denna process

som förmedlar signalerna till hjärnan är mycket komplicerad och ännu inte fullt klarlagd. Signalerna som når hjärnan tolkas i den bakre delen via en ännu mer komplicerad process och ger medvetandet en bild av den sedda omgivningen. Den process som registrerar bilden förmedlar endast en mycket liten del av bilden sekvensvis. Synnerven har inte kapacitet att förmedla hela bilden samtidigt till hjärnan. Den skulle i så fall behöva en kapacitet som vore gigantiskt mycket större (minst 1000 ggr). Här sker ett samspel med hjärnan. Denna tolkar ”glimtvis” en del av bilden och väljer sedan genom en automatisk men ändå delvis viljestyrd process vilka delar av bilden som i tidsordning skall förmedlas till hjärnan, tolkas av denna och medvetandegöras. Seendet kopplas sedan genom viljeprocessen till den del av bilden som har högst intresse för personen ifråga. Två olika personer kan således förmedla samma bild till näthinnan men beroende på intresse och erfarenhet tolka och förmedla helt olika versioner till medvetandet. Trots samma fysiska konfiguration som formar verkligheten ses eller upplevs bilden helt olika. En liten ”baby” ser till exempel en helt annan bild av omgivningen än en vuxen person beroende på att tolkningen av bilden sammanhänger med tolkningsförmågan som utvecklas under hela livs- processen. Ett barn behöver i vår moderna och komplicerade tillvaro en nästan tioårig upplärningsperiod innan bildtolkningen av omgivningen är tillräcklig för att t.ex. på ett säkert sätt färdas ensam med en cykel i trafiken. En ”inföding” från t.ex. Nya Guineas regnskogar skulle inte utan en inlärningsperiod på upp till ett halvår kunna ta sig fram i ett modernt trafiksamhälle på ett riskfritt sätt; vederbörande skulle utan denna inlärningsperiod gjuta en säker död i modern trafik. För att kunna se och tolka synupplevelsen är naturligtvis en adekvat och väl fungerande belysning helt avgörande.

Det är naturligt att anta att ögat och hjärnan under människans utveckling blivit anpassat att få ut mesta möjliga information av dags- och solljuset. Detta ljus har en spektralfördelning som innehåller en tillräcklig mängd energi i varje del av det för ögat känsliga spektralområdet. Trots att ögats känslighet är kraftigt begränsad i den blå och röda delen av spektrum finns en tillräcklig mängd strålenergi här för att alla i naturen förekommande färger skall ges rättvisa i ljusupplevelsen. D.v.s. det är svårt att tänka sig en annan spektralfördelning som kan ge en bättre färgbild av verkligheten. För närvarande mäts och karakteriseras färgupplevelsen med hjälp av två index; ett som anknyter till svartkroppsstrålningens kompletta spektrum och upplevd färgupplevelse och anger förskjutningen av färgerna i relation till svartkroppen (RA) och ett som anger färgupplevelsen i relation till svartkroppens temperatur (K). Förmodligen kommer den fortsatta utvecklingen av LED-ljuskällan att innebära att färgupplevelsen kommer att mera direkt relatera till dags- och solljus.

Det artificiella ljus som utnyttjas inomhus (med metallhalogen, lysrör eller LED som ljuskälla) bör ge upphov till en upplevelse som kan karakteriseras av tre faktorer; varseblivningen av detaljer och sammanhang (jag ser), upplevelse av omgivningen och dess karaktär (jag upplever) och skapandet av en behaglighetskänsla (jag trivs). En duktig belysningstekniker kan skapa en optimal varseblivningsmiljö d.v.s. möjliggöra att alla arbets- och beteendeppgifter kan utföras på ett säkert, snabbt och riskfritt sätt. Steg nummer två är svårare men nästan omöjligt att genomföra om kompetensen att genomföra steg ett saknas. Steg tre är ännu svårare att genomföra och kräver i allmänhet att planeraren har kompetens att utföra steg ett och steg två. Trots att det är möjligt att ge direkt anvisning om hur faktor ett och delvis faktor två kan introduceras i en anläggning är det näst intill omöjligt att ge anvisningar om hur faktor tre skall förverkligas d.v.s. åstadkomma belysningsförhållanden som gör att den enskilde ”trivs”. Den senare faktorn kräver ofta långvarig planeringserfarenhet för att kunna introduceras och inte alla planerare uppnår någonsin den kompetens som gör att faktor tre kan upplevas som integrerad i sammanhanget; oftast är det den sista ”touchen” som avgör och den nödvändiga insatsen är alltid annorlunda för varje anläggning.

När steg ett förverkligas på det optimala sättet t.ex. i en arbetsmiljö sker detta via ett antal faktorer:

- Varierad belysningsstyrka på olika ställen i rummet; mest på arbetsplatsen och mindre på andra ställen i rummet. Varseblivningsförmågan blir bättre om ljusfördelningen varierar än om den är konstant i hela rummet och naturligtvis sparas också mera energi på så sätt.
- Luminanserna varierar också på ett naturligt sätt genom att belysningsstyrkan varierar.
- Ljusinfallsriktningarna på arbetsplatsen och i rummet skall ge upphov till reflexer som riktas bort från synriktningarna. Detta för att uppnå bästa möjliga kontrastförhållanden. D.v.s. inga speglade reflexer.
- Ljuskällan(orna) skall ha goda färgåtergivningsegenskaper (högt RA-varde över 85) och högt ljusutbyte.
- Armaturen skall vara avbländad i för ögat observerbara vinklar och ge en ljusdistribution som inte, när den träffar föremål, ger upphov till för höga och bländande luminanser.

Lysrör och lysrörsarmaturer har utvecklats under en period av ca 70 år och åtskilliga miljarder dollars i utvecklingsinsatser har möjliggjort att ljusdistributionen numera är ca tio ggr effektivare än i början av denna period. Lysröret har numera ett ljusutbyte som är ca 150 % högre och armaturerna har verkningsgrad på 80 till 90 %; att jämföras med verkningsgraden tidigare på ca 40%. En förbättrad ljusdistribution eller ljusfördelning från moderna armaturer svarar för en fördubbling av effektiviteten. Detta beror på en bättre placering av armaturer i förhållande till belysningsuppgiften och en utsändning av ljuset som ger ljus där det bör vara ljust och mindre mängd ljus där det inte behövs så mycket ljus. I jämförelse med en väl avvägd ljusdistribution ger mera ljus på fel ställe inte endast upphov till mera elförbrukning utan orsakar också en sämre belysningsmiljö. En funktionell ljusfördelning ger alltså både en bättre ljusmiljö, som kan åstadkommas med en totalt sett mindre mängd ljus och sålunda en större energibesparing.

LED- ljuskällan ger redan nu ett högre ljusutbyte än lysrör och har minimala dimensioner vilket medför att ljuset med funktionell optik kan riktas och fördelas mycket bättre än ljuset från lysrörsarmaturer. Detta spar alltså i sig en stor mängd ljus och innebär på sikt en lovande utvecklingspotential. Den höga luminansen hos LED-chipet ger emellertid upphov till högre avbländningskrav och en accentuerad bländningsproblematik (i reflexer m.m.).

5.2.1 Tekniskt möjligt ljusutbyte

Ett spektrum som har lika mycket strålningsenergi i varje del av det synliga spektralområdet ger upphov till ett ljusutbyte av 240 lm/W om all tillförd energi förvandlas till ljus. En sådan spektralfördelning ger bra färgåtergivning. Det torde vara möjligt att fördela energin så att en större mängd hamnar i det för ögat mer känsliga ljusområdet lite närmare 550 nm och erhålla ett ljusutbyte på ca 300 lm/W och samtidigt relativt goda färgåtergivningsegenskaper (RA 85-90). Teoretiskt och med tanke på den snabba utvecklingstakten är det troligt att LED relativt snart kan överföra uppemot 90 % av den tillförda elektriska energin till ljus. Det blir alltså då möjligt att få ett ljusutbyte av ca 215 lm/W med optimala färgegenskaper och ett ljusutbyte av 270 lm/W med något mindre men ändå relativt goda färgåtergivningsegenskaper.

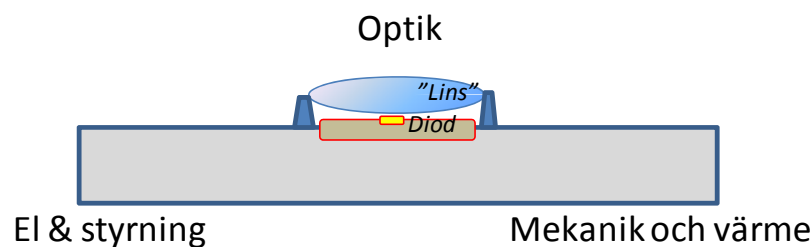
5.3 Teknisk utveckling

En bra belysningslösning skall leverera rätt ljus, på rätt plats, vid rätt tidpunkt. Alla avvikelser från det mönstret leder till försämrad komfort och onödig elförbrukning. Bra belysning är en systemfunktion och utöver ljuskällor och optiska arrangemang kan man i moderna belysningsystem ta nytta av flera olika former av sensorer och styrfunktioner. Det finns nu sensorer som kan mäta och tolka t.ex.

- Ljusstyrka
- Spektralfördelning
- Närvaro i rummet

Tekniskt sett kan man utveckla användarinterfacet så att det blir möjligt att på ett enkelt sätt styra fler faktorer i ljusmiljön. Med hjälp av mätdata kan man mäta ljuset som från fönster och olika ljuskällor. Dagens kommunikationsteknik gör att man kan koppla samman armaturer med sensorer och fjärrstyra från en central enhet. Avancerade LED-baserade belysningslösningar ger stor möjlighet att anpassa av belysningen till varierande behov. Den mest vitala komponenten i ett belysningsystem är ljuskällan, som transformerar elektricitet till ljus. Bra belysning är dock en systemfunktion som är beroende av flera olika former av komponenter och flera tekniska aspekter. Vi har varit vana vid Edisongängan (t.ex. E27) som ett standardiserat gränssnitt mellan ljuskälla och armatur. Introduktionen av LED öppnar upp nya möjligheter och skapar nya typer av frågor kring hur snittytorna bör se ut. De idag etablerade gränssnitten inkluderar inte konstantströmsdrift eller datakommunikation, vilket bland annat LED-tekniken skulle kunna ta nytta av. Om vi baserar framtida gränssnitt på 230 V AC så medför det att mycket elektronik måste sitta lokalt, vilket medför högre produktkostnader och kortare serviceintervall. Ett nytt gränssnitt som anpassas till den nya belysningstekniken och som kan bidra till effektivare belysnings-, styr- och el-installationer bör utformas.

Figur 14 visar en schematisk bild av en diods lysande punkt och i de dimensioner som kopplar den till omgivningen. Idag finns det knappast några etablerade systemlösningar för belysning som är specifikt utvecklade för LED-teknikens förutsättningar. De etablerade armaturernas och elinstallationernas utformning och konventionellt tänkande kring belysning begränsar utvecklingsmöjligheterna.



Figur 14 Diodens ljusgenererande punkt måste kopplas till omgivningen såväl optiskt, som elektriskt, mekaniskt och värmeledningsmässigt.

Oberoende av vilken ljusgenererande process man har så är den resulterande belysningen en systemfunktion. Den resulterande ljussättningen beror på ljuskällan, de optiska arrangemangen och samspelet med användningssituationen. Det är viktigt att göra en systemlösning som genererar en ljussättning som följer användarens behov. Det är dock svårt att specificera en bra ljuslösning.

Belysning håller på att förändras från att ha varit ett relativt statiskt teknikområde till en teknik med mycket mer avancerad styrbarhet och snabbare utveckling. Affärslogiken förändras och får allt mer koppling till aktörer inom elektronik, informationsteknik och styr- och regler.

Det har blivit möjligt att skapa mycket mer förfinade belysningslösningar. De tekniska systemlösningarna har blivit mycket mer avancerade och komplexa. Det är i princip möjligt att installera

sensorer som läser av ljusbehovet och att utveckla regleralgoritmer som kontinuerligt anpassar belysningens ljusstyrka och spektralfördelning till behovet och situationen. Det som saknas är medvetenhet om betydelsen av bra ljus och kunskap om hur vi bör ta nytta av den nya tekniken.

Det finns dock också svåra principiella begränsningar. Dagens belysning är hårt uppstyrd till vissa former av snittytor, t.ex. E27, och standardlösningar för placering av armaturer och strömbrytare. Bygg- och fastighetsbranschen är i många avseenden konservativ. Det är en utmaning att skapa öppningar för att introducera nya former av systemlösningar, i synnerhet för det existerande fastighetsbeståndet. Det är svårt att ta fram lösningar som gör det enkelt att flytta ljuskällor. LED-baserade belysningslösningar måste konstrueras och användas på ett sådant sätt att man leder bort värme från lysdioderna. Då man introducerar avancerade styrmöjligheter är det en utmaning att begripliggöra hur styrningen fungerar så att det blir tydligt för användarna.

Det finns behov av dialog mellan personer med flera former av belysningsrelaterad kunskap och aktörer inom bygg och fastighetssektorn.

5.4 Verktyg för teknisk systemutveckling

För att åstadkomma en optimerad och flexibel teknisk systemlösning måste man integrera flera olika slags komponenter och kunskap. Det är dock svårt att specificera hur en verkligt bra ljussättning bör se ut. Beskrivningen av de tekniska komponenternas kombinerade funktioner och prestanda blir omfattande och komplex. De olika ljuskällornas och armaturernas ljus- och spektralfördelningar samspelar, och de kombinerade ljusflödena växelverkar med rummets, inredningsdetaljernas och de närvarande personernas selektivt reflekterande ytor. Dessutom har man olika behov vid olika tidpunkter och dagsljuset förändras under dagen. Det är krävande att optimera belysningssystemet. Parallellt med den belysningsmässiga optimeringen är det dessutom i dagsläget kritiskt att skapa en lösning som klarar att kyla lysdioderna, även om det problemet blir mindre allteftersom lysdioderna blir effektivare. Det är en komplex uppgift att på ett samordnat sätt skapa montagevärdig, matningsvärdig och styrningsvärdig flexibilitet och att samtidigt optimera den totala resurseffektiviteten. Alla förluster och ljusflöden blir värme och detta får negativa och positiva konsekvenser för komforten och fastigheternas energieffektivitet. För att kunna vidareutveckla nyttan av de installerade lösningarna är det viktigt att göra en verkligt genomtänkt modularisering. Det är knappast effektivt att ha väldigt många omvandlare från 240 V till den aktuella ljuskällans matningsspänning.

Det är en krävande uppgift att finna en systematik för att sortera ut de viktigaste parametrarna, beskriva behoven och möjligheterna på ett tydligt sätt och att göra en teknisk systemlösning som samoptimerar de olika aspekterna. Det är viktigt att finna och utveckla en grund av kompetens som kan användas för att höja nivån på det tekniska utvecklingsarbetet.

Utvecklingsarbetet för flera av de ljusrelaterade komponenterna är avancerat. Dessutom är det viktigt att tänkandet kring utvecklingen av komponenterna relateras till de systemförutsättningar som gäller för de olika komponenterna. Det är också viktigt att systemlösningarna optimeras och att systemen utformas på ett sådant sätt att de är enkla att underhålla och vidareutveckla.

Det följande beskriver metodik för produkt- och systemutveckling. På en lägre nivå kan en komponent också betraktas som en systemlösning där man under utvecklingsarbetet har samoptimerat ett antal olika aspekter för att uppnå en viss funktionalitet. Avsikten med de följande styckena är att beskriva en tankemodell som kan fungera som vägledning för att utveckla en systematisk arbetsmetodik, så att man får en tydligare grund för att kunna tydliggöra sambanden mellan de olika momenten mellan ljusdesign och faktisk installation och som en grund för kontinuerligt lärande och förbättring. De olika rollerna och arbetsmomenten i dagens leverantörskedjor inom belysningssektorn följer inte den nedanstående systematiken för samordnat utvecklingsarbete. Avsikten med beskrivningen är inte att

belysningssektorn skulle börja arbeta med de presenterade metoderna utan endast att beskriva en tankemodell för hur man kan organisera sina arbetsmodeller för att få en mer stabil grund för samordnat värdeskapande.

5.4.1 Teknisk konstruktion

På den här nivån handlar det om att utforma och koppla samman olika delar och komponenter, t.ex. att koppla samman ett antal elektriska komponenter till en systemlösning. På denna nivå ingår också mekanisk konstruktion och beräkningar av t.ex. värmeflöden. Utformning av hård- och mjukvara för kommunikationslänkar ingår också i arbetet med att samoptimera olika delar och aspekter av den tekniska systemlösningen. Målet är systemlösningar som främjar en bättre funktion och som bättre harmonierar med människans naturliga relation till ljuset. Belysningsrelaterad systemutveckling spänner hela vägen från kraftförsörjning till ljusfördelning och rumsgestaltning. Alla delmoment i systemet har stor inverkan på slutresultatet vad gäller verkningsgrad och funktionalitet.

Fokus bör ligga på att göra varje ingående komponent i systemet så effektiv som möjligt. ”En kedja är aldrig starkare än sin svagaste länk”. För att kunna arbeta med detta på ett effektivt sätt är det önskvärt att klargöra förutsättningarna, t.ex. standards och modularisering, vad gäller kraft- och signalmatning samt effekter och funktioner.

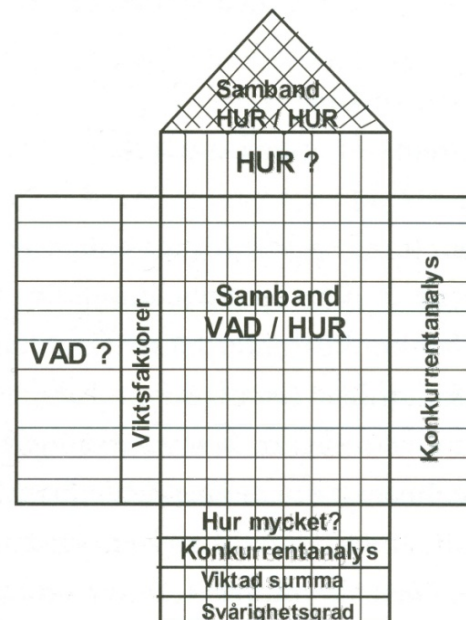
5.4.2 Optimering av systemlösningar

Den generella metodiken för systematisk produktutveckling brukar dela upp processen i de fyra faserna: produktspecifikation, konceptgenerering, detaljkonstruktion och tillverkningsunderlag. Det kan vara lämpligt att dela upp arbetet med att utveckla ett belysningssystem i en likande uppsättning arbetsmoment. För att klargöra vad produkten skall åstadkomma översätter man brukarnas, marknadens och samhällets krav på produkten till tekniska krav och specifikationer.

En viktig metod för kvalitetsinriktad produktutveckling är Quality Function Deployment (Gustafsson, 1998). QFD är en metod för att tydliggöra vad produkten skall åstadkomma och kopplingar till olika delar av hur man kan utforma produkten för att den skall ge de önskade funktionerna.

Kopplingarna mellan detaljspecifikationen av kraven och lösningarna beskrivs i en matris, se Figur 15. I utvecklingsarbete brukar man också jämföra med analyser av konkurrerande produkter. En del i utvecklingsarbetet är att man betygsätter hur viktiga olika delkrav är och hur olika delar i den aktuella konstruktionen bidrar till den önskade funktionen. De olika delbetygen summeras sedan till viktade värden som beskriver produktens prestanda.

En grundläggande begränsning för den här formen av metodik är att det är mycket svårt att ställa meningsfulla frågor om ”vad” och ”hur” för sådant som inte är känt för användarna. Metodiken är därför mest lämpad för mindre förbättringar av etablerade produkter.



Figur 15 QFD-matrisens uppbyggnad.

5.4.3 Arbetsformer och ledningssystem

För att möjliggöra ett hållbart utvecklingsarbete är det också viktigt att skapa bra arbetsformer och ledningssystem. Den vanligaste metodiken för kvalitetsledning bygger på kontinuerliga förbättringar se Figur 13. Grunden i metodiken är att man

- gör tydliga beskrivningar av vad man skall göra (plan),
- verkligen försöker göra som man skall göra (do),
- kollar upp vad resultatet blev (check) och
- förbättrar arbetsmetoden (act).

En ledande tankemodell för innovativ produktutveckling betonar att det är viktigt med samarbete och att se till att ha med både ledande teknikexperter och personer med ledande kunskap om marknaden och brukarnas verkliga behov i hela utvecklingsprocessen (Trott, 2005). Den formen av tankemodeller betonar att det är viktigt att arbeta på ett sådant sätt att företaget lär sig för framtiden samtidigt som man på effektivt sätt arbetar med de nuvarande arbetsuppgifterna. Den principiella metoden för att se till att företaget lär sig för framtiden och så att man kan växla upp nyttan av det man lär sig är att man kopplar lärandet till konkret strukturerad dokumentation av det man lärt sig. Samtidigt betonar den här litteraturen att det är viktigt med kreativitet och handlingskraft. Då man tillämpar sin kunskap skapar man bättre förutsättningar för ett värdeskapande lärande.

5.5 Industriedesign

Systemtänkandet är en viktig grund för ett totalt sett effektivt värdeskapande. Det är dock svårt att produktifiera systemtänkandet i sig på ett sådant sätt att man kan skala upp användningen av systemkunskapen och tjäna bra med pengar. För att skapa en hållbar affärsutveckling är det viktigt att designa genomtänkta produkter. För att sälja bra måste produkterna göras attraktiva på marknaden och för att kunderna skall bli nöjda, även långsiktigt, är det viktigt att produkterna är genomtänkta, så att de fungerar bra i de sammanhang de används.

Den mest kända aspekten av design är att skapa produkter med ett estetiskt utseende. För att bli verkligt uppskattade skall produkterna också vara smidiga och funktionella att använda. En del av grunden för att produkten fungerar bra för användaren ligger i informationen om produkten. ”Produkten” kan även vara en immateriell tjänst.

Industriedesignerns roll är att röra sig fritt och sammanföra olika områden och aspekter som har och kan ha betydelse för utformningen. En bra industriedesigner förstår vikten av och kan läsa kulturella nyanser och översätta dessa i gripbara lösningar, t.ex. att ta hänsyn till svenskars förkärlek för att ha ljuskällor i fönster i motsats till belgare som drar ner jalousier för alla fönster så fort mörkret faller.

Dagens designtänkande handlar om att navigera i ett ständigt föränderligt landskap av behov och önskemål, i en snabbt föränderlig värld. Övriga och snabba förändringar av kultur och teknologi kan öppna upp för produkter, tjänster och livsstilar som vi hittills knappast kan ana. Design är ett av de kunskapsområden som översätter kulturella förändringar och nya tekniska möjligheter till nya gripbara lösningar. Industriedesign tar en utgångspunkt i att göra produkter som blir attraktiva för kunderna och brukarna. Nyckeln till att höja nivån på produkternas attraktivitet ligger i kreativt tänkande.

För att skapa hållbara produkter och för att möjliggöra ett kvalificerat lärande för framtiden är det viktigt att tänka lagom vidsynt och långsiktigt. För att skapa förutsättningar för kontinuerligt lärande och för att kunna sprida det som någon lär sig så att kunskapen kan användas av fler inom företaget är det viktigt att arbeta på ett systematiskt och dokumenterat sätt. Industriedesign betonar både den kreativa processens betydelse och betydelsen av att arbeta på ett effektivt och systematiskt sätt.

5.6 Ljuskällor och ljusalstrande processer.

Ljuskällor kan grovt delas in i tre huvudgrupper:

- Glödlampor
- Urladdningslampor
- Halvledarbaserade ljuskällor, t.ex. LED

Alla tre typerna har sina fördelar och kommer sannolikt att samexistera under lång tid framåt.

5.6.1 Glödlampor

Glödlampor alstrar ljus väsentligen termiskt, d.v.s. en kropp (vanligtvis en glödtråd) hettas upp tills den börjar emittera ljus. Detta är det sätt på vilket solen alstrar sitt ljus. Energifördelningen hos ljuset som utsänds av en varm kropp ges av Plancks strålningslag, som visar att både intensiteten och färginnehållet (spektralfördelningen) varierar med temperaturen: ju högre temperatur, desto intensivare och ”blåare” ljus. För att efterlikna solen skulle man behöva en glödtråd med temperaturen 5500 K, vilket inte går att åstadkomma i våra ljuskällor, eftersom alla jordiska material är förångade vid denna temperatur. Temperaturen i en glödlampa måste därför hållas under 3600 K (smältpunkten för Wolfram) och detta medför i sin tur att glödlampor ger ett rödare (”varmare”) ljus än dagsljuset, men också att en stor del av det emitterade ljuset faller i det infraröda våglängdsområdet, där det enbart genererar värme och inget synligt ljus. På grund av detta är glödlampor ineffektiva jämfört med de andra typerna av ljuskällor. Fördelen är att spektralfördelningen är jämn och färgåtergivningen därför inte bjuder på överraskningar.

En ”vanlig” glödlampa har en glödtrådstemperatur av ca 2800 K – ju högre temperatur, desto kraftigare förångning av glödtråden och därmed förkortad livslängd. För att motverka detta kan man tillföra en halogen, vanligen brom, till ädelgasatmosfären runt glödtråden. Därigenom kan man, om temperaturen i gasen hålls tillräckligt hög, förhindra att det förångade glödtråds materialet deponeras på glasets insida. Metallatomerna bildar en förening med brom och de molekylerna hålls svävande tills de råkar kollidera med glödtråden, där de dissocieras och metallen återföres till glödtråden. På så sätt minskas alltså förslitningen av glödtråden, men på grund av den högre temperaturen måste ett kraftigare glashölje användas och dimensionerna minskas. Denna typ av ljuskälla blir väsentligt effektivare än en konventionell glödlampa på grund av den spektralförskjutning av emissionen åt det blåa hållet som den högre temperaturen medför. Det är även den ljuskälla som f.n. bäst återger färger.

5.6.2 Gasurladdningar

Den totalt dominerande ljuskällan i producerat ljus räknat utgörs av urladdningslampor. Ljusalstringen är nu inte längre termisk, utan sker via övergångar mellan exciterade nivåer i atomer eller molekyler. Excitationen åstadkommes primärt av en elektrisk urladdning mellan två elektroder (t.ex. ett lysrör) eller inducerad via ett varierande elektromagnetiskt fält (induktionslampa). De aktiva agenterna för excitation är elektroner som accelereras i det elektriska fältet. Eftersom dessa oftast är många tusen gånger lättare än de atomer de exciterar, sker liten överföring av rörelseenergi, d.v.s. upphettningen av atomer är liten. Det går bra att hålla handen på ett lysrör som brinner med full effekt, trots att elektronernas temperatur är över 10 000K! Detta gör att urladdningar kan bli effektiva och konvertera så mycket som 70 % av den tillförda elektriska effekten till utsända fotoner. Tyvärr involverar de mest effektiva processerna vi känner oftast kvicksilver och resulterar därför i energetiska ultravioletta fotoner, som måste konverteras till synligt ljus. Detta görs i lysrör av ett fluoroscerande skikt på glasrörets insida. Eftersom en energetisk UV-foton med dagens teknik resulterar i högst en synligt foton, som är betydligt mindre energirik, sjunker den totala effektiviteten till max ca 30 %.

Det primära ljuset från urladdningslampor har en väsentligt ojämnare spektralfördelning än ljuset från glödlampor. Något kan detta bättras på med avancerade blandningar av fluorescerande pulver eller tillsatser i urladdningen av andra metaller än kvicksilver, som har ljusalstrande övergångar i det synliga området. Problemet är att de flesta metaller, till skillnad från kvicksilver, har ett mycket lågt ångtryck vid rimliga temperaturer och man behöver därför tillföra metallerna i molekylform, där partnern kan vara t.ex. klor, brom eller fluor. För gynnsamma driftförhållanden krävs i motsats till lysrör, högt tryck och de aggressiva halogenerna ställer höga krav på höljet och elektroderna. Denna typ av lampor, High Intensity Discharge (HID), är vanliga i t.ex. projektorer och har god effektivitet och ofta acceptabel färgåtergivning. Det höga trycket i lampan (flera atmosfärers övertryck) och den höga temperaturen gör att det innersta höljet ofta måste omges av ytterligare höljen av säkerhetsskäl.

5.6.3 Halvledarbaserade ljuskällor

Få tvivlar på att halvledarbaserade ljuskällor (Solid State Lighting, SSL) kommer att ta en väsentlig del av marknaden inom något eller några decennier. Det som främst diskuteras f.n. är lysdioder (LED) men andra former av SSL kan också tänkas. Ljusstringsprocessen i en LED sker liksom i gasurladdningar genom övergångar från ett tillstånd (eller band av tillstånd) till ett annat, vilket resulterar i diskreta toppar i spektralfördelningen. Jämfört med fria atomer har man dock många fler parametrar till sitt förfogande för att ordna till detta: det enklaste är att utgå från energirika blåa fotoner och sedan applicera ett fluorescerande skikt, liknande det som finns på insidan i ett lysrör, för att sedan konvertera dessa till en önskad mix av synliga fotoner, givetvis med åtföljande energiförlust. Mera tilltalande är att redan från början blanda lysdioder med olika färger för att på så sätt direkt åstadkomma ett ljus som uppfattas som vitt. Därigenom slipper man energiförlusterna i ett lyspulver och får på köpet möjlighet att elektriskt variera färgblandningen i ljuset. Det finns också stora möjligheter att styra ljusets fördelning i rummet och tiden elektriskt.

En lysdiod har en liten ljusemitterande volym vilket resulterar i en energitäthet många storleksordningar högre än t.ex. ett lysrör. Detta ger stora möjligheter att optiskt utforma den slutliga ljusbilden, men ger också upphov till problem med att leda bort överskottsvärme, vilket är avgörande för livslängden. Trots detta har lysdioder klara förutsättningar att snart bli den helt överlägsna ljuskällan vad beträffar energieffektivitet och tillförlitlighet.

5.6.4 Utvecklingspotentialen för LED

Utveckling av LED-tekniken har en imponerande löftespotential; Ljusutbyte över 200 lm/W, RA över 90. Möjligheterna att styra den LED-baserade belysningens ljusintensitet och spektralfördelning på ett flexibelt och dynamiskt sätt gör att vinsten i funktion, upplevelse och trivsel kan bli ännu mycket större än vad som registreras med de etablerade mätetalen. Utveckling mot högre kvalitet och ljusutbyte, lägre kostnader och större volymer kommer på sikt att kunna innebära att en betydligt bättre ljusfunktion utvecklas och att betydande mängder elenergi kan sparas. Globalt förbrukas ungefär 3000 TWh för belysningsändamål. Med avancerad teknik och verkligt optimerade systemlösningar skulle man kunna spara 90 % av den el som används för belysning. I många verksamheter kan man spara mer än 20 % av den använda elenergin.

För att ta verkligt bra nytta av LED-teknikens potential är det viktigt att utveckla optik och belysnings-system för att styra ljuset till rätt ställen på kontor, arbetsplatser, utomhus mm. Det är viktigt att analysera ljuskällorna, optiken och andra former av styrning, inklusive belysningsplanering, som en helhet och att göra detta ur ett ekonomiskt, miljö- och resursmässigt livscykelperspektiv. En viktig aspekt är att LED-tekniken ger nya optiska förutsättningar.

Globalt sett är målet för hållbar utveckling att skapa bättre mänskliga livsförutsättningar för allt fler och att samtidigt minska förbrukningen av icke förnybara resurser. Nya innovativa lösningar ger möjlighet till mer energisnåla metoder. Det är särskilt viktigt att spara på värdefulla resurser och el är

den mest användbara energiformen. Utveckling av innovativa LED-baserade belysningslösningar ger möjlighet att spara el, bl.a. genom att ge möjlighet att undvika slöseri med ljus.

Tillämpningen av LED-teknik och utvecklingen av LED-baserade system hämmas idag av avsaknaden av industriellt etablerade standarder samt motsägelsefullt nog av den snabba utvecklingstakten. I jämförelse med etablerade standarder för konventionella ljuskällor kräver LED-baserade armaturer relativt mycket avancerat ingenjörarbete, vilket medför ökade utvecklingskostnader och ledtider.

Den snabba utvecklingstakten gör att marknaden känner en osäkerhet i bedömningen om när det är dags att satsa. Produktbolagen känner också en osäkerhet i hur man skall hantera eftermarknaden, garantier och uppdateringar.

Utvecklingen av tekniska standarder är viktigt för den fortsatta kommersialiseringen. Svenska aktörer bör verka för ett snabbare standardiseringsarbete som gynnar flexibilitet och effektivitet.

5.6.5 Optiska möjligheter med små ljuskällor

LED-baserade ljuskällor kan ha mycket liten lysande yta och detta gör att en optisk enhet med LED och välutvecklad optik teoretiskt sett kan leverera mycket bra ljusfördelningar. En annan trend att skapa större ytor som minskar den elektriska densiteten på chipet och på så sätt sänker arbets-temperaturen och ökar verkningsgraden. Den traditionella belysningsindustrin har begränsad kunskap om den nya ljuskällan, dess funktion, fördelar och nackdelar. Det syns i många av de produkter som hittills utvecklats. LED-ljuskällan hanteras som konventionell teknik, vilket innebär att man gör armaturen onödigt komplex och att man inte optimerar konstruktionen på ett optimalt sätt.

En optimerad vägararmatur kan t.ex. ge en ljusfördelning som belyser en väg och vägrenarna med en väl anpassad belysningsfördelning. Inomhus går det gå att göra funktionella och trivsamma belysningsfördelningar som t.ex. på ett arbets- eller kontorsbord ger en asymmetrisk ljusinfallsriktning som riktar alla reflexer bort från synriktningen. Ett exempel är att LED ger möjlighet att belysa med rätt ljus över hela tavlan med en mycket liten reflektor. För att en lysrörsarmatur skall ge jämn ljusfördelning över hela tavlan krävs det en reflektor med en bredd på upp till en meter.

5.7 Lysdiodfysik

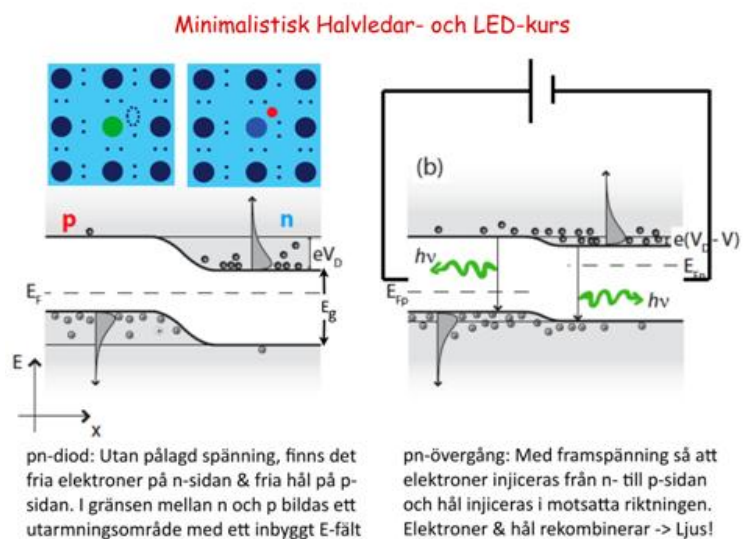
Ljus, d.v.s. fotoner, genereras när ett system, t.ex. en atom, en molekyl eller en kristall, övergår från ett exciterat tillstånd till ett lägre energitillstånd. I en atom talar vi om att man exciterat en valenselektron till ett yttre ”skal”, varefter atomen återgår till sitt grundtillstånd genom att elektronen ”hoppar” till lägre energi tillstånd och energiskillnaden övergår i en foton som då tar upp energiskillnaden i elektronövergången. Om man hettar upp en materia uppstår spontant sådana energiövergångar så att de fotoner som skapas återspeglar temperaturen – man talar om den spektrala fördelningen från en svartkroppsstrålare. Glödlampan är ett bra exempel på en sådan svartkroppsstrålare, och det ljus som emitteras från glödlampans glödtråd motsvarar dess temperatur, vilken typiskt är tusentals grader. Den helt dominerande strålningen från en glödlampa ser vi inte utan detta är emission långt ut i den infraröda delen av spektret, vilket vi uppfattar som att lampan strålar ut värme.

Det så väsentliga i en lysdiod är att ljuset som skickas ut inte kräver att diodens värms upp och därmed kan man teoretiskt nästan undvika värmerelaterade förluster. Det ”knep” som utnyttjas i en halvledare är att dess energi-struktur har ett, för varje halvledare, karakteristiskt energigap, kallat bandgap (E_g), vilket för en ren halvledare betyder att den är elektriskt isolerande. Genom att tillföra dopämnen, kallade donatorer, kan man få halvledaren att leda elektrisk ström med elektroner vilka befinner sig i energitillstånd just ovanför bandgapet och man säger att de befinner sig i halvledarens ledningsband, och vi kallar halvledaren för n-ledande. På motsvarande sätt kan man tillföra andra dopämnen vilka resulterar i att positiva laddningar uppstår med energier just nedanför bandgapet, och vi kallar då halvledaren för p-ledande med ”hål” (Schubert, 2006)

Figur 16 summerar vad som händer, vilket kan förklaras med ett så kallat banddiagram där bandgapet markerats med E_g , där vi till vänster ritar en p-ledande halvledare och till höger en n-ledande. Mellan dessa delar uppstår ett elektriskt fält, vilket vi ser som att banden ”böjer sig”, vilket bidrar till att elektroner och hål separeras från varandra. Om man nu kopplar in ett batteri med en lagom stor spänning, och med rätt polaritet (se fig.) lyfter vi upp elektronerna till en högre energi och vi sänker hålets energi till en lägre nivå så som den högra bilden illustrerar.

Konsekvensen blir att elektroner och hål nu av batteriets spänning drivs in mot varandra och elektronerna kan nu sänka sin energi genom att ”hoppa” ner till ett positivt hål, och därigenom momentant frigöra en energi motsvarande bandgapet, i form av en foton! Färgen som lysdioden ger ifrån sig motsvarar alltså, i princip, halv-ledarens bandgap, och färgen har alltså inget att göra med temperaturen. Medan glödlampan omvandlar ca 4 % av den tillförda elektriska energin till ljus som vi kan se, kan en lysdiod omvandla mer än 50 % av den tillförda elektriska energin till ljus.

Ljuset från dagens ”vita” lysdioder består oftast av en Blå LED vars emission blandas med Gult ljus från en s.k. fosfor vilken exciteras av det blå ljuset från lysdioden. Genom att tillverka lysdioder med en blandning av halvledare med olika bandgap blir det möjligt att sätta samman ett emissionsspektrum vilket kan designas till den spektrala karaktär, eller den färgtemperatur, som man önskar för olika användningar, t.ex. vitt ljus som liknar solljuset eller kanske ett varmare ljus som innehåller mer av



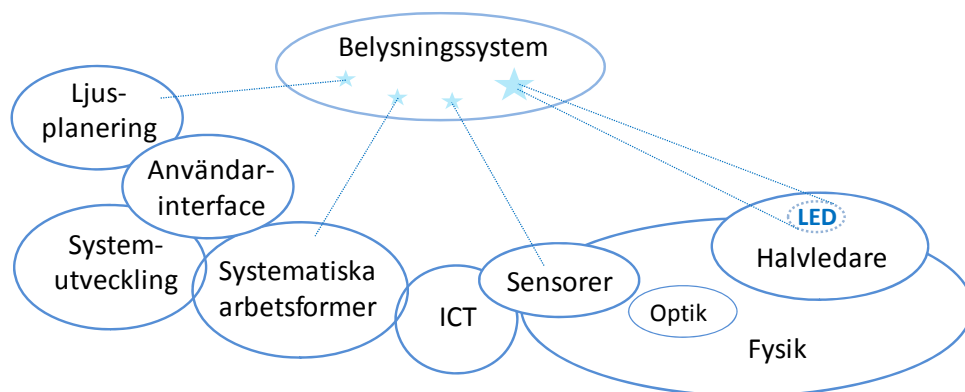
Figur 16 Lysdiodens grundläggande funktion.

rött. Det finns en för lysdiodsbelysning mycket attraktiv egenskap, nämligen att en lysdiod är robust och att de tekniskt sett kan ge en ”brinntid” på mer än 50 000 timmar, medan en glödlampas ”brinntid” typiskt är 1000 timmar. Ägaren av ett LED-baserat belysningsystem kan också styra belysningen på ett allt mer avancerat sätt och kan även vinna mycket på lägre drifts- och underhållskostnader.

5.8 Framtid

Det finns möjlighet till stora vinster om man lyckas mobilisera ett systematiskt samarbete för mer värdeskapande förnyelse av belysningssektorns arbetsmetoder. Dagens arbetsformer för installation av belysning karakteriseras av mer hantverksmässiga tankesätt och upprepad användning av standardlösningar för hur systemen utformas. Om man kan öka användningen av mer avancerade systematiska samarbetsformer förbättrar man förutsättningarna för att ta nytta av kunskap om ljusplanering på ett sådant sätt att de faktiska installationerna blir väsentligt bättre. Man förbättrar också förutsättningarna för gemensamt lärande kring hur de faktiska tekniska valen kan förbättras och hur systemlösningarna kan förnyas, bl.a. genom att skapa en tydligare grund för att ta nytta av olika former av återkoppling.

För att höja nivån av värdeskapande är det viktigt att ta kombinerad nytta av ledande kompetens från flera olika ämnesområden. Figur 17 ger en överblick av ett antal tekniska kunskapsfält som är intressanta för belysningssektorns utveckling. I en väl utvecklad framtida arbetsform bör dessa olika former av kunskaper integreras på ett sådant sätt att man kan göra mer högvärdiga belysningsystem. Samtidigt bör arbetet med utvecklingen av allt bättre belysningsystem bedrivas på ett sådant sätt att man öppnar upp för ledande utveckling inom de medverkande och potentiellt värdefulla delområdena.



Figur 17 Belysningsteknikens värdeskapande är beroende av att ta samlad nytta av ledande kompetens inom flera tekniska områden.

För att förbättra belysningen och samtidigt spara en stor mängd elenergi behövs det forskning för utveckling av optiska metoder för distribution av ljuset från LEDs och avbländning av ljuskällan. Det är viktigt att förbättra förståelsen för hur bländningsfenomenet uppkommer och medvetandegörs i människans öga och hjärna. Hitintills har endast experimentella modeller etablerats för att uppskatta den bländning som olika ljuskällor och armaturer åstadkommer.

Inom de närmaste åren förväntar vi oss att den pågående forskningen kring ”Solid State Lighting” skall resultera i smidiga möjligheter att styra bl.a. den spektrala färgsammansättningen (Schubert, 2005) och att användningen av nanoteknikens landvinningar skall sänka priserna på lysdioderna med minst en faktor 5 (Crawford, 2009), en nivå där LED blir ekonomiskt attraktivt för generell belysning.

Ett exempel på utvecklingspotentialen är att direkt elektriskt drivna multi-färg-LEDs (med tre eller flera LEDs med antingen Blått, Grönt och Rött, eller Blått, Grönt, Gult och Rött) har ett antal viktiga fördelar:

- de ger möjlighet att avstämna färgtemperaturen hos ljuskällan,

- man undviker fosforer, vilka är en helt central teknikdel i dagens vita lysdioder, vilka bygger på en blå LED plus fosfor som pumpas av det blå ljuset och ger gult ljus, dvs. tillsammans vitt (men dåligt) ljus.
- effektiviteten, t.ex. mätt i lm/W, blir mycket högre eftersom man med multipla LEDs för de olika färgerna, undviker relaxationsförlusterna i fosforer som pumpas med blått (eller UV) ljus och emitterar i gult/rött, eftersom varje LED exciteras elektriskt med en spänning som direkt motsvarar färgen på det emitterade ljuset.

Förutsättningarna för att Sverige och svensk forskning skall kunna komma att spela en viktig roll för utvecklingen av Solid State Lighting måste betraktas som mycket goda. Speciellt har vi inom optisk halvledarfysik en mycket stark tradition, både vad gäller de traditionella III-V halvledarna och III-nitrider som GaN. Denna forskning, som är mycket nära kopplad till utveckling av materialvetenskap kring dessa LED-material och deras tillverkningsmetoder, har under 3 - 4 decennier bedrivits vid, främst, LTH och vid Linköpings universitet. Dessutom finns mycket kompetens kring växt (tillverkning) av och opto-elektroniska tillämpningar för dessa material vid såväl CTH som KTH. Detta innebär att Sverige tillhör de ledande nationerna i världen inom grundforskning av relevans för lysdioder. Ur den Lundensiska forskningen har dessutom uppstått en av de mest lovande industriella teknikerna för framställning av såväl vita som färgtemperaturkontrollerade lysdioder inom Glo AB, vilket utvecklats vid Ideon i Lund.

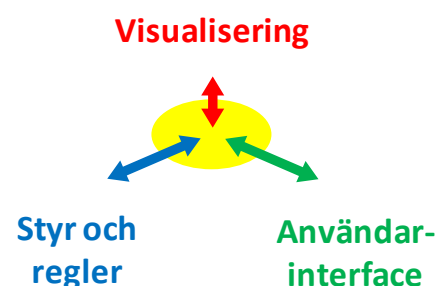
Avancerad förmåga att ta nytta av ledande LED-teknik är en viktig del i att möjliggöra att Sverige kan ta en ledande roll i utveckling av hållbar belysning. Ledande arbete med att utveckla belysningslösningar ger samtidigt tillämpningar som ger möjlighet till ett lärande som ger vägledning för utveckling av attraktiva LED-lösningar och som stimulerar till värdeskapande LED-forskning.

Internationellt görs det mycket stora satsningar på materialvetenskaplig forskning och utveckling av ljusrelaterad halvledarteknik. Sverige har en stark tradition inom optisk halvledarfysik och satsningarna kring MAX IV och European Spallation Source, ESS stärker förutsättningarna för att Sverige skall kunna ta en ledande roll i forskningen och teknikutvecklingen inom materialforskning för LED och kommande opto-elektronisk teknik. Synkrotronljuset och andra hjälpmedel för att se in i materiens nanoprocesser stärker också möjligheten se in i biologiska och medicinska förlopp. Detta stärker möjligheten att bygga mer välgrundad förståelse kring det verkliga användarvärdet av olika former av avancerad belysning. Kopplingen till forskningsfronten inom materialvetenskap och nanoteknik stärker Sveriges möjlighet att ta en ledande roll i utvecklingen av hållbar belysning.

5.9 Simulator för belysningsstyrning

För att förbättra möjligheten att beforska vad olika former av styr- och reglersystem leder till, som kopplande funktion mellan styrsystemets användarinterface och den resulterande belysningen, kan man bygga en simulator som i ena änden kan anslutas till olika former av användarinterface för belysningsstyrning och som i andra änden kan anslutas till mjukvara och skärmar som, t.ex. med en vanlig PC eller en VR studio, visualiserar det resulterande belysningsresultatet, se Figur 18.

Simulatorn kan ingå i en VR-studio där man kan testa olika regleralgoritmer och olika användarinterface för belysningsstyrning.



Figur 18 Principmodell för simulator för att studera det visuella resultatet av olika former av belysningsstyrning.

6. Betydelsen av flervetenskaplig arbetsmetodik

Den pågående utvecklingen av belysningsteknik och kunskapen om effekterna av olika former av ljus gör att det finns ett behov av ett mer fritt nytänkande. För att skapa ett bredare samhällsintresse för de nya möjligheterna är det viktigt att visa belysningens mänskliga och samhällsmässiga betydelse, affärsmöjligheterna för de nya spännande produkterna och de nya mer meningsfulla arbetsuppgifterna. Det är viktigt att förbättra belysningsområdets förmåga att attrahera investeringsintresse, studenter, forskare, kunnig arbetskraft och medialt intresse.

För att bygga en grund för förnyelse av belysningssektorn finns det behov att utveckla fler och bättre belysningsutbildningar och belysningskurser. För att den expertkunskapen skall komma till bra nytta är det grundläggande att bygga en bred medvetenhet om att den nya belysningsrelaterade kunskapen är väsentlig, och att den på något sätt bör införlivas i många olika former av utvecklingsprocesser. Det är t.ex. viktigt att fastighetsägare, byggmästare, inköpschefer, sjukhuschefer och skolchefer förstår att den nya tekniken ger nya mänskligt väsentliga möjligheter och att det krävs uppdaterad kunskap om belysning och ljusets effekter för att kunna ta nytta av den potentialen.

En viktig metod för att stärka förutsättningarna för nyttiggörande av den belysningsrelaterade potentialen är att integrera inslag om belysning i många olika former av kurser. Det är dock svårt att komma framåt med integration av nya kursinslag. Dialogen om Ceebel:s Utbildningsdag har aktualiserat att det finns ett motstånd mot att göra ändringar i kurser och program. För att få upp intresset är det grundläggande att visa att belysningsutveckling har blivit ett väsentligt samhällsintresse. För att kunna förklara detta på ett kompetent sätt är det önskvärt att involvera belysningskunniga personer. Det finns dock en till synes oundviklig risk att de etablerade belysningspersonerna säger upplevs som att de talar i egen sak. Det finns här en analogi med hur universiteten sedan början av 90-talet har betonat att miljöinslag bör integreras i näst intill alla kurser och hur detta behov har påtalats av miljövetare. De flesta universitet lyckas fortfarande inte så bra med detta, trots att man tränat i 20 år. En anledning är att det finns ett generellt motstånd mot att ta in fler nya inslag i kurserna och utbildningsprogrammen. En annan anledning är lärarna i de olika ämnena har svårt att se hur de kan ta in miljö i sina kurser. En tredje anledning till att miljö inte väcker bredare intresse är att miljö tenderar att nästan bara företrädas av miljöexperter. Detta lockar oftast inte fram verkligt intresse hos personer inom andra ämnesområden.

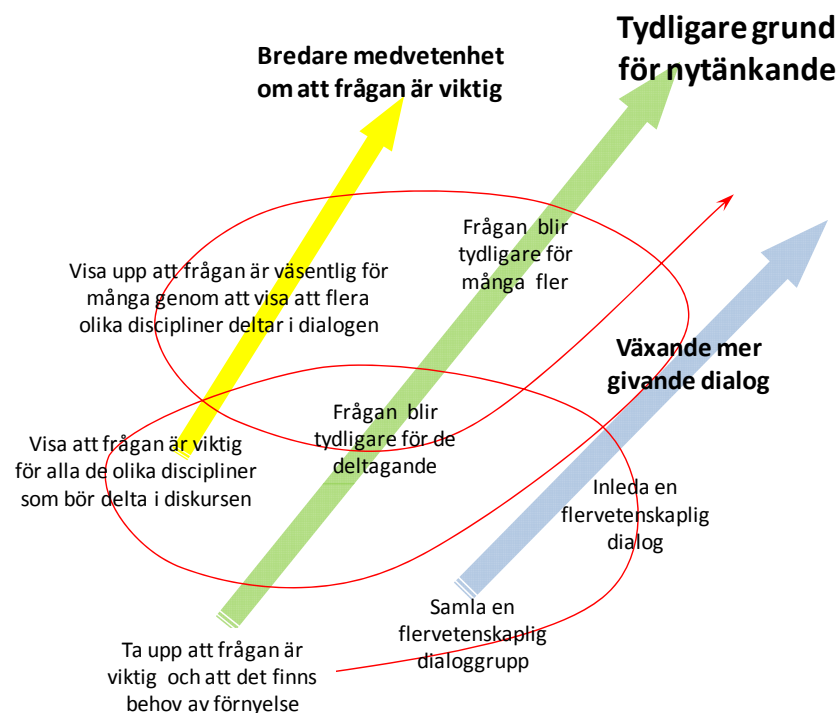
Det är visserligen ofta de etablerade experterna som har bäst sakkunskap, även inom näraliggande områden. De flesta som är etablerade som representanter för olika sårintressen har dock relativt låg trovärdighet som företrädare för ett mycket bredare samhällsintresse. Budskapet att en aktuell fråga är väsentlig för samhällsutvecklingen bör framföras av personer som har någon form av bred trovärdighet som samhälls-, teknik- och affärsutvecklare.

För att få till det öppensinniga nytänkande som krävs är det önskvärt att skapa en tankegrund som fungerar bra som bas för den nya belysningskunskap som bör utvecklas. Dagens tankesätt kring hur armaturer och ljuskällor ser ut och fungerar, t.ex. optiskt, är inte lämpligt som grund för arbete med utveckling av LED-baserade lösningar. De etablerade tekniska gränssnitten saknar funktioner som är väsentliga för att kunna ta bra nytta av LED-tekniken, de inkluderar t.ex. inte konstantströmsdrift och datakommunikation. Sättet att mäta ljusmängd nästan enbart enligt $V(\lambda)$ -kurvan ger en begränsad bild som inte noterar det blåa ljuset, trots att detta i många fall är viktigt, t.ex. för att synkronisera kroppens cirkadiska system.

Vi vet att den etablerade tankemodellen kring belysning är ofullkomlig. Det behövs en mer uppdaterad och utvecklad tankemodell, men vi vet inte hur den tankemodellen bör se ut. En problematisk aspekt

är att då de etablerade aktörerna informerar om dagens belysningstänkande så påverkar det också bilden av vad man kan göra. Det är viktigt att starta en process som efter hand tydliggör hur det aktuella frågekomplexet bör konceptualiseras. För att möjliggöra en givande flervetenskaplig dialog är det viktigt att ha tydliga begrepp, ord och mätetal, som kommunikationsverktyg. Då man inleder en förnyelseinriktad dialog kring en ny fråga är ”verktygslådan” för kommunikation begränsad och otydlig (Weick, 1995). För att skapa tydligare förståelse kring den aktuella frågeställningen är det viktigt att komplettera med nya bättre verktyg och tydliggöra vad olika begrepp egentligen innebär.

Det är viktigt att göra de belysningsrelaterade orden tyliga och begripliga för personer inom flera vetenskapliga områden. Samtidigt är det väsentligt att komma ihåg att den nuvarande ”verktygslådan” av belysningsrelaterade begrepp är ofullständig i relation till det framväxande kommunikationsbehovet. Vi behöver utveckla en bättre begreppsapparat. Den grundläggande förutsättningen för att få fram en bättre karta är att man sätter igång och jobbar med frågeställningen. Enligt Weick (1995) kan det till och med vara bättre att ha starta med fel karta än att inte ha någon karta alls. Anledningen är att man är mer benägen att sätta igång att försöka om man har en karta än om inte har någon uppfattning om i vilken riktning man skall starta. En viktig nyckel till att kunna komma fram till en bra lösning är sedan att komma ihåg att kartan bara är en karta, att kartan inte är samma sak som verkligheten. Det går inte att definiera en begreppsapparat som förblir perfekt som grund för framtida nytänkande. Nyckeln till framgång ligger i att skapa ett sunt förhållningssätt och att sätta igång (med stöd i de verktyg som finns) och arbeta på ett sådant sätt att vi ständigt förbättrar vår verktygslåda. Vi har inget sundare grundläggande förhållningssätt den processen är den vetenskapliga metodiken. Vetenskapen kan dock inte leverera en beständigt optimal begreppsapparat, ”bara” input till fortsatt sökande.



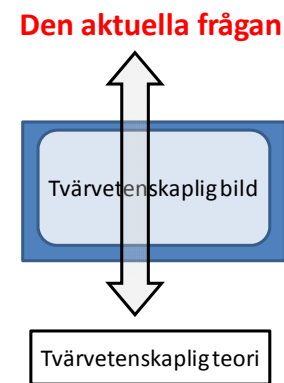
Figur 19 En utvecklingspiral som visar att man kan skapa tydlighet kring vad en fråga egentligen innebär genom att inleda en engagerad flervetenskaplig dialog med startpunkt i att frågan är viktig.

Textrutorna vid utvecklingspiralen i Figur 19 visar hur man kan nå fram till en tydligare gemensam bild genom flervetenskaplig dialog. I spiralens startpunkt är ”bilden av frågan” ofta ganska otydlig. Dialogen kring hur frågan egentligen ”ser ut” ger sedan en allt tydligare ”bild”. Två andra processer där arbetet med och dialogen kring olika frågor efter hand ger en allt tydligare ”bild” är miljö- och kvalitetsledning. Både miljö- och kvalitetsledningssystem avser att åstadkomma ett kontinuerligt

lärande som bygger på cirkeln Plan-Do-Check-Act. Miljöledning knyter an till en miljörelaterad referensram och kvalitetsledning knyter an till en affärsutvecklingsinriktad referensram. En annan form av samspelande lärande är Triple-Helix samarbete mellan akademi, företag och samhälle (Karlsson, Backman & Djupenström, 2010). En flervetenskaplig dialog anknyter till en mångsidig och djupgående vetenskaplig referensram, se Figur 21.



Figur 21 Kopplingen mellan flervetenskaplig dialog och teoretiska grunder inom flera ämnesområden.



Figur 20 Kopplingen mellan dialogen om en aktuell fråga och en tvärvetenskaplig teori.

Figur 20 ger en förenklad bild av hur en tvärvetenskaplig arbetsform baseras på en tvärvetenskaplig teori. Det är inte klart hur teoribildningen inom en tvärvetenskaplig teori bör knyta an till teoribildning inom andra ämnesområden. Den flervetenskapliga arbetsformen i Figur 21 har tydligare koppling till teoribildningen inom de bakomliggande vetenskaperna. Denna arbetsform har dock ingen lika tydlig referensram att anknyta till. I en mer utvecklad arbetsform kan man tänka sig att den flervetenskapliga arbetsformen kompletteras med en tydligare tvärvetenskaplig teoribild som i sin tur fungerar som länkning till de bakomliggande vetenskaperna.

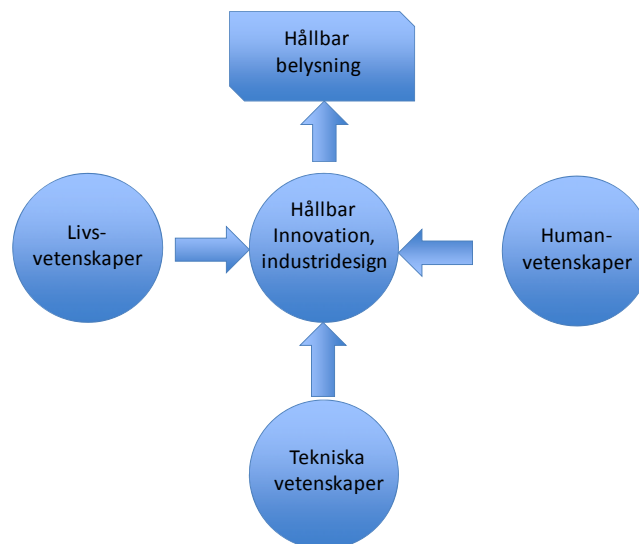
Arbetsformen i Figur 21 betyder att arbetet med den aktuella frågan växelverkar med teoribildningen inom ett flertal mer grundläggande vetenskaperna. Detta betyder att tolkningen av frågan ständigt växelverkar med nya insikter inom de bakomliggande vetenskaperna. Som ett exempel kan man tänka sig att tankesättet kring hur armaturer och ljuskällor kan se ut kan ta nytt av ny kunskap inom design och arkitektur. Samtidigt kan tankeutvecklingen kring de tekniska gränssnitten stimuleras av ny elektroteknisk kunskap som ger enklare möjlighet till konstantströmsdrift och datakommunikation. Tankesättet kring hur belysningslösningen kan se ut blir då inte låst av gammal kunskap om hur de tekniska gränssnitten måste se ut. Samtidigt ökar möjligheten att utvecklingen av de tekniska gränssnitten kan frigöras från gamla tankar om hur belysningen skall se ut. Det tycks som om den här formen av möjligheter blir mer begränsade om man utvecklar en fristående grund av tvärvetenskaplig belysningsteori. Vi tolkar detta som att avancerade flervetenskapliga grupper kan ha en väsentlig funktion som arbetsmetod för att öppna upp för gränsöverskridande nytänkande. Den flervetenskapliga arbetsformen är också väsentlig som metod för att på ett kompetent och trovärdigt sätt begripliggöra att en fråga på något nytt sätt har blivit väsentlig för samhällets utveckling.

Arbetet med att ta fram en tydligare karta över den belysningsrelaterade kunskapen har givit förståelse kring hur man kan använda flervetenskaplig metodik för att åstadkomma ett gemensamt nytänkande som möjliggör omtolkningar av etablerade tankesätt.

7. En samlad bild

Ny forskningsbaserad kunskap inom biologi-, human- och naturvetenskaperna visar på ljusets och belysningens betydelse för människan, inom djurhållningen och inom jordbruket. Den snabba utvecklingen av LED och flera olika former av belysningsrelaterad teknik visar på nya möjligheter att skapa bättre belysningslösningar. Sverige har en tradition av att skapa god arbets- och boendemiljö, med förstklassig forskning inom flera nyckelområden och erkänd förmåga att skapa systemlösningar. Detta ger goda möjligheter att dels spara energi och samtidigt utveckla och förnya belysningsrelaterad industri i Sverige. Det finns alltså goda möjligheter att åstadkomma hållbar innovation inom området belysning.

Utmaningen är för det första att rätt avläsa och tolka användarnas behov. För det andra gäller det att ha förmågan att utnyttja kunskap från flera vetenskapsområden i processen. Detta kräver fortsatt forskning, utbildningsinsatser och möjlighet att demonstrera nya produkter och system. Det krävs också – för det tredje – ett skickligt entreprenörskap och att effektiv industridesign initieras i berörda företag. Figur 22 visar en principiell bild av hur olika former av kunskap kan kombineras och aktiveras för att skapa en mer hållbar belysning och en mer lönsam belysningssektor.



Figur 22 Hållbar innovation och industridesign som arbetsform för att skapa mer hållbar belysning genom att ta samlad nytta av flera olika former av kunskap.

För att olika aktörer på allvar skall satsa på förnyelse av belysningssektorn är det viktigt att tydliggöra belysningsfrågornas betydelse. Det är viktigt att kunderna förstår varför det är så mänskligt viktigt med bra belysning. Även personer som tar stora beslut t.ex. politiker, fastighetsägare och inköpare påverkas av sina personliga kunskaper och subjektiva uppfattningar om betydelsen av bra ljus. Detta påverkar viljan att investera i uppbyggnad av mer avancerade belysningsrelaterade verksamheter. Forskarnas intresse för att starta och delta i belysningsrelaterade projekt och utbildningar påverkas också av den egna uppfattningen om belysningsområdets betydelse.

En svårighet är att ”användarens behov” kan tolkas på olika sätt. Dels kan man medicinskt, syn-ergonomiskt och tekniskt försöka räkna ut hur mycket, och framför allt vilket, ljus en människa behöver för att må bra. En annan form är att användaren själv beskriver sitt behov. Ytterligare en form av behov är sådana nya lösningar som användaren från början inte vet om att hon/han ”behöver”. Här handlar det om att skapa ett behov, t.ex. så som Apple har skapat ett behov av ipads.

För att höja motivationen att satsa på belysningsområdet är det viktigt att göra någon form av samlad profilering. Det är önskvärt att ta fram en tydlig Nationell belysningsstrategi och synliggöra att det

finns stark verklig uppslutning för satsningen på belysningsstrategin. För att uppnå trovärdighet för att satsningen är långsiktig är det viktigt att etablera någon form av bestående plattform och inte enbart satsa på tidsbegränsade projekt.

För att åstadkomma en hållbarhetsinriktad kompetensuppbyggnad är det viktigt att involvera personer från olika ämnesområden och olika forskningsaktörer i gemensamma projekt. För att öppna upp för förnyelse är det viktigt att skapa former för samarbete med nya utvecklingsaktörer och att satsa en del på demonstrationer av och experiment med helt nya lösningar. Forskningsprogrammet bör inte i för hög grad kräva medfinansiering från etablerade företag och organisationer. Men naturligtvis går det inte att starta från noll. Det är fundamentalt att skapa former för att involvera den erfarenhet och kompetens som finns inom de etablerade företagen och andra organisationer. De erfarna personerna är viktiga som mentorer i den stora utbildningssatsning som behövs.

7.1 Belysningsbranschens värdeskapande

För att åstadkomma en bättre belysning i fler miljöer är det viktigt att förbättra användarnas möjlighet att artikulera sina behov av ljus. Det är viktigt att bygga och sprida förståelse kring ljusets betydelse och hur man bör ljussätta för olika behov och i olika miljöer. Det är grundläggande att utveckla förmågan att kunna specificera och mäta fler former av ljuskvalité.

Gruppen som skrivit rapporten gör bedömningen att belysningssektorns totala värdeskapande kan höjas 3-5 ggr (till 350 % i Tabell 3). Det är väsentligt att förbättra kunskapen om och kopplingen till användarnas behov. Tabell 3 illustrerar detta i enkla subjektiva siffror som ger en samlad tolkning av dialogen inom det redovisade projektet. Den stora förbättringen av värdeskapandet för att klargöra och artikulera behovet och planera belysningen har en grund i att det är ett eftersatt område. Förbättringen av värdeskapandet för forskning och utbildning inkluderar både en ökning av dessa aktiviteter och en bättre faktisk aktivering av de olika former av kunskap som finns. Kontakten med det konkreta arbetet med utveckling och produktion av tekniska komponenter och design och installation av systemlösningar är en nödvändig förutsättning för den totala värdeökningen. Insikten i den tekniska potentialen och utvecklingen är vital för att kunna ta en ledande roll i att skapa HiFi-ljus.

Värdeökningen för media bygger till stor del på att de bilder som förmedlas, t.ex. i anknytning till heminredning, görs mer användbara som vägledning för den vardagliga belysningsplaneringen som görs, eller som blir resultatet av att man kan för lite om ljussättning och tänker för lite på belysning. Service, underhåll och uppgraderingar av den existerande belysningen kan utvecklas till en väsentlig affärsverksamhet, i synnerhet om det kommer fram entreprenörer som satsar på funktionsförsäljning som bygger på livscykelkostnad för HiFi-belysning som kräver avsevärda investeringar.

Tabell 3 En möjlig utveckling av den svenska belysningssektorns värdeskapande och dess fördelning över värdekedjan.

2017	40	50	70	80	70	70	60*	70*	40	350
2011	5	15	20	20	50	2	3	2	5	100
	Forskning	Komponenter	Systemlösning	Service	Handel	Utbildning	Ljusplanering	Klargöra ljusbehov	Media	Totalt

* Siffrorna visar att användarsidan är ett eftersatt område. De olika aktörernas bidrag är delvis överlappande.

Tabell 3 beskriver ett resultat av den önskvärda formen av utvecklingsprocess. Med tanke på ljusets mänskliga betydelse, uppmärksamheten kring energifrågan, den tekniska potentialen och de mycket stora internationella affärsintressena i anknytning till ny belysningsteknik bör vi kalkylera med att belysningssektorns omsättning kommer att öka även om Sverige satsar inte satsar på högkvalitativ användaranpassad belysning. Med tanke på att de traditionella ljuskällorna förbjuds och alla de nya belysningskomponenter som nu oregerat översvämmar marknaden finns det stor risk att kundernas

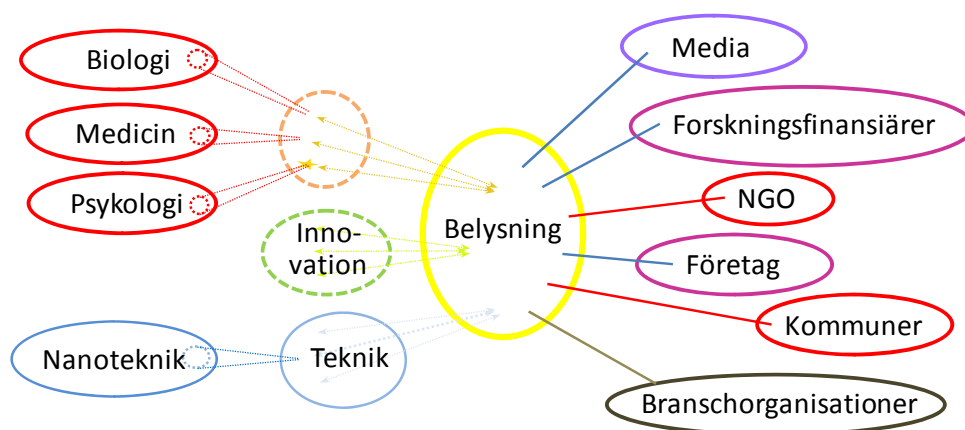
kostnader för belysning kommer att öka väsentligt samtidigt som det finns risk att den resulterande belysningen blir sämre. Det är därför angeläget att göra en mer kraftfull och samspelande satsning, t.ex. på HiFi-ljus. Vi behöver utveckla ett mer produktivt samspel mellan:

1. Användare som är verkligt intresserade av bättre och långsiktigt ekonomisk belysning.
2. Media som inser att bra belysning är en mänskligt viktig och intresseväckande fråga.
3. Entreprenörer som satsar på mänskligt och miljömässigt hållbar affärsutveckling.
4. Forskare som är verkligt intresserade av att bygga och sprida kunskap om ljusets betydelse och villiga att sätta av tid för att aktivt delta i debatten och i utveckling av utbildningar.

Nyckeln till att skapa en marknad för bra ljus ligger i att skapa en förståelse för varför sådant ljus är väsentligt för användarna. För att skapa användarintresse och förståelse kring betydelsen av bra ljus är det viktigt att visa upp exempel på det mänskliga värdet av HiFi-ljus. Det är viktigt att ta fram demonstrationsanläggningar och göra fallstudier där man visar upp HiFi-ljus-teknik. För att väcka intresse för att investera i bättre belysning är det grundläggande att tydliggöra den resulterande ljussättningens värde för brukarna. Det behövs således entreprenörer som höjer förmågan att visa upp användarvärdet av HiFi-ljus, det är det som är den hållbara grunden för betalningsviljan. För att lyckas bör dessa entreprenörer ha tillgång till intresseväckande teknik och kompetens som gör att de kan visa hur viktigt det är med bra belysning. För att begränsa risken att osäkerhet och uttryck som ”eller likvärdig” resulterar i en sämre lösning är det viktigt att ta fram metodik som stärker brukarnas möjlighet att artikulera sina behov av högkvalitativt ljus.

7.2 Forskning och innovation

Det är viktigt att satsa på flervetenskaplig forskning. För att forskningssatsningarna skall resultera i väsentlig samhällsnytta är det grundläggande att göra kunskapen användbar. Ett sätt är att ”produktifiera” genom industridesign. Det är också viktigt att göra kunskapen intressant för flera olika former av intressenter, se Figur 10 och Figur 23. Det är också viktigt att utvecklingsprocessen samspelar med ett flertal olika former av samhällsaktörer.



Figur 23 Belysning knyter an till kunskap inom flera ämnesområden och borde vara ett intresseområde för flera olika samhällsaktörer. Figuren inkluderar ett urval av kompetenser och aktörer som bör medverka för en verkligt givande utveckling av belysningssektorn.

Den största potentialen att inom ett begränsat antal år åstadkomma en stor belysningsförbättring och energibesparing ligger i det existerande fastighetsbeståndet. En fokusering på renovering kan också leda till öppningar för nya former av belysningslösningar. Arbete med renovering leder till en större öppenhet i sökandet efter nya lösningar. Vid renovering är det uppenbart att det systemförbättrande

arbetet handlar om att lägga situationsspecifika pussel. Den ingångsvinkeln leder till att man inte blir så låst till standardlösningar, eftersom man ofta möter nya förutsättningar blir det tydligt att ett bra värdeskapande förutsätter en större frihet i hur belysningssystemet utformas. Kompetensutveckling kring metodik för renovering kan därför öppna upp för mönsterbrytande förändring.

Entreprenörskap handlar om att göra nya saker eller att arbeta på nya sätt. Eftersom belysningsområdet befinner sig i en fas av radikal förändring är vi här speciellt intresserade av möjligheterna och utmaningarna med mönsterbrytande förändring (Christensen, 1997). Förändring kan åstadkommas genom en planerad process, men det är inte så vanligt att det lyckas speciellt bra. De stora samhällsförändringarna uppstår som kombinationseffekter i komplexa relativt kaotiska processer, där många olika former av aktörer gör olika saker. Det är mycket viktigt att forskningssidan och innovationssidan samspelar på ett konstruktivt sätt. Som VD för IVA påpekar i senaste numret av IVA-aktuellt är det dock två olika former av utvecklingsarbete:

Den gamla synen att det finns ett direkt orsakssamband mellan forskning och innovation måste rotas ut. Det är ingalunda så att innovation sker på sådant som forskats fram. Det händer men är undantaget.

Varken forskning eller innovation har nytta av att klistras samman. Innovationer är då kunskap kommer till nytta och dessa uppstår faktiskt på många olika platser och sätt.

(Nilsson, 2011)

Figur 23 illustrerar den innovationsmässiga betydelsen av att utveckla och ta nytta av en flervetenskaplig kunskapsgrund och en tvärvetenskaplig dialog. Det är viktigt att göra kunskapen begriplig och att tydliggöra kunskapens värde genom konkreta demonstrationsanläggningar och begreppsutveckling. Denna rapport är ett underlag för ett forskningsprogram och fokuserar därför på den vänstra sidan i Figur 23.

Det är dock väsentligt att skapa sådana arbetsformer att forskningen förbättrar affärsförutsättningarna för seriösa aktörer som säljer bra ljus. Liksom inom andra branscher är viktigt att notera att det är en grundläggande utmaning att belysningsbranschens aktörer tenderar att förespråka mer och starkare belysning. Företagen vill sälja mer och större ljuskällor och armaturer, och politiker och forskare som samspelar med de tillväxtintressena har lättast att vinna gehör.

Liknande (enkelspåriga) fokuseringar på att öka volymen har under industrialismen varit vanliga inom flera branscher. Ett exempel är att stålbranschen länge försökte att öka konsumtionen av primärproducerat stål. Man motverkade t.ex. återvinning av skrot och intresserade sig inte mycket för att marknadsföra rostfritt stål. Under senare år har allt fler insett att det är mer lönsamt att behålla äganderätten, smälta om och sälja samma metallmängd så många gånger som möjligt. I det nya synsättet försöker man minimera kostnaden per livscykel och de bästa aktörerna satsar samtidigt på att maximera det verkliga kundvärdet.

Ett annat exempel på affärsmodell med modern affärslogik är att man ofta leasar kopieringsapparat och betalar per kopia. Detta ger affärsmöjligheter för företag som levererar en bra tjänst och samtidigt minimerar resursförbrukningen.

Under den tidiga industrialismen summerade företagen sina kostnader och lade sedan på ett antal procent för att beräkna priset. Då såg det ut som om det bästa sättet att tjäna mer är att öka mängden verksamhet. På dagens globala marknad har det blivit mer tydligt att prissättningen styrs av vad man kan motivera kunden att betala och att man samtidigt på många sätt arbetar på att minimera alla former av kostnader, och därmed mängden resursförbrukning och verksamhet.

Erfarenheten från andra branscher visar att det är viktigt, men mycket svårt, att förnya affärslogiken. **Det är inte enkelt för belysningsföretagen att byta affärslogik från att sälja mer ljus till att ta bättre betalt för verkligt bra ljus och öka ljusets värde genom att motverka slöseri med ljus.**

7.3 HiFi-ljus öppnar upp för att kunna se värden som den är.

För att öppna för förnyelse av belysningsbranschen krävs det mångsidigt omtänkande. Varje gång någon använder de etablerade belysningsbegreppen, mätetalen och synsätten tenderar detta att förstärka både mottagarnas och avsändarnas benägenhet att knyta an och låsa upp tänkandet till de gamla synsätten.

Det ligger en svårgripbar utmaning i att ta fortsatt nytta av den existerande erfarenheten och samtidigt stimulera till mer obundet nytänkande. Det finns en benägenhet att beskrivningar av mål, arbetsformer och erfarenheter från arbete med dagens belysning omedvetet tolkas som en förutsättning för hur man kan använda den nya tekniken. De etablerade tankesättens begränsning riskerar att leda till att de flesta bara ser en bråkdel av de nya möjligheternas betydelse. För att skapa intresse för att satsa på att förnya belysningssektorn bör vi beskriva och betona hur den nya tekniken ger en helt ny nivå av möjligheter. För att väsentligt höja värdenivån och ta effektiv nytta av den nya teknikens potential krävs det samspelade förändringar av flera aspekter.

Den vänstra kolumnen i Tabell 4 beskriver dagens belysningsparadigm och högra skisserar den framtida potentialen. Avsikten är att öppna upp för systemlösningar som ger mycket högre värdeskapande för användarna och samhället.

Tabell 4 Dagens tankesätt kring belysning i jämförelse med ett öppnare mer framtidsinriktat synsätt.

Dagens förutsättningar, effekter, samband och tankesätt.	Nya och kompletterande förutsättningar och mål, och behov av nytänkande
Ljuskällor fungerar bättre ju större effekt de har. Det är enklare att uppnå tillräcklig temperatur i stora ljuskällor.	Lysdioder får bäst livslängd och ger bäst ljusutbyte då de är kalla. Detta är enklast att uppnå då man sprider ut dioderna.
Ljuskällor (konventionella) har relativt stor utbredning och detta gör att det är svårt att konstruera välfungerande armaturer.	Lysdioder är nästan punktformade och ger mycket bra förutsättningar att skapa en dynamisk ljusfördelning som hela tiden ger rätt ljus och rätt infallsriktning.
Det är bättre med mer och jämnare ljus. Man pratar t.ex. ofta om minst 500 lux på arbetsytan.	För att uppnå bra kontaktkänsla och funktion bör man ofta använda riktat ljus och begränsa ljusstyrkan.
Ljuskällors effektivitet mäts i Lm/W.	Belysningskvaliteten viktigare än antal lumen.
Man (tror att man) tjänar mer pengar om man säljer mer starkare belysning (och det leder till att man slösar med ljus).	Hållbar affärsmässig vinst bygger på högt värdeskapande, t.ex. kr/lm, kr/kWh, d.v.s. effektivt bruk av resurserna - inte resursslöseri.
Det är klokt att efterlikna naturligt ljus och dagsljuset är mycket starkt.	Det naturliga ljuset har ofta låg ljusstyrka och är riktat och dynamiskt.
LED-lampor har blå dioder och lyspulver, och vita dioder bygger på samma diodteknik.	Den nya LED-tekniken ger möjlighet att skapa dioder med valfri färg och variabel spektralfördelning.
Dagens belysningslösningar (de historiskt använda) gör att vi riskerar att må dåligt.	Den kommande tekniken ger möjlighet att skapa ljus som gör att vi mår verkligt bra i många fler situationer.
Belysningen i växthus bör ge mycket ljus, många lm/W, minst 12 h/dag.	Belysningens variation bör anpassas till processerna i den specifika växten, odlingens mål och situationen.
För lite ljus, enformigt ljus och fel ljusstimulus, t.ex. ljus vid fel tid på dygnet, ökar risken att kroppens system degenererar.	Lagom ljus vid rätt tid ger D-vitamin, som stärker benstommen och immunförsvaret och reglerar kroppens dygnsrytm, vilket är nödvändigt för varaktigt god hälsa.
Dålig ljussättning gör att den fysiska och sociala miljön känns obehaglig (otrygg).	HiFi-ljus* ger en verklighetsnära bild av ansiktsuttryck, det vi arbetar med och de rum vi fungerar i.

* **HiFi-ljus** är ett nytt begrepp som är avsett att användas analogt med HiFi-ljud, med fokus på att det ger möjlighet till sanna tolkningar och innehållsrika upplevelser av de situationer vi befinner oss i.

För att ta verkligt bra nytta av den nya kunskapen och den nya tekniken är det viktigt att det går att samtidigt göra flera olika former av förändringar. Även då utvecklingen fokuseras på en aspekt är det väsentligt att den nya systemlösningen kan knyta an till ett flertal aspekter i framtidskolumnen. Vi bör skapa och sprida en sammanhängande bild av den nya nivån av möjligt värdeskapande. Möjligheten till väsentlig förbättring bygger på att de ledande aktörerna kombinerar samtliga förändringar av ett flertal olika aspekter.

För att kunna kommunicera den framtidsinriktade målbilden på ett intresseväckande sätt är det viktigt att sätta ord på och tygiggöra vad vi eftersträvar. Det är viktigt för ledande företag att de visar upp vad de verkligen kan och gör (Balmer & Greyser, 2003) och på analogt sätt behövs det en varubenenämning på det som karakteriserar ”bra belysning”. En möjlig benämning är HiFi-ljus.

Bakgrunden till begreppet HiFi-ljus är att det ger ett antal lämpliga associationer. Ordet Hi-Fi är väl etablerat för ljud och alla vet att det handlar om utrustning som håller hög kvalitet i material och val av komponenter. ”Hi-Fi” leder tankarna till det väl kända diagrammet med staplar som i realtid visar på volymen ljud inom olika frekvensområden. Det finns starka skäl att introducera ett liknande bildspråk för ljus. Det finns mycket att vinna på att dynamiskt anpassa mängden ljus inom olika delar av ljusets spektralfördelning och i olika delar av rummet, för att anpassa till brukarens momentana behov och omgivningens förutsättningar. På så sätt kan vi förbättra ljusets kvalitet och samtidigt optimera energiförbrukningen. Idag talar vi bara om ”volymen” ljus, alltså det totala ljusflödet (Lumen). Med den nya belysningsteknikens intåg på marknaden kan vi påverka hela spektrat av våglängder precis som vi länge har kunnat med ljudet. En HiFi-förstärkare visar mängden ljud för olika våglängder och det tankesättet är lika viktigt för ljus. Teknikens kvalitet är av mycket stor betydelse för ljusets funktion, men det är hur den används och hur vi knyter an till brukarens behov som är avgörande. För att kunna ta bra nytta av HiFi-ljus är det viktigt att man inte har för mycket ljus i den omgivande miljön. Interesseuppbyggnad för HiFi-ljus kan öppna upp för hållbar affärsutveckling för nya högkvalitativa funktioner och tjänster.

7.3 Möjligheten med flervetenskap

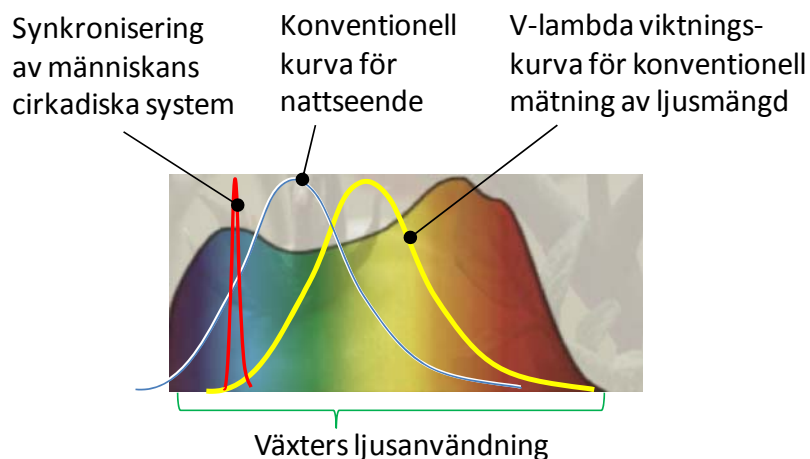
De tre kapitlen om livsvetenskaper, hållbar innovation och teknikutveckling beskriver ledande kunskap som har potential att kunna användas för att höja nivån på Sveriges belysningsrelaterade kunskap. Detta belyser hur flervetenskaplig forskning kan förbättra förutsättningarna för lärprocesser och entreprenörskap som förbättrar den mänskliga nyttan av den nya belysningstekniken.

De framväxande möjligheterna går långt utöver dagens tankesätt. Vi borde skapa hälsohus, inte sjukhus. Bilarna borde kanske ha ljusförstärkare, värmekameror och rörelsedetektorer, istället för att lysa upp allt mer med strålkastare och vägbelysning. LED, sensorer och modern styr och reglerteknik ger ökad möjlighet att variera belysningen i ett rum och skapa en dynamisk ljusmiljö som genererar rätt ljus i rätt tid. LED-tekniken ger allt större möjlighet att styra ljusets spektralfördelning och även goda optiska möjligheter att skapa ett riktat ljus. LED öppnar nya möjligheter t.ex. att dynamiskt styra spektralfördelningen och skapa skuggeffekter och kontraster. Samtidigt ökar risken för bländning och andra negativa biefekter. Detta betyder att det blir allt viktigare att göra en bra ljusplanering.

Huvudmålet är behovsanpassad ljuskvalitet och rätt belysningsnivå. Tester visar att vi upplever vår omgivning genom dess kontraster och relativa ljusnivåer, inte den totala ljusmängden. I många situationer finns det fördelar med låg ljusnivå och bättre avvägda kontraster. Ny kunskap om ljus och seende visar att belysningen är ett väsentligt verktyg för att skapa bättre fungerande arbetsmiljöer och bättre hälsa, samtidigt som vi kan spara energi. Vi bör öppna upp för ett utvecklingsinriktat tänkande kring ljuskvalitet och inte bara mäta ljusmängd i lumen och lux. Fysiskt sett har man komplett information om man vet ljusets spektralfördelning och riktning, för varje punkt i rummet vid varje tidpunkt. För att möjliggöra tydlig dialog kring användarnas behov och intressen finns det stort behov

av förenklande begrepp. Det behövs forskning och utbildning om arbetsformer och verktyg som hjälper användarna att artikulera sina behov.

I kapitlet Ljus och liv beskrivs hur växter tar nytta av olika våglängder för olika syften. Figur 24 knyter an till den bilden och kombinerar med en kurva som illustrerar hur vi mäter ljusmängd och två kurvor som illustrerar nattseende och synkronisering av kroppens klockor.

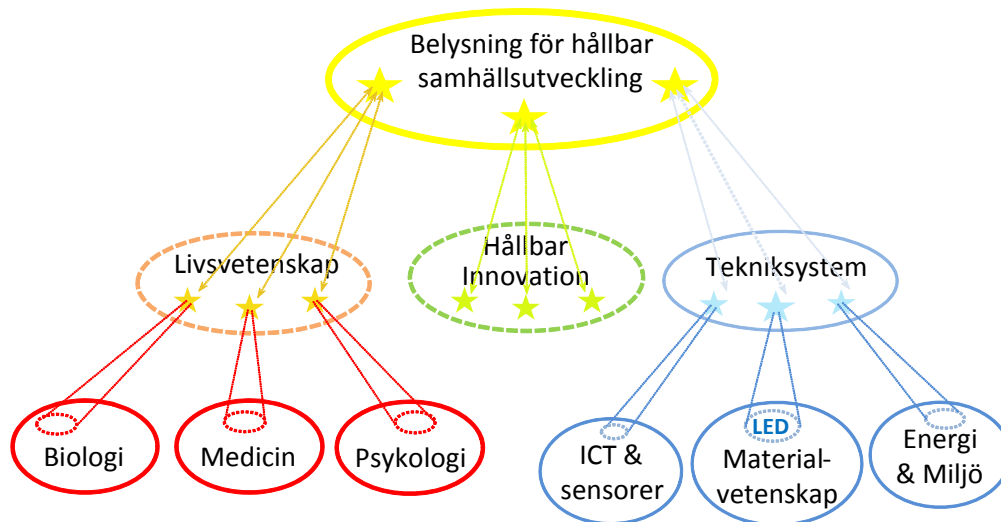


Figur 24 Växter och djur tar nytta av ljus med många olika våglängder. När man mäter ljus viktas man efter fotopiskt seende (gul kurva). Figuren visar också att nattseendet (blåvit) och de retinala gangliocellerna (röd) har andra känslighetskurvor.

När det gäller människans perception bör vi notera att ljus med kort våglängd ger bättre möjlighet att upptäcka saker vid låg belysningsstyrka. Blått ljus är också mest verkningsfullt för att synkronisera kroppens klockor. Rött ljus har fördelar som trivsalljus. En djupare kunskap om effekten av olika våglängder är viktig som vägledning för att skapa en mycket mer värdeskapande belysningssektor. På samma sätt som HiFi-ljud aktualiserar värdet av en verklighetsnära innehållsrik ljudupplevelse kan man tänka sig begrepp som "HiFi-ljus" som benämning för belysning som ger en verklighetsnära bild av det vi arbetar med, de rum vi fungerar i och inte minst ett tydlig synliggörande av varandras ansiktsuttryck.

För att skapa högre kund- och samhällsvärden är det grundläggande att kunna kombinera olika former av kunskaper till en sammanhängande systemförståelse på ett kompetent sätt, se Figur 25. Den kombinerade lösningens värdenivå är beroende av att man kan ta kompetent nytta av verkligt bra komponenter och verkligt ledande ämneskunskaper, i synnerhet inom de nyckelområden där det pågår väsentlig utveckling. Stjärnorna i figuren illustrerar att ledande ämneskunskap från olika områden kan synliggöras som viktiga förutsättningar för den totala lösningens värdenivå.

Figur 25 beskriver den dubbelriktade nyttan av flervetenskapligt samarbete. Den kombinerade användningen av flera former av kunskap förbättrar förmågan att skapa hållbara lösningar. Samtidigt gör intresseuppbyggnaden kring resultaten att de som engagerar sig i den flervetenskapliga profileringen kommer att vinna intresse för sitt ämnesområde.



Figur 25 Ett möjligt samspel mellan den integrerade kompetensens möjliga värde och kompetensutveckling inom olika ämnesområden. Belysningssektorns samhällsvärde kan höjas väsentligt om man klarar att ta samlad nytta av ledande kompetens från flera olika områden. Kopplingar till intresset för bra belysning gör att de medverkande kompetensområdena kan vinna positiv uppmärksamhet.

Det finns väsentlig, och hittills nästan outnyttjad, ljusrelaterad kunskap inom biologi, medicin och psykologi. Den samlade analysen av det livsvetenskapliga fältet visar att det finns stor potential för positiv korsbefruktning mellan de olika ämnesområdena. Det finns potential för stora samhällsvinster genom att översätta den samlade kunskapen till sådana former att den görs användbar och motiverande för hela befolkningen. Potentialen bör utvärderas genom strategiska referensinstallationer med stor genomslagskraft inom områden där svensk forskning och näringslivsutveckling ligger långt framme.

Möjligheten till ett mycket högre värdeskapande och det stora behovet av hållbarhetsinriktad förnyelse gör att det finns stora behov av kompetent entreprenörskap. Det grundläggande för hållbar förnyelse är att starta en tillräckligt vidsynt och framtidsinriktad läroprocess kring möjliga förändringsnycklar. För att komma igång med nya mönsterbrytande lösningar är det viktigt att utveckla gedigen kunskap om belysningsrelaterat entreprenörskap och att arbeta med industridesign. För att redan från början och utan att hindra utvecklingen kunna tolka och styra in utvecklingen i en hållbar riktning är det viktigt med gedigen kunskap om styrmedel. För att utvecklingsaktörer, kunder och brukare skall kunna förstå sammanhangen och tillsammans verka för en hållbar utveckling är det grundläggande att satsa på begreppsutveckling och utbildning.

Bra belysning bygger på teknisk utveckling av komponenter och systemlösningar. Liksom inom många andra områden ligger en väsentlig del av grunden för innovativt värdeskapande i förmågan att tolka och tydligt specificera användarnas behov. Det bör här noteras att det även finns tekniska möjligheter att förbättra tolkningen av användarnas behov och att möjligheten att uppnå högre belysningskvalitet har kopplingar till förmågan att lyfta teknikanvändningen till en högre nivå av värdeskapande. Vi vill betona att den tekniska systemoptimeringen som krävs för att göra ett verkligt bra belysningssystem totalt sett är mycket komplicerad. För att kunna ta en ledande roll i utvecklingen av hållbar belysning är det viktigt att ha gedigen kunskap om och insikt i forskningsfronten för nyckelkomponenterna. I dagsläget är det den snabba utvecklingen av LED som är den mest uppmärksammade aspekten.

8. Slutsats

Det är glädjande att riktningen på för Sveriges belysningsrelaterade utvecklingsprocess ligger så väl i linje med de intressen som uttrycks av flera internationellt ledande aktörer, t.ex. inom CIE. Projektgruppens samlade konklusion är att det finns goda förutsättningar att väsentligt höja nivån på belysningssektorns värdeskapande genom samverkan mellan olika aktörer. Sverige har med sin tradition av att skapa god arbets- och boendemiljö en bra grund för att ta en ledande roll i utvecklingen av hållbar belysning. De som tar in inslag om belysning i sina utbildningar förbättrar sina framtida möjligheter. För att ta en internationellt ledande roll bör Sverige involvera ledande kompetenser från flera ämnesområden i den belysningsrelaterade forskningen. För att processen skall resultera i en stigande nivå av lärande kring allt mer högvärdiga belysningssystem är det viktigt med ömsesidig respekt och systematiska arbetsformer.

Betydelsen av bra ljus och den tekniska potentialen gör att den Svenska belysningssektorns värdeskapande, genom fem års rejäla satsningar, kan höjas med 20 miljarder kronor/år och att det samtidigt är möjligt att spara 6 TWh. För att förbättra motivationen att satsa på HiFi-ljus är det viktigt att informera om betydelsen av bra belysning, t.ex. genom att skapa demonstrationsanläggningar som visar användarvärdet av högvärdig belysning.

Ett utbildnings- och innovationsprogram bedöms kunna ge stora fördelar för både miljön och för landets näringsliv. Ljusrelaterad forskning bör samordnas nationellt och formuleras som ett specifikt styrkeområde. Det är viktigt att ta fram en sammanhållen strategi för utbildning om belysning, från förskolan, via grundskolan och utbildningar för yrkesverksamma, till doktorsnivå. Belysningsfrågornas bredd kräver samordning på hög nivå. Vinsterna av hälsofrämjande och produktiva ljusmiljöer i kombination med energieffektiviseringar är så pass stora att området bör ges höjd prioritet. För att skapa samlad kraft är det viktigt att etablera någon form av bestående plattform och inte enbart satsa på tidsbegränsade projekt.

Om Sverige omgående börjar investera mer offensivt och om vi satsar rejält på att höja förmågan att göra HiFi-ljus finns det mycket stor utvecklingspotential för belysning, tekniskt, energi-, miljö- och affärsmässigt. Om vi är långsamma i starten är risken stor att andra mutar in de mest utvecklingsbara affärsområdena och att användarnas negativa upplevelser leder till missnöje.

Referenser

- Aarås, A., Horgen, G., Bjørset, H., Ro, O. & Walsøe, H., 2001, Musculoskeletal, visual and psychosocial stress in VDU operators before and after multidisciplinary ergonomic interventions. A 6 years prospective study – Part II, *Applied Ergonomics*, 32(6), 559-571
- Abbasi NR et al. Early diagnosis of cutaneous melanoma: revisiting the ABCD criteria. *JAMA* 2004 Dec 8;292(22):2771-6.
- Arendt. J. & Pévet, P. (Eds.) 1991. *Advances in pineal research*. Vol. 5. London: John Libbey
- Asbell PA et al. Age-related cataract. *Lancet* 2005 Feb 12-18;365(9459):599-609.
- Balmer John and Greyser Stephen, *Revealing the Corporation: Perspectives on Identity, Image, Reputation, Corporate Branding and Corporate Level Marketing*, Routledge, 2003
- Berson DM et al. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. *Science* 2002;295:1070-3.
- Berson, DM., Dunn, FA. & Takao, M. 2002. Phototransduction by retinal ganglion cells that s set the circadian clock. *Science*, 295, 1070-1073
- Bluyssen PM & Cox C. (2002) Indoor environment quality and upgrading of European office buildings. *Energy and Buildings* 34, 155-162.
- Bouchama A et al. Prognostic factors in heat wave related deaths: a meta-analysis. *Arch Intern Med* 2007 Nov 12;167(20):2170-6.
- Boyce P R, Veitch J A, Newsham G R, Jones C C, Heerwagen J M, Myer M & Hunter C M (2006) Occupant use of switching and dimming controls in offices. *Lighting Research and Technology* 38, 358-378
- Boyce PR, Eklund NH, Simpson SN. Individual lighting control: task performance, mood, and illuminance. *Journal of the Illuminating Engineering Society* 2000; 29: 131-142.
- Boyce PR, Veitch JA, Newsham GR, Jones CC, Heerwagen J, Myer M, Hunter CM. Occupant use of switching and dimming controls in offices. *Lighting Research and Technology* 2006b; 38: 358-378.
- Boyce, P. R. 2003. *Human Factors in Lighting*. 2nd ed. London: Taylor & Francis.
- Brainard GC & Hanifin, JP. 2005. Photons, Clocks, and Consciousness. *Journal of biological rhythms*, 20, 4, 314-325
- Brainard GC, Hanifin JP, Barker FM, Sanford B, and StetsonMH. 2001. Influence of near ultraviolet radiation on reproductive and immunological development in juvenile male Siberian hamsters. *Journal of Experimental Biology*, 204, 2535-2541
- Brainard, G.C. and J.P. Hanifin. 2004. The effects of light on human health and behavior: Relevance to architectural lighting. Symposium '04 'Light and Health: non-visual effects. CIE, Vienna, 027:2004, 2-16.
- Bryant MS et al. A pilot study: Influence of visual cue color on freezing gait in persons with Parkinson's disease. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2010 Jun 14 (Epub ahead of print).
- Christensen Clayton M., (1997) *The Innovator's Dilemma: When new technologies cause great firms to fail*, Harvard Business School Press, Boston
- Cohen & Levinthal 1990: Absorptive capacity – a new perspective on learning and innovation, *Administrative Science Quarterly*
- Crawford, M.H. LEDs for Solid-State Lighting: Performance Challenges and Recent Advances, *IEEE-QE* 15, 1028 (2009)
- Cutolo M et al. Circadian rhythms: glucocorticoids and arthritis. *Ann N Y Acad Sci* 2006 Jun;1069:289-99.

- Czeisler CA, Shanahan TL, Klerman EB, Martens H, Brotman DJ, Emens JS, Klein T & Rizzo JF III (1995) Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light. *New England Journal of Medicine*, 332, 6-11.
- Damasio Antonio (1999) *Descartes misstag. Känsla förnuft och den mänskliga hjärnan*, Sv översättning, Natur och Kultur, Stockholm
- Ebi KL et al. Climate change and children. *Pediatr Clin North Am* 2007 Apr;54(2):213-26, vii.
- Ebihara S and Tsuji K. 1980. Entrainment of the circadian activity rhythm to the light cycle: effective light intensity for a zeitgeber in the retinal degenerate C3H mouse and the normal C57BL mouse. *Physiological Behavior*, 24, 523-527.
- Goodman T M 2009. Measurement and specification of lighting: a look at the future. *Lighting Research and Technology* 41, 229-243.
- Goodman, T M, Gibbs, D R, Cook, G 2006. Better lighting for improved human performance, health and well-being and increased energy efficiency - a scoping study for CIE-UK.NPL Report DQL-OR 019
- Govén, T. Laike, T. Raynham, P och Sansal, E. 2010. The influence of ambient lighting on pupils in classrooms - considering visual, biological and emotional aspects as well as use of energy. *Proceedings CIE conference Vienna 12-15 March 2010*
- Govén, T., Laike, T., Pendse, B. & Sjöberg, K. 2007. The impact of back ground luminance and colour temperature on arousal, perception and emotional status. *Proceedings CIE 26th session 4-11 July, Beijing China*
- Govén, T.; Bångens, L.; Persson, B. 2002. Preferred luminance distribution in working areas. *Proceedings of Right Light 5, 5th European Conference on Energy-Efficient Lighting (Nice): 87-92. Stockholm:*
- Borg & Hankins MW. & Lucas RJ. 2002. The primary visual pathway in humans is regulated according to long-term light exposure through the action of a nonclassical photopigment. *Current Biology*, 12, 191-198.
- Gustafsson, Anders 1998, QFD, Studentlitteratur
- Hanselaer P, Lootens C, Ryckaert W R, Deconinck G & Rombauts P (2007). Power density targets for efficient lighting of interior task areas. *Lighting Research and Technology* 39 (2): 171-184.
- Hansen O et al. Myocardial Infarction in Subgroups from Analysis of 10,791 Patients Treated in a Single Center. *Am J Cardiol* 1992;69:1003-8.
- Haupt CM et al. The relation of exposure to shift work with atherosclerosis and myocardial infarction in a general population. *Atherosclerosis* 2008; Nov;201(1):205-11.
- Hemphälä, H. & Eklund, J., 2012, A visual ergonomics intervention in mail sorting facilities: Effects on eyes, muscles and productivity, *Applied Ergonomics*, 43, 217-229
- Hisamatsu T et al. Psychological aspects of inflammatory bowel disease. *J Gastroenterol* 2007;42(Suppl XVII):34-40.
- Hollwich, F. 1979. *The influence of ocular light perception on metabolism in man and animal*. New York, NY: Springer Verlag.
- Howland RH. An overview of seasonal affective disorder and its treatment options. *Phys Sportsmed* 2009 Dec;37(4):104-15.
- Humble M. D-vitaminbrist kanske vanligare än vi trott. Prevention och behandling skulle kunna ge oanade folkhälsoeffekter. *Läkartidningen* 2007;104(11):853-7.
- Inui, M & Miyata, T. 1973. Spaciousness in interiors. *Lighting Research and Technology*, 5 (2), 103-111

- Johannesson Hans m.fl (2004) Produktutveckling – effektiva metoder för konstruktion och design, Liber, Stockholm
- Karlsson Reine, Mikael Backman & AnnaKarin Djupenström (2010) *Sustainability Considerations and Triple-Helix Collaboration in Regional Innovation Systems*, i Sarkis, J. et.al. Facilitating Sustainable Innovation through Collaboration in a Multi-Stakeholder Perspective, Springer
- Karlsson Reine (2010) Betydelsen av gemensam förståelse för värdet av bättre ljus, Proj: 32713-1, Energimyndigheten, Eskilstuna
- Karlsson Reine och Thorbjörn Laike (2010) Snabb översikt av utvecklingsförutsättningar för ljusrelaterad kompetensuppbyggnad, Proj: 34470-1, Energimyndigheten, Eskilstuna
- Karlsson Reine, Thorbjörn Laike, Lars Samuelson, Elisabeth Nilsson, Marie-Claude Dubois, Johannes Persson, Jesper Arfvidsson, Dan-E Nilsson, Susanne Widell, Lars-Henrik Ståhl, Per Johnsson och Klas Sjöberg (2010) Begreppsbildning och ämnesområden för Flervetenskaplig Ljusforskning. Akademisk forskning för näringslivsutveckling för funktionell energieffektiv belysning som befrämjar hälsa och välbefinnande, Pufendorf rapport nr 1, Lunds universitet, Lund
- Karlsson Tove. Ljus, tid och rum. Ljus kvalitet, spektralfördelning och ekoeffektivitet för plasmalampa, i jämförelse med högtrycksnatrium- och induktionslampa. Kandidatuppsats, Miljövetenskap LTH, Lund, 2011
- Kok, G. 2006. Philips. 10 July 2006 <http://www.lighting.philips.com/>>.
- Kort YAW and Smolders KCHJ. Effects of dynamic lighting on office workers: First results of a field study with monthly alternating settings. *Lighting Research and Technology* 2010; 42: 345-360.
- Küller R (2004) Planning for good indoor lighting. *Building issues* 2004, Vol. 14. Lund University.
- Küller R, Mikellides B, Janssens J. Color, arousal, and performance – a comparison of three experiments. *Color res appl* 2009; 34(2): 141-52.
- Küller, R. 2004. Planning for good indoor lighting. *Building issues Volume 14, Housing Development & Management*, Lund University, Lund
- Küller, R. & Lindsten, R. 1992. Health and behavior of children in classrooms with and without windows. *Environmental Psychology*, 12, 305-317
- Küller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B. & Tonello, G. 2006. The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environment. *Ergonomics*, 49, 1496-1507
- Lockley SW, Skene DJ, Arendt J, Tabandeh H, Bird AC, & DeFrance R. 1997. Relationship between melatonin rhythms and visual loss in the blind. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 82, 3763-3770.
- Loe D. (2009) Energy efficiency in lighting – considerations and possibilities. *Lighting Research and Technology*. 2009; 41:209-218.
- Mardaljevic J (2006). Examples of Climate-Based Daylight Modelling. Paper no. 67. CIBSE National Conference. 2006: Engineering the Future. March 2006, Oval Criquet Ground, London, UK.
- Mardaljevic J, Heschong L, Lee E (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research and Technology*. 2009; 41:261-283.
- Menter A et al. Guidelines of care for the management of psoriasis and psoriatic arthritis: Section 5. Guidelines of care for the treatment of psoriasis with phototherapy and photochemotherapy. *J Am Acad Dermatol* 2010 Jan;62(1):114-35.
- Mezirow J, editor. (2000) *Learning as transformation*. Jossey-Bass, San Francisco
- Moltchanova EV et al. Original Article: Epidemiology. Seasonal variation of diagnosis of type 1 diabetes mellitus in children worldwide. *Diabet Med* 2009;26:673-8.

- Moore T, Carter DJ, Slater AI. Long-term patterns of use of occupant controlled office lighting. *Lighting Research and Technology* 2003a;35:43-59.
- Moser M et al. Why life oscillates--biological rhythms and health. *Conf Proc. IEEE Eng Med Biol Soc* 2006;1:424-8.
- Newsham GR, Aries MBC, Mancini S, Faye G. Individual lighting control of electric lighting in a daylight space. *Lighting Research and Technology*, 2008; 40: 25-41.
- Newsham GR, Veitch JA, Arsenault C, Duval C. Effect of dimming control on office worker satisfaction and performance. *Proceedings of IESNA Annual Conference Tampa Florida 2004*:19-41.
- Newsham GR, Veitch JA. Lighting quality recommendations for VDT offices: a new method of derivation. *Lighting Research and Technology* 2001; 33: 97-116.
- Newsham GR. Research matters – comparing individual dimming control to other control options in offices. *Lighting Design + Application* 2007;37:24, 26, 28.
- Nilsson Björn O. (2011) Klistra inte ihop innovation med forskning, IVA-aktuellt, Nr 3 april, Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, Stockholm
- Nygård M, Lundkvist GB, Hill RH, Kristensson K. Rapid nitric oxide-dependent effects of tumor necrosis factor-alpha on suprachiasmatic nuclei neuronal activity. *Neuroreport* 2009; 20(2): 213-7.
- Persson Bo. Development of a photometric instrument system aimed at architectural lighting research, *Doktorsavhandling, Belysningslära, KTH, Stockholm, 1990*
- Porter Michael and Claes van der Linde, “Green and Competitive: Ending the Stalemate”, *Harvard Business Review*, Volume 73, Number 5, Sept.-Oct. 1995
- Porter Michael E (1985) *Competitive advantage*, Harvard University Press, Boston
- Richter, H.O., Bänziger, T., Forsman, M., 2011, Eye-lens accommodation load and static trapezius muscle activity, *Eur. J. Appl. Physiol.*
- Ruberg FL, Skene DJ, Hanifin JP, Rollag MD, English J, Arendt J, and Brainard GC. 1996. Melatonin regulation in humans with color vision deficiencies. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 81, 2980-2985.
- Sandström Monica, Ulf Bergqvist, Rikard Küller, Thorbjörn Laike, Allan Ottosson och Roger Wibom, *Belysning och hälsa – en kunskapsöversikt med fokus på ljusets modulation, spektralfördelning och dess kronobiologiska betydelse, Rapport 2002:4 Arbetslivsinstitutet, Stockholm*
- Sansal. E. 2007. The influence of colour temperature from fluorescent tubes. Master thesis, Bartlett school of Graduate Studies, University College London
- Schubert, E.F. 2006 *Light-Emitting Diodes*, 2nd Edition, Cambridge University Press
- Schubert, E.F. and Kim J.K, *Solid-State Light Sources Getting Smart Science* 308, 1274 (2005)
- Stewart S et al. Heart Failure in a Cold Climate. Seasonal Variation in Heart Failure-Related Morbidity and Mortality. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:760-6.
- Takahashi JS, DeCoursey PJ, Bauman L, and Menaker M. 1984. Spectral sensitivity of a novel photoreceptive system mediating entrainment of mammalian circadian rhythms. *Nature*, 308, 186-188.
- Thapan K, Arendt J, and Skene DJ. 2001. Inaction spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *Journal of Physiology*, 535, 261-267.
- Trott Paul (2005) *Innovation Management and New Product Development*, Prentice Hall
- Tzempelikos A, & Athienitis A K (2007) The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. *Solar Energy* 81 (2007): 369-382.

Veitch JA, Newsham GR, Boyce PR, Jones CC, Lighting appraisal, wellbeing and performance in open-plan offices: A linked mechanisms approach. *Lighting Research & Technology* 2008; 40(2); 133-151

Veitch JA, Newsham GR. Exercised control, lighting choices, and energyuse: an office simulation experiment. *Journal of Environmental Psychology*. 2000: 19-37.

Voss K, Herkel S, Pfafferott J, Löhnert G, Wagner A (2007). Energy efficient office buildings with passive cooling – Results and experiences from a research and demonstration programmes. *Solar Energy*. 81: 424-434.

Webb, AR. (2006). Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light: *Energy and buildings*, 38, 721-727

Weick Karl E., (1995) *Sensemaking in Organizations*, SAGE

Åkerstedt T, Wright KP. Sleep loss and fatigue in shift work and shift work disorder. *Sleep Med Clin* 2009; 4(2): 257-71.