

## Lysdioder-framtidens växthusbelysning?

HARTMUT K. SCHÜSSLER & KARL-JOHAN BERGSTRAND

*Hittills har vi varit vana vid att assimilationsbelysningen i våra växthus har varit ett gulaktigt ljus som kommit från en högtrycksnatriumlampa i form av en glaskolv i en reflektor högt uppe under växthustaket. Kan det vara möjligt att framtidens assimilationsljus kommer från lysdioder?*

Hittills har vi mest sett lysdioder som indikeringslampor på till exempel hemelektronik. Ljusavgivningen har varit högst rudimentär och lysdioden har i detta sammanhang uppskattats främst för sin långa livslängd. Emellertid har lysdioden utvecklats konstant sedan den introducerades på marknaden i början av 1960-talet. Det har kommit allt större lysdioder med bättre ljusavgivning, priset har sjunkit och fler färger (våglängder) har blivit tillgängliga. Idag talar vi om LED-teknik (Light Emitting Diode) och man har kommit på idén att bygga ihop många små lysdioder till kluster för att på så sätt kompensera för att varje enskild lysdiod avger relativt lite ljus. Sammantaget har denna utveckling lett till att tekniken idag kommit så långt med avseende på pris och ljusstyrka att den kan komma ifråga för belysning i växthus.

### Kort historia

LED-teknikens kommersiella historia hittills är relativt kort. Lysdioden uppfanns ursprungligen på 1920-talet av en rysk radiotekniker, som upptäckte att en diod (en elektronisk halvleder-



*Bild 1: LED-kluster bestående av 72 gröna lysdioder (foto: H.K. Schüssler).*

komponent som enbart släpper igenom ström åt ett håll) avgav ett svagt rött sken då ström flöt igenom. Det dröjde dock innan fenomenet gavs någon större uppmärksamhet, och först på 1960-talet blev det möjligt att köpa lysdioder på öppna marknaden efter att amerikanska företag, bland annat Monsanto, intresserat sig för tekniken. Fortfarande rörde det sig om mycket svaga ljusstyrkor, och det fanns endast gröna, röda och gula lysdioder. Senare tillkom också blå lysdioder, och sedan man utvecklat en teknik för att lägga ett fosforskikt inne i lysdiodens kapsling kunde man även framställa lysdioder som avgav vitt ljus. Det var först i

slutet av 1990-talet som mer ljusstarka lysdioder kom på marknaden. Allt sedan LED-tekniken introducerades under 1960-talet har dess effektivitet och ljusstyrka dubblerats ungefär var 36:e månad, liknande den utveckling som gällt för datorernas processorer. Vid SLU Alnarp genomfördes de första försöken med LED-belysning till växter redan i slutet av 1980-talet. Då rörde det sig om rött ljus (660 nm). Höga priser på samt låga ljusstyrkor gjorde att dessa försök lades ned och föll i glömska trots lovande resultat.

## Hur funkar det?

Man kanske kan tro att lysdioden fungerar som en liten glödlampa, men tekniken skiljer sig väsentligt från andra ljuskällor. Istället för en upphettad glödtråd finns det i lysdioden en liten platta av halvledarmaterial i olika skikt. Färgen på det ljus lysdioden avger beror inte på höljets färg, utan på vilka ämnen den lilla halvledarplattan är komponerad av. Oftast ingår ämnen som aluminium, gallium, kisel, zink och selen. Ljuset som avges är oftast monokromatiskt, vilket innebär att det består av endast en specifik våglängd. Undantaget är vita lysdioder, som avger ett spektrum av färger som tillsammans bildar vitt ljus. Lysdioder avger inget UV-ljus och ingen IR-(värme-)strålning. Den värme som trots allt bildas leds huvudsakligen ut på lysdiodens baksida. Bland de första att uppmärksamma LED-teknikens fördelar var bilbranschen, där man sedan 1990-talet använt LED-lampor i bilarnas bromsljus. Där är det främst lampornas korta upptändningstider som är fördelen. På senare år har LED-tekniken även introducerats i positionsljus, blinkers och halvljus, och nu står helljuset på tur.

## LED-tekniken till vår tjänst

LED-tekniken har flera intressanta fördelar jämfört med konventionell teknik som glödlampor, lysrör eller urladdningslampor (SON-T). LED-tekniken är effektiv när det gäller att konvertera elektricitet till ljus. Inget spill i form av UV- eller IR-ljus uppstår. LED-armaturer har lång livslängd, c:a 100 000 timmar, vilket innebär att de kan lysa konstant i över 10 år. De är relativt okänsliga för skakningar och temperaturväxlingar. En viktig fördel ur miljösynpunkt är att de inte innehåller några tungmetaller. Det faktum att ingen värmestrålning avges gör att de kan placeras nära det belysta objektet. I växtodlingssammanhang är den kanske allra mest intressanta fördelen just att man kan få ett monokromatiskt ljus. Genom att använda LED-kluster



Bild 2: Fem olika ljusfärger användes i försöken; vitt, rött, gult, grönt och blått (foto: H.K. Schüssler)

sammansatta av flera olika typer av lysdioder blir det möjligt att designa ett ljus med en specifik sammansättning av våglängder. Denna sammansättning kan dessutom varieras över tid genom att modulera antalet tända lysdioder av de olika våglängderna.

## Ljuset påverkar växterna

Det är sedan länge känt att våra växter reagerar olika på ljus i olika våglängder. En gammal "sanning" i det sammanhanget är att växterna blir kompakta av blått ljus. Känt är också att det blåa och röda ljuset är de mest effektiva färgerna sett ur fotosyntesens perspektiv. Det är också möjligt att växternas habitus, det vill säga deras "kroppbyggnad" kan bli olika om växterna odlats i olika våglängder. Sträckningstillväxten är en intressant faktor, men även bladstorlek samt antal knopp och sidoskott är av intresse när man producerar prydnadsväxter. Vid område Hortikultur inom LTJ-fakulteten på Alnarp pågår sedan hösten 2008 arbetet med att utvärdera möjligheterna att använda LED-tekniken för assimilationsbelysning och de möjliga positiva effekter som kan uppnås genom korrekt applicering av tekniken.

Projektets första del, som ligger till grund för denna skrift, har finansierats av Tillväxt Trädgård. Projektets andra del, som finansieras av Stiftelsen Lantbruksforskning, påbörjades våren 2009.

## Blandade ljuskarameller

Det naturliga solljuset är sammansatt av våglängder från cirka 300 nm (nanometer) till över 2000 nm. Det synliga ljuset finns i intervallet 400-700 nm, där det kortvågiga, blåa ljuset är det mest energirika. Det fotosyntesaktiva spektrat överensstämmer i stort med det för det mänskliga ögat synliga. Högtrycksnatriumlampor (SON-T) avger ljus med tyngdpunkten från 550 nm till 600 nm (gult ljus), medan lysrör avger ett bredare spektrum av ljus med toppar både runt 450 nm (blått) och 550 nm (grönt). Blandningen av olika våglängder gör att lysrörljuset uppfattas som vitt. Fyra monokromatiska färger samt vitt ljus valdes ut för de aktuella försöken (tabell 1). Armaturerna bestod av 72 stycken knippade lysdioder i en gemensam fläktkyld kapsling. Den elektriska effekten uppgavs till 22 watt. Mätning av effekten gav emellertid andra uppgifter; den uppmätta effekten vid 230 volt varier-

rade mellan 11 och 19 w, där de vita armaturerna hade den högsta effekten medan gult och rött hade lägst effekt.

### Vi kan styra blomningen med LED-ljus

I första läget undersöktes om LED-ljus i låga styrkor kunde förhindra blomningen hos kortdagsväxterna Krysantemum, Kalanchoë och Julstjärna. Plantorna (10 st. per behandling) odlades i växthus i en kammare med möjlighet att utestänga det naturliga ljuset med en mörklägningsväv. Inuti mörklägningskammaren monterades LED-armaturerna. Dygnet delades in i tre zoner, där naturligt ljus (öppen mörklägningsväv) gavs i 8 timmar, följt av 8 timmars mörker. Därefter tändes LED-belysningen och plantorna fick 8 timmar LED-ljus innan mörklägningsväven åter öppnades och det naturliga ljuset tog vid. Vitt, gult, rött och grönt ljus förhindrade blomningen vid ljusintensiteter på 6-39  $\mu\text{M m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (cirka 240-2200 Lux). Däremot kunde inte blomningen helt förhindras med blått ljus. Vissa plantor gick i blom medan andra plantor uppvisade split (blomningen inducerades men plantan återgick därefter till vegetativ tillväxt), trots att ljusintensiteten mätt i  $\mu\text{M m}^{-2} \text{s}^{-1}$  var betydligt högre i det blå än i det gula, röda och gröna ljuset. Det verkar alltså som att inte bara ljusstyrkan utan även ljuskvalitén är av betydelse för kortdagsväxternas blomreglering.

### Oväntade effekter

Långdagsbehandling med LED-ljus hade kraftiga effekter på plantornas utveckling inte bara med hänsyn till blominducering. Även sträckningstillväxten och internodiellängden påverkades på ett oväntat sätt. Från litteraturen vet vi, att blått ljus anses ge kompakta plantor medan mörkrött ljus ger långa, gängliga plantor. Vid lång-



Bild 3: Julstjärna som fått dagsförlängning med olika ljuskvalitéer; fr. v. vitt, rött, grönt och blått LED-ljus (foto: H.K. Schüssler).

(ca 70 cm över plantorna)	Vitt	Gult	Rött	Grönt	Blått
Våglängd nm	430 - 730	585 - 588	615 - 625	520 - 530	458 - 461
Lux	2200	380	240	1230	239
$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	39	6	12	13	30
Lux per $\mu\text{mol}$	56	61	21	92	9

Tabell 1. Egenskaper hos de olika LED-ljuskällorna som användes i föreliggande försök.

dagsbehandling blev resultatet emellertid det omvända. De plantor som fått långdagsbehandling med blått ljus sträckte sig avsevärt mer än övriga behandlingar. En enkel förklaring skulle kunna vara att det blåa ljuset är mera kraftfullt och att plantornas fotosyntes och tillväxt därför varit större. Detta kan dock motsägas med det faktum att den totala växtmassan (frisk/torrsvikt) inte var högre för Krysantemum och Kalanchoë som behandlats med blått ljus. Dessutom var internodiellängden högre, vilket indikerar att plantornas sträckningstillväxt stimulerats.

### Olika ljus är olika effektivt

Helt andra effekter är att vänta på plantorna odlas under enbart LED-ljus. Detta förfaringssätt är kanske inte så intressant inom växthus, där vi

ju vill utnyttja det naturliga ljuset till fullo. Det finns dock andra typer av växtodling, där LED-ljus skulle kunna användas som enda ljuskälla. Ett sådant exempel är odling av salladsskott. Vid odling av salladsskott vill man främst få fram så hög frisksvikt som möjligt. Salladsskott av ärtor och solrosor odlades under enbart LED-ljus i samma färger som ovan. Det vita ljuset gav högst frisksvikt, tätt följt av det blå ljuset. Grönt ljus gav lägre frisksvikt, men i gengäld störst sträckningstillväxt.

### På väg mot Mars?

Är då LED-tekniken något för våra växthus eller kommer den att förbli något som NASA kommer att använda för att producera grönsaker ombord vid längre rymdexpeditioner? LED-tekniken är, trots prisnedgångar,



Bild 4: En talande illustration över LED-ljusets inverkan på ärtskott. Grönt och rött ljus gav den största tillväxten. Trots detta var frisksvikten större i de blåa och vita behandlingarna (foto: H.K. Schüssler).

alltjämnt mycket dyr. En 100-watts armatur kostar mellan 5000 och 15000 kronor, att jämföra med cirka 1500 kronor för en SON-T-armatur. Även om energiåtgången blir mindre är det inte uppenbart att besparingen blir så stor, då den överskottsvärme som produceras av belysningen kommer till nytta för uppvärmningen av växthuset, även om uppvärmning med till exempel flis givetvis blir billigare än den eluppvärmning man får från belysningen. För att kunna räkna hem en investering i LED-belysning krävs sannolikt både sänkta priser på utrustningen och positiva sidoeffekter för produktionen i sig, till exempel högre kvalitet eller minskat behov av kemiska retarderingsmedel. Fortsatt forskning och utveckling behövs innan LED-tekniken kan introduceras på bred front.

## Om författarna



**Hartmut K. Schüssler**  
är forskare vid område  
Hortikultur, SLU Alnarp.  
Adress: Box 103, 230 53 Alnarp.  
Tel. 040-41 53 72  
Hartmut.Schussler@ltj.slu.se



**Karl-Johan Bergstrand**  
är doktorand vid område  
Hortikultur, SLU Alnarp.  
Adress: Box 103, 230 53 Alnarp  
Tel. 040-41 53 43  
Karl-Johan.Bergstrand@ltj.slu.se