

Kunstigt plantelys.

Artikel indeks

Kunstigt Plantelys

1. Lys og lysmåling
2. Lysvirkninger
3. Kunst lys til regulering af vækst og udvikling.
4. Vækstlys tilskud og planteproduktion
5. Vekselvirkninger mellem kunst lys og andre vækstfaktorer
6. Lyskilder
7. Armaturer
8. Ordforklaringer.

Artikel, billeder og diagrammer bringes i uddrag fra bogen "Kunst lys og planteproduktion"

Efterfølgende artikel er oprindeligt skrevet til brug i gartneri og som lærebog, men der er en hel del af disse oplysninger, som kan overføres enten direkte eller indirekte til brug i akvariet.

Der er fine beskrivelser af at lys, ikke bare er lys i den traditionelle forstand som vi opfatter lys, planterne har en lidt anden dagsorden, ja faktisk både med hensyn til både lys og mørke. Der er fin beskrivelse af hvordan de forskellige strålingsområder påvirker planterne i retning af om de bliver ranglete eller mere kompakte osv.

Ligeledes, er der beskrivelse af hvordan man faktisk kan fremstille et "gro-rum" til sine emerse planter, hvis man er til det!

Siden bogen blev udgivet, er der sket en del indenfor udviklingen af lys og ligeledes holdbarhed af diverse rør osv. så disse oplysninger, skal man lige "tage med et gran salt", men som helhed er bogen istand til at få sat termer omkring lys parametre på plads!

Held og lykke med læsningen, og spring bare de kapitler over, som i ikke mener at kunne bruge til noget.

Indledning.

Lys og planteproduktion hører nøje sammen. Anvendelsen af kunst lys kan imidlertid volde endog store problemer for dyrkerne, fordi der er en række valgmuligheder med hensyn til lampetyper og armaturer. Korrekt anvendelse af kunst lys er også vigtig. Indstrålingen af kunst lys bør ikke overstige det økonomiske optimum, og der skal tages hensyn til planternes krav til daglængde. Endelig bør plantedyrkerne sikre sig, at de øvrige vækstbetingelser er optimale, så planterne er i stand til at udnytte kunstlyset.

Fornuftig anvendelse af kunstlys, vækstlys såvel som vækstreguleringslys, kan udover en produktionsforøgelse også resultere i en bedre produktkvalitet. Anvendelse af kunstlys er derfor kommet for at blive og kan sammen med andre produktionsfremmende faktorer som f.eks. CO₂ tilskud give en væsentlig produktionsforøgelse i den mørke del af året. Dette har ikke blot en positiv virkning for planteeksporten, men anvendelsen af kunstlys kan også resultere i en reduktion af arealet med moderplanter og dermed i en mere produktiv udnyttelse af væksthushavens plads. Endvidere kan en forbedret



stiklingekvalitet om vinteren måske medføre en højere selvforsyningsgrad og dermed mindre import. Der er derfor mange gode grunde til at anvende kunstlys i den mørke årstid.

Lys-og strålingsterminologien samt de tilknyttede enheder giver ofte anledning til unødige misforståelser og vanskeligheder med fortolkningen af forsøgsresultater. F.eks. har målinger af belysningsstyrken i lux ikke altid kunnet sammenlignes pga. forskelle i måleinstrumenternes spektrale følsomhed. Derudover er det fotometriske system, hvortil udtrykket belysningsstyrke med enheden lux hører, baseret på det menneskelige øjes følsomhed, som er fuldstændig forskellig fra planter's følsomhed. Det fotometriske system er derfor uegnet i forbindelse med målinger af lys til planter. Ligeledes bidrager et stort antal hjemmegjorte lystekniske udtryk ofte til unødvendig forvirring om, hvad en forfatter eller foredragsholder egentlig mener. I denne bog har vi derfor bestræbt os på kun at bruge den anerkendte terminologi og de hertil knyttede anerkendte enheder. Dette skulle, gerne bidrage til forøget forståelse af de enkelte kapitler, og til at mindske risikoen for forkert anvendelse af kunst lys og derved mindske utilsigtede negative virkninger af kunst lys.

Forkortelser

A	Ampere
cd	candela
DNP	dagneutral plante
ϕ	fi (græsk bogstav), symbol for lysstrøm
Hz	hertz
J	joule
KDP	kortdagsplante
λ	lambda (græsk bogstav), symbol for strålingens bølgelængde
LDP	langdagsplante
lm	lumen
LR	langrød stråling (710–750 nm)
lx	lux
m ⁻²	pr. kvadratmeter
μmol	micro- eller mymol, 1 milliontedel mol
nm	nanometer, 1 milliardedel meter
ν	ny (græsk bogstav), symbol for frekvens (s.d.)
Ω	omega (græsk bogstav) symbol for elektrisk modstand, ohm
p _{fr}	fytochrom i aktiv form
P _r	fytochrom i passiv form



PAR	Photosynthetically Active Radiation, strålingen mellem 400 og 700 nm
PPFD	Photosynthetic Photon Flux Density, fotonstrømmen mellem 400 og 700 nm
ppm	parts per million, dele pr. million
R – I	rød stråling (640–710 nm)
s	pr. sekund
SI	internationalt system af måleenheder
UV	ultraviolet stråling (bølgelængde under 400 nm)
V	volt
W	watt

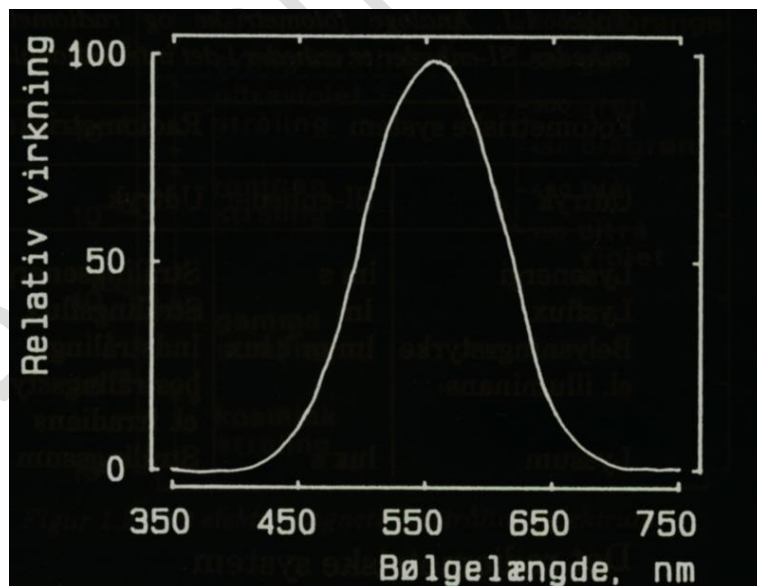
1. Lys og lysmåling.

Axel Madsen og Jurgen Hansen

Definitioner og anvendt terminologi

Det fotometriske system.

Lys er betegnelsen for den del af strålingspektret, der kan opfattes af det menneskelige øje. At tale om ultraviolet og infrarødt lys er således misvisende, fordi der her er tale om stråling, som ikke kan opfattes af øjet (figur 1.1).



Figur 1.1.

Det menneskelige øjes følsomhed ved forskellige bølgelængder.

Fotografer, arkitekter og ingeniører, der beskæftiger sig med lysmåling, anvender det fotometriske system og benytter dertil måleinstrumenter, som er udviklet til dette system, f.eks. luxmeter.



Et luxmeter består som regel af en selenfotocelle, som er forsynet med et korrektionsfilter, så dets spektrale følsomhed ligner øjets. Den hyppigst anvendte måleenhed for belysningsstyrke i det fotometriske system er lux, som 1 lm m² lumen pr. m²). De almindeligst anvendte fotometriske udtryk og enheder er vist i tabel 1.1.

Det fotometriske system anvendes især ved karakterisering og beskrivelse af armaturer og lysanlæg (se kapitel 8). Fotometriske målemetoder har førhen i vid udstrækning også været anvendt ved undersøgelser over planter reaktioner på stråling. Planter reagerer imidlertid også kraftigt på stråling, der ligger udenfor et luxmeters måle område, og derfor er det fotometriske system uegnet til beskrivelse af forsøg med planter. Anvendelse af luxmetre har derfor bidraget til en række ubrugelige og forvirrende informationer, som har ført til fejlagtige slutninger.

Tabel 1.1. Analoge fotometriske og radiometriske udtryk og enheder. SI-enheder er enheder i det internationale enhedssystem.

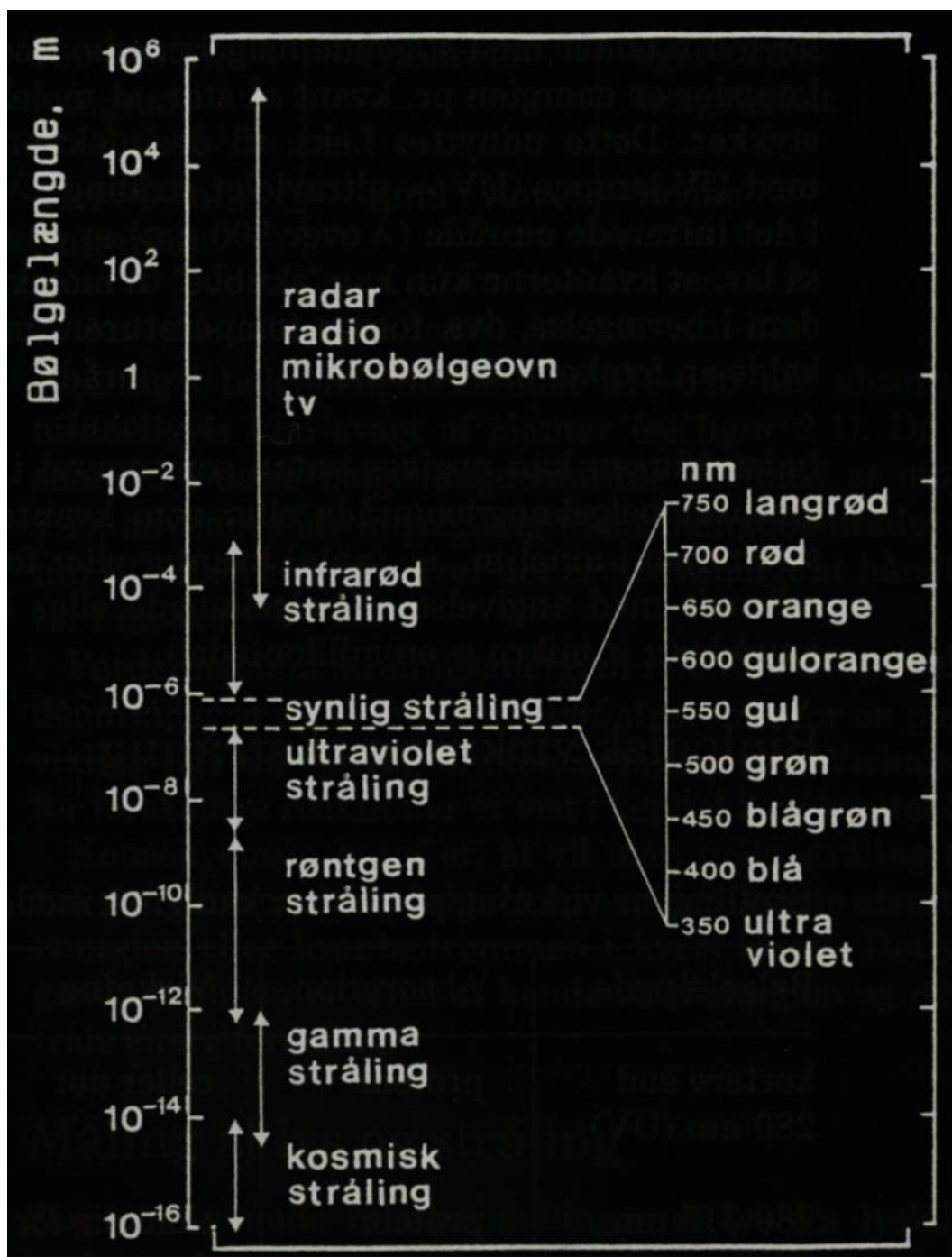
Fotometriske system		Radiometriske system	
Udtryk	SI-enheder	Udtryk	SI-enheder
Lysenergi	lm s	Strålingsenergi	J; W s
Lysflux	lm	Strålingsflux	J s ⁻¹ ; W
Belysningsstyrke el. illuminans	lm m ⁻² ; lux	Indstråling, bestrålingsstyrke el. irradians	J m ⁻² s ⁻¹ ; W m ⁻²
Lyssum	lux s	Strålingssum	J m ⁻² ; W s m ⁻²

Det radiometriske system.

Det elektromagnetiske strålingsspektrum strækker sig fra kosmisk stråling over gammastråling, røntgenstråling, ultraviolet stråling, synligt lys, infrarød stråling, stråling fra mikrobølgeovne, radar, TV og videre til langbølgeradio (figur 1.2). De almindeligst anvendte radiometriske udtryk og enheder er vist i tabel 1.1. Indstråling, som er det hyppigst anvendte begreb i det radiometriske system, angives oftest i W m⁻² (watt pr. m²).

For at måle indstrålingen over et defineret bølgelængdeområde af dette elektromagnetiske spektrum må man have måle apparatur, som kan opfange energi i netop det bølgelængdeområde, og resultatet skal kunne angives i fysiske måleenheder (se tabel 1.1).





Figur 1.2. Det elektromagnetiske strålningsspektrum.

Stråling kan opfattes enten som en bølgebevægelse eller hastighed som en strøm af små energienheder: kvanter eller fotoner. Bølgebevægelsen kan beskrives ved formelen $c = v \times \lambda$., hvor c er lysets hastighed $2,998 \times 10^8$ m S⁻¹, v (ny) er frekvensen, dvs. antal bølger pr. sekund og λ (lambda) er bølgelængden i m. I biologisk sammenhæng angives λ oftest i nm (nanometer = en milliardedel m.).

Kvantesystemet.

For mange fotokemiske processer (fotosyntese, fotoperiodisme, fototropisme) er det praktisk at regne med antal kvanter eller fotoner ved en given bølgelængde. Energien pr. kvant eller foton falder med



stigende bølgelængde. Ved korte bølgelængder er energien pr. kvant så stor, at molekyler kan slås i stykker. Dette udnyttes f.eks. til desinfektion af sterile rum med UV-lamper (UV = ultraviolet stråling, λ under 400 nm). I det infrarøde område (λ over 800 nm) er energien pr. kvant så lav, at kvanterne kun kan "skubbe" til molekylerne og sætte dem i bevægelse, dvs. forøge temperaturen, men ikke fremkalde en fotokemisk proces.

Indstrålingen kan opgives enten som energi i W m^{-2} i et afgrænset bølgelængdeområde eller som kvante- eller fotonstrømmen i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (antal kvanter eller fotoner pr. m^2 pr. sekund) med angivelse af bølgelængde eller bølgelængde område (μ = mikro = en milliontedel).

Biologisk virkning af stråling.

Strålingens virkning på planter kan groft inddeles således:		
Bølgelængde	Absorption	Virkning
kortere end 280 nm (UV)	protein	celler dør
280-315 nm (UV)	protein	skadelig for de fleste planter
315-400 nm (UV)	klorofyl og protein	formdannende
400-510 nm (blå)	klorofyl og karotinoider	fotosyntese, fototropisme, formdannende
510-610 nm (gul og grøn)	klorofyl	svag virkning på fotosyntese, formdannende
610-700 nm (rød)	klorofyl og fytokrom	fotosyntese, fotoperiodisme
700-800 nm (langrød)	fytochrom	øger stræk- ningsvækst
over 800 nm (infrarød)	vand i vævet	varme

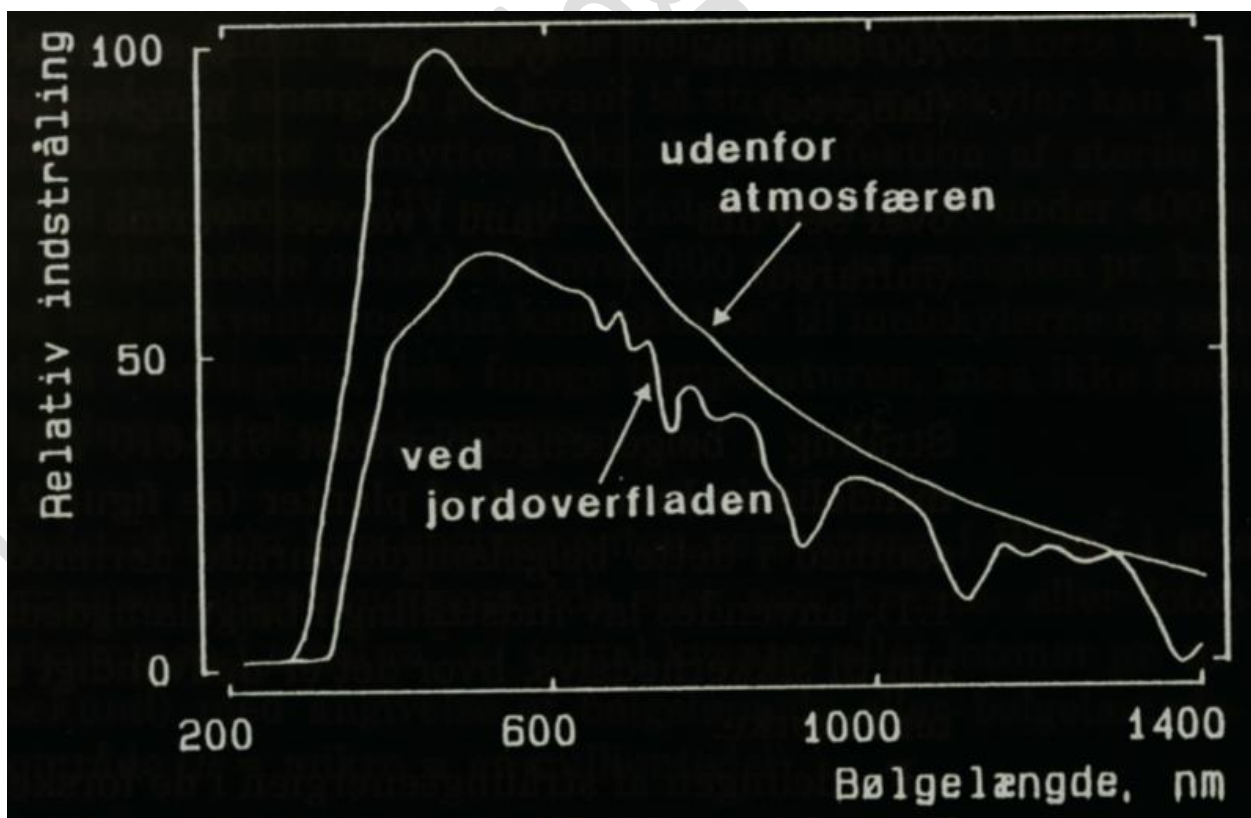


Stråling i bølglængdeområdet 510-610 nm absorberes almindeligvis kun svagt af planter (se figur 2.1). Da øjets følsomhed i dette bølglængdeområde derimod er stor (figur 1.1), anvendes lav indstråling i bølglængdeområdet 500-600 nm til sikkerhedslys, hvor det er nødvendigt at håndtere planter i mørke. Fordelingen af strålingsenergien i de forskellige bølglængdeområder er altså fundamentalt afgørende for en plantes udvikling lige fra spiring til blomstring og død. Virkningsspektre for forskellige reaktioner er vist i kapitel 2 og kapitel 3. Konsekvensen heraf er, at vil man måle stråling til planter, må man kunne dele spektret op i veldefinerede afsnit og måle energien eller kvantestrømmen i hvert afsnit. Det grundlæggende problem er altså at kende totalenergien og den spektrale energifordeling.

Måling af lys og stråling.

Sammenlignende relative målinger af lys fra lyskilder med samme spektrale energifordeling kan udføres med ret simple instrumenter, idet man i dette tilfælde har det samme forhold mellem lysets spektrale energifordeling og lysmålerens spektrale følsomhed.

For den vigtigste lyskilde, solen, er sagen forholdsvis enkel. Bortset fra drastiske ændringer i den spektrale energifordeling i korte perioder ved solopgang og solnedgang er der kun mindre ændringer som følge af varierende solhøjde og skydække. Solspektret er vist i figur 1.3. Sammenlignende målinger af forskellige lyskilder eller kombinationer heraf kræver apparatur, der kan måle både spektral energifordeling og indstråling, idet kunst lys kan være af højst varierende spektral sammensætning. Samme krav må stilles, hvis man vil måle lys i forskellige niveauer i en tæt plantebestand, fordi lysets sammensætning ændres drastisk ved, at visse bølglængdeområder af spektret absorberes stærkere i bladlaget end andre (se også kapitel 3).



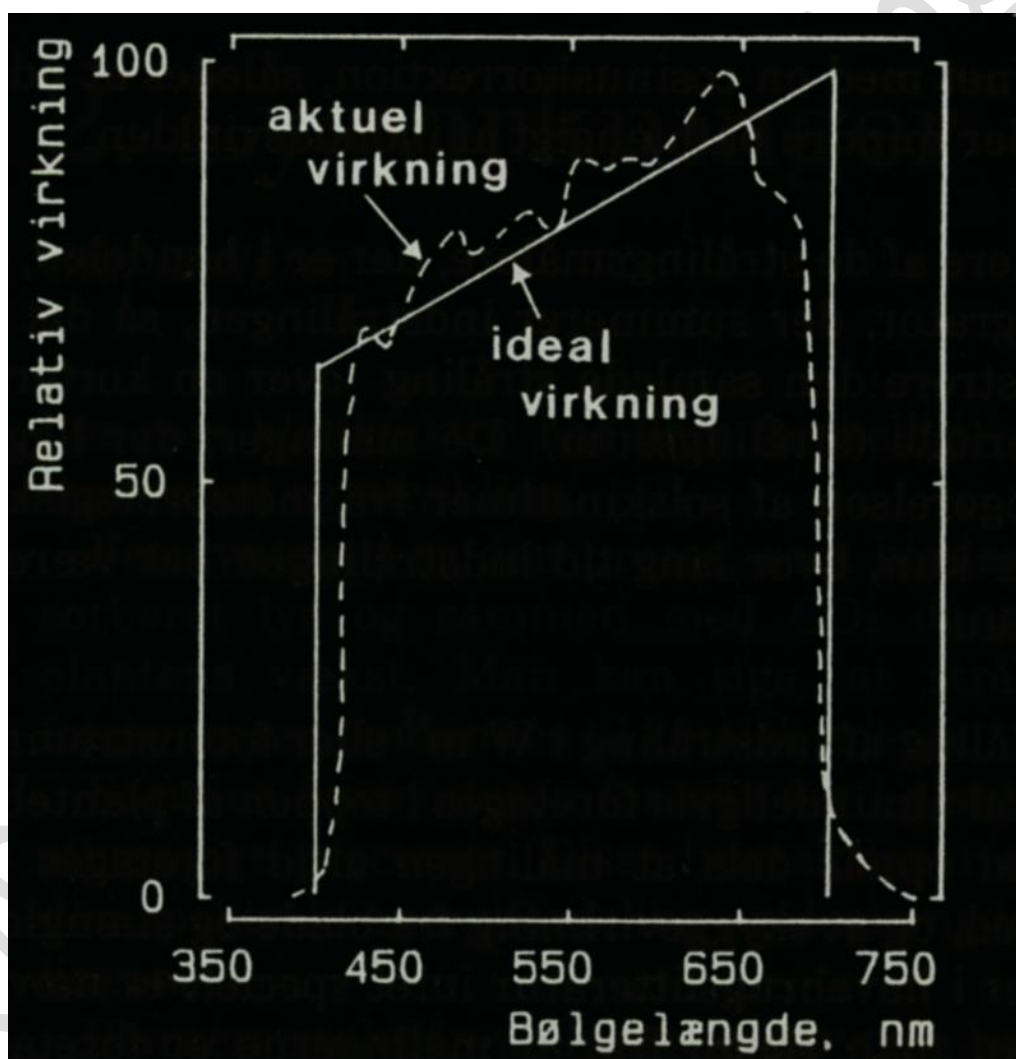
Figur 1.3. Spektral energifordeling for sollys udenfor atmosfæren og ved jordoverfladen efter absorption i atmosfæren.



Lysmålere.

Totalindstråling måles bedst med et solarimeter (300-3000 nm solarstråling), som i princippet virker ved, at strålingen absorberes af en sort flade og omdannes til varme. Temperaturforskellen mellem den sorte flade og en tilsvarende strålingsbeskyttet flade er et direkte mål for indstrålingen. For sollys gælder, at ca. halvdelen af totalindstrålingen findes i det fotosynteseaktive område, dvs. fra 400 til 700 nm. Ved hjælp af farvede glasfiltre med kendt lysgennemgang kan der foretages målinger af afgrænsede områder i spektret ved differensmålinger. Denne metode kan anvendes for alle lyskilder til måling af indstrålingen i W m^{-2} i et afgrænset bølgelængdeområde.

Specielt til måling af fotosynteseaktiv stråling (PAR, photosynthetically active radiation = indstråling mellem 400 og 700 nm) findes strålingsmålere, som ved hjælp af en speciel filterkombination direkte giver PAR i W m^{-2} . Med en anden filterkombination kan måleren vise fotonstrømmen



Figur 1.4. Følsomhedskurve for kvantumsensor.

i samme område direkte i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (PPFD, photosynthetic photon flux density = fotonstrømmen mellem 400 og 700 nm). Sidstnævnte metode er for tiden international standard for måling af fotosynteseaktiv stråling, og udtrykker den biologiske virkning bedst. Følsomhedskurve for en sådan kvantumsensor er vist i figur 1.4.



Det skal dog udtrykkelig bemærkes, at PAR og PPFD kun er et mål for den stråling, der kan udnyttes til fotosyntese i bølgelængdeområdet 400-700 nm. PAR og PPFD kan derfor ikke anvendes generelt som mål for stråling til plantedyrkning, fordi stråling uden for området 400-700 nm påvirker mange forskellige vækst- og udviklingsprocesser. Detailmåling af den spektrale energifordeling f.eks. ved undersøgelser over blomsterinduktion, strækningsvækst og fototropisme er nødvendig, da den spektrale energifordeling kan være en meget betydningsfuld faktor.

I de fleste tilfælde består følerelementet i en strålingsmåler af en plan flade, hvilket betyder, at kun den stråling, der falder vinkelret på fladen, bliver registreret med den fulde værdi. Udslaget for stråling fra andre vinkler aftager proportionalt med cosinus til indfaldsvinklen. Nogle strålingsmålere er forsynet med en cosinuskorrektion, så udslaget er mere eller mindre uafhængigt af indfaldsvinklen.

Flere af de strålingsmålere, der er i handelen, kan fås med integrator, der summerer indstrålingen, så det er muligt at registrere den samlede stråling over en kortere eller længere periode (strålingssum). De målinger, der ligger til grund for opgørelsen af solskinstimer fra meteorologiske stationer, viser kun, hvor lang tid indstrålingen har været over et vist niveau.

Måling af indstråling i $W\ m^{-2}$ eller fotonstrømmen i $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ skal almindeligvis foretages i toppen af plantebestanden. Herved opnås dels at målingen altid foretages et veldefineret sted, og at skyggevirkning fra blade og stængler undgås. Når der i havebrugslitteratur intet specielt er nævnt om målested, kan man gå ud fra, at målingerne er foretaget i toppen af plantebestanden.

Strålingen i eller under en plantebestand er så kompliceret både geometrisk og spektralt, at rimeligt gode målinger kun vanskeligt lader sig gennemføre. Til sådanne målinger er udviklet specielt udformede følerelementer, f.eks. stavformede følere, hvor strålingen opfanges af et ca. 1 m langt følerelement og derfra ledes til detektoren. På denne måde kan man opnå en gennemsnitsmåling.

Omregning af fotometriske til radiometriske værdier.

Eftersom en del af den ældre litteratur benytter uegnede fotometriske enheder som lux og foot-candle (lm pr. kvadrat fod), har der været gjort forsøg på at omregne disse angivelser til radiometriske enheder ($W\ m^{-2}$) eller til

$\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$. Sådanne omregninger er kun mulige for lyskilder, hvor man kender den spektrale energifordeling. Efterhånden som en lampe ældes sker der en ændring af strålingens spektrale energifordeling. Dette kan give anledning til store afvigelser i luxmålinger, idet stråling ved f.eks. 546 nm (en af de dominerende spektrallinjer i kviksølv-spektret) vil give ca. 60 gange så stort udslag som den samme indstråling ved 680 nm. Omregninger fra lux til $W\ m^{-2}$, kan derfor være meget usikre.

2. Lysvirkninger.

Oluf Hellgren

Lys som klimafaktor har flere forskellige virkninger på planters vækst og udvikling.

Fotosyntesen er den proces, som binder energien fra absorberet lys og sammen med CO_2 danner byggestenen til plantens vækst. Man kan sige, at strålingsenergien ved fotosyntesen omdannes til kemisk



energi. Foruden fotosyntesen foregår der i planten flere andre lysafhængige processer. Disse lysreaktioner afhænger mere af den spektrale energifordeling og daglængden end af indstrålingen.

Planters reaktion på lysets døgnrytme benævnes fotoperiodisme, medens planters reaktion på lysets retning betegnes fototropisme.

Alle de lysbetingede processer virker ved, at lys absorberes af en eller flere slags fotoreceptorer. En fotoreceptor er et strålingsabsorberende farvestof, som formidler lyssignalet. En fotoreceptor absorberer kun stråling indenfor bestemte bølglængdeområder. Derfor er det kun disse bølglængder eller bølglængdekombinationer, der kan fremkalde bestemte reaktioner.

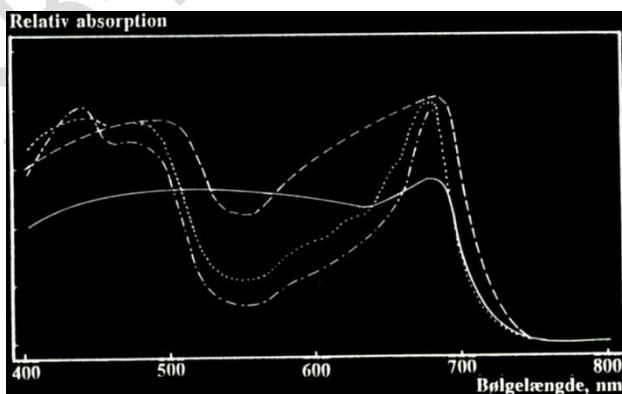
Fotosyntese.

Ved fotosyntesen forsynes planten med energi og stort set alle kemiske forbindelser, planten består af, og som er en forudsætning for plantens vækst. Planters produktivitet bestemmes af deres evne til at udnytte indstrålingen i fotosynteseprocessen. Fotosyntesen omfatter to delprocesser. I den ene omdannes den absorberede stråling til kemisk energi, som oplagres. I den anden proces omdannes CO₂ ved hjælp af den oplagrede energi til energirige organiske kulstofforbindelser, f.eks. sukker og stivelse. Disse forbindelser kan senere transporteres rundt i planten, hvor der er behov for energi og kulstofforbindelser til den videre vækst og udvikling.

Strålingsenergien absorberes af klorofyl og karotinoider og transporteres til specielle klorofyl molekyler. Her spaltes vand i brint og ilt. Brintatomerne indgår i opbygningen af de organiske kulstofforbindelser, medens ilt er et restprodukt, som planten udskiller til glæde for os. Fotosyntesen foregår i cellernes kloroplaster. hvortil atmosfærens frie CO₂ molekyler når gennem bladenes spalteåbninger. Adgangen til CO₂ er afgørende for fotosyntesen, og er der CO₂ mangel, er lysudnyttelsen ringe, og fotosyntesen derfor stærkt ned sat.

Den fotosynteseaktive indstråling falder indenfor bølglængdeområdet mellem 400 og 700 nm. klorofyl og karotinoider har forskellig absorption ved de forskellige bølglængder. Størst absorption sker i det blå (400-500 nm) og det røde område (600-700 nm, figur 2.1), men på grund af planternes indhold af andre fotoreceptorer sker der også en betydelig absorption i andre bølglængdeområder. Denne absorption bidrager dog ikke væsentligt til fotosyntesen.

Den faktiske absorption af stråling beror dog også på andre faktorer, f.eks. klorofylets binding til membranerne i kloroplasterne, bladenes form og stilling samt plantens anatomi. Planten opnår den størst mulige udnyttelse af strålingen ved at til-



Figur 2.1. Relativ absorption ved forskellige bølglængder for fire plantearter. --- *Saintpaulia*, - - - *Dendranthema*, *Pelargonium zonale*, ___ agurk.



pas sig de fremherskende vækstbetingelser. Visse planter tilpasser sig skygge (skovbundsplanter), og andre tilpasser sig høj indstråling (ørkenplanter). Der kan også være betydelige artsforskelle (figur 2.1). Planter evne til at udnytte indstrålingen kan ikke vurderes ved blot at måle på en enkelt plante, men målingerne skal udføres på en hel plantebestand.

I en plantebestand skygger planterne for hinanden. De øverste blade absorberer derfor mest fotosynteseaktiv stråling, medens de nederste blade modtager mindre indstråling, der tilmed har en forringet spektral energifordeling (se kapitel 3).

Udnyttelsen af vækstlys til fotosyntesen er ved lysmætning ikke afhængig af lyskildernes spektrale energifordeling. Derimod kan den spektrale energifordeling påvirke de mekanismer, der styrer plantens vækst og udvikling og derved indirekte påvirke fotosyntesen.

Planter evne til at udnytte den absorberede indstråling ved omdannelsen af CO₂ molekyler til kulhydrater varierer meget under naturlige betingelser. I sommerhalvåret under høj indstråling midt på dagen falder udnyttelsesgraden betydeligt. I mange tilfælde stiger udnyttelsesgraden i løbet af eftermiddagen, men i andre tilfælde forbliver udnyttelsen lav resten af dagen. Årsagerne til denne nedgang kan være forskellige og er endnu ikke udforsket. Ved anvendelse af vækstlys til planteproduktion i væksthuse er det vigtigt, at lyset anvendes så effektivt som muligt, og at indstrålingen ikke bliver så høj, at den hæmmer tilvækst og udvikling.

CO₂ forsyningen er et andet område, som påvirker planternes effektivitet mht. vækst og udvikling i sammenhæng med fotosyntesen. CO₂ kompensationspunktet er den CO₂ koncentration, hvor der ved respirationsprocessen under i øvrigt optimale klimabetingelser afgives samme mængde CO₂, som der optages ved fotosyntesen. Ved CO₂ kompensationspunktet er der således ingen nettooptagelse.

Lyskompensationspunktet er den indstråling, hvor fotosyntese og respiration ophæver hinanden, og der er således ingen nettofotosyntese. Ved stigende temperatur øges respirationen mere end fotosyntesen, og ved meget høje temperaturer bliver nettofotosyntesen derfor negativ, selvom der er relativ høj indstråling.

Fotoreceptorer.

En fotoreceptor er et farvestof, som kan absorbere stråling og transportere lyssignaler. I planter findes mange farvestoffer, som absorberer stråling, men kun et fåtal er i stand til at transportere strålingsenergien til andre fotoreceptorer eller direkte påvirke plantens udvikling.

En fotoreceptor, der er blevet grundigt udforsket, er fytokrom. Fytokromets absorption af stråling har sammenhæng med en række reaktioner i planterne. Fytokrom optræder i to tilstandsformer, der absorberer stråling ved hver sin bølglængde, rød stråling (660 nm) og langrød stråling (735 nm). De to tilstandsformer kan ændres fra den ene til den anden i begge retninger. Rød stråling bevirker, at fytokromet overgår til den form, der absorberer langrød stråling og omvendt (se kapitel 3). Det afhænger af fytokromets tilstandsform, hvilken reaktion i planten, der udløses. Da reaktionerne i planten foregår i begge retninger, indebærer det, at en reaktion, der er udløst af rød stråling, kan ophæves af langrød stråling. Et eksempel er frøspiring hos lysfølsomme salatsorter, hvor rød stråling fremkalder spiring, medens langrød stråling hindrer spiring (se også kapitel 3). Fytokrom absorberer også blå stråling, hvorfor dette bølglængdeområde også kan fremkalde en reaktion.

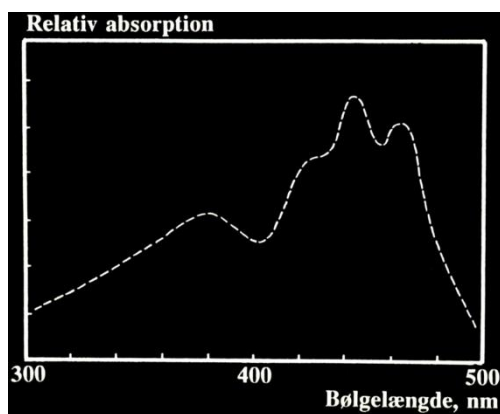


Kryptokrom er en anden fotoreceptor, der absorberer blå stråling (figur 2.2). En reaktion fremkaldt af blå stråling kan imidlertid ikke ophæves af stråler med en anden bølgelængde. En plantes at bøjning mod lyset, fototropisme, er en reaktion fremkaldt ved absorption i kryptokromet. Blå stråling har også hos visse planter indflydelse på strækningsvæksten.

Fotomorfogenese

Fytokrom er involveret i mange fotomorfologiske reaktioner, og derfor kan reaktioner fremkaldt af rød stråling ophæves af langrød stråling. Planter skudbrydning fremmes ved at udsætte planterne for rød stråling i slutningen af lysperioden, medens langrød stråling hæmmer skudbrydningen.

I modsætning til hvad der er anført for fotosyntesen, er det ved fotomorfologiske reaktioner mere den spektrale energi-



Figur 2.2. Relativ absorption ved forskellige bølgelængder for fotoreceptoren kryptokrom.

fordeling end indstrålingen, der er afgørende. Dog findes der for de forskellige reaktioner en tærskelværdi, hvis mindsteværdi kan variere fra 0,004-0,2 W m⁻² PAR (1-50 lux), under hvilken, der ingen reaktion sker. Modsat findes også en mætningsværdi, og større indstråling øger ikke reaktionen. Mætningsværdier kan afhængig af processerne variere fra 0,4 til 2,0 W m⁻² PAR (100-500 lux).

Fotoperiodisme.

Fotoperiodiske reaktioner fremkommer som resultat af døgnrytmer med en bestemt daglængde. Det er altså længden af lys- og mørkeperioderne i døgnet, der er afgørende. Fotoperiodiske reaktioner involverer en fotoreceptor og en mekanisme til at måle lys- og mørkeperiodernes længde. Fytokrom antages at være fotoreceptor for de fotoperiodiske reaktioner.

Hvorledes tidsmålingen finder sted, eller hvordan den fungerer i planten, er totalt ukendt.

Fotoperiodisme sættes oftest i forbindelse med blomstring. Der findes dog et antal andre fotoperiodiske reaktioner som f.eks. frøspiring, klorofylsyntese, roddannelse hos stiklinger, planter form, blad- og stængelvækst, ophævelse af knophvile, bladfald etc. Når det gælder blomstring, har daglængden hos mange arter stor indflydelse på både blomstringstidspunktet og blomstringens omfang. Som reaktion på



"daglængden sker der ved blomsterinitieringen en forandring i skudspidsen, apex, fra vegetativ til generativ vækst.

Afhængig af planternes reaktion på daglængden inddeles planterne i kortdagsplanter og langdagsplanter (se også kapitel 3). Der findes arter, som først behøver lang dag og derefter kort dag for at blomstre (Langdag- kortdagsplanter), og der! findes arter, der kræver det modsatte (kortdag- langdagsplanter).

Navnet kortdagsplanter kan være misvisende, fordi det er nattens og ikke dagens længde, der er afgørende for reaktionen. F.eks. indebærer en kort lysperiode midt om natten, at blomstringen hos en kortdagsplante hæmmes. Daglængden er sammenlagt kort, men natten er blevet delt i to korte mørkeperioder i stedet for en lang. Lang nat er det vigtigste for en kortdagsplante. Når det gælder reaktion på daglængden eller natlængden, findes der arter, som kun blomstrer ved en bestemt daglængde, men det sædvanlige er dog, at planter blot blomstrer tidligere ved optimal daglængde. Kendte kortdagsplanter er Euphorbia, Kalanchoë, Dendranthema og Begonia. Kendte langdagsplanter er Dianthus, Fuchsia og Petunia. Kortdag - langdagsplanter er f.eks. Campanula.

Det er antageligt i de unge, men færdigudviklede blade, at daglængden opfattes af planten. Forskellige arter har forskellig følsomhed mht. hvor stor en indstråling, der opfattes som dag. Kalanchoë er f.eks. fire gange mere følsom end Dendranthema og Begonia. Der forekommer dog store sortsforskelle.

I væksthus kan fotoperiodisk følsomme planter dyrkningsmæssigt styres både vegetativt og blomstringsmæssigt. Til Dendranthema som snitkultur gives f.eks. først langdagsforhold for at få vegetativ tilvækst og dermed lang stilk, hvorefter der gives kortdags betingelser, indtil blomsterknoppen viser farve. Foruden til regulering af blomstring kan daglængden anvendes til andre formål. F.eks. bliver tulipanstilke 20 - 50% længere ved 16 timers daglængde end ved 8 timer.

Fototropisme.

Fototropisme er en reaktion i planten, som medfører en bøjning af plantedele mod lyset. Bøjningen sker ved, at plantedelen vokser mere i skyggesiden end i lyssiden. Planter kan også orientere sig ved trykforandringer i specielle celler.

Fototropisme er en reaktion, som igangsættes af blå stråling, hvorfor det antages, at det er fotoreceptoren kryptokrom, som absorberer blå stråling, der er involveret i fototropismen.

Fototropisme har vist sig at være af stor betydning for planters evne til at absorbere fotosynteseaktiv stråling, idet bladenes vinkel i forhold til stråleretningen er af betydning for lysudnyttelsen. Hos visse arter er der konstateret en 30 % forøgelse af tilvæksten som følge af fototropiske bevægelser.

Sammenfatning.

Fotosyntesen er afhængig af indstrålingen indenfor stort set hele det fotosynteseaktive bølgelængdeområde. Fotomorfologiske reaktioner inklusive fotosyntese, fotoperiodiske reaktioner samt fototropisme initieres af relativt lav indstråling indenfor bestemte bølgelængdeområder. Når fytokrom er involveret, er det især rød og langrød stråling, der er af betydning, og den ene stråling kan ophæve virkningen af den anden. Fytokrom absorberer også blå stråling, hvorfor dette bølgelængdeområde også kan fremkalde en reaktion. Foruden fytokrom findes også andre fotoreceptorer, f.eks. kryptokrom, der absorberer blå stråling, og som antages at fremkalde reaktioner i planten.





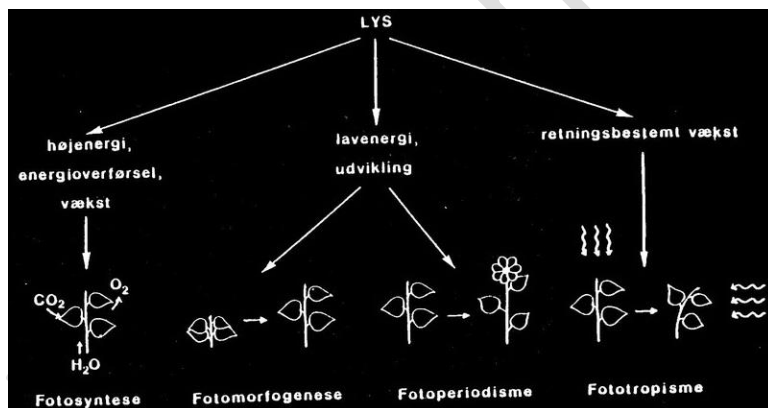
3. Kunst lys til regulering af vækst og udvikling.

Jürgen Hansen og Niels Erik Andersson

Planters vækst og udvikling styres af en række klimafaktorer som temperatur, daglængde, indstråling og lyskvalitet. I naturen spiller sollyset den afgørende rolle for de forskellige lysreaktioner i planter. I væksthuse kan ovennævnte faktorer imidlertid styres uafhængigt af udeklimaet. Planters vækst og udvikling kan derfor i vid udstrækning programmeres. I den mørke årstid kan kunst lys anvendes til at kompensere for manglende naturlig indstråling og til at skabe den nødvendige daglængde, som kræves af en række plantearter (langdagsplanter) for at blomstre. Anvendelse af kunst lys til fremme af fotosyntesen (vækstlys) er beskrevet i kapitel 4, men det skal dog nævnes, at vækstlys også vil påvirke de andre lysreaktioner i planter.

Fotoreceptorer.

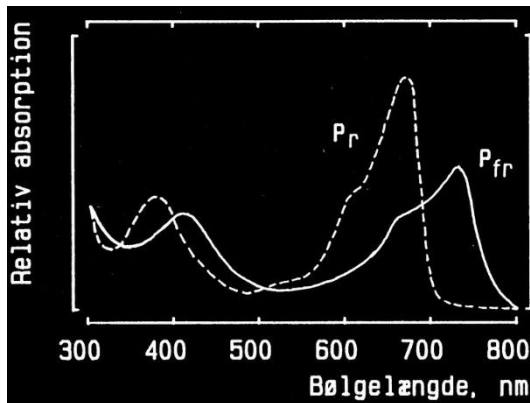
Planter reagerer på indstrålingens størrelse, daglængde, strålingens retning og dens spektrale energifordeling. Planternes



Figur 3.1. Planters lysreaktioner.

reaktioner på disse forskellige faktorer benævnes henholdsvis fotosyntese, fotoperiodisme, fototropisme og fotomorfogenese (figur 3.1). For at stråling kan påvirke planter, skal den absorberes. Hertil har planter udviklet en række forskellige fotoreceptorer, som hver især har specielle egenskaber med hensyn til, hvilke bølgelængder de absorberer, og hvilke udviklingsprocesser de påvirker.





Figur 3.2. Absorptionsspektrum for fytokrom Pr og Pfr.

I svampe og alger findes en række forskellige fotoreceptorer, hvorimod der i højerestående planter kun findes nogle få, f.eks. klorofyl, fytokrom (figur 3.2) og kryptokrom (figur 2.2). Derudover findes nogle fotoreceptorer, der absorberer stråling, uden at det påvirker planternes vækst og udvikling. Klorofyls vigtigste funktion er at absorbere stråling til fotosynteseprocessen. Fytokrom og kryptokroms funktioner er at absorbere stråling, som styrer udviklingsprocesserne. Ved hjælp af fytokrom er planter i stand til at registrere døgnets lys-mørke rytme, samt måle længden af mørkeperioden på en hvilken som helst årstid. Planter styrer derigennem tidspunktet for blomstring.

Fytokrom findes på to forskellige tilstandsformer, en aktiv form (Pfr) og en inaktiv form (Pr). I dagslys eller rød stråling omdannes Pr til den aktive form, Pfr, som igangsætter og fremmer en række udviklingsprocesser. I mørke eller når planter udsættes for stråling med bølglængder omkring 730 nm (langrød stråling), omdannes den aktive form af fytokrom, Pfr, hurtigt til den inaktive form, Pr. En udviklingsfremmende proces, der er igangsat af rød stråling, kan således ophæves eller modvirkes ved at give langrød stråling umiddelbart efter en behandling med rød stråling. Talrige fysiologiske observationer har vist, at der skal 3 til 4 gange så megen energi af langrød stråling til at ophæve en proces, der er igangsat af rød stråling.

Da absorptionsspektrene for de to fytokromformer overlapper hinanden (figur 3.2), vil der indstille sig en ligevægt mellem de to former. Ligevægten er bestemt af den aktuelle strålings spektrale energifordeling. I planter forekommer begge former af fytokrom derfor samtidig, men mængdemæssigt i forskelligt forhold, afbængig af den aktuelle strålings spektrale energifordeling. Forholdet mellem mængderne af de to fytokromformer, oftest angivet som P_{fr}/P_{total} , er derfor af betydning for, om en bestemt udviklingsproces i planten fremmes eller hæmmes (figur 3.3).

Kryptokrom er en fotoreceptor, der absorberer stråling mellem 350 og 500 nm dvs. stråling i den langbølgede del af det ultraviolette usynlige område og i den blå del af det synlige spektrum. Ved hjælp af denne fotoreceptor er planter i stand til at registrere, fra hvilken retning strålingen kommer. Planter kan reagere optimalt på strålingen ved at orientere sig efter strålingsretningen og derigennem udnytte en evt. lav indstråling maksimalt. Ligeledes kan kloroplasterne i cellerne orientere sig efter lysforholdene, så strålingen udnyttes maksimalt under dårlige lysforhold. Under overoptimale lysforhold kan kloroplasterne placere sig således, at de skygger for hinanden og derved modtage mindre stråling.



Planters lysreaktioner.

En række udviklingsprocesser styres af den stråling, planterne udsættes for, f.eks. frøspiring, strækningsvækst, bladfladevækst og anvendes til styring af planters udvikling og blomstring.

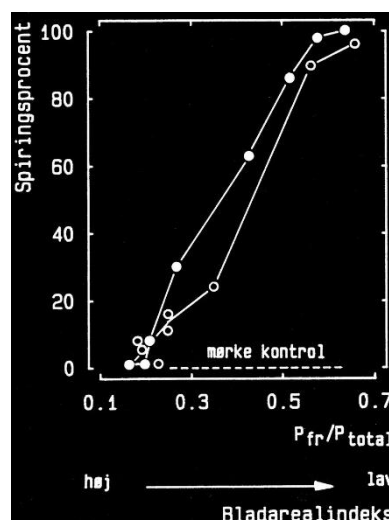
Frøspiring.

Visse frø kræver lys for at spire, medens andre kun spirer i mørke. Frø af langt de fleste vilde plantearter kræver lys for at spire. Dette har været kendt i flere hundrede år. Frø af de fleste af vores kulturplanter spirer lige godt i lys eller mørke, hvilket skyldes den selektion og forædling, der er foretaget i tidens løb. Da de fleste vilde planter kræver lys for at spire, forekommer det umiddelbart paradoksalt, at lys i mange af disse plantearter også virker hæmmende på spiringen. Dette paradoks skyldes, at fytochromsystemet er involveret i spiringsprocessen. Hvis lyset indeholder forholdsvis megen stråling mellem 650 og 700 nm, som f.eks. dagslys, dannes overvejende Pfr (aktivt fytochrom), og spiringsprocessen indledes eller fremmes. Hvis lyset, som frøene udsættes for, derimod indeholder megen stråling mellem 700 og 750 nm, dannes overvejende Pr. (inaktivt fytochrom) og spiringsprocessen forhindres eller standses (tabel 3.1).

Tabel 3.1. Spiring af tre forskellige portioner af agersennep, *Sinapis arvensis*, i mørke, under rød (R) og/eller langrød (LR) stråling. Spiringsprocentene blev opgjort efter 7 dage (efter Frankland, 1976).

Lysbehandling	Spiringsprocent		
	Portion A	Portion B	Portion C
Mørke	8	20	46
R	20	56	84
LR	10	20	50
LR-R	20	60	84
R-LR	12	24	52
R-LR-R	24	58	86
LR-R-LR	12	22	52
LR-R-LR-R	22	56	86
R-LR-R-LR	10	24	54

Set fra et økologisk synspunkt er denne reguleringsmekanisme vigtig, for at en planteart kan overleve. Det er nemlig sådan, at grønne blade filtrerer strålingen, hvorved dens spektrale sammensætning ændres. Når strålingen rammer et grønt blad, absorberes en del af strålingen, og en del passerer gennem bladet.



Figur 3.3. Spiring af frø af glat vejbred, *Plantago major*, under plantebestand med forskelligt bladarealindeks. Forskellige bladarealindeks medførte ændringer af fytokromligevægten (pfr/P_{total}). Forsøget blev udført under kunst lys (lysstofrør og glødelamper) (●) og under dagslysforhold i væksthuse (○). Frø i mørke spirede ikke (efter Frankland & Poo, 1980).

Den spektrale energifordeling af den del, der passerer gennem bladet, er imidlertid ændret. Strålingen får et større indhold af langrød stråling mellem 700 og 750 nm, fordi klorofyl fortrinsvis absorberer i området 400 til 700 nm. Den ændrede spektrale energifordeling af den filtrerede stråling resulterer i, at andelen af rød stråling bliver mindre. Jo tættere vegetationen er, des mere forskydes forholdet mellem P_r og P_{fr} . Frø, der ligger på jorden og er skygget af grønne planter, registrerer sådanne ændringer i den spektrale energifordeling ved hjælp af fytokrom. Der dannes en fytokromligevægt med et lille indhold af aktivt fytokrom i forhold til det totale indhold af fytokrom. Dette forhindrer frøene i at spire (figur 3.3). Denne regulerings mekanisme er vigtig, fordi frøene derved hindres i at spire under lysforhold, der er utilstrækkelige til, at sikre den videre vækst af kimplanterne. På grund af et lille indhold af P_{rr} forbliver frøene i hvile, indtil lysforholdene har ændret sig så meget, at spiringen kan forløbe uden for stor risiko for, at kimplanten går til grunde i konkurrencen med de etablerede planter. En genial mekanisme til at sikre en plantearts overlevelse.

Der kan være mange andre grunde til, at frø ikke spirer. F.eks. kan frøhvile af genetiske og/eller klimamæssige årsager forhindre, at frø spirer under i øvrigt optimale spiringsbetingelser. For at klarlægge om fytokromsystemet er involveret i en bestemt arts spiring, må frøhvile forårsaget af andre faktorer end lyskvalitet overvindes, f.eks. ved stratificering. Først derefter kan spiringens afhængighed af lys undersøges.



I havebruget skaber de enkelte frøarters krav til lys og mørke normalt ikke store problemer. Mange af vore kulturplanter spirer uafhængigt af lysforholdene, og specielle krav til lysforholdene er kendt for de almindeligt dyrkede arter. "Hvis det drejer sig om spiring af lysspirende frø, udnyttes som regel naturligt dagslys evt. suppleret med lys fra højtryks-natriumlamper. Dagslys har en spektral energifordeling med et stort indhold af rød stråling i forhold til ang. rød stråling, hvilket fremmer spiringen. Hvis frø er lysspirende og skal spires i groroom, anvendes lyskilder med et højt rødt langt rødt forhold (se kapitel 7).



Længdevækst.

Under frøspiring sker en cellestrækning og -vækst, som fører blad-og skuddelene op til jordoverfladen. Herefter er al yderligere længdevækst styret af lysforholdene. Umiddelbart efter frøspiringen går længdevæksten i stå. Selvom fotosyntesen er kommet i gang, og der derfor ikke er mangel på fotosynteseprodukter, hæmmes strækningsvæksten af lyset. Bølgelængder mellem 350 og 500 nm hæmmer længdevæksten, medens bølgelængder mellem 700 og 750 nm virker fremmende på længdevæksten (figur 3.4). Dette betyder, at planter, der vokser under en lyskilde med en forholdsvis stor andel lang bølgelængde stråling mellem 700 og 750 nm,



Figur 3.4. Vækst af hvidmelet gåsefod, *Chenopodium album*, efter 21 dage ved forskellige rød/langrød-forhold. Planten til venstre blev dyrket ved lys med stort indhold af rød stråling. Planten til højre blev dyrket ved lys med et stort indhold af langrød stråling (efter Morgan og Smith, 1976).

får længere internodier, end hvis de var dyrket under en lyskilde med en mindre andel langbølget stråling. I en tæt plantebestand bliver planter, der står yderst, lavere end planter, der er omgivet af planter til alle sider. Styringsmekanismen er her ligeledes fytokromsystemet. De grønne blade filtrerer strålingen, hvorved andelen af langrød stråling (700-750 nm) bliver større i den stråling, der passerer gennem bladene. Herved dannes en fytokromligevægt med et lavt indhold af aktivt fytokrom (Pfr). Dette medfører en øget længdevækst af de nederste internodier. Dette fænomen kan også iagttages i tætte bestande af skovtræer. Resultatet bliver høje, opretvoksende træer, der er velegnede til industrielt brug. I væksthuskulturer ses fænomenet også af og til, men for de fleste kulturer anses en forøget længdevækst for at være uønsket. Derfor må potteplanter i væksthuse stilles på afstand i tide. Ved at sikre at planterne ikke skygger for hinanden, opnås den største tilvækst. Planterne bliver mere ensartede, og uønsket strækningsvækst undgås.

Når der anvendes kunst lys til dyrkning af planter, vil lampens spektrale energifordeling påvirke planternes længdevækst. Generelt vil bølgelængder under 700 nm hæmme længdevæksten, medens bølgelængder over 700 nm fremmer længdevæksten. Ved anvendelse af kunst lys som vækstlys bruges i dag oftest højtryks-natriumlamper, der har et rimeligt godt forhold mellem rød og langrød stråling. En anden, men mindre anvendt lampetype er halogen-kviksølvlampen, der næsten ikke udsender stråling i området 700-750 nm og derfor giver mere kompakte planter. Til plantearter som vanskeligt eller slet ikke kan



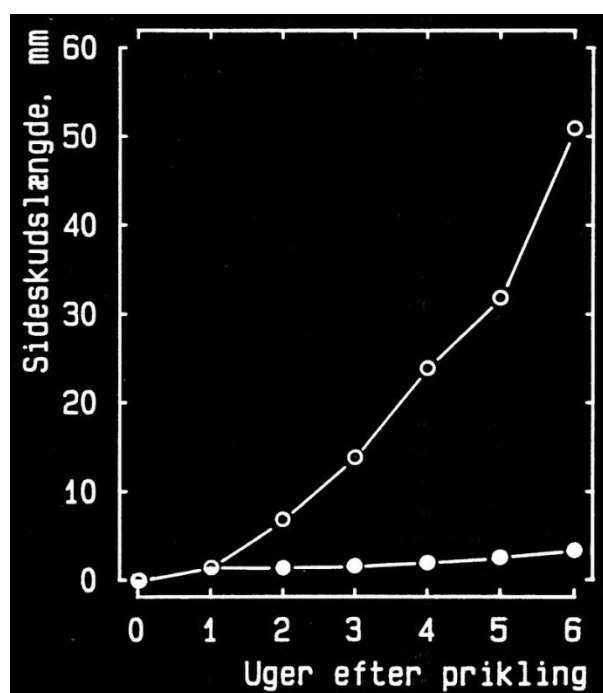
retarderes, har lyskildens spektrale energifordeling derfor stor betydning. Når Gerbera dyrkes under højtryks-natriumlamper, får de en løsere vækst end ved dyrkning under halogen-kviksølvlamper. En del salatgartnere tiltrækker småplanterne under halogen-kviksølvlamper, fordi det giver mere kompakte planter.

Til dagforlængelse eller natafbrydelse anvendes almindeligvis glødelamper. Denne lampetypes spektrale energifordeling øger længdevæksten, fordi der næsten ingen stråling er i det blå område, men megen stråling i området mellem 700 og 750 nm. Af forskellige grunde anvendes glødelamper dog stadig, selvom alternative lampetyper findes på markedet (se afsnittet om hindring af blomstring).

Brydning af sideskud.

Der er i litteraturen enkelte resultater, der tyder på, at fytochromsystemet også er involveret i reguleringen af planters apikale dominans, dvs. ende skuddets kontrol over sideskuddenes brydning og vækst. For mange plantearter er det almindeligt, at planten kun producerer et skud, og at væksten af samtlige sideknopper i bladhjørnerne undertrykkes fuldstændigt.

Kun med en knibning nedsættes den apikale dominans, og sideskuddene vokser frem. I tætte plantebestande ses ikke alene en kraftig forøgelse af længdevæksten, men også færre sideskud end i mere åbne bestande.



Figur 3.5. Længden af sideskud hos tomat, *Lycopersicon lycopersicum*, uden (○) og efter (●) 5 min. belysning med langrød stråling ved dagens afslutning (efter Tucker, 1976).

Dette kan skyldes overvægten af stråling i området 700-750 nm i tætte plantebestande på grund af bladernes filtrering af strålingen.

Bortset fra sådanne observationer er der dog kun få egentlige forsøgsresultater, der viser, at lyskvaliteten kan bruges til at styre sideskudsbrydningen. Forsøg med *Dendranthema* har vist, at rød stråling fremmer sideskudsbrydningen i intakte planter. Andre forsøg med tomat (figur 3.5) har vist, at langrød stråling hæmmer sideskudsbrydningen. Selvom der hidtil er foretaget relativt få undersøgelser af denne art, kan



det ikke udelukkes, at der i praksis er mulighed for at regulere planters sideskudsdannelse ved anvendelse af specifikke lyskilder.

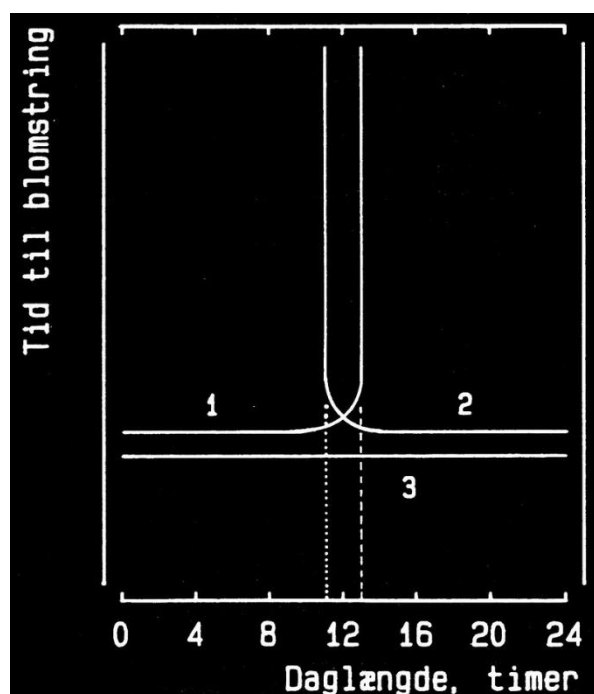
Under gode lysforhold om sommeren ses ofte en kraftigere forgrening af planter end om vinteren. Dette skyldes næppe lys kvaliteten. Sandsynligvis er den kraftigere sideskudsdannelse et resultat af den høje indstråling og de dermed mere optimale vækstforhold. Høj indstråling kan i sig selv bevirke, at den apikale dominans nedsættes.

Blomstring.

Planter er som tidligere nævnt i stand til at måle daglængden. Opdagelsen af sammenhængen mellem daglængde og blomstring har haft stor betydning for gartnerierhvervet. Ved at anvende mørklægning til kortdagsplanter er det muligt at bringe dem i blomst uafhængigt af årstiden. Sådanne daglængdeafhængige reaktioner benævnes fotoperiodiske reaktioner. I en del plantearter regulerer daglængden en række udviklingsprocesser som knophvile, frøspiring og vækststandsning om efteråret og dermed hårdførheden af planten.

Planter kan inddeles i flere grupper efter deres reaktion på daglængden (figur 3.6). I praksis inddeles planterne i 3 grupper:

- 1) dagneutrale planter (DNP) er planter, hvor blomstringen er uafhængig af daglængden.
- 2) langdagsplanter (LDP) er planter, der blomstrer eller blomstrer hurtigst, når dagens længde er over et vist antal timer (kritisk daglængde).
- 3) kortdagsplanter (KDP) er planter, der blomstrer eller blomstrer hurtigst, når dagens længde er under et vist antal timer (kritisk daglængde).



Figur 3.6. Typiske blomstringsreaktioner på forskellig daglængde.

Kurve 1 viser reaktionen for en KDP. Når daglængden nærmer sig 12 timer, stiger antallet af dage til blomstring. Den stiplede linje angiver den kritiske daglængde. Kurve 2 viser reaktionen for en LDP. Når daglængden aftager, stiger antallet af dage til blomstring. Den punkterede linje angiver den kritiske daglængde. Kurve 3 viser reaktionen for en typisk dagneutral plante.



Den kritiske daglængde er forskellig fra planteart til planteart og kan være forskellig fra sort til sort indenfor samme planteart.

Den kritiske daglængde for en KDP er det maksimale antal timer med lys i en sammenhængende periode indenfor et døgn, planten kan udsættes for, uden at det hindrer blomstring.

Den kritiske daglængde for en LDP er det minimale antal timer med lys planten skal have i en sammenhængende periode indenfor et døgn for at blomstre.

Dagneutrale planter blomstrer uafhængigt af daglængden, eller er meget lidt påvirkede af ændringer i daglængden. Dette betyder, at blomstringen sker naturligt på alle årstider, og at tiden til blomstring er den samme ved alle daglængder, hvis ikke andre klimafaktorer som temperatur og indstråling spiller ind. Til denne gruppe hører bl.a. agurk, solsikke, ært, majs og Hibiscus.

Fytokrom er involveret i plantens registrering af nat afbrydelsen. Hittidige erfaringer viser, at man opnår det bedste resultat, når der anvendes lampetyper, som både afgiver rød og langrød stråling. I klimakamre giver lysstofrør ikke altid langdagseffekt, selvom belysningstiden er længere end den kritiske daglængde. Lignende tilfælde er også observeret i væksthuse, hvor SL lamper (se kapitel 7) har været anvendt til dagforlængelse af LDP. En forklaring herpå kan være, at de nævnte lampetyper har en uegnet spektral energifordeling. Til LDP bruges med fordel glødelamper, der udsender både rød og langrød stråling. Planter som *Fuchsia* og *alceolaria* hører til gruppen af LDP.

Hvis daglængden er længere end en kritisk værdi, blomstrer KDP ikke (figur 3.6, 3.7 A og 3.7B). KDP blomstrer heller ikke, hvis der under kortdagsforhold gives kunst lys midt i mørkeperioden (figur 3.7D). Blomstring opnås naturligt, når daglængden er kortere end den kritiske værdi for arten eller sorten (figur 3.7C) eller ved at kortdagsbehandle planten. Fytokrom er tydeligt involveret i denne proces. Blomsterdannelsen fremskyndes, hvis der gives rød stråling sidst på dagen, hvilket giver et højt indhold af Prr. Nogle af vores vigtigste potteplantekulturer hører til gruppen af KDP, f.eks. *Dendranthe*, *Kalanchoë*, *Begonia* og julestjerne.

Hindring af blomstring.

Som allerede nævnt kan langdagsforhold til KDP hindre blomstring (figur 3.6, 3.7A og 3.7B). Ligeledes kan kortdagsforhold til LDP forhindre blomstring (figur 3.6 og 3.7C). Henholdsvis kortdagsbehandling af KDP og langdagsbehandling af LDP forudsætter som regel, at planterne har nået et bestemt udviklingsstadium, inden behandlingen startes, for at kunne producere det ønskede salgsprodukt. Derfor er en kortere eller længere periode med vegetativ vækst en forudsætning for størrelsen og kvaliteten af det endelige produkt.

Det er nødvendigt, at moderplanter holdes vegetative, for at blomsteranlæg ikke er induceret i stiklingerne, når de stikkes.

Der er intet til hinder for at bruge vækstlys til dagforlængelse eller natafbrydelse for at holde kortdagsplanter vegetative (figur 3.7B og 3.7D). Ved anvendelse af vækstlys til moderplanter produceres flere stiklinger af en bedre kvalitet end normalt for årstiden.

Til regulering af daglængden enten ved dagforlængelse eller ved natafbrydelse kan bruges forskellige lyskilder. Til KDP kan glødelamper anvendes, men denne lampetype giver en uønsket længdevækst. SL lamper og visse lysstofrør kan med fordel anvendes i stedet (se kapitel 7).

Højtryks-natriumlamper kan også bruges til langdagsbehandling af KDP. Det kan ske ved enten at montere nogle få højtplacerede armaturer i væksthuse eller ved at benytte et eksisterende vækstlysanlæg. Der er



tekniske og økonomiske fordele ved at bruge højtryks-natriumlamper til dagforlængelse. På grund af deres høje effektivitet skal der kun monteres få højt placerede armaturer, for at planterne i hele væksthuset kan langdagsbehandles. Samtidig kan man nøjes med at installere færre watt pr. m² ved brug af højtryks-natriumlamper end ved brug af glødelamper. Herved opnås en betydelig besparelse på elforbruget.

For mange planters vedkommende er det ikke nødvendigt at belyse i hele natafbrydelsesperioden. Den ønskede virkning kan normalt opnås ved at belyse 6 min. af hver halve time af natafbrydelsesperioden, som om vinteren er på 4 - 5 timer.

4. Vækstlys tilskud og planteproduktion.

Roar Moe og Jens Rystedt

Kunst lys som vækstlys tilskud.

Planteproduktion i væksthuse kræver stor indsigt i dyrkningsmæssige forhold. Stigende omkostninger og nye tekniske installationer og væksthuse har tvunget gartneren til at udnytte væksthuse bedre, gøre væksthuse mere energivenlige, rationalisere arbejdet og øge væksthastigheden af kulturerne ved at optimere vækstfaktorerne.

Lyset er en stærkt begrænsende faktor for plantevækst i vintermånederne. Kunst lys som vækstlys tilskud er derfor blevet mere og mere udbredt. Tidligere har kunst lys til pottedplanter fortrinsvis været givet til moderplanter og småplanter (stiklinger og frøplanter), men anvendes i dag i stigende udstrækning også til salgsplanter.

Brug af vækstlys i større udstrækning er forholdsvis ny i Danmark. Der kom først rigtig gang i udviklingen i begyndelsen af 1980'erne, efter at man havde overvurderet virkningerne af den anden energikrise, sidst i 1970'erne. I Norge har man derimod en lang tradition for brug af vækstlys. Her viste forsøg udført i 1950'erne, at lysstofrør er mere effektive lyskilder end datidens højtryks-kviksølvlamper. Mange gartnere i Norge tog lysstofrør i brug til småplanter i 1960'erne, men lysstofrør blev kun brugt lidt til salgsplanter. Lysstofrør blev også anvendt en del i Sverige og Finland, men forholdsvis lidt i Danmark, hvor elprisen var højere og behovet for vækstlys mindre.

I Danmark blev i stedet anvendt højtryks-kviksølvlamper. Et af argumenterne mod at bruge lysstofrør var, at armaturerne skyggede for meget for den naturlige indstråling, som om vinteren er større i Danmark end længere nordpå og derfor har større betydning i Danmark end i Norge. Senere kom nye lampetyper og bedre armaturer på markedet (se kapitel 7 og 8). Disse lampetyper havde flere watt pr. lampe end lysstofrør og dermed større lysudsendelse, hvilket gjorde det muligt, at ophænge lamperne ca. 2 m over planterne. Lamperne hindrede derved ikke arbejdet med planterne, og der opnåedes en bedre lysfordeling.

Lysstofrør, som i en årrække var den dominerende lampetype, blev afløst af halogen-kviksølvlamper i begyndelsen af 1970'erne. Derefter kom højtryks-natriumlampen, som i dag er den dominerende lampetype i Norden (se kapitel 7). Udviklingen af disse lampetyper medførte en stor stigning i brugen af vækstlys i gartnerier.

Med denne eksplosive udvikling i brug af vækstlys meldte der sig en række spørgsmål, der satte gang i nye forsøg vedrørende optimalt brug af vækstlys til planteproduktion i væksthuse:



- Hvilken lampetype skal vælges?
- Hvor mange watt pr. m² skal installeres?
- Hvor stor en del af året skal vækstlysanlægget benyttes?
- Hvor mange timer i døgnet skal der belyses?
- På hvilket tidspunkt skal lamperne tændes?
- Skal der gives CO₂ og i så fald hvor meget?
- Hvorledes påvirker vækstlyset planternes kvalitet?
- Skal produktionsplanen ændres, når der gives vækstlys?

Svarene er ikke entydige. De afhænger af den geografiske beliggenhed af gartneriet (f.eks. Odense eller Tromsø), kulturvalg, produktet (moderplanter, småplanter eller salgsplanter), gartneriets tekniske tilstand i øvrigt og af forventningen om prisudviklingen osv.

Det er desuden ikke givet, at svarene er endegyldige. Svarene ændrer sig med udviklingen og vil afhænge af installations- og elprisen. Kommer der en ny og mere effektiv lampetype på markedet, må mange af spørgsmålene sandsynligvis tages op til fornyet overvejelse.

Med indførelse af klimacomputere kan der stilles yderligere spørgsmål såsom:

- Skal belysningstiden pr. døgn og belysningsperioden gøres afhængig af dagens og evt. gårsdagens akkumulerede indstråling?
- Skal CO₂ koncentrationen ændres med indstrålingen og i givet fald hvor meget?

I det følgende vil vi behandle flere af ovenstående spørgsmål. Da de enkelte plantedyrkeres krav er vidt forskellige, er det umuligt at give fuldt ud dækkende svar for alle kulturer. Der vil derfor blive lagt vægt på mere generelle problemer vedrørende korrekt brug af vækstlys til planteproduktion i væksthuse.

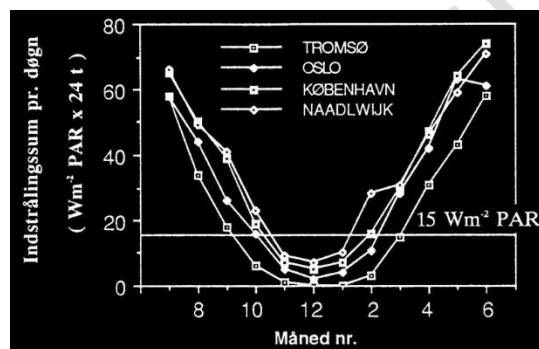
Naturlig indstråling.

Den naturlige indstråling varierer stærkt med årstid og breddegrad. Dette er vist i figur 4.1 for forskellige lokaliteter (Naaldwijk, København, Oslo og Tromsø), hvor der dyrkes planter i helårsproduktion i væksthuse. Mange plantearter kræver en gennemsnitlig indstråling i døgnet på ca. 15 W m⁻² PAR for at få en rimelig vækst og kvalitet. Med udgangspunkt i den naturlige indstråling kan det beregnes, at der skal gives vækstlys som tilskudsllys i en længere og længere periode jo længere mod nord, man kommer,

Tabel 4.1. Perioder, hvori der skal gives vækstlys tilskud for at opnå en strålingssum pr. døgn på 1,296 mio. W s m⁻² PAR (15 W m⁻² PAR x 24 timer) i væksthuset (naturlig indstråling + vækstlys).



Sted	Breddegrad	Periode, uge nr.	Antal måneder med vækstlystilskud
Naaldwijk	52° 50'N	42-4	3,5
København	55° 41'N	40-7	4,5
Oslo	59° 56'N	38-10	6
Tromsø	69° 39'N	36-13	7



Figur 4.1. Indstrålingsforløbet i et væksthuse ved fire forskellige breddegrader i Nordeuropa. Tromsø 69°, Oslo 60°, København 55° og Naaldwijk 52°. Den naturlige indstråling er omregnet til fotosynteseaktiv stråling (PAR) i W m⁻² i plantehøjde ved en strålingstransmission på 0,6 i væksthuset.

De opgivne W m⁻² PAR for de forskellige måneder er baseret på 24 timer indstråling pr. døgn. Derfor vil 15 W m⁻² PAR svare til en strålingssum pr. døgn på 1,296 mio. W s m⁻² PAR (15 W m⁻² PAR x 24 timer eller 5,9 mol m⁻² pr. døgn). Denne strålingssum kan opnås ved en kontinuerlig belysning med en belysningsstyrke på ca. 6500 lux med højtryks-natriumlamper.

for at opnå en gennemsnitlig strålingssum pr. døgn på 1,296 mio. W s m⁻² PAR (15 W m⁻² i 24 timer) (tabel 4.1). Tabel 4.2 viser også, at mængden af tilskudsls må øges jo længere mod nord, man kommer. For eksempel skal der i Oslo, som ligger 5° længere mod nord end København, gives fra 2,5 til 5 W m⁻² PAR mere i tilskudsls end i København.

Disse værdier skal ikke opfattes som absolutte værdier, men mere som vejledende, når behovet for tilskud af vækstlys i vintermånederne skal vurderes på forskellige breddegrader i Norden. Grundlæggende forskning om brug af kunst lys er nødvendig for at klarlægge forskellige væksthuskulturers behov for ekstra vækstlys.

Tabel 4.2. Forskel i naturlig indstråling pr. breddegrad mellem forskellige lokaliteter (breddegrad). Indstrålingen er beregnet i toppen af plantebestanden inde i væksthuset ved en lystransmission på 0,6. Forskel i strålingssum pr. døgn i W s m⁻² PAR (W m⁻² PAR x 24 timer)

	Naaldwijk (52°)	København (55°)	Oslo (60°)
	København (55°)	Oslo (60°)	Tromsø (69°)
Måned			
Okt.	5760	1800	4320
Nov.	2520	1800	1440
Dec.	3240	1800	1080
Jan.	3960	2520	1800
Feb.	17280	3600	3240



Vækstlys.

Vækstlys fremmer fotosyntesen på samme måde, som naturlig indstråling gør det. Planterne opbygger ved fotosyntesen organisk stof af kuldioxid og vand og udskiller ilt. Ved at øge indstrålingen ved hjælp af kunst lys kan man opnå en hurtigere vækst. Det har været og er stadig en vigtig forskningsopgave at klarlægge, hvad der er det optimale lyskrav for forskellige plantearter og sorter. Dette hænger givetvis sammen med, at den indstråling, der er biologisk optimal, dvs. giver det største merudbytte plantemæssigt, ikke er lig med den indstråling, der er økonomisk optimal, dvs. giver det største afkast af merinvesteringen i kunst lys. Udover omkostningerne ved installation og drift af kunstlysanlæg må der i praksis tages hensyn til en række forhold for at nå til et passende og økonomisk forsvarligt vækstlys tilskud:

- Plantartens (evt. sortens) lyskrav
- Planternes udviklingsstadie
- Antal planter pr. m²
- Størrelsen af den naturlige indstråling
- Kulturens værdi

Da vores viden om, hvorledes planter kvitterer for tilskud af vækstlys i vintermånederne, er begrænset, er der et stort behov for yderligere forskning på dette område.

Kunst lys til småplanter og salgsplanter.

Ved produktion af småplanter giver tilskud af vækstlys i vintermånederne hurtigere udvikling og bedre plantekvalitet.

Tabel 4.3. Virkning af vækstlystilskud på friskvægt, bladlængde/breddeforhold, bladantal, inducerede planter og plantediameter hos salat. Planterne blev dyrket i væksthuse ved 18°C og et vækstlystilskud i 24 timer pr. døgn. I forsøget blev anvendt tre forskellige lampetyper: lysstofrør (TL33), højtryks-natriumlamper (SON-T) og halogen-kviksølvlamper (HPI-T). Resultaterne er gennemsnit af de tre lampetyper og 3 hold planter sået henholdsvis 27. okt., 15. dec. og 1. febr.

	Naaldwijk (52°)	København (55°)	Oslo (60°)
	København (55°)	Oslo (60°)	Tromsø (69°)
Måned			
Okt.	5760	1800	4320
Nov.	2520	1800	1440
Dec.	3240	1800	1080
Jan.	3960	2520	1800
Feb.	17280	3600	3240

Tabel 4.4. Virkning af vækstlystilskud på friskvægt, plantehøjde, bladantal og antal dage til blomstring i tomat. Planterne blev dyrket i væksthuse ved 18°C med et vækstlystilskud i 18 timer pr. døgn. Lampetype: Lysstofrør (TL33), højtryks-natriumlampe (SON-T) og halogen-kviksølvlampe (HPI-T). Resultaterne er gennemsnit af de tre lampetyper og 2 hold planter sået henholdsvis 26. okt. og 23. jan.

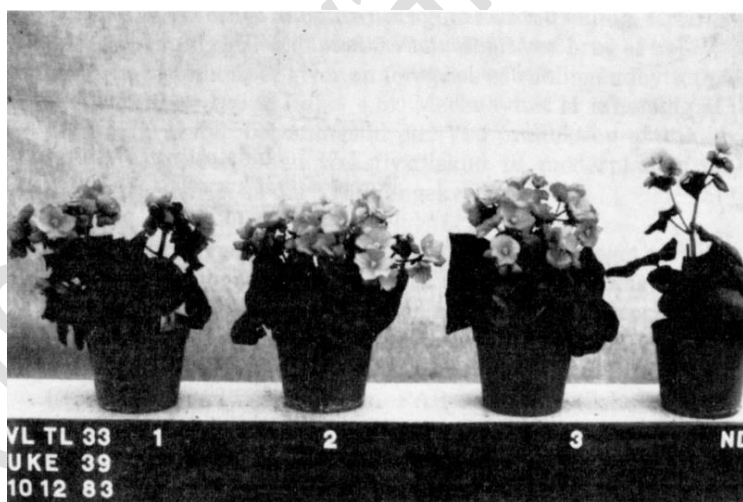


Kunstlys indstråling, W m ⁻² PAR	Friskvægt, g pr. plante	Plante- højde, cm	Antal blade over 1 cm	Antal dage til blomstring
0	12,1	16,0	10,7	82
5	19,6	22,5	11,7	68
10	48,8	42,2	13,6	50
15	70,7	54,5	15,1	39

I danske forsøg med *Hedera helix* 'Susanne' er det vist, at et vækstlystilskud på 10 W m⁻² PAR med højtryks-natriumlamper bevirkede, at planterne blev salgsklare 39 dage tidligere end kontrolplanterne, når stikningen skete 27. oktober. Ved en senere stikning d. 26. januar blev de belyste planter salgsklare kun 9 dage tidligere end kontrolplanterne.

Vækstlystilskud til salgsplanter af blomstrende planter resulterer ofte i en forkortelse af produktionstiden på 1-3 uger afhængig af planteart og -sort. Samtidig opnås som regel også en betydelig kvalitetsforbedring. Forsøg med julebegonia (*Begonia x cheimanthus*) viste, at det var muligt at forkorte kulturtiden med 7-8 uger for planter, der fik et vækstlystilskud på 7 W m⁻² PAR i Sydnorge (60°). Resultatet fra et forsøg med sorten 'Nova', der blev formeret ved bladstiklinger i uge 39, er vist i figur 4.2.

Hollandske anbefalinger af størrelsen af vækstlystilskuddet varierer mellem 3 og 9 W m⁻² PAR. I Norge anbefales et tilskud på mellem 5 W m⁻² PAR i den sydlige del af landet og 15 W m⁻² i Nordnorge. Niveauet i Danmark ligger for småplanter på ca. 5 W m⁻² PAR og for salgsplanter på ca. 3 W m⁻² PAR. For blomstrende planter synes lyskravet at være lidt større end for grønne planter. I norske forsøg med 4 sorter af *Begonia-Elatior*-hybrider fik planterne vækstlystilskud af forskellig indstråling fra potningstidspunktet,



Figur 4.2. Virkningen af 3 forskellige indstrålinger af kunstlys til julebegonia 'Nova'. Fra venstre 5, 7,5 og 15 W m⁻² PAR og naturlig daglængde (kontrol). Lampetypen var højtryks-natriumlampen, og der blev givet kunstlys i 18 timer pr. døgn fra potning i uge 39. I 2 uger i oktober blev planterne kortdagsbehandlede (10 timers daglængde) for induktion af blomstring. Billedet viser udviklingen i uge 50.



til de blev stillet på afstand. Resultatet blev 1-2 uger kortere kulturtid ved optimal indstråling på 12 til 20 W m⁻² PAR i 18 timer pr. døgn. Ligeledes kunne der i sydnorske forsøg med julestjerne opnås en forkortelse af kulturtiden på 17 til 20 dage for henholdsvis knebne og uknebne planter ved et vækstlystilskud på 15 W m⁻² PAR fra potningstidspunktet til kortdagsbehandlingsens start efterfulgt af et vækstlystilskud på 7,5 W m⁻² PAR i 10 timer pr. dag frem til salgstidspunktet.

Kunstlys til moderplanter.

Produktionen af stiklinger kan øges væsentligt ved at give moderplanter tilskud af vækstlys i de mørkeste vintermåneder. Dette er et resultat af stigende fotosyntese, der giver større sideskudsbrydning og hurtigere skududvikling.



Tabel 4.5. Vækstlystilskud og stiklingeproduktion for en række væksthuskulturer. Resultaterne er fra en række forsøg udført i forskellige lande.

Kultur	Forsøgsperiode	Indstråling af kunstlys W m ⁻² PAR	Timer med kunstlys pr. døgn	Merudbytte, pct. i forhold til kontrol
<i>Pelargonium</i>	nov.- mar.	0-15	24	126
<i>Pelargonium</i>	sep.- jan.	0-20	16	30-48
<i>Begonia-Elatior</i> -hybrider (topstiklinger)	nov.- mar.	0-11-16	18	50-90
(bladstiklinger)	okt.- mar.	5-15	24	49
<i>Campanula isophylla</i>	okt.- mar.	0-10	24	60
<i>Dendranthema</i>	okt.- nov.	5-15	24	58
<i>Euphorbia pulcherrima</i>	dec.- apr.	13-21	24	47
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	okt.- feb.	6-12	18	82
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	okt.- feb.	0-8	18	44
<i>Kalanchoe</i>	nov.- feb.	0-7-12	18	38-55



Erfaringerne viser, at et tilskud på 5-6 W m⁻² PAR ved brug af højtryks-natriumlamper giver en forøgelse af stiklingeudbyttet på mellem 30 og 126 % (tabel 4.5). Merudbyttet er afhængig af planteart, årstid, belysningstid etc. Ved produktion af stiklinger om vinteren uden vækstlystilskud til moderplanter fås desuden generelt en dårlig stiklingeekvalitet.

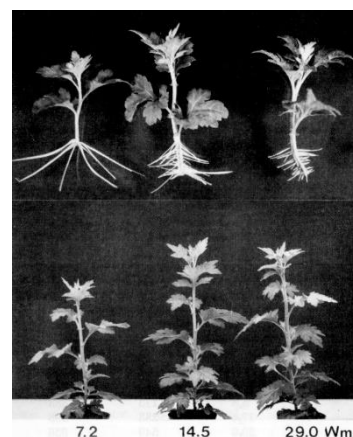
Et øget stiklingeudbytte er ikke blot afhængig af øget vækstlystilskud til moderplanterne. Det er vigtigt samtidig at give CO₂, for at CO₂ ikke skal blive den begrænsende faktor. I forsøg med *Campanula isophylla* er der således opnået højere stiklingeudbytte ved et vækstlystilskud på 17 W m⁻² PAR med CO₂ tilskud end ved 29 W m⁻² PAR uden CO₂ tilskud. Disse resultater (tabel 4.6) viser tydeligt, at det selv i vintermånederne er vigtigt at tilføre CO₂, når der anvendes kunstlys.

Tabel 4.6. Virkning på stiklingeproduktion af indstråling af kunstlys og CO₂ tilførsel til moderplanter af *Campanula isophylla*. Temperatur 18°C. Lampetype: højtryks-natriumlampe. Kunstlys blev givet i 12 timer pr. døgn. Stiklingeudbyttet er summeret over en 24 ugers periode.

Indstråling, W m ⁻² PAR	Antal stiklinger pr. m ²	
	naturligt CO ₂	900 ppm CO ₂
5,8	173	385
17,4	283	598
29,0	549	636

For mange væksthuskulturer giver et vækstlystilskud til moderplanter om vinteren, desuden en bedre roddannelse, bedre sideskudsbrydning og øget vækst af den rodfæstede stikling. Et eksempel herpå er vist for i figur 4.3. Et sammendrag af en del forsøgsresultater med vækstlystilskud til moderplanter er vist i tabel 4.7. Stiklinger af de fleste urteagtige væksthusplanter får som regel bedre roddannelse ved stigende indstråling til moderplanter, hvorimod roddannelsen i stiklinger af træagtige planter som regel bliver ringere ved høj indstråling. Det er dog vigtigt her at understrege,

Figur 4.3. Virkning af stigende indstråling (7,2, 14,5 og 29,0 W m⁻² PAR) til moderplanter på roddannelse og videre vækst af rodfæstede stiklinger af *Dendranthema* 'Horim'. Øverst: Rodfæstede stiklinger efter 2 uger ved 18°C luft- og 21°C substrattemperatur. Nederst: Rodfæstede stiklinger dyrket i 4 uger ved 18°C i væksthus.



at de sædvanligvis beskedne vækstlystilskud til moderplanter om vinteren ikke fremkalder nævneværdige negative virkninger på roddannelsen. De positive virkninger ved øget stiklingeproduktion og bedre stiklingeekvalitet opvejer mange gange en evt. beskedne reduktion af roddannelsen.



Tabel 4.7. Virkning på roddannelse og videre vækst af vækstlystilskud til moderplanter og stiklinger. + = positiv virkning på roddannelsen, sideskudsbrydning og videre vækst af stiklingerne, 0 = ingen virkning, -= negativ virkning.

Planteart	Rod- dannelse	sideskuds- brydning	videre vækst
A. Moderplantebehandling			
<i>Begonia-Elatior</i> -hybrider	+		+
<i>Begonia cheimanthia</i>	+	?	+
<i>Chrysanthemum</i>	+	+	+
<i>Campanula isophylla</i>	+	+	+
<i>Dianthus</i> sp.	+	+	+
<i>Euphorbia</i> (poinsettia)	+	+	+
<i>Hedera</i>	+		+
<i>Hibiscus</i>	0 eller -		
<i>Kalanchoe</i>	+	+	+
<i>Pelargonium</i>	- eller +	?	+
<i>Rhododendron</i>	-		
Mange vintergrønne og træagtige planter	-		
B. Stiklingebehandling			
<i>Begonia-Elatior</i> -hybrider bladstiklinger	?	+	+
topstiklinger	+	+	+
<i>Begonia cheimanthia</i> bladstiklinger	+		
topstiklinger	+		
<i>Campanula isophylla</i>	+	+	+
<i>Dianthus</i>	+	+	+
<i>Euphorbia</i> (poinsettia)	+	+	+
<i>Pelargonium</i>	+ eller 0		+
<i>Rosa</i>	+	+	+

5. Vekselvirkninger mellem kunstlys og andre vækstfaktorer.

Leiv M. Mortensen og Niels Erik Andersson

Temperatur.

Fotosyntese og plantevækst sker indenfor et stort temperaturområde. Optimums temperaturen er forskellig fra planteart til planteart, men ligger for de fleste væksthuseplanter mellem 15 og 25°C. Temperaturen har indflydelse på en lang række processer i planter.

Lufttemperatur.

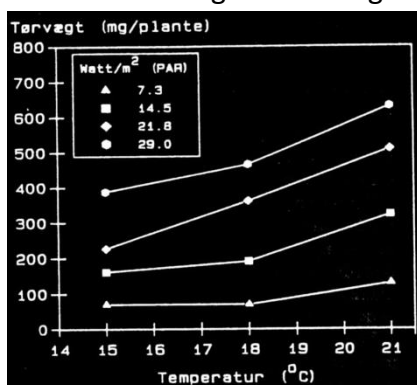
Den optimale lufttemperatur for fotosyntese er afhængig af plantearten. Fotosyntesehastigheden stiger generelt med temperaturen, men stigningen er ikke retlinjet. Når optimums temperaturen er nået, vil en stigning i temperaturen ikke længere øge fotosyntesehastigheden. Årsagen er, at både respirationen og fotorespirationen stiger kraftigere end fotosyntesen. Med stigende temperatur bruges mere energi til respirationsprocesserne. Energien henter planterne fra fotosynteseprodukterne.

Ved temperaturer omkring 10°C er fotosyntesehastigheden lav for de fleste planterarters vedkommende, og dannelse og udvikling af nye blade sker meget langsomt. Efter en længere periode med lav temperatur ophobes fotosynteseprodukterne (sukker, stivelse etc.) i de gamle blade, hvilket medfører en nedgang i fotosyntesehastigheden.

Ved høje temperaturer aftager væksthastigheden og ved temperaturer på 40 til 50°C går livsprocesserne i planten helt i stå, fordi enzymerne ødelægges. Hvor høj temperatur en plante kan tåle, er stærkt afhængig af indstråling og luftfugtighed. Ved stigende indstråling stiger transpirationen, fordi indstrålingen medfører en stigning i vævstemperaturen. Den større transpiration kan medføre, at vandoptagelsen ikke kan følge med vandforbruget, og planten mister saftspændingen. I perioder, hvor der gives kunstlystilskud, er den totale indstråling normalt så ringe, at der næppe kan opstå problemer med utilstrækkelig vandoptagelse.



For at opnå en optimal udvikling skal der være et passende forhold mellem indstråling og temperatur. Øges indstrålingen, vil det indenfor visse rammer også være fordelagtigt at øge temperaturen. Figur 5.1 viser denne sammenhæng hos issalat. En forøgelse af temperaturen havde ringe indflydelse på tørstofproduktionen ved 7,3 W m⁻² PAR og kvaliteten blev forringet, fordi bladene blev længere og smalle. Ved højere indstråling var der en gunstig virkning af en forøgelse af temperaturen. Generelt bør tilstræbes den lavest mulige temperatur, uden at det medfører en reduktion af væksthastigheden, hvilket vil sige i dannelsen af nye blade. Er temperaturen højere end nødvendig, fører det til uønsket strækningsvækst, og kvaliteten forringes. Tallene i tabel 5.1 viser en tendens til stigende optimums temperatur for væksthastighed ved stigende indstråling.



Figur 5.1. Virkningen af indstråling (W m⁻² PAR) og temperatur på tørvægten af issalat tre uger efter prikling. Lampetype: lysstofrør type TL 33 (Guttormsen og Moe 1979).

Tabel 5.1. Virkning af temperatur og indstråling på den gennemsnitlige relative væksthastighed (mg-1 pr. dag) hos tomatsorten 'Rianto'. Tørvægten ved start var 0,04 g og dyrkningstiden var 22 dage ved 18 timers daglængde. Lampetype: lysstofrør type TL 33.

Indstråling W m ⁻² PAR	Temperatur, °C		
	16	20	24
10,5	122	115	121
31,5	169	200	203
52,5	211	244	272

Bladtemperatur.

De biokemiske processer i planten er afhængige af vævstemperaturen og dermed af indstrålingsforholdene. De største forskelle mellem bladtemperaturen og den omgivende lufts temperatur findes i de øverste bladlag, da de udsættes for den største direkte stråling. Blade, som sidder længere nede i bladmassen, vil have en temperatur, som ligger tæt på den omgivende lufts temperatur. Alt andet lige har planter med små blade eller nåle en lavere temperatur end planter med store blade, og sukkulente blade har højere temperatur end tynde blade.

Temperaturstigningen i bladet afhænger også af strålingens indfaldsvinkel. Hos planter med vandrette blade stiger temperaturen mere end hos planter med oprette blade, fordi indstrålingen trænger dybere ned i en bladmasse af opretvoksende blade og derved fordeles på et større bladareal. Også når der gives kunstlys, bliver bladtemperaturen højere, fordi der tilføres strålingsenergi til bladet.



Glasfladens temperatur påvirker bladtemperaturen. I et opvarmet væksthuse er glassets temperatur lavere end lufttemperaturen i huset og højere end udeluftens temperatur. I de tilfælde, hvor energitabet ved varmestråling til glasset er større end energitilførslen fra solen eller lysanlægget, bliver bladtemperaturen lavere end lufttemperaturen. Sådanne situationer kan forekomme, hvis der ikke er gardiner i huset, eller når gardinerne trækkes fra om morgenen. Er bladens temperatur lavere end den omgivende lufts temperatur, er der fare for kondensdannelse på bladene (nedslag) og dermed øget risiko for svampeangreb.

Rodtemperatur.

Fotosyntese hastigheden er meget lidt påvirket af rodtemperaturen indenfor et bredt temperaturområde fra 15 til 30°C, men fotosyntese hastigheden falder meget kraftigt, når rodtemperaturen kommer under 10°C. Overstiger rodtemperaturen derimod 40°C i en kortere periode, vil det kun medføre en mindre nedgang i fotosyntese hastigheden set i forhold til fotosyntese hastigheden i optimums området.

Rodtemperaturen påvirker imidlertid næringsoptagelsen og dermed indirekte fotosyntese hastigheden. Især begrænses fosforoptagelsen ved lave rodtemperaturer, medens kvælstof- og kaliumoptagelsen er mindre påvirket af temperaturen.

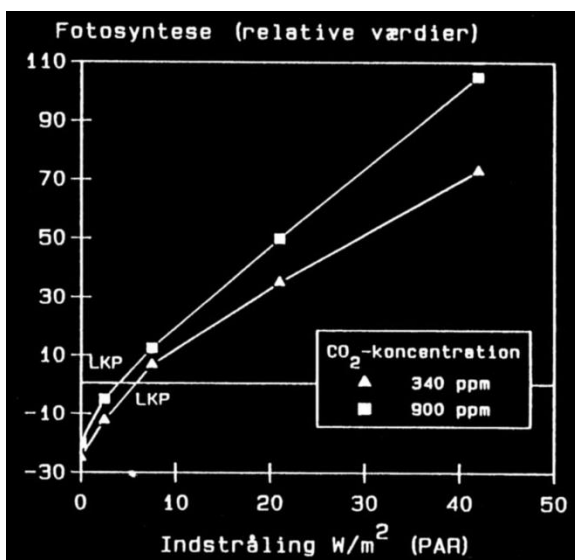
CO₂.

En forøgelse af CO₂ koncentrationen forøger vækst og udbytte hos væksthuskulturer. Indtil for få år siden var det en almindelig opfattelse, at CO₂ kun skulle tilføres under gode lysforhold. I dag ved vi, at forøget CO₂ koncentration også er meget fordelagtig under dårlige lysforhold. Det er især vigtigt at bruge CO₂, når der anvendes kunstlys, fordi kunstlys er lav-indstråling sammenlignet med indstrålingen i sommerhalvåret.

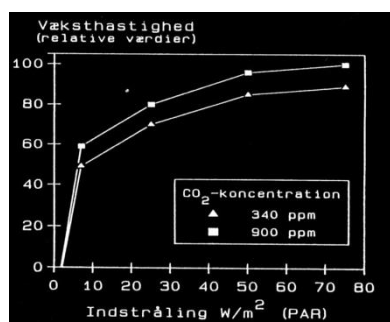
I fotosyntese processen kan det enzym, som reagerer med CO₂ i fotosyntesen, også binde O₂ (ilt). Herved fremmes fotorespirationen på bekostning af fotosyntesen. Ved at tilføre CO₂ forskydes ligevægten mellem CO₂ og O₂, og fotosyntesen stiger, medens fotorespirationen falder.

Fotorespirationen reducerer fotosyntesen med 30 til 50%. For at reducere dette tab er en forøgelse af CO₂ koncentrationen også nødvendig ved lav indstråling. Som det fremgår af figur 5.2, forskydes lyskompensationspunktet ved CO₂ tilskud. Dette gør sig gældende for praktisk taget alle væksthusplanter. Lyskompensationspunktet er den indstråling, hvor fotosyntese og respiration opvejer hinanden. Der sker således ingen nettoforøgelse af fotosyntese produkter

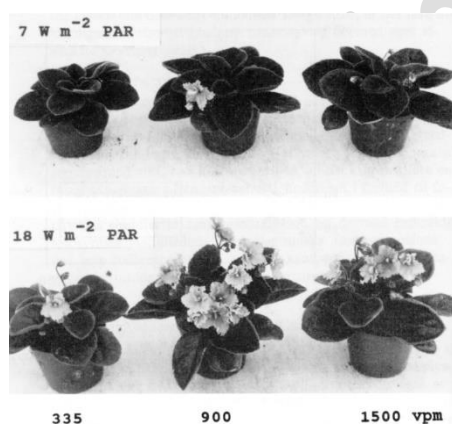
ved lyskompensationspunktet. En forøgelse af CO₂ niveauet kan medføre en bedre udnyttelse af indstrålingen, som vist i figur 5.3 og 5.4.



Figur 5.2. Fotosyntese hos roser ved forskellig indstråling og normal og høj CO₂ koncentration. LKP viser lyskompensationspunktet ved normal og høj CO₂ koncentration. Lampetype: lysstofrør type TL 33.



Figur 5.3. Relativ væksthastighed hos *Begonia x hiemalis* ved stigende indstråling og to CO₂ niveauer. Med væksthastighed menes tilvæksten i tørstof pr. g plantemateriale pr. dag. CO₂ tilskud øgede væksthastigheden med 15-20%. Lampetype: lysstofrør type TL 33.



Figur 5.4. Virkning af CO₂ og indstråling på *Saintpaulia ionantha*. Lampetype: lysstofrør type TL 33. CO₂ tilskuddet fremmer både vækst og udvikling af blomster ved begge indstrålinger. Der opnås ikke større virkning ved at øge CO₂ koncentrationen fra 900 til 1500 ppm.

En højere CO₂ koncentration bevirker altså, at planten kan vokse under dårligere lysforhold. Under dårlige lysforhold medfører CO₂ tilskud desuden ofte en bedre plantekvalitet, f.eks. flere skudbrydninger. En anbefalet CO₂ koncentration er 600-700 ppm uanset indstråling. Nyere undersøgelser har vist, at det ikke er hensigtsmæssigt at øge CO₂ koncentrationen med stigende indstråling.

Luftfugtighed

Planter, der er dyrket ved lav indstråling af kunstlys, vokser ofte hurtigere ved høj relativ luftfugtighed (90-95%) end ved lav (under 70%). Den direkte virkning af høj luftfugtighed på fotosyntesehastigheden er ubetydelig, men luftfugtigheden påvirker bladenes udviklingshastighed og størrelse. Ved høj luftfugtighed bliver planten ofte af dårlig kvalitet på grund af øget strækningsvækst og holdbarheden er også ofte forringet.

Ved lav indstråling og høj luftfugtighed er der fare for næringsmangel fordi transpirationen er lille og næringsoptagelsen derfor utilstrækkelig. Under sådanne forhold bør næringskoncentrationen i vandingsvandet øges for at sikre en tilstrækkelig optagelse.

Indstråling og transpiration.

Når planter udsættes for høj indstråling, bliver bladtemperaturen højere end den omgivende lufttemperatur. Varmestrålingen fra et lysanlæg vil også hæve bladtemperaturen, men ikke så meget som



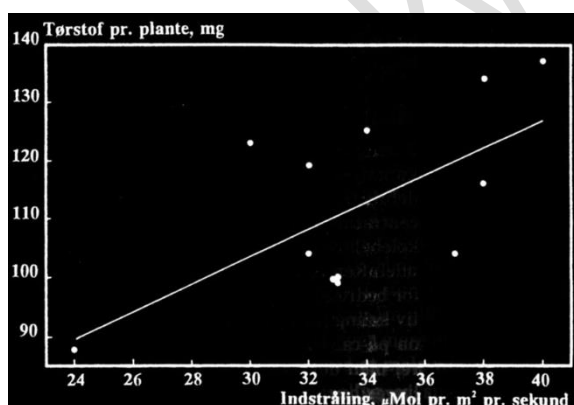
naturlig indstråling. I de perioder, hvor der anvendes kunstlys, er indstrålingen som regel så lav, at vandforbruget til transpiration ikke overskrider planternes optagelseskapalet. Kun på frostklare dage med høj naturlig indstråling kan det være nødvendigt at skygge eller overbruse småplanter for at opretholde planternes vandbalance. Hvis planterne mister saftspændingen, udnytter de kunstlyset meget dårligt den følgende nat.

Kunstlys og CO₂.

Forsøg har vist en meget kraftig positiv vekselvirkning mellem kunstlystilskud og forhøjet CO₂ koncentration. Anvendes ude luft til køling er det urealistisk at holde forhøjet CO₂ koncentration i gro-rummet. Ved en installation på 100 W m⁻² er kølebehovet ca. 138 m³ frisk luft pr. time pr. m² bedareal, hvis udeluften er 2°C koldere end luften i gro-rummet. Det er derfor bedre at bruge recirkulation af luften i forbindelse med aktiv køling (brug af kølemaskine) og holde en CO₂ koncentration på ca. 1000 ppm. Etableringsomkostningerne bliver større, men der kan opnås et bedre dyrkningsresultat, idet stiklinger hurtigere danner rod, og rodantallet pr. stikling forøges ved forhøjet CO₂ koncentration. Ved overførsel af vævsformerede planter fra kolber, til vokse medium øges overlevelseshesprocenten og rodudviklingen, når det foregår i gro-rum ved konstant lav indstråling kombineret med forhøjet CO₂ koncentration. En m³ atmosfærisk luft indeholder ca. 650 mg CO₂, og planternes optagelse er i størrelsesordenen 1500 mg m⁻² pr. time. Ved recirkulering og køling af luften i et gro-rum uden tilsætning af CO₂ kan koncentrationen derfor på kort tid falde til under 100 ppm, og planterne vil lide alvorligt af CO₂ mangel. En koncentrationsstyret CO₂ tilførsel er derfor en forudsætning for et godt resultat.

Lyskilder.

Til gro-rum med hylder kan der af tekniske grunde kun anvendes lysstofrør, som har den fordel, at de har en stor overflade, og overfladetemperaturen bliver derfor lav. Der er således ingen risiko for svidning, selvom planterne kommer i berøring med rørene. De fleste lysstofrør udsender megen blå stråling, men næsten ingen langrød stråling og fremkalder derfor ringe strækningsvækst. Lysstofrørs egnethed til plantedyrkning afhænger af deres evne til at omdanne forbrugt energi til fotosynteseaktiv stråling og af



Figur 6.4. Tomatplanterers tørstofproduktion i gro-rum under forskellige lysstofrør. Der er installeret samme antal W m⁻², men både den målte indstråling og tørstofproduktionen varierer meget. Forskellen i planternes tørstofproduktion ved samme indstråling tilskrives forskelle i den spektrale energifordeling.

strålingens spektrale energifordeling. De såkaldte "plantelysrør" udsender stråling med en god spektral energifordeling. Deres evne til at omdanne forbrugt energi til fotosynteseaktiv stråling er imidlertid ringe,



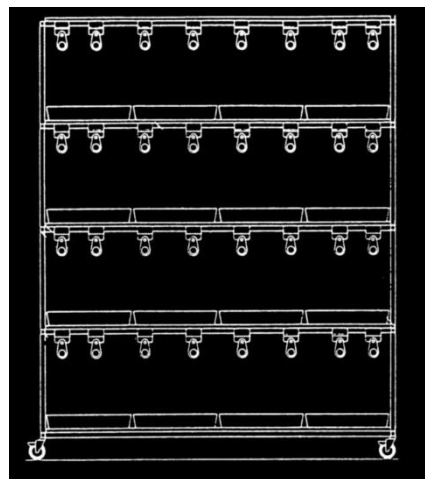
og lyskvaliteten kan ikke opveje deres ringe udnyttelse af den forbrugte energi. Der kan undertiden opnås en produktionsforøgelse ved at give et tilskud af glødelampelys svarende til ca. 10 % af den installerede wattmængde, men den langrøde stråling fra glødelamperne fremkalder strækningsvækst.

Produktionsforøgelsen betales derfor ofte med en kvalitets forringelse. Enkelte forsøg har antydnet, at ikke alle plantearter gror bedst under samme rørtype, men indtil der foreligger mere overbevisende resultater, anbefales det at anvende Philips type TLD 33, TLD 83 eller tilsvarende typer af andet fabrikat. Disse rørtyper har ved tiltrækning af småplanter på overbevisende måde givet størst tilvækst og den bedste plantekvalitet (se tabel 7.8).

Lysstofrørene monteres på tværs af dyrkningsbedet eller hylderne for at begrænse randtabet (figur 6.5). Er dyrkningsarealet 130 cm bredt, anvendes 36 watt rør (120 cm), og til 180 cm brede arealer anvendes 65 watt rør (150 cm). Anvendes 3 rør pr. løbende meter bed, svarer det til en installation på 108 W m⁻². I et renholdt gro-rum med reflekterende flader kan de installerede 108 W m⁻² frembringe en indstråling på ca. 11 W m⁻² PAR regnet efter en 20 % nedgang i effektivitet på grund af ælde. Det svarer til ca. 3700 lux eller 50 µmol m⁻² S⁻¹. Dette er erfaringsmæssigt en ideel indstråling til småplanter. For at få samme indstråling ved bedets ender som midt på bedet monteres de yderste to rør med halv afstand (figur 6.2). For at opnå helt ensartede lysforhold kan der desuden for enderne af de tværgående rør monteres et rør i bedets længderetning.

For at få en jævn belysning må rørafstanden ikke være væsentligt større end monteringshøjden over planterne. Det er vigtigt at anvende armaturer med indbygget reflektor eller male den overliggende hylde underside med en stærkt reflekterende og holdbar maling. Det begrænser lystabet og hindrer en lokal opvarmning af den overliggende hylde.

Lysstofrørenes effektivitet aftager med alderen, og derfor bør de udskiftes efter et fast program for at holde en nogenlunde konstant indstråling (se kapitel 8). Ved at udskifte hvert andet rør efter 3000 brændtimer vil indstålingen bevæge sig mellem



Figur 6.5. Lodret snit gennem reolvogn med lysstofrør monteret på undersiden af hylderne. De yderste lysstofrør er monteret med mindre indbyrdes afstand end de øvrige for at give ensartet indstråling p& hele dyrkningsfladen (efter SBI-Meddelelse 63: Gro-rum. Et demonstrationsprojekt.1987).

95 og 85 % af maksimalindstrålingen. Denne variation i indstråling har ikke større praktisk betydning.

Til gro-rum uden hylder kan lyskilderne monteres over et glasloft (termoruder), hvilket reducerer ventilationsbehovet i gro-rummet (figur 6.2). Den bedste lyskilde til loftsmontage er halogenkviksløvlampen (Philips HPI-T, Osram HQI-T eller tilsvarende), der giver stor tilvækst og kompakte planter af høj kvalitet. For at få ensartet belysning anbefales 400 watt enheder, evt. kombineret med 1000 watt



enheder langs yderkanten i store gro-rum, eller mindre afstand mellem 400 watt enhederne. Ved at dyrke planterne på borde i stedet for direkte på gulvet mindskes afstanden til lamperne, og randtabet begrænses. Det anbefales at installere ca. 100 W m⁻² til småplanter eller stiklinger og 125-150 W m⁻² til moderplanter.

Højtryks-natriumlamper udsender stråling med en betydelig overvægt i det gule område af spektret. Manglen på især blå og rød stråling fremkalder strækningsvækst og giver derfor en utilfredsstillende plantekvalitet i gro-rum.

Plantedyrkning.

Lys til småplanter.

Generelt er mange timer med lav indstråling bedre end færre timer med høj indstråling. Det er også billigere i både installation og drift. Mange småplanter kan med fordel belyses hele døgnet, men der findes undtagelser. Tomat tåler f.eks. ikke konstant lys, men kræver mindst 6 timers mørke pr. døgn (se kapitel 4). Forsøg med bregne småplanter har vist, at samme indstrålingssum (indstråling x tid) fordelt over 24 timer resulterede i dobbelt så stor tilvækst som 6 timers daglængde ved den 4 dobbelte indstråling.

Andre forsøg har vist, at der ikke blev opnået større tilvækst ved 24 timers lys end ved 20 timer (se kapitel 4). Det kan f.eks. være tilfældet ved for høj indstråling, så planterne trættes. I så tilfælde bør indstrålingen og ikke daglængden nedsættes. Der er tilsyneladende en betydelig forskel mellem forskellige arters evne til at udnytte konstant lysklima. Derfor bør der ved masseproduktion af en enkelt art gennemføres forsøg, for at finde den optimale daglængde. Hvis der indføres en mørkeperiode, bør det af tekniske grunde ikke ske samtidig i hele gro-rummet.

Lys til stiklinger

Stiklinger danner hurtigere og flere rødder under optimale lysforhold i gro-rum end under skiftende klimabetingelser i væksthuse. I fremtiden må derfor forventes stigende anvendelse af gro-rum til vegetativ formering af planter, der erfaringsmæssigt vanskeligt danner rod. Roddannelsen er optimal ved en bestemt indstråling, og selv beskedne afvigelser fra optimalværdien forringer roddannelsen. Vanskeligheden ligger i, at arterne ikke har optimal roddannelse ved samme indstråling, ligesom stiklingernes modenhedsgrad antagelig har indflydelse (se kapitel 4). For at finde den optimale indstråling for en bestemt art anbefales det at prøve med 6 W m⁻² PAR (2000 lux eller 28 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ ved brug af Philips lystofrør type TLD 33, TLD 83 eller tilsvarende rørtyper af andet fabrikat) samt en højere og evt. en lavere værdi, indtil den rigtige indstråling er fundet. Antallet af rødder på stiklingerne stiger også med belysningstiden. Hos Comus stiklinger er f.eks. fundet 9 rødder ved en 9 timers lysperiode mod 24 rødder ved 24 timer. Er indstrålingen lav, dannes få, lange, skøre rødder, der let beskadiges ved ompotningen. Er indstrålingen optimal, danner stiklingerne mange, korte rødder, der danner en klump. Ved høj indstråling dannes mange, meget korte rødder, der minder om rødder udviklet under udtørring, og stiklingerne har vanskeligt ved at skabe nyvækst efter ompotning.

6. Lyskilder.

Aage Andersen

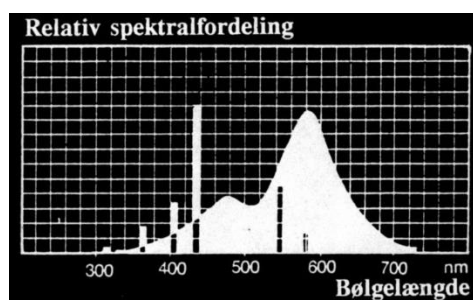
Enhver lyskilde, der producerer synlig stråling, påvirker planters vækst og udvikling. Virkningen afhænger af strålingens spektrale energifordeling og lampens evne til at omdanne forbrugt energi til fotosynteseaktiv stråling. Siden Thomas Edison i 1879 fremstillede den første glødelampe, er der sket en voldsom udvikling,



og i dag er der et uoverskueligt antal lampetyper med forskellige egenskaber at vælge imellem.

Lysstofrør.

Lysstofrør er i princippet en lavtryks-kviksølvlampe, som består af en rørformet kolbe med en fluorescerende indvendig pulverbelægning. Røret indeholder kviksølvdampe, der ved strømgennemgang udsender ultraviolet stråling, som den fluorescerende belægning omdanner til fotosynteseaktiv stråling. Lys kvaliteten afhænger af belægningens kemiske sammensætning, hvilket muliggør fremstilling af rørtyper med stærkt varierende spektral energifordeling. Lysstofrør udsender stråling, der er jævnt fordelt over hele røroverfladen og giver derfor mindre varmeevirkning end punktlýsgivere, fordi varmeafgivelsen sker over så stor en flade. Ulempen ved lysstofrør er, at lysudbyttet er ringe i forhold til lampernes størrelse. Hvor lysstofrør anvendes i væksthuse, bliver skyggevirkningen derfor stor i forhold til punktlýsgivere.



Figur 7.8. Relativ spektral energifordeling for lysstofrør (Philips TL 33).

De mest effektive lysstofrør til gro-rum er i øjeblikket Philips type TLD 33 (figur 7.8) og TLD 83 eller tilsvarende typer af andet fabrikat. De nævnte rør har ved småplanteproduktion i gro-rum givet den største tilvækst og den bedste plante kvalitet (tabel 7.8). Det har været forsøgt at forbedre strålingens spektrale energifordeling ved at anvende to forskellige lysstofrør i dobbeltarmaturer, men bortset fra TLD 33 og TLD 83 har blandingslyset i intet tilfælde givet bedre resultat end det bedste af de to rør anvendt alene. De specielle "plantelysrør" har en særdeles god spektral energifordeling, men lys kvaliteten kan ikke opveje deres ringe evne til at omdanne forbrugt energi til fotosynteseaktiv stråling. Plantetilvæksten bliver derfor mindre end ved anvendelse af ovennævnte lysstofrør. Lysstofrør kan anvendes til vækstlys i væksthuse og i gro-rum. Lysstofrør kan også anvendes til blomstringsregulering af kortdagsplanter, men de er mindre effektive til langdagsplanter.

7. Armaturer.

Steen Traberg-Borup



Lysfordeling og ophængningshøjde.

Lysfordeling og ophængningshøjde er to vigtige faktorer, ved installation af et lysanlæg. Projektering af et helt nyt anlæg overlades ofte til en installatør, der ud fra væksthushets dimensioner foretager en computerberegning af lysanlægget. Vil man selv foretage projekteringen, kan man prøve sig frem, eller man kan indhente oplysninger om armaturerne hos fabrikanten.

Principielt kan man opgive data om lysfordeling og ophængningshøjde på tre forskellige måder:

- 1) Lysfordelingskurve
- 2) Isoluxdiagram
- 3) Relativt isoluxdiagram.

Inden man bruger lysfordelingskurver og isoluxdiagrammer, bør man kaste et blik på teorien bag disse.

Det fotometriske system.

Inden for lysteknikken anvendes tre begreber: lysstrøm, lysstyrke og belysningsstyrke (tabel 8.1).

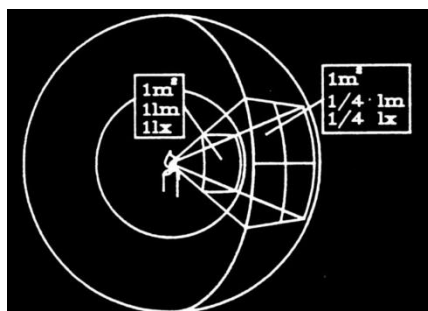
Betegnelse	Symbol	Enhed	Forkortelse
Lysstyrke	I	candela	cd
Lysstrøm		lumen	lm
Belysningsstyrke	E	lux	lx

Lysstrømmen er den samlede lysmængde, der pr. sekund strømmer i alle retninger fra en lyskilde. Lysstrømmen måles i lumen (lm), og angives med det græske bogstav Φ (Fi).



Figur 8.1. Anbringes en lyskilde, hvis lysstyrke i alle retninger er 1 cd, i centrum af en kugle med radius 1 m, vil hver m² af kuglens overflade rammes af en lysstrøm på 1 lm.

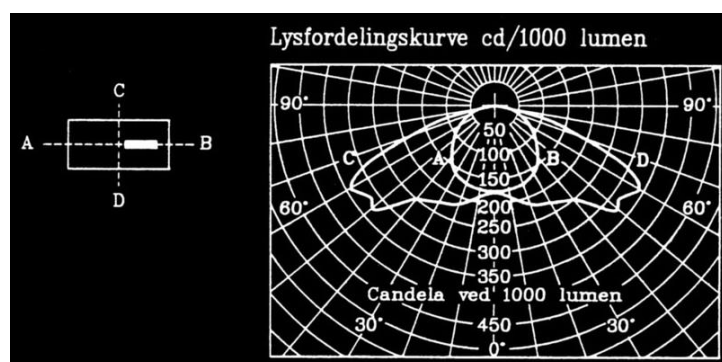
Lysstyrken måles i candela (cd) og angives med bogstavet I. Anbringes en lyskilde, hvis lysstyrke i alle retninger er 1 cd, i centrum af en kugle med radius 1 m, vil hver kvadratmeter af kuglens overflade rammes af en lysstrøm på 1 lm (figur 8.1).



Figur 8.2. øges kuglens radius til det dobbelte, vil dens overflade blive øget til det firedobbelte, og den lys strøm, der nu rammer 1 m², vil være faldet til en fjerdedel. Det samme gælder for belysningsstyrken. Belysningsstyrken aftager med kvadratet på afstanden.

Til sammenligning kan det nævnes, at lysstrømmen fra en stearinlysflamme er ca. 1 lm, og lysstrømmen fra en 400 W højtryks-natriumlampe er 47000 lm.

Rammes en flade af en bestemt lysstrøm, er belysningsstyrken, som måles i lux og angives med bogstavet E, lig med lysstrømmen divideret med fladens areal i m² lm pr. m²). Figur 8.2 viser sammenhængen mellem lysstyrke, lysstrøm og belysningsstyrke. Det ses heraf, at belysningsstyrken lux) afhænger af afstanden til lyskilden. øges radius i kuglen til det dobbelte, 2 m, vil kuglens overflade blive øget til det firedobbelte, og den lysstrøm lm), der nu rammer 1 m², vil være faldet til en fjerdedel og belysningsstyrken lux) vil derfor ligeledes være faldet til en fjerdedel. Det fremgår heraf, at belysningsstyrken aftager med kvadratet på afstanden til lyskilden.



Figur 8.3. Lysfordelingskurve for et typisk væksthushusarmatur med en lyskilde, der afgiver en lysstrøm på 1000 lm. Til venstre ses et armatur med retningsangivelse i bogstaver (se også figur 8.5).

Lysnedgang og vedligeholdelse af armaturer.

Enhver lyskildes lysstrøm vil formindskes i løbet af dens levetid. Ved beregning af et belysningsanlæg udregnes på grundlag af en ønsket middelbelysningsstyrke den lysstrøm, der skal udsendes af lyskilderne, når anlægget har været i drift i nogen tid (driftsværdien). Derfor må man ved beregningen tage hensyn til, at begyndelsesværdien af belysningsstyrken skal være en del højere end driftsværdien.

Ved indførelse af en såkaldt forringelsesfaktor kan man tage hensyn til nedgangen i belysningsstyrken under brugen.

Ved forringelsesfaktoren forstås forholdet mellem middelbelysningsstyrken i et anlæg efter en bestemt benyttelsestid (driftsværdien) og middelbelysningsstyrken i det samme anlæg som nyt (begyndelsesværdien). Forringelsesfaktoren i væksthuse vil typisk være af størrelsesordenen 0,70 -0,75.

Der findes tre hovedårsager til, at belysningsstyrken falder i løbet af belysningsanlæggets benyttelsestid. I de første timer af lyskildernes levetid vil nedgangen i lysstrømmen være særlig stor. Det er vedtaget internationalt, at den lysstrøm, der opgives i katalogerne er lysstrømmen efter 100 timers drift.

Når lysstrømmen bliver mindre, skyldes det bl.a. en sværtning af udladningsrøret. I de lamper, der har en fluorescerende belægning, er der også en anden grund til, at lysstrømmen bliver mindre, idet der efter langvarig brug sker en fotokemisk reaktion, som langsomt ændrer pulverets evne til at omdanne



udladningsrørets stråling til lys af forskellig bølgelængde. Hurtigst ændres den del af pulveret, der giver det røde lys, og efterhånden som lampen bliver ældre, ændres derfor det udsendte lys, så der kommer mere grønt lys.

Såvel lamper som armaturer vil i tidens løb blive tilsmudsede. Hvor stor lysnedgangen bliver afhænge af, hvorledes armaturets reflektor er orienteret, om armaturet er ventileret, om det er mere eller mindre støvtæt og hvor meget støv, der er i luften. Foruden støv ses ofte spindelvæv og fingeraftryk på den indvendige side af reflektorerne. Armaturer bør rengøres inden den mørke tid og yderligere en gang i løbet af vinteren. Det koster arbejdstid, men det koster også penge at oplyse edderkopper.

Udover tilsmudsning af armaturerne kan der også indtræde varige ændringer, der forårsager en blivende nedgang i lysudsendelsen. Disse ændringer kan skyldes forandringer i refleksionsegenskaberne af de reflekterende flader som f.eks. mattering af blanke reflektorer. Endvidere kan lysgennemskinnelige materials transmission ændres f.eks. ved gulning af materialet.

8. Ordforklaringer.

Ampere: Enhed for elektrisk strøm svarende til ca. 6×10^{18} elektroner pr. sekund.

Candela: Betegnelse for lysstyrke defineret som lysstyrken fra $1/600000 \text{ m}^2$ overflade af et sort legeme med en temperatur svarende til platins størkningstemperatur.

Damplampe: En lyskilde hvor strålingen fremkommer ved en elektrisk udladning i gasser eller metaldampe.

Dagneutral plante: En plante hvor blomstringen er uafhængig af lys-og mørkeperiodens længde.

Einstein: Enhed for den fotosynteseaktive stråling i bølgelængdeområdet 400-700 nm. Svarer til mol. (s.d.).

Erg: Ældre enhed for arbejde eller energi svarende til $1/10000000 \text{ J}$ (10^{-7}).

Fluorescens: Visse stoffers evne til at absorbere stråling og genudsende denne ved en større bølgelængde, f.eks. i lysstofrør.

Footcandle: Engelsk betegnelse for belysning analog til lux og svarende til en lysstrøm på 1 lumen pr. kvadratfod. En footcandle svarer til 10, 76 lux.

Foton: Betegnelsen for den mindste enhed (kvant) af elektromagnetisk stråling. En foton har ifølge Planck's kvanteteori en energi lig produktet af frekvensen og Planck's konstant.

Fotonstrøm: Antal fotoner i bølgelængdeområdet 400-700 nm pr. areal-og tidsenhed, som regel $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (se mol).

Fotoperiodisme: Reaktionen i planter fremkaldt af daglængdeforhold.

Fotoreceptor: Et farvestof der kan absorbere stråling og direkte påvirke plantens udvikling eller transportere lyssignalet videre til andre fotoreceptorer.

Fototropisme: Reaktionen i planter fremkaldt af ensidig bestråling, som kan medføre en bøjning af planten



mod lyset.

Frekvens: Antal bølgebevægelser af strålingen pr. tidsenhed. Ved tidsenheden sekund benyttes enheden Hertz (s.d.).

Fytokrom: Fotoreceptor (s.d.) der bl. andet påvirker blomstring, knop hvile og frøspiring.

Gro-rum: Dyrkningsrum med klimaregulering og udelukkende kunstlys.

Hertz: Enhed for frekvens (s.d.). Hertz er antal bølgebevægelser pr. sekund.

Illuminans: Udtryk i det fotometriske system for belysningsstyrke (lm m^{-2} eller lx).

Infrarød stråling: Stråling med bølgelængde over ca. 800 nm.

Indstråling: Betegnelse i det radiometriske system for bestrålingsstyrke eller irradians der normalt angives i W m^{-2} . Hvis angivelsen kun omfatter stråling mellem 400 og 700 nm tilføjes PAR (s.d.)

Isolux: Linie gennem punkter med samme belysningsstyrke.

Joule: Enhed for arbejde eller energi. En joule er den energi (varme), der udvikles i en modstand på 1 ohm i løbet af 1 sekund af en strøm på 1 ampere.

Kalorie: Ældre enhed for stråling svarende til 4,187 joule.

Kelvin: Enhed for temperatur. En temperatur angivet i kelvin grader svarer til temperaturen i celsius + 273.

Kortdagsplante: En plante der blomstrer eller blomstrer hurtigst, når daglængden er under et bestemt antal timer (kritisk daglængde).

Kryptokrom: Fotoreceptor (s.d.) der registrerer retningen for indkommende stråling og påvirker planten, bl.a. ved at orientere bladene eller kloroplasterne, så der opnås optimal udnyttelse af strålingen (se fototropisme).

Kvant: Den mindste enhed for energi, der ifølge kvanteteorien kun eksisterer i udelelige små "portioner" kvanter. I forbindelse med stråling anvendes betegnelsen foton (s.d.) synonymt med kvant.

Langdagsplante: En plante der blomstrer eller blomstrer hurtigst, når daglængden er over et bestemt antal timer (kritisk daglængde).

Langley: Ældre enhed for indstråling. 1 langley = 1 kalorie cm^{-2} eller 41855 W m^{-2} . Hyppigst anvendt er langley min^{-1} der svarer til $697,6 \text{ W m}^{-2}$.

Lumen: Enhed for lysstrøm, dvs. den lysmængde der udsendes fra en lysgiver pr. sekund. En punktformet lysgiver, hvis lysstyrke i alle retninger er 1 candela, udsender en samlet lysstrøm på ca. 12,57 lumen.

Luminescens: Stråling fra et legeme fremkommet på enhver anden måde end ved høj temperatur. Fluorescens (s.d.) er en speciel form for luminescens.



Lux: Enhed for belysning svarende til en jævnt fordelt lysstrøm på 1 lumen m⁻².

Lys: Betegnelse for elektromagnetisk stråling i bølgelængdeområdet 400-700 nm der kan opfattes af det menneskelige øje.

Lysstrøm: Se lumen.

Lysstyrke: Se candela.

μmol: Mikromol eller myrnol. En milliontedel mol (s.d.)

Mol: Enhed for den fotosynteseaktive stråling i bølgelængdeområdet 400-700 nm. Et mol er 6,023 x 10²³ fotoner svarende til Avogadros konstant.

Monokromatisk stråling: Stråling med samme eller næsten samme bølgelængde (samme farve).

Nanometer: En milliontedel mm (nm: 10⁻⁹ m).

PAR: Photosynthetically Active Radiation. Betegnelse for den fotosynteseaktive stråling i bølgelængdeområdet 400-700 nm.

PPFD: Photosynthetic Photon Flux Density. Fotonstrømmen i bølgelængdeområdet 400-700 nm.

SI-enheder: Internationalt system af måleenheder omfattende syv grundenheder m, kg, sekund, ampere, kelvin, mol og candela samt flere deraf afledte enheder.

Spektrum: Stråling pr. bølgelængdeenhed ved de forskellige bølgelængder indenfor et afgrænset bølgelængdeområde. Et kontinuerligt spektrum har stråling ved alle bølgelængder indenfor området, f.eks. et glødelampespektrum. Et linjespektrum har kun stråling ved bestemte bølgelængder indenfor området, f.eks. en damplampe.

Strålingssum: Indstråling x tid. F.eks. er 20 W m⁻² i 24 timer = 20 x 24 x 3600 = 1,728 mio. W s m⁻² (3600 =time omregnet til sekunder).

Ultraviolet stråling: Betegnelse for stråling med bølgelængder under ca. 400 nm.

Watt: Enhed for effekt svarende til 1 J s⁻¹. 1 watt er den effekt, der afsættes i en modstand på 1 ohm af en strøm på 1 ampere. Afledt enhed er kWh (kilo watt time) svarende til 3600000 joule. Watt =ampere x volt.

Watt-timer: Indstråling x tid. (se strålingssum).

Ångström: Ældre enhed for bølgelængde svarende til 0,1 nm.

