



Ljus i stallmiljö

Torsten Hörndahl

Sofia Lindkvist

Belysning i olika stallmiljöer

Linköping 2019-05-20



SCIENCE AND
EDUCATION **FOR**
SUSTAINABLE
LIFE



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Ljus i stallmiljö

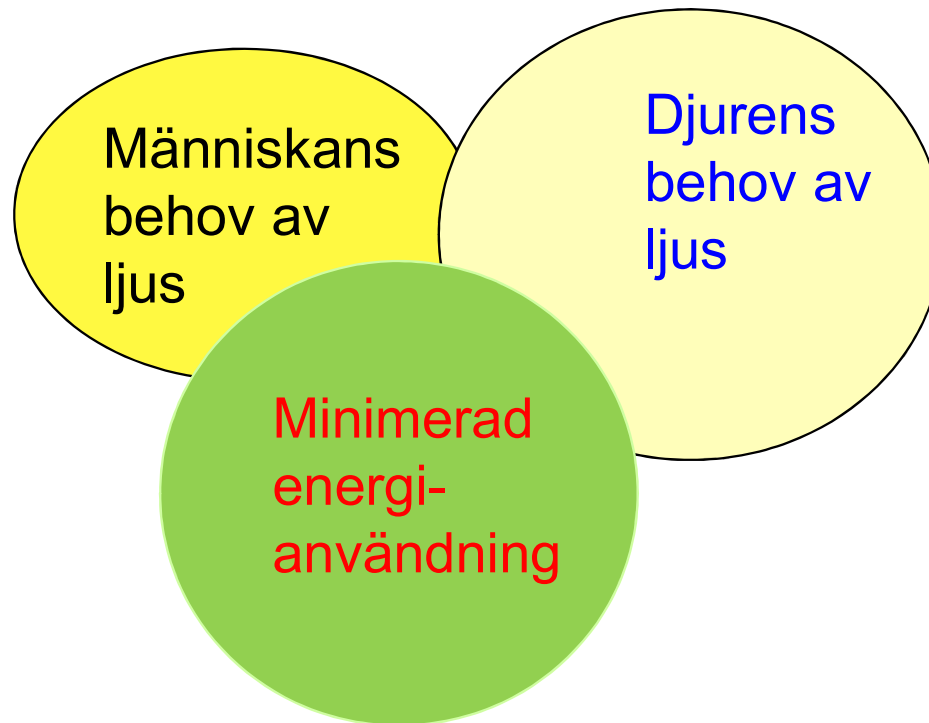
Sofia Lindkvist
Agronom,
Doktorand

Sveriges Lantbruksuniversitet
Ins f Husdjurens Utfodring och
Vård (Uppsala)

Torsten Hörndahl
Agronom,
Universitetsadjunkt

Sveriges Lantbruksuniversitet
Ins f Biosystem och Teknologi
(Alnarp)

Ett komplext problem



Vad är bra ljusmiljö för djur och människor?

Vad säger lagen?

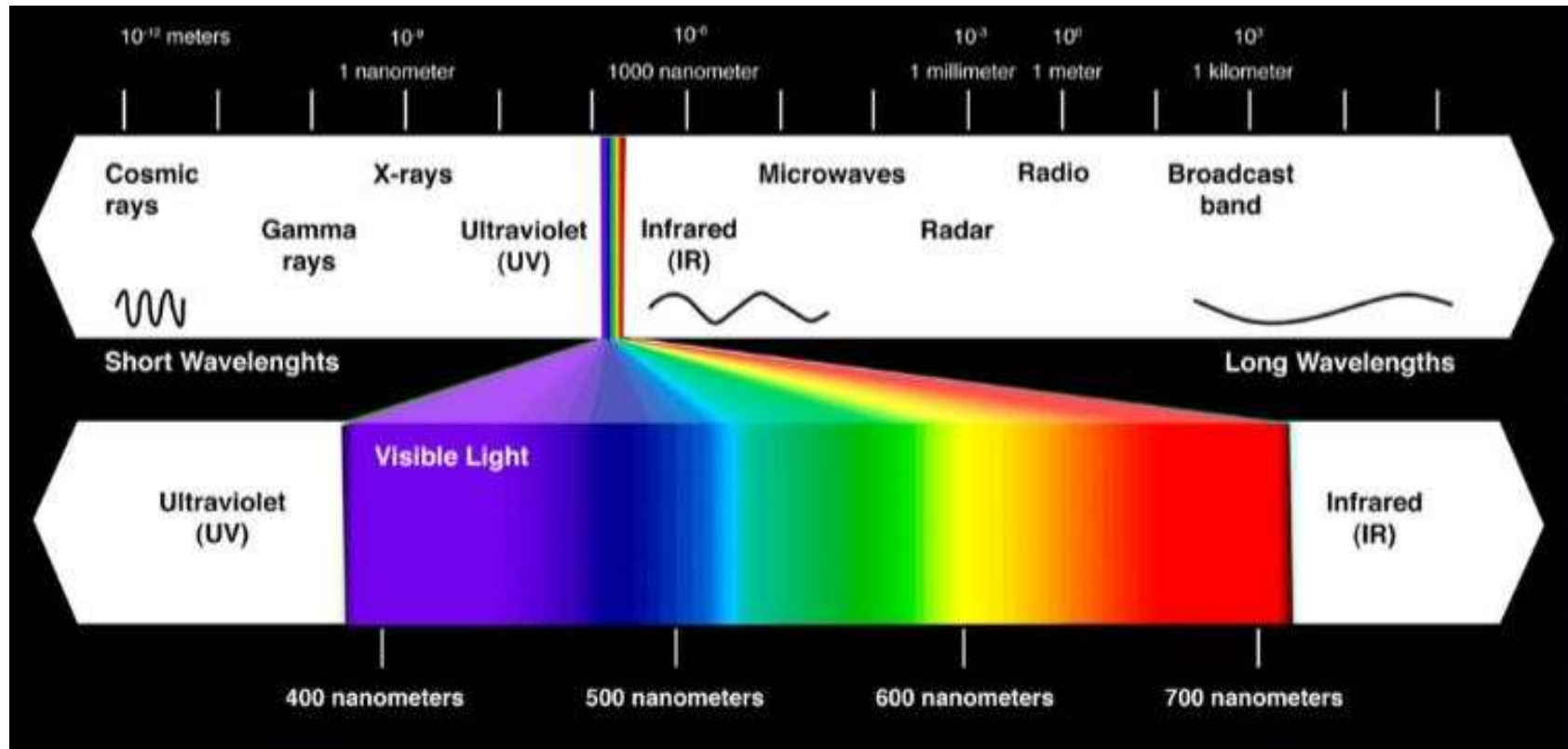
Arbetsmiljö (AFS 2009:2)

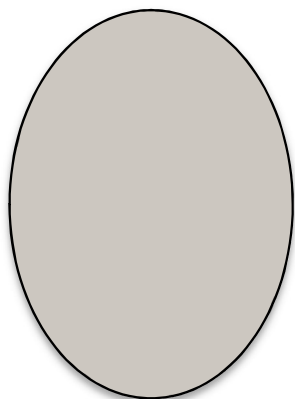
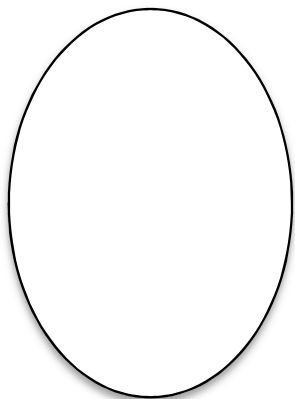
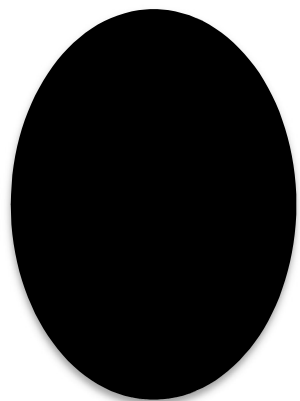
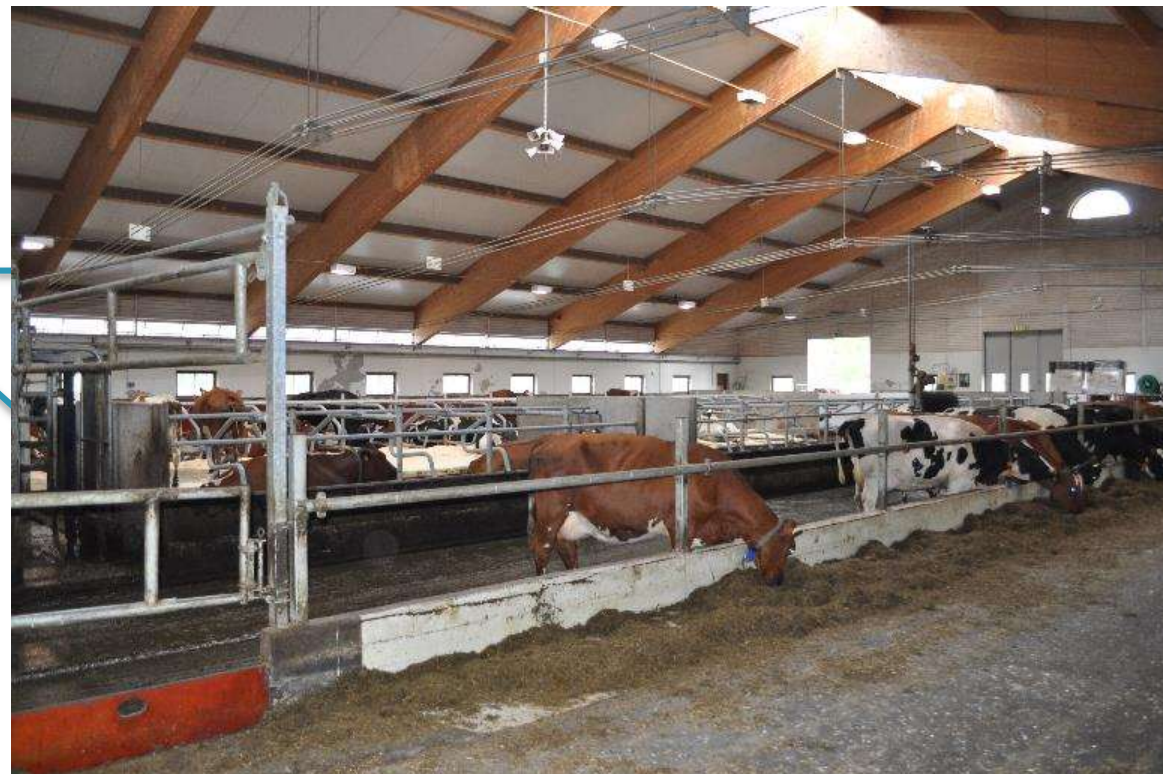
- Förebygga ohälsa och olycksfall
- Anpassas efter arbetsuppgiften (ej blända)
- God färgåtergivning
- Inget flimmer
- Ej Blända

Djurmiljö (SJVS; 2019:17, 2019:18, 2019:20, 2019:23,)

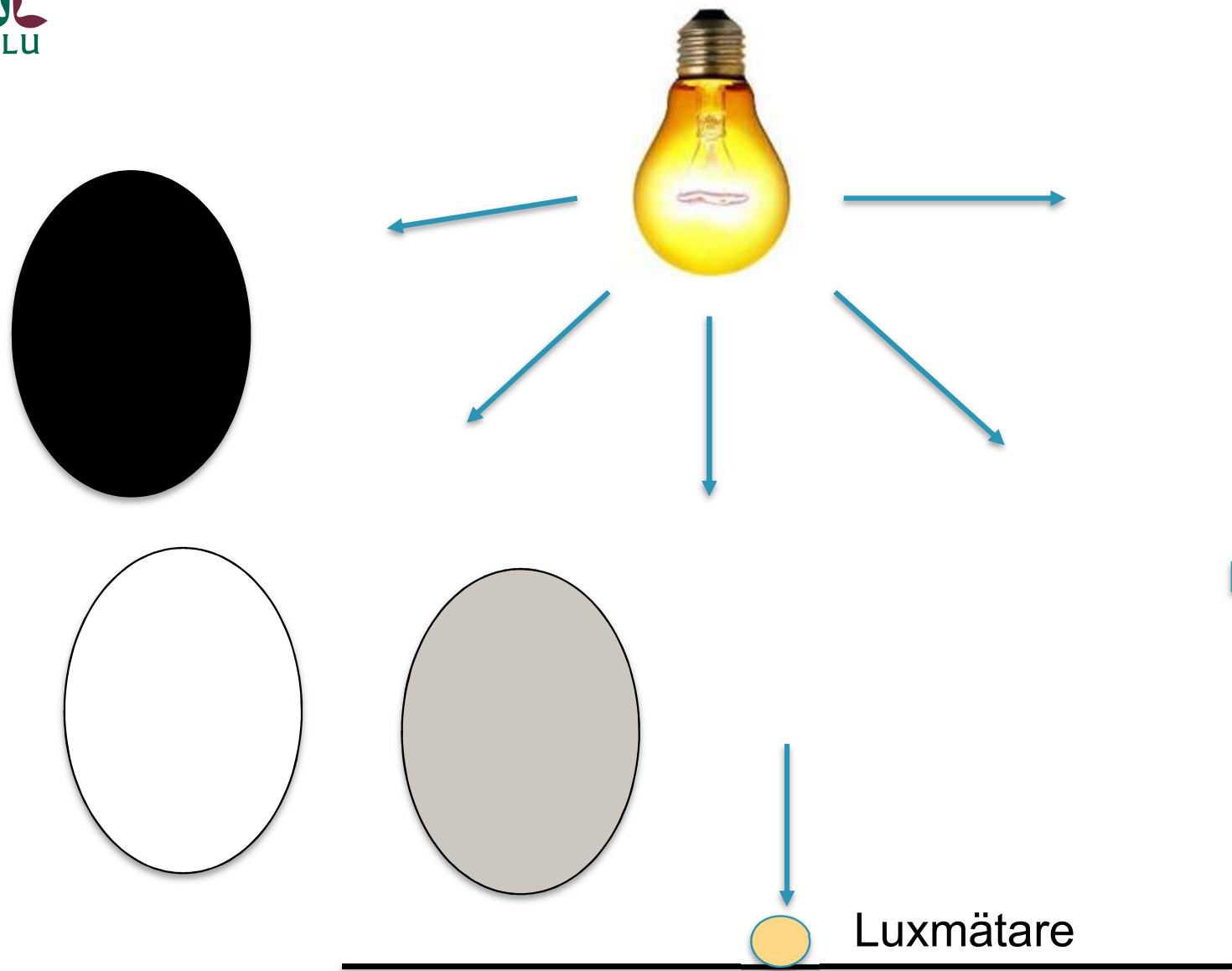
- Stallar ska vara försedda med fast monterad belysning som inte förorsakar djuren obehag och som medger att tillsyn kan utövas utan svårigheter.
- Fönster för dagsljus – stödjer deras dygnsrytm.
- Jämnhet? Mätmetod? etc

Vad är ljus?



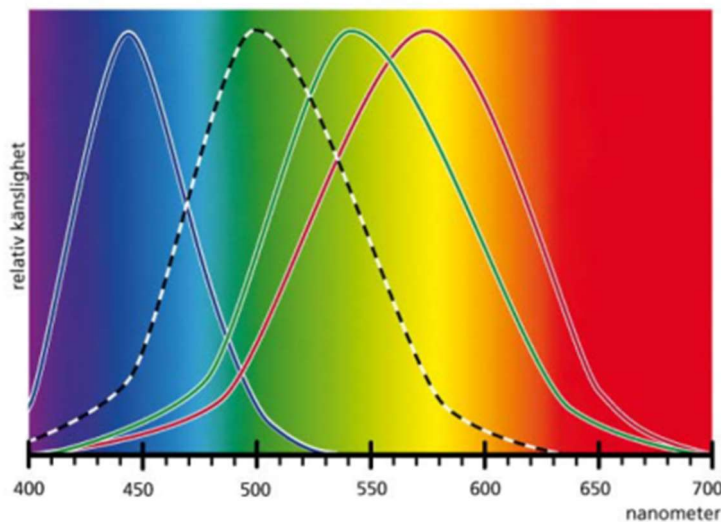


Luxmätare

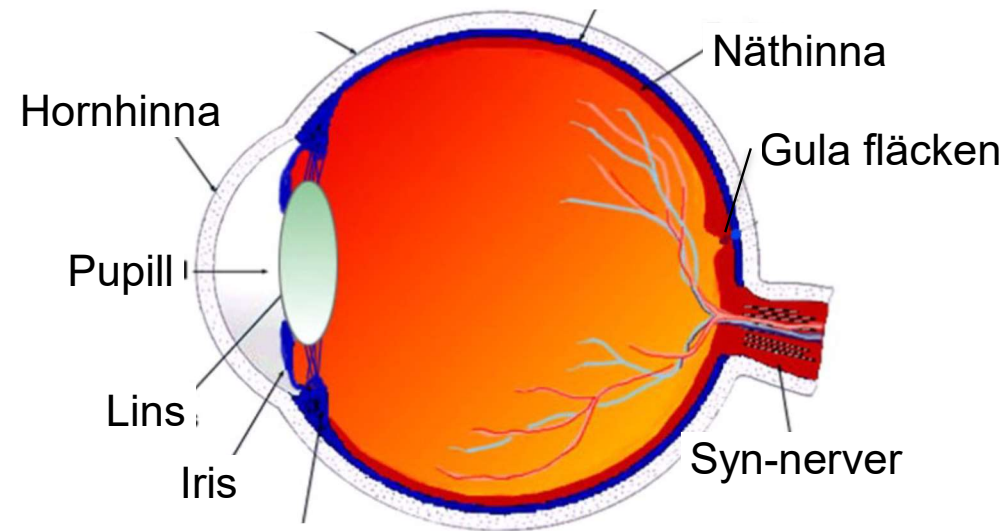


Hur ser människan?

Tappar 3 våglängder
 Samverkar ger oss mest känsliga för grönt ljus
 Stavarna ger mörkerseende



- Receptor för blått ljus
- Receptor för gulgrönt ljus
- Receptor för gulrött ljus
- - Stavar för nattseende

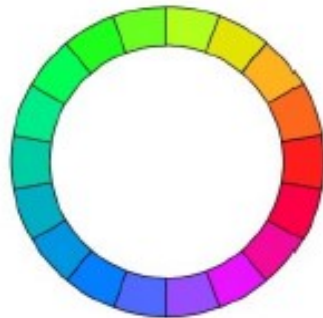


Modified from Kolb.H. CC BY-NC.

Hur ser djur?

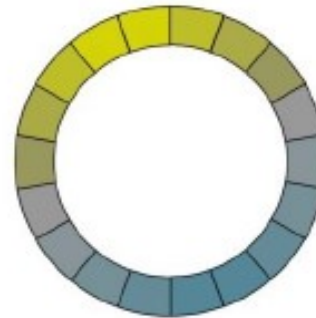
- Synfält
- Synskärpa
- Färgseende (synspektra)

Tri-cromatiskt



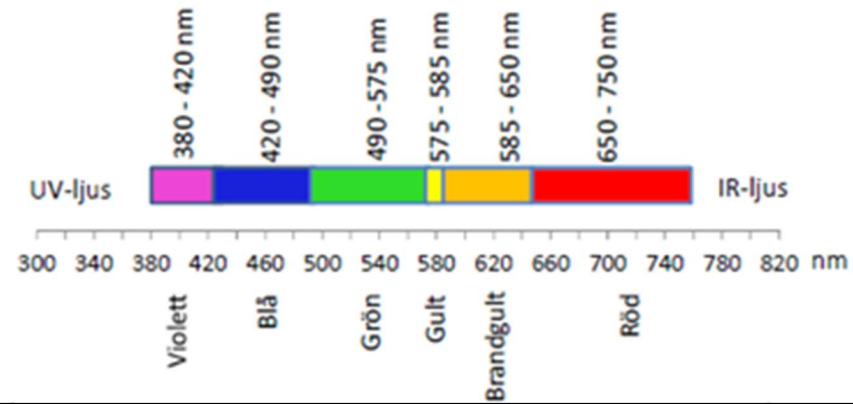
Människa

Di-cromatiskt



Häst, ko & svin

Jämförelse mellan olika djur och människa



Människa		400-700 nm
Gris		400-650 nm
Nötkreatur		400-600 nm
Häst		
Fjäderfä (höna)		300-700 nm

Hur ser djur?

- Pupillen styr hur mycket ljus som når näthinnan (retinan)
- Pupillen hos ett betande djur ändras från klotform till en horisontell halvmåne eller vågrät oval formation
- Andra anpassningar
 - Mörkerseende
 - Dubbla focus
 - Skydd för bländning



Foto. Greg Hume

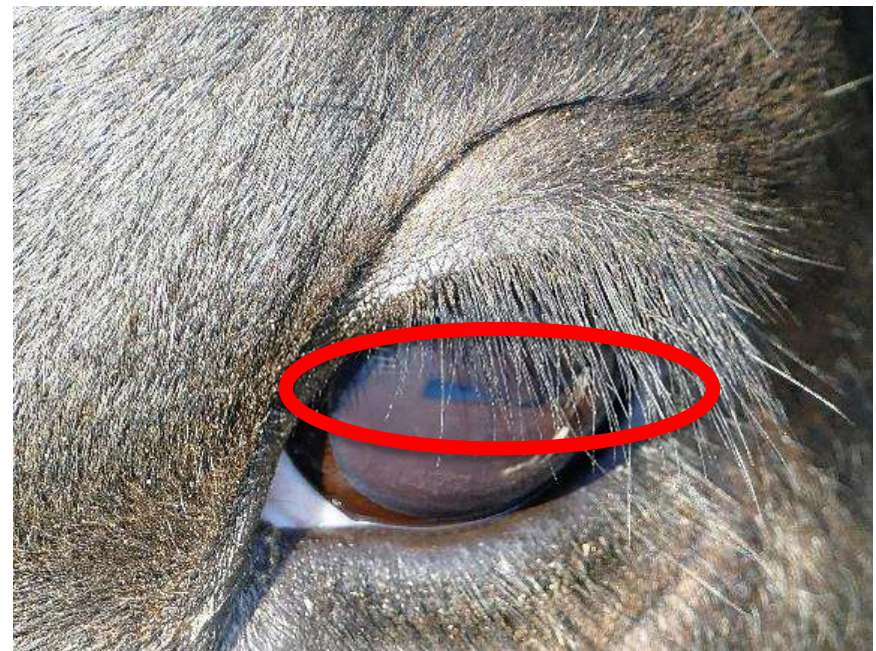


Foto: Dan-E Nilsson

Ljus, ljusbehov & jämnhet

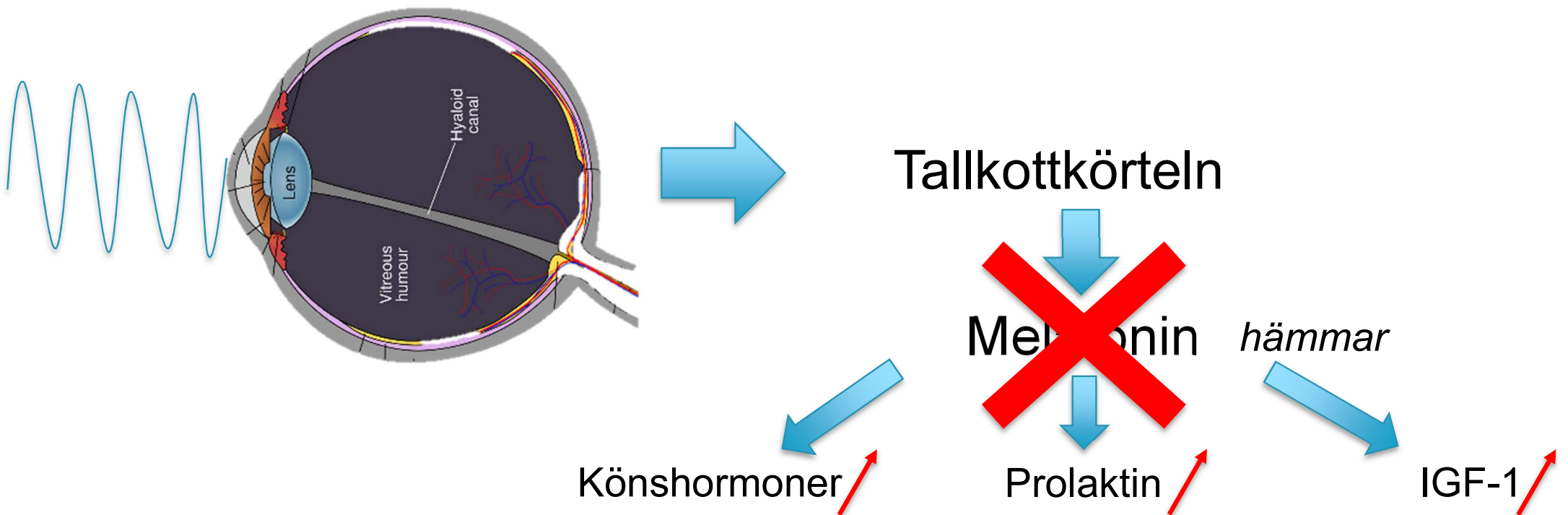
Tabell 1. Några exempel på ljusnivåer (Starby, 2006)

Ljusförhållanden	Belysningsstyrka
Direkt solljus	100 000 lux
Dagsljus, molnig himmel	5 000 lux
Gatubelysning	5 - 30 lux
Fullmåne, klar natt	0,25 lux

Tabell 2. Ljusbehov för olika arbetsplatser enligt Arbetsmiljöverket (SS-EN 12464-1)

	Belysningsstyrka på		Lägsta R _a -index
	arbetsyta	omgivning	
Transportvägar utomhus	20 lux		40
Lagerlokaler	100 lux	100 lux	60
Normal allmänbelysning, korridorer etc.	100 lux	100 lux	40
Sjuk- och behandlingsboxar i lantbruk	200 lux	100 lux	80
Blandning av foder, mjölkning etc.	200 lux	100 lux	80
Allmän belysning, parkeringshus	75 lux	75 lux	20
Monteringsarbete	500 lux	200 lux	80
Avsugning, kontroll	1000 lux	500 lux	80

Ljus och mjölkkor - hur går det till?



Ljus och mjölkbildning - lakterande

- Under pågående laktation: förlängd dag (3-4 veckor) → 2-3 kg mer mjölk/ko/dag (Dahl et al., 2012)
 - Försök har framförallt jämfört 16/8 timmar ljus/mörker med 8/16 eller naturlig dagsljuslängd

Ljus och mjölkbildning - lakterande kor

~~Melatonin~~
→ Prolaktin

Ljus → mjölk
Hur går det till?

Aktivitet



Mjölkningsintervall
Mjölkningsfrekvens

~~Melatonin~~
→ IGF-1

Foderintag

Ljus och mjölkbildning - lakterande kor

~~Melatonin~~
→ Prolaktin

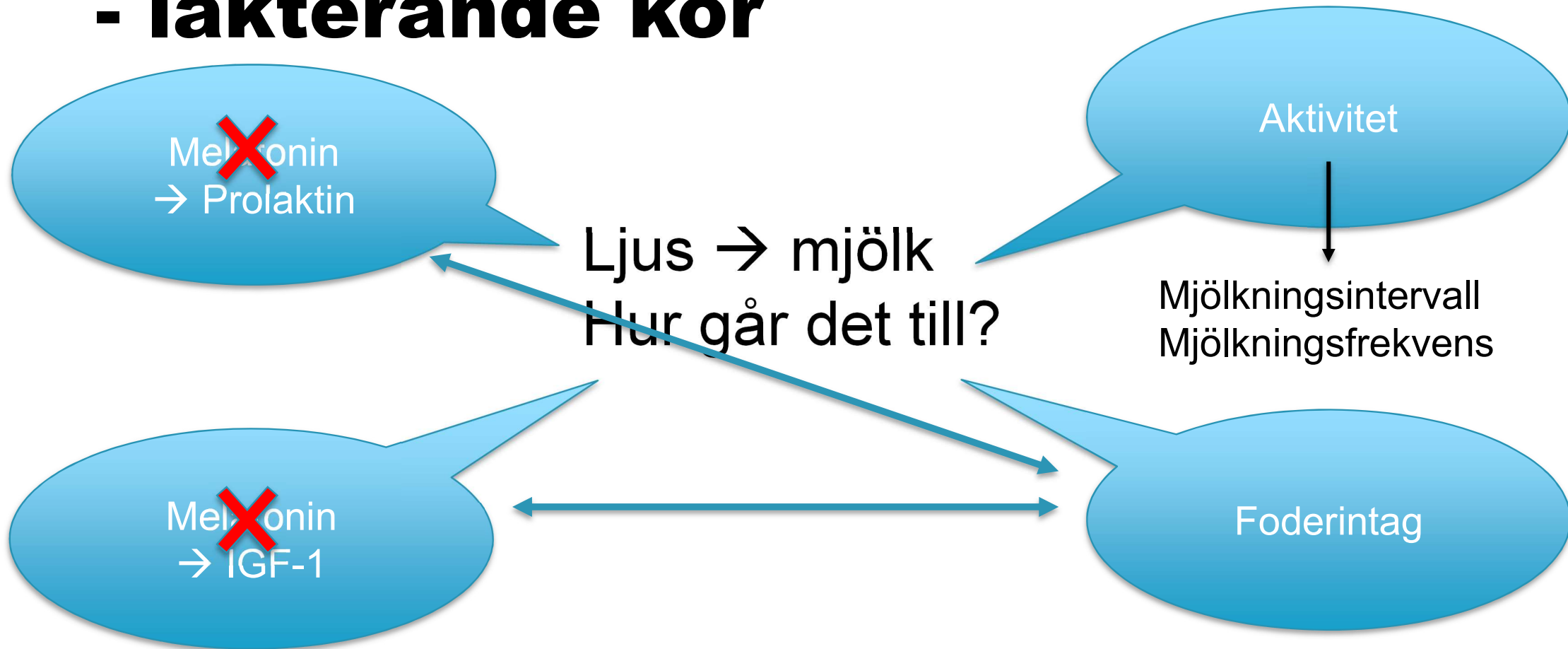
Ljus → mjölk
Hur går det till?

Aktivitet

Mjölkningsintervall
Mjölkningsfrekvens

~~Melatonin~~
→ IGF-1

Foderintag



Ljus och mjölkbildning - sinkor

- Ljusbehandling under sintid
 - 8 timmar ljus / 16 timmar mörker
 - 16 timmar ljus / 8 timmar mörker
 - 3-4 kg mer mjölk/ko/dag
 - Ingen effekt på IGF-1
 - Lång dag under sintiden ger färre receptorer för prolaktin i mjölkkörteln = Mjölkkörteln är sämre förberedd på att producera mjölk!

(Miller et al., 2000; Dahl et al., 2012)

Ljus och kalvar



Ljus och kalvar - reproduktion



- Lång dagsljusperiod ger tidigare könsmognad och kvigorna är dessutom större vid könsmognad, har lägre fettansättning och mer mjölkkörtelvävnad (Reksen et al., 1999)
- Tidigare första brunst och tidigare första dräktighet
- Inga tydliga effekter av ljus på reproduktion hos vuxna kor!



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Ljus och mjölkbildning - lakterande kor

Mörkret behövs också!

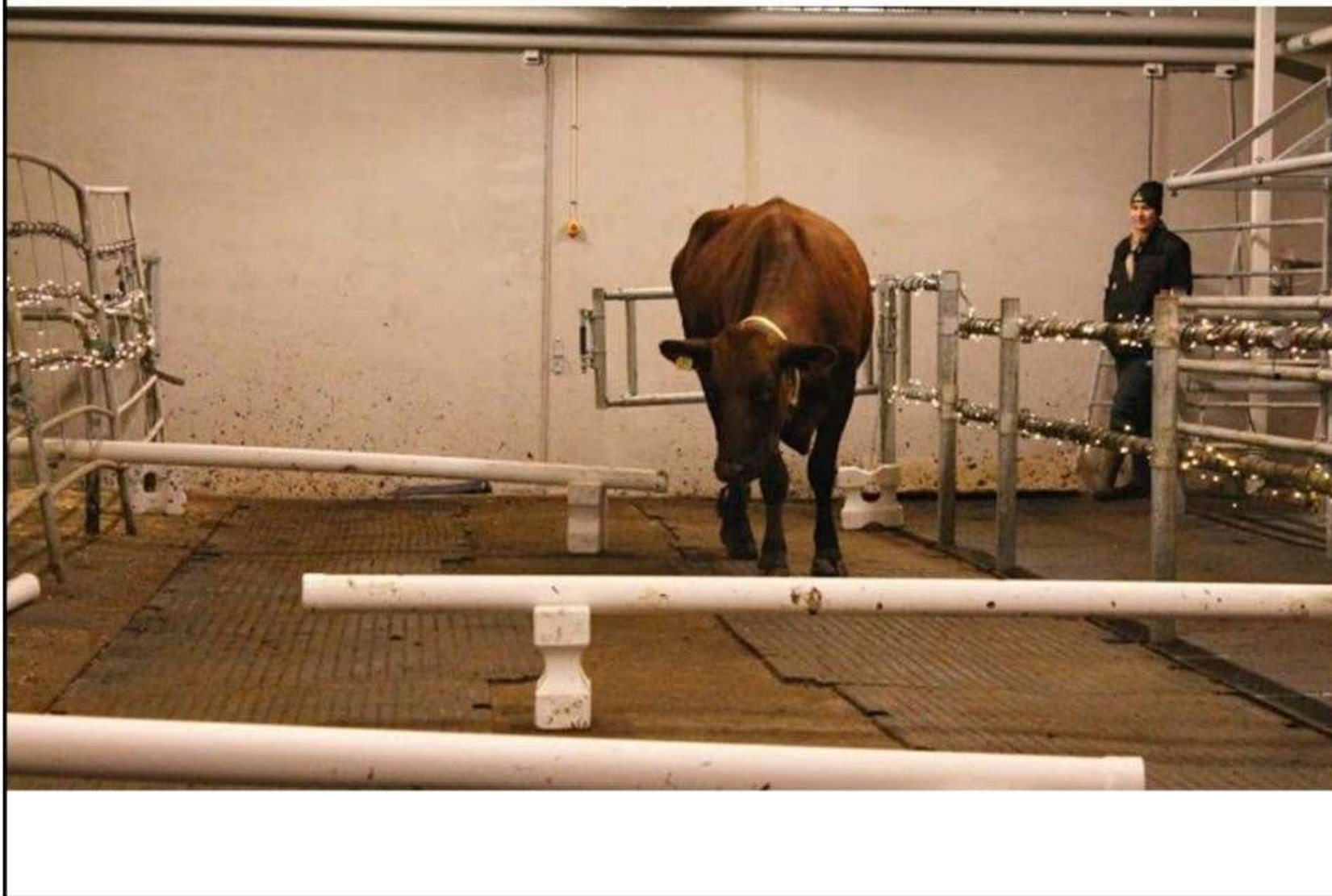
Ljus och mjölkbildning - automatiska system

- Betydelse av ljus för aktivitet dygnet runt?
- Elkostnad och koldioxidavtryck?
- Illumination pollution?
- Vad har belysning dygnet runt för effekt på kon på lång sikt?

24 h dagsljus jämfört med 4 timmar dagsljus och 20 timmar mörker



Hinderbanestudien



Hinderbanestudien



Sinkor tränades att gå en hinderbana med kraftfoderbelöning i slutet.

Hindren flyttades och ljusintensiteten varierades mellan 0 och 50 lux.

Alla kor klarade banan vid 0 lux men gick med kortare steg då än vid 0,3 lux (*Eriksson, 2014*).

Hur går det till?

Koögat har en hinna bakom näthinnan som reflekterar ljus och därmed ökas chansen att några fotoner fångas upp av stavarna. Vid svag belysning använder koögat stavar som har high-sensitivity, but low-acuity vision (*Ollivier et al., 2004*).

Hur ser grisar? - skogsdjur

- Dikromat seende, 444 – 560, max 640 nm (ej UV)
- Likartat antal stavar (mörkerseende), ögonstorlek och näthinna som människa
- Färre tappar än människa (sämre synskärpa än människa)
- God synskärpa jmfr häst o nöt
- Grisen uppfattar rött ljus som mindre ljusintensivt,

Grisar

- Lagkrav - Dagsljusinsläpp
- Lagkrav 40 lux 8h/d (SJVS 2019:20; EU direktiv 2001/88)
- Rekommendation 75-150 lux (SIS-TS 37:2012; AFS 2009:2)
- 40 lux belysning - varken ogillad eller starkt omtyckt av grisarna
- Växande grisar vill sova/vila i mörker eller svagt ljus (2,4 lux) under minst 6 timmar
- Ljus i 24 timmar ska undvikas – tydlig stress
- Grisar väljer den ljusnivå som de är vana vid

Årstidsbunden variation & reproduktion

obs – få studier

- Lång dagslängd (15-18 h) ökad digivning; tyngre och större smågriskullar vid avvänjning,
- Avtagande dagslängd (höst) snabbare pubertet,
- Avtagande dagslängd (höst) ger kortare tid för suggor att komma i brunst efter avvänjning
- Avtagande dagslängd (höst) ger mer aggressioner hos galtar och mer galtsmak på slaktgrisar.
- Grisar reagerar på olika färger men resultaten är motsägelsefulla

Sammanfattning grisar

- Viktigt med "dag och natt"
- Mycket anpassningsbara
- Dagslängd påverkar djurens tillväxt och reproduktion.
- Utmaning - hur ordna "naturligt" ljus?

Hur ser hästar– betande djur från savannen

- Hästen - öppet landskap, aktiv 24h, äter 50-60% av tiden
- Dikromat
- Synfält 175-200°, upptäcka rörelser i hela synfältet, framför allt på långt håll,
- Ser hela horisonten (Fovea = brett band med hög koncentration av synceller)
- Sämre synskärpa i dagsljus jämfört med människan och gris
- Skydd mot bländning av solljus, då djuret betar Corpora nigra,
- Bra nattseeende; stort öga, stavrik näthinna med kort fokallängd.
Tapetum lucidum,



Häst

- Rekommendation 75-150 lux (SIS-TS 37:2012; AFS 2009:2)
- Dagsljusinsläpp (SJVS 2019:17)
- Ögats dubbla focus; bete & horisont, Urskiljer detaljer bättre på marknivå
- Reagerar (tvekar) på vissa golv-färger (gult, vitt, svart, blå)
- Hästar är känsliga för visuella signaler (t ex andra djur)
- Ögats dubbla focus - långsam inläring ?

Sammanfattning Häst

- Stor synfält
- Känsliga för visuella signaler
- Bra mörkerseende
- Ljus vs mörker viktigt ?

Värphöns och slaktskycklingar

- Dagsljusinsläpp ska finnas (SJVS 2019:23)
- Ljuskällan får inte flimra med lägre frekvens än 120 Hz . (SJVS 2019:23)
- Ljusinsläppen ska vara jämt fördelade. (SJVS 2019:23)
- Ljusbredd på minst 300 nm och innehålla UVA (SJVS 2019:23)
- Gryning- skymningsljus – viktig men inte lagkrav

Hur ser fjäderfä – Djungel hönan

- Receptorer för fyra våglängder + UV ljus (320-400 nm) - mest känsliga för **rött** ljus
- UV-ljus viktigt för att skilja artfränder - lysrör avger mer UV-ljus än glödlampor
- Tröskelvärde, kritisk dagslängd 10 resp 14 t, höns.
- Flimmer över 105 Hz detekteras ej
- Synfält ca 300° med `kikarsyn` i närområdet 26° framför huvudet, pga 2 st syncentra
- Stor rörlighet i hals och huvud - effektiv synfält på långt avstånd

Värphöns

- är passiva vid låg intensitet 0,1-5 lux, aktiviteten ökar med ljusstyrkan
- behöver 5 lux för att värpa, särskilja artfränder, röra sig i inredningen
- väljer ljusmiljö (200 lux) för att äta
- väljer mörkare miljö för äggläggning och vila (6 lx vs 200 lx)
- önskar minst 8 h mörker/dygn - Optimalt för Värphöns12L:2D:4L6D
- mer aktiva i Rött ljus.
- sitter längre på sittpinne vid blått och grönt ljus (vs rött)

Slaktkycklingar

- Passiva vid låg intensitet 1-6 lux
- Påverkas mindre av ökad ljusstyrka från belysning (10-40 lux)
- 5 lux behövs för att värpa och för att kunna särskilja artfränder
- Slaktkycklingar minst 40 lux (-100 lux), - föredrar 10-40 lux
- önskar minst 6 h mörker/dygn, optimalt verkar vara 17 tim/dygn
- är mer aktiva i rött ljus, passiva i blått och grönt.
- sämre köttkvalitet vid rött ljus vs blått-grönt

Sammanfattning fjäderfä

- Ljuskälla bör ha bred spektralfördelning
- UV ljus bör ingå i spektralfördelningen
- Viktig med tillräcklig ljusstyrka.

Ljuskällor

Glödljuslampa

- Glödlampor
- Halogen lampor



Urladdningslampor

- Lysrör/ Lysrörslampor
- Högtryckslampor
 - Metallhalogenlampa
 - Natriumlampa
 - Kvicksilverlampa



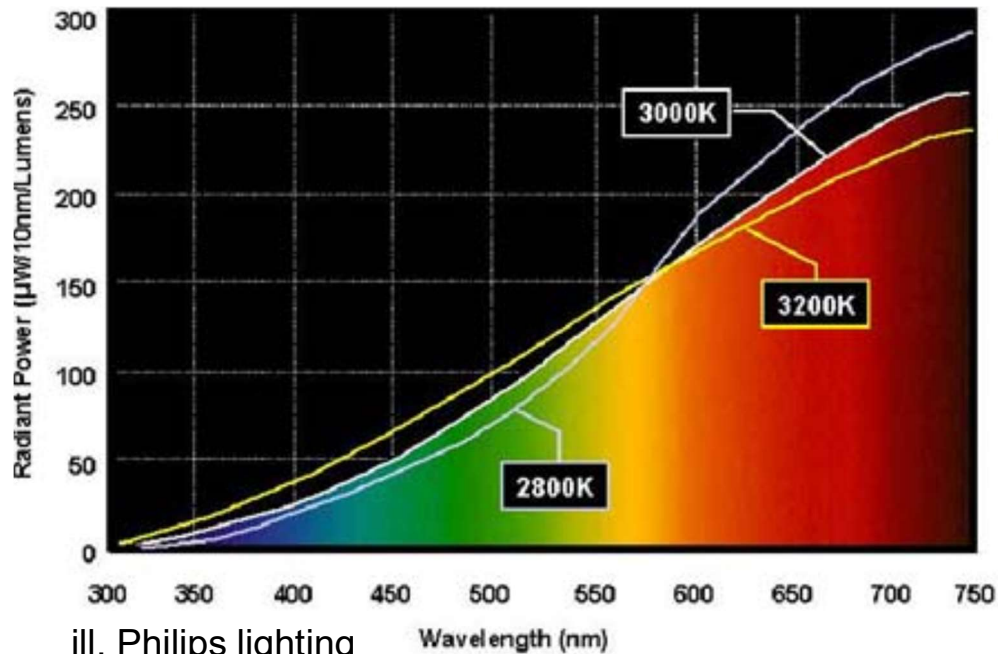
Foto Delaval

LED Light emitting diode



Induktionslampa

Glödljuslampor



- Om glödljus dimmas ändras dess spektral-fördelningen
- Effektivitet (8-16 lm/W)
- Säljs ej

Människa 400-700 nm

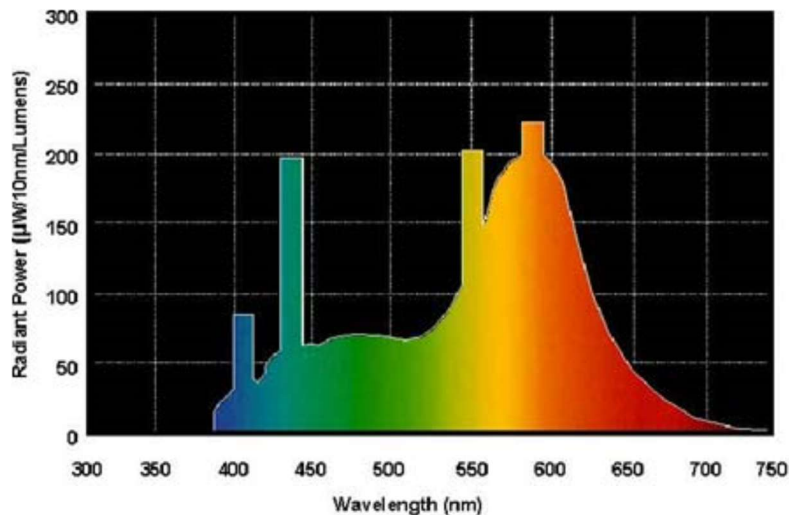
Nöt, häst 400-600 nm

Gris 400-650 nm

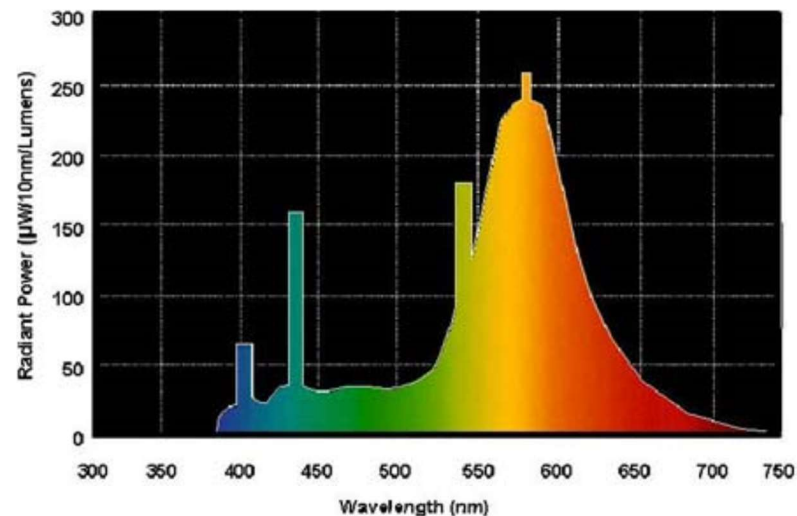
Höns 300-7000 nm

Lysrör

illustrationer Philips lighting



Kall färgton, >5000 K



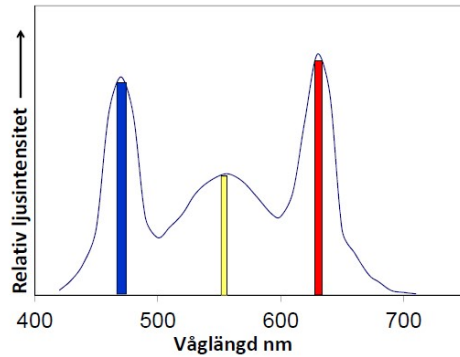
varmvit färgton, ca 3000 K



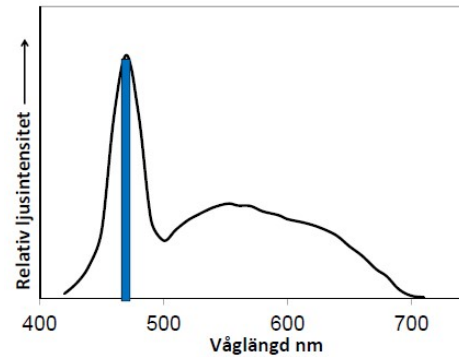
Lysrörslampor med E27 och kompaktlysror.

- T8, elmek., UV, (67-104 lm/w)
- T5, elektr., UV, dimmas, (67-104 lm/w)
- Cold – long time full luminous flow
- “Blinkar” med 50 Hz
- Brandrisk om de ej tändes

Lysdiod – LED, varje diod alstrar ljus



Tre lysdioder med olika färg



En lysdiod med blått ljus – aktiverar lyspulver



LED-lampor GU14, E27

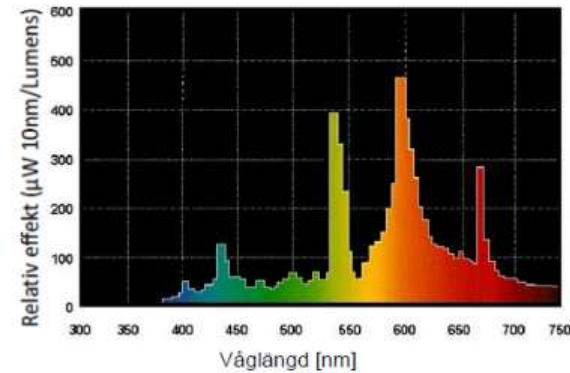


T8- LED- lysrör

- Vissa kan dimmas
- Minst 70-110 lm/w)

Andra ljuskällor

- Metallhalogenlampor
- 70-90 lm/W

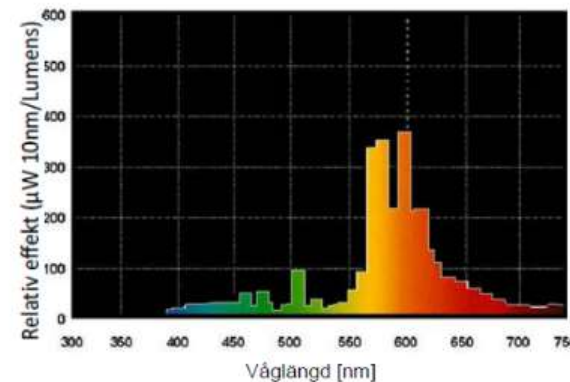


illustrationer GE

- Högtrycksnatriumlampor
- 80-100 lm/W



Foto Delaval



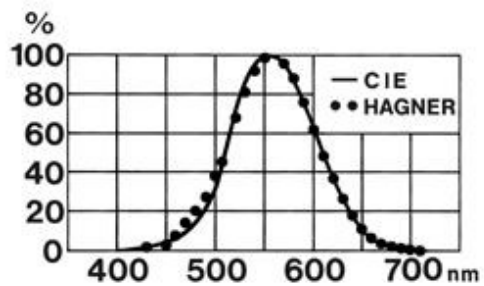
Ljusutbytet (lm/W) varierar mycket inom respektive typ av ljuskälla. Välja den ljuskälla som är effektivast inom respektive typ.

Energieffektivitet hos ljuskällor

Typ	Effektivitet	RA-Index
Glödlampa	8-16 lm/W	90-100
Halogen lampa	20-33 lm/W	90-100
Lysrör	67-104 lm/W	80-85
Metallhallogen (HID)	70-90 lm/W	80-95
Hög trycks natrium (SON)	80-100 lm/W	80-85
LED	70 - 110 lm/W	80-100
Natrium lampa	100-200 lm/W	20

Hur kan vi mäta ljus för mjölkkor?

Luxmätare



Jaz - spektrofotometer



ELF-metoden



JAZ Chassis ID: JAZA1735 Spectrometer ID: JAZA1735 Cal File: JAZA1735 2016-08-09 13:30:50 Collection Area (cm²): 0.1194591

Int. Time Search 1.82 Seconds Precision=-10,0%

Stop Search ☒ Stop search for times > 5s

Dark Reference Completed ☐ Shutter ☐ Polarity -

Take Sample Continuous Sampling

Scans to Average 3

Boxcar Filter Width 5

☒ Electronic Dark Correction

☐ Nonlinearity Correction

☒ X grid lines

☒ Y grid lines

☐ Show Fraunhofer Lines

☒ Autoscale

☐ Fill Spectrum

RGB NIR Wavebands

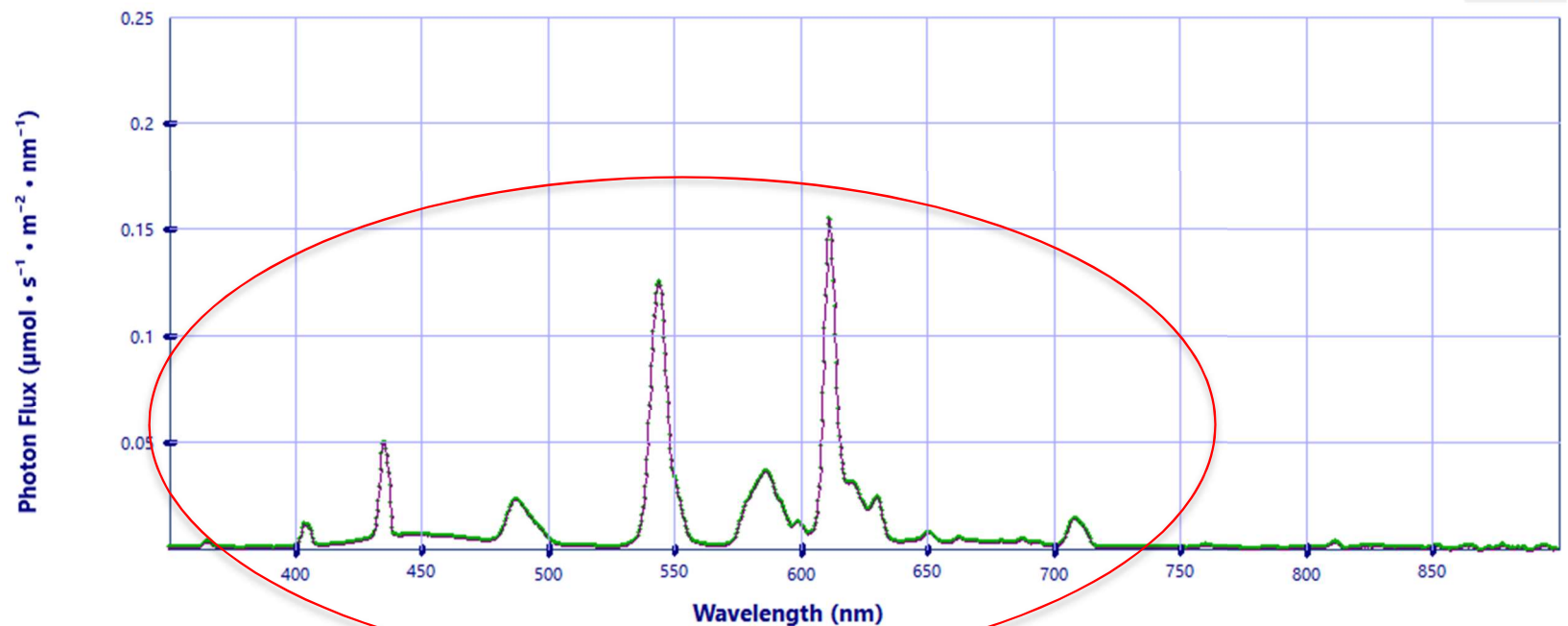
Name	Low (nm)	High (nm)	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	photons $\cdot \text{c}^{-1}$	Percent PAR	Percent Total
Full_Spectrum	350	850	4,35	0,0262		
PAR	400	700	4,15	0,0250		95,5
UVA	350	400	0,02	0,0001	0,0	0,5
Blue	400	500	0,83	0,0050	20,0	19,1
Green	500	600	1,74	0,0105	41,9	40,0
Red	600	700	1,58	0,0095	38,1	36,4
Red_Narrow	655	665	0,03	0,0002	0,8	0,8
FarRed_Narrow	725	735	0,00	0,0000	0,0	0,1
FarRed	700	800	0,14	0,0009	0,0	3,3

Blue : Green (400-500):(500-600) 1:2,1

Blue : Red (400-500):(600-700) 1:1,9

Red : Far Red (600-700):(700-800) 11,0:1

Sample Width 0.33nm



RGB NIF Wavebands			Photon Flux ($\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)			
Name	Low (nm)	High (nm)	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	photons $\cdot \text{c}^{-1}$	Percent PAR	Percent Total
Full_Spectrum	350	850	4,35	0,0262		
PAR	400	700	4,15	0,0250		95,5
UVA	350	400	0,02	0,0001	0,0	0,5
Blue	400	500	0,83	0,0050	20,0	19,1
Green	500	600	1,74	0,0105	41,9	40,0
Red	600	700	1,58	0,0095	38,1	36,4
Red_Narrow	655	665	0,03	0,0002	0,8	0,8
FarRed_Narrow	725	735	0,00	0,0000	0,0	0,1
FarRed	700	800	0,14	0,0009	0,0	3,3

Blue : Green

(400-500):(500-600)

1:2,1

Blue : Red

(400-500):(600-700)

1:1,9

Red : Far Red

(600-700):(700-800)

11,0:1



RGB NIF Wavebands			Photon Flux ($\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)			
Name	Low (nm)	High (nm)	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	photons $\cdot \text{c}^{-1}$	Percent PAR	Percent Total
Full_Spectrum	350	850	4,35	0,0262		95,5
PAR	400	700	4,15	0,0250		
UVA	350	400	0,02	0,0001	0,0	0,5
Blue	400	500	0,83	0,0050	20,0	19,1
Green	500	600	1,74	0,0105	41,9	40,0
Red	600	700	1,58	0,0095	38,1	36,4
Red_Narrow	655	665	0,03	0,0002	0,8	0,8
FarRed_Narrow	725	735	0,00	0,0000	0,0	0,1
FarRed	700	800	0,14	0,0009	0,0	3,3

Blue : Green

(400-500):(500-600)

1:2,1

Blue : Red

(400-500):(600-700)

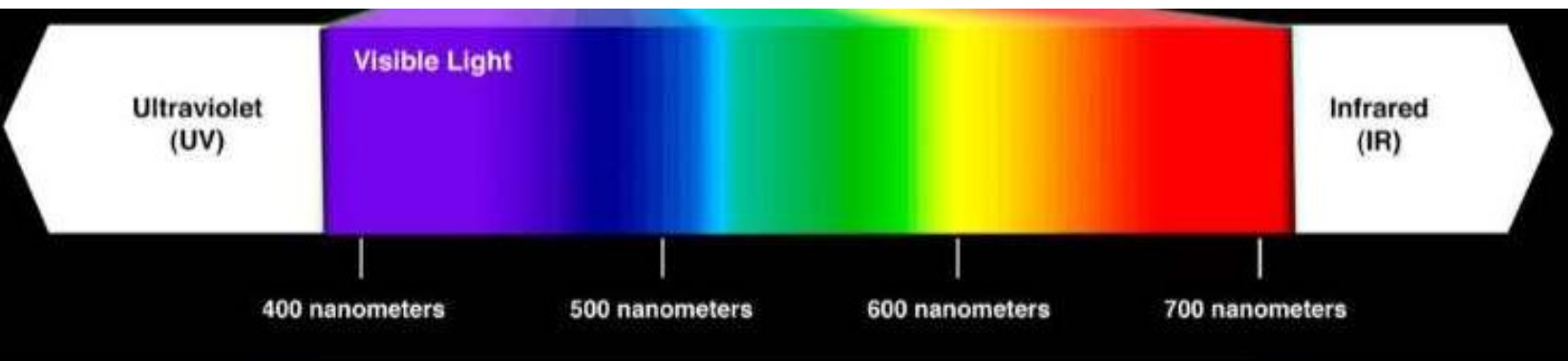
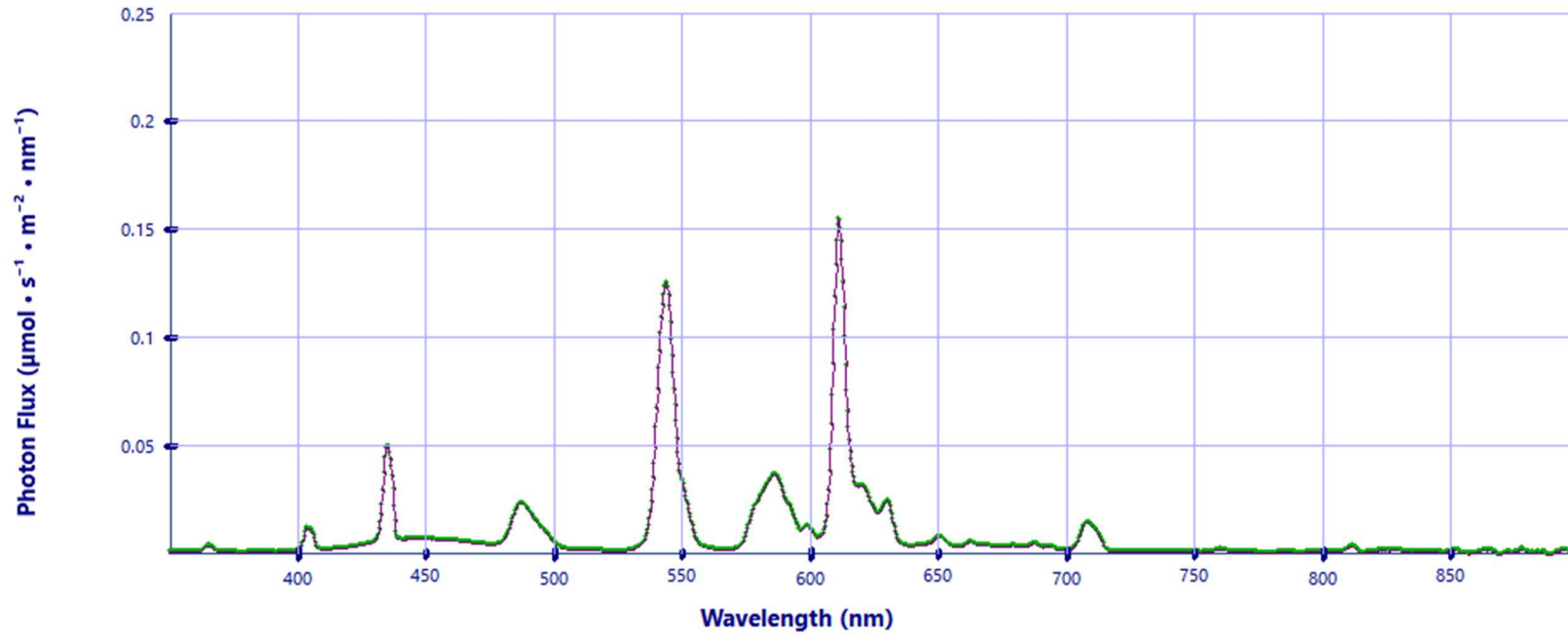
1:1,9

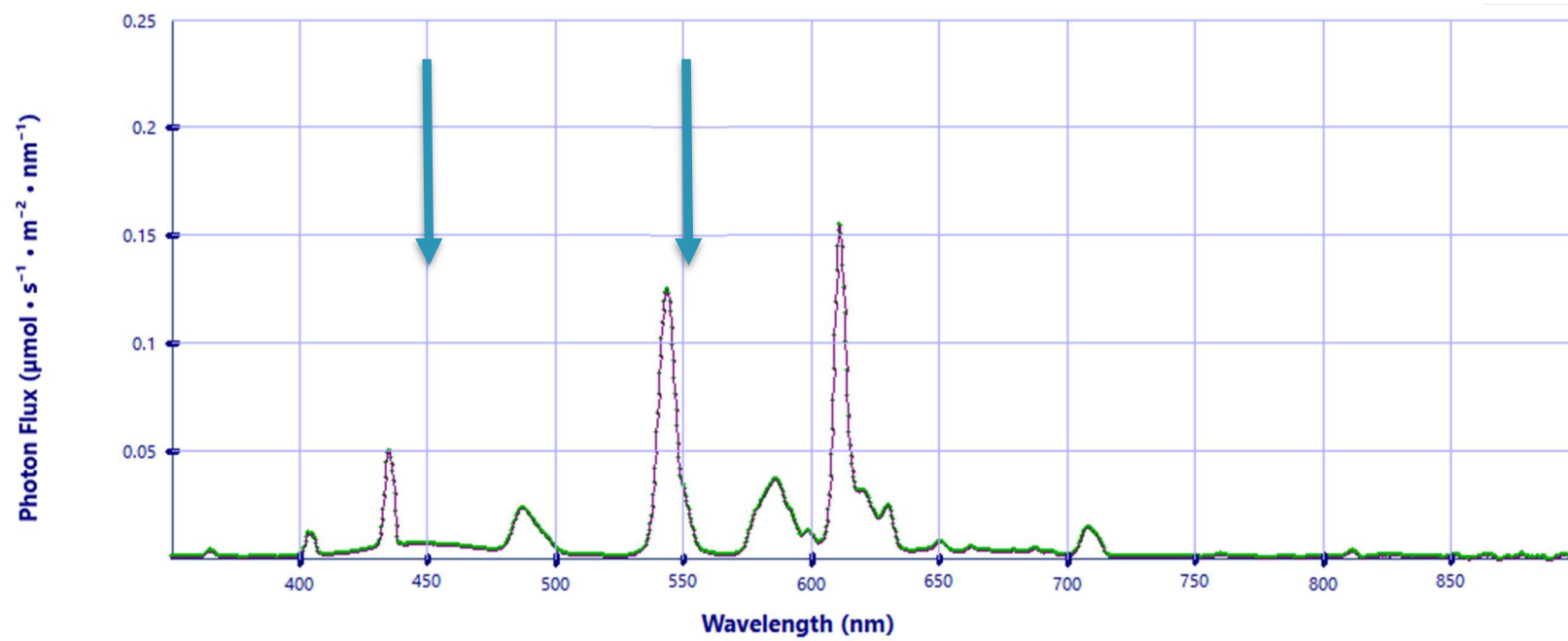
Red : Far Red

(600-700):(700-800)

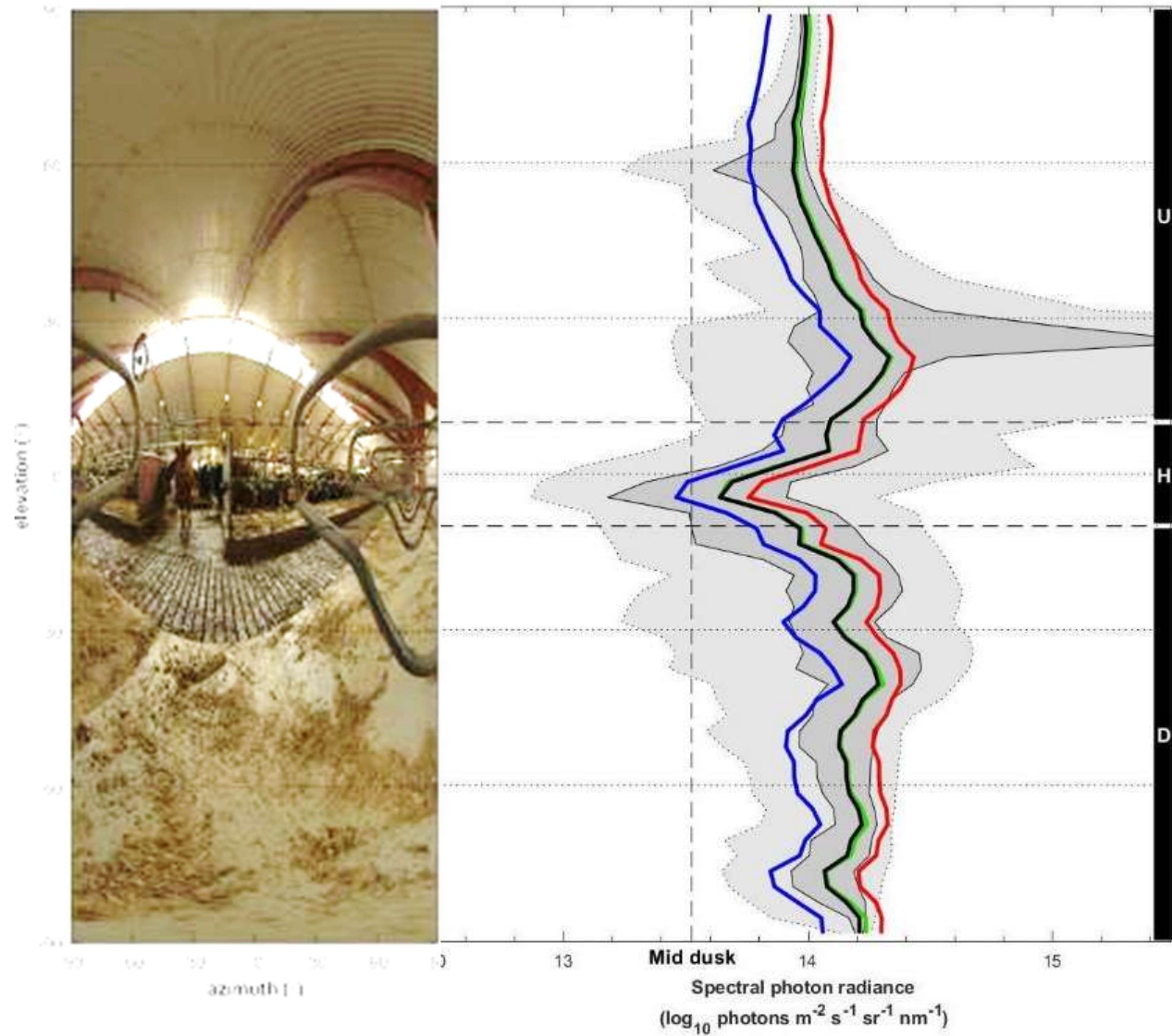
11,0:1





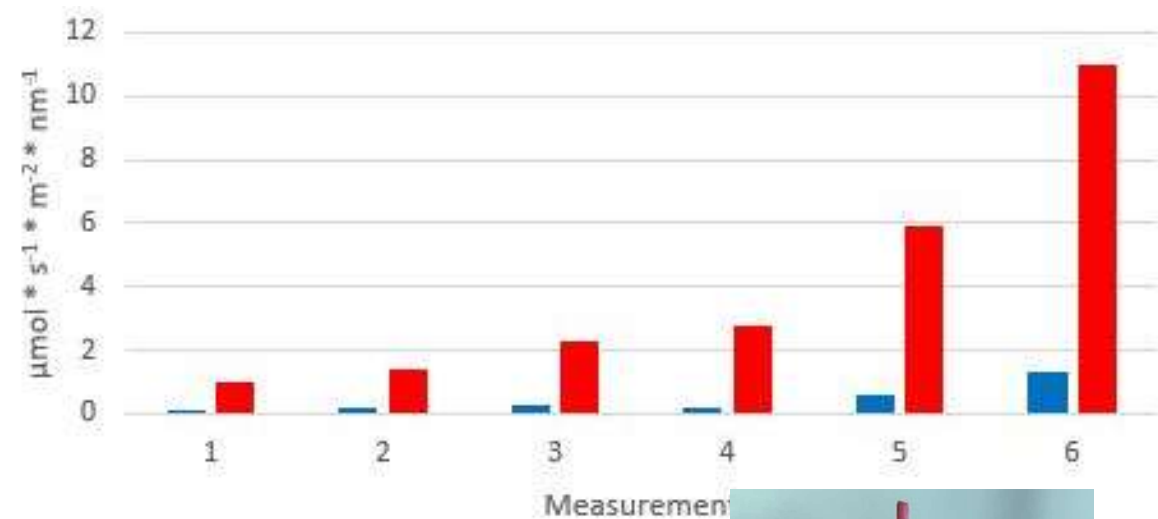
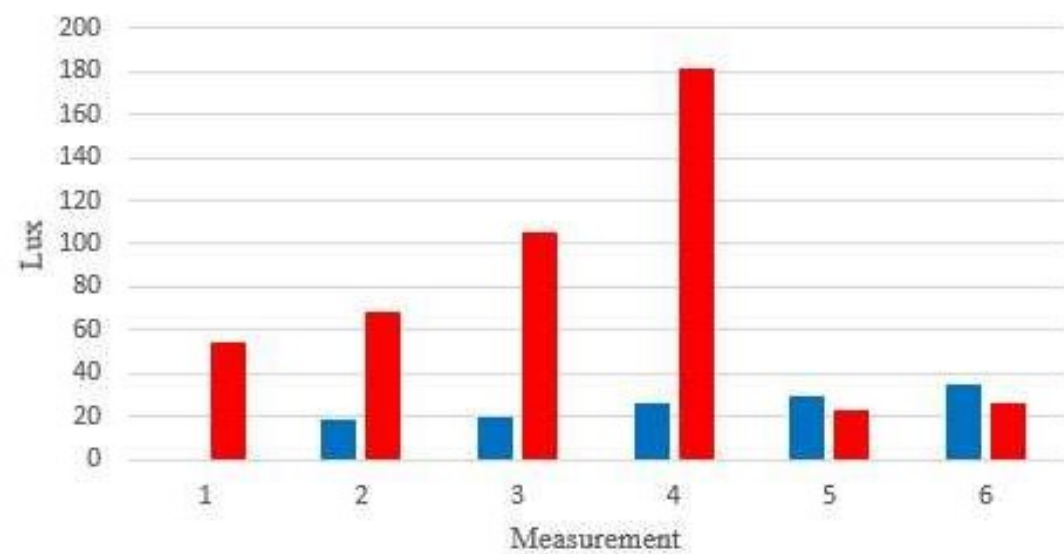








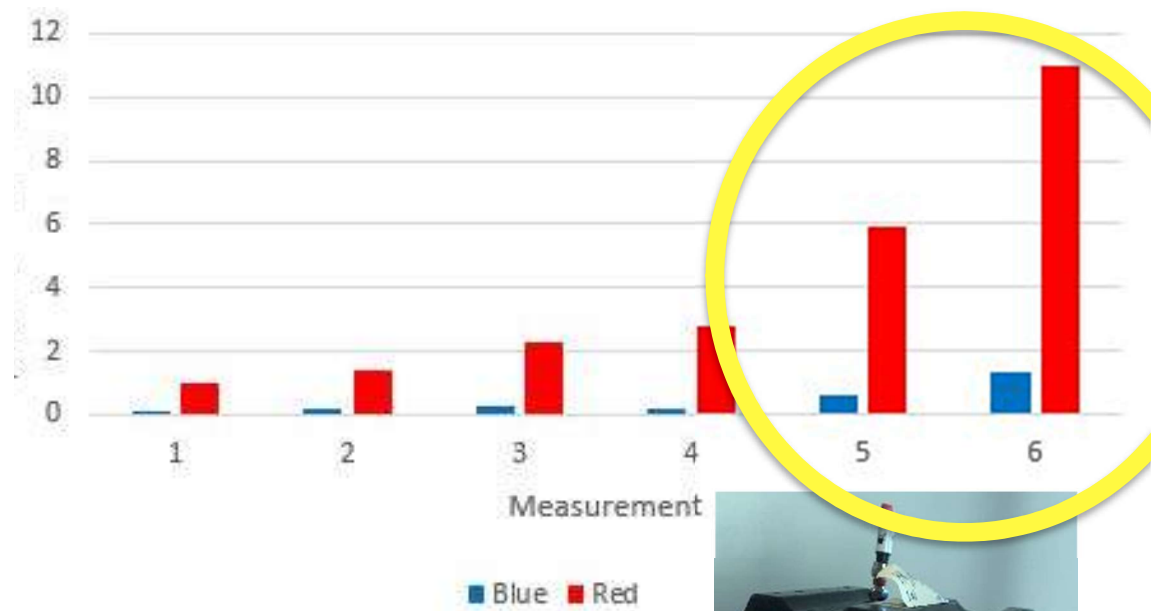
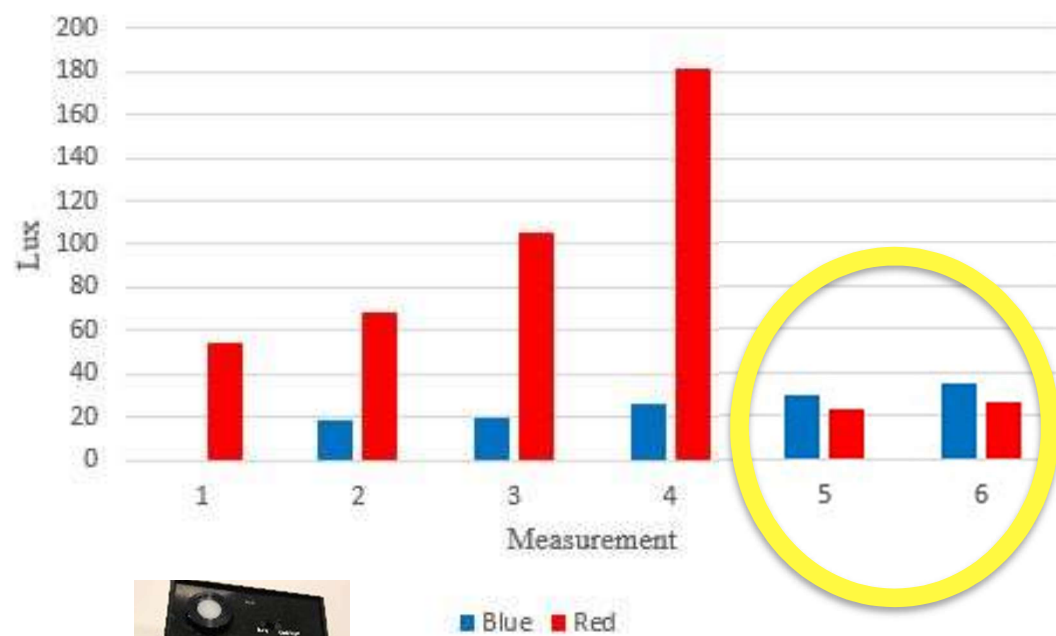


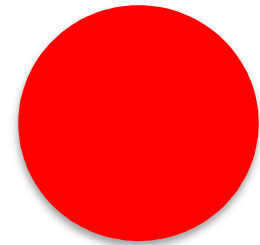
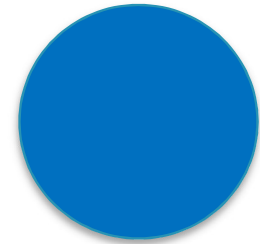
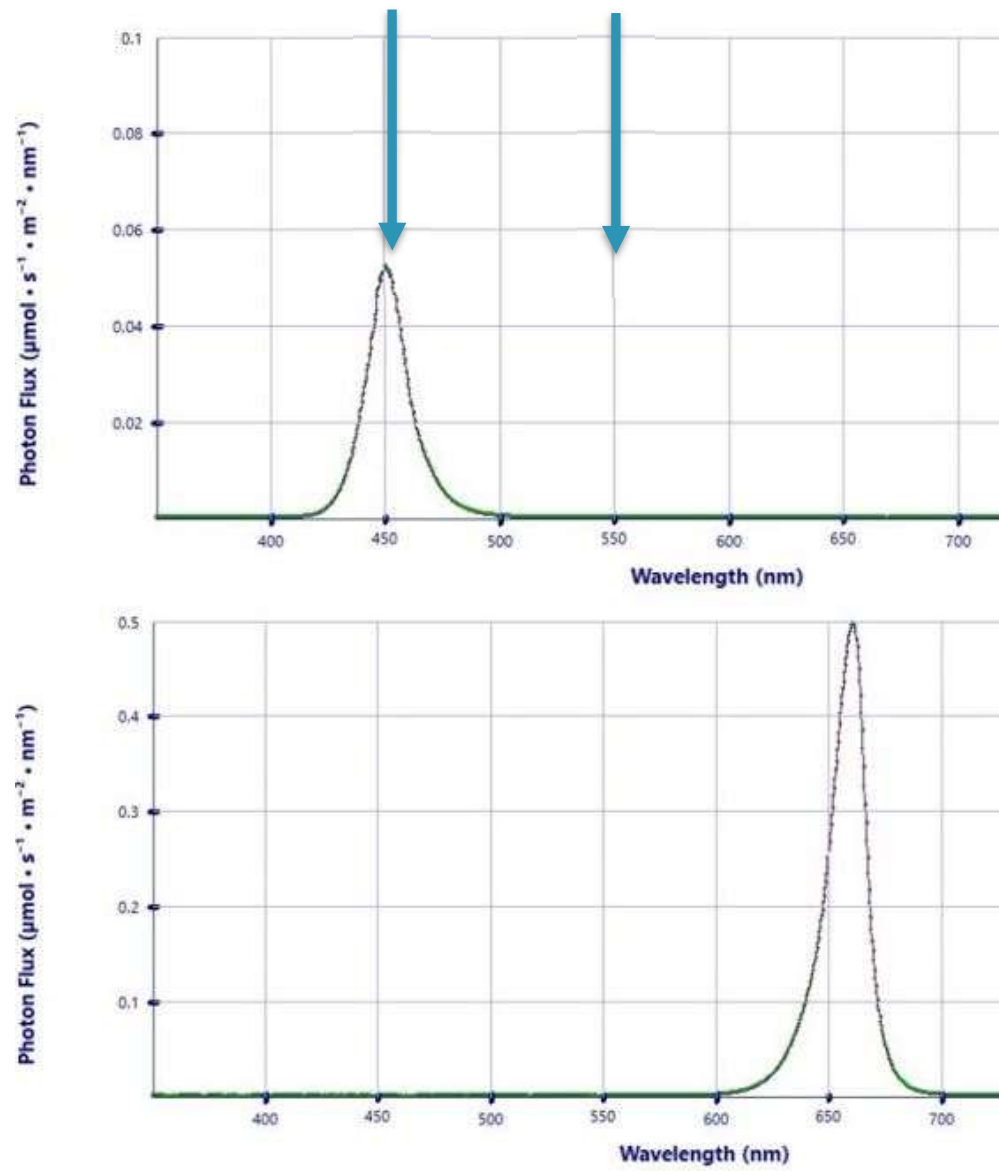


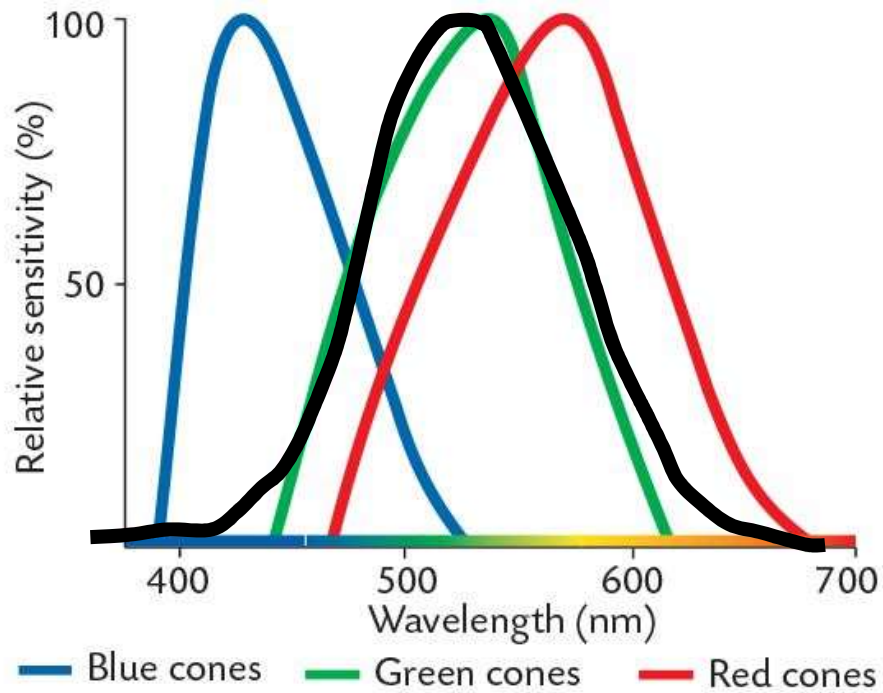
■ Blue ■ Red

■ Blue ■ Red









© scanvetpress.com

Känslighetsspektra för luxmätare

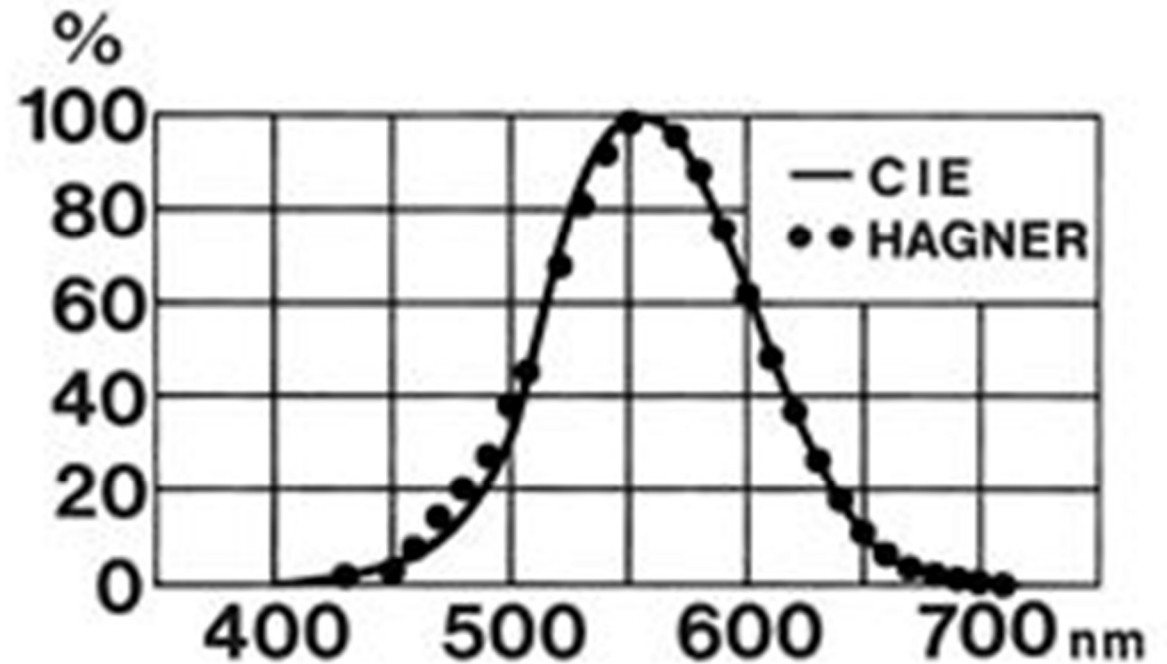


Foto: Sofia Lindkvist

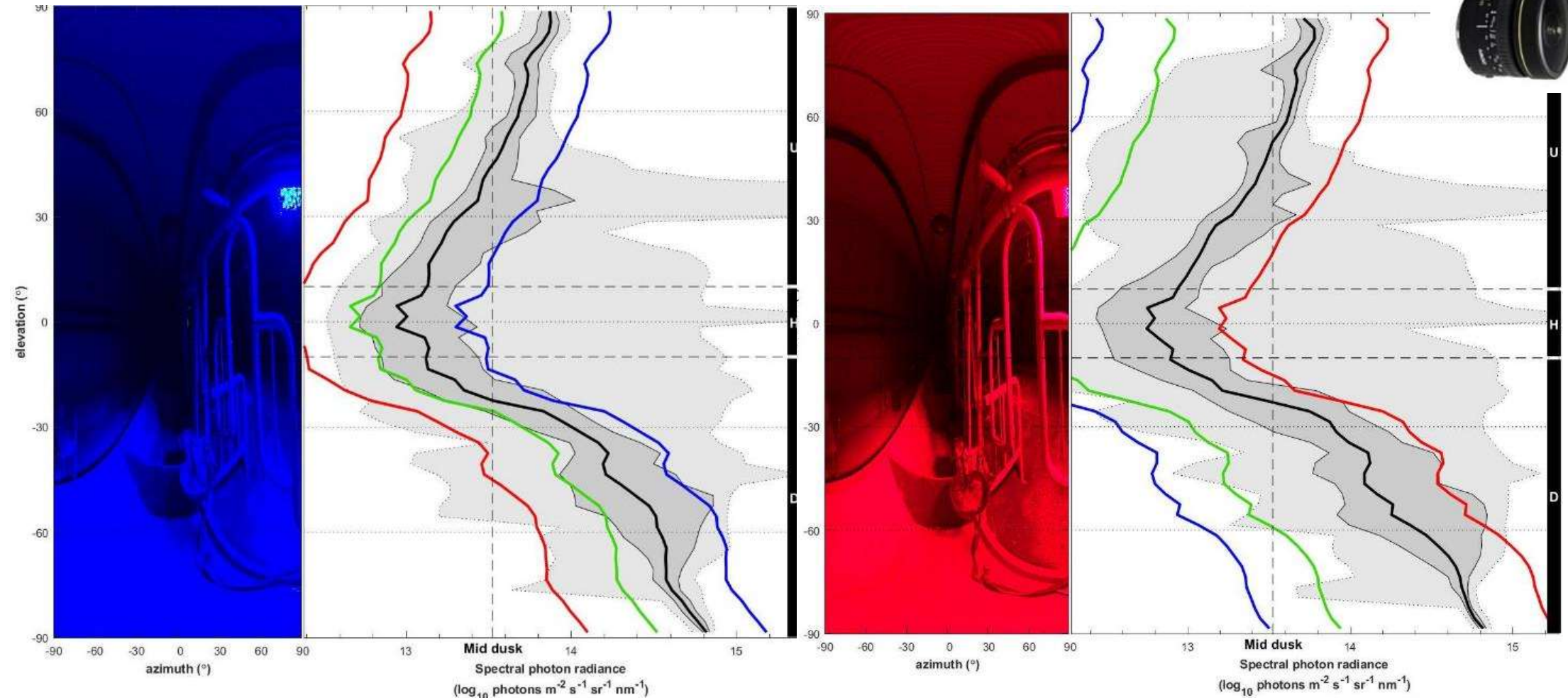


Foto: Sofia Lindkvist

Ljusmiljö i stall och hage



Foto: Sofia Lindkvist



Foto: Sofia Lindkvist

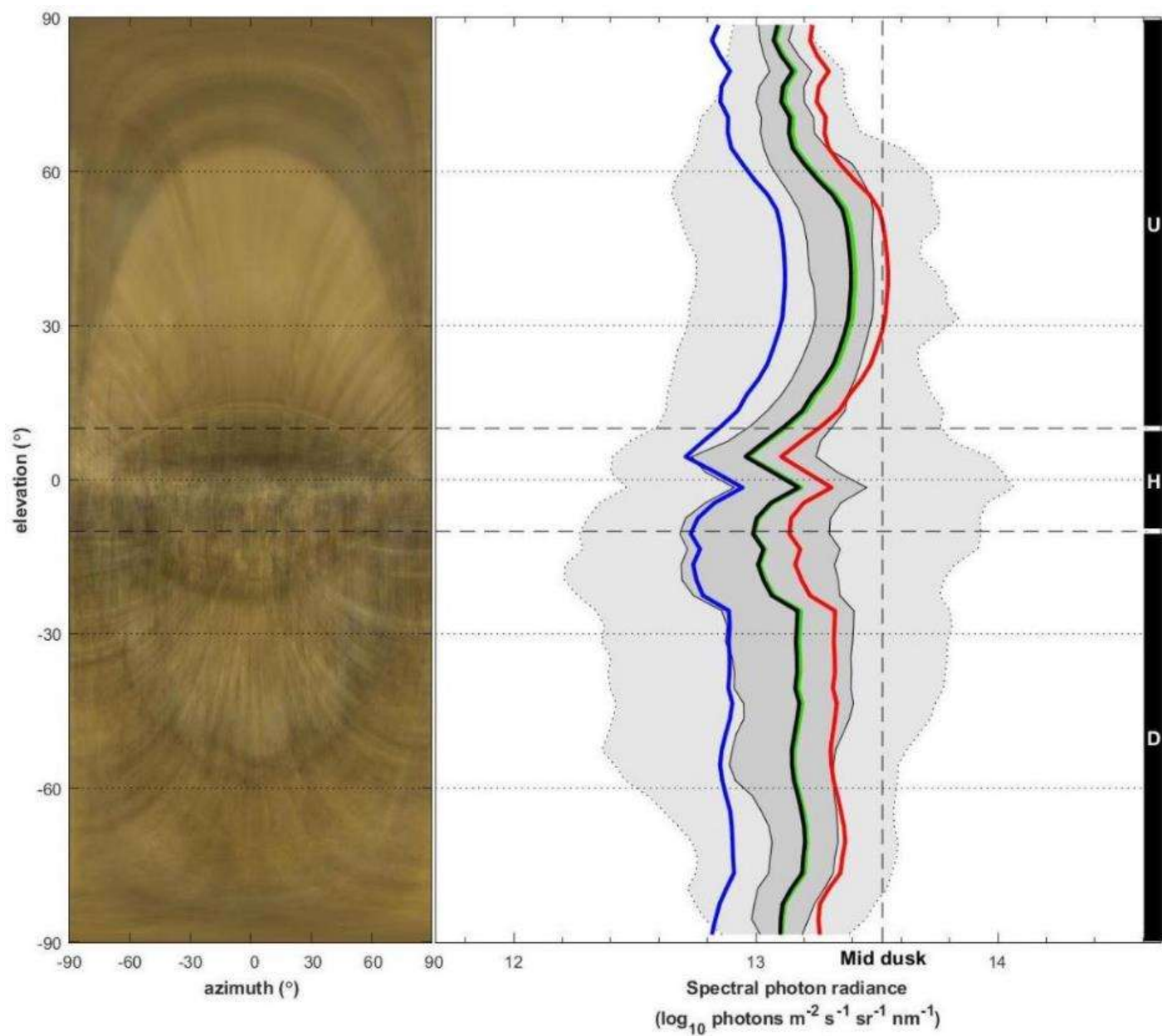
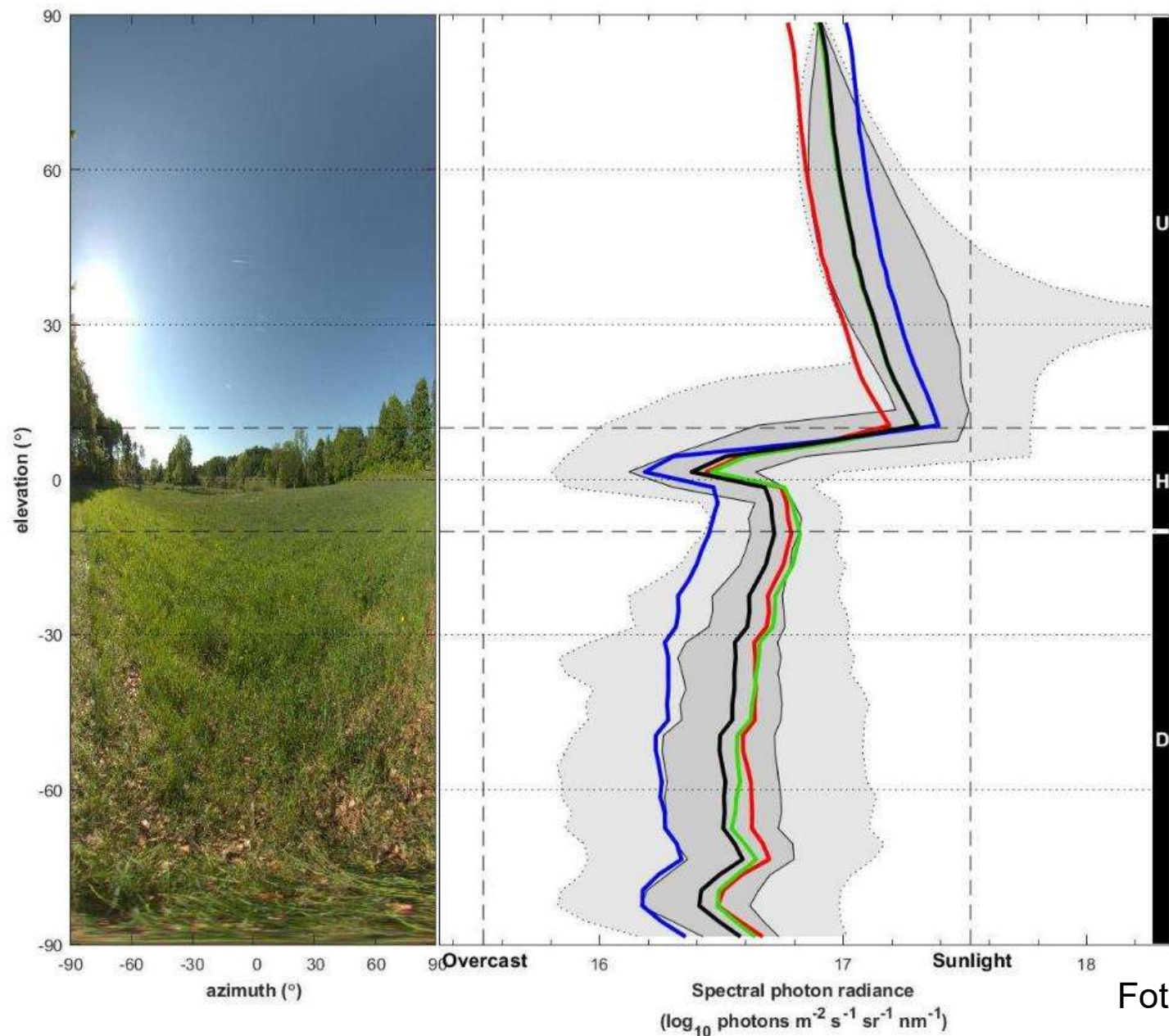


Foto: Sofia Lindkvist



Kohage i Skåne,
dagsljus

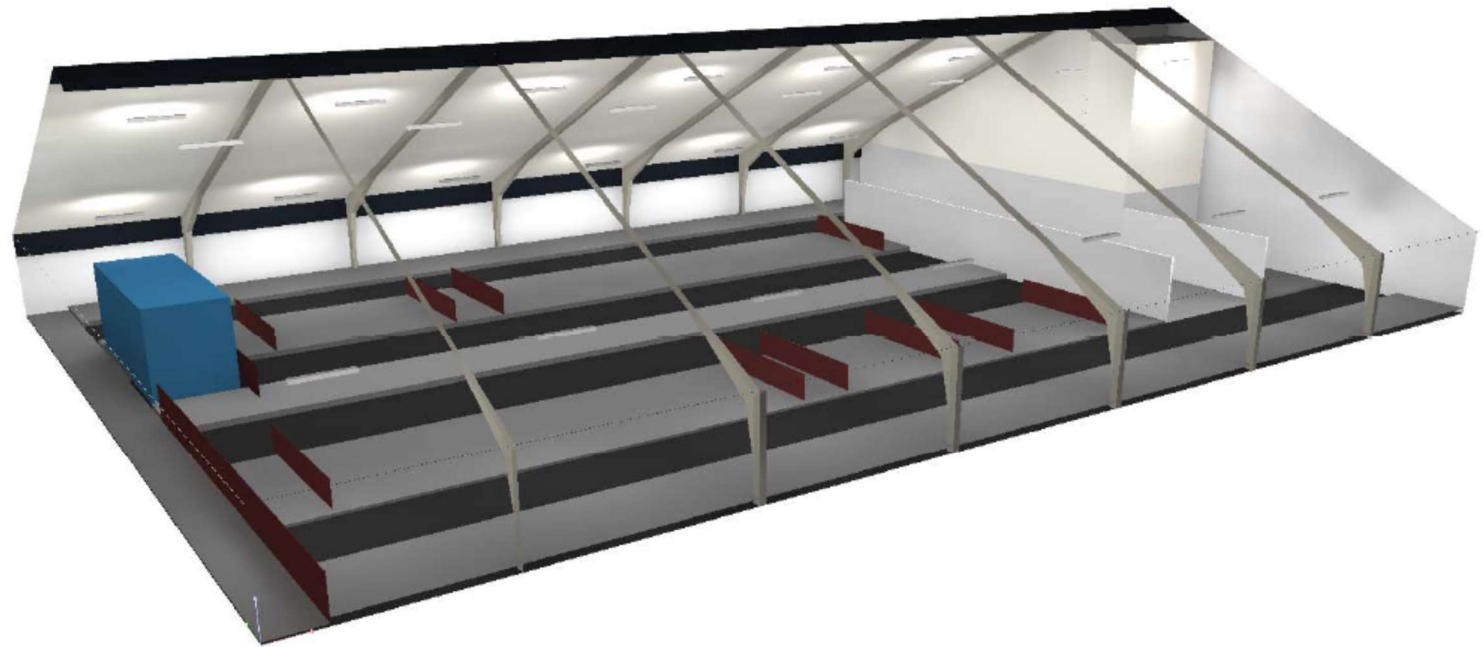
Foto: Dan-E Nilsson

Hjälpmedel för bättre ljusplanering

DIALux, DIAL e.V.

Tar hänsyn till:

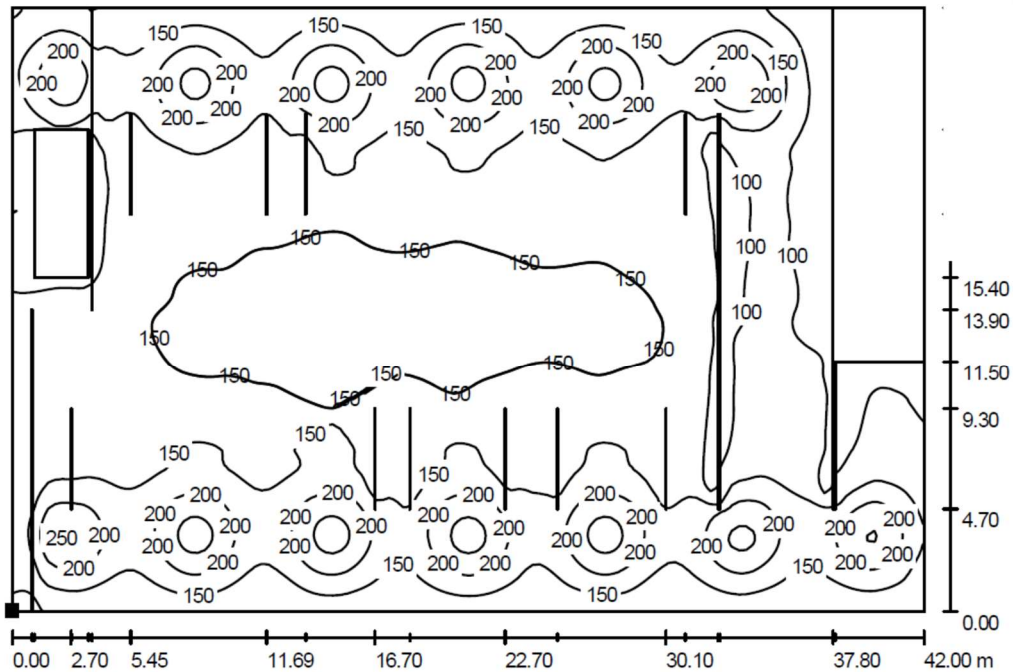
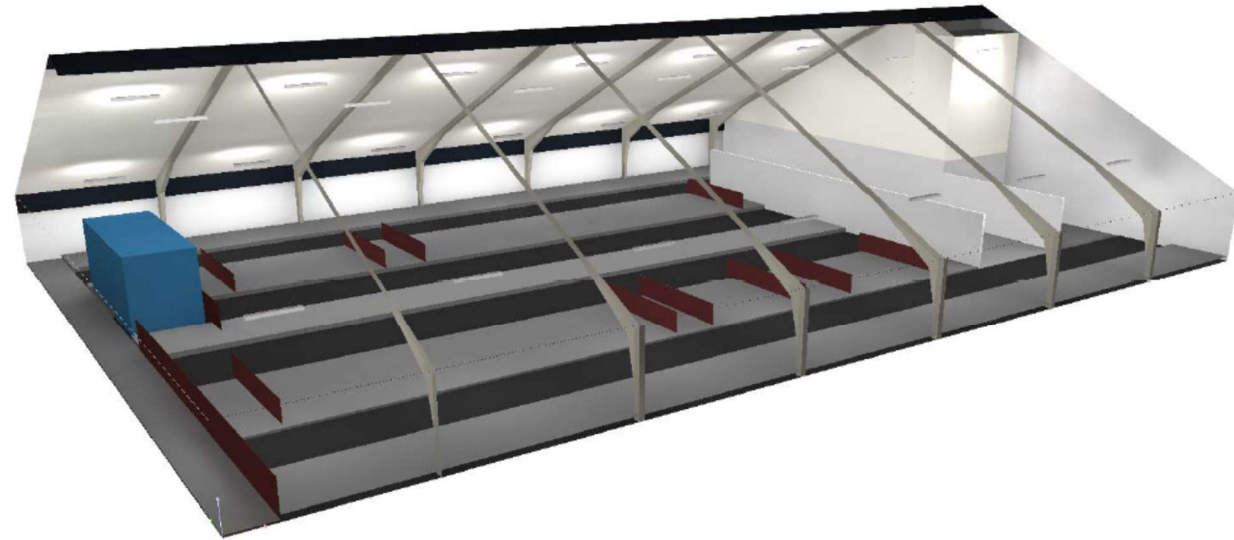
- Ljuskälla
- Armatur
- Placering
- Reflektion från väggar, tak, golv, inredning och djur.



Rapport från SLU. LTV 2013:34: Dimensionering av
belysningsstyrka i djurstallar.....

https://pub.epsilon.slu.se/11594/7/jepsson_et_al_141015.pdf

Iso-lux diagram



Värden i Lux, Skala 1 : 301

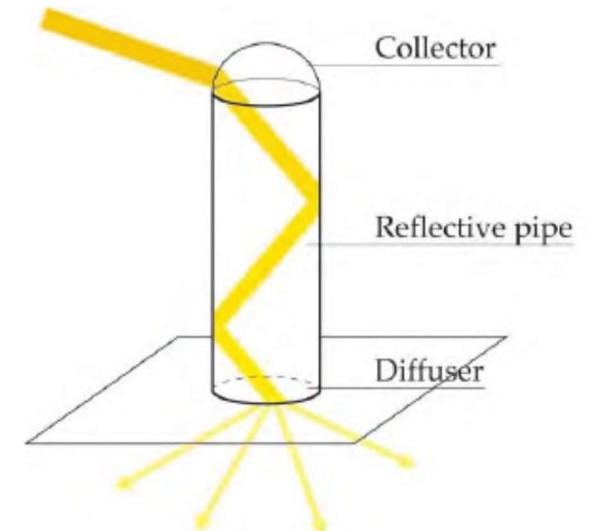
Ljustunnel

Kan ge mindre elanvändning och mera dagsljus i grisstallar?

Dagsljus = 40 Lux eller mer, kl 8-16

Total tid = 2920 timmar

Driftstiden för elektrisk belysning
kan minskas till ca 50%

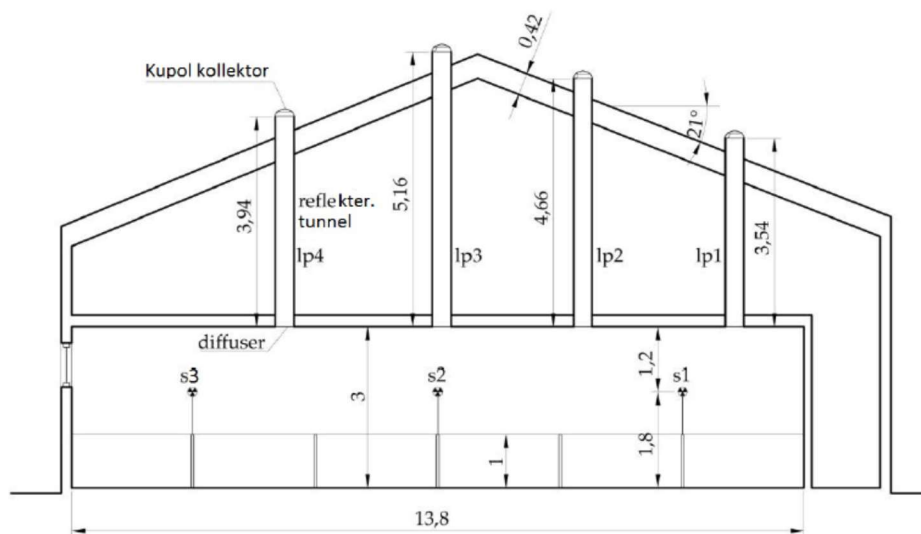


Rapport från SLU. LTV 2015:17

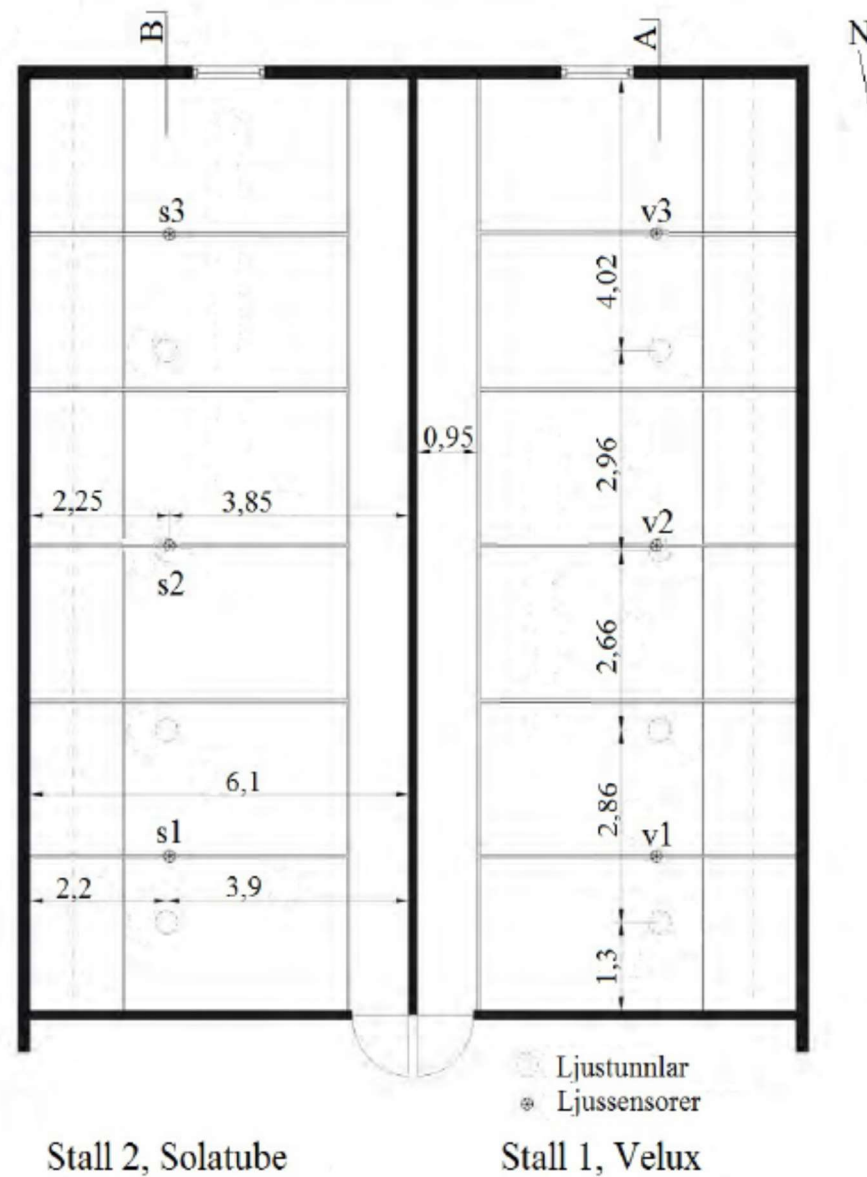
Kan ny teknik ge mindre elanvändning och mer dagsljus i grisstallar?

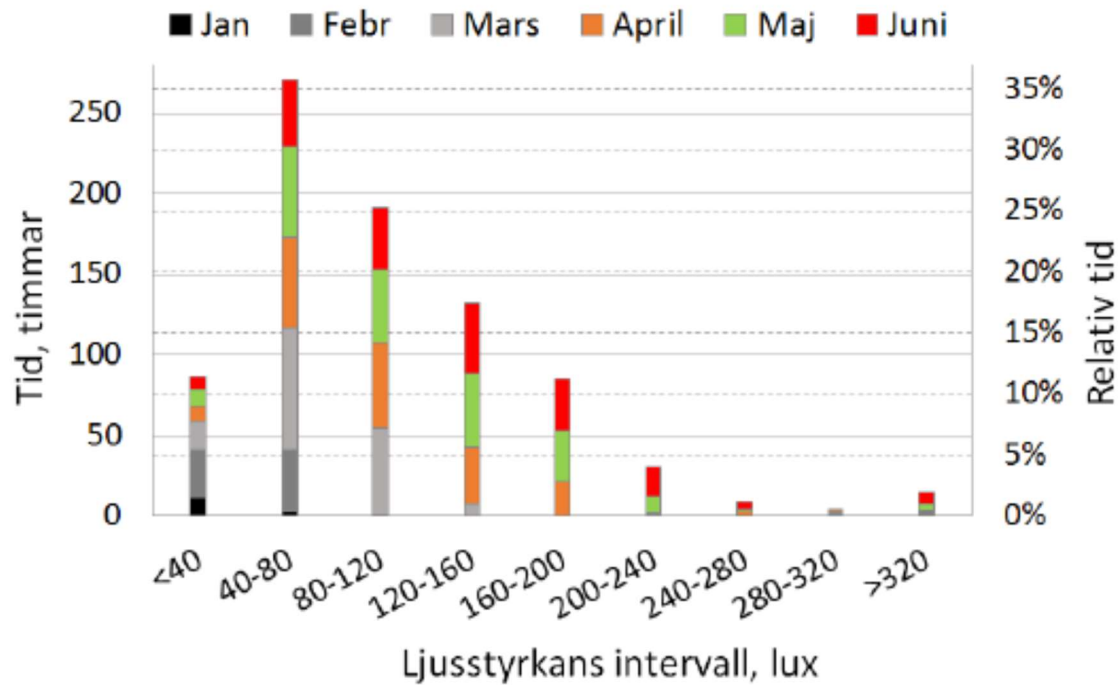
https://pub.epsilon.slu.se/12691/7/wachenfelt_h_etal_151013.pdf

Ljustunnel



Figur 5. Sektion B (stall 2, Solatube)

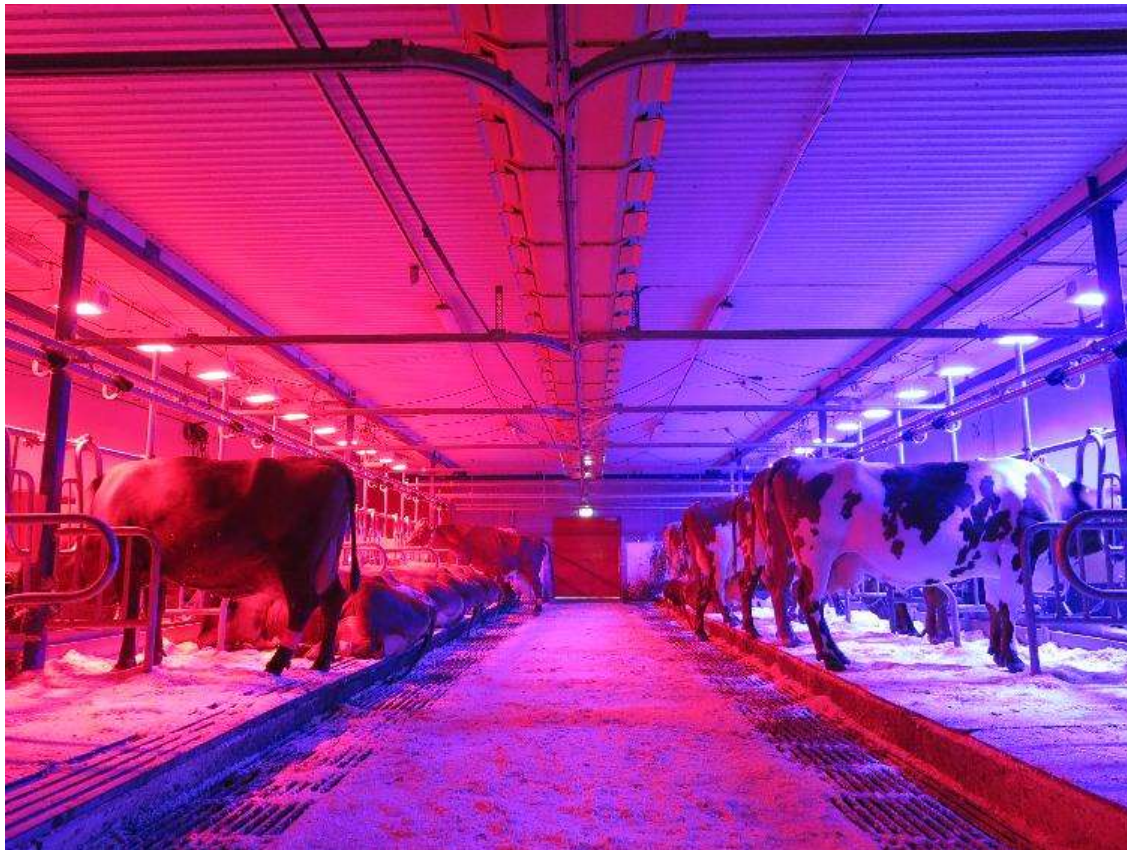




Belysningsstyrkan 0,7 m över golvnivå.
kl 8-16 januari till juni, Solartube

	Minst 40 Lux	Tid med belysning
Januari	17	231
Februari	75	149
Mars	154	94
April	181	59
Maj	207	41
Juni	201	39
Juli	220	28
Augusti	188	60
September	163	77
Oktober	66	182
November	88	152
December	38	210
Total	1598	1322

Pågående forskning



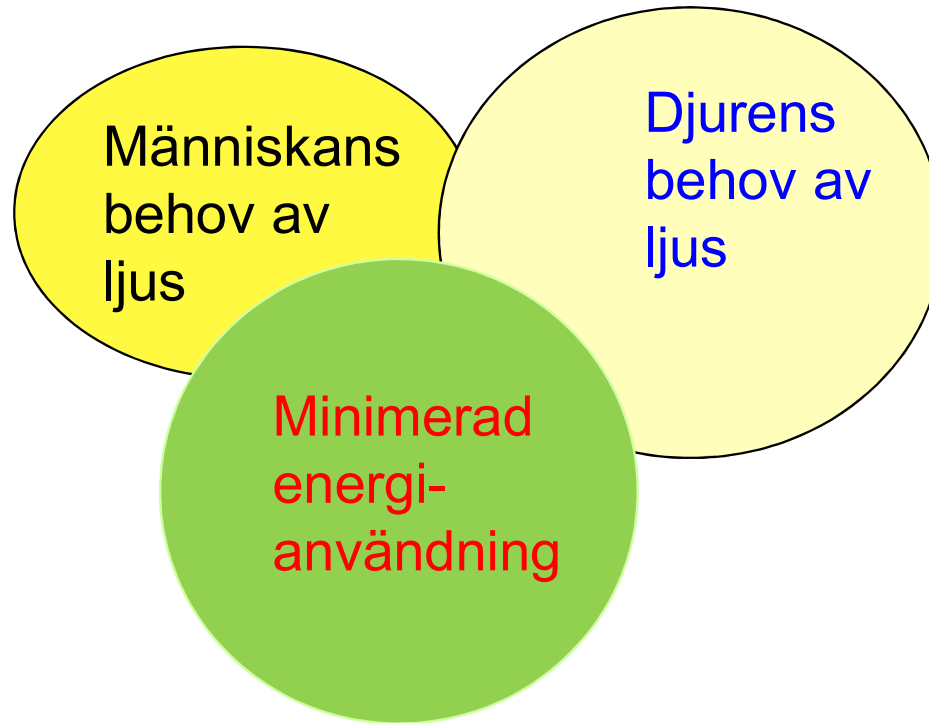
Pågående forskning



Pågående forskning



Ett komplext problem



Vad är bra ljusmiljö för djur och människor?

Stallmiljö i Sverige under tidigt 1900-tal



Foto: L. Palmqvist. Nordiska museets arkiv.



- Doktorand – Effekter av ljus på mjölkors produktivitet och aktivitet
- Husdjursagronom
- Sofia.lindkvist@slu.se



- Universitetsadjunkt, Teknik
- Agronom
- Torsten.hörndahl@slu.se



Ljus i stallmiljö

Torsten Hörndahl

Sofia Lindkvist

Belysning i olika stallmiljöer

Linköping 2019-05-20