

Lys på laksens premisser

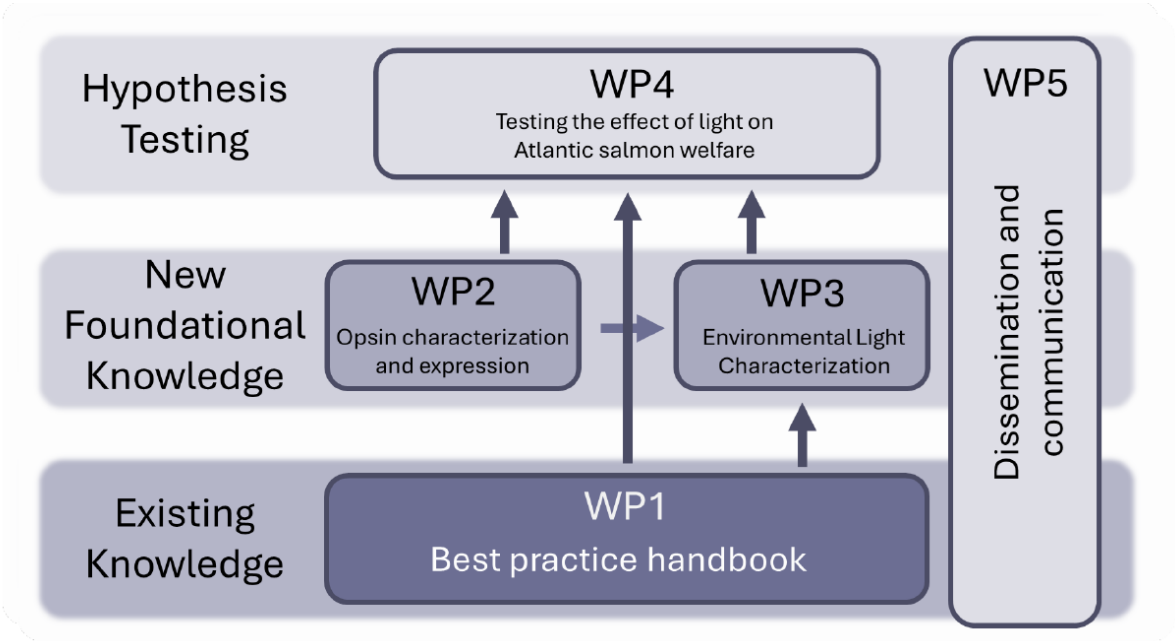
Logging av lys per opsin i et RAS-settefiskanlegg, fra parr til smolt – Harald Ian Muri

Illumiakva - FHF

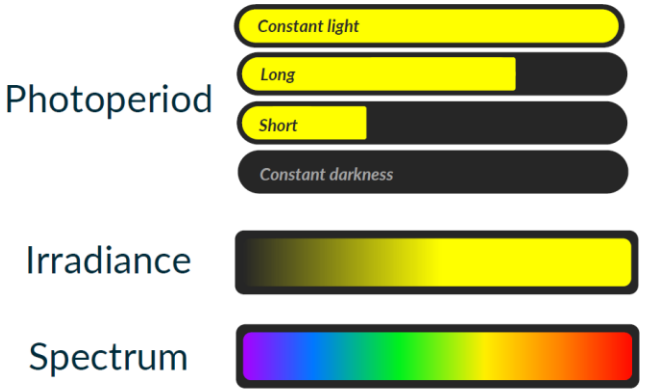
Light quality and light regimes for safe production of robust Atlantic salmon and rainbow trout

Provide best practice guidance

Close key knowledge gaps









Light used throughout life-cycle

Lux

Human perceived brightness

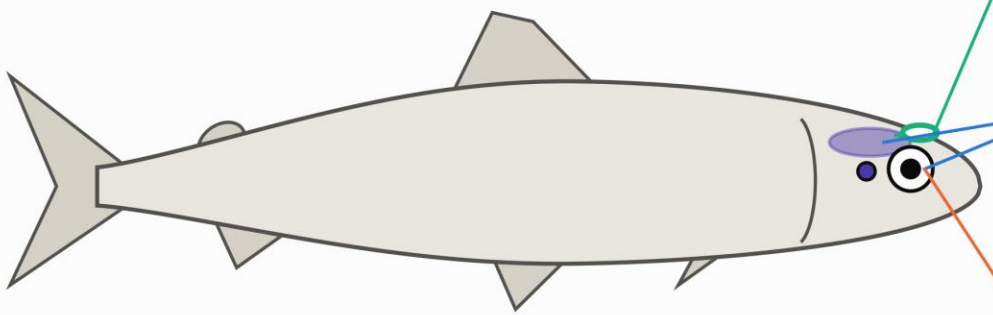
α-opic irradiance

Organism-specific light measurement

Først, takk til alle bidrag brukt i presentasjonen

Forsøksvert	SalMar Settefisk, avd. Senja — Stein Roar Ernstsen og Øystein Vågen Dimmen: tilgang til karene, anleggets logg og hjelp med utplassering
Prosjekt og finansiering	IllumiAkva (FHF 901962), finansiert av FHF. Prosjektleder: Anja Striberny, Nofima
Opsindata og feltarbeid	Opsin-karakterisering: Jana Kalinová og Alexander C. West, UiT · Hjelp med forsøket: Amund Skjellstad, SINTEF Ocean
Partnere	Nofima · UiT Norges arktiske universitet · NORCE · University of Manchester · SINTEF Ocean · FBN · SalMar Settefisk · Grieg Seafood · NCE Aquaculture · Signify · INAQ

Tema for presentasjon: Laksens sensorer og oppfattelsen av sitt lysmiljø



pineal exorhodopsin

flere opsiner, mest exorhodopsin

83 % av pinealorganets ikke-visuelle opsiner

Opn4-melanopsiner

seks gener, fem målt in vitro;
netthinne og hjerne

toppunkt 471–489 nm

tapper og staver

staver, og UV, blå, grønne og røde tapper

grønne tapper skifter mot blått
ved smoltifisering, i ferskvann (predikert)

Noen endres med stadium.
Om de er aktive hos oppdrettslaks er ukjent.

Nordtug & Berg 1990 · Sandbakken et al. 2012 · Eilertsen et al. 2026 · Horne et al. 2026 · West et al. 2026 · Kalinová & West, upublisert

Hver opsingruppe leser en ulik del av spekteret og tjener et ulikt signal, og noen endrer seg med livsstadiet. For å styre responsene må lyset dokumenteres per opsin, ikke som ett tall.

Hvordan lys måles i dag: lux og PAR ofte brukt

1

Lux: menneskeøyet

Vektet for menneskets syn, toppunkt på 555 nm i det grønne

2

PAR: for planter og alger

Teller hvert foton fra 400 til 700 nm likt; sier ingenting om hva en fisk oppfatter

3

Måles ved lampen eller overflaten

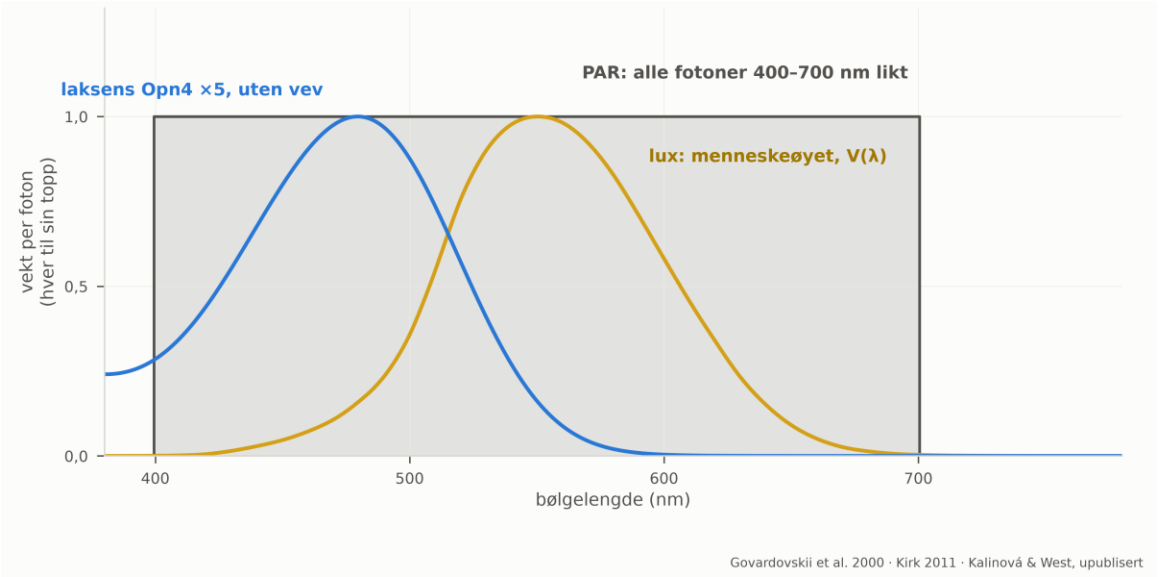
Før vannet og fiskens eget vev filtrerer lyset

4

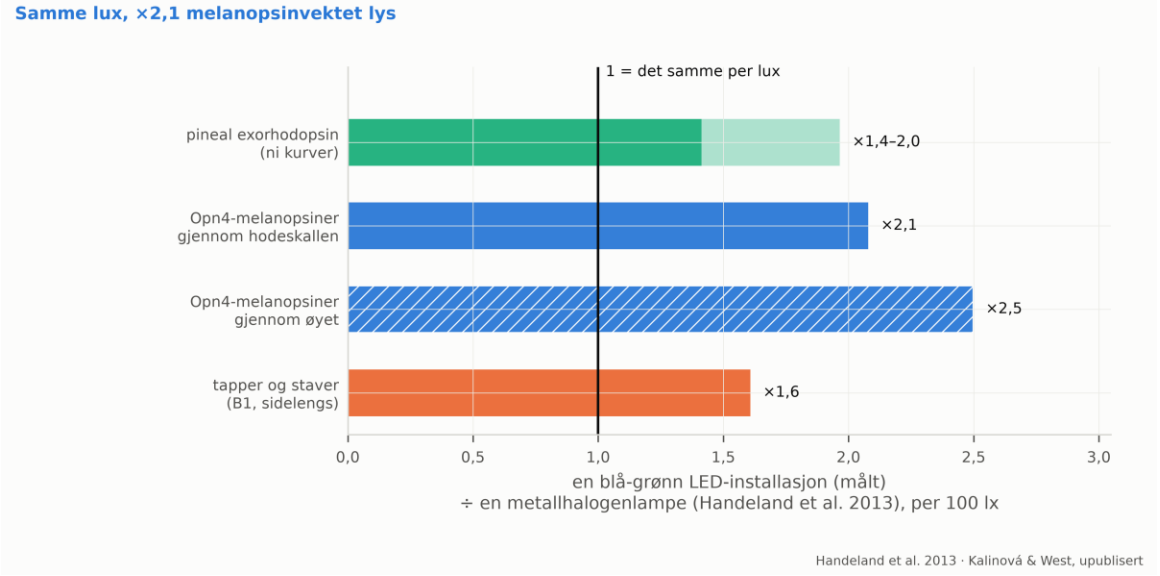
Samme lux, ulikt lys

To lamper med lik lux: omtrent dobbelt så mye melanopsinvektet lys

Mål derfor spekteret og vekt det per opsin: reseptorvektet (α-opisk) irradians.



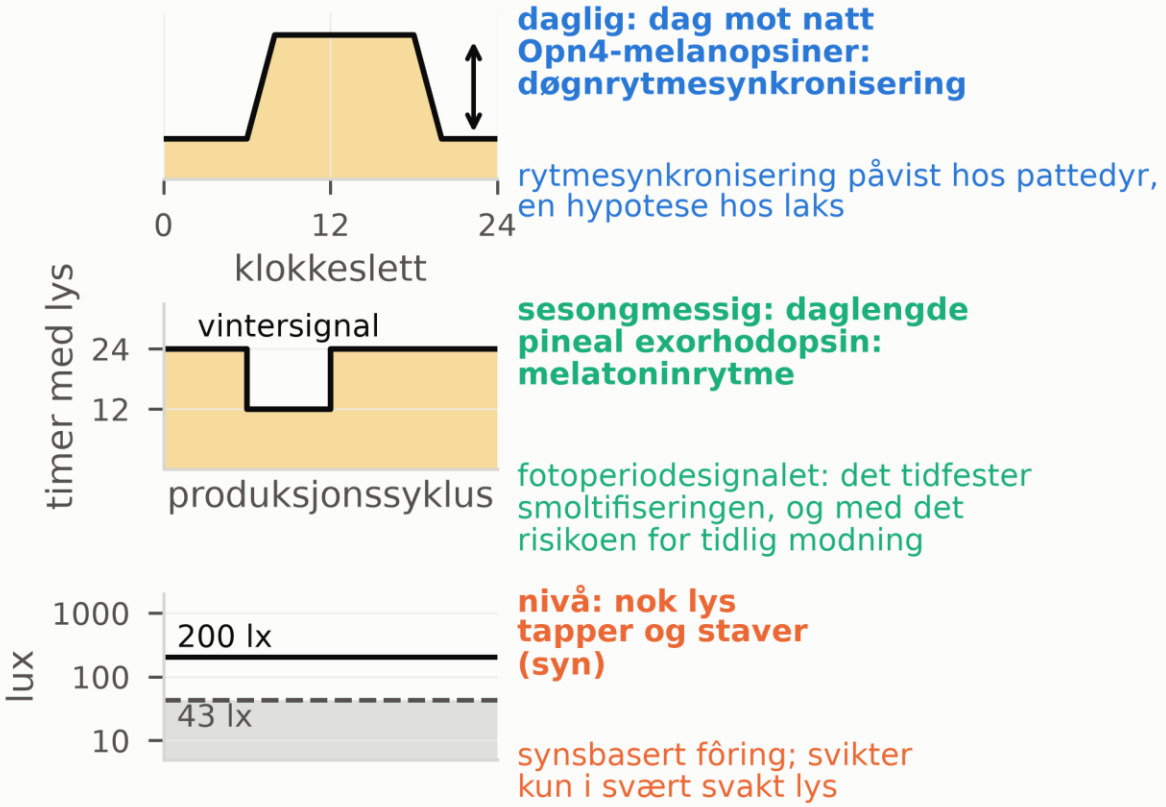
Govardovskii et al. 2000 · Kirk 2011 · Kalinová & West, upublisert



Handeland et al. 2013 · Kalinová & West, upublisert

CIE S 026:2018 · Kirk 2011 · Govardovskii et al. 2000 · Handeland et al. 2013

Fordel med lysmengde per opsin



Handeland et al. 2013 · Horne et al. 2026 · Pan et al. 2023
Fjelldal et al. 2011 · Kalinová & West, upublisert

Daglig: dag mot natt

Påvist: en lys-mørke-syklus synkroniserer døgnrytmen gjennom melatonin fra pinealorganet. Nattlys økte veksten hos postsmolt i sjømerder. Svært sterkt kontinuerlig lys skadet netthinnen, som kom seg igjen ved en lys-mørke-syklus.

Forventet: kontrast og en mørk eller månelyst natt gir restitusjon, lavere stress og bedre velferd.

Sesongmessig: daglengde

Påvist: et vintersignal, deretter lange dager eller 24 t lys, induserer smoltifisering. Å beholde en kort natt under smoltinduksjon reduserte kjønnsmodning hos hanner; kontinuerlig lys ved 16 °C økte den.

Forventet: det rette signalet smoltifiserer uten å utløse modning.

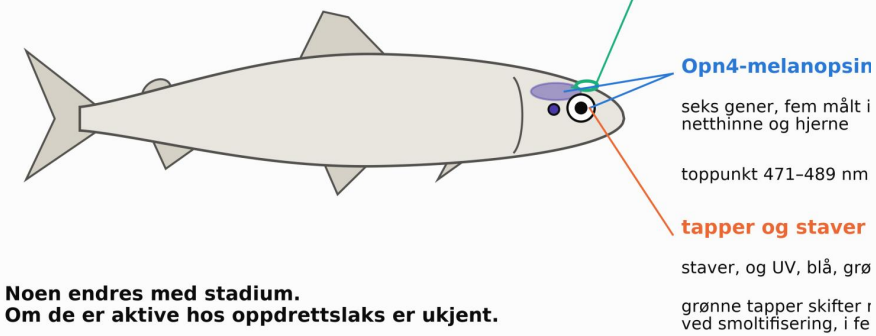
Nivå: nok, ikke for mye

Påvist: for lite lys ga redusert smoltkvalitet (43 lx oppgitt som minimum). Synsbasert fôring svikter kun i svært svakt lys.

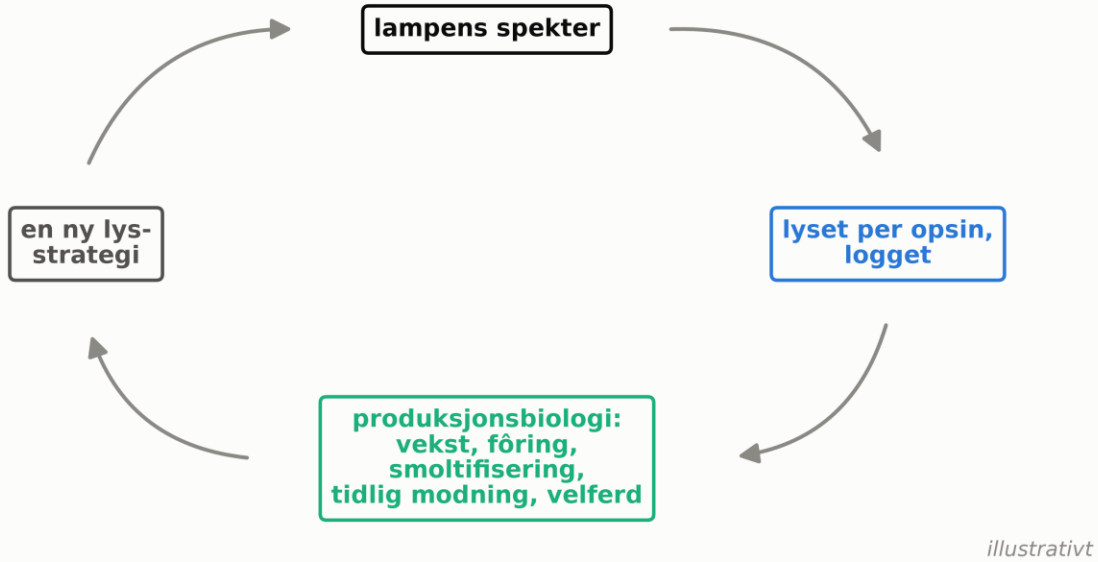
Forventet: bedre syn gir bedre fôring; spredning reduserer visuell kontrast.

Migaud et al. 2010 · Oppedal et al. 1997 · Vera & Migaud 2009 · Stefansson et al. 2008 · Handeland & Stefansson 2001 · Fraser et al. 2023 · Fjelldal et al. 2011 · Handeland et al. 2013 · Hansen et al. 2017

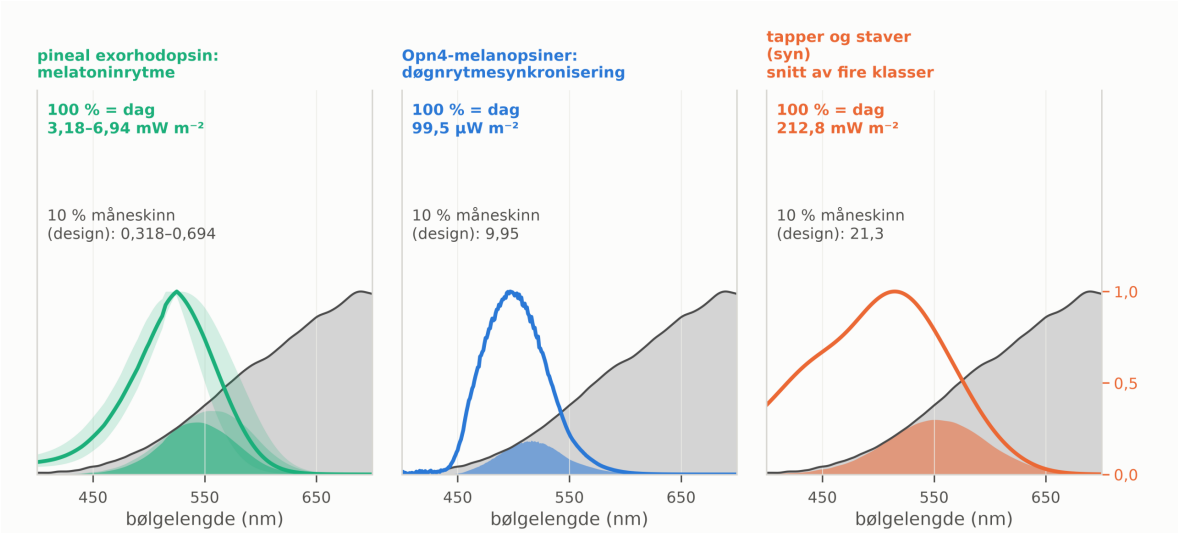
Fordel med lysmengde per opsin



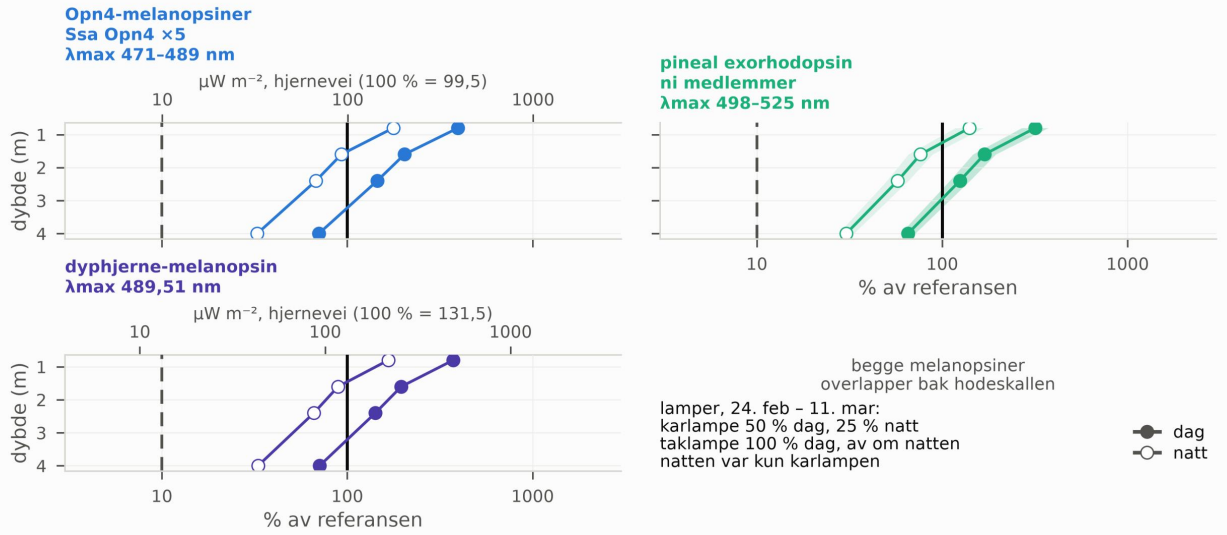
Noen endres med stadium.
Om de er aktive hos oppdrettslaks er ukjent.



Nordtug & Berg 1990 · Sandbakken et al. 2012 · Eilertsen et al. 2026 · Horne et al. 2026 · West et al. 2026 · Kalinová & West, up

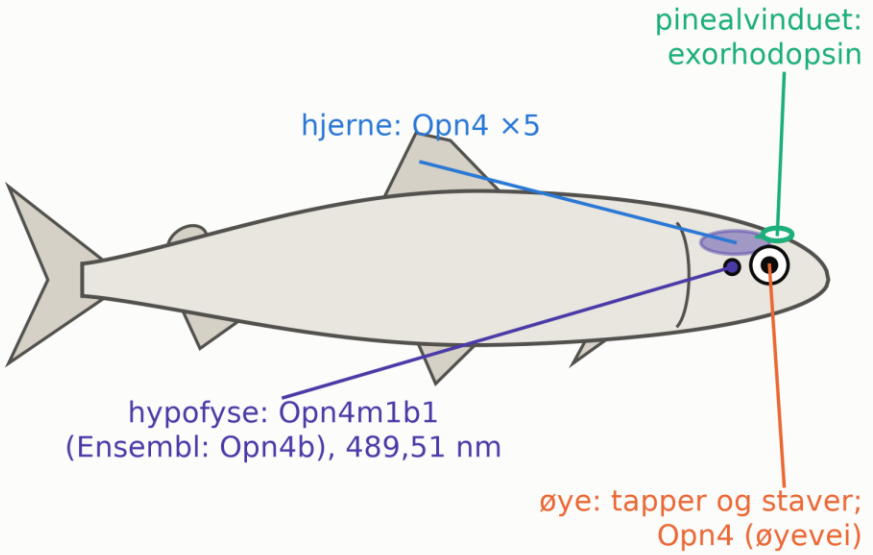


Handeland et al. 2013 · Horne et al. 2026 · Pan et al. 2023 · Kalinová & West, upublisert



heltrukken: Handeland 200 lx = 100 % stiplet: måneskinn 10 %
øvre skala: nivået; exorhodopsin har ni kurver og ni referanser, dermed ingen felles skala (nivåer: backup-tabell)

Opsinene vi følger her er:

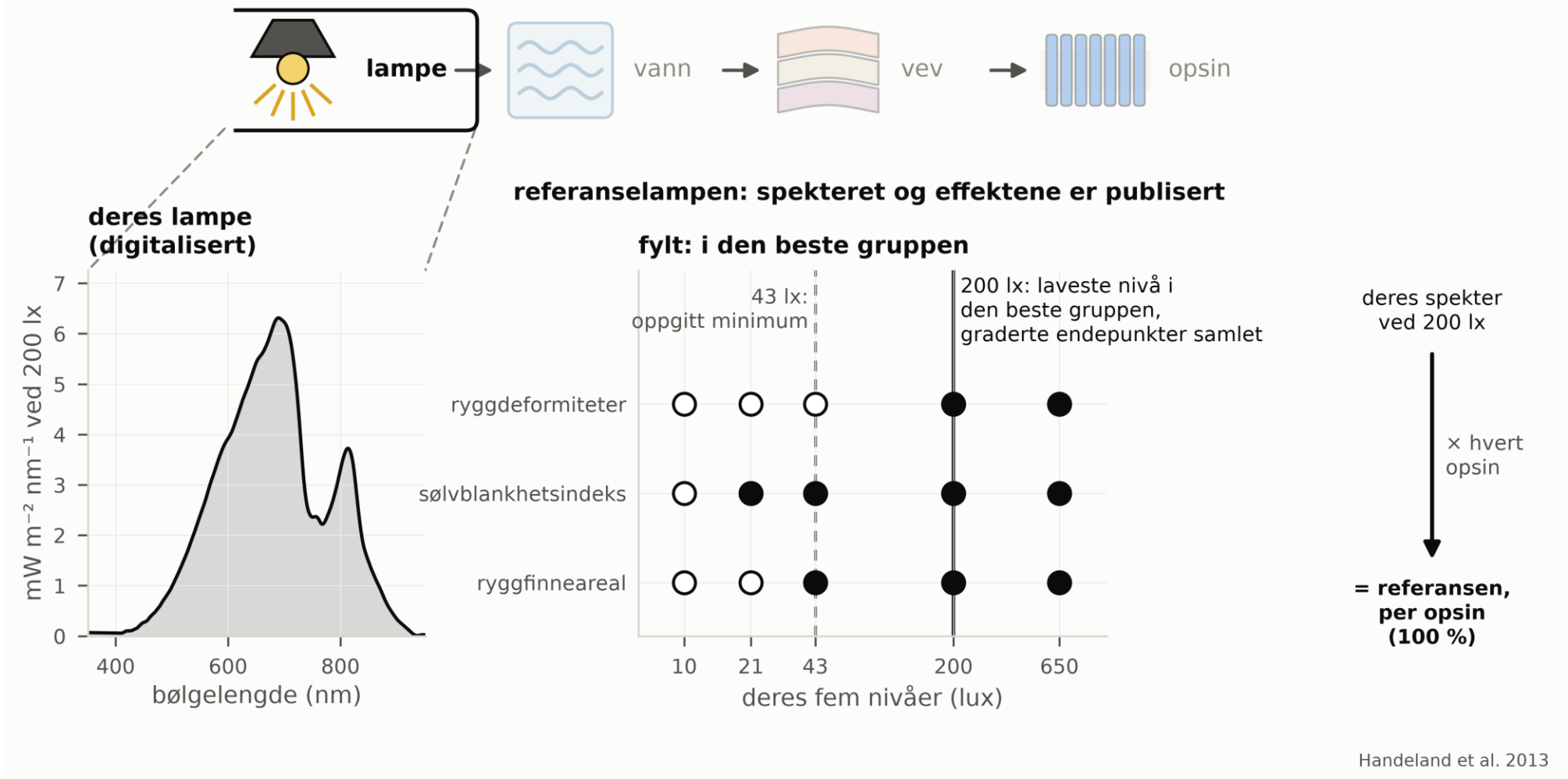


	pineal exorhodopsin	Opn4-melanopsiner ×5	tapper og staver
hvor	pinealorgan (83 % av dets ikke-visuelle opsiner)	hjerne, netthinne	øye: fem klasser, fire tegnet
λmax	ikke målt hos laks	471–489 nm	420–560 nm (predikert)
stadium	øker fra parr til post-smolt	parr	grønn skifter til blått ved smolting (predikert)
tilknyttet signal	melatoninrytme (enzymer sam-uttrykt)	døgnrytme-synkronisering	syn
evidens	påvist hos laks (uttrykk)	påvist hos andre virveldyr; hypotese for laks	påvist hos laks
referanse	Horne et al. 2026; Eilertsen et al. 2026	Pan et al. 2023; Sandbakken et al. 2012; Kalinová & West, upublisert (in vitro, metode av McDowell et al. 2024)	Eilertsen et al. 2022; Eilertsen et al. 2026
		+ Opn4m1b1 (Ensembl: Opn4b), 489,51 nm, hypofyse (hjernevei), foreløpig	

Nordtug & Berg 1990 · Sandbakken et al. 2012 · Horne et al. 2026 · Pan et al. 2023 · West et al. 2026 · FAO 2009 · Kalinová & West, upublisert

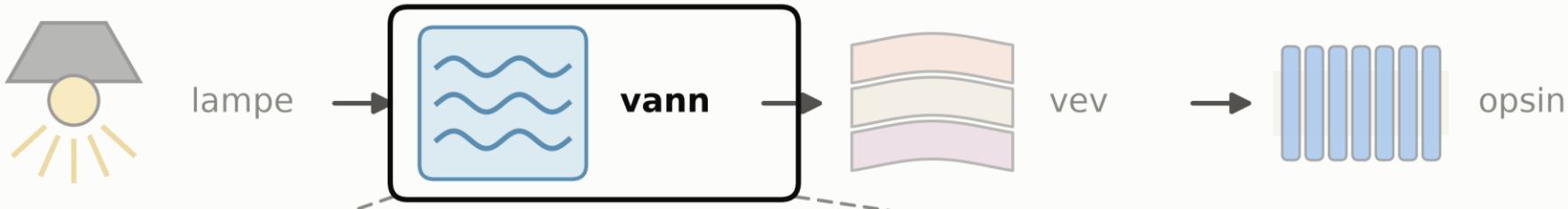
Denne presentasjonen følger tre opsingrupper og signalet hver av dem best kan knyttes til. De kan godt ha andre funksjoner i tillegg.

Lampen før spektral filtrering (Handeland et al. 2013 som referanse)

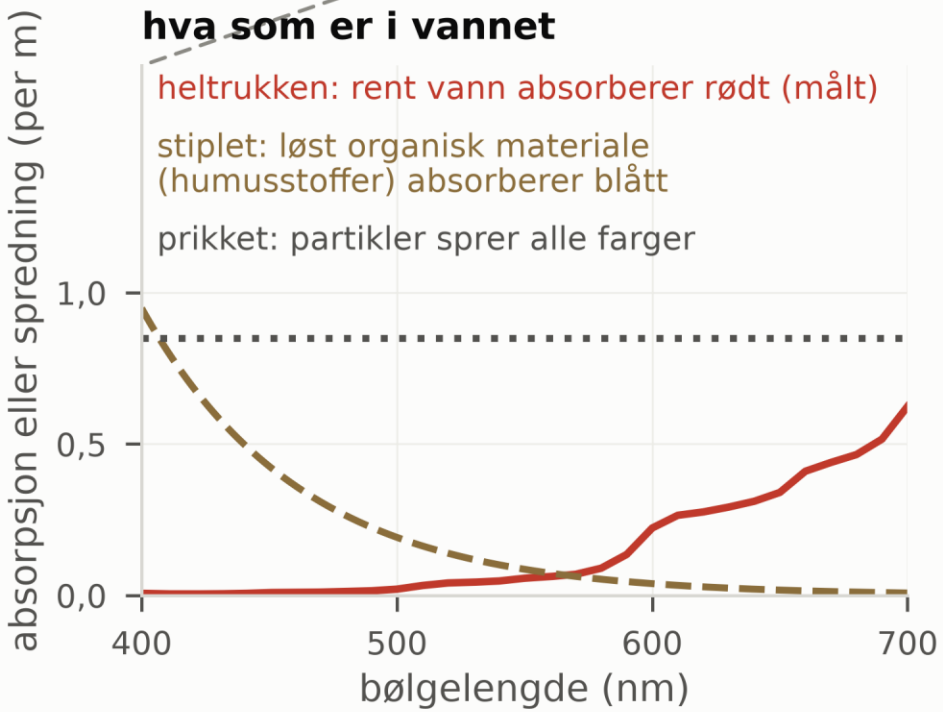


De testet fem lysnivåer og publiserte lampespekteret sitt. 43 lx er deres oppgitte minimum; 200 lx er det laveste nivået i deres beste gruppe når man ser på rangerte endepunkter samlet. Deres spekter × hvert opsin gir referansen på reseptorenes egne premisser: 100 % dag, og 10 % av dette som designnivå for måneskinn. En andel av Handeland 200 lx er en sammenligning, ikke et mål.

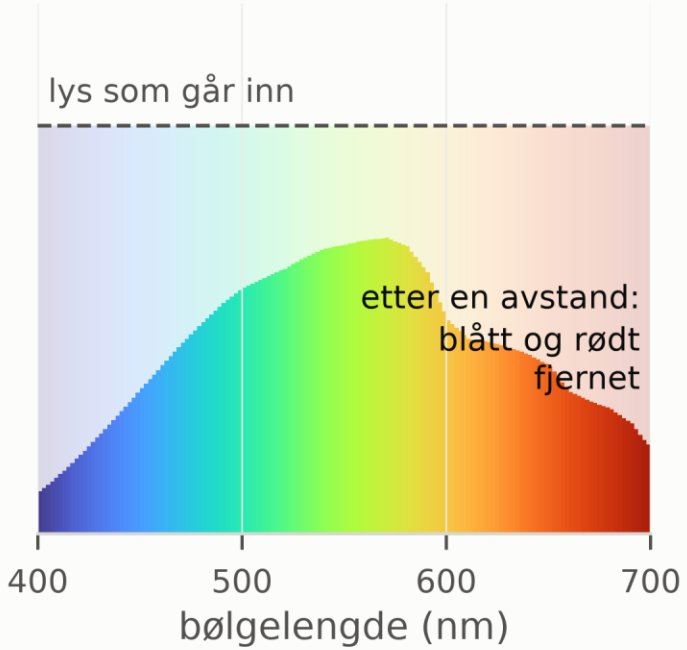
Vann som filter



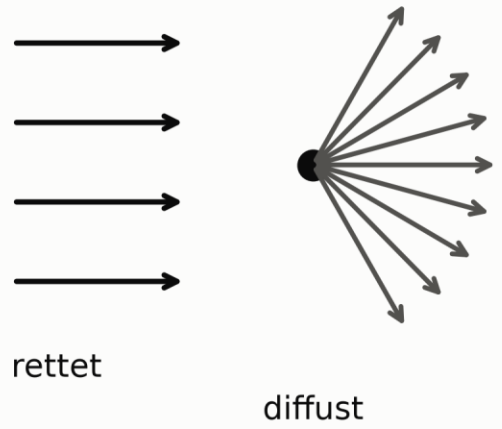
hva som er i vannet



absorpsjon: farger fjernet



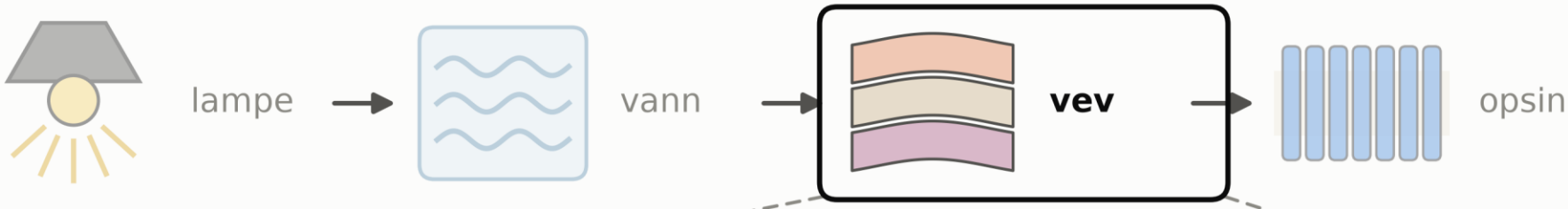
spredning: retning spres



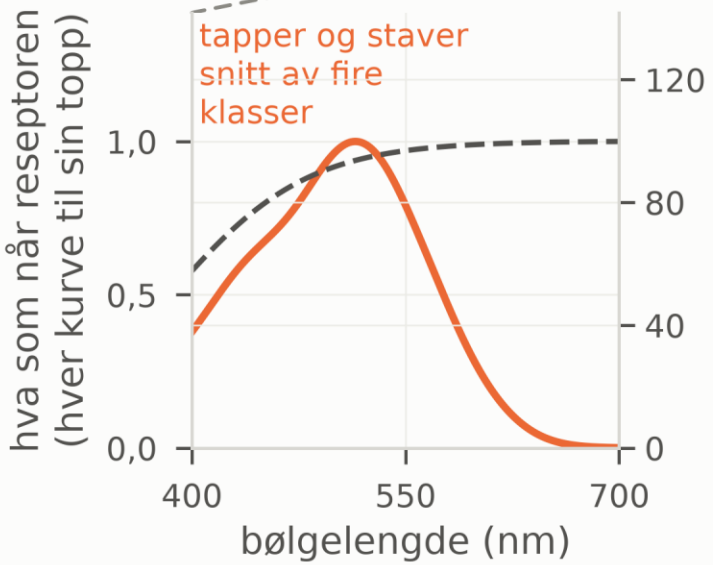
på Senja: humusstoffer og farge ikke målt; kurver er illustrative unntatt rent vann

Pope & Fry 1997 · Kirk 2011

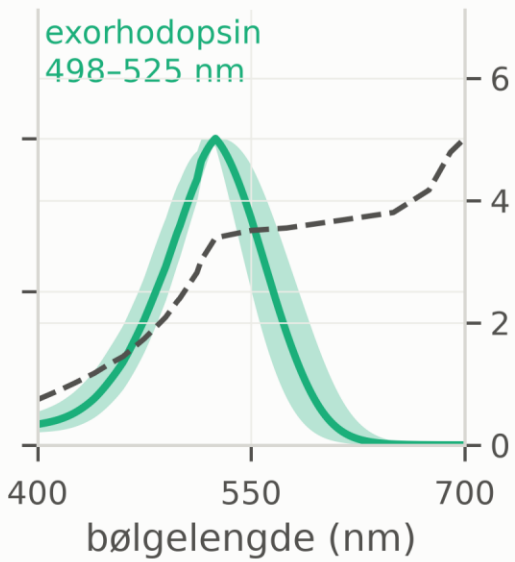
Fisken som filter



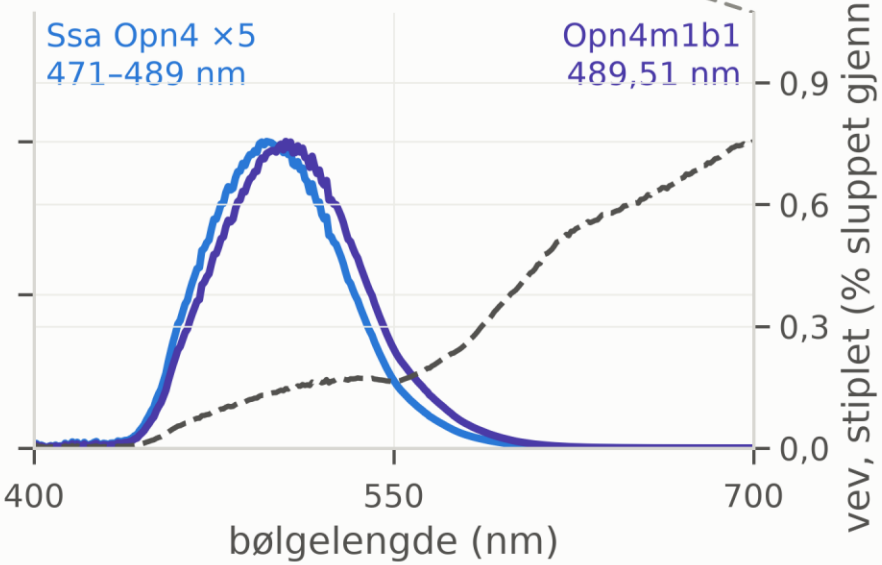
øyet
→ tapper og staver



pinealvinduet
→ exorhodopsin



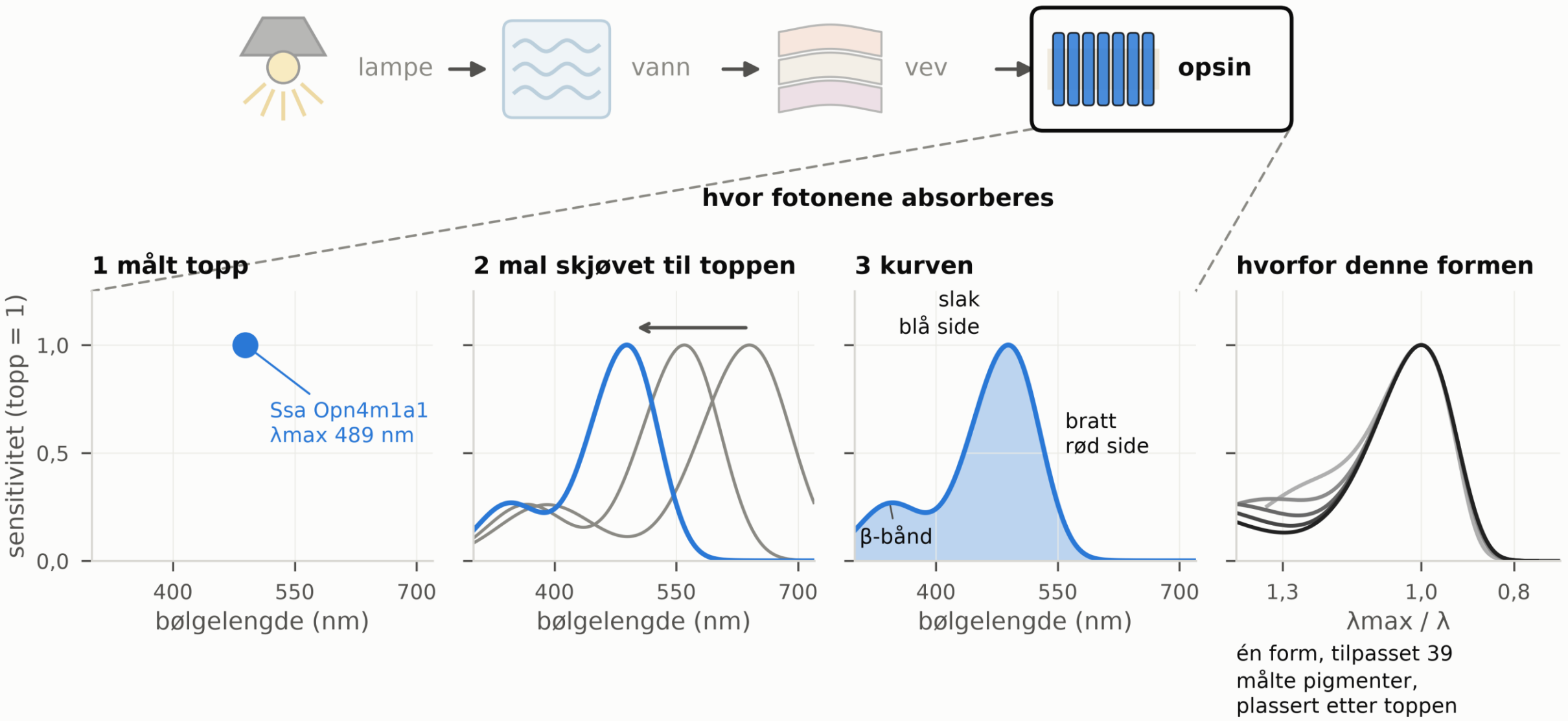
hud, hodeskalle,
hjerne → melanopsinene



begge melanopsiner overlapper bak hodeskallen

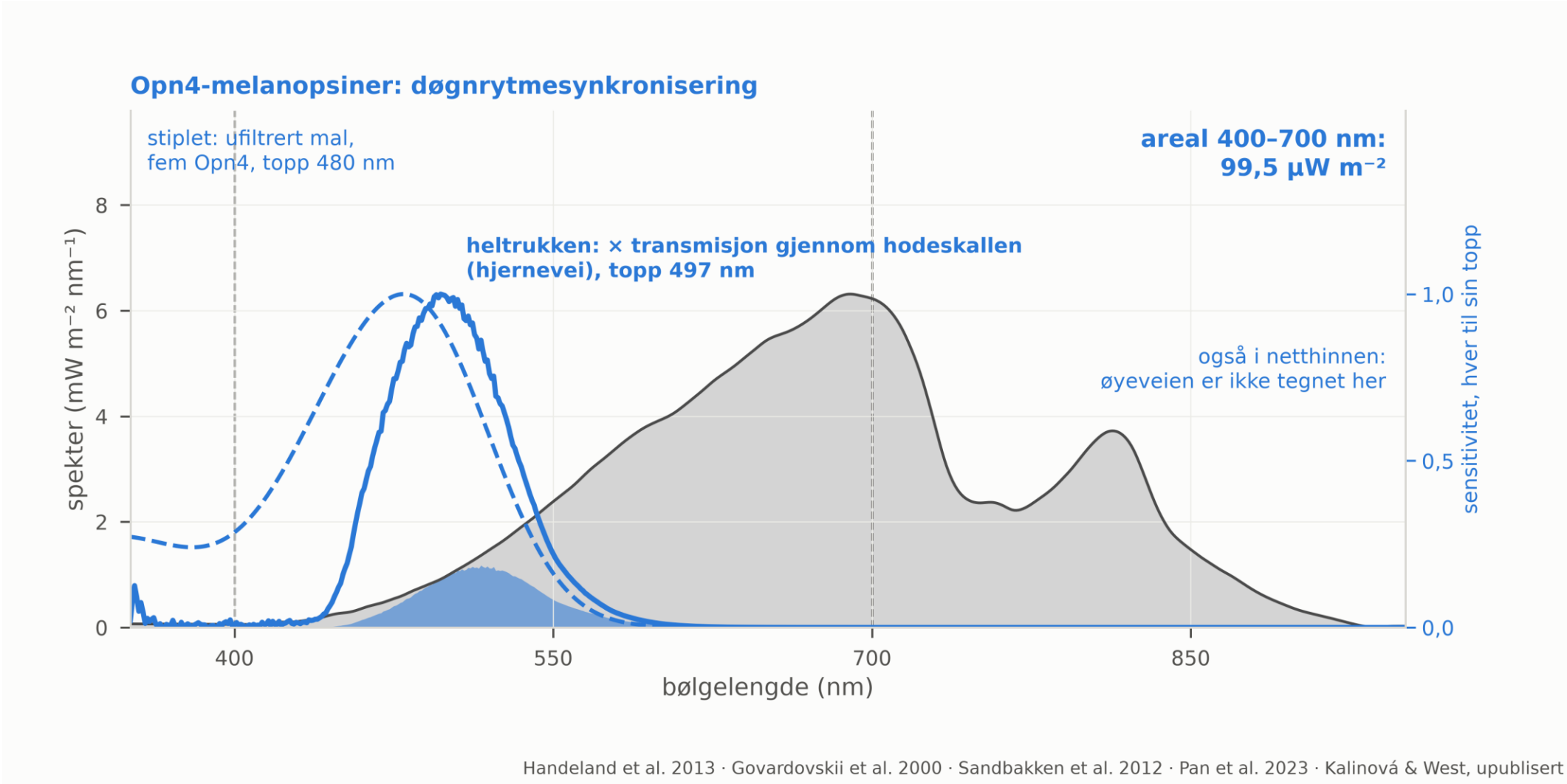
Nordtug & Berg 1990 · Kalinová & West, upublisert

Fra en målt topp til en sensitivitetskurve



Govardovskii et al. 2000 · Kalinová & West, upublisert

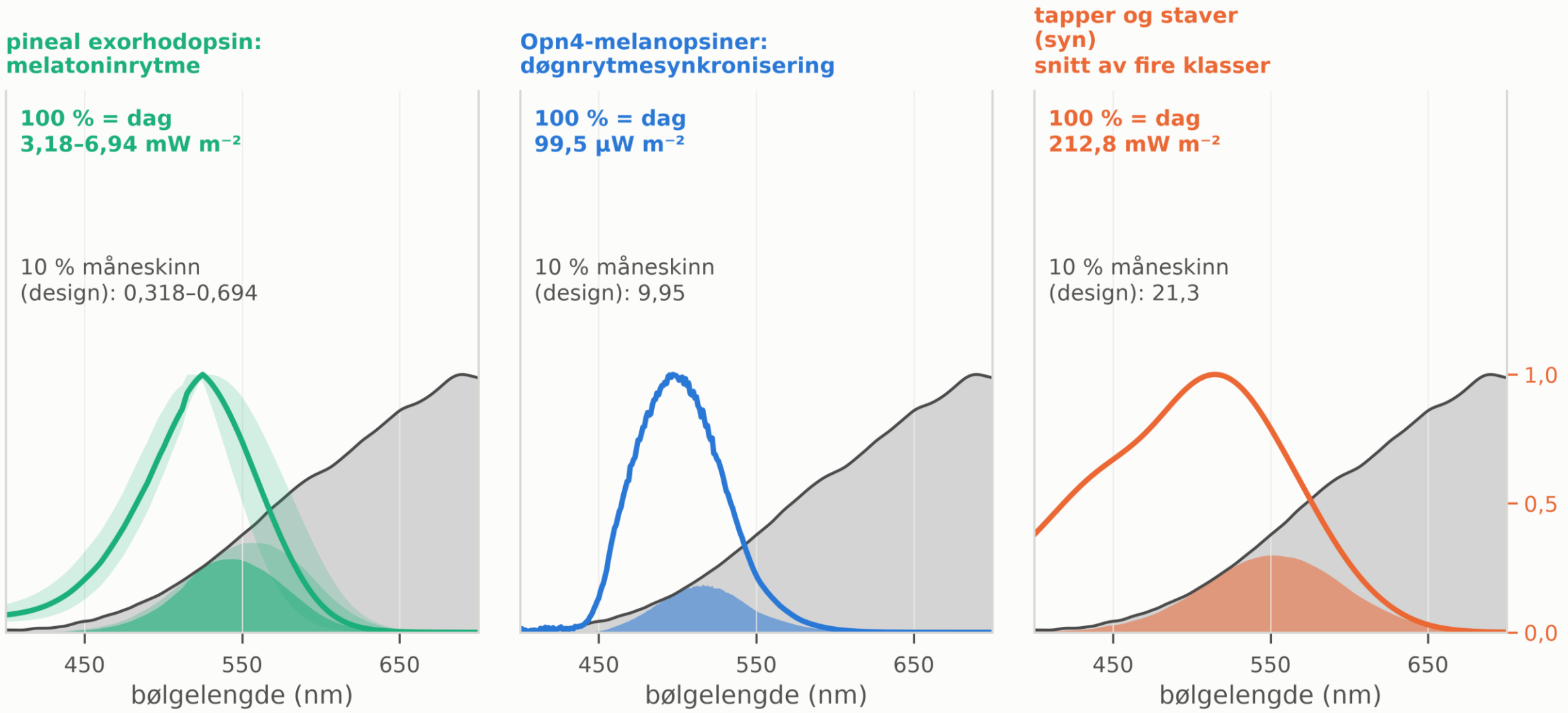
Reseptorvektet lys: Handeland 200 lx × melanopsin



Handeland et al. 2013 · Govardovskii et al. 2000 · Sandbakken et al. 2012 · Pan et al. 2023 · Kalinová & West, upublisert

Opn4-melanopsinene sitter også i netthinnen. Gjennom øyet er nivået ca. 900× høyere, men som en andel av referansen bare omtrent en femtedel høyere, fordi referansen passerer gjennom det samme vevet.

Referansen: 100 % dag, 10 % måneskinn, per opsin



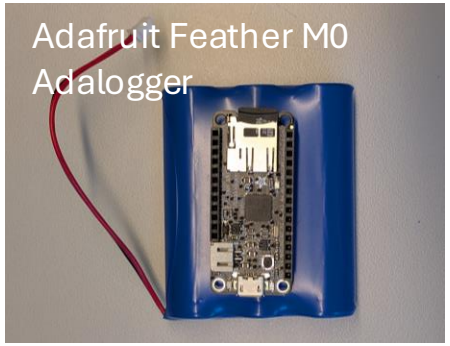
Handeland et al. 2013 · Horne et al. 2026 · Pan et al. 2023 · Kalinová & West, upublisert

Forsøket hos SalMar Senja: lavkost-loggere og en TriOS-referanse

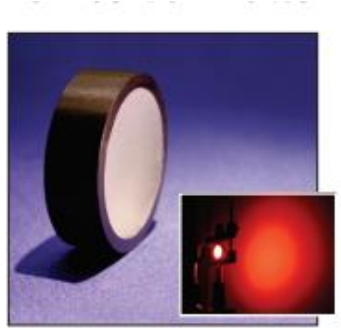
AS7341 spektral fargesensor

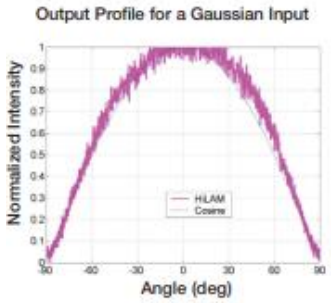


Adafruit Feather M0 Adalogger

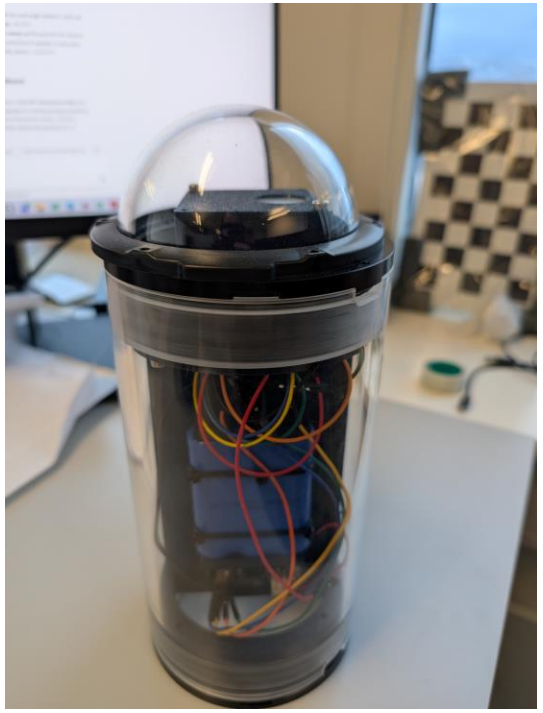


Spectralon® diffust materiale (cosinus-korreksjon)





Blue Robotics-hus



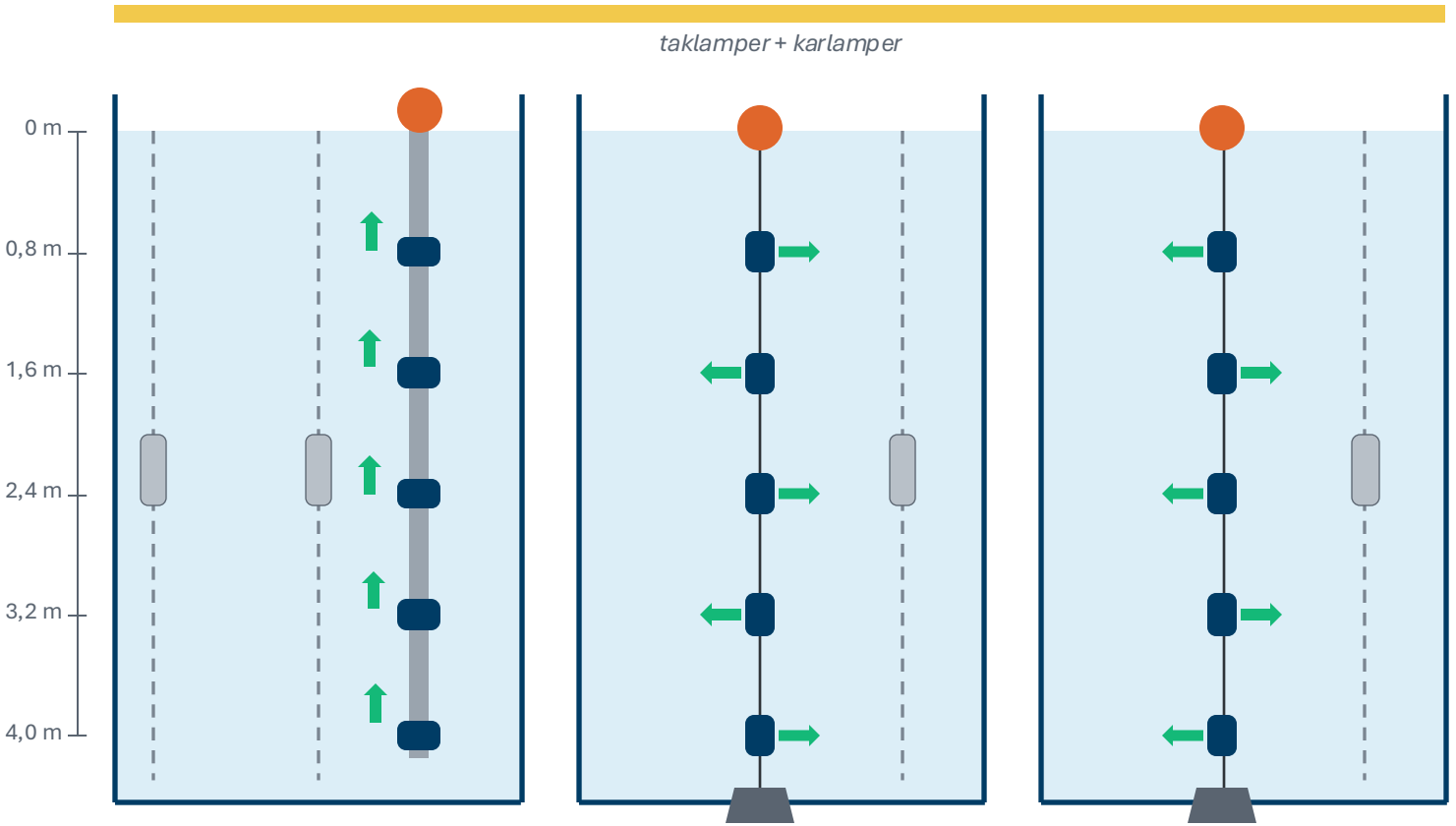
- Målt responsivitet 350–1050 nm; 8 spektralkanaler (415–680 nm) + Clear og NIR
- Autonom: batteridrevet, logger til SD-kort i 74–126 dager

TriOS spektroradiometer (irradians)



- Kalibrert 308–1130 nm, 255 bins
- Kommersiell: kjøpt fra TriOS, kablet til overflaten for logging

Riggene i kar A, B og C: skjematisk



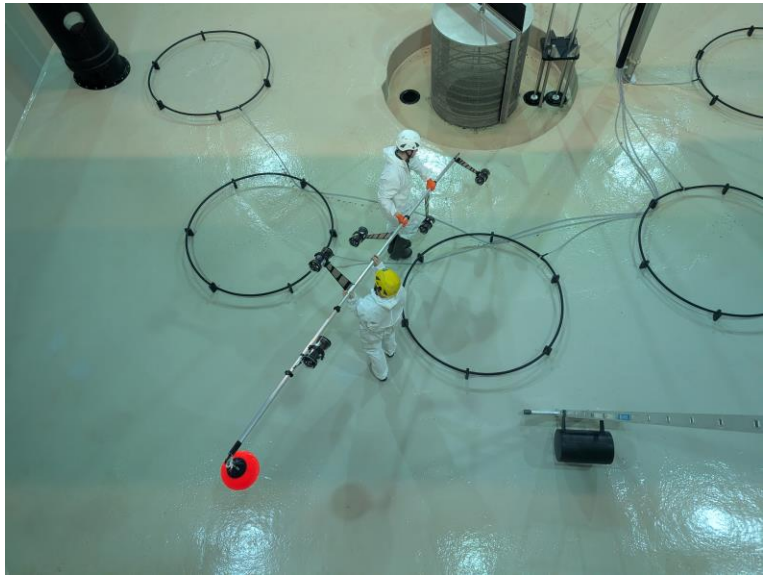
Skjematisk, ikke i skala. Kar A: TriOS i sentrum og ved veggen, riggen på halv radius. Kar B og C: hver dybde vendt i hver sin retning.

Kar A
sensorer peker opp: nedadgående irradians, som kan vektes per opsin og settes mot Handeland-referansen

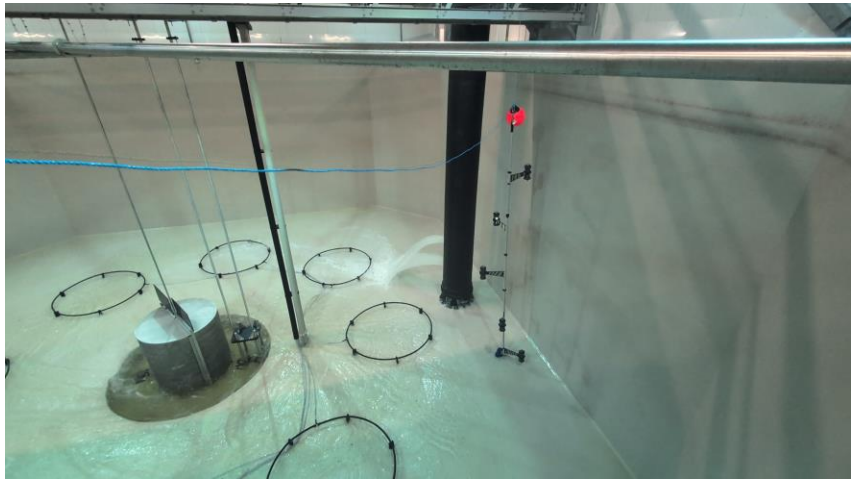
Kar B og C
sensorer sidelengs: horisontal planirradians, et nivå, ikke en andel av Handeland 200 lx

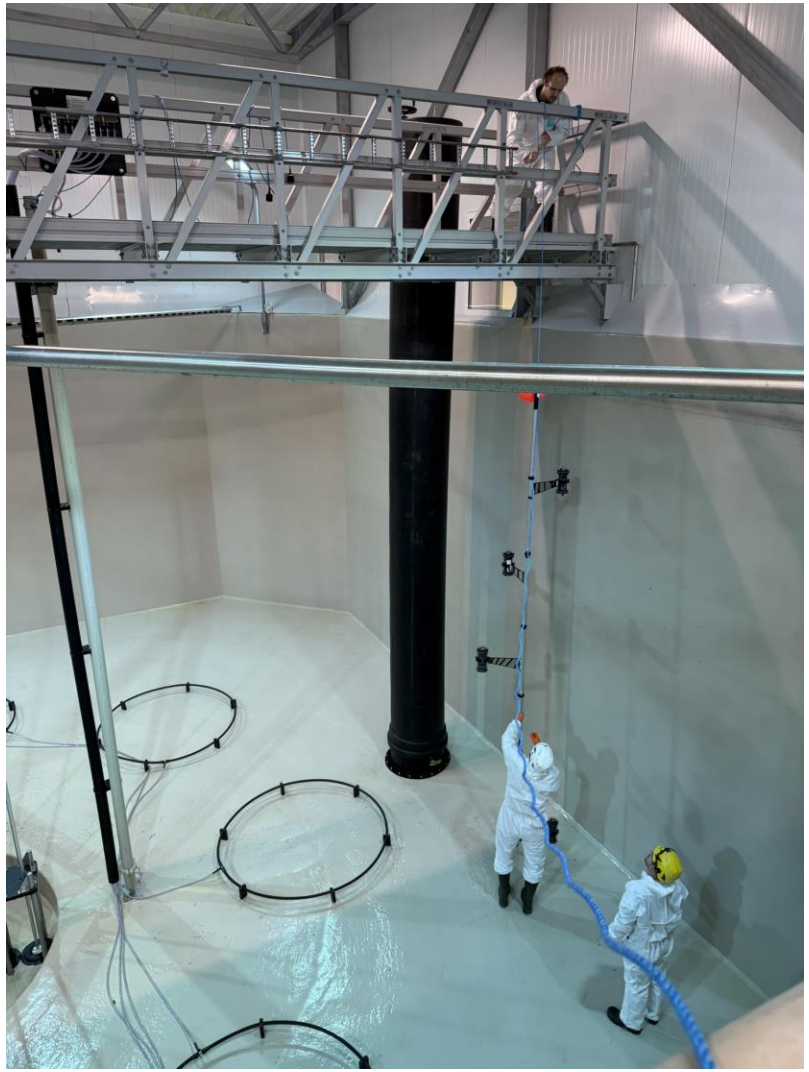
TriOS
spektroradiometer-profil i karene: referansen loggerne kalibreres mot

Forsøket hos SalMar Senja



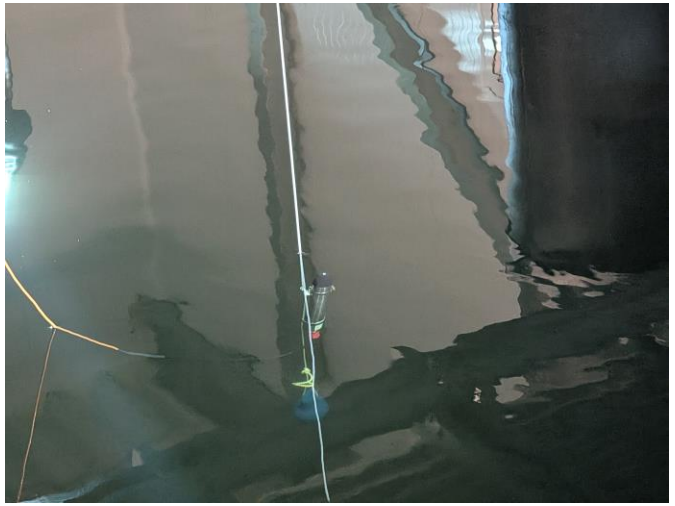






Riggene og TriOS i karene



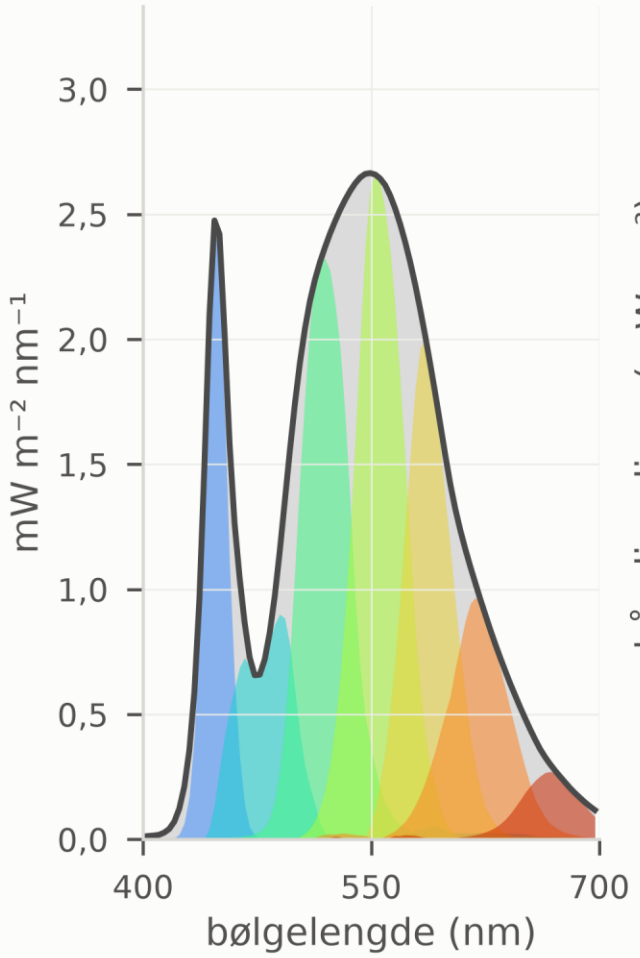




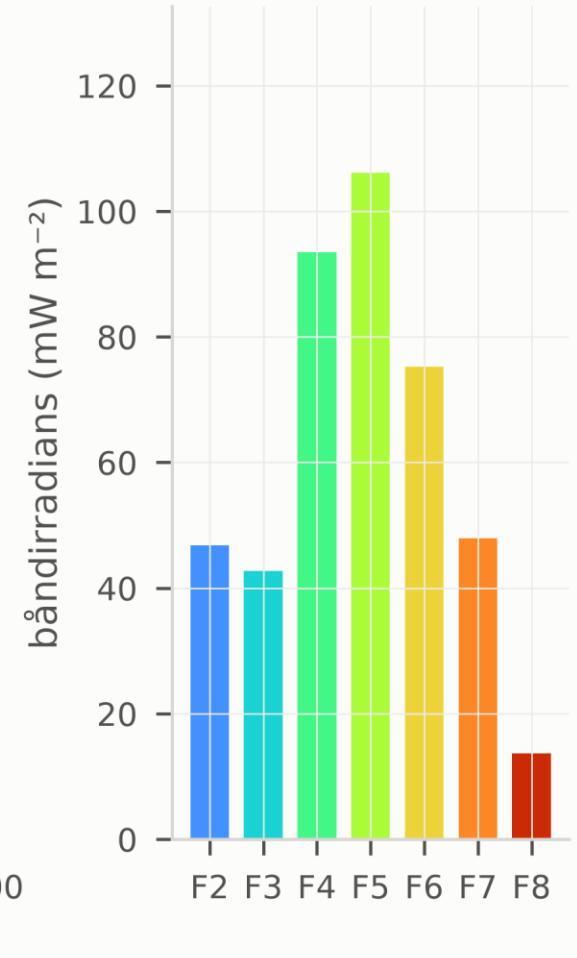
Loggere kalibrert mot TriOS

A1 sin referanse: TriOS i sentrum av kar A, aldri ved siden av A1; veggprofilen, timer senere, ville gitt koeffisienter ÷1,2–1,6

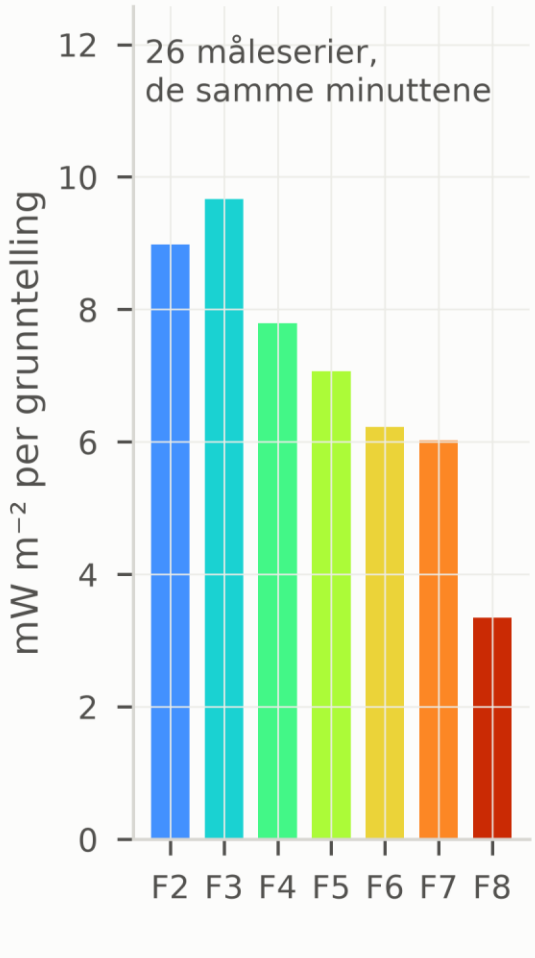
1 TriOS ved 0,8 m, gjennom hver kanal



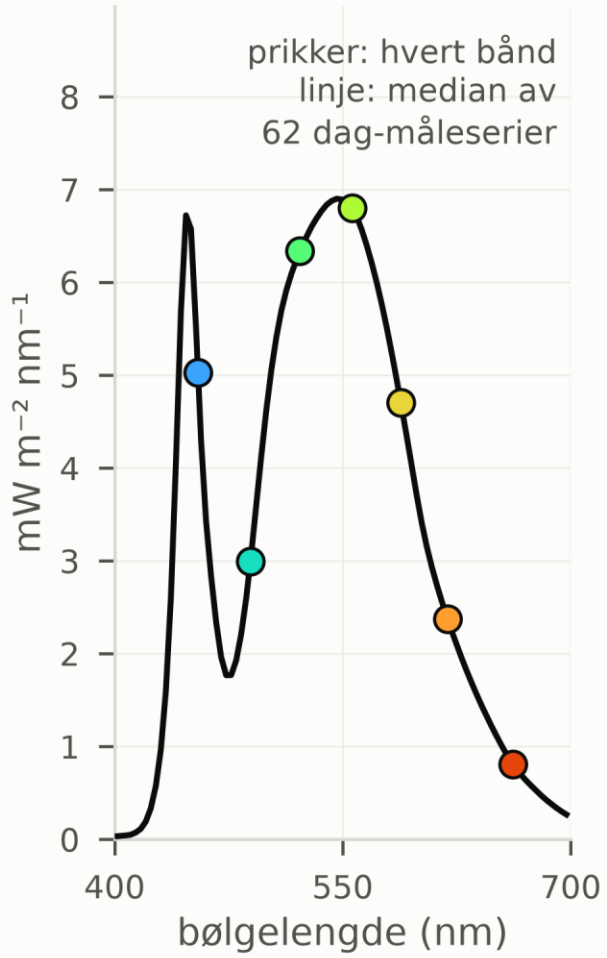
2 hva hvert bånd mottar



3 ÷ A1 sine tellinger: én koeffisient hver



4 27. februar: tilbake til et spekter

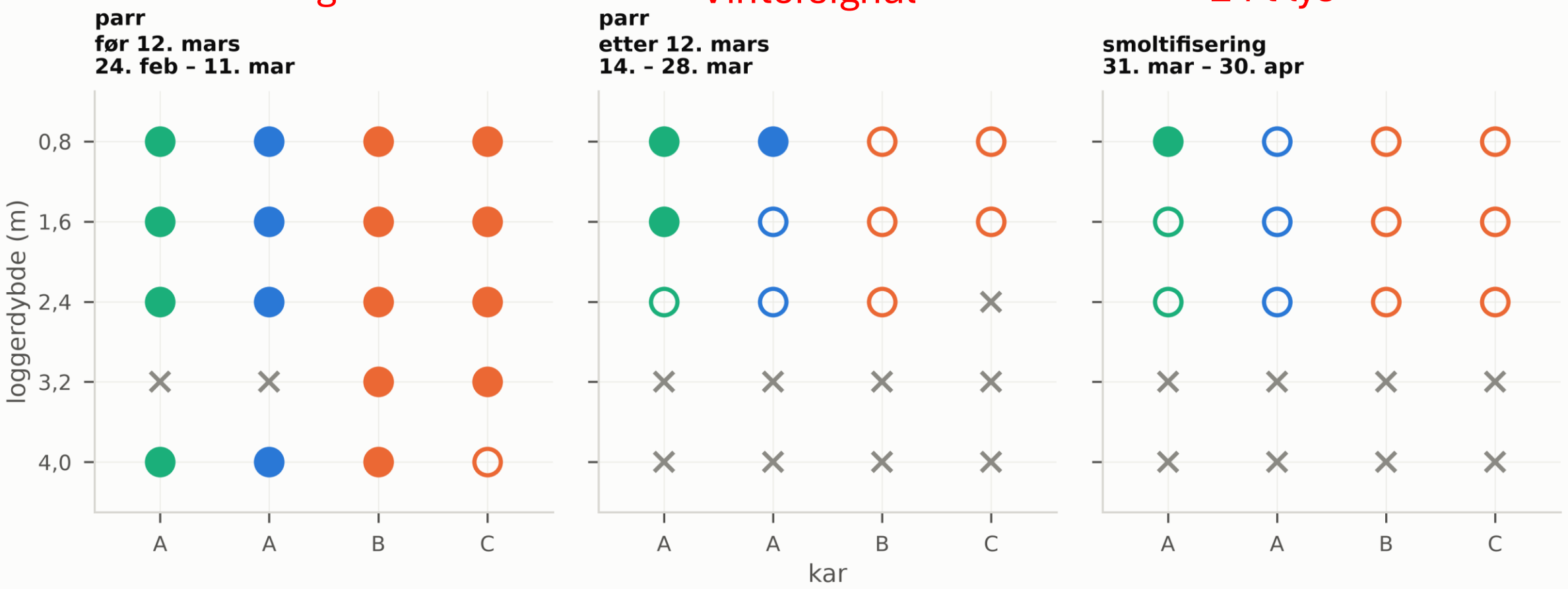


Hva fikk vi målt gjennom stadiene

Vintersignal

Vintersignal

24 t lys



pineal exorhodopsin: melatoninrytme

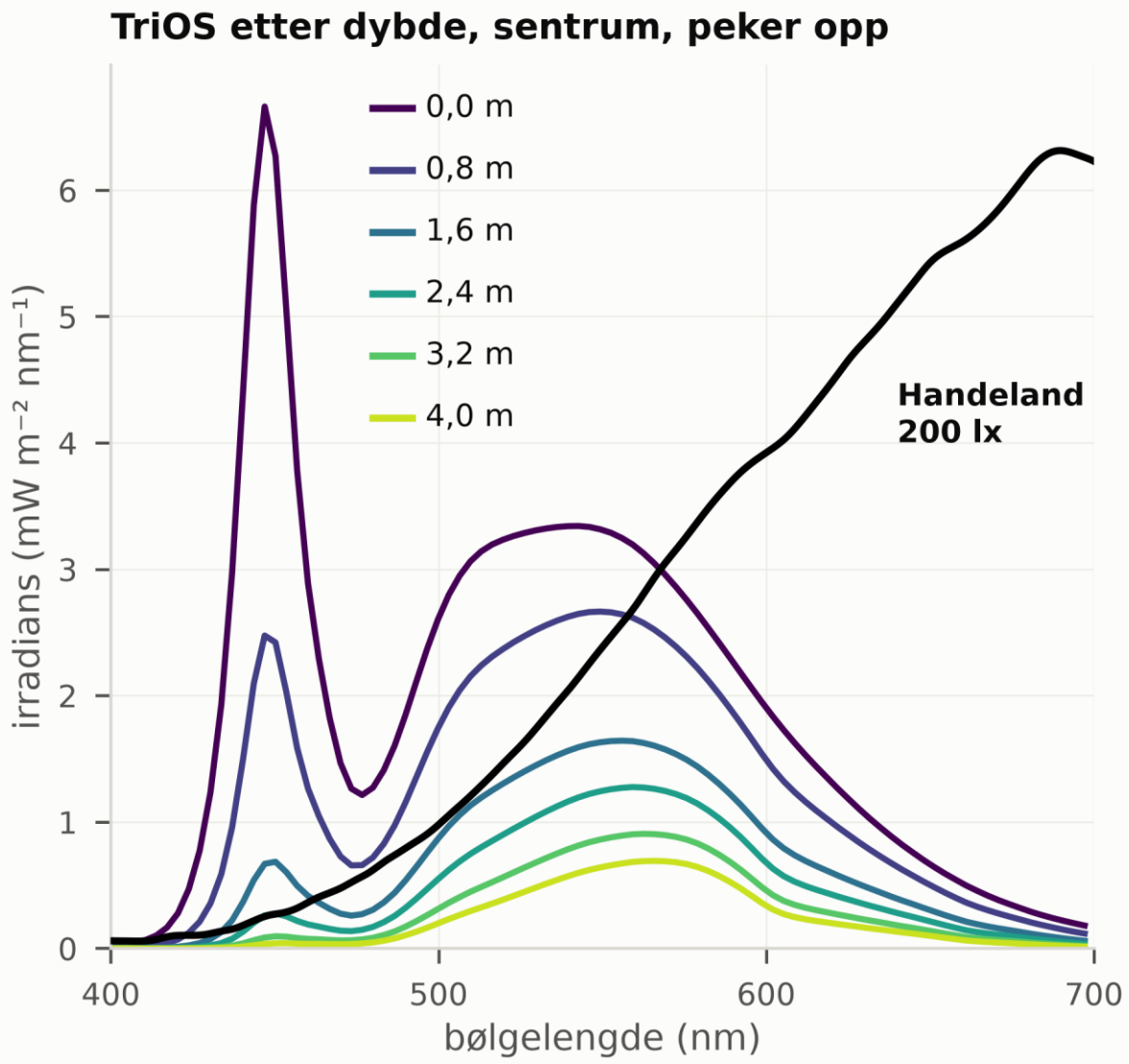
Opn4-melanopsiner: døgnrytmesynkronisering

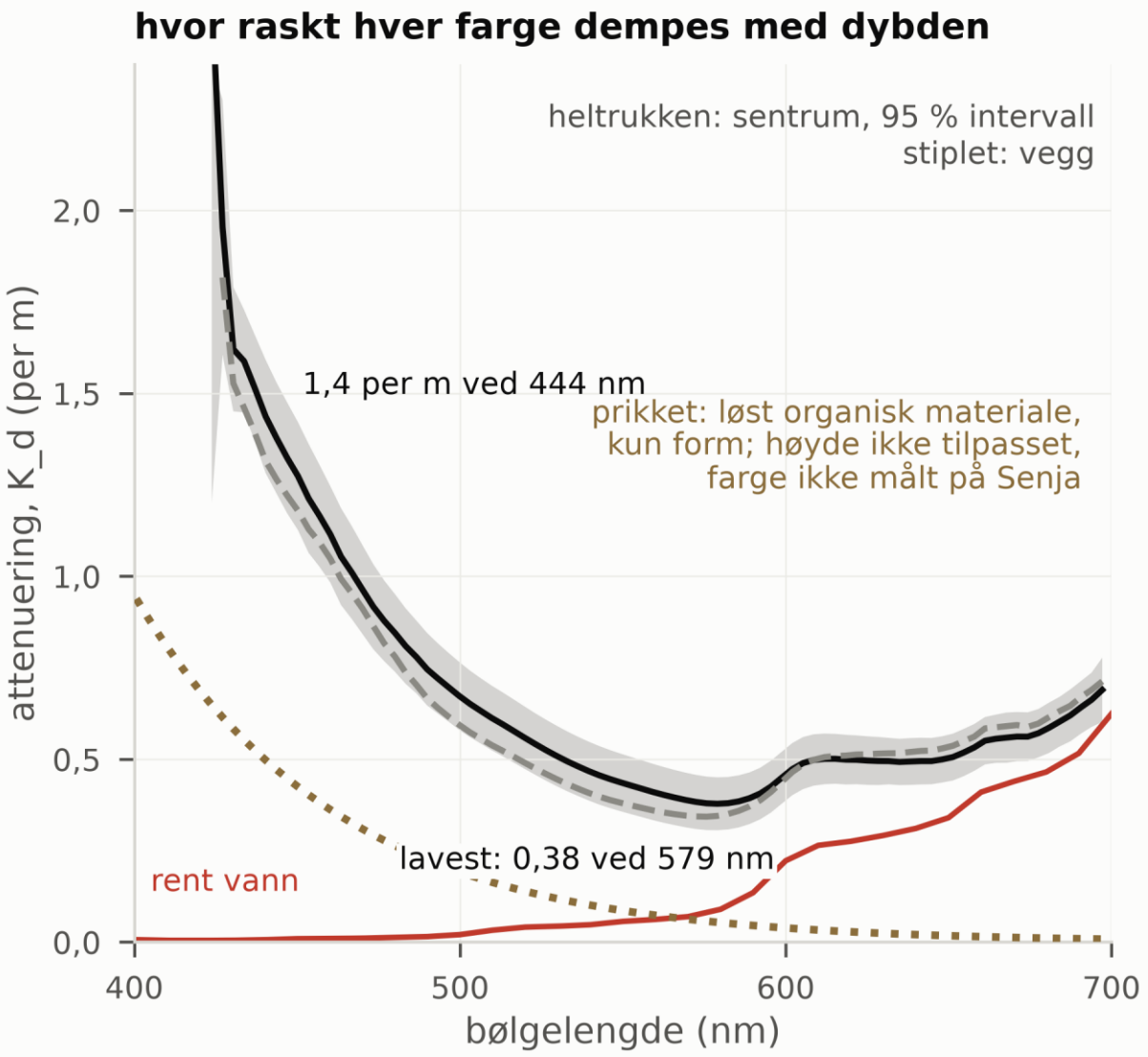
tapper og staver (syn)

fylt: hver dag · halv: noen · åpen: ingen · ×: intet nivå

Horne et al. 2026 · Pan et al. 2023 · Kalinová & West, upublisert

Kar A den 19. februar: spekteret etter dybde

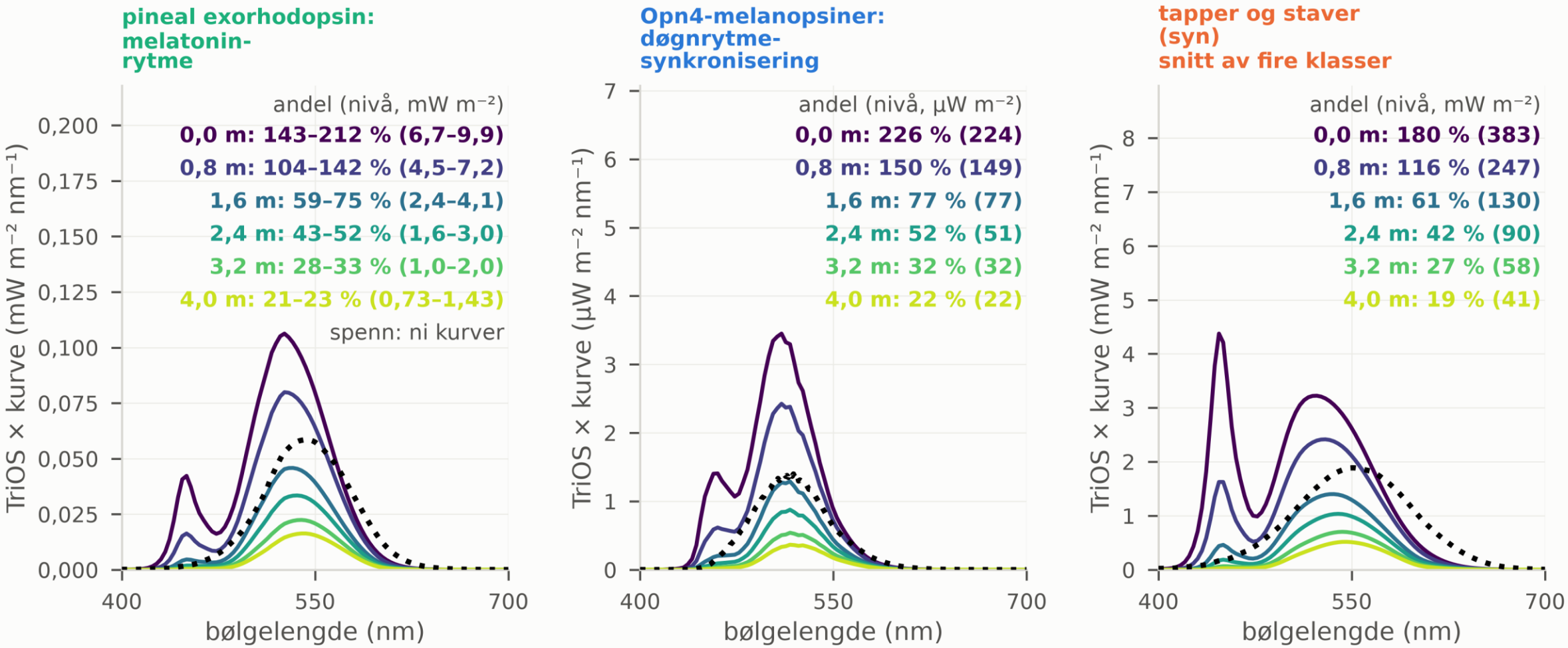




Handeland et al. 2013 · Pope & Fry 1997 · Kirk 2011

Startlys per opsin og dybde, mot referansen

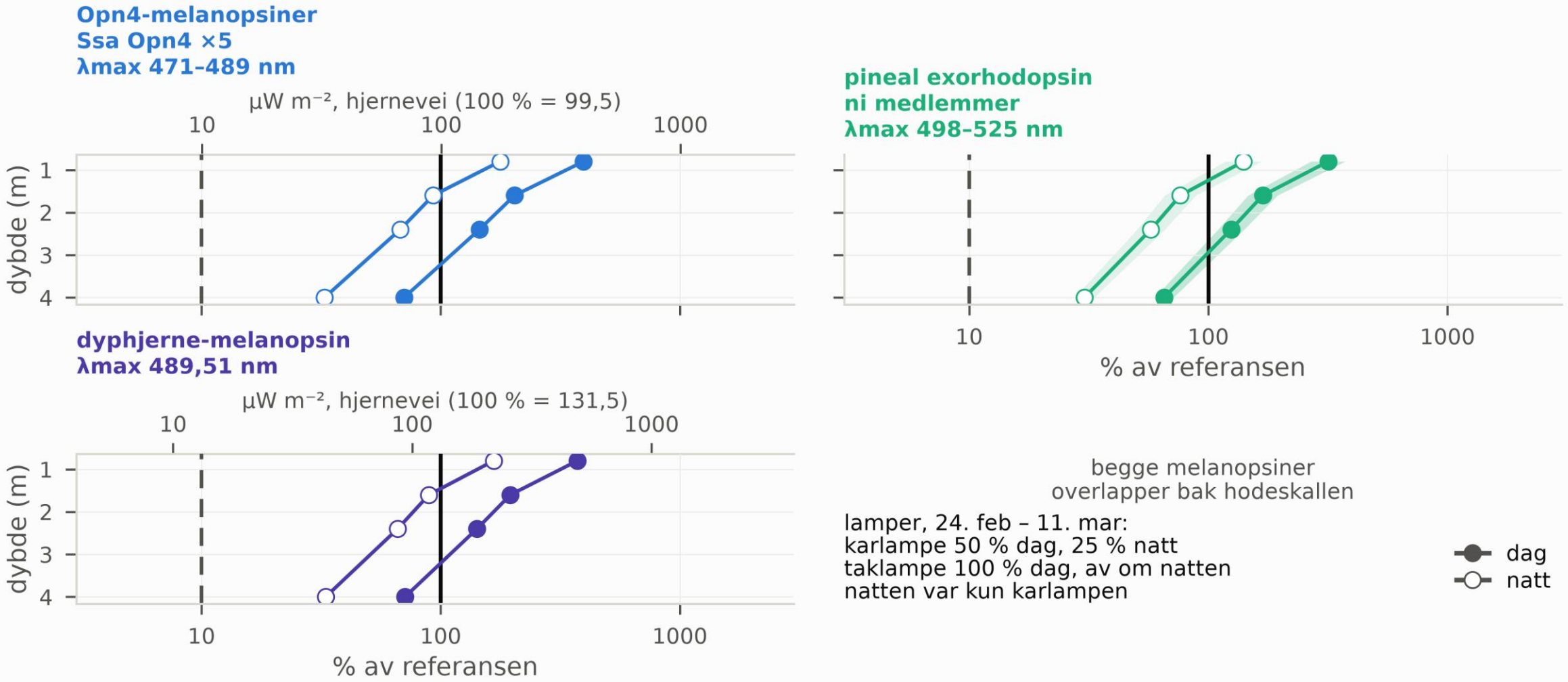
heltrukken: TriOS i kar A, peker opp, 19. feb, mørkeste linje = overflaten prikket: Handeland 200 lx × samme kurve (= 100 %)
Opn4-melanopsiner: hjerneveien (hud, skalle, hjerne); nivåer i parentes



Handeland et al. 2013 · Horne et al. 2026 · Pan et al. 2023 · Kalinová & West, upublisert

Dag og natt etter dybde, mot referansen

Handeland et al. 2013 · Kalinová & West, upublisert

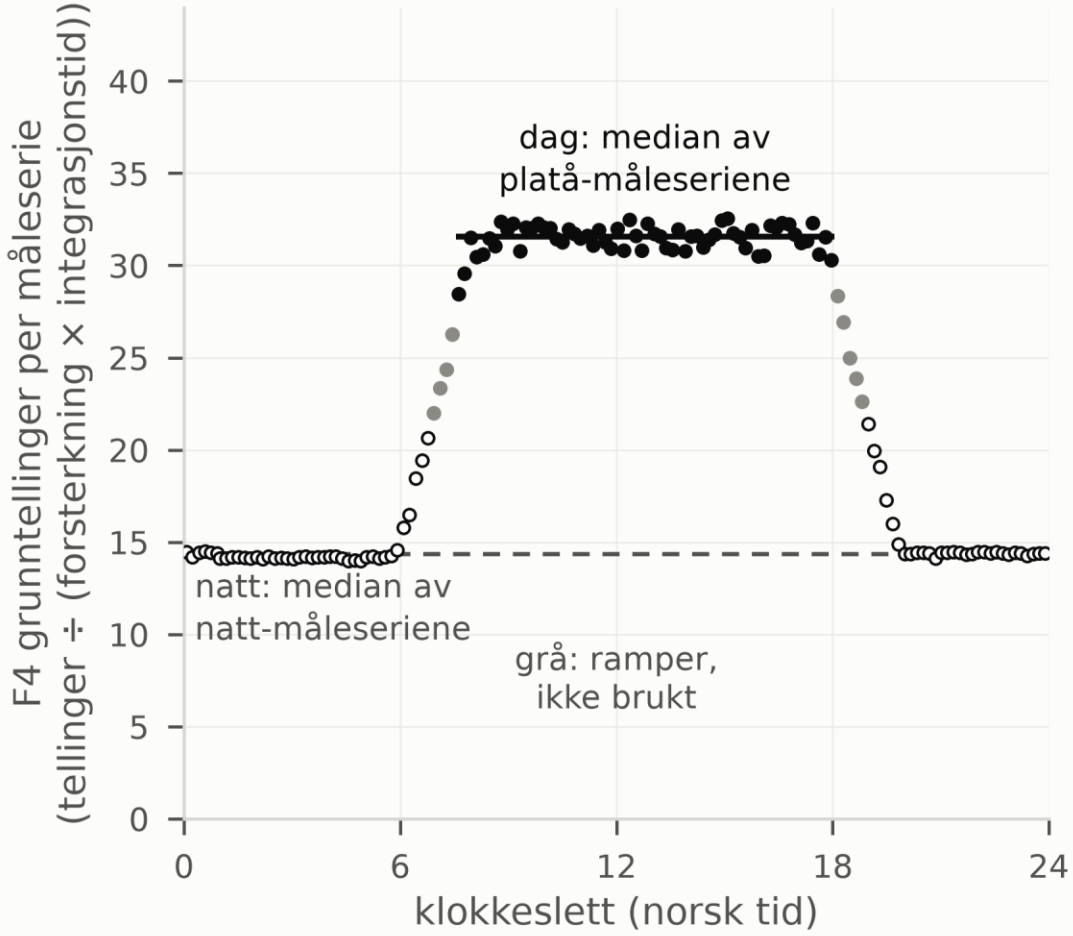


heltrukken: Handeland 200 lx = 100 % stiplet: måneskinn 10 %
øvre skala: nivået; exorhodopsin har ni kurver og ni referanser, dermed ingen felles skala (nivåer: backup-tabell)

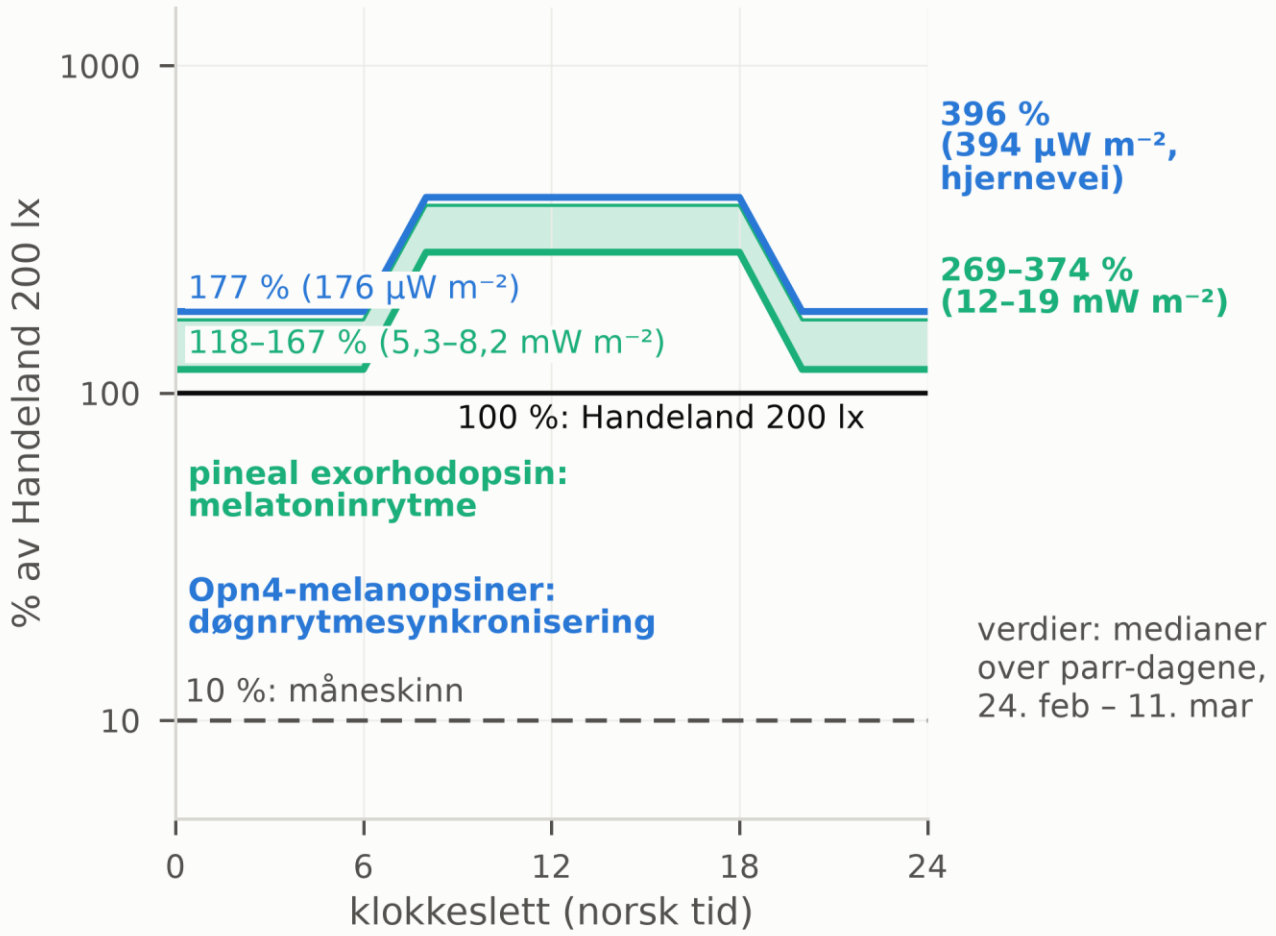
Hvordan en dag og en natt leses av: ved 0,8 m

lampene denne dagen: karlampe 50 % dag, 25 % natt; taklampe 100 % dag, av om natten
natten var kun karlampen

A1, 0,8 m, 27. februar: hver prikk er en måleserie



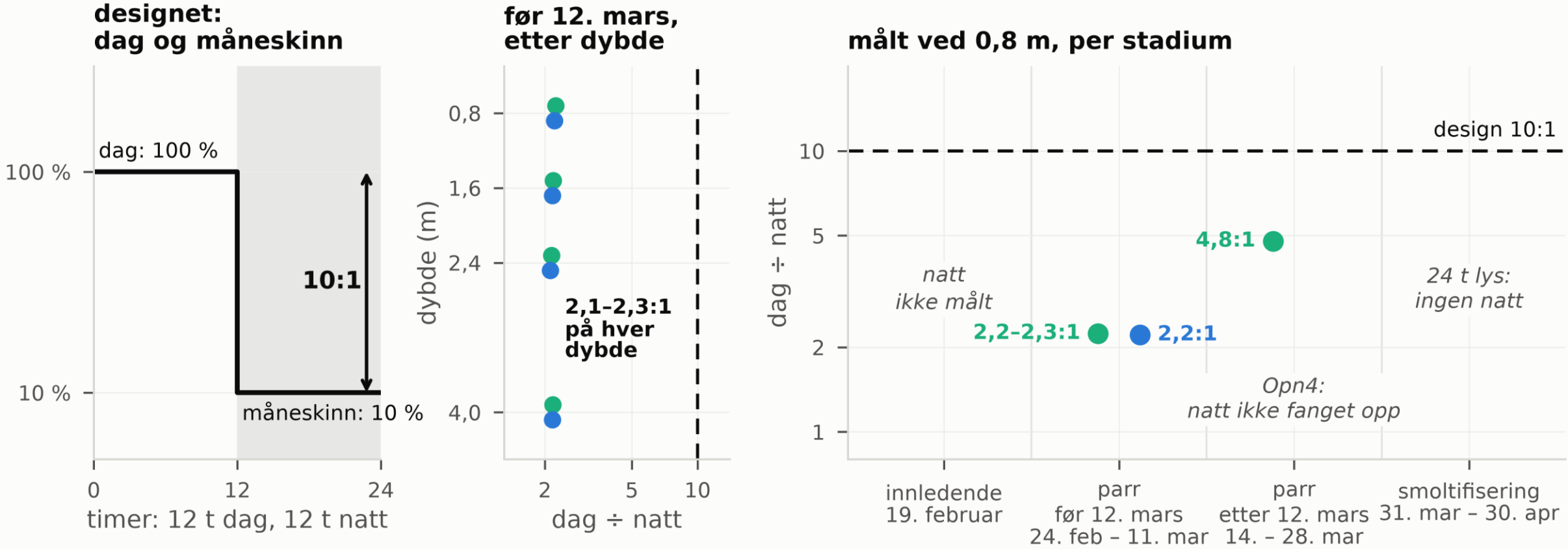
dag- og nattverdiene, per opsin



Handeland et al. 2013 · Horne et al. 2026 · Pan et al. 2023 · Kalinová & West, upublisert

Hva ble kontrasten for opsinene

lamper før 12. mars: karlampe 50 % dag, 25 % natt; taklampe 100 % dag, av om natten
natten var kun karlampen



Oldham et al. 2023, s. 7: parr under en natt på 10 % av dagen smoltifiserte som under 24 t lys: den ble ikke oppfattet som mørk

pineal exorhodopsin: melatoninrytme

Opn4-melanopsiner: døgnrytmesynkronisering

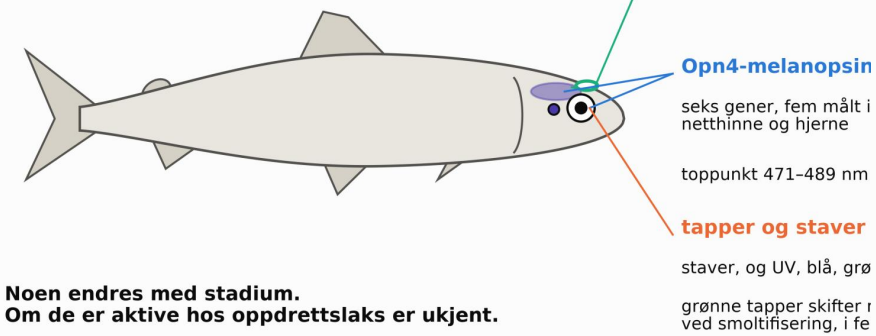
Oldham et al. 2023 · Horne et al. 2026 · Pan et al. 2023 · Kalinová & West, upublisert

Hva loggingen viste, per opsin

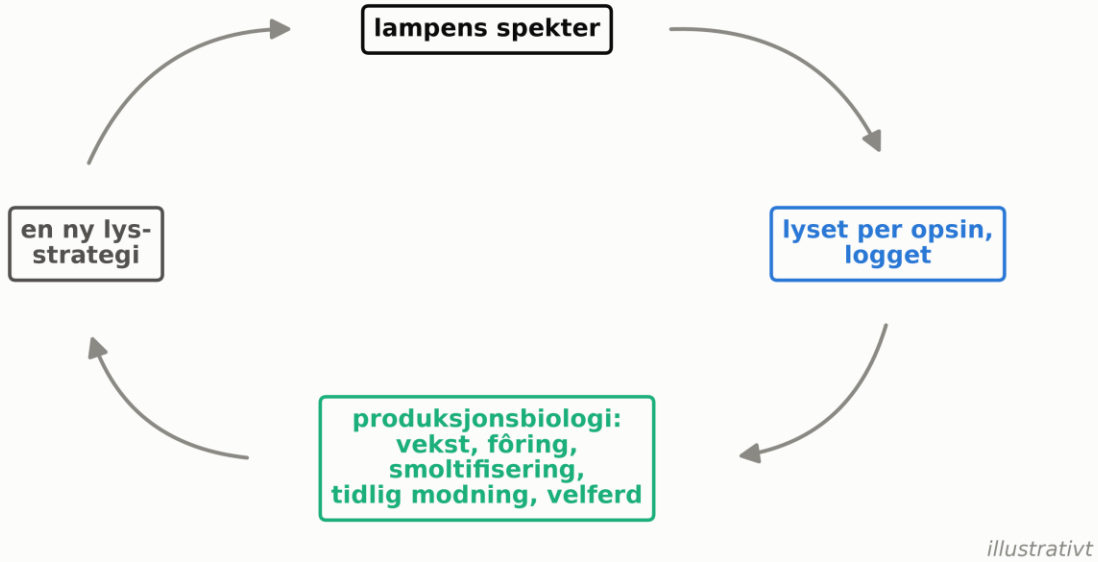
	pineal exorhodopsin % av Handeland 200 lx (mW m⁻²)	**Opn4-melanopsiner** % av Handeland 200 lx (µW m⁻², hjernevei)	**tapper og staver** mW m⁻², B1 sidelengs: et nivå, ikke en andel
19. februar (TriOS)	**104–142 %** **(4,5–7,2)**	**150 %** **(149)**	**130 mW m⁻²**
før 12. mars: dag	**269–374 %** **(12–19)**	**396 %** **(394)**	**168 mW m⁻²**
før 12. mars: natt	**118–167 %** **(5,3–8,2)**	**177 %** **(176)**	**62 mW m⁻²**
dag : natt	**2,2–2,3:1** **etter 12. mars 4,8:1**	**2,2:1**	**2,7:1**
etter 12. mars: dag	**24–31 %** **(0,97–1,69)**	**31 %** **(31)**	*ikke fanget opp*
etter 12. mars: natt	**5,0–5,7 %** **(0,28–0,35)**	*ikke fanget opp*	*ikke fanget opp*
24 t lys	**minst 5,4–6,0 %** **(0,29–0,38)**	*ikke fanget opp*	*ikke fanget opp*
loggere fanger opp: før → etter → 24 t	**4 → 2 → 1**	**4 → 1 → 0**	**9 → 0 → 0**

Handeland et al. 2013 · Kalinová & West, upublisert

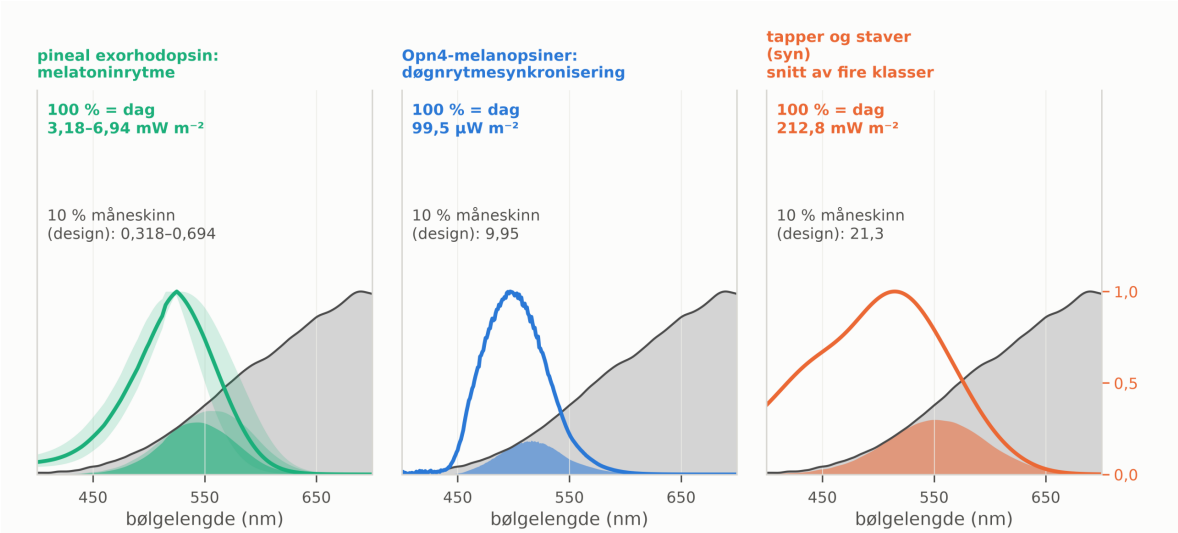
Fremtidens smoltproduksjon?



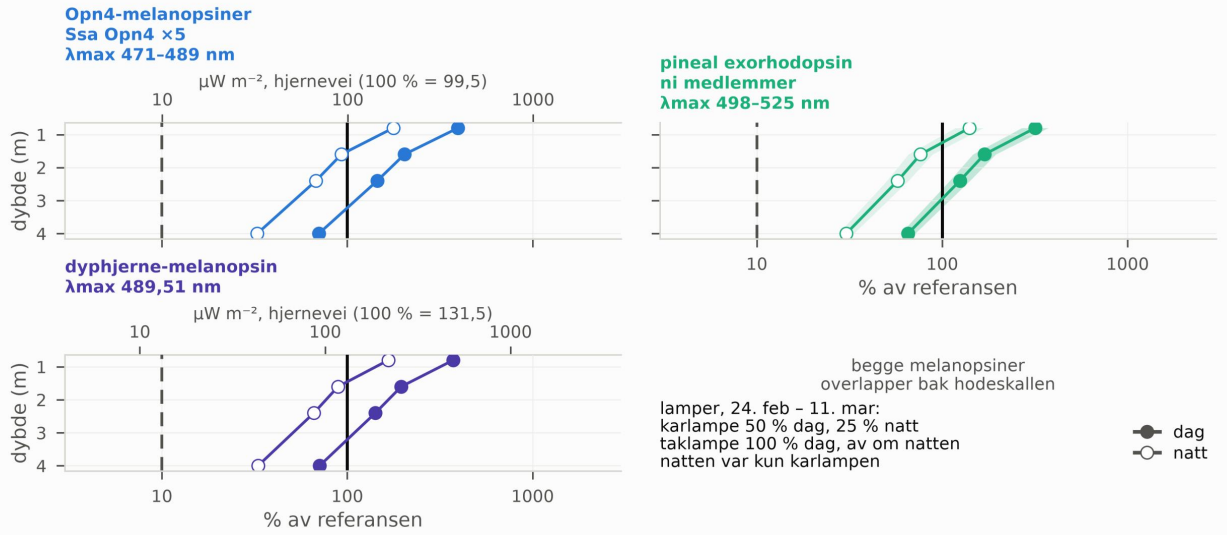
Noen endres med stadium.
Om de er aktive hos oppdrettslaks er ukjent.



Nordtug & Berg 1990 · Sandbakken et al. 2012 · Eilertsen et al. 2026 · Horne et al. 2026 · West et al. 2026 · Kalinová & West, up



Handeland et al. 2013 · Horne et al. 2026 · Pan et al. 2023 · Kalinová & West, upublisert



heltrukken: Handeland 200 lx = 100 % stiplet: måneskinn 10 %
øvre skala: nivået; exorhodopsin har ni kurver og ni referanser, dermed ingen felles skala (nivåer: backup-tabell)

Konklusjoner: lys på laksens premisser

SINTEF

1

Dag mot natt, daglengde og nivå: lyset styrer en balansegang. Er rytmen sterk nok?

En rytme for hvile, et signal for smoltifisering, nok lys til å vokse, uten å presse hanner til tidlig modning

2

Rapporter lys per opsin, ikke per lux. Driver opsin signal per foton

Lampespekter, vann og vev filtrerer lyset før det når hvert opsin

3

Lampens intensitskontrast dokumentert som øvre og nedre verdier for opsiner. Er nattlyset lavt nok?

Dag:natt-kontrasten målt ~ 5:2, og lyset falt med dybden

4

Logg gjennom syklusen for å teste strategier. Overføring av strategi til annet anlegg med forskjellig lysmiljø?

Per opsin, dag og natt, på fiskens dybde: et grunnlag for neste syklus eller for annet anlegg.

Dokumenter lyset slik laksen sanser det.

Bygger på: overføring gjennom hodeskallen fra tre parr · upublisert λmax · et modellert øye · et tap ved sensoren etter mars som ikke kan avgrenses (24 t-verdiene er nedre grenser).



Technology for a better society