

Havforsuring – hva skjer med livet i havet?

Elisabet Forsgren

NINA
Norsk institutt for naturforskning

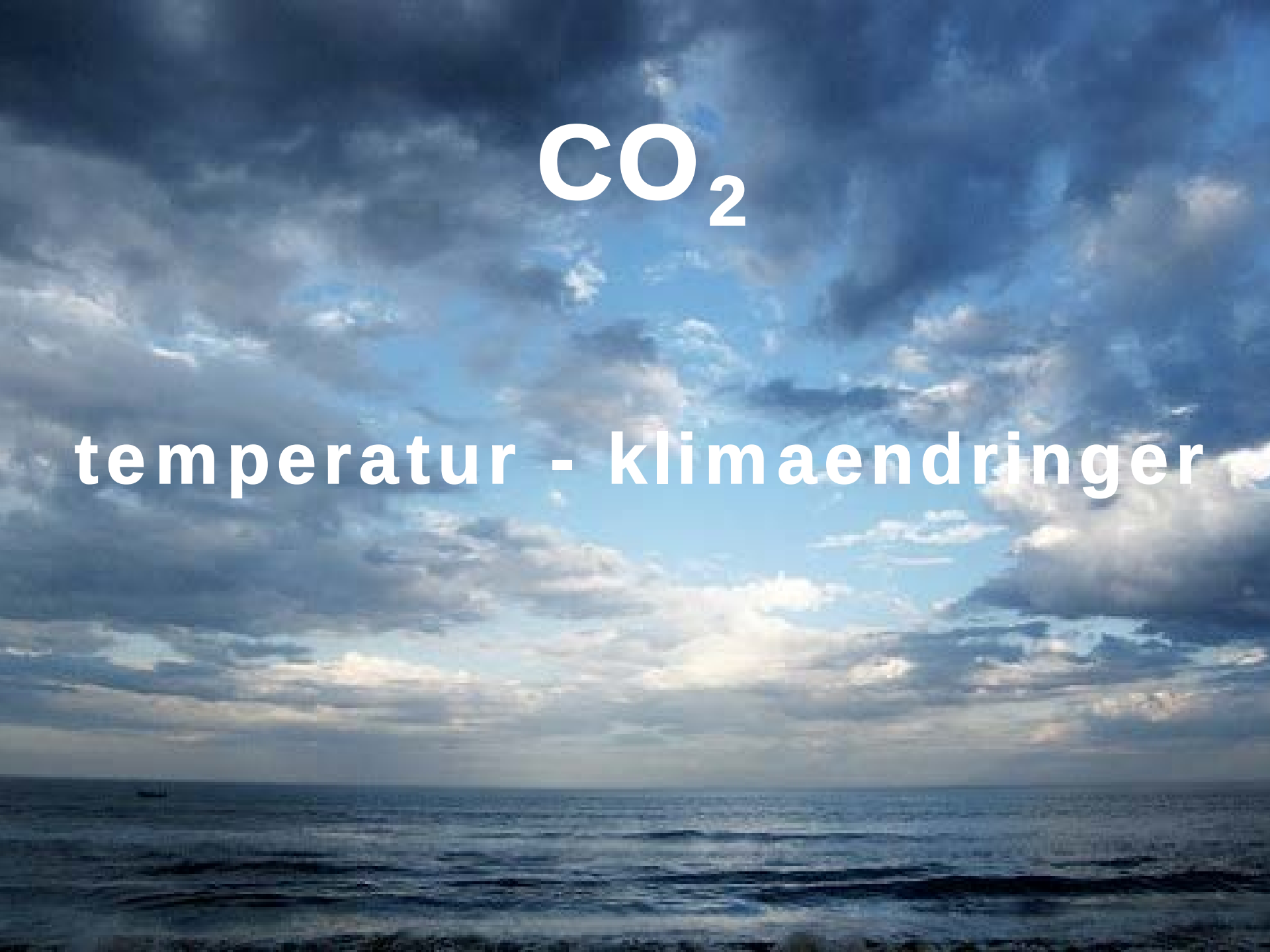
Havforsuring – hva skjer med livet i havet?



1. Innledning, CO2, hva er havforsuring?
2. Effekter på fisk
3. Atferd og sanser
4. Eksempel: eksperiment med kutlinger
5. Følsomhet/sensitivitet hos ulike organismer
6. Mulighet for tilpasning?
7. Sammenfatning
8. Konklusjon


CO_2 - DELER PER MILLION (PPM)
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
Dagens nivå
1950
400,000
350,000
300,000
250,000
200,000
150,000
100,000
50,000
0
ÅR FØR I DAG (0 = 1950)




CO_2
temperatur - klimaendringer


CO_2
havforsuring
'the other CO_2 problem'


CO_2
Hvordan påvirkes livet i havet?
Vet lite om hva som skjer med de marine økosystemene!

Havets kjemi endres!

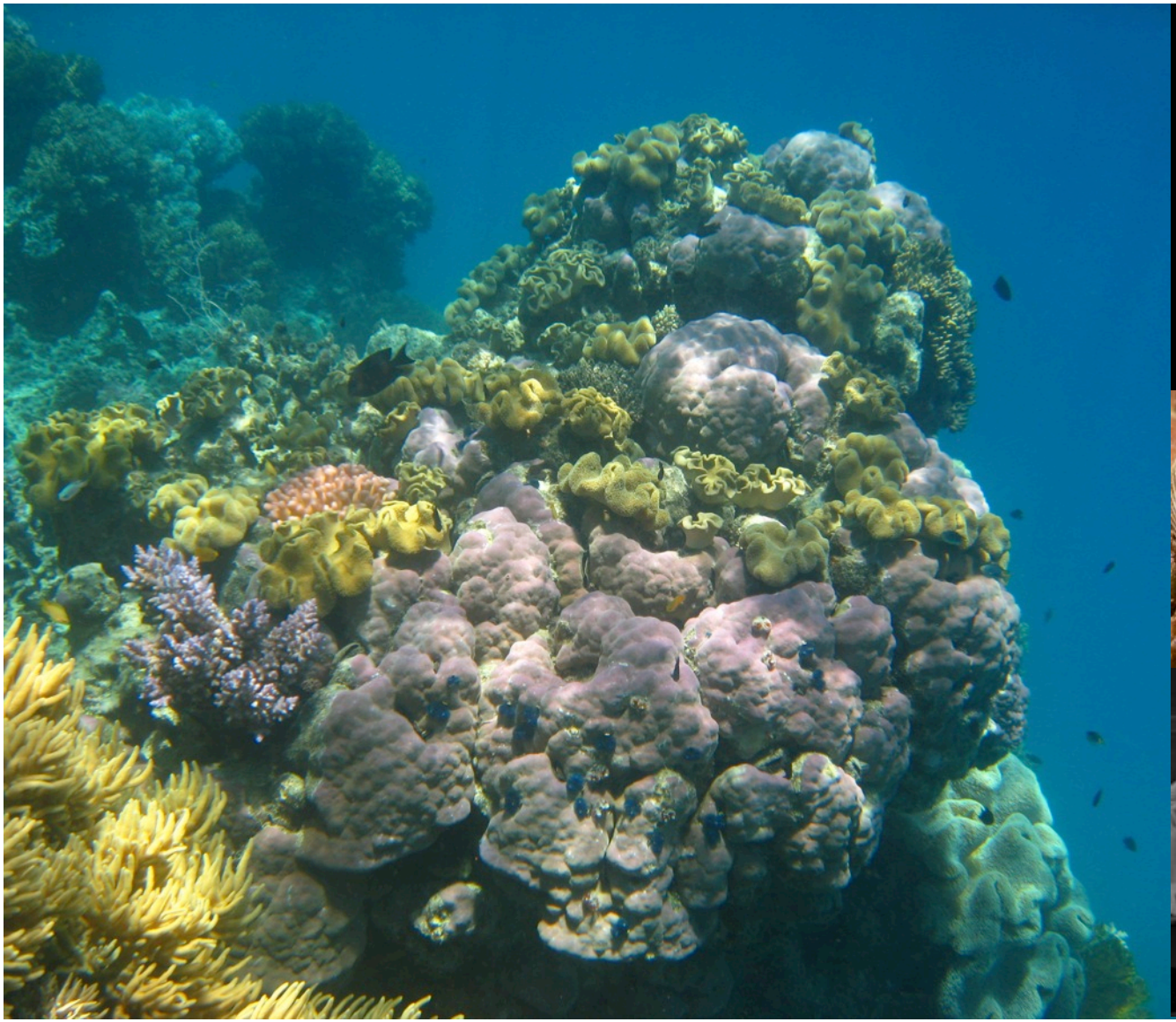
$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$ karbonsyre

$H_2CO_3 + H_2O \rightarrow HCO_3^- + H_3O^+$ hydrogenkarbonat

$HCO_3^- + H_2O \rightarrow CO_3^{2-} + H_3O^+$ karbonat

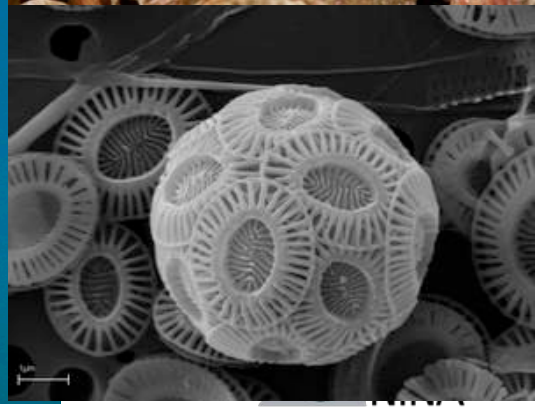
$$\Omega = \frac{[Ca^{2+}]\left[CO_3^{2-}\right]}{K_{sp}}$$

Dårlig nytt for organismer med ytre kalkskjelett og skall ($CaCO_3$)

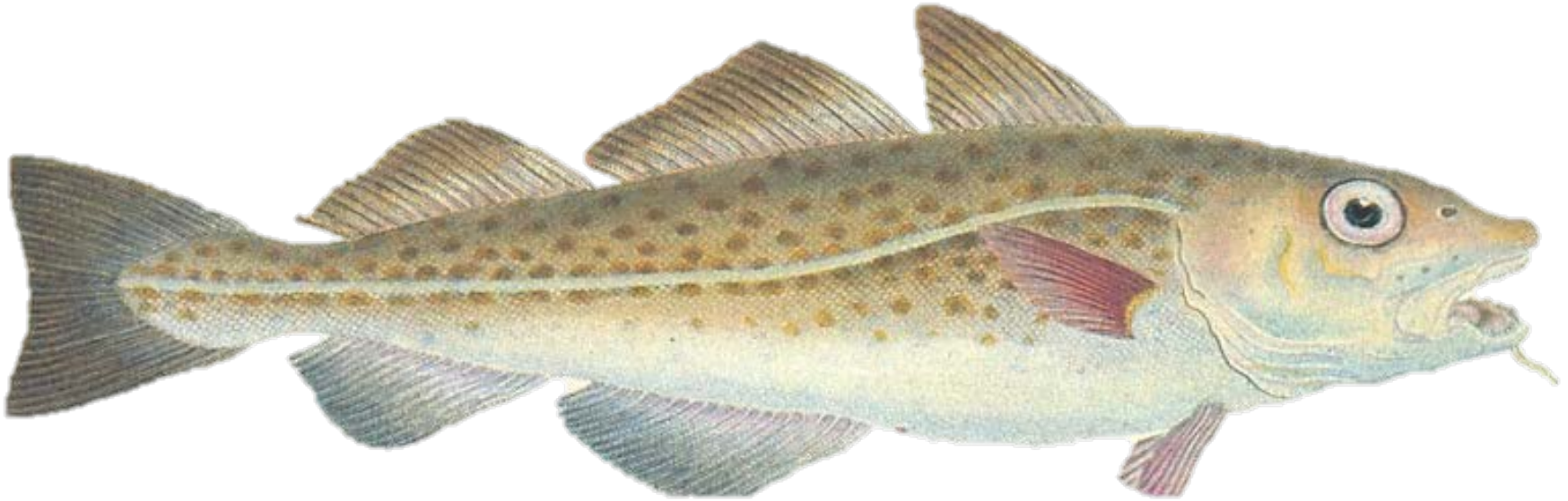






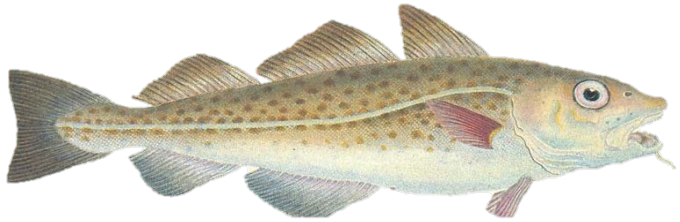


?



Fisker – mer robuste?

- Ikke ytre, men indre kalkdannelse (skjelett, otolitter)
- Effektive mekanismer for syre-bas og osmoregulering
- Dødelige CO_2-nivåer for voksen fisk er mye høyere enn scenarioer for neste 100-200 årene



Effekter av økt CO2 på fisk?

- Meget høye CO2 konsentrasjoner gir negative effekter
  - Respirasjon, sirkulasjon, metabolisme, ødelagt vev...
- Men hva med lavere CO2 konsentrasjoner (scenario for de neste 100-200 årene) ?



NINA

Effekter av økt CO2 på fisk?

- Metabolsk rate og aerobic scope
  - Stor variasjon mellom arter, og populasjoner
- Utvikling, vekst og overlevelse embryos og juveniler
  - Stor variasjon hos korallrevsfisk
  - Redusert overlevelse og vekst hos *Menidia beryllina*
  - Ikke effekt hos sild

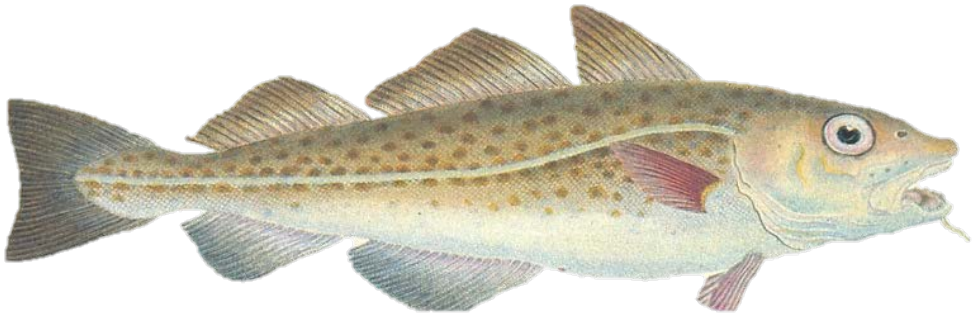


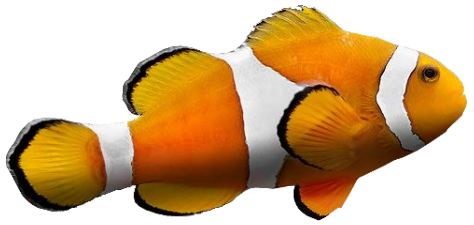




Effekter av økt CO2 på fisk?

- Sperm
  - Ingen effekter på motilitet hos torsk
- Svømmeatferd
  - Ingen effekt på torskelarver eller voksen torsk
  - Ingen effekt på klovnefisklarver

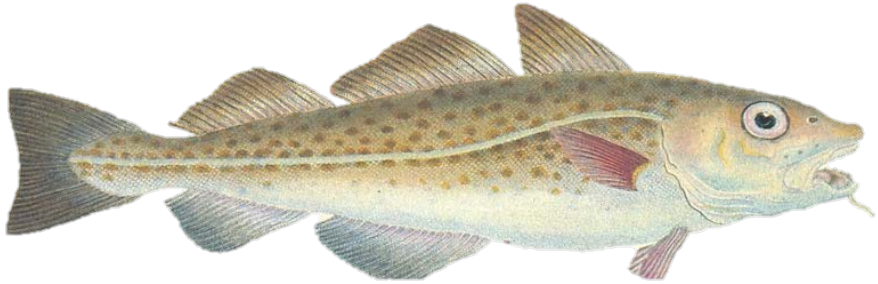




(Frommel et al 2010; Maneja et al 2013; Melzner et al 2009; Munday et al 2009)

Effekter av CO2 på fisk

- Stor variasjon
- Tidlige livsstadier mest sensitive











NINA

Forstyrrelse av atferd og sanser hos korallrevsfisk



Phil Munday & co-workers
Univ. of Townsville, Australia

Atferd & Sanser

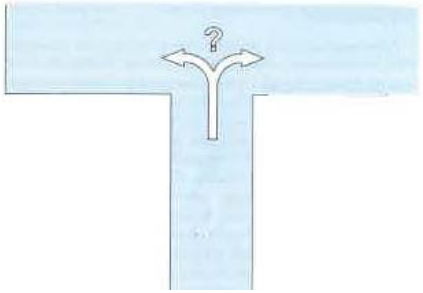
- Lukt
  - påvirker e.g. habitatvalg/homing, unngå predatorer
- Hørsel

(Munday et al. 2009
Dixson et al. 2010)



Atferd & Sanser

- Læring (unngå predator)
- Lateralisering (hjernefunksjon)







(Ferrari et al. 2012; Domenici et al. 2012)

Atferd & Sanser

- Anti-predatoratferd, mer risikoatferd
- Økt aktivitet

-> økt dødelighet



(e.g. Munday et al. 2010)

Mekanisme?

nature climate change

LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 15 JANUARY 2012 | DOI: 10.1038/NCLIMATE1352

Near-future carbon dioxide levels alter fish behaviour by interfering with neurotransmitter function

Göran E. Nilsson[1]*, Danielle L. Dixson[2], Paolo Domenici[3], Mark I. McCormick[2], Christina Sørensen[1], Sue-Ann Watson[2] and Philip L. Munday[2]

Predicted future CO_2 levels have been found to alter sensory responses and behaviour of marine fishes. Changes include increased boldness and activity, loss of behavioural lateralization, altered auditory preferences and impaired olfactory function[1–5]. Impaired olfactory function makes larval fish attracted to odours they normally avoid, including ones from predators and unfavourable habitats[1,3]. These behavioural alterations have significant effects on mortality that may have far-reaching implications for population replenishment, community structure and ecosystem function[2,6]. However, the underlying mechanism linking high CO_2 to these diverse responses has been unknown. Here we show that abnormal olfactory preferences and loss of behavioural lateralization exhibited by two species of larval coral reef fish exposed to high CO_2 can be rapidly and effectively reversed by treatment with an antagonist of the GABA-A receptor. GABA-A is a major neurotransmitter receptor in the vertebrate brain. Thus, our results indicate that high CO_2 interferes with neurotransmitter function, a hitherto unrecognized threat to marine populations and ecosystems. Given the ubiquity and conserved function of GABA-A receptors, we predict that rising CO_2 levels could cause sensory and behavioural impairment in a wide range of marine species, especially those that tightly

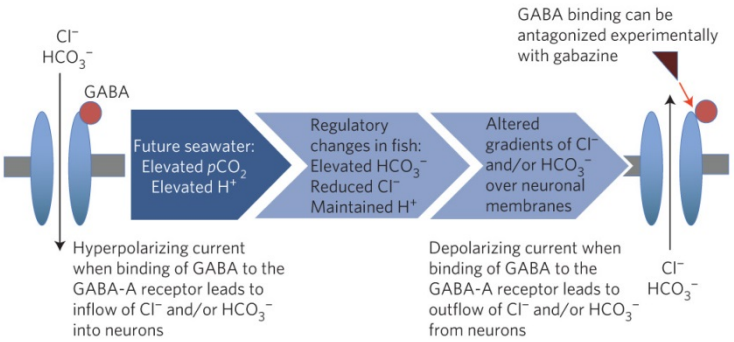
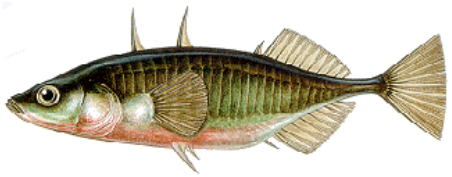


Figure 1 | Proposed response of GABA-A receptor function to elevated sea water pCO_2. This GABA-gated ion channel has conductance for Cl^- and HCO_3^-. Normally, ion gradients are such that channel opening results in Cl^- and HCO_3^- inflow, causing membrane hyperpolarization and inhibited neural activity. Elevated sea water pCO_2 leads to ion-regulatory adjustments in blood and tissues that affect transmembrane gradients for Cl^- and/or HCO_3^- in some neurons. GABA-A receptors thereby become depolarizing and excitatory, resulting in behavioural abnormalities. We here provide support for this hypothesis by showing that the behavioural effects of high CO_2 are reversed by treatment with a GABA-A receptor antagonist (gabazine).

Atferd & sanser
Effekter på fisker i tempererte hav?

- Voksen stingsild: atferdsendringer
  - Boldness
  - Exploratory behaviour
  - Lateralisation (hjernefunksjon)

  (Jutfelt et al. 2013)



- Juvenil torsk: ingen effekt, både CO2- og kontroll-fisk unngår lukt av predator

  (Jutfelt & Hedgärde 2013)



Atferd & sanser
Effekter på fisker i tempererte hav?

- Tidlige livsstadier?
- Atferd? Sanser?



Samarbeid med:

F. Jutfelt & S. Dupont, Göteborgs Universitet

T. Amundsen, NTNU

(Forsgren et al., Ecology and Evolution 2013
Ocean acidification affects early development and swimming performance in a fish)

NINA

Sven Lovén Centre for Marine Sciences, Gothenburg University



NINA


1-2 år
ca 5 cm
hannen vokter eggene i en reirplass
tangkutling (two-spotted goby)
Gobiusculus flavescens

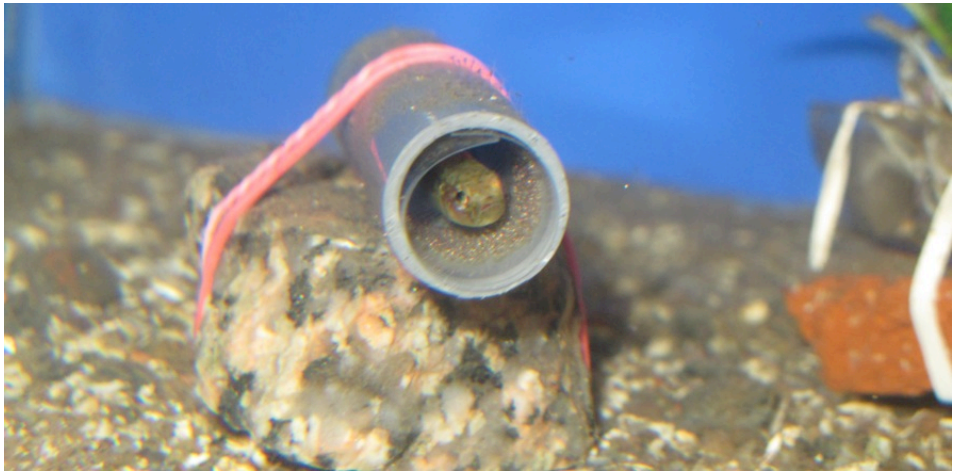

Vanlig fisk i algebeltet, nøkkelart

Eksperiment: CO_2-behandling
pH 7.6 vs 8.1
(ca 370 vs 1400 ppm)

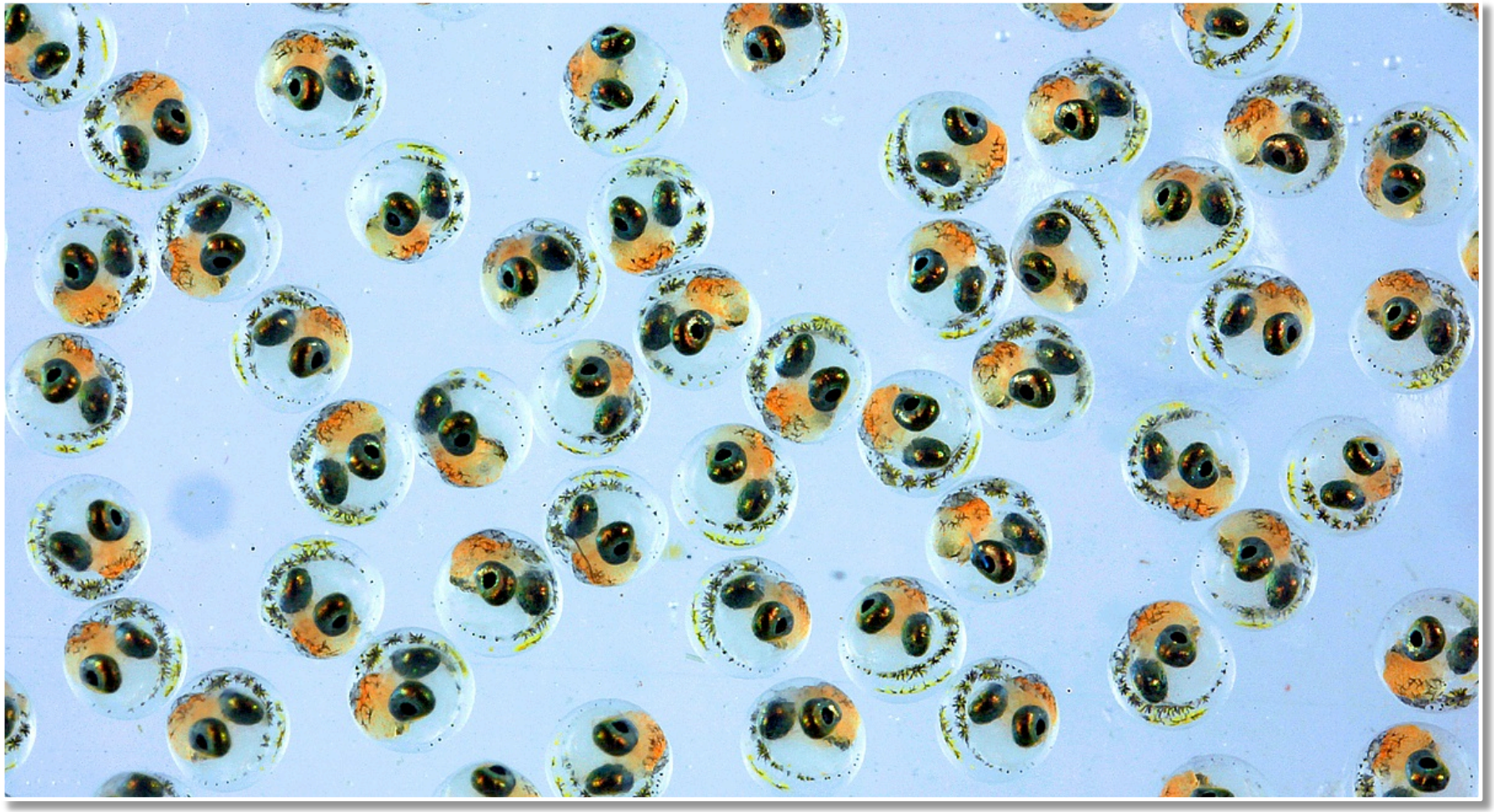




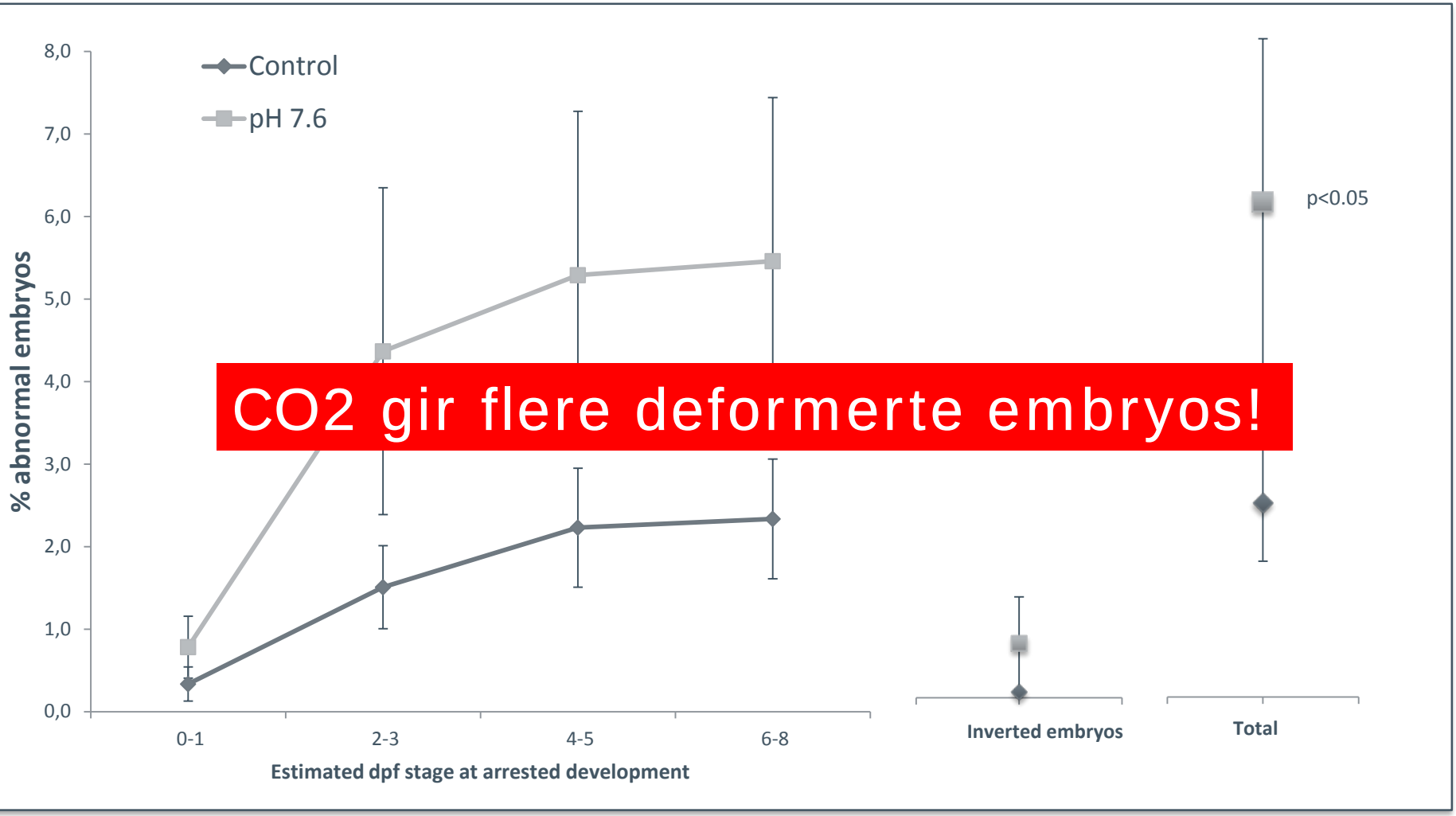








embryoutvikling


Control
pH 7.6
% abnormal embryos
8,0
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
0-1
2-3
4-5
6-8
Estimated dpf stage at arrested development
p<0.05
Inverted embryos
Total
CO2 gir flere deformerte embryos!

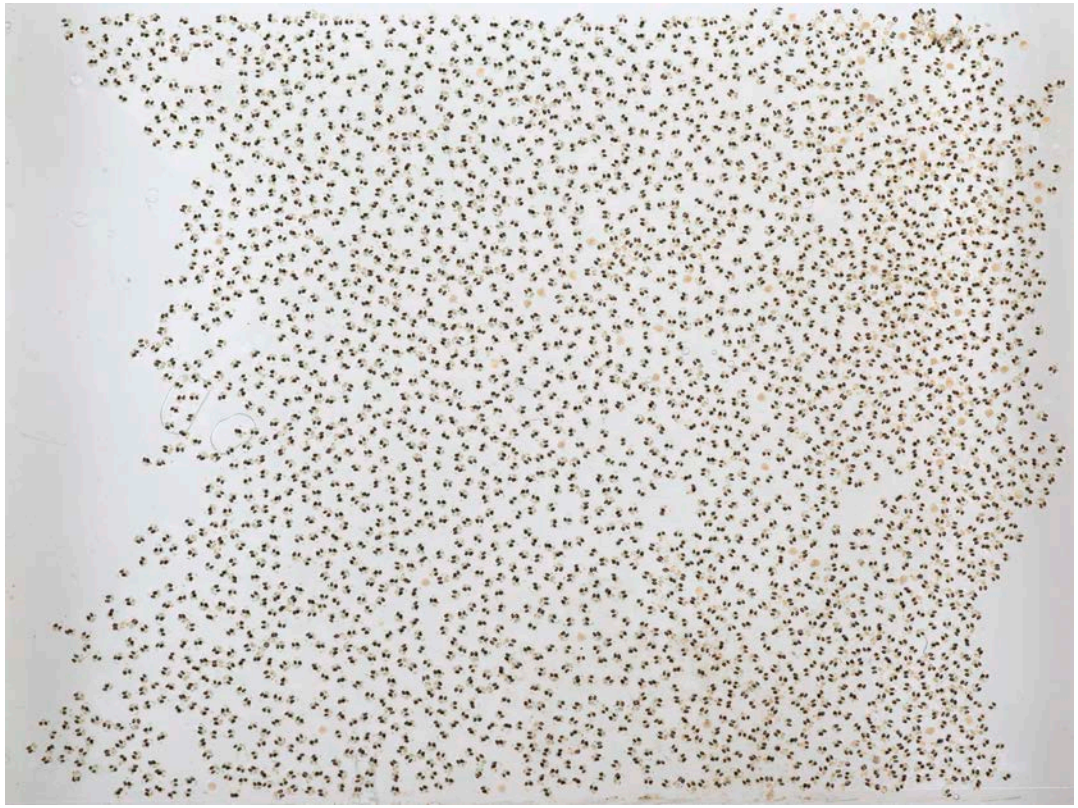


Egg til klekking?

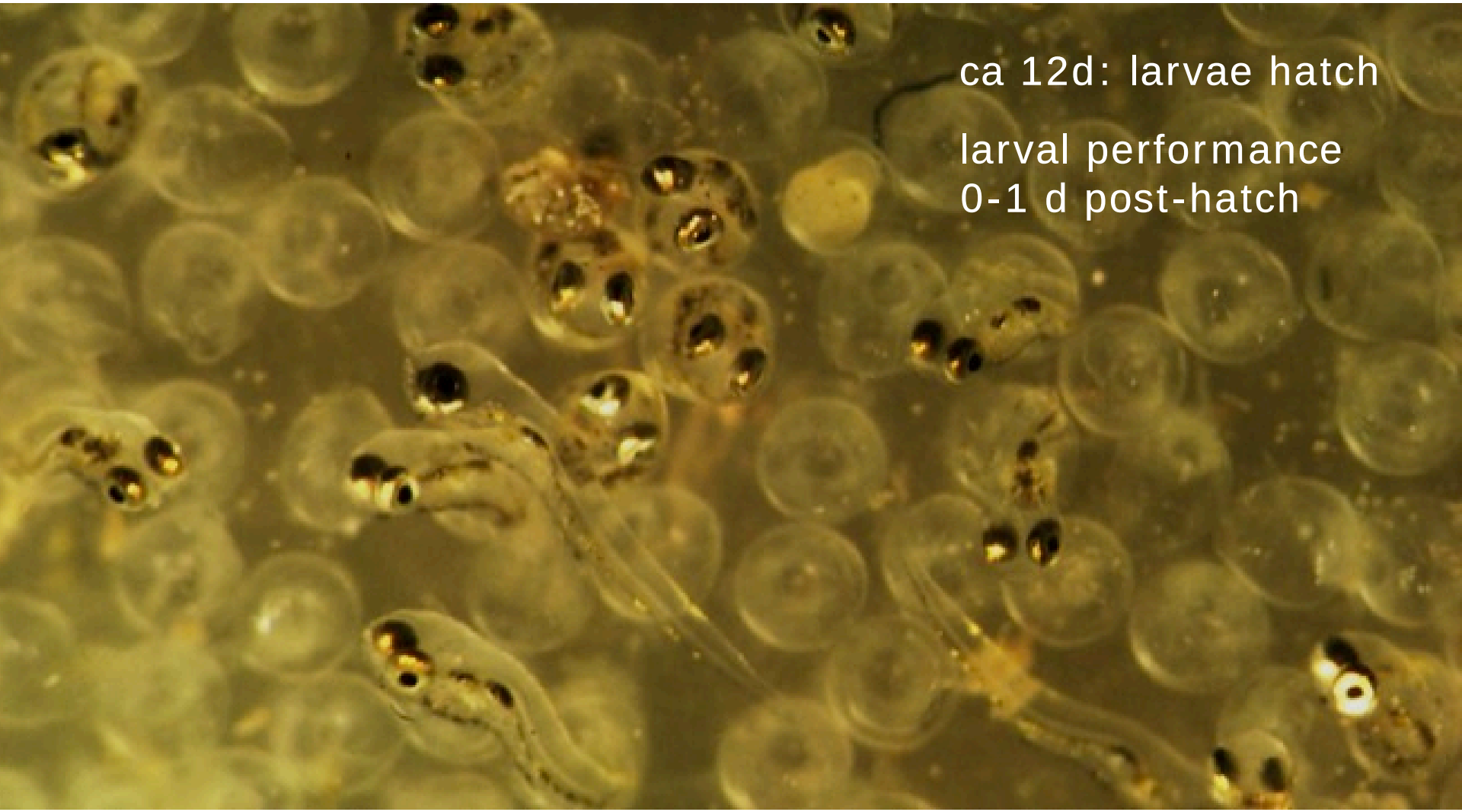
Lav eggdødelighet, *men*, andel egg borte før klekking høyere i CO2 behandlingen.

- CO_2 : 14.5 %
- control: 6.4 %

(p = 0.025)



Etter klekking?

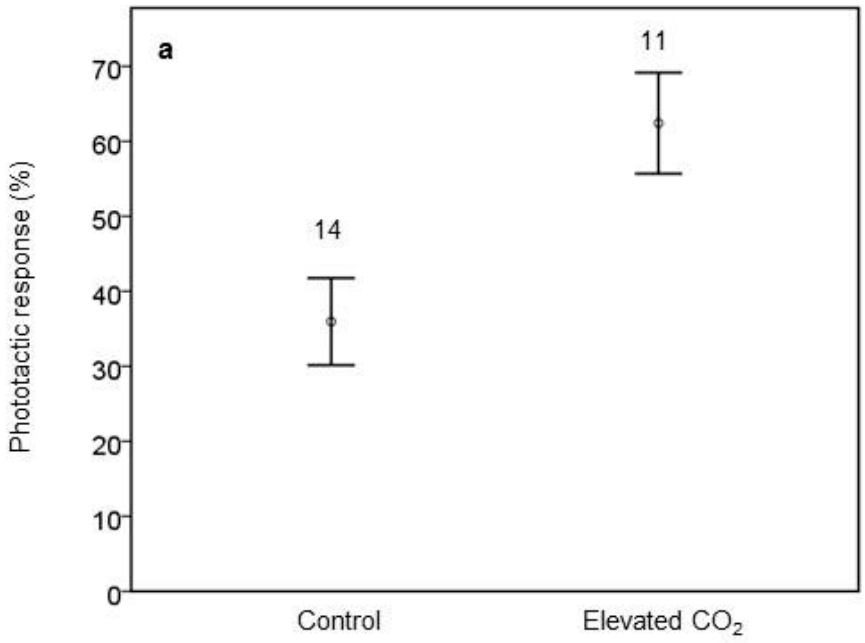


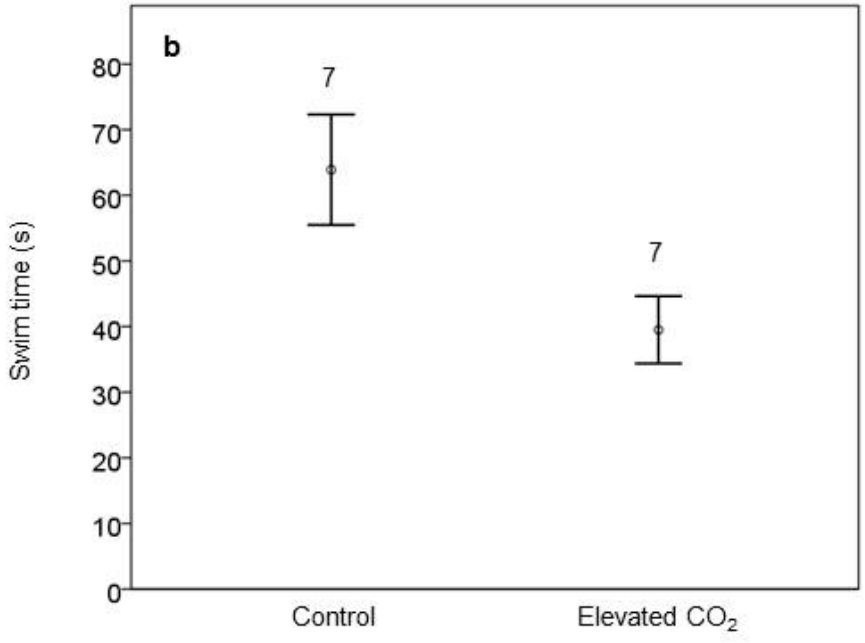
Larval phototaxis





- % larver som nådde lyskilden innen 2 min (50 cm)
- svømmetid for den raskeste larven i kullet





Fastest larva: 50 cm in 13 sec
56 body lengths in 4 sec

Relative to body size:
10 x faster than World Record



CO2 gir sterkere fototaksirespons! (Hvorfor?)

Neuronal prossessering av lyssignaler?
Oversensitive?



Resultatene passer med:

- CO2 interfererer med neurotransmitter funksjon (neuronal overaktivitet)
  (Nilsson et al. 2012)

- Funn på korallrevsfisk (forstyrrelse av atferd og sanser)

Atferd & sanser (tempererte hav)



- Forstyrrelser hos kutling og stingsild
- Ingen effekt juvenil torsk



- Fitnesseffekter?
- Generalitet?
- Finner villaksen veien hjem?



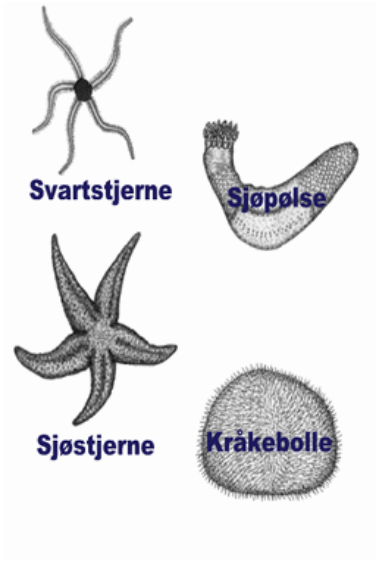


Følsomhet/sensitivitet?

- 167 studier, 153 arter
- Koraller, bløtdyr, pigghuder, krepsdyr, fisker
- Effekt av økt CO2? (negativ, positiv, ingen)











(Wittman & Pörtner 2013)



Følsomhet/sensitivitet?



Koraller

Bløtdyr



Pigghuder

Fisker

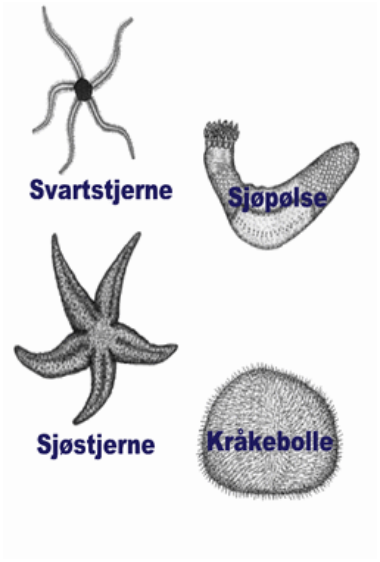


>

Krepsdyr







(Wittman & Pörtner 2013)

Følsomhet/sensitivitet?

- Negative effekter av CO2
- Men stor variasjon (både mellom taxa og innen taxa)
- Vinnere og tapere



- -> Store endringer i marine økosystemer, endringer i artssammensetning de neste 100 årene

(Kroeker et al 2010, Wittman & Pörtner 2013)

Kan dyr tilpasse seg et surere hav?

- Akklimatisering?
- 'Transgenerational acclimation' (epigenetikk...)
- Arvbarhet? Evolusjonær tilpasning?

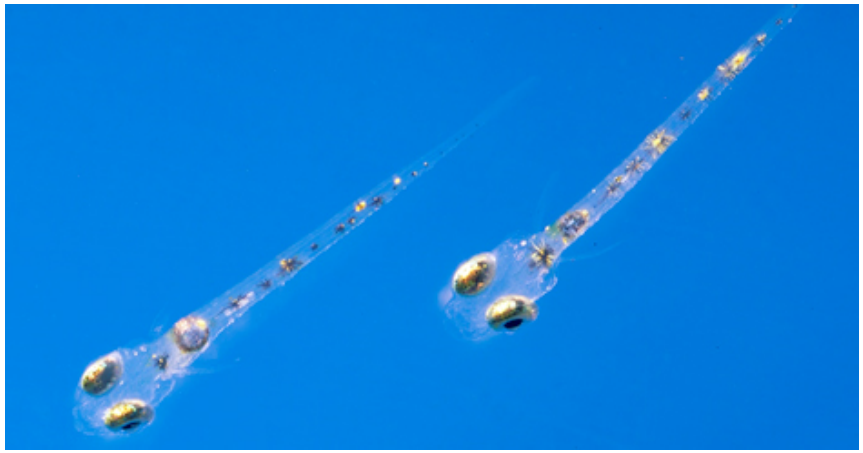
Kan dyr tilpasse seg et surere hav?

- Ikke bare CO2 som endres, flere stressfaktorer!
- Synergieffekter
  - CO2 x temperatur
  - CO2 x hypoksi
- Større negative effekter



Sammenfatning – hva skjer i fremtidens surere hav?

- Generelt negative effekter av økt CO2, men stor variasjon (-> økosystemeffekter)
- Fisk mer følsomme enn man lenge trodde
  - Spesielt tidlige livsstadier følsomme
  - Hjernens funksjon, atferd, sanser





Havforsuring pågår og påvirker livet i havet

Fysiologiske mekanismer?

Hva bestemmer følsomhet?

Økologiske effekter?

Tilpassninger?

Synergieffekter?