

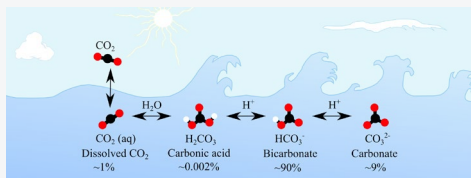
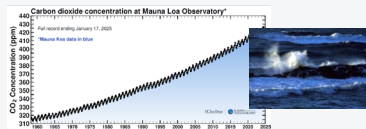


HAVSFÖRSURNING

23 JAN-2025

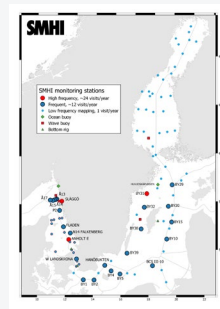
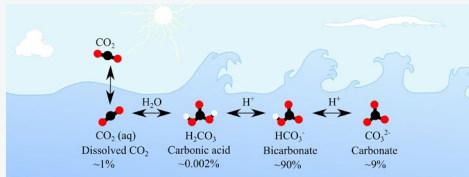
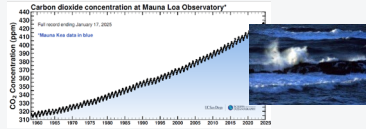
MADELEINE NILSSON, YLVA ERICSON, IRENE
WÅHLSTRÖM, LENA VIKTORSSON, KARIN WESSLANDER
– SWEDISH METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL
INSTITUTE (SMHI)

Agenda:

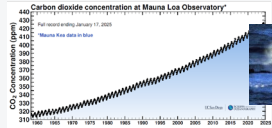


Agenda:

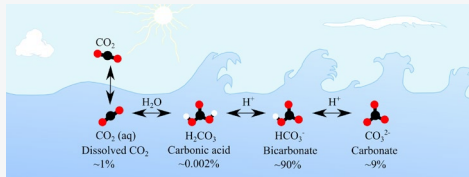
Antropogena utsläpp av koldioxid (CO₂)



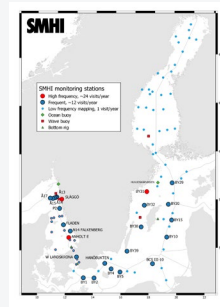
Agenda:



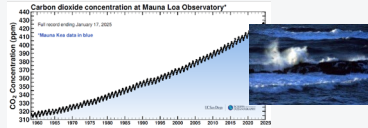
Antropogena utsläpp av koldioxid (CO₂)



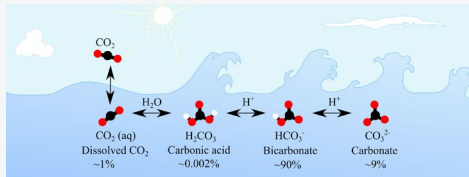
Det marina koldioxidsystemet och havsförsurning



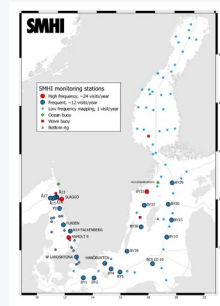
Agenda:



Antropogena utsläpp av koldioxid (CO₂)



Det marina koldioxidsystemet och havsförurning



Vad mäter SMHI som rör havsförurning?



1956 hojtade forskare vid «Scripps Institution of Oceanography» om behovet att mäta koldioxid i luft och hav för att få:

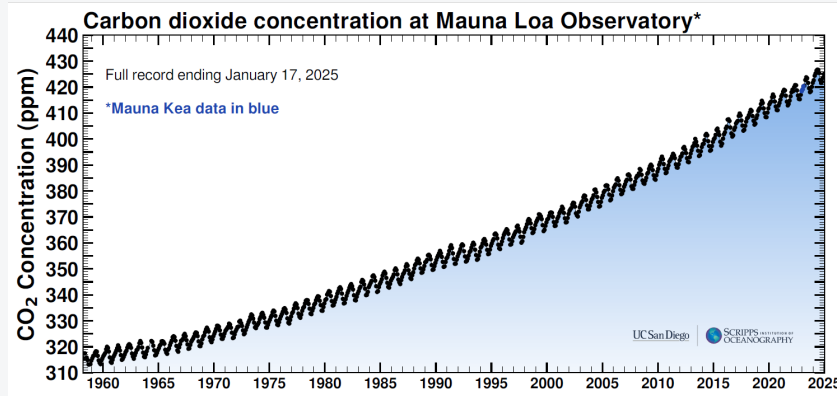
«A clearer understanding of the probable climatic effects of the predicted great industrial production of carbon dioxide over the next 50 years»



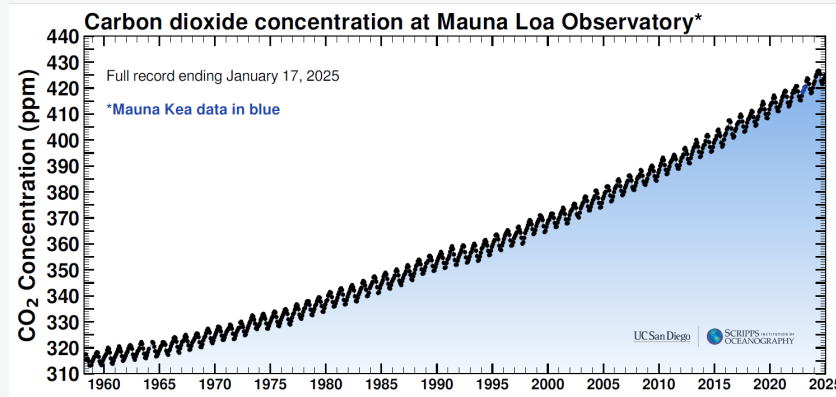
Roger Revelle and Hans Suess



Detta motiverade de första atmosfäriska mätningarna av koldioxid



Detta motiverade de första atmosfäriska mätningarna av koldioxid



... men forskare som Revelle och Suess visste också att en mycket stor mängd av våra antropogena CO₂ utsläpp skulle tas upp av havet.

Av de 685 PgC (mer än vad den pre-industriella atmosfären innehöll...) som släpptes ut totalt mellan 1750 och 2019 så har:

~2/5 blivit kvar i atmosfären

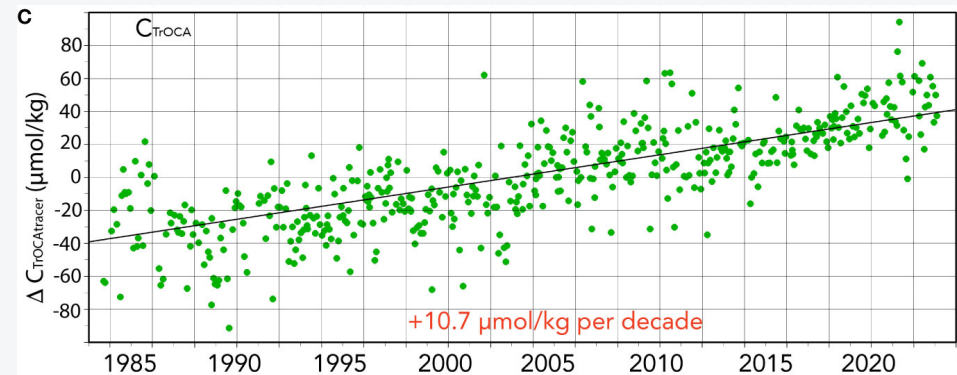
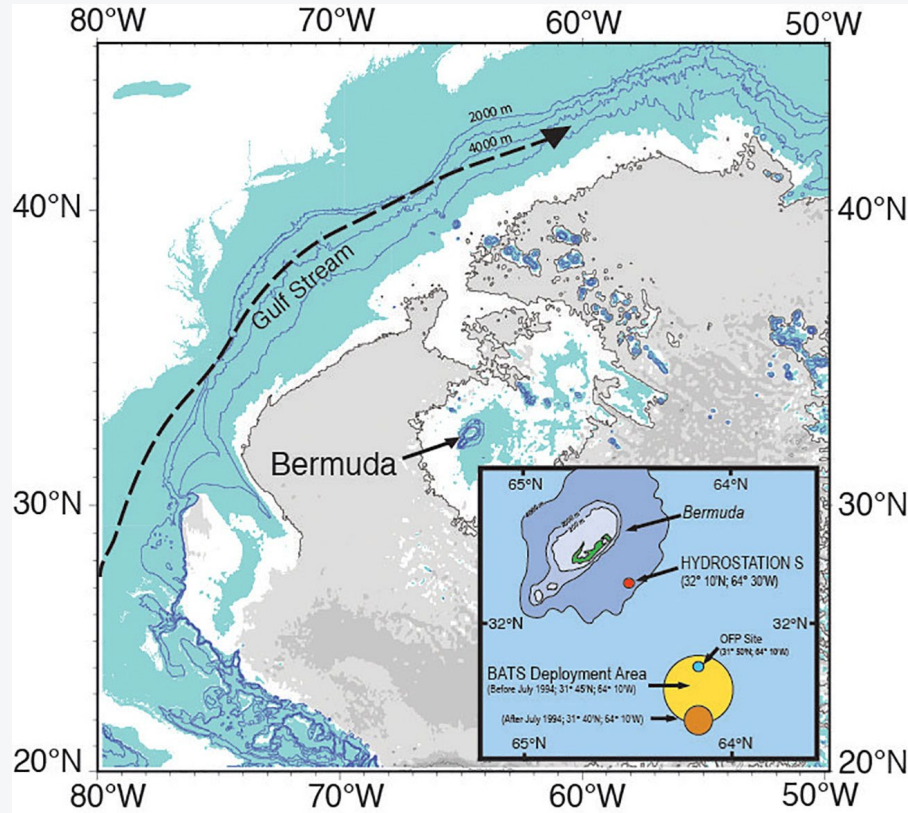


~1/4 tagits upp
av havet

~1/3 tagits upp av
växter på land

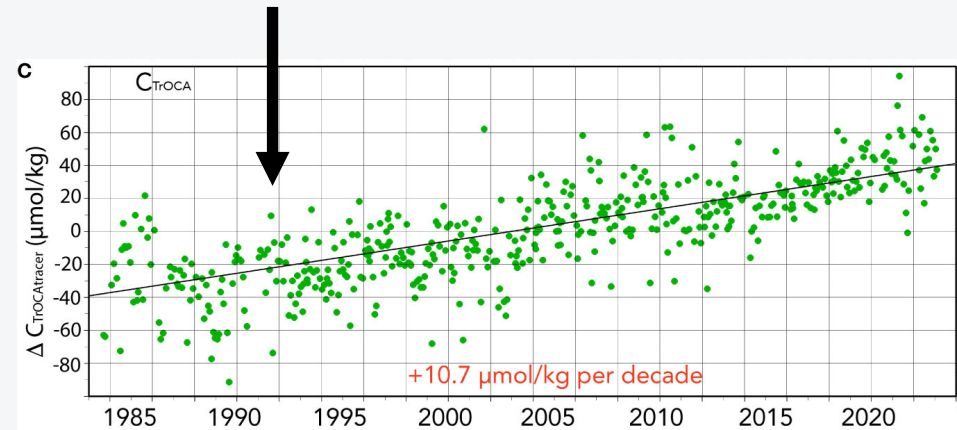
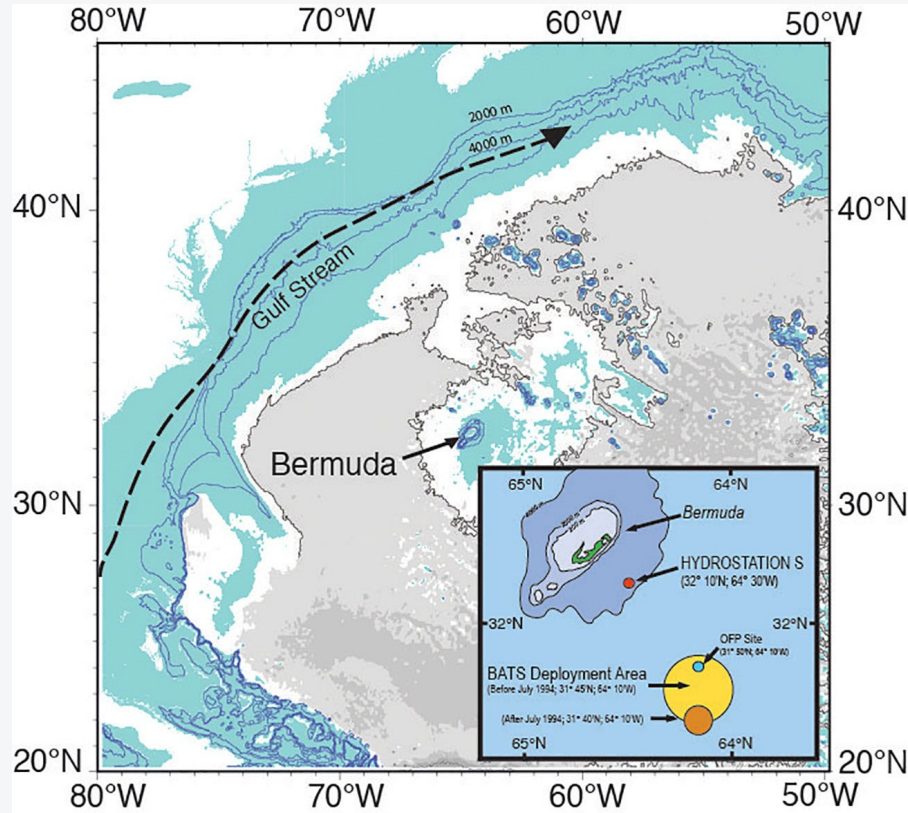
Bermuda Atlantic Tids-Serien (BATS) visar ökningen av kol i havet sedan 1980-talet

(Bates & Johnson, 2023)

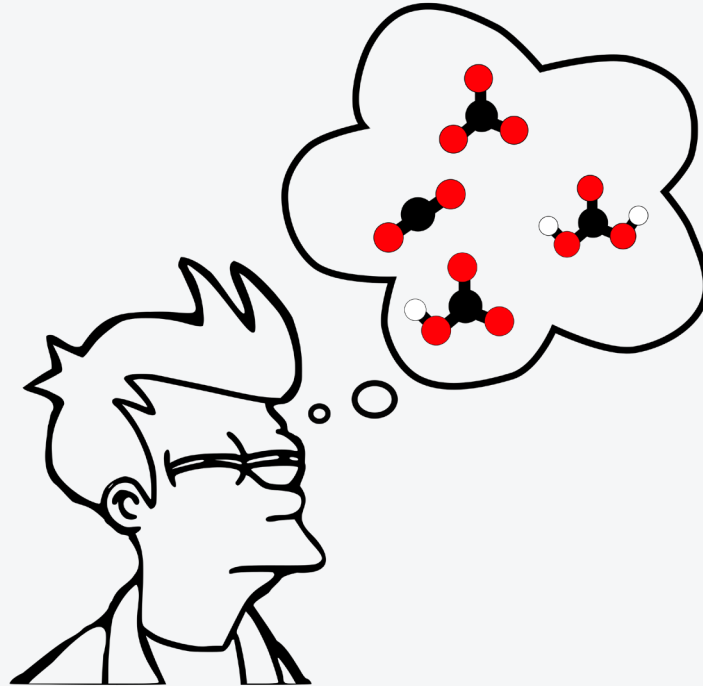


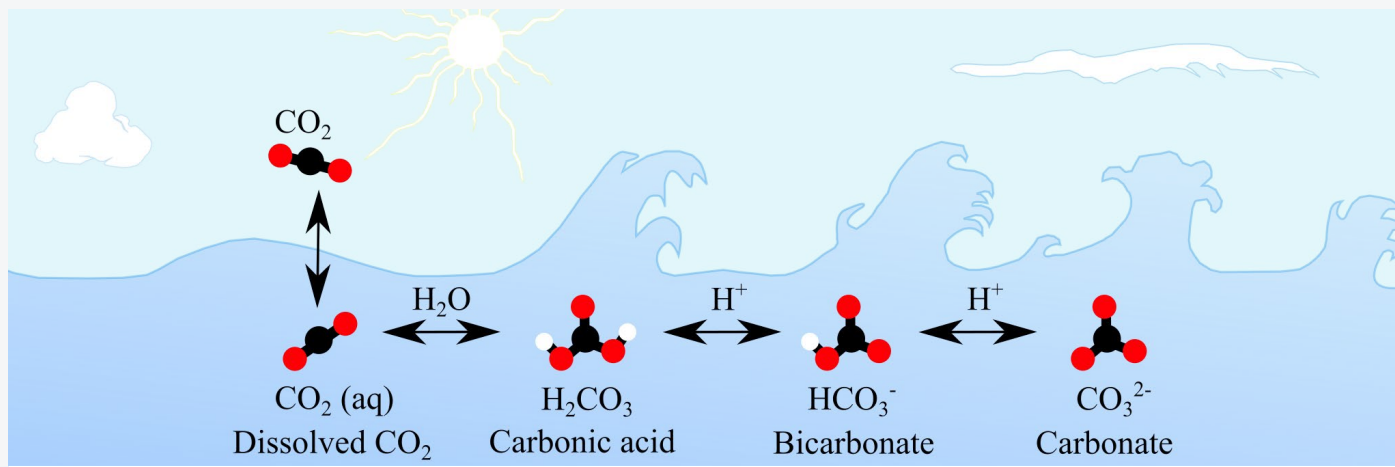
Bermuda Atlantic Tids-Serien (BATS) visar ökningen av kol i havet sedan 1980-talet

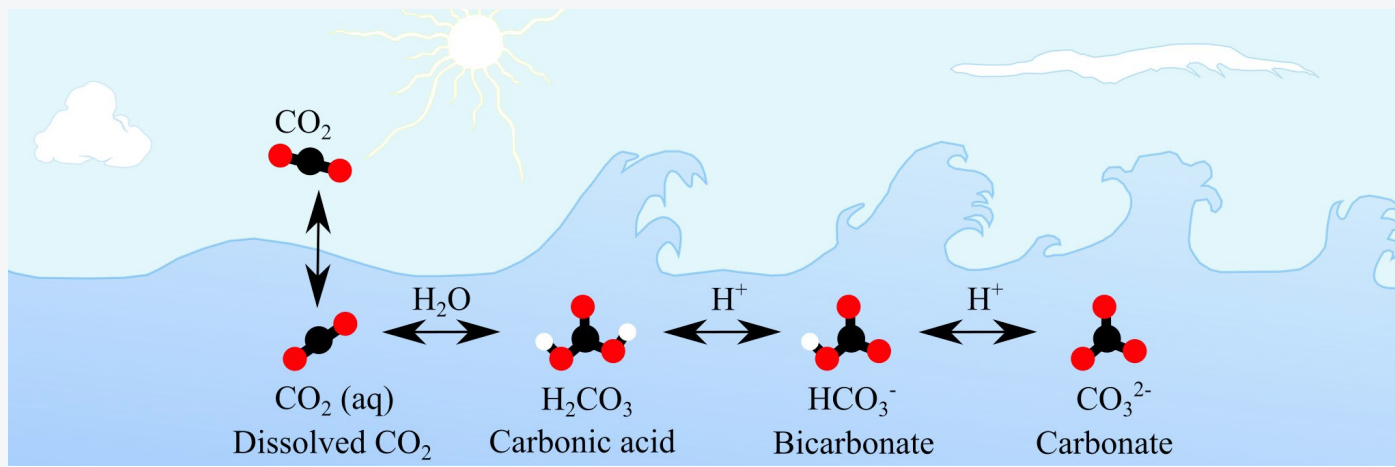
(Bates & Johnson, 2023)



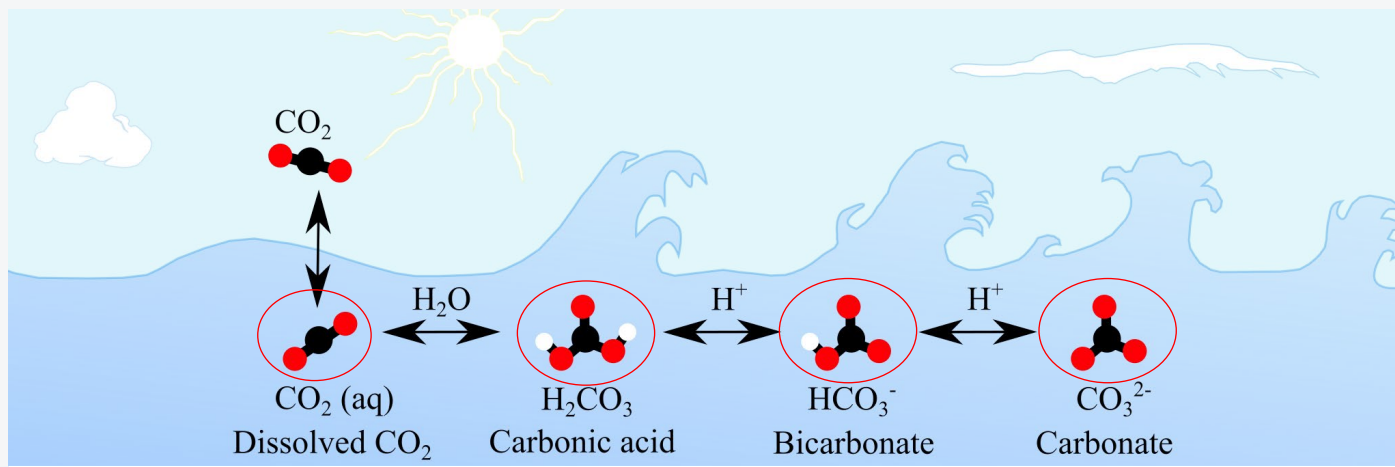
Varför är havet en så betydelsefull sänka för det antropogena kolet?



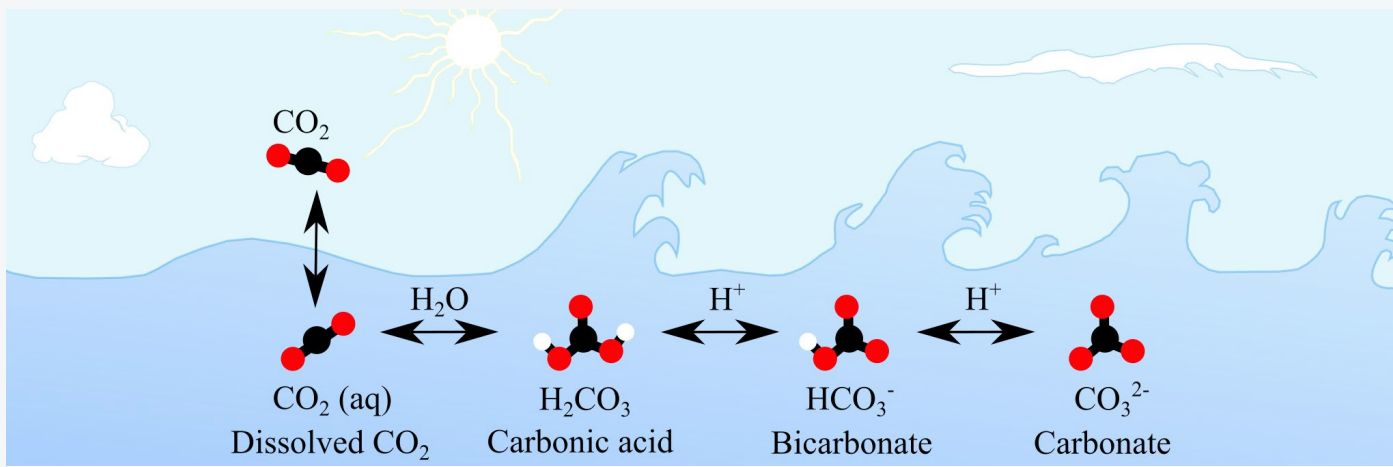




När koldioxid från atmosfären löser sig i havet reagerar den med vattenmolekyler, som resulterar i att vätejoner (H⁺) frigörs.

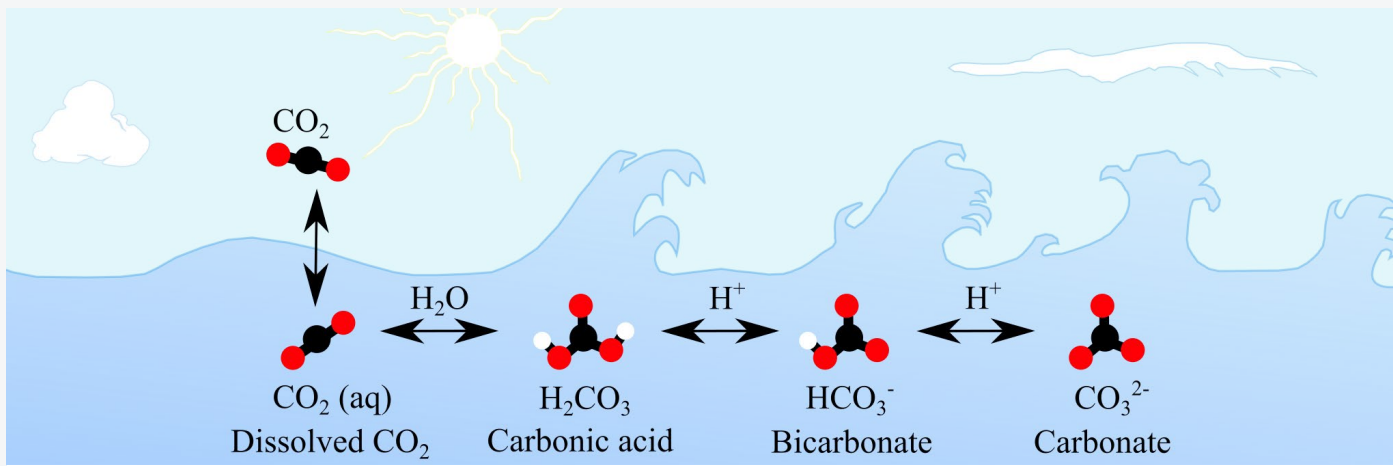


När koldioxid från atmosfären löser sig i havet reagerar den med vattenmolekyler, som resulterar i att vätejoner (H^+) frigörs.

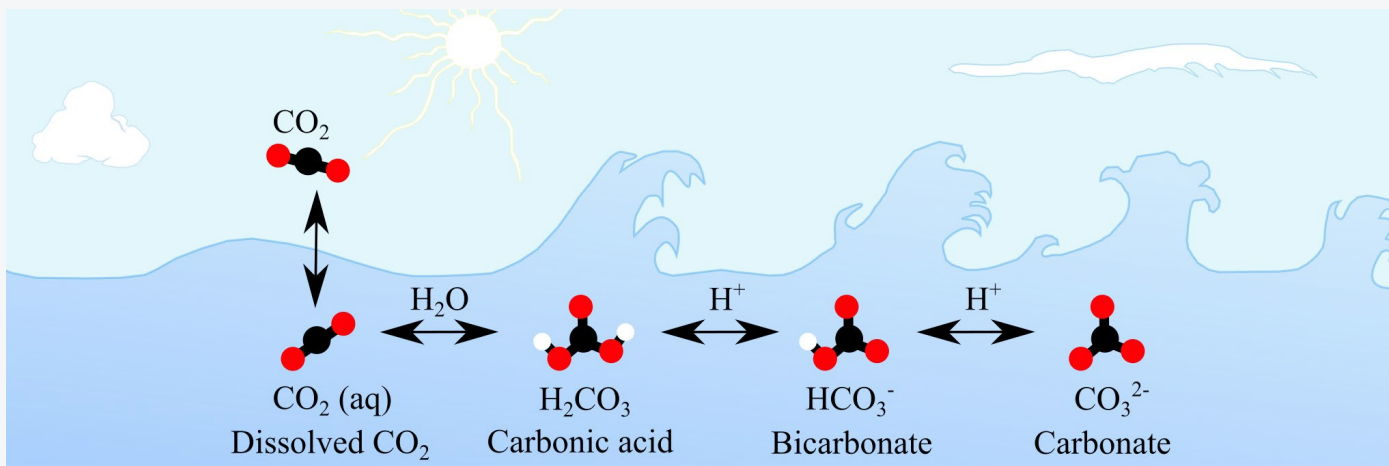


När koldioxid från atmosfären löser sig i havet reagerar den med vattenmolekyler, som resulterar i att vätejoner (H⁺) frigörs.

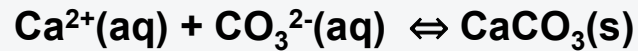
$$pH \sim -\log[H^+]$$

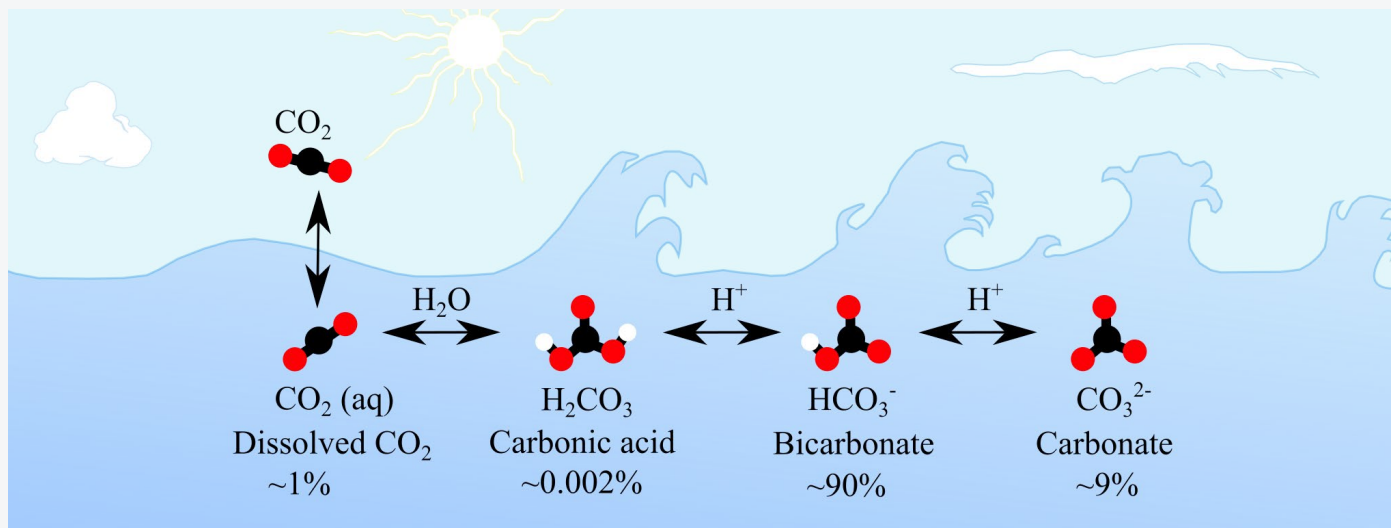


Dessa jämvikter styr det system vi kallar det marina koldioxidssystemet...

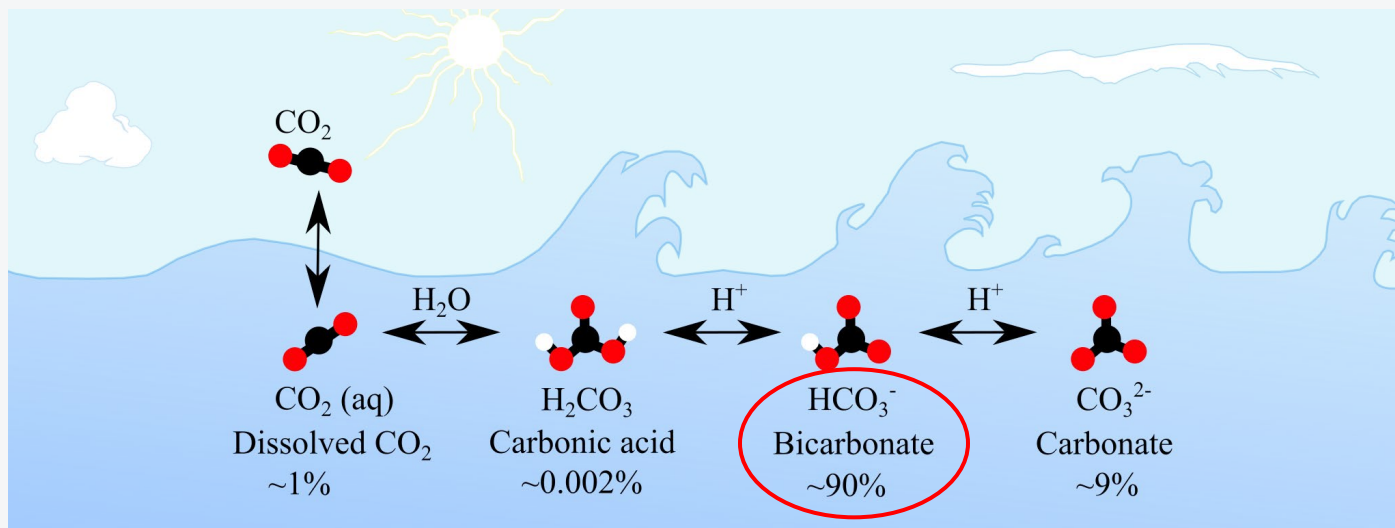


Som också påverkas av produktion och upplösning av metallkarbonater såsom kalk (CaCO₃):





Den “typiska” fördelningen i havet



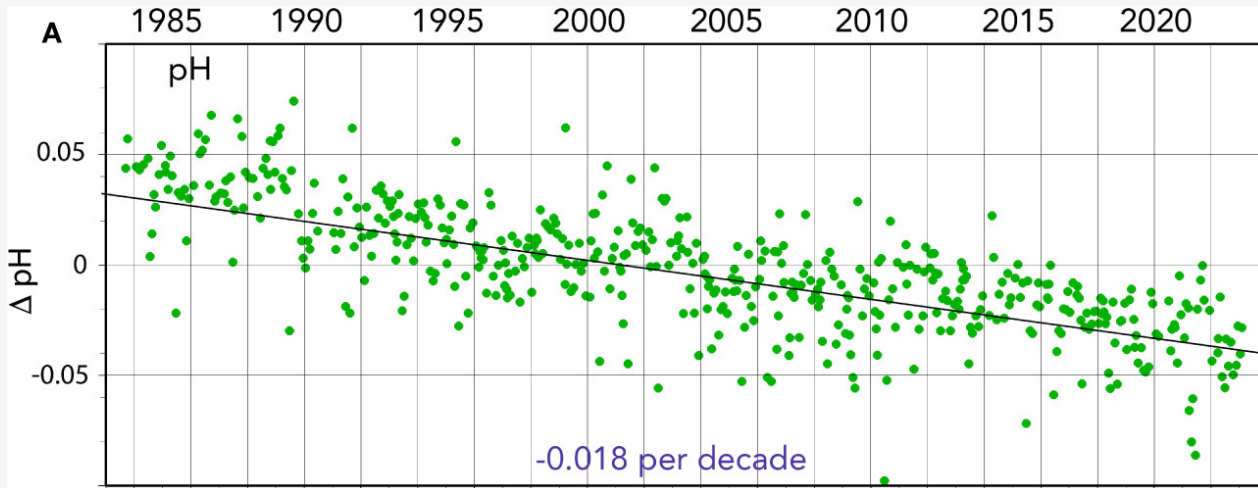
Den “typiska” fördelningen i havet

Så havet tar upp koldioxid och mildrar effekten av våra utsläpp, är inte det bra?



Klimatförändringarnas “onda tvilling”: Havsförsurning

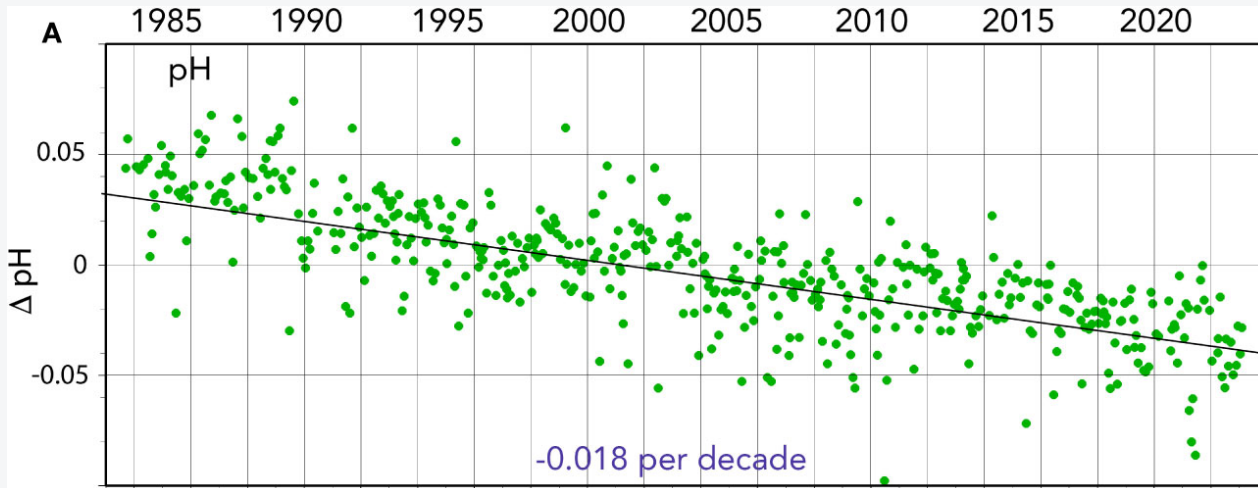
BATS 1983-2023, Bates & Johnson, 2023



Klimatförändringarnas “onda tvilling”: Havsförsurning

$$pH \sim -\log[H^+]$$

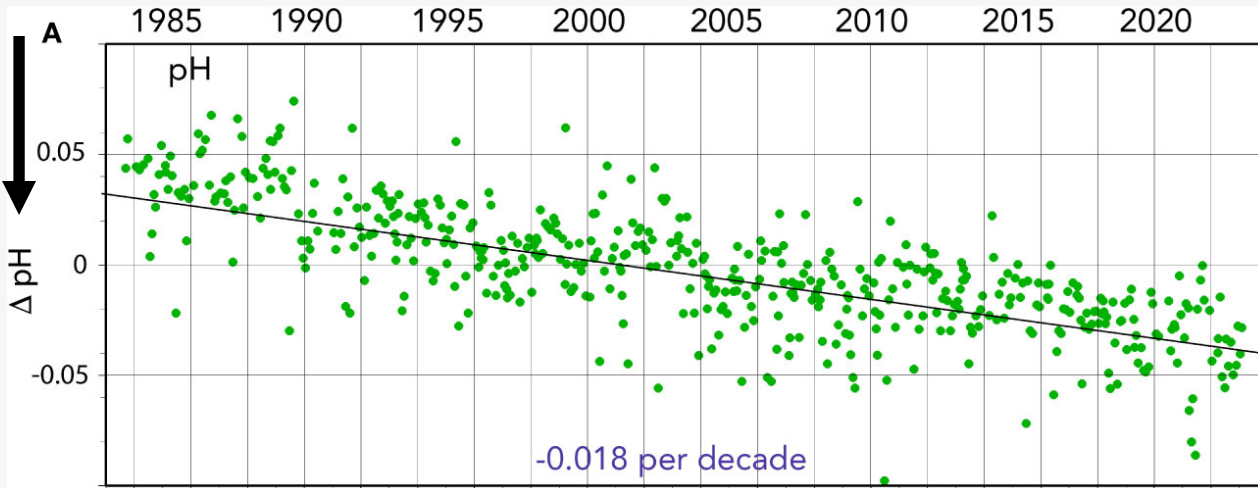
BATS 1983-2023, Bates & Johnson, 2023



Klimatförändringarnas “onda tvilling”: Havsförsurning

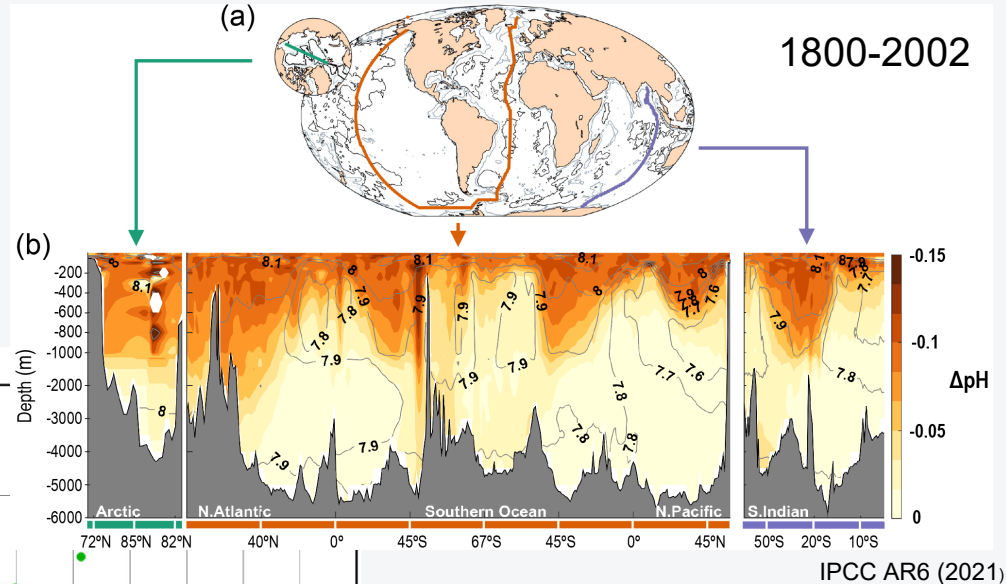
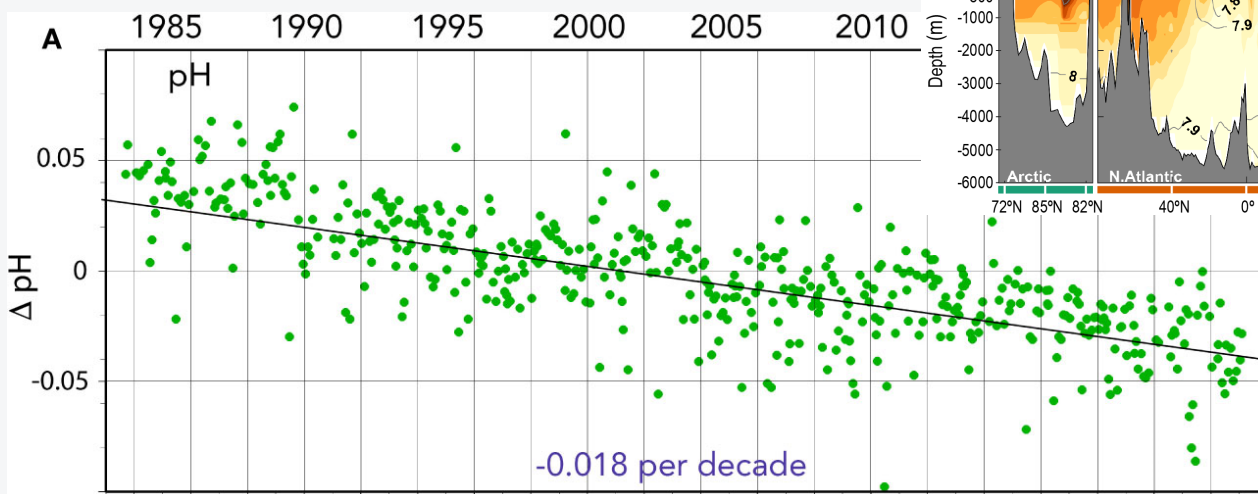
$$pH \sim -\log[H^+]$$

BATS 1983-2023, Bates & Johnson, 2023

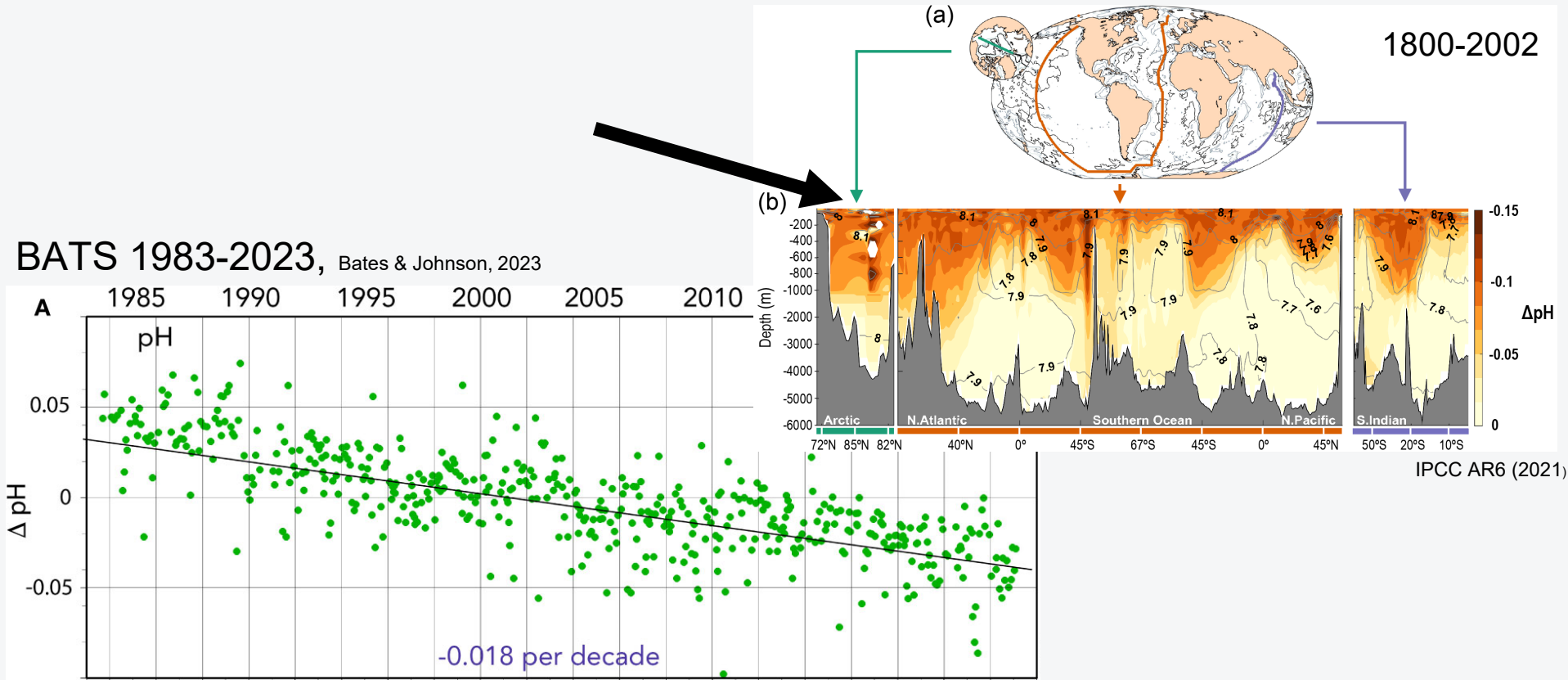


Klimatförändringarnas “onda tvilling”: Havsförsurning

BATS 1983-2023, Bates & Johnson, 2023

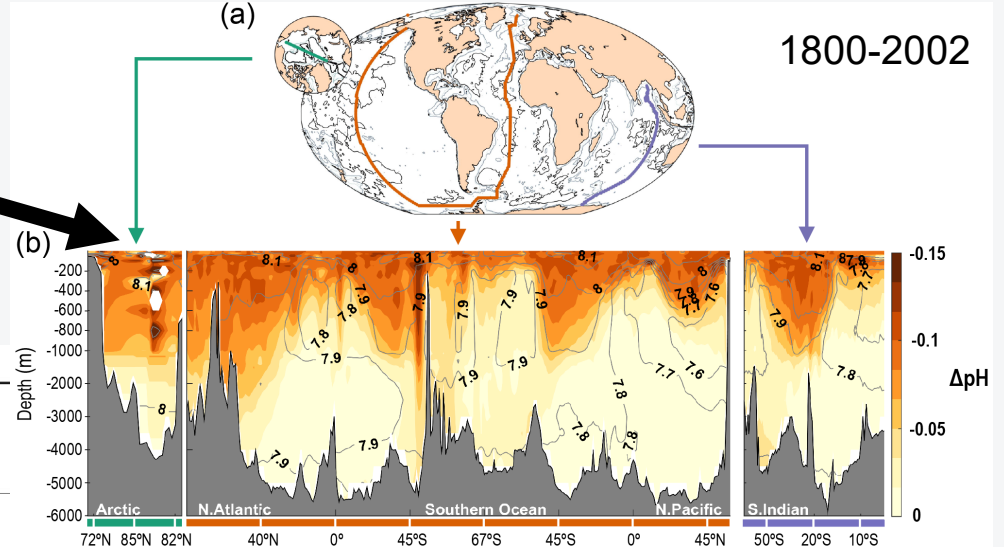


Klimatförändringarnas “onda tvilling”: Havsförurning

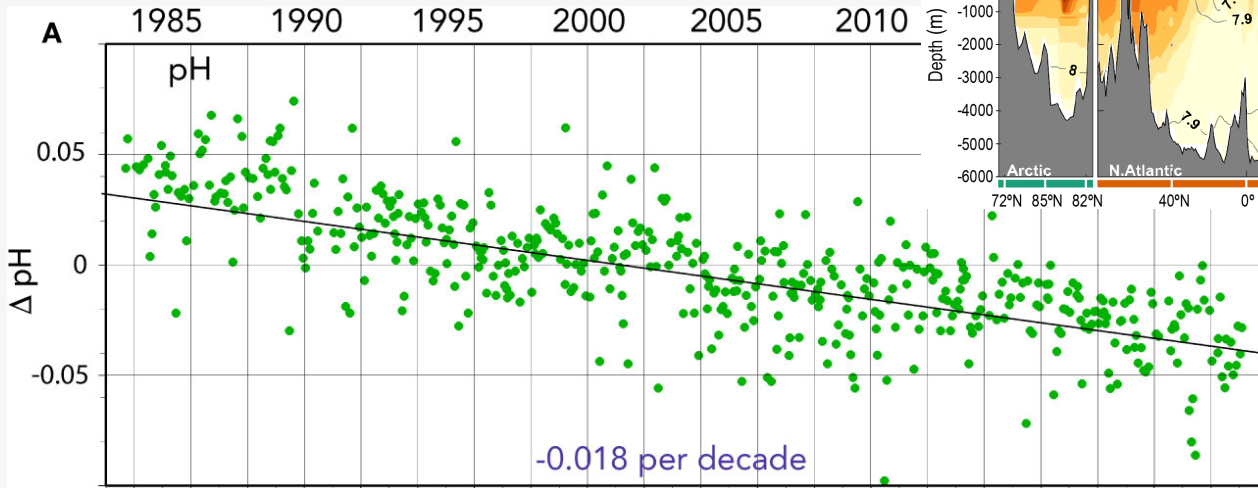


Klimatförändringarnas “onda tvilling”: Havsförsurning

Stora förändringar i delar av Arktis och Antarktis där djupvatten bildas



BATS 1983-2023, Bates & Johnson, 2023





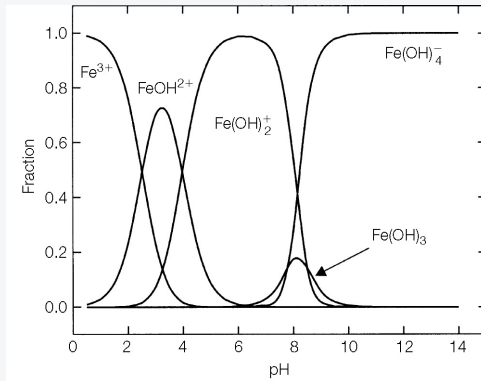
Havsförsurning syftar till **ALLA** effekter av det oceaniska upptaget av antropogent koldioxid, som resulterar i skiften i **ALLA** jämvikter av havets många syra-bas system.

Doney et al. (2009)

**>40 ämnen som finns i havet påverkas i stor grad av
dessa förändringar i pH!**

>40 ämnen som finns i havet påverkas i stor grad av
dessa förändringar i pH!

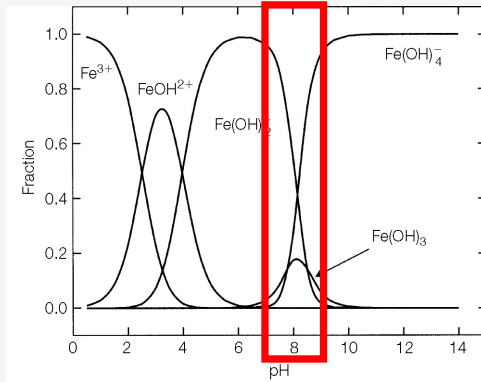
Skiften i jämvikter



© Susan Libes 2009/Elsevier Inc. 2009

>40 ämnen som finns i havet påverkas i stor grad av
dessa förändringar i pH!

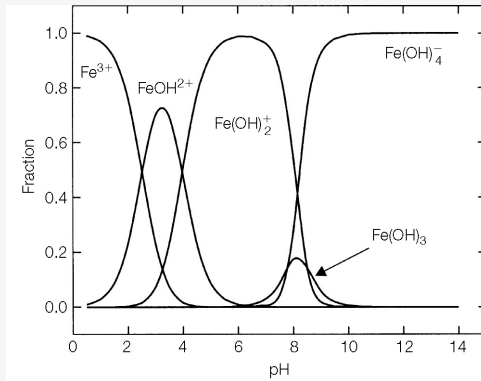
Skiften i jämvikter



© Susan Libes 2009/Elsevier Inc. 2009

>40 ämnen som finns i havet påverkas i stor grad av dessa förändringar i pH!

Skiften i jämvikter



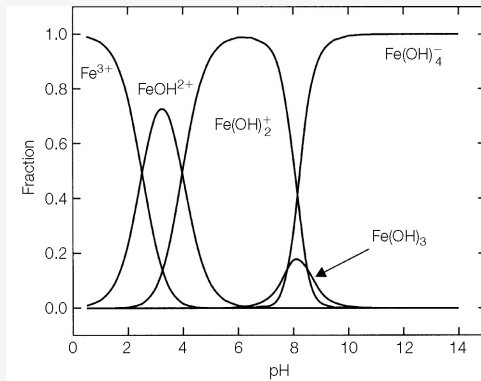
© Susan Libes 2009/Elsevier Inc. 2009

Förändrad tillgänglighet av näringsämnen: Fe^{2+} vs Fe^{3+}



>40 ämnen som finns i havet påverkas i stor grad av dessa förändringar i pH!

Skiften i jämvikter



© Susan Libes 2009/Elsevier Inc. 2009

Förändringar i biologisk toxicitet: Cu^{2+}



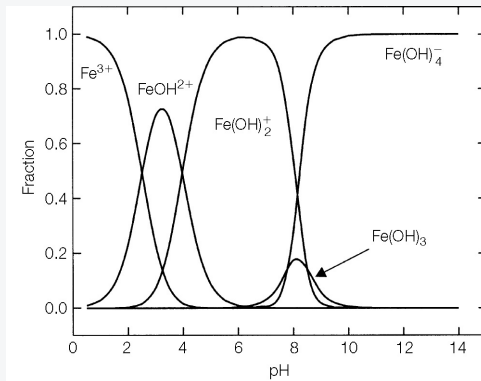
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/308864.php>

Förändrad tillgänglighet av näringsämnen: Fe^{2+} vs Fe^{3+}



>40 ämnen som finns i havet påverkas i stor grad av dessa förändringar i pH!

Skiften i jämvikter



© Susan Libes 2009/Elsevier Inc. 2009

Förändrad tillgänglighet av näringsämnen: Fe^{2+} vs Fe^{3+}

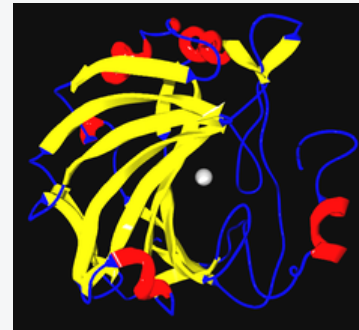


Förändringar i biologisk toxicitet: Cu^{2+}



<https://www.medicalnewstoday.com/articles/308864.php>

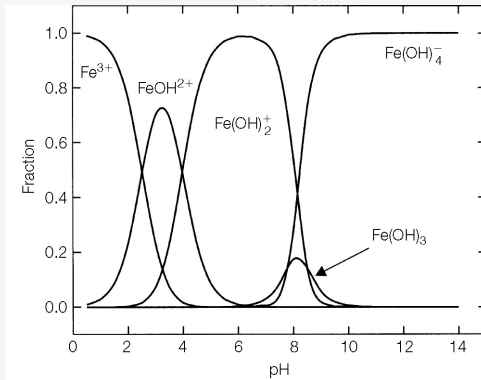
Förändringar i kemiska reaktioner: kolsyraanhydras



https://en.wikipedia.org/wiki/Carbonic_anhydrase

>40 ämnen som finns i havet påverkas i stor grad av dessa förändringar i pH!

Skiften i jämvikter



© Susan Libes 2009/Elsevier Inc. 2009

Förändrad tillgänglighet av näringsämnen: Fe²⁺ vs Fe³⁺

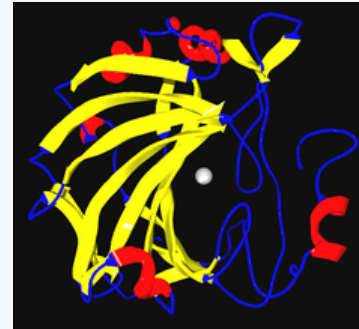


Förändringar i biologisk toxicitet: Cu²⁺



<https://www.medicalnewstoday.com/articles/308864.php>

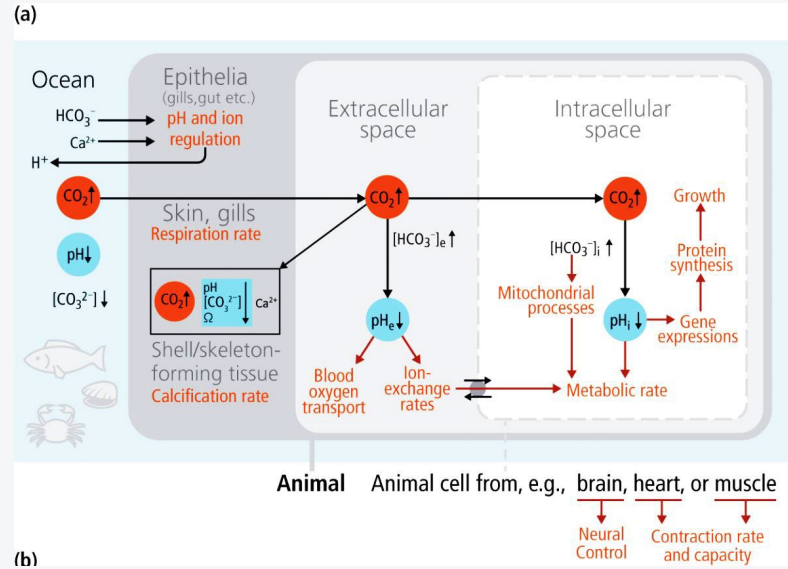
Förändringar i kemiska reaktioner: kolsyraanhydras



Underlättar
t.ex. algers
fixering av
CO₂

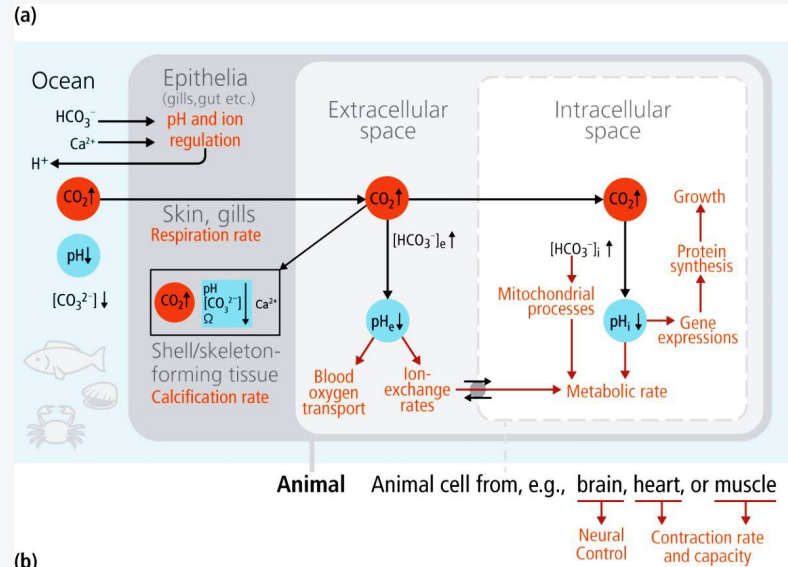
https://en.wikipedia.org/wiki/Carbonic_anhydrase

Organismfunktioner påverkas av havsförsurning på alla nivåer när CO_2 diffunderar in i organismen och sänker pH:



Pörtner et al.
(2014)

Organismfunktioner påverkas av havsförsurning på alla nivåer när CO_2 diffunderar in i organismen och sänker pH:



Pörtner et al.
(2014)

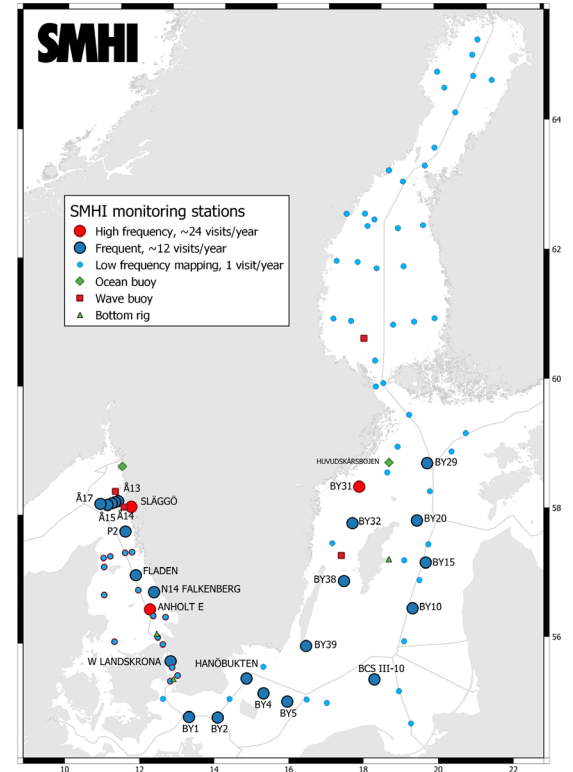
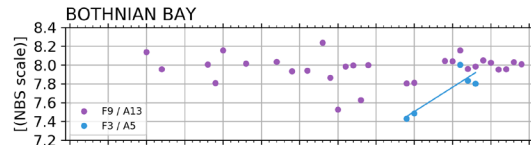
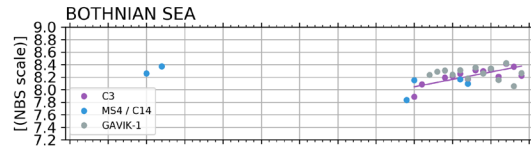
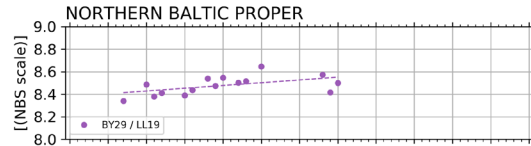
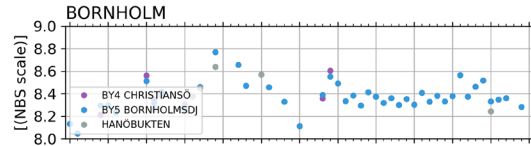
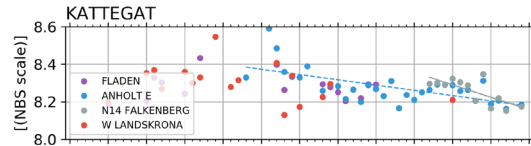
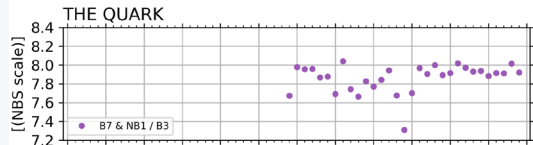
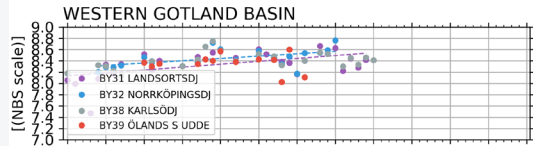
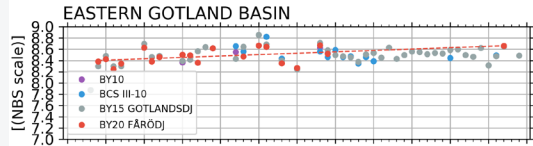
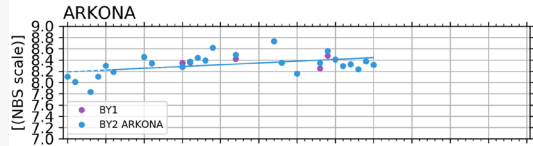
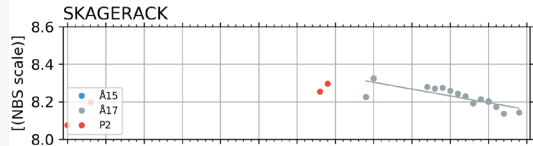
Organismens förmåga att reglera pH och andra joner (=kostar energi) styr hur känslig den är för havsförsurning.

Vilka data samlar SMHI in som rör havsförsurning?

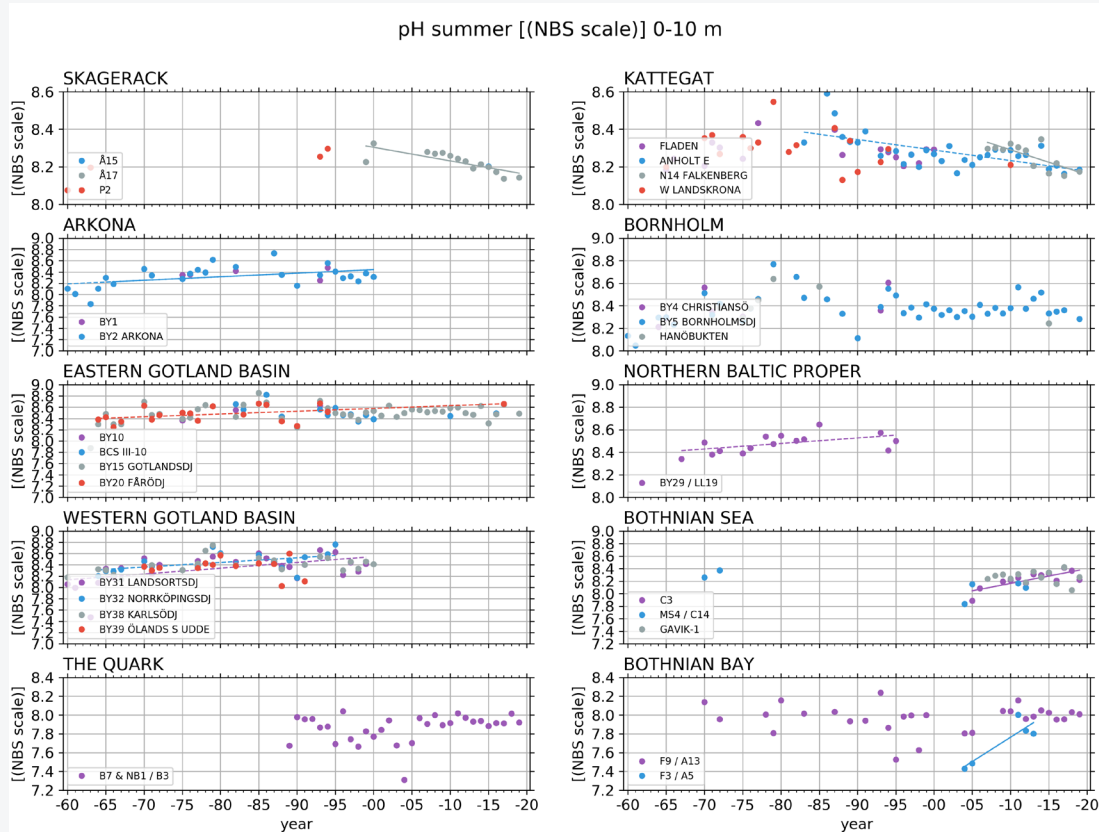


SMHI har mätt pH sedan 1960-talet i sitt mätprogram

pH summer [(NBS scale)] 0-10 m

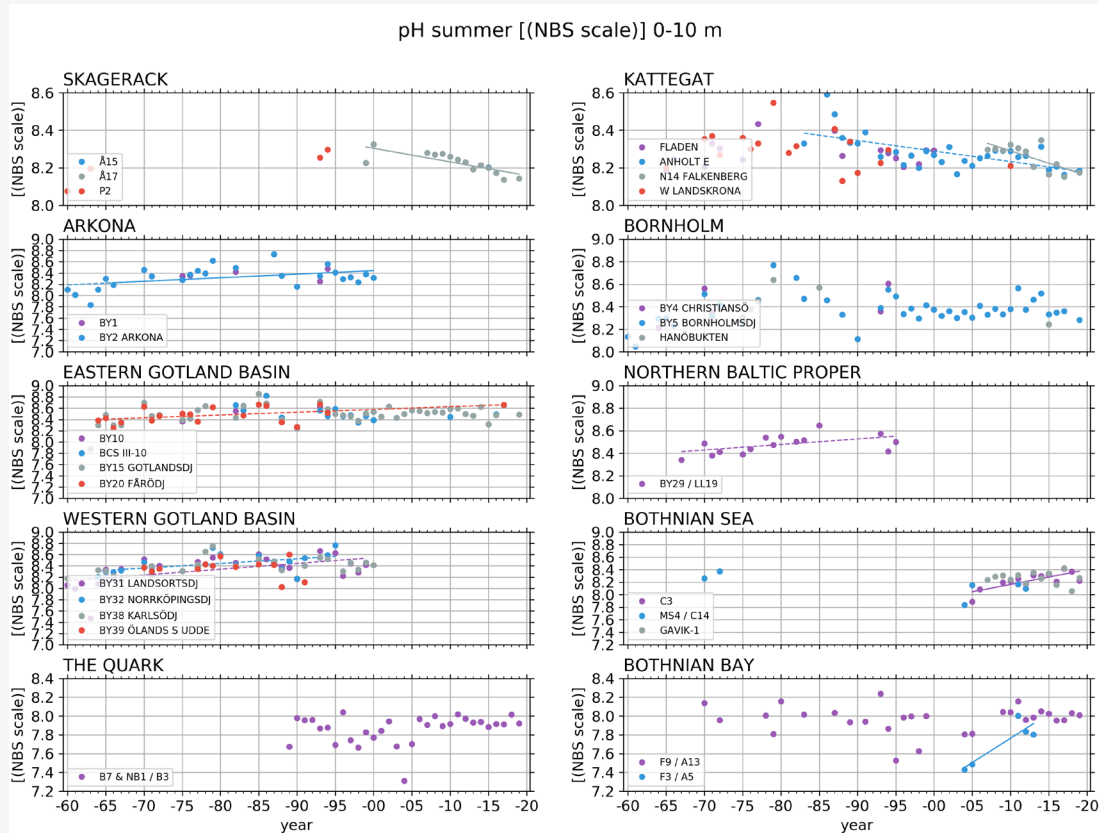


SMHI har mätt pH sedan 1960-talet i sitt mätprogram



Stor variation i pH i olika bassänger runt Sveriges kust

SMHI har mätt pH sedan 1960-talet i sitt mätprogram



Stor variation i pH i olika bassänger runt Sveriges kust

Stor variation kräver metod med hög precision och riktighet

Havsförsurningsövervakning enligt FNs Globala Hållbarhets Mål (SDG 14.3.1)

SMHI



Havsförsurningsövervakning enligt FNs Globala Hållbarhets Mål (SDG 14.3.1)

SMHI

Osäkerheter i observerade pH data:



Havsförsurningsövervakning enligt FNs Globala Hållbarhets Mål (SDG 14.3.1)

SMHI

Osäkerheter i observerade pH data:

Vädermålet: 0.02 pH enheter



Havsförsurningsövervakning enligt FNs Globala Hållbarhets Mål (SDG 14.3.1)

SMHI

Osäkerheter i observerade pH data:

Vädermålet: 0.02 pH enheter

Klimatmålet: 0.003 pH enheter



Havsförsurningsövervakning enligt FNs Globala Hållbarhets Mål (SDG 14.3.1)

SMHI

Osäkerheter i observerade pH data:

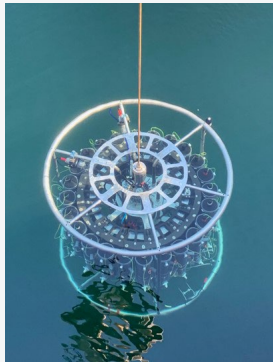
Vädermålet: 0.02 pH enheter

Klimatmålet: 0.003 pH enheter

SMHIs historiska elektrod­mätningar >0.05



R/V Svea: spektrofotometriskt pH för både SMHI diskreta (2023-) och underway (2020-) prover

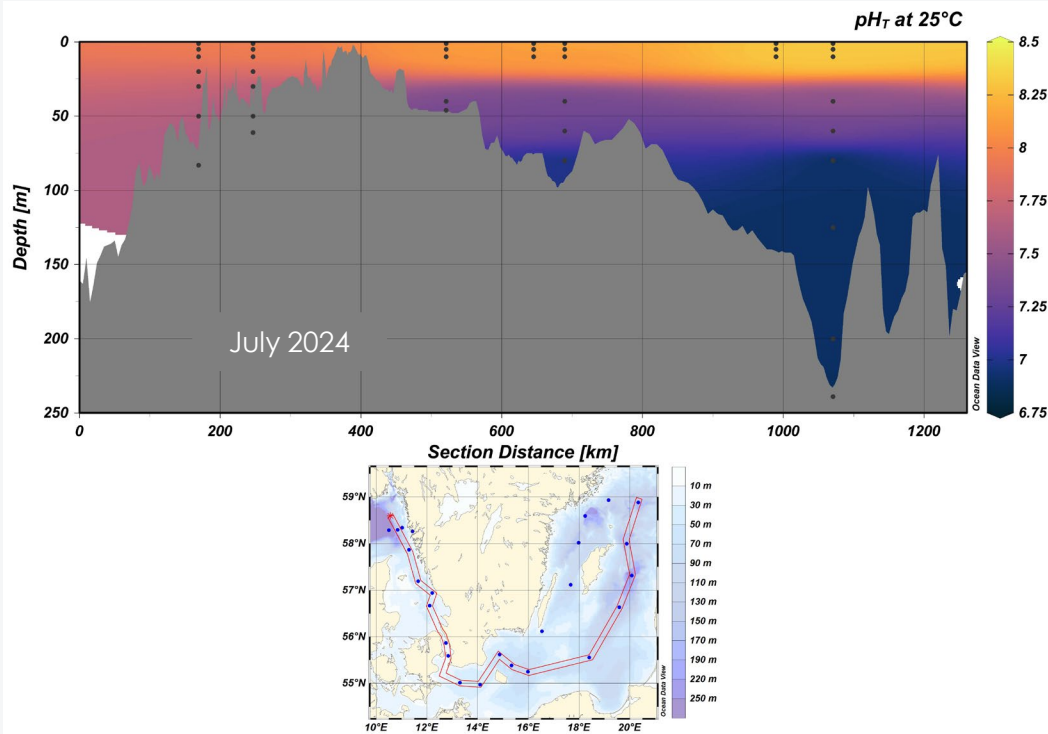


Rosethämtare för vattenprovtagning på diskreta djup i hela vattenkolumnen

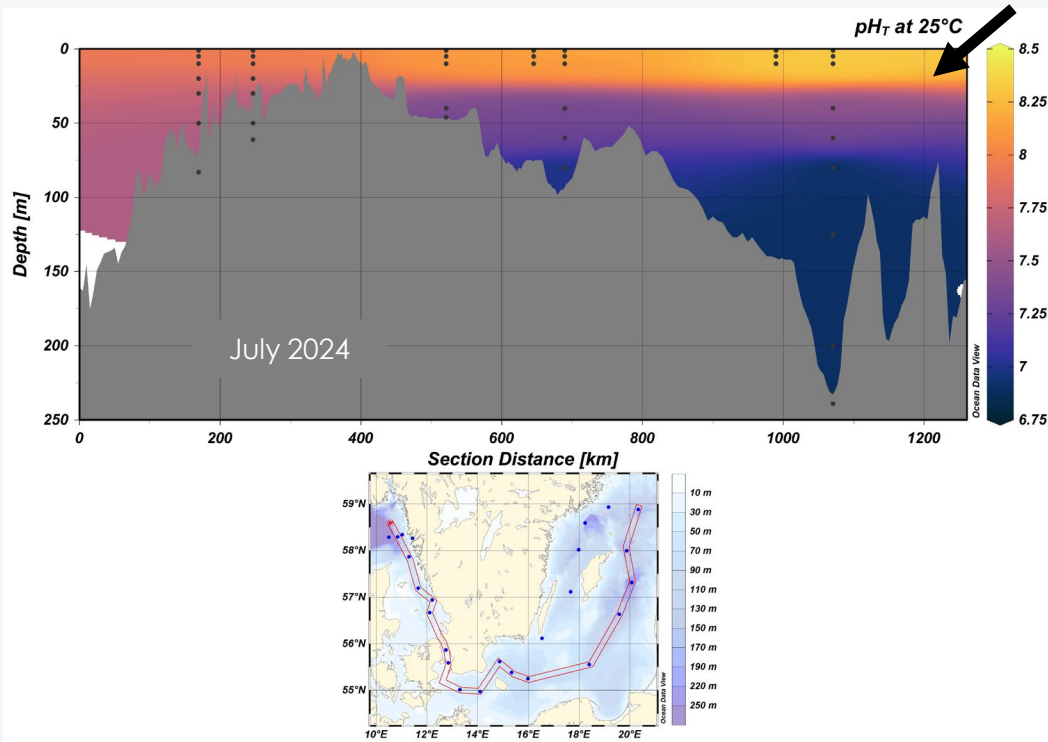


Ferrybox för mätning i ytvattnet under fartygets gång

Data från SMHIs utsjöverksamhet i juli 2024

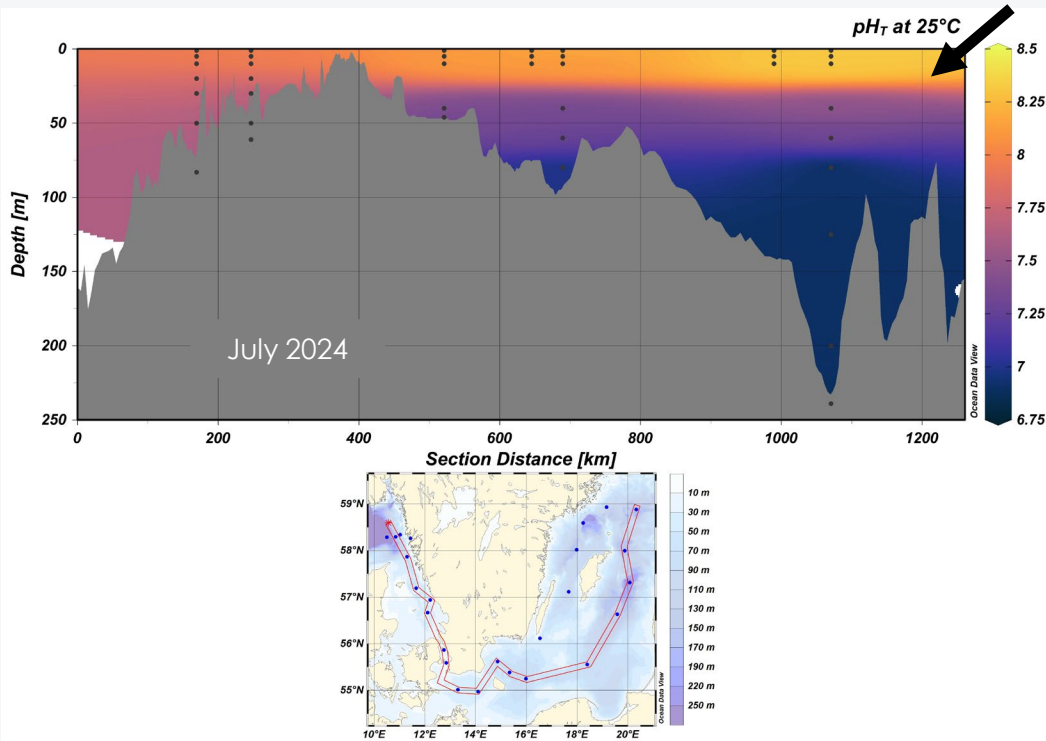


Data från SMHIs utsjöverksamhet i juli 2024



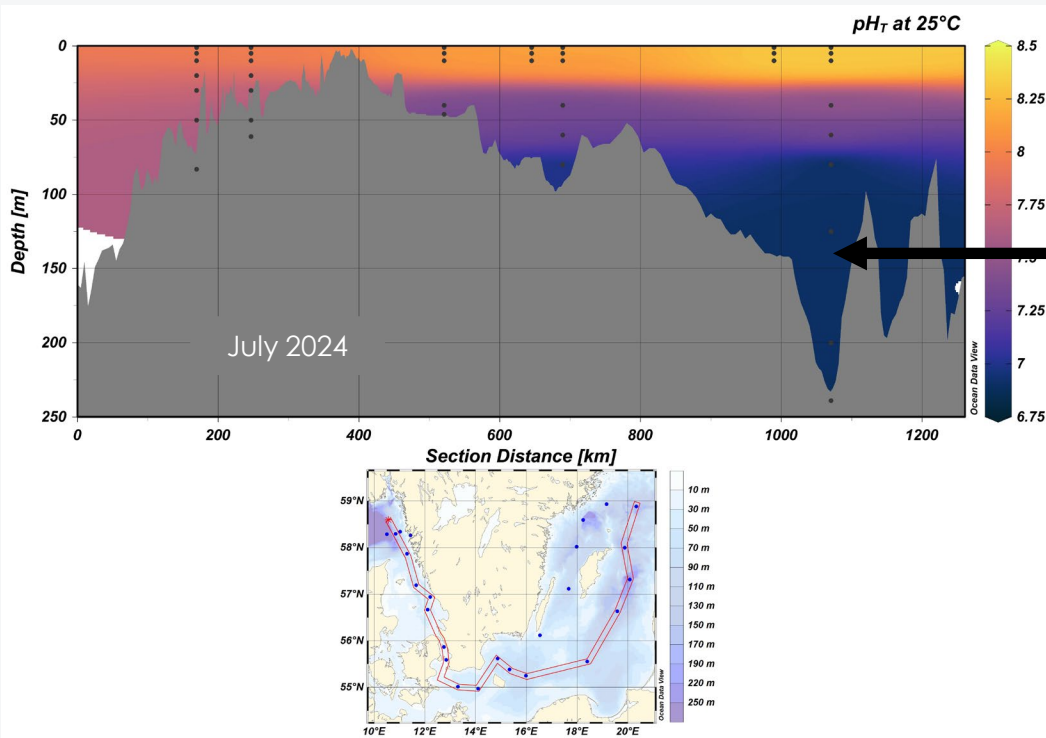
- pH i Östersjön har stor variation

Data från SMHIs utsjöverksamhet i juli 2024



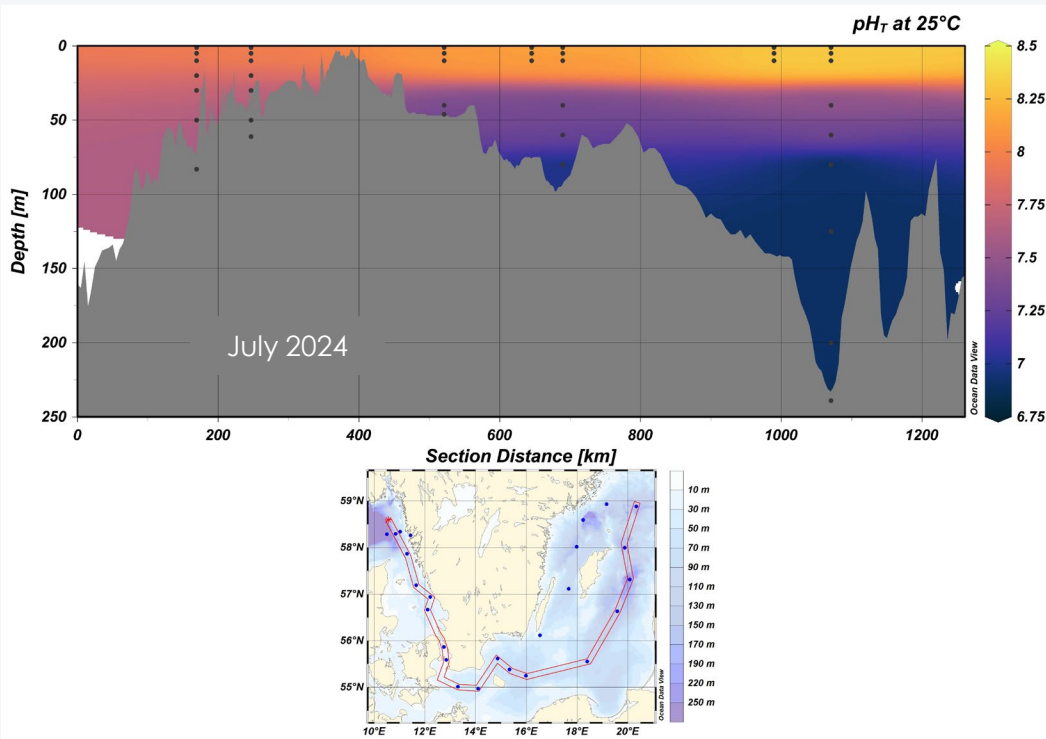
- pH i Östersjön har stor variation
- Primär produktionen ger högre pH i ytan på sommaren

Data från SMHIs utsjöverksamhet i juli 2024



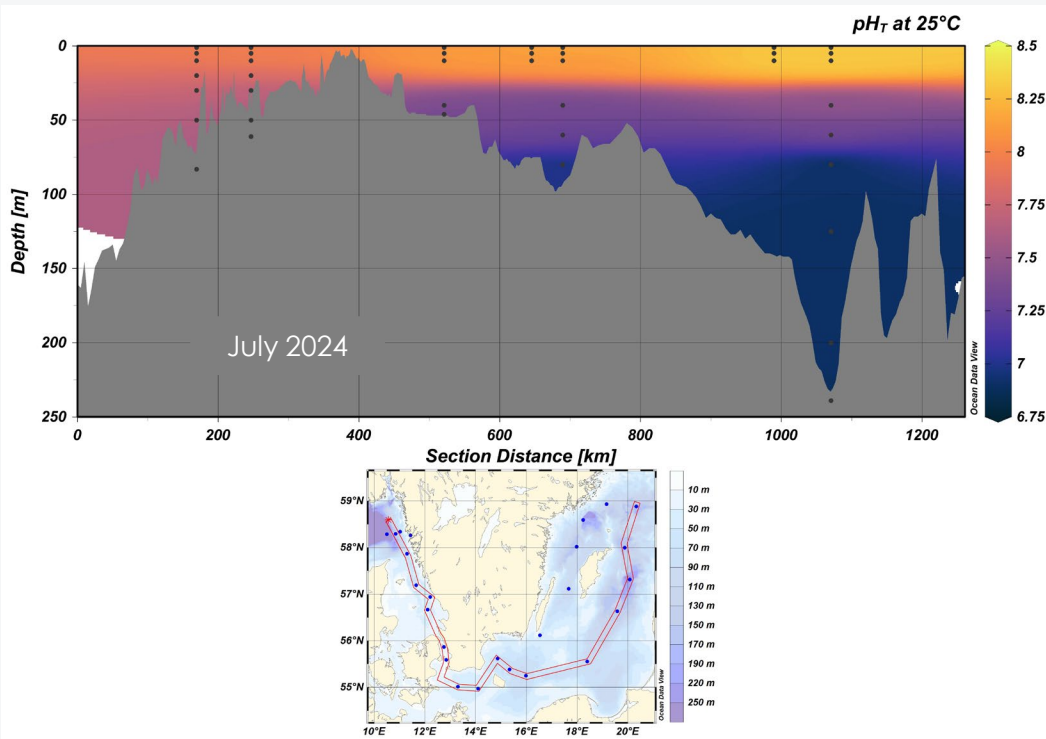
- pH i Östersjön har stor variation
- Primär produktionen ger högre pH i ytan på sommaren
- Anoxiskt djupvatten som är rikt på nedbrytningsprodukter har väldigt lågt pH

Data från SMHIs utsjöverksamhet i juli 2024



- pH i Östersjön har stor variation
- Primär produktionen ger högre pH i ytan på sommaren
- Anoxiskt djupvatten som är rikt på nedbrytningsprodukter har väldigt lågt pH
- Den extrema variationen är utmanande med avseende på metodologin

Data från SMHIs utsjöverksamhet i juli 2024



- pH i Östersjön har stor variation
- Primär produktionen ger högre pH i ytan på sommaren
- Anoxiskt djupvatten som är rikt på nedbrytningsprodukter har väldigt lågt pH
- Den extrema variationen är utmanande med avseende på metodologin
- Djupvariationer kan inte fångas med Ferrybox och diskret provtagning är essentiell

Men det räcker inte att mäta pH för att övervaka havsförsurning!

Global Ocean Acidification Observing Network (GOA-ON)

“...a complete description of the seawater carbonate system will be needed.”



Men det räcker inte att mäta pH för att övervaka havsförsurning!

Global Ocean Acidification Observing Network (GOA-ON)

“...a complete description of the seawater carbonate system will be needed.”

Seawater carbonate system =
Marina koldioxidssystemet



Hur mäter man det marina koldioxidsystemet i Östersjön?

- Hela systemet kan bestämmas om minst två av följande parametrar mäts:

Hur mäter man det marina koldioxidsystemet i Östersjön?

- Hela systemet kan bestämmas om minst två av följande parametrar mäts:
- pH

Hur mäter man det marina koldioxidsystemet i Östersjön?

- Hela systemet kan bestämmas om minst två av följande parametrar mäts:
- pH
- Löst oorganiskt kol (DIC)

Hur mäter man det marina koldioxidsystemet i Östersjön?

- Hela systemet kan bestämmas om minst två av följande parametrar mäts:
 - pH
 - Löst oorganiskt kol (DIC)
 - Partialtrycket av koldioxid ($p\text{CO}_2$)

Hur mäter man det marina koldioxidsystemet i Östersjön?

- Hela systemet kan bestämmas om minst två av följande parametrar mäts:
- pH
- Löst oorganiskt kol (DIC)
- Partialtrycket av koldioxid ($p\text{CO}_2$)
- (Total alkalinitet (TA) – humusämnen i Östersjön gör det problematiskt att mäta alkalinitet och vidare bestämma hela systemet)

Tack för att ni lyssnade!



Tack för att ni lyssnade!



Frågor?