



**NATURHISTORISK MUSEUM  
UNIVERSITETET I OSLO**

**Direktoratet for naturforvaltning**  
N-7485 Trondheim

**Saksbehandler:**  
Brit Veie-Rosvoll

**E-post:**  
Postmottak@dirnat.no

**Tom V. Segalstad**  
**Seksjon for geologi**

Postboks 1172 Blindern, N-0318 Oslo  
Web: www.nhm.uio.no  
E-post arkiv: postmottak@nhm.uio.no  
Besøksadresse: Geologisk museum,  
Sars' gate 1, Tøyen, Oslo  
Telefon: 22 85 16 62  
Telefaks: 22 85 18 00  
E-post: t.v.segalstad@nhm.uio.no

Dato: 20. august 2008  
Deres ref: **07/1148 ART-MA-BVR**  
Vår ref: TVS/tvs

Saksnr:

**Helhetlig forvaltningsplan for Norskehavet - høring på  
sektorvise utredninger av konsekvenser:  
Vedrørende deltema forsuring av havet**

NIVAs rapport om deltema forsuring av havet hevder at siden førindustriell tid har pH i havet blitt redusert med ca. 0,1, og det er regnet med videre reduksjon på 0,1-0,2 i pH de nærmeste tiårene, og reduksjon på inntil 0,5-0,7 frem mot år 2100. På lengre sikt kan havforsuringen bli alvorlig, særlig for marine arter med kalkskall. NIVAs rapport la grunnlag for et bredt anlagt skremselsoppslag i Aftenposten 9. mai 2008, del 1 side 10: "Surere hav - mindre fangst. CO<sub>2</sub> truer flere fiskerier langs norskekysten."

Det vil her vises at NIVAs grunnlag har blitt tilbakevist i den vitenskapelige litteratur, og at NIVAs konklusjoner mangler termodynamisk fundament.

**NIVAs grunnlag**

NIVA bygger sin rapport i hovedsak på en artikkel av Haugan & Drange (1996). Denne artikkelen bygger igjen på en artikkel av Spivack et al. (1993), som ut fra bor-isotoper i foraminiferer mente at det skulle være mulig ut fra bare 5 tidsbestemte bor-isotopanalyser å bestemme havets pH over de siste 21 millioner år. NIVA har gjennom sin litteraturstudie ikke funnet ut at metodikken er diskreditert av Lamarchand et al. (2000), som skriver at bor-isotopene i foraminiferer heller representerer forandringer i det marine bor-isotopbudsjettet enn forandringer i havets pH. Dermed forsvinner NIVAs hovedtese bygget på Haugan & Drange (1996) om at havet har hatt en betydelig forandring i pH i tidligere tider, som hevdes å stå i ledtog med variasjoner i atmosfærens innhold av CO<sub>2</sub>. En slik påstand ser også bort fra bufring i havet og termodynamisk stabilitet av kalsiumkarbonat.

NIVA ser også bort fra den mer fullstendige reaksjonsligningen for utfelling av kalsiumkarbonat:



(g) står for gass, (aq) for vandig, og (s) for fast stoff.

Massevirkningsloven tilsier at en økning i partialtrykket av CO<sub>2</sub>-gass i atmosfæren, vil gjøre at fast kalsiumkarbonat felles ut fra havet. Dette muliggjør også økt vekst og stabilitet av organismers skall av kalsiumkarbonat.

Kjemiske eksperimenter viser også at dette er tilfelle. Empirisk er det også vist av Budyko et al. (1987) at det er et stort samsvar mellom utfelling av kalsiumkarbonat som kalksten i havet i de perioder av jordhistorien der vi har hatt stort utslipp av CO<sub>2</sub> til atmosfæren fra vulkanisme.

NIVA-rapporten er preget av ordene "truleg", "antek", "antakeleg" og at "dei bakanforliggende mekanismene er uklare". Havets buffervirkninger, som regulerer surhetsgraden (pH) i havvannet, er ikke nevnt eller beskrevet i rapporten. Et elektronisk søk på ordet "buffer" i NIVA-rapporten gir kun 3 treff, og da treff på ordet "bufferkapasitet". Det er mer enn forbausende, at grunnleggende kjemiske betraktninger om havets pH-regulerende evne ikke er behandlet i NIVAs rapport om surheten i havet.

Påstander om katastrofal forsuring av havet fremstår også som underlig, når IPCC påstår at bare ubetydelige mengder av CO<sub>2</sub> vil oppløses i havet, fordi atmosfærisk CO<sub>2</sub> skal ha en meget lang levetid, opp mot 200 år. Da skulle mesteparten av utsluppet antropogen CO<sub>2</sub> siden den industrielle revolusjon befinne seg i dagens atmosfære, om IPCC har rett.

### Havets surhetsregulerende evne

En buffer kan defineres som et reaksjonssystem som modifierer eller kontrollerer størrelsen av en **intensiv** (= masse-**u**avhengig) termodynamisk variabel: Trykk, temperatur, konsentrasjon, pH (surhetsgrad), etc. Havets karbonatsystem vil opptre som en pH-buffer ( $\text{pH} = -\log$  konsentrasjonen av H<sup>+</sup>) ved tilstedeværelse av en svak syre (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> og dens protolyseprodukter) og et salt av syren (CaCO<sub>3</sub>). Vannets pH kan beregnes slik:  
$$\text{pH} \approx [\log K + a(\text{CO}_2, \text{g}) + a(\text{Ca}^{2+}, \text{aq})] / -2$$
hvor K er den kjemiske likevektskonstanten og a er aktiviteten (termodynamisk konsentrasjon). Ved havoverflaten er a(Ca<sup>2+</sup>,aq) mye større enn a(CO<sub>2</sub>,g). Det vil derfor være alkaliniteten som bestemmer pH, og ikke aktiviteten (fugasiteten eller partialtrykket) av atmosfærisk CO<sub>2</sub> (Charlson & Emerson, 2000).

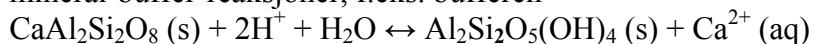
Bethke (1996) har i sin bok om geokjemiske termodynamiske beregninger vist at i et system med bare vann og CO<sub>2</sub>, uten mineralbuffere til stede, vil mer enn en dobling av CO<sub>2</sub> i luften over vannet bare føre til en senkning av pH på mindre enn 0,4 pH-enheter. Han viser videre at dette er innenfor naturlig variasjon: I det vestre Stillehavet varierer målinger av pH fra mindre enn 7,8 til nesten 8,5. De laveste verdier måles ved høye breddegrader, og de høyeste verdier måles ved lave breddegrader. Dette henger sammen med at proptolysereaksjonenes likevektskonstanter er avhengig av temperaturen.

NIVA viser til, med referanse til Haugan & Drange (1996), at pH i havets overflatelag har sunket med ca. 0,1 pH-enhet siden begynnelsen av industrialiseringen. Havet er ikke statisk. En oppstrømning av kaldere vann eller strømning av vann fra høyere bredder kan forklare en slik forandring av pH, alt godt innenfor naturlig variasjon og målinger av naturlige variasjonsbredder.

Når tilstedeværelsen av fast kalsiumkarbonat bringes inn i systemet, vil ikke en forandring av CO<sub>2</sub>-gass alene kunne forandre pH nevneverdig, på grunn av kalsiumkarbonatets buffervirkning. Termodynamiske beregninger foretatt på en havvanns-sammensetning i likevekt med kalsiumkarbonat ved 25 grader C viser at pH må senkes med 2 enheter for å

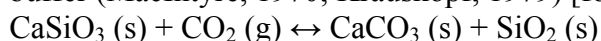
kunne løse opp kalsiumkarbonat ved 25 grader C. Det vil si at  $H^+$ -konsentrasjonen må økes med to logaritme-enheter, altså 100 ganger.

Dette er ikke mulig, og spesielt ikke når man også betrakter de øvrige buffere i havet. Karbonatbufferen er nemlig ikke den eneste globale bufferen. Jorden har et sett med andre mineral-buffer-reaksjoner, f.eks. bufferen



Denne anorthitt-feltspat  $\leftrightarrow$  kaolin-bufferen har en buffer-kapasitet 1000 ganger større enn havets karbonat-buffer (Stumm & Morgan, 1970).

I tillegg har vi leire-mineral-buffere, pluss en kalsium-silikat  $\leftrightarrow$  kalsium-karbonat  $CO_2$ -buffer (MacIntyre, 1970; Krauskopf, 1979) [for enkelthet]:



Alle disse bufferne vil opptre som et "*sikkerhets-nett*" under  $CO_2 (g) \leftrightarrow CaCO_3 (s)$  bufferen. Sammenlagt utgjør de en nesten **uendelig buffer-kapasitet** (Stumm & Morgan, 1970; Segalstad & Jaworowski, 1991).

## Konklusjon

Ordene til Mason (1966) kan stå til avslutning (i oversettelse): "Havet virker som en selvbalanserende mekanisme, hvor de fleste grunnstoffene har oppnådd en likevekts-konsentrasjon. For å doble atmosfærens innhold av  $CO_2$ , må det tilføres mye mer enn det som er i atmosfæren i dag." Sirkulasjonen av  $CO_2$  mellom atmosfære, hav og biosfære er en rask utskiftning, med målt levetid for et atmosfærisk  $CO_2$ -molekyl på ca. 5 år (Segalstad 1996, Rohde, 2000).

Mason (1966) skriver videre: "Det er tydelig at havet, gjennom å kontrollere mengden av atmosfærisk  $CO_2$ , spiller en vesentlig rolle i å opprettholde stabile forhold velegnet for organisk liv på Jorden."

Fysikalsk kjemi og termodynamikk viser at påstander om menneskeskapt forsuring i havet ikke er realistisk, når man tar hensyn til havets omfattende buffermekanismer.

Tom V. Segalstad  
Førsteamanuensis i ressurs- og miljøgeologi  
og seksjonsleder geologi

**Referanser:**

- Bethke, C.M. 1996: Geochemical reaction modeling. Concepts and applications. Oxford University Press, 397 pp.
- Budyko, M.I., Ronov, A.B. & Yanshin, A.L. 1987: History of the Earth's atmosphere. Springer-Verlag, 139 pp.
- Charlson, R.J. & Emerson, S. 2000: The acid-base and oxidation-reduction balances of the Earth. In Jacobson, M.C., Charlson, R.J., Rohde, H. & Orians, G.H. (Eds.): Earth system science. From biogeochemical cycles to global change. Elsevier International Geophysical Series 72, pp. 421-438.
- Haugan, P.M. & Drange, H. 1996: Effects of CO<sub>2</sub> on the ocean environment. Energy Convers. Mgmt. 37, No. 6-8, pp. 1019-1022.
- Krauskopf, K.B. 1979: Introduction to geochemistry, 2nd ed. McGraw-Hill, Inc. 617 pp.
- Lemarchand, D., Gaillardet, J., Lewin, É. & Allègre, C.J. 2000: The influence of rivers on marine boron isotopes and implications for reconstructing past ocean pH. Nature 408, pp. 951-954.
- MacIntyre, R. 1970: Why the sea is salt. Scientific American 223, pp. 104-115.
- Mason, B. 1966: Principles of geochemistry, 3rd. ed. John Wiley & Sons, Inc. 329 pp.
- Rohde, H. 2000: Modeling biogeochemical cycles. In Jacobson, M.C., Charlson, R.J., Rohde, H. & Orians, G.H. (Eds.): Earth system science. From biogeochemical cycles to global change. Elsevier International Geophysical Series 72, pp. 62-84.
- Segalstad, T. V. 1996: The distribution of CO<sub>2</sub> between atmosphere, hydrosphere, and lithosphere; minimal influence from anthropogenic CO<sub>2</sub> on the global "Greenhouse Effect". In Emsley, J. (Ed.): The Global Warming Debate. The Report of the European Science and Environment Forum. Bourne Press Ltd., Bournemouth, Dorset, U.K., pp. 41-50.
- Segalstad, T.V. & Jaworowski, Z. 1991: CO<sub>2</sub> og globalt klima. Kjemi 51, No. 10, pp. 13-15.
- Spivack, A.J., You, C.-F. & Smith, H.-J. 1993: Foraminiferal boron isotope ratios as a proxy for surface ocean pH over the past 21 Myr. Nature 363, pp. 149-151.
- Stumm, W. & Morgan, J.J. 1970: Aquatic chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. John Wiley & Sons, Inc. 583 pp.