

Ekosystemen hotas när havsförsurningen når Östersjön

Fler maneter men färre musslor. Den väntade havsförsurningen kan få stora effekter på artsammansättningen i Östersjön och dessutom göra havet slemmigare och mindre badvänligt. För att skydda det unika ekosystemet och den framtida matproduktionen krävs både kraftigt minskade koldioxidutsläpp och åtgärder mot övergödning, överfiske och utsläpp av farliga ämnen.

Att de stora utsläppen av växthusgaser leder till klimatförändringar och global uppvärmning är idag välkänt. Mindre uppmärksammat är det som kallas det andra koldioxidproblemet: försurningen av haven (Doney et al., 2009).

På 1980-talet var försurningen av sjöar och marker ett av de mest uppmärksammade miljöproblemen. Utsläpp av svavel- och kväveoxider i samband med förbränningsprocesser i exempelvis motorfordon, kraft- och värmeverk ger upphov till atmosfäriskt nedfall av svavel- och salpetersyra, populärt kallat ”surt regn”, som fick stora effekter på ekosystemen i sjöar och skogar. Kraftigt förbättrad rening av utsläppen under 1980- och 1990-talen i kombination med kalkning av sjöar och vattendrag har dock lett till att denna typ av försurning har minskat i Östersjöområdet (Omstedt et al., 2015).

De senaste åren har i stället en annan typ av försurning uppmärksamats: den globala havsförsurningen som orsakas av de massiva utsläppen av koldioxid och som inte är möjlig att kalka bort. Hittills har dessa förändringar inte märkts så mycket i Östersjön (Müller et al., 2016), men på sikt kommer försurningen att få effekter även här – vilket i förlängningen hotar havets ekosystem.

Förändrad artsammansättning på sikt

Även om man i dagsläget inte ser stora problem kopplade till försurning i Östersjön så väntas den på längre sikt kunna leda till en förändrad artsammansättning, om koldioxidutsläppen inte minskar.

Försurningen av haven är till fördel för vissa organismer och till nackdel för vissa (Wittmann and Pörtner 2013, Havenhand et al. 2018). De stora förlorarna i en surare miljö är de kalkskalsbildande organismerna som koraller och musslor eftersom de får svårare att bilda skal eller skelett (Dupont and Pörtner, 2013). Fiskar såsom sill, hälleflundra och torsk är också i larvstadiet särskilt känsliga för försurning (Stiasny et al. 2018).

Andra organismer som till exempel maneter och vissa typer av alger gynnas generellt av försurningen (Winder et al. 2017), liksom av övergödningen och uppvärmningen av haven, och den sammantagna utvecklingen i havsmiljön har därför beskrivits som ”the rise of slime” (Jackson, 2008). En kraftig tillväxt av denna typ av arter leder till ett grumligare, slemmigare hav som är ogästvänligt att vistas i, både för människor och för andra djur.

Den här förändrade artsammansättningen långt ner i näringsväven påverkar också organismer högre upp, såsom fiskar, fåglar och sälar eftersom deras tillgång till föda förändras (Rossoll et al. 2012, Bermúdez et al. 2016a). Försurningen hotar därför i förlängningen hela Östersjöns ekosystem och därmed de marina näringar som idag är beroende av det.

Haven dämpar växthuseffekten

Sedan industrialiseringens början har halten koldioxid i atmosfären ökat kraftigt. Analyser av luft som fångats i Antarktis is visar att halterna de senaste 800 000 åren har varierat mellan cirka 180 ppm (parts per million) under istider och 280 ppm under mellanistider (Lüthi et al., 2008). Men de senaste två hundra åren har koldioxidhalten i atmosfären ökat till dagens omkring 410 ppm.

I dagsläget släpps årligen cirka 42,5 miljarder ton koldioxid ut till atmosfären till följd av bland annat förbränning av fossila bränslen, cementproduktion och förändrad landanvändning. Knappt hälften (45 procent) av utsläppen ackumuleras i atmosfären, medan 30 procent tas upp av ekosystem på land och 25 procent tas upp av haven (Friedlingstein et al., 2019). Haven bidrar alltså till att dämpa koldioxidökningen i atmosfären, och därmed växthuseffekten, vilket gör att haven länge betraktades i första hand som en koldioxidsänka.

Efterhand har det emellertid blivit tydligt att havens koldioxidupptag inte enbart är något positivt utan också gradvis leder till försurning av alla världens vattenområden, inklusive de stora oceanerna.

Koldioxid försurar haven

När koldioxid tas upp av haven reagerar den med vattnet och bildar kolsyra, vilket leder till att pH-värdet i haven gradvis minskar.

För närvarande minskar pH med omkring 0,002 pH-enheter per år i oceanernas ytvatten (Carstensen and Duarte, 2019). Sammanlagt sedan industrialiseringens början har pH minskat med mer än 0,1 pH-enheter. Det kan låta lite, men eftersom pH-skalan är logaritmisk innebär det en förändring med mer än 30 procent. Enligt IPCCs olika utsläppsscenarier väntas koldioxidhalten i atmosfären öka ytterligare och kan nå 950 ppm år 2100 (van Vuuren et al., 2011). Detta väntas leda till en genomsnittlig global uppvärmning på upp till tre grader och samtidigt till en pH-minskning i oceanernas ytvatten med ytterligare 0,3 pH-enheter (Collins et al., 2013).

För livet i havet kan detta få stora konsekvenser, dels på grund av att vissa arter inte klarar den surare miljön och dels på grund av att kalkhalten i havet minskar (Riebesell and Tortell 2011, Wittmann and Pörtner 2013). Koldioxiden i vattnet reagerar nämligen också med det lösta kalk som finns i haven och lägre kalkhalt gör det svårt för kalkbildande arter att bilda skelett och skal (Feely et al., 2004). Globalt har detta framför allt beskrivits som ett problem för de känsliga korallreven (Fabricius et al. 2014), men även i Östersjön finns viktiga kalkbildare, såsom nyckelarten blåmussla (Thomsen et al. 2017).

Vissa områden av Östersjön känsligare än andra

Graden av pH-minskning i förhållande till atmosfärens koldioxidökning anses förutsägbar i de öppna oceanernas ytvatten, men är betydligt mer komplicerad i kustnära havsområden, som Östersjön (Carstensen and Duarte, 2019). Anledningen till det är att pH här i högre utsträckning påverkas av andra faktorer.

Östersjön är ett brackvattenhav med stora geografiska skillnader i salthalt, men även pH skiljer sig markant mellan de olika delbassängerna och mellan kust och öppet vatten. Detta beror dels på proportionerna mellan oceanvatten och färskvatten i de olika bassängerna – det saltrika och kalkrika oceanvattnet har oftast högre pH än färskvatten. Men pH påverkas också av egenskaper i avrinningsområdet. I sydöstra Östersjön där berggrunden typiskt domineras av kalksten och sandsten har flodvattnet en betydligt högre koncentration av löst kalk, som

gör vattnet basiskt, än i norra delarna av Östersjön där berggrunden till stor del utgörs av granit och gnejs (Müller et al., 2016). Detta innebär till exempel att vattnet i Rigabukten har högre pH än det i Bottenviken och Rigabukten är därför mindre känslig för framtida havsförurning än Bottenviken.

Men det är inte bara de geografiska skillnaderna som spelar roll för just Östersjön. Utsläpp av svavel- och kväveoxider från fartyg kan lokalt ha en betydande effekt på pH i högtrafikerade fartygsleder och hamnar, även om den storskaliga effekten är liten jämfört med koldioxidutsläppen (Turner et al., 2018). Nya strängare globala regler begränsar numera svavelutsläppen till luft. En konsekvens av detta har dock blivit en kraftigt ökad användning av så kallad skrubberteknologi, en rökgasreningsmetod som primärt används för att tvätta ur svaveloxider i fartygsavgaser. Processen gör att svavelhalten i avgaserna håller sig under satta gränsvärden men skrubbevattnet som släpps ut i havet är mycket kraftigt försurat, med ett pH på cirka 3.

I delar av Östersjön har havsförurningen hittills varit mindre påtaglig än i världshaven, till exempel i Egentliga Östersjön (Müller et al., 2016). I andra delar har pH minskat snabbare än i världshaven, till exempel i några av de danska fjordarna (Carstensen et al., 2018). Om koldioxidhalten i atmosfären fortsätter att öka så är det inte troligt att havsförurningen i Östersjön kommer att kunna motverkas av andra processer utan förurningen kommer på längre sikt att märkas i hela Östersjön.

Övergödning förstärker naturliga pH-variationer

Sambandet mellan övergödning och förurning är komplicerat. pH varierar naturligt över året på grund av att koldioxid binds i växter och djur och sedan frigörs när dessa bryts ner (Havenhand et al. 2018). En hög tillförsel av fosfor och kväve ger ofta upphov till stora algblomningar (Kahru and Elmgren 2014), vilket innebär att en stor mängd koldioxid fixeras av växter. Detta resulterar också i en stor pH-ökning under vår och sommar när ljusförhållandena är gynnsamma för fotosyntes och motverkar på så sätt förurningen.

Å andra sidan frigörs den fixerade koldioxiden åter när det organiska materialet bryts ned, och ju större mängd organiskt material som bryts ned, desto större mängd koldioxid frigörs. I ett övergött hav med stor växtplanktonproduktion blir pH-ökningen under sommaren större än i ett näringsfattigt hav, men samtidigt blir också pH-minskningen under vintern mer påtaglig (Havenhand et al. 2018).

I genomsnitt över ett helt år innebär hög tillförsel av kväve och fosfor, med stora algblomningar som följd, att havet får ett något högre pH än det annars skulle ha haft (Gustafsson et al., 2019). Men svängningarna mellan årstiderna blir större, vilket i sig kan vara problematiskt för ekosystemet. De negativa konsekvenser en minskad övergödning skulle få för den framtida förurningen bör ändå betraktas som marginella jämfört med de övriga positiva effekter som kan kopplas till minskad övergödning.

Under en planktonblomning kan pH i ytvattnet öka med mer än 0,5 under loppet av en månad, för att sedan minska lika mycket igen under vintern då koldioxid frigörs genom nedbrytningsprocesser (Havenhand et al. 2018). Detta är mycket stora förändringar jämfört med den koldioxiddrivna pH-minskningen som i dagsläget alltså är cirka 0,002 per år. Eftersom säsongsvariationerna i pH är så stora i Östersjön kan det vara svårt att urskilja den långsamma gradvisa pH-minskningen. För att med säkerhet kunna fastställa pH-förändringar över lång tid krävs därför högkvalitativa mätningar (Tilbrook et al. 2019), något som saknas i delar av Östersjön idag.

En annan konsekvens av de kraftiga säsongsvariationerna i Östersjön är att de organismer som lever här är anpassade till stora pH-förändringar under kort tid (Rossoll et al. 2013, Bermúdez et al. 2016b, Thomsen et al. 2017). Detta kan tala för att det finns en god förmåga hos ett flertal arter att anpassa sig också till framtida havsförurning.

Kombinerade effekter kan slå hårt

Samtidigt som havsförurningen fortgår så pågår också andra processer i Östersjön kopplade till klimatförändringarna, så som höjd vattentemperatur (Reusch et al. 2018). Enligt beräkningar gjorda med klimatmodeller är det också sannolikt att nederbörden generellt kommer att öka i Östersjöområdet vilket skulle resultera i en successivt minskande salthalt i havet (Saraiva et al., 2019). En minskad salthalt kan i sig komma att få stora konsekvenser för arter som redan begränsas av Östersjöns låga salthalt. Kombinationen av att salthalten minskar och att vattnet blir mindre basiskt är sannolikt svårare att anpassa sig till än de två effekterna var för sig.

Östersjöns ekosystem utsätts dessutom redan för stress orsakad av överfiske, utsläpp av farliga ämnen och den miljöpåverkan som är relaterad till övergödningen, som stora planktonblomningar och ökad utbredning av syrefattiga djupvattenområden (Reusch et al. 2018).

Det finns ett stort kunskapsbehov när det gäller hur kombinationen av havsförurning och andra processer kommer att påverka Östersjöns ekosystem i framtiden (Havenhand, 2012) (Havenhand et al. 2018). Med de framtida globala klimateffekterna i åtanke finns det också stor anledning att göra det som är möjligt för att minska de regionala problem som finns i Östersjön, såsom övergödning, överfiske och utsläpp av farliga ämnen. För att förhindra en storskalig havsförurning är dock den enda realistiska åtgärden att kraftigt begränsa de framtida koldioxidutsläppen.

REFERENSLISTA

Bermúdez, J. R., U. Riebesell, A. Larsen, and M. Winder. 2016a. Ocean acidification reduces transfer of essential biomolecules in a natural plankton community. *Scientific Reports* 6. <https://doi.org/10.1038/srep27749>

Bermúdez, R., M. Winder, A. Stühr, A.-K. Almén, J. Engström-Öst, and U. Riebesell. 2016b. Effect of ocean acidification on the structure and fatty acid composition of a natural plankton community in the Baltic Sea. *Biogeosciences* 13:6625–6635. <https://doi.org/10.5194/bg-13-6625-2016>

Carstensen, J., Chierici, M., Gustafsson, B.G., Gustafsson, E., 2018. Long-Term and Seasonal Trends in Estuarine and Coastal Carbonate Systems. *Global Biogeochemical Cycles* 32, 497–513. <https://doi.org/10.1002/2017GB005781>

Carstensen, J., Duarte, C.M., 2019. Drivers of pH Variability in Coastal Ecosystems. *Environ. Sci. Technol.* 53, 4020–4029. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03655>

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner, 2013: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Doney, S.C., Fabry, V.J., Feely, R.A., Kleypas, J.A., 2009. Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem. *Annual Review of Marine Science* 1, 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834>

Duarte, C.M., Hendriks, I.E., Moore, T.S., Olsen, Y.S., Steckbauer, A., Ramajo, L., Carstensen, J., Trotter, J.A., McCulloch, M., 2013. Is Ocean Acidification an Open-Ocean Syndrome? Understanding Anthropogenic Impacts on Seawater pH. *Estuaries and Coasts* 36, 221–236. <https://doi.org/10.1007/s12237-013-9594-3>

Dupont, S., Pörtner, H.-O., 2013. A snapshot of ocean acidification research. *Mar Biol* 160, 1765–1771. <https://doi.org/10.1007/s00227-013-2282-9>

Fabricius, K. E., G. De'ath, S. Noonan, and S. Uthicke. 2014. Ecological effects of ocean acidification and habitat complexity on reef-associated macroinvertebrate communities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281:20132479. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2479>

Feely, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V.J., Millero, F.J., 2004. Impact of Anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ System in the Oceans. *Science* 305, 362–366. <https://doi.org/10.1126/science.1097329>

Friedlingstein, P., Jones, M.W., O'Sullivan, M., Andrew, R.M., Hauck, J., Peters, G.P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Quéré, C.L., Bakker, D.C.E., Canadell, J.G., Ciais, P.,

Jackson, R.B., Anthoni, P., Barbero, L., Bastos, A., Bastrikov, V., Becker, M., Bopp, L., Buitenhuis, E., Chandra, N., Chevallier, F., Chini, L.P., Currie, K.I., Feely, R.A., Gehlen, M., Gilfillan, D., Gkritzalis, T., Goll, D.S., Gruber, N., Gutekunst, S., Harris, I., Haverd, V., Houghton, R.A., Hurtt, G., Ilyina, T., Jain, A.K., Joetzjer, E., Kaplan, J.O., Kato, E., Klein Goldewijk, K., Korsbakken, J.I., Landschützer, P., Lauvset, S.K., Lefèvre, N., Lenton, A., Lienert, S., Lombardozzi, D., Marland, G., McGuire, P.C., Melton, J.R., Metzl, N., Munro, D.R., Nabel, J.E.M.S., Nakaoka, S.-I., Neill, C., Omar, A.M., Ono, T., Pregon, A., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson, E., Rödenbeck, C., Séférian, R., Schwinger, J., Smith, N., Tans, P.P., Tian, H., Tilbrook, B., Tubiello, F.N., Werf, G.R. van der, Wiltshire, A.J., Zaehle, S., 2019. Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data* 11, 1783–1838. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>

Gustafsson, E., Hagens, M., Sun, X., Reed, D.C., Humborg, C., Slomp, C.P., Gustafsson, B.G., 2019. Sedimentary alkalinity generation and long-term alkalinity development in the Baltic Sea. *Biogeosciences* 16, 437–456. <https://doi.org/10.5194/bg-16-437-2019>

Havenhand, J.N., 2012. How will Ocean Acidification Affect Baltic Sea Ecosystems? An Assessment of Plausible Impacts on Key Functional Groups. *AMBIO* 41, 637–644. <https://doi.org/10.1007/s13280-012-0326-x>

Havenhand, J. N., H. L. Filipsson, S. Niiranen, M. Troell, A.-S. Crépin, S. Jagers, D. Langlet, S. Matti, D. Turner, M. Winder, P. de Wit, and L. G. Anderson. 2018. Ecological and functional consequences of coastal ocean acidification: Perspectives from the Baltic-Skagerrak System. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1110-3>

Jackson, J.B.C., 2008. Ecological extinction and evolution in the brave new ocean. *PNAS* 105, 11458–11465. <https://doi.org/10.1073/pnas.0802812105>

Kahru, M., and R. Elmgren. 2014. Multidecadal time series of satellite-detected accumulations of cyanobacteria in the Baltic Sea. *Biogeosciences* 11:3619–3633. <https://doi.org/10.5194/bg-11-3619-2014>

Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J.-M., Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., Stocker, T.F., 2008. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature* 453, 379–382. <https://doi.org/10.1038/nature06949>

Müller, J.D., Schneider, B., Rehder, G., 2016. Long-term alkalinity trends in the Baltic Sea and their implications for CO₂-induced acidification. *Limnol. Oceanogr.* 61, 1984–2002. <https://doi.org/10.1002/lno.10349>

Omstedt, A., Edman, M., Claremar, B., Rutgersson, A., 2015. Modelling the contributions to marine acidification from deposited SO_x, NO_x, and NH_x in the Baltic Sea: Past and present situations. *Continental Shelf Research, Coastal Seas in a Changing World: Anthropogenic Impact and Environmental Responses* 111, 234–249. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.08.024>

Puvanendran, A. Mortensen, T. B. H. Reusch, and C. Clemmesen. 2018. Effects of parental acclimation and energy limitation in response to high CO₂ exposure in Atlantic cod. *Scientific Reports* 8:8348.

Reusch, T. B. H., J. Dierking, H. C. Andersson, E. Bonsdorff, J. Carstensen, M. Casini, M. Czajkowski, B. Hasler, K. Hinsby, K. Hyytiäinen, K. Johannesson, S. Jomaa, V. Jormalainen, H. Kuosa, S. Kurland, L. Laikre, B. R. MacKenzie, P. Margonski, F. Melzner, D. Oesterwind, H. Ojaveer, J. C. Refsgaard, A. Sandström, G. Schwarz, K. Tonderski, M. Winder, and M. Zandersen. 2018. The Baltic Sea as a time machine for the future coastal ocean. *Science Advances* 4:eaar8195. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar8195>

Riebesell, U., and P. D. Tortell. 2011. Effects of Ocean Acidification on Pelagic Organisms and Ecosystems. Pages 99–121 in J. P. Gattuso and L. Hansson, editors. *Ocean Acidification*. Oxford University Press.

Rossoll, D., R. Bermúdez, H. Hauss, K. G. Schulz, U. Riebesell, U. Sommer, and M. Winder. 2012. Ocean acidification-induced food quality deterioration constrains trophic transfer. *PLoS One* 7:e34737. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034737>

Rossoll, D., U. Sommer, and M. Winder. 2013. Community interactions dampen acidification effects in a coastal plankton system. *Marine Ecology Progress Series* 486:37–46. <https://doi.org/10.3354/meps10352>

Stiasny, M. H., F. H. Mittermayer, G. Göttler, C. R. Bridges, I.-B. Falk-Petersen, V. Saraiva, S., Markus Meier, H.E., Andersson, H., Höglund, A., Dieterich, C., Gröger, M., Hordoir, R., Eilola, K., 2019. Baltic Sea ecosystem response to various nutrient load scenarios in present and future climates. *Clim Dyn* 52, 3369–3387. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4330-0>

Thomsen, J., L. S. Stapp, K. Haynert, H. Schade, M. Danelli, G. Lannig, K. M. Wegner, and F. Melzner. 2017. Naturally acidified habitat selects for ocean acidification-tolerant mussels. *Science Advances* 3:e 1602411. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602411>

Tilbrook, B., E. B. Jewett, M. D. DeGrandpre, J. M. Hernandez-Ayon, R. A. Feely, D. K. Gledhill, L. Hansson, K. Isensee, M. L. Kurz, J. A. Newton, S. A. Siedlecki, F. Chai, S. Dupont, M. Graco, E. Calvo, D. Greeley, L. Kapsenberg, M. Lebrec, C. Pelejero, K. L. Schoo, and M. Telszewski. 2019. An enhanced ocean acidification observing network: from people to technology to data synthesis and information exchange. *Frontiers in Marine Science* 6:337. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00337>

Turner, D.R., Edman, M., Gallego-Urrea, J.A., Claremar, B., Hassellöv, I.-M., Omstedt, A., Rutgersson, A., 2018. The potential future contribution of shipping to acidification of the Baltic Sea. *Ambio* 47, 368–378. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0950-6>

van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

Winder, M., J. M. Bouquet, J. Rafael Bermúdez, S. A. Berger, T. Hansen, J. Brandes, A. F. Sazhin, J. C. Nejtgaard, U. B. Amstedt, H. H. Jakobsen, J. Dutz, M. E. Frischer, C. Troedsson, and E. M. Thompson. 2017. Increased appendicularian zooplankton alter carbon cycling under warmer more acidified ocean conditions. *Limnology and Oceanography* 62:1541–1551. <https://doi.org/10.1002/lno.10516>

Wittmann, A. C., and H.-O. Pörtner. 2013. Sensitivities of extant animal taxa to ocean acidification. *Nature Climate Change* 3:995–1001. <https://doi.org/10.1038/nclimate1982>