

Effekter på fosfor av aluminiumbehandling i Björnöfjärden

Aluminiumbehandling av sedimenten ger en snabb och kraftig minskning av fosforhalterna och en bättre vattenkvalitet även i bräckt miljö, visar mätningar som gjorts efter behandlingen i Björnöfjärden. Men modellering visar att så länge halterna i det omgivande havet förblir höga motverkas minskningen av en ökad nettoimport av fosfor till viken. Ju större vattenutbytet är, och ju högre närings-tillförseln är från land, desto snabbare avtar effekten av aluminiumbehandling, men även sedimentationen i viken har stor betydelse.

Aluminiumbehandling är sedan decennier en etablerad åtgärd för att minska övergödningen i insjöar, men har först nyligen använts i Östersjön inom projektet Levande kust. I ett kraftigt övergött vatten med stor primärproduktion blir ofta bottenvattnet syrefritt som ett resultat av att nedbrytningen av organiskt material konsumerar mer syre än vad som tillförs med blandning och vattencirkulation. I en syrefri miljö försämras sedimentens naturliga förmåga att binda fosfor, vilket gör att en större andel av den fosfor som når sedimenten i form av organiskt material återförs till vattnet – ofta kallat internbelastning av fosfor.

Genom att tillföra aluminium till sedimenten binds en stor del av den fosfor som i ett övergött system annars cirkulerar mellan sedimenten och vattnet, vilket resulterar i lägre primärproduktion och klarare vatten. I bästa fall leder minskningen i primärproduktion till att nedbrytningen av organiskt material i djupvattnet och sediment blir så liten att tillförseln av syre till bottenvattnet räcker till för nedbrytningen. Då kan på sikt även bottenvattnet och ytse-

diment syresättas och få bättre förmåga att binda fosfor, och låga fosforkoncentrationer i vattnet kan bibehållas på sikt.

Den etablerade fysikalisk-biokemiska Östersjömodellen Baltsem har anpassats till Björnöfjärden och med hjälp av det unika mätprogrammet från Levande kust har aluminiumbehandling kunnat föras in i modellen. Det gör det möjligt att utvärdera effekten av behandlingen på bland annat närings- och syrehalter. Nu när modellen är verifierad för Björnöfjärden kan den appliceras på andra havsvikar, till exempel för att värdera utfallet av en hypotetisk aluminiumbehandling.

Aluminiumbehandling i marin miljö

Som en del av det omfattande åtgärds- och forskningsprogrammet Levande kust genomfördes under åren 2012-2013 den första storskaliga aluminiumbehandling i marin miljö i Björnöfjärden – en avsnörd och vid tillfället kraftigt övergödd havsvik i Stockholms skärgård. På alla bottenar djupare än sex meter, vilket motsvarar hälften av Björnöfjärdens yta (70 hektar), tillsattes en lösning av polyaluminiumklorid motsvarande totalt 50 gram aluminium per kvadratmeter havsbotten. Aluminiumdoseringen utgick från den mängd läckagebenägen fosfor som uppskattades finnas i sedimenten.

Uppföljande mätningar visade att behandlingen gav en snabb och kraftig effekt på fosforhalterna i vattnet, i synnerhet under åren 2013-2016. Årsmedelhalterna av totalfosfor i vattenkolumnen låg under åren efter behandling i genomsnitt på 0,74 µmol/liter vatten, att jämföra med 1,5 µmol/liter före behandling. I ytvattnet sjönk



BJÖRNÖFJÄRDEN KONTRA ÖSTERSJÖN

Björnöfjärden är en 150 hektar stor havsvik med ett medeldjup på 7 meter och största djup på 25 meter, belägen i Stockholms skärgård, Värmdö kommun. Björnöfjärden har ibland beskrivits som ett Östersjön i miniatyr: med kraftig övergödning, stark skiktning, relativt litet vattenutbyte och stor utbredning av syrefria bottenar. Det finns dock flera avgörande skillnader mellan de två vattenområdena.

Endast en 20 meter bred och 1,5 meter djup kanal förbinder Björnöfjärden med utsjön, men omsättningstiden för vattnet i viken är ändå bara några månader, att jämföra med omkring 30 år i Egentliga Östersjön.

Också relationen mellan storleken på tillförseln från land och mängden fosfor i vattnet skiljer sig betydligt. Årligen tillförs ungefär 30 000 ton fosfor till Östersjön medan det finns ungefär 600 000 ton i vattnet. Detta kan jämföras med tillförseln på 200 kg fosfor per år och 200-400 kg fosfor i vattnet i Björnöfjärden. Det gör att en minskning av näringstillförseln från land får snabb effekt i Björnöfjärden, till skillnad från i Egentliga Östersjön där de senaste decenniernas kraftiga minskning av tillförseln fortfarande inte lett till påtagliga förbättringar av vattenkvaliteten.

Samtidigt sker Östersjöns vattenutbyte med det mindre fosforrika Västerhavet, medan Björnöfjärden via Nämndöfjärden är förbundet med det kraftigt övergödda Egentliga Östersjön och näringshalterna där har stor påverkan på vattnet även i Björnöfjärden.

årsmedelhalterna från 1,3 $\mu\text{mol/liter}$ till 0,65 $\mu\text{mol/liter}$ vatten. Medelsikt djupet i vattnet ökade från 3,4 m till 4,2 m och mängden fytoplankton (biovolym) minskade från 2 till 1,4 mm^3/liter .

Bindning främst de första åren

Processen där fosfat binder till aluminium pågår med högst intensitet under de närmast följande åren efter behandlingen, och avtar i takt med att mängden fosfor i organiskt material i och under det behandlade sedimentskiktet minskar. I ett första skede, direkt efter att aluminiumlösningen tillsatts, verkar aluminiumet binda med fosfat både i sedimenten och i vattenkolumnen. Dock omformas snabbt aluminiumlösningen till partikulärt material och sjunker ner till sedimenten, och bindningen mellan aluminium och fosfat sker därefter endast i sedimenten.

Sedimenten fylls kontinuerligt på med nytt organiskt och oorganiskt material som efter hand begraver det tillsatta aluminiumet. När nytt organiskt material som sedimenterat bryts ner frigörs fosfat som inte binds till aluminium, utan återförs till vattnet.

Det aluminium som tillförts binder fosfat som frigörs vid nedbrytningen av organiskt material, men påverkar inte nedbrytningen som sådan. Syreförbrukningen vid nedbrytningen fortsätter därmed som tidigare och kommer endast att minska successivt i takt med att fosforhalterna i vattnet, och därmed produktionen och sedimentationen av organiskt material, minskar. Om nytillförseln av fosfor från land och från det anslutande havet är hög, och produktionen av organiskt material stor, fortgår syrebristen. Det gör att sedimentens bindningsförmåga fortfarande är begränsad och

att en stor andel fosfat fortsatt återförs till vattnet. I Björnöfjärden har syreförhållandena endast förbättrats marginellt.

Modellresultaten för Björnöfjärden visar att den totala mängden fosfor i vattnet halveras under behandlingen och åren närmast efter den. Men när fosforhalterna i Björnöfjärden minskar, ökar samtidigt nettoimporten av näring från Nämndöfjärden utanför, där halterna är högre. Mängden fosfat som binds till aluminium minskar gradvis och återförseln av fosfat från sedimenten till vattnet ökar då igen. Modellsценарier visar att effekten av behandlingen på fosforhalterna upphör i slutet av 2020-talet.

Björnöfjärden i relation till andra vikar

Efter aluminiumbehandlingen av Björnöfjärden har metoden diskuterats som en tänkbar åtgärd i flera andra övergödda havsvikar längs Östersjöskusten. När de möjliga effekterna av en sådan behandling analyseras är det relevant att undersöka fysiska faktorer som vattenutbytet med det anslutande havet, vikens geometri och sedimentationshastigheten, utöver de uppenbara faktorer som är kopplade till övergödningen som näringstillförsel och näringsbegränsning av primärproduktionen.

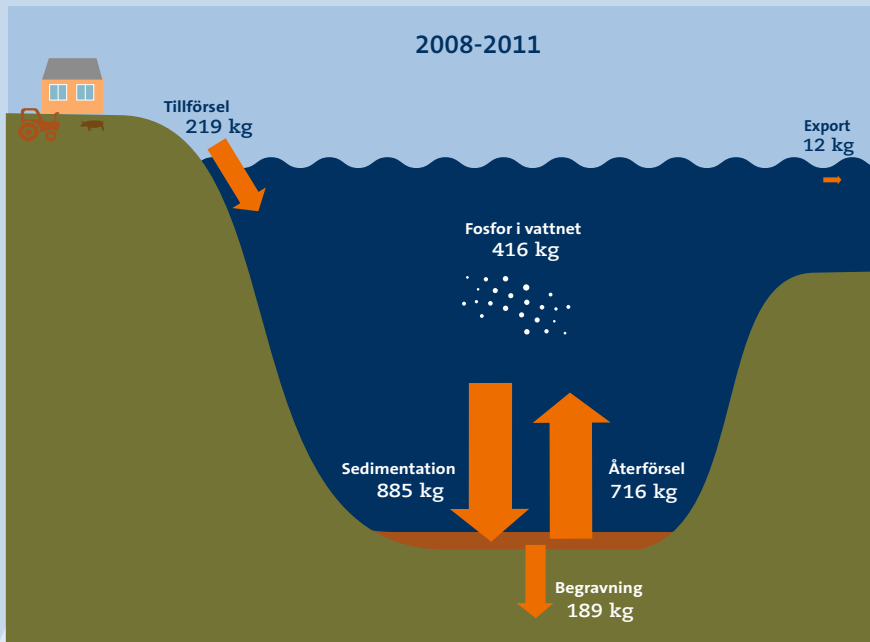
Björnöfjärden är en förhållandevis avsnörd havsvik – flertalet vikar har ett större vattenutbyte. I dem kan effekten av en aluminiumbehandling på vattenkvaliteten förväntas vara mindre, då den i än högre grad motverkas av en högre nettoimport av fosfor från Östersjön. I en öppnare vik skulle man också förvänta sig en mindre effekt av minskad lokal tillförsel, även om det förstås också beror på hur stor tillförseln är och hur mycket den kan minskas.



Aluminiumbehandlingen i Björnöfjärden genomfördes under år 2012 och 2013.

Foto: Fredrik Wulff

Fosfordynamiken i Björnöfjärden



Före aluminiumbehandling

Läckage från jordbruk och avlopp i avrinningsområdet ger en kontinuerlig tillförsel av fosfor till Björnöfjärden, som är kraftigt övergödd. I vattnet finns stora mängder fosfor, både i form av tillgängligt fosfat och bundet till organiskt material. En del organiskt material sjunker till botten där det bryts ner.

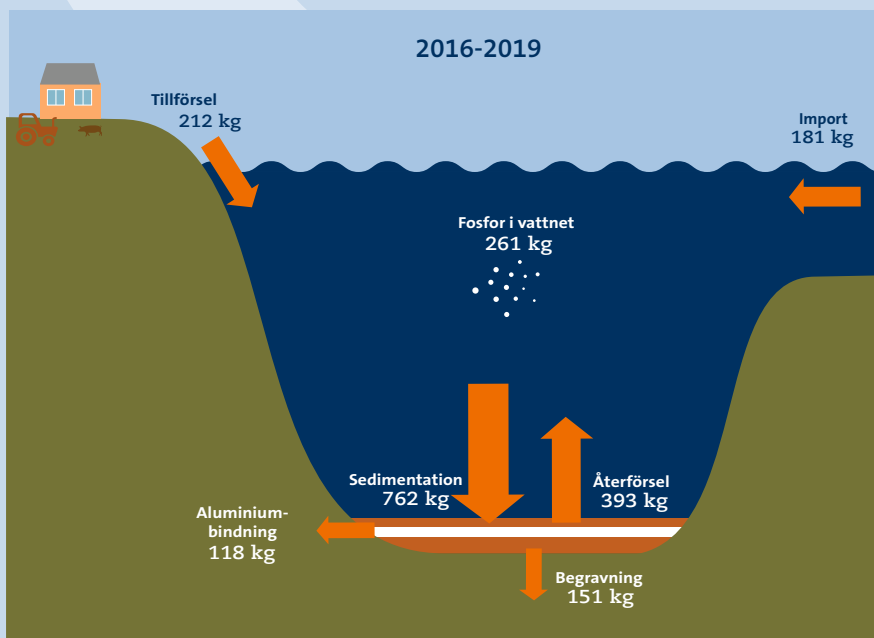
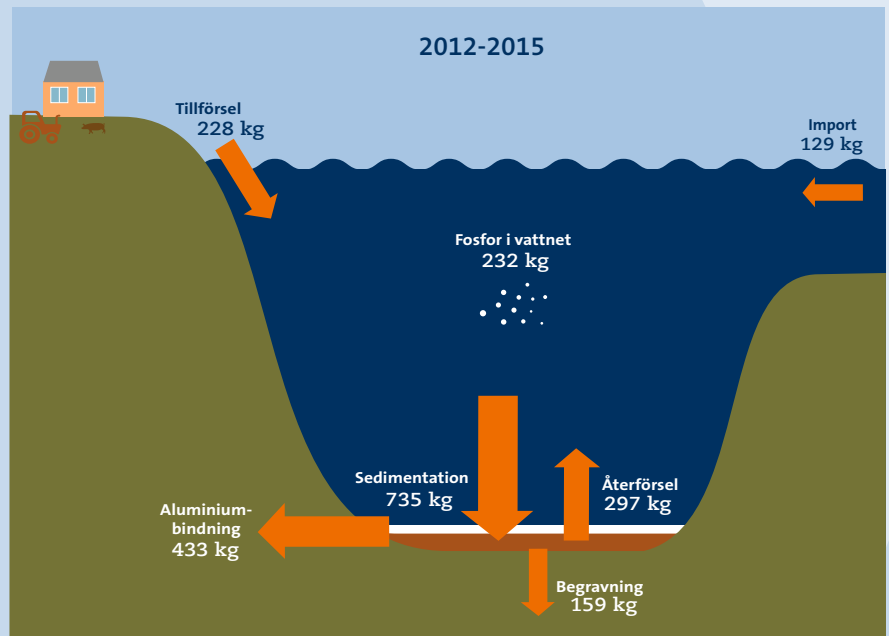
Nedbrytningen av organiskt material konsumerar syre och övergödningen har lett till att botten i princip är syrefri. Det gör att fosfat som frigörs vid nedbrytningen inte kan bindas till ämnen i sedimentet, utan en stor del återförs till vattnet. En del fosfor begravs varje år under nytt organiskt material och andra partiklar som sedimenteras.

Eftersom fosforhalten i Björnöfjärden är något högre än i det anslutande havet sker en årlig nettoexport av fosfor från fjärden.

Under aluminiumbehandling

Aluminium kan binda fosfat även i en syrefri miljö och tillsatsen av aluminium gör därför att den mängd fosfor som återförs från sedimenten till vattnet minskar. Fyra år efter att aluminiumbehandlingen genomfördes har sammanlagt 1730 kg fosfat bundits till aluminium i sedimenten.

Eftersom fosforhalten i Björnöfjärden nu är lägre än i det anslutande havet sker en årlig nettoimport av fosfor till fjärden. Denna import motverkar ungefär en tredjedel av effekten av aluminiumbehandlingen.

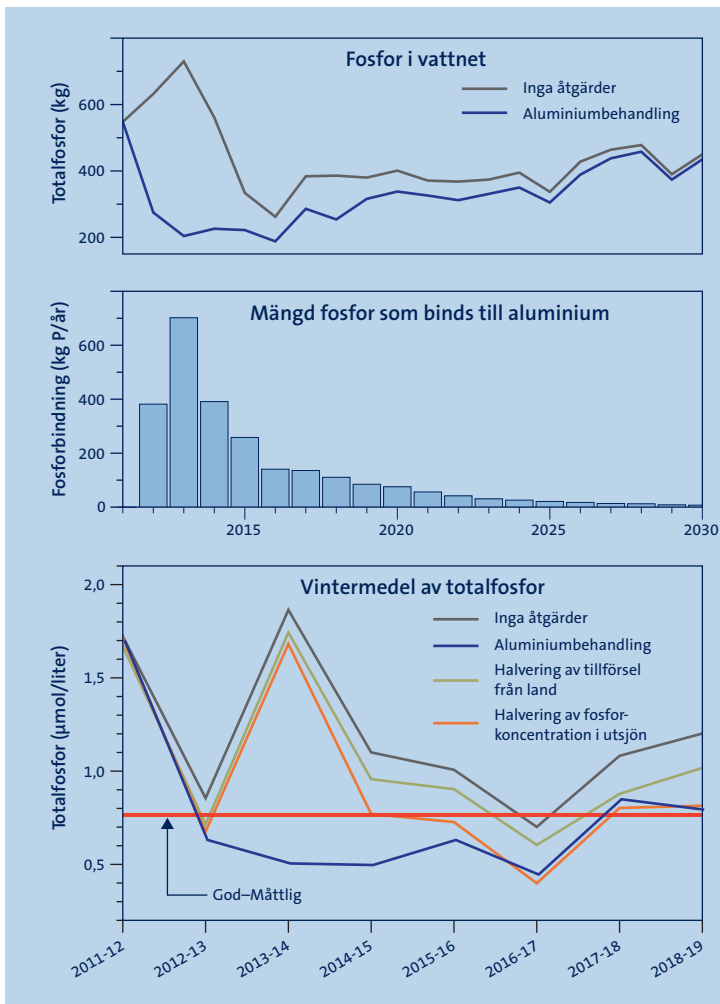


Efter aluminiumbehandling

I takt med att aluminiumet förbrukas och begravs minskar den årliga bindningen till fosfat och efter åtta år är den närmast obefintlig. Då har sammanlagt omkring 2200 kg fosfor bundits till aluminium, motsvarande en minskning av tillförseln till Östersjön med 275 kg per år under perioden.

Produktionen av organiskt material och sedimentationen av detta fortsätter, och med tiden bildas ett nytt fosforlager ovanför aluminiumfällningen. Miljön vid botten är fortfarande syrefri och sedimentens naturliga bindningsförmåga försämrad. En allt större del av den fosfat som frigörs vid nedbrytningen återförs till vattnet. Nettoimporten av fosfor från det anslutande havet fortsätter.

Alla siffror är modellerade och anger årsmedelvärden för aktuell period.



Långsiktig effekt av olika åtgärder

Modellsimuleringar av Björnöfjärden med respektive utan aluminiumbehandling visar att behandlingen, som genomfördes under sommar/höst 2012 och 2013, har haft tydlig effekt på den totala mängden fosfor i vattnet. Skillnaden är mycket stor under de första åren efter behandlingen då stora mängder fosfat binds till aluminium. Från omkring 2016 avtar mängden fosfat som binds till aluminium och skillnaden mellan de bägge scenarierna minskar.

Vinterhalterna av totalfosfor i ytvattnet är en av de parametrar som används för att kvantifiera om kustvattenkvaliteten uppnår god status enligt EU:s vattendirektiv. Modellen används här för att jämföra hur väl gränsvärdet mellan god-måttlig status uppnås vid aluminiumbehandling respektive om tillförseln av fosfor från land halverats eller fosforhalterna i anslutande Nämndöfjärden halverats i början av 2012. Effekten av de olika åtgärderna kan ses när värdena jämförs med simuleringen av hur halterna varit utan några åtgärder.

Resultaten visar att både en halvering av näringstillförseln från land och av fosforhalterna i utsjön får en relativt snabb effekt på fosforhalterna i Björnöfjärden, och efter några år verkar förbättringen, jämfört med fallet utan åtgärder, ha stabiliserats. Simuleringarna indikerar dock att endast en halvering av tillförseln från land inte räcker för att fosforhalterna ska ligga under gränsen för god miljöstatus. God miljöstatus uppnås direkt efter aluminiumbehandlingen, men efter några år ökar halterna till gränsen för god-måttlig status.

I en grund vik som Björnöfjärden hinner relativt lite organiskt material brytas ner i vattenkolumnen, utan det mesta sedimenterar och bryts ner i sedimenten. Det innebär att så länge aluminium är tillgängligt i sedimenten kommer kretsloppet av fosfor att brytas effektivt, till skillnad mot ett system där en större del av nedbrytningen sker i vattenkolumnen.

I Björnöfjärden uppskattas sedimenten byggas på med 0,7 cm per år, vilket gör att lagret med tillsatt aluminium gradvis begravs och tappar kontakten med det organiska material som sedimenterar och bryts ner ovanför. I en vik med högre sedimentationshastighet kan effekten av aluminiumbehandlingen väntas avta snabbare än i Björnöfjärden.

Aluminiumbehandling i relation till andra åtgärder

Eftersom den årliga fosfortillförseln från land till Björnöfjärden är relativt stor i förhållande till den totala mängden fosfor i vattnet och till de övriga fosforflödena, ger en reduktion av tillförseln en snabb effekt i vattnet. Modelleringar visar att en halvering av den

årliga näringstillförseln från land minskar fosforhalterna snabbt och bibehåller dem på lägre nivå, medan effekten av aluminiumbehandlingen, som under de första åren är mycket större, gradvis avtar. Dock indikerar simuleringarna att en halvering av tillförseln från land inte räcker för att fosforhalterna ska ligga under gränsen för definitionen av god miljöstatus i EU:s vattendirektiv, utan tillförseln av fosfor från Nämndöfjärden måste också minska.

Det kommer att troligen att ta årtionden innan fosforhalterna i Egentliga Östersjön minskar betydligt, men det kan också ta tid innan åtgärder på land resulterar i en minskad tillförsel av näring till havet, med undantag för åtgärder mot stora enskilda punktkällor så som utsläpp från avloppsreningsverk. I Björnöfjärdens avrinningsområde har åtskilliga åtgärder genomförts för att minska näringsläckaget från land, så som åtgärder inom jordbruket och på hästgårdar och förbättringar av enskilda avlopp. I tidserien som används av modellen syns ingen minskning i tillförseln, vilket kan bero på lång uppehållstid (retentionen) i marken och stora mellanårsvariationer i flödet i vattendragen.

ATT ÖVERBRYGGA KLYFTAN MELLAN VETENSKAP OCH POLICY

Detta är ett faktablad producerat av Stockholms universitets Östersjöcentrum. Forskare, omvärldsanalytiker och kommunikatörer arbetar tillsammans för att överbrygga klyftan mellan vetenskap och policy.

Vi syntetiserar och analyserar Östersjöforskning samt kommunicerar den i rätt tid till rätt aktör i samhället.

Läs mer: su.se/ostersjocentrum

KONTAKT

Bo Gustafsson, Baltic Nest Institute,
Stockholms universitets Östersjöcentrum,
bo.gustafsson@su.se