



Aqua reports 2016:9

Supplement

Fisk som miljöindikator

Erik Degerman, Lena Bergström, Håkan Wennhage,
Joep de Leeuw, Teresa Soler, Jens Olsson



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser

Fisk som miljöindikator

Erik Degerman*, Lena Bergström**, Håkan Wennhage***, Joep de Leeuw*, Teresa Soler*, Jens Olsson**

Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,
* Sötvattenslaboratoriet, Stångholmsvägen 2, 178 93 Drottningholm
** Kustlaboratoriet, Skolgatan 6, 742 42 Öregrund
*** Havsfiskelaboratoriet, Turistgatan 5, 453 30 Lysekil

maj 2016

Aqua reports 2016:9 *Supplement*
ISBN: 978-91-576-9405-8 (tryckt version)
ISBN: 978-91-576-9406-5 (elektronisk version)

E-post till ansvarig författare:
Erik.Degerman@slu.se

Rapportens innehåll har granskats av:
Johan Törnblom, institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet

Vid citering uppge:
Degerman, E., Bergström, L., Wennhage, H., de Leeuw, J., Soler, T., Olsson, J. (2016).
Fisk som miljöindikator. Aqua reports *Supplement* 2016:9. Institutionen för akvatiska resurser,
Sveriges lantbruksuniversitet, Drottningholm Lysekil Öregrund. 61 s.

Nyckelord:
miljöindikator, fisk, försurning, övergödning, klimat, hydromorfologisk påverkan, miljögifter

Rapporten kan laddas ned från:
<http://epsilon.slu.se/>

Chefredaktör:
Magnus Appelberg, prefekt, institutionen för akvatiska resurser, Öregrund

Uppdragsgivare & finansier:
Havs- och vattenmyndigheten

Framsida: Kvinna undersöker fisk. Tecknare: Thommy Gustavsson.
Baksida: Stoppljus som använder fisk. Tecknare: Thommy Gustavsson.

Förord

Våra hav och sötvatten tillhör de miljöer som har varit, och fortfarande är, mest utsatta för mänskliga aktiviteter. Vi behöver kunskap om tillståndet för fisk och skaldjur i våra vatten för att kunna motverka negativa effekter av människans påverkan. Vi behöver också lära mer om hur bestånden utvecklas. Med hjälp av indikatorer kan man studera tillståndet i miljön. Bra indikatorer kan spegla förändringar i tid och rum.

Fisk har alltid varit en viktig näringskälla. Därför har man genom århundradena varit medveten om var det finns mycket fisk och hur tillgången varierat, och man har funderat över vad eventuella förändringar kan bero på. Tidigt insåg man att människan påverkade våra fisk- och skaldjursbestånd och idag har vi bättre kunskap om vad olika arter kräver för att trivas och hur vi påverkar dem.

Fisk är numer en viktig miljöindikator. Till exempel lyfter man fram vikten och nyttan av att använda fisk som en indikator på miljöns tillstånd i EU:s ramdirektiv för vatten och i EU:s havsmiljödirektiv. Institutionen för akvatiska resurser vid Sveriges lantbruksuniversitet arbetar brett med övervakning av fisk- och skaldjursbeståndens utveckling. Vi arbetar dels med fisk som resurs, med vattenbruk och rekreation, men också med fisk som centrala indikatorer på miljöns tillstånd. Successivt utvecklas kostnadseffektiva och förfinade metoder för denna övervakning.

I följande sammanställning ger vi en överblick över hur fisk och skaldjur beror av sin omvärld och hur de påverkas av olika förändringar orsakade av mänsklig aktivitet. Denna kunskap utgör grunden för att vi skall kunna använda fisk och skaldjur som indikatorer på tillståndet i miljön.

Magnus Appelberg

Prefekt, Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet

Innehåll

Sammanfattning	4
Summary	5
Inledning	6
Övervakning av fisk	9
Ansvar och data	9
Fältinsamling	10
På laboratoriet.....	15
Hur används de data som samlas in?	16
Varför är fisk en bra miljöindikator?	18
Fisket	20
Övergödning	23
Försurning	30
Miljögifter	35
Förändrad fysisk miljö.....	41
Klimatförändringar	46
Främmande arter.....	51
Signalkräfta	51
Svartmunnad smörbult	52
Avslutningsord	55
Erkännanden	57
Referenser	58

Sammanfattning

Här presenteras en kort genomgång av hur fisk används som miljöindikator i vårt arbete med miljöövervakning vid institutionen för akvatiska resurser på Sveriges lantbruksuniversitet. Rapporten behandlar både sötvatten, kust och hav.

I rapporten går vi igenom de undersökningsmetoder vi använder och hur och varför fisk reagerar på olika typer av miljöpåverkan. Vi berör närmare effekter av försurning, övergödning, klimatförändringar, miljögifter, främmande arter, vattenkraft och annan fysisk påverkan på miljön. Effekten av för hårt fiske kan naturligtvis också tydligt ses på drabbade fiskbestånd, till exempel genom en förändrad storleks- och åldersstruktur, svag för yngning eller få lekfiskar. Fisken indikerar således både resursutnyttjandet och miljötilståndet.

Fisk är en bra indikator, till stor del därför att vi väl känner till vad som är normalt – hur mycket och vilka arter som bör förekomma, hur de tillväxer, vilken variation i arvsmassan de har, hur gamla de brukar bli, vart de vandrar och vilka mängder av miljögifter de brukar innehålla. Dessutom är det organismer som allmänheten känner till och därför kan man enkelt kommunicera miljöproblem med hjälp av fisk, samtidigt som allmänheten genom sitt intresse kan rapportera in sina egna observationer. En viktig komponent är också att vi på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten och flera av våra länsstyrelser genomför omfattande provfiske över hela landet med standardiserade metoder. Kunskapen om vad som är normalt och vad som händer när ett vatten påverkas ökar därför hela tiden.

Summary

This report presents how fish is used as a bioindicator of environmental status by the Institute of aquatic resources at the Swedish University of Agricultural Sciences.

We present the sampling methods used in different water bodies, from lakes and rivers to the sea. Why and how fish react to certain environmental disturbances, e.g. acidification, eutrophication, climate change, morphological and hydrological degradation including hydropower development, is also discussed. Early signs of overharvesting, as altered length and age composition, are presented. Examples of invasive species and their impact on the fauna in both freshwater and in the sea are given.

Fish can indicate several different kinds of environmental problems since we have a good knowledge of what is normal – how many and what species should be present, how they grow, expected variation in their genome, their migrations and background levels of pollutants. This is to a large extent depending on the long-term monitoring of fish that we perform with standardized methods. Thereby the knowledge of what is normal and what is a disturbance increases over time. Finally, fish are a good bioindicators since they are well known to the public and it is easy to communicate environmental issues to stakeholders using fish.

Inledning

Fiske och akvakultur svarar sammantaget för det klart största tillskottet av animaliskt protein till världens befolkning. Fångstmängderna i havet har idag planat ut, medan akvakulturen stadigt ökar. Idag är fiske en näring som sysselsätter cirka 1 500 licensierade svenska yrkesfiskare. Fisk och fiskemöjligheter är också föremål för stort intresse för fritidsfiskare. Med en och en halv miljon innevånare som fiskar på sin fritid åtminstone någon gång under året finns en mängd personer som rör sig kring och på våra älvar, sjöar och hav med fisk i åtanke. Fisk är således en viktig resurs för samhället och något som många kommer i kontakt med ute i naturen. De som fiskar vet ofta vilka arter som brukar förekomma och vad som är naturligt. Detta bidrar till att göra fisk till en bra miljöindikator, det finns många som övervakar och vi har god kunskap om vad som är normalt (figur 1).

När man säger att fisk är en bra miljöindikator kanske de flesta tänker på att om man ser döda eller sjuka fiskar så visar det att något är fel. Omfattande fiskdöd har observerats både i historisk och i modern tid. Vissa mikroskopiska alger kan orsaka fiskdöd på grund av sina gifter (toxiner). Fenomenet kallas HAB (harmful algal blooms) och ibland kan de färga havet rött. Kanske var det en sådan händelse som inspirerade till följande rader ur Uppenbarelseboken (16:3):

“Den andre ängeln tömde sin skål över havet, och havet förvandlades till blod som från en död, och allt liv i havet dog.”

Vanligare hos oss är dock andra orsaker. Fiskdöd uppmärksammas med jämna intervall här och där över landet, till exempel när döda fiskar flyter upp till ytan. Dessa händelser brukar vanligen kopplas till sjukdomar eller syrebrist. I modern tid kanske det mest kända är fiskdöden i Laholmsbukten under 1980-talet som orsakades av övergödning och åtföljande syrebrist. Fiskdöd behöver dock inte vara orsakad av yttre påverkan utan kan också vara något naturligt, till exempel kan en del fiskar dö efter avslutad lek.

Det behöver inte vara så drastiska saker som döda fiskar som krävs för att indikera att något är fel eller håller på att förändras i miljön. Påverkan kan också märkas genom skadade eller sjuka fiskar, nya arter som dyker upp, att vissa arter ökar och andra minskar i förekomst samt förändringar i ålders- och storleksstrukturen i ett fisksamhälle. I övervakningen av fisk och dess miljö strävar vi efter att kunna upptäcka den tidiga påverkan på fisk och miljö så att samhället kan vidta åtgärder innan det blir alltför kostsamt eller rent av omöjligt.



Figur 1. Fiske på Hallandskusten nära Ringhals kärnkraftverk. Här har fiskare noterat udda fångster av varmvattenarter som tonfisksläktingar (pelamider) vilka trivs i närheten av det varma kylvattnet som strömmar ut i havet. Kustlaboratoriet vid SLU har en långsiktig övervakning av påverkan i området. Foto: Erik Degerman.

Nedan följer en beskrivning av hur olika miljöproblem upptäckts med hjälp av fisk och hur förändringar i miljön påverkar fisken. Påverkas fisken är ofta hela ekosystemet i obalans eftersom fiskar lever i intrikata näringsvävar i våra vatten och är nyckelarter i många system. Eftersom även vi själva utgör en viktig del av ekosystemet, kan vi också påverkas direkt av förändringar i miljön. Att ge akt på hur våra fiskar mår är ett bra sätt att övervaka vad som händer i den akvatiska miljön och vad som till slut påverkar även vår egen hälsa.

Det ställs allt högre krav på förvaltningen och övervakningen av fiskresurserna och de akvatiska miljöerna. De svenska miljö kvalitetsmålen, men också många EU-direktiv ställer krav på att både klarlägga miljö tillståndet och vidta åtgärder vid behov.

Vi beskriver i nästa avsnitt några av de större akvatiska övervakningsprogram som SLU bedriver, både inriktat mot en direkt miljöövervakning men också för övervakning av resursen fisk. Resursövervakningen, det vill säga att hålla koll på fiskbestånden så att de är av god status, inte fiskas för hårt och kan reproducera sig, är också en del i miljöövervakningen.

Övervakning av fisk

För att kunna bedöma om fiskbestånd mår bra och fungerar normalt eller är påverkade av miljöproblem behöver vi kunna följa fiskbeståndens tillstånd och ändringar i tid och i många olika vatten och vattentyper. Övervakning av fisk innebär att vi både räknar fisk och mäter viktiga biologiska parametrar i standardiserade datainsamlingsprogram, lagrar data i kvalitetssäkrade databaser, och analyserar och rapporterar resultat och gör dem tillgängliga för myndigheter, forskare och allmänheten.

Ansvar och data

Våra fiskbestånd övervakas årligen inom ett antal program som leds av olika myndigheter. Havs- och vattenmyndigheten har ett övergripande ansvar för den nationella miljöövervakningen och våra länsstyrelser för den regionala. Sveriges lantbruksuniversitet samordnar på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten den nationella och regionala miljöövervakningen av fisk i våra vatten genom att utföra undersökningar, fungera som datavärdar, utföra regelbundna utvärderingar och driva utvecklingsarbete för att förbättra övervakningen. För att övervakningen skall vara effektiv och jämförbar används standardiserade metoder för att fånga eller räkna fisk och data samlas i stora kvalitetssäkrade databaser. Databaserna för fisk är KUL (kustfisk; <http://www.slu.se/kul>), NORS (Fisk i sjöar; <http://www.slu.se/sjoprovfiskedatabasen>), SERS (Fisk i vattendrag; <http://www.slu.se/elfiskeregistret>) och Kräftdatabasen. Dessa databaser är öppna för allmänheten och andra myndigheter. Information om fisken i våra omgivande hav finns lagrade i databasen Fiskdata2 och sammanställs samt görs tillgängliga gemensamt med andra länders fiskdata i ICES (Internationella havsforskningsrådet) databas DATRAS (<http://www.ices.dk/marine-data/data-portals/Pages/DATRAS.aspx>). Denna internationella databas som är baserad på standardiserad fiskövervakning gör det möjligt att få en bild av fiskförekomst i hela Nordsjön och Östersjön. Därtill ingår fiskdata i Artportalen (<http://www.artportalen.se/>) som drivs av SLU Artdatabanken. Här finns miljontals observationer av hela vår fauna, men då handlar det om noterade förekomster och inte alltid om direkta resultat från standardiserade undersökningar.

Data i de nationella fiskdatabaserna kommer från årliga undersökningar över hela landet. Provfisken utförs inom SLU:s verksamhetsområde fortlöpande miljöanalys (Foma), och även av länsstyrelser, kommuner, andra universitet och högskolor, konsulter, samt Sportfiskarna och andra intresseföreningar. Genom att samla alla undersökningsresultat i gemensamma databaser kan alla använda dem för övergripande analyser av miljötillståndet och också för analyser av fisk som resurs. Som en del i

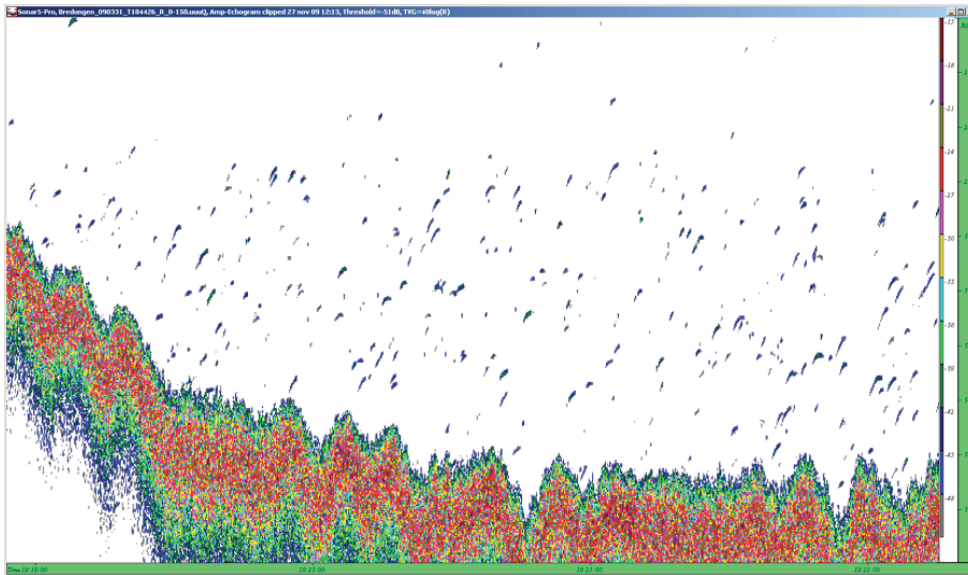


Figur 2. Den årligen utkommande nationella resursöversikten visar beståndsstaus för kommersiellt utnyttjade arter. Översikten omfattar totalt 40 fiskarter uppdelade i olika bestånd, samt sex skaldjursarter.

dessa analyser producerar vi årligen på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten en resursöversikt över beståndsstaus hos kommersiellt utnyttjade arter, med råd för det framtida fisket (ex. Havs- och vattenmyndigheten 2015; figur 2).

Fältinsamling

Provfiskemetoderna är standardiserade, såväl i hav, på kusten som i sjöar och rinnande vatten. Standardiseringen är viktig för att man ska kunna få in data som inte påverkas av vem som utfört fisket och så att data ska gå att jämföra över tid och mellan olika geografiska områden. Flera av metoderna kräver att fisken fångas och avlivas, men inte alla. Dessa så kallade icke-destruktiva metoder blir allt vanligare och utvecklas ständigt. Med hydroakustiska metoder använder man ekolod för att räkna antalet fiskar. Fisken störs inte och behöver inte fångas in, men stickprov av bestånden måste tas med trål eller nät så att man vet vad olika ekon i vattnet representerar i form av fiskarter. Hydroakustik används mest och lämpar sig bäst för att räkna hur många individer det finns av så kallade pelagiska (frivattenlevande) arter, det vill säga sådana som simmar i den fria vattenmassan. Typiska sådana arter är sill, skarpsill, siklöja och nors. I fjordområdet Gullmarn samt innanför Orust och Tjörn har fiskefria områden inrättats som skydd för torsk, bleka och kolja. I dessa områden används hydroakustik under torskens lekperiod för att försöka följa det hotade beståndets utveckling utan att samtidigt riskera dess fortlevnad (figur 3).



Figur 3. Ekogram från Gullmarsfjorden som visar hur hydroakustik (ekolod) används för att räkna fisk. Det kraftiga grön-röda bandet representerar havsbotten och de blå prickarna ovanför bottenprofilen fiskar.

I allt fler älvar med uppvandrande lax sitter automatiska fiskräknare som känner av och räknar antalet fiskar som passerar. De mer avancerade systemen tar även ett foto av varje passerande fisk så att man säkert vet vad det var för art, storlek och ibland även vilket kön. I rinnande vatten kan man också fånga och räkna fisk med så kallat elfiske (figur 4). Det innebär att fisken utsätts för en svag elektrisk ström, varvid de simmar mot pluspolen och kan fångas. De kan sedan återutsättas oskadda. Metoden kräver speciella dispenser och utbildning, men är ett viktigt redskap i övervakningen av framför allt ung laxfisk i mindre åar och älvar (Bergquist m.fl. 2014).

Ibland fångar vi fisken levande och märker den varefter den släpps tillbaka oskadd och märkningen används för att se vart de vandrar, hur de tillväxer och överlever. Allt mindre radiosändare med allt kraftigare små batterier gör att man kan följa fiskar upp till ett års tid medan de simmar runt (figur 5). Detta ger en massa användbar information om hur fiskarnas använder sin miljö, vart de vill och kan vandra, samt hur de överlever passager av kraftverk och annat.



Figur 4. Elfiskeundersökning i Svartån, Örebro. Längst fram går personen (Martin) med elfiskestaven (pluspolen, anoden) och bakom staven håller han häven. Fisk som kommer fram fångas och lämnas till personen med hinken (Daniel). På land står ett elverk som genererar 220 V växelström och ett elfiskeaggregat som omvandlar denna till en rak likström på 300–1 000 Volt. Likström används för att fisken skall fångas utan skador. Den bakre personen sköter också kabeln mellan elfiskestaven och elverket. Foto: Erik Degerman.



Figur 5. Berit pejar i Kävlingeån efter radiomärkt ung öring (så kallade smolt) på väg att vandra ut i havet. Undersökningarna visade att många öringar fördröjdes i sin utvandring till havet vid kvarndammar. Foto: Erik Degerman.



Figur 6. Provfiske på kusten i Holmöarna (Kvarken). Detta område har provfiskats sedan 1989 och är en del av ett internationellt nätverk av områden för att övervaka kustfisk. Provfisken i sjöar och längs vår ostkust utförs oftast med så kallade översiktsnät. De bottenfästa näten är sammansatta av sektioner med flera maskstorlekar för att fånga fisk av olika arter, åldrar och storlekar. Näten placeras ut på olika djup i området för att täcka in alla delar av sjön eller kustområdet. Efter att näten tagits upp artbestäms och längdmäts alla fiskar i fångsten. Foto: Jens Olsson.

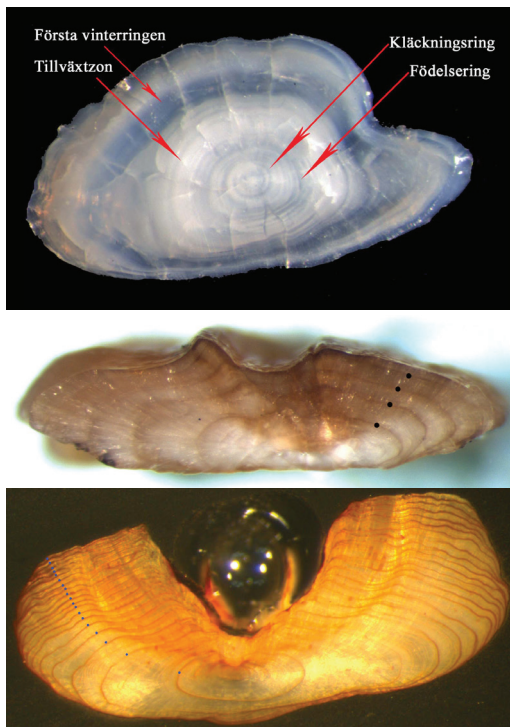
De vanligaste metoderna för undersökningar i sjöar, vattendrag, på kusten och i havet är dock traditionella metoder som liknar de metoder man använder inom småskaligt fiske; provfiske med nät, ryssjor och trål. I de flesta fall är dock redskapen särskilt anpassade för att samla in den information som behövs för att vi ska kunna analysera effekter på fisken och tolka dem i relation till miljöförändringar. Provfisken med nät används i sjöar och längs vår ostkust. Näten är sammansatta av sektioner med flera maskstorlekar för att fånga fisk av olika arter, åldrar och storlekar (figur 6). Vid fisket placeras näten på botten, på olika djup i det område som ska undersökas. Efter att näten tagits upp artbestäms och längdmäts alla fiskar varvid prover tas för analys av till exempel ålder, tillväxt och kondition.



Figur 7. Provfiske längs västkusten med ryssja. Detta redskap används främst vid miljöövervakningen av kustfisk på västkusten. Ryssjorna sätts på botten med utdragna ledarmar som för fisken i ryssjan. Till skillnad från nätprovfisken så kan man i många fall släppa tillbaka artbestämd och längdmätt fisk levande. Foto: Björn Fagerholm.

Provfisken med ryssjor (figur 7) används främst på västkusten, där de är lämpliga för att specifikt undersöka lokala kustlevande arter. De är hållbarare än nät, eftersom näten och fångsten i nät ofta blir förstörda av strandkrabbor. På grund av en kortare hanteringstid är det även möjligt att undersöka flera stationer per provfiske med ryssjor än med nät, vilket är lämpligt när man har en relativt sett större artrikedom i fångsten.

Ute i öppet hav och i djupare områden längs kusten används oftast trålar för att övervaka fisk. Med information om trålens bredd och hur långt den dragits över havsbotten fås information om vilken yta som provtagits och därmed fångad fisk per ytenhet. Forskningstrålarna är bäst lämpade för mjukbottnar, som också är den dominerande livsmiljön ute till havs. Trålarna är finmaskiga för att fånga ett stort antal fiskarter och ett stort storleksintervall inom arterna. Tråltiden är normalt sett relativt kort (30 min) vid fiskövervakning, vilket möjliggör att flertalet sällsynta arter kan klara sig levande om de skyndsamt mäts och släpps tillbaka.



Figur 8. Otoliten (hörselstenen) är mycket liten men man kan tydligt se hur fisken har växt från de avsatta årsringarna. Otolitens form och utseende skiljer sig åt mellan arter. Den översta bilden visar en slipad otolit från en tånglake. Den mittersta bilden visar en otolit från abborre och den nedersta från en skrubbskådada med årsringarna markerade med punkter. Foto: Yvette Heimbrand.

På laboratoriet

Som framgått ovan bestämmer vi i fält vilken art som fångats samt mäter längd och vikt. Ibland bestämmer vi även kön på fisken. Från längd och vikt kan vi beräkna något så enkelt som fiskens kondition, dess vikt i förhållande till längden. Konditionen säger mycket om hur fisken mår. Feta fiskar tillväxer bra och har en bra överlevnad. Faktum är att konditionen hos en hona av siklöja avslöjar om hon kommer att leka under året. Svältår kan leken utebli.

Fiskarnas ålder kan bestämmas genom att räkna årsringar på fjäll, gällock eller på fiskens otoliter, som kallas hörselstenar men har mer med balansen att göra. Årsringarna hos fisk återspeglar information på samma sätt som årsringarna i ett träd, så att det går att identifiera perioder med hög tillväxt (vanligen sommar) respektive låg tillväxt (vinter). Med hjälp av årsringarna kan man även se hur mycket fisken växt olika år (figur 8) och man kan relatera tillväxten i olika områden till klimat och

vattnets näringsstatus eller surhet (Holmgren 2013). Man kan också göra kemiska analyser separat för de olika ringarna i hörselstenen. Eftersom fiskens yttre miljö, till exempel salthalt, påverkar den kemiska sammansättningen kan man vidare identifiera var fisken vuxit upp.

Analyser av fiskarnas genetiska sammansättning kan avslöja varifrån fisken kommer och hur nära olika bestånd är släkt med varandra. I de fall där samma art består av flera bestånd måste förvaltningen ta hänsyn till detta för ett långsiktigt och hållbart nyttjande. En annan aspekt som är viktig att ha koll på är om det finns en normal genetisk variation mellan individerna i ett bestånd. En god genetisk variation är en förutsättning för att bestånden skall överleva framtida miljöförändringar.

Analyser av miljögifter i fisken tas dels för att kunna identifiera eventuella risker för människan att konsumera fisk. Information om miljögifter är även viktig ur ett ekosystemperspektiv. I dessa fall provtas arter som kan ge information för en viss del av näringsväven eller som kan signalera skillnader mellan geografiska områden. Eftersom fiskar äter andra djur kan de ge ett samlat mått på förekomsten av miljögifter i naturen, de anrikas gifterna. Halten av miljögifter i fisk är även viktig för de fåglar och marina däggdjur som lever på fisk, de anrikas i sin tur vad fisken redan anrikat.

Om fisken är könsmogen, och vid vilken storlek, kan bestämmas genom att studera gonaderna (könsorganen). Fiskeribiologerna är beroende av denna information för att kunna säkerställa att en tillräcklig mängd föräldrar finns kvar i vattnet efter fiskesäsongen. Åldern när en fisk blir könsmogen kan påverkas av klimat och födotillgång, men även av fisketrycket. Är fisketrycket högt under lång tid gynnas de fiskar som kan bli könsmogna tidigt, det vill säga vid liten storlek, så att de hinner få avkomma innan de fiskas upp.

Hur används de data som samlas in?

En viktig målsättning med övervakningen av fisk är att ge råd för hur man kan använda fisk som resurs, så att fiskets omfattning kan anpassas till vad bestånden tål. Detta arbete görs på nationell nivå för de fyra största sjöarna (Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren), för kustområdet och för vissa arter till havs. SLU svarar årligen för en Resurs- och miljööversikt på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten (se figur 2).

För de bestånd i våra havsområden som har en stor utbredning och som fiskas av flera länder sker den svenska övervakningen och den biologiska rådgivningen gemensamt med andra länder. Arbetet samordnas genom det internationella havs-

forskningsrådet (ICES). Resultatet av de modellberäkningar som görs används för att ge råd för hur omfattande fisket kan vara kommande år. Till dessa internationellt förvaltade arter räknas t.ex. ål, torsk, sill, skarpsill, piggvar och lax. De internationellt koordinerade undersökningarna sker inom ramen av EU:s datainsamlingsförordning (Data collection framework, DCF). Enligt datainsamlingsförordningen ska EU:s medlemsstater samla in nödvändiga data för förvaltningen av de viktigaste kommersiella arterna i respektive lands havsområden (läs mer <https://datacollection.jrc.ec.europa.eu/>). Därefter vidtar en politisk process på EU-nivå där de biologiska råden omsätts i praktiken. För bestånd med omfattande fiske bestäms oftast fångstkvoter, medan andra mindre omfattande fisken kan förvaltas med tekniska regleringar som exempelvis antal redskap, maskstorlekar eller fisketider.

Fiskens roll som miljöindikator kommer tydligast fram då EU:s medlemsstater har enats om att skapa en harmoniserad förvaltning av sina vatten genom Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG (Ramdirektivet för vatten; WFD) och 2008/56/EC (Havsmiljödirektivet; MSFD). Vatten som inte mår bra ska åtgärdas och åtgärdsprogram ska tas fram.

En utgångspunkt för vattenförvaltningen av sötvatten är att sjöar och vattendrag ska uppnå minst god ekologisk status. Förvaltningen sker i cykler och utvärderas med sex års mellanrum. Med god ekologisk status menas att vattnets biologiska, vattenkemiska och hydromorfologiska status (vattenstånd och -flöde) bara lite avviker från förhållanden som är opåverkade av mänsklig verksamhet. Ett annat krav i det så kallade vattendirektivet är att den nuvarande statusen inte ska försämrans.

Havsmiljöförvaltningens utgångspunkt är – liksom för sötvatten – att Europas havsområden ska uppnå så kallad god miljöstatus. Även här sker förvaltningen i sex-årscykler men de ligger inte i fas med vattendirektivet. Med begreppet ”god miljöstatus” sätts en lite större fokus på hållbart nyttjande jämfört med vattendirektivets ”god ekologisk status”, även om begreppen i stora delar är översättningsbara i förhållande till varandra. Med god miljöstatus menas ett tillstånd där haven är friska och produktiva och där användningen av den marina miljön är hållbar. Det marina ekosystemets arter, samhällen, livsmiljöer och funktioner ska skyddas och bevaras, samtidigt som människans behov av resurser tillgodoses.

Varför är fisk en bra miljöindikator?

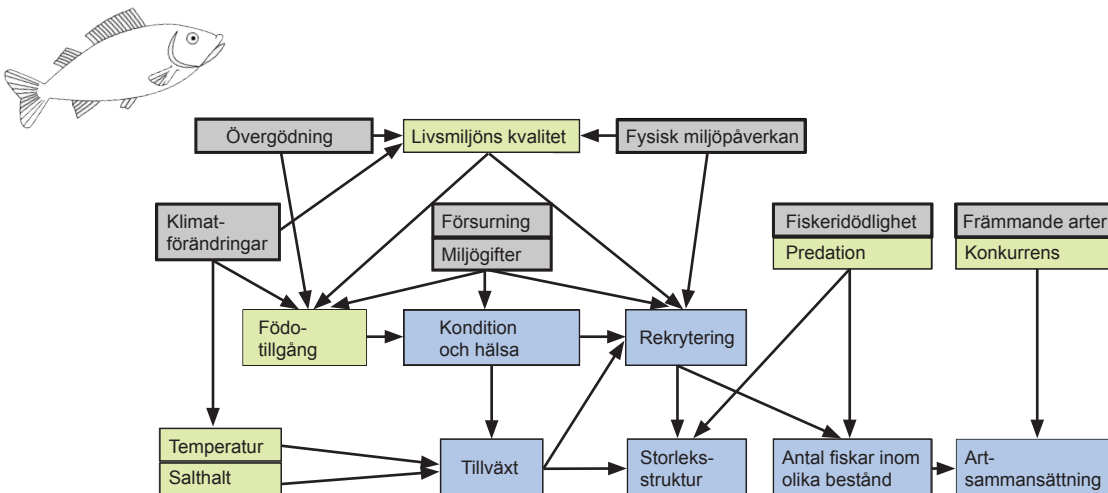
Vissa arter indikerar en bra miljö med sin närvaro, andra med sin frånvaro eller åtminstone en låg numerär. Fisk reagerar på förändringar i miljön på flera sätt (figur 9). De påverkas dels direkt av förändringar i vattenkvaliteten och den fysiska miljön, dels indirekt genom att dessa påverkar fiskens föda och livsbetingelser. Fiskens möjlighet till förökning är beroende av att det finns tillräckligt med gynnsamma livsmiljöer för lek och uppväxt. Fiskar kan också påverkas tydligt av förändringar i temperatur eftersom de är växelvarma. Det innebär att fiskens ämnesomsättning är beroende av den omgivande vattentemperaturen. Självfallet inverkar också vattnets näringsrikedom på fisksamhället (Lauridsen & Hansen 2014).

Fiskar är levande mätare av miljötillståndet och indikerar förhållandena på en mängd olika sätt. Fisken kan reagera på förändringar i miljön genom förändringar i sitt beteende, vilket kan påverka dess möjligheter att söka föda eller undvika rovdjur (predatorer). De förändringar som man mäter i den långsiktiga övervakningen av fisk är dock ofta kopplade till effekter som är lättare att mäta än beteendeförändringar. Typiska sådana är fiskhälsa, tillväxthastighet, antal, storlek, dödlighet och förökning. Eftersom olika arter är olika känsliga för en viss miljöförändring, leder detta till att vissa arter kan gynnas relativt andra. Då ser man förändringar även på artsammansättning i fisksamhället som helhet. Det har visats att även fiskens arvsmassa (genom) kan påverkas av föroreningar. Storspigg som lever i områden med skogsindustrier på ostkusten hade specifika genetiska förändringar som inte fanns hos spigg från områden med ”rent” vatten (Lind & Grahn 2011). Till och med fiskars parasiter kan användas för att få en uppfattning om miljötillståndet (Kennedy 1997).

Olika arter kan vara lämpliga för att indikera olika typer av miljöpåverkan. Arter som är huvudsakligen stationära kan ge information om den lokala miljön, medan fiskar som vandrar långa sträckor kan ge information om det finns fria vandringsvägar och mer storskaliga ekosystemförändringar. De kan fungera som indikatorer på hur väl den samordnade förvaltningen mellan olika delar av ekosystemet fungerar. Eftersom fiskar ofta är långlivade, kan de samla på sig information från en längre tidsperiod.

Allt detta gör att det är speciellt intressant att studera skillnader i utveckling mellan fiskarter i olika delar av näringsväven, eftersom man här kan förvänta sig ett spektrum av olika miljökrav från huvudsakligen planktonätande arter som sill och siklöja till rovfisk som lax och gädda.

Det är dock viktigt att kunna tolka informationen på rätt sätt. Många använder sig av fisk som miljöindikator, men kanske inte på rätt sätt. Att folk ser mycket fisk under bryggor innebär inte med säkerhet att bryggor är bra för fiskbestånden som helhet. När man bottentrålar ett havsområde så rivs botten upp och en del botten-djur dödas. Därför kan fisk ansamlas bakom en trålande båt för att äta av det dukade bordet. Detta betyder dock inte att fisken är en indikator på att bottentrålning är bra. För att man skall förstå vad en fisk indikerar måste man veta vad som är normalt - för just det området denna årstid och den arten. Man måste också veta hur man skall tolka en avvikelse, är det slumpen som spelar in, eller är detta en del i ett mönster? En del av fiskens styrka som miljöindikator är att det är en så viktig grupp, en resurs, att vi har en omfattande övervakning. Vi vet mycket om fisk och vad som är normalt, så mycket att vi med statistiska metoder kan säga vad som är en allvarlig avvikelse. Speciella bedömningsgrunder har utvecklats för att vid analys av sjöprov-fisken (Holmgren m.fl. 2007) eller elfiskeundersökningar (Beier m.fl. 2007) kunna bedöma ett vattens ekologiska status, dvs. hur mycket det avviker från det naturliga tillståndet.



Figur 9. Tankekartan över hur fisken kan reagera på olika typer av mänsklig påverkan (grå rutor) och naturliga faktorer (gröna rutor). De blå rutorna visar grupper av indikatorer som kan användas för att mäta och tolka dessa förändringar. Fysisk miljöpåverkan leder till en direkt förlust av livsmiljöer, men även till förändringar i livsmiljöns kvalitet. Detta här påverkar i sin tur fiskens födotillgång. Fiskens möjligheter att reproducera sig påverkas om ingreppen sker i områden som den är beroende av för sin lek eller tidiga uppväxt. Även övergödning och klimatförändringar kan påverka fiskens livsmiljö, och födotillgången kan förändras om mängden bytesdjur förändras. Försurning, miljögifter och fiske har en mer direkt effekt på fisken. Främmande arter kan påverka konkurrensförhållanden i ekosystemet och därmed artsammansättningen i fisksamhället. Samtliga miljöförändringar kan genom en kedja av händelser leda till förändringar i fisksamhällets storleksstruktur, antal fiskar och artsammansättning. Figur: Lena Bergström.

Fisket

Fisk och skaldjur har varit en viktig födokälla för människan sedan urminnes tider. Bestånd och populationer av fisk som är helt opåverkade av fiske finns således sällan i våra vatten. Med vilka metoder man använt och hur effektiv man varit att fånga fisken har dock genomgått stora förändringar över tiden, vilket i sin tur inneburit att påverkan på bestånden varierat under historiens lopp. Redan på 1700-talet fanns många rapporter dokumenterade som talar om för hårt fisketryck och vid denna tid kom också för första gången en lagstiftning direkt inriktad på en reglering och anpassning av fisket (Ask & Degerman 2007).

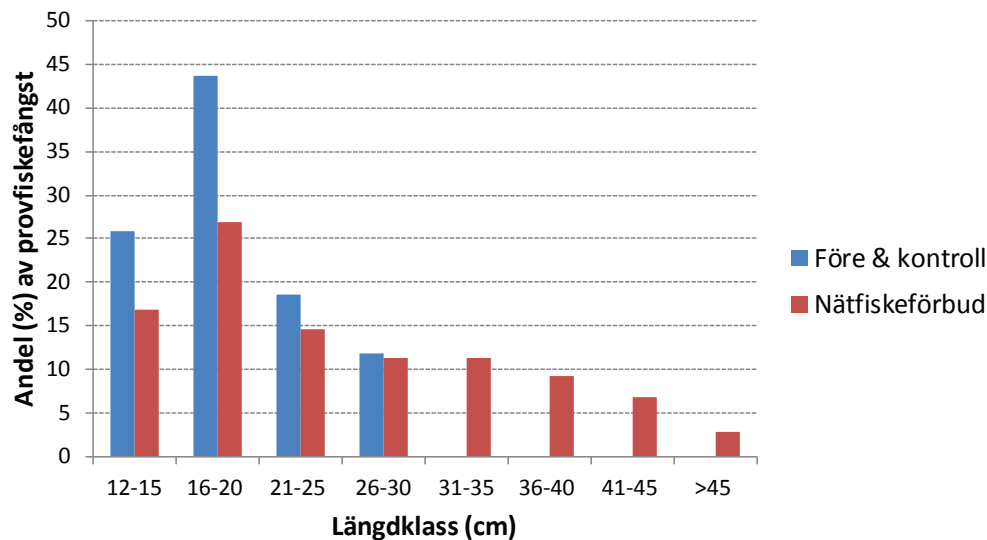
Från att fiska med lina och krok, långrevar och enklare burar, började man använda mängdfångande redskap som nät. Dessa var långt mer effektiva än de tidigare metoderna, och med nylonets intåg på marknaden efter andra världskriget så blev dessa redskap ytterligare effektivare. Vid början av 1900-talet utvecklades även trålfisket och under årens gång har detta förfinats och kompletteras idag av sofistikerade och högupplösta ekolod vilka kan lokalisera var fisken är med hög precision. Även om antalet fiskare som är yrkesverksamma har minskat, har de moderna fiskemetoderna kompenserat detta genom att vara mer effektiva. I Vänern hade antalet yrkesfiskare minskat till en tiondel från slutet av 1800-talet till millennieskiftet, men dessa fångade alltså lika mycket fisk (Degerman & Ekman 2004).

Det småskaliga yrkesfisket längs våra kuster och i våra sjöar bedrivs idag främst med olika typer av nät, fällor och mindre trålar och fokuserar på ett fåtal målarter som torsk, strömming, siklöja, sik, lax, abborre, gädda, gös, skrubbskädda och piggvar (Olsson m.fl. 2015). Omfattningen av detta fiske har på grund av låg lönsamhet minskat. Om man bortser från torsk och strömming utgör idag fritids- och husbehovsfiske den största aktören. Landningarna inom fritids- och husbehovsfiske uppskattas till mångdubbelt högre än motsvarande inom det småskaliga yrkesfisket för de flesta arterna (Karlsson m.fl. 2014). Även om det vid en första anblick kan te sig något bakvänt, så utövar därmed sannolikt fritids- och husbehovsfisket det största fisketrycket idag på fisken i våra sjöar, vattendrag och längs våra kuster.

Studier från områden som har varit helt eller delvis stängda för fiske under en längre period visar att fisken i dessa områden har en mer naturlig ålders- och storlekssammansättning och i vissa fall förekommer i högre tätheter än i motsvarande områden där fiske är tillåtet (Edgren 2005; Florin m.fl. 2013). Med en mer naturlig ålders- och storlekssammansättning syftar vi på att såväl mindre som större, som yngre och äldre fiskar förekommer i det undersökta fisksamhället. Fiske riktar ofta in sig på stora och snabbväxande individer av rovfisk, och hårt exploaterade bestånd består

därför ofta av småväxta individer med låg tillväxt. Således är fiskbeståndens storleksammansättning och förekomsten av rovfiskar goda indikatorer på fisketrycket. Andelen abborre (och gös) som bedöms kunna vara fiskätande används faktiskt som ett delmått på en sjös ekologiska status (Holmgren m.fl. 2007).

Ett experiment i några sjöar i Västerbotten visade effekten av nätfiske på fiskens storleksfördelning. När nätfisket förbjöds i Västansjön 1984 så erhöles snart många fler stora fiskar (abborre, öring och röding) vid provfiske än i kontrollen Bollvattnet där nätfisket fick fortsätta (Filipsson 1989). Detta kan exemplifieras med röding där storleksfördelningen från Västansjön vid 1983 års provfiske slagits samman med kontrollen Bollvattnet åren 1983-1992. I sjön med nätfiske, samt året innan nätfiskeförbudet i Västansjön, fångades inga rödingar över 30 cm, medan de utgjorde över 30 % av antalet fångade individer vid provfisken i sjön med nätfiskeförbud (figur 10). Förändringen kom gradvis, men var synlig redan första året efter att nätfiskeförbud införts. Detta visar att storleksfördelningen på fisk är en tydlig indikator på resursutnyttjandet.



Figur 10. Storleksfördelningen för röding i de närliggande sjöarna Västansjön och Bollvattnet, Västerbotten. Provfiskena omfattar perioden 1983-1992 i Bollvattnet och 1983-2013 i Västansjön. Nätfiskeförbud infördes i Västansjön 1984 och gav en tydlig effekt på storleksfördelningen (röda staplar) jämfört med perioden innan och Bollvattnet (blå staplar) (Filipsson 1989).

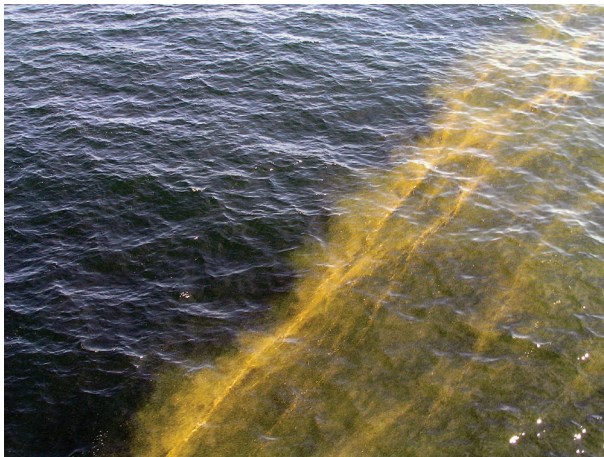
Likande resultat har man visat från Östersjön vid jämförelse av ett fredat område med områden med normalt fisketryck. Piggvaren i det fredade området var fler än i ett fiskat område, gäddorna var fler och större samtidigt som andelen stor abborre var större (Florin m.fl. 2013).

Ett alltför hårt fisketryck under en längre tid kan även resultera i ärftliga förändringar i storlek vid könsmognad hos fisken, då fisken gynnas av att reproducera sig vid unga åldrar innan den blivit uppfiskad. Detta är något som observerats för såväl gös i sjöar (se Havs- och vattenmyndigheten 2015 om gös i Mälaren) som för torsk i Östersjön (Svedäng & Hornborg 2014). Att fisken blir könsmogen vid en lägre ålder och mindre storlek kan få långtgående konsekvenser på beståndets framtid, då mindre och yngre fiskar generellt producerar färre ägg än äldre och större fiskar. Mått på storleksstrukturen inom ett bestånd kan således användas som en god indikator på hur intensivt fisket i området är.

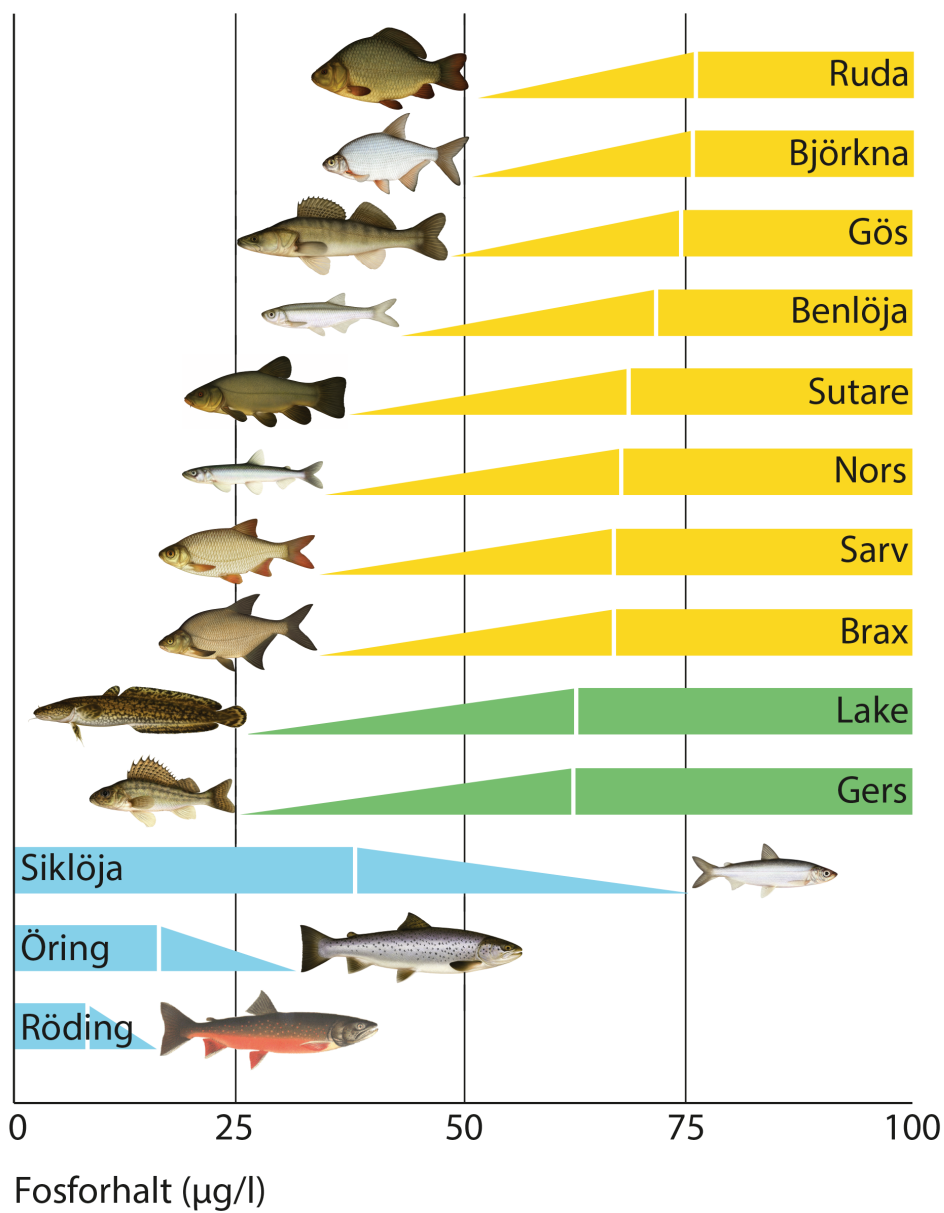
Övergödning

Förorening av vatten är ett gammalt problem, lika gammalt som den bofasta människan. Herodotos (485-425 f.Kr.) berättade att perserna i lag strängt förbjudit vattenföroreningar. I Rom byggdes cirka 600 f.Kr. en murad vattenledning för att dränera träskmark. Sedermera kom denna ledning, Cloaca maxima, att användas för Roms avlopp. Effekten av avloppsvattnet på floden Tiberns vattenkvalitet lät inte vänta på sig och från år 312 f.Kr. rådde förbud att ta vatten ur eller bada i Tibern (Drachman 1963). Vattnet var då fullt av bakterier och sannolikt även av närsalter och ruttande växter som en följd av den extra gödningen.

Övergödning (eutrofiering) är vad som sker när ett vatten tillförs ett överskott av närsalter (fosfor och kväve). Kväve och fosfor är nödvändiga näringsämnen för växterna, men vid ett överskott blir växtmassan så stor att den inte hinner (eller kan) ätas upp av andra arter. När växterna ruttar förbrukas vattnets syreförråd. Vi kan uppleva att våra vikar växer igen med vass eller alger som en följd av övergödning. Om den är måttlig kan fiskars tillväxt gynnas och fiskproduktionen öka. Men om tillförseln av näringsämnen ökar ytterligare kan den ökade mängden alger och växter som blir följden breda ut sig över områden som fiskar behöver för sin reproduktion. I kraftigt övergödda vatten kan det bli så omfattande syrebrist när den ökade växtproduktionen skall brytas ner att fiskar dör. Det hela kan resultera i så kallade algbloomingar (figur 11). Väldigt förenklat kan man säga att överskott av fosfor brukar vara problemet i sötvatten och överskott av kväve i havet, även om debatten i forskningsvärlden fortfarande pågår.



Figur 11. Exempel på algblooming i Östersjön. Algblooming är ett lite missvisande namn eftersom det ofta är cyanobakterier som orsakar fenomenet. Foto: Erik Degerman.



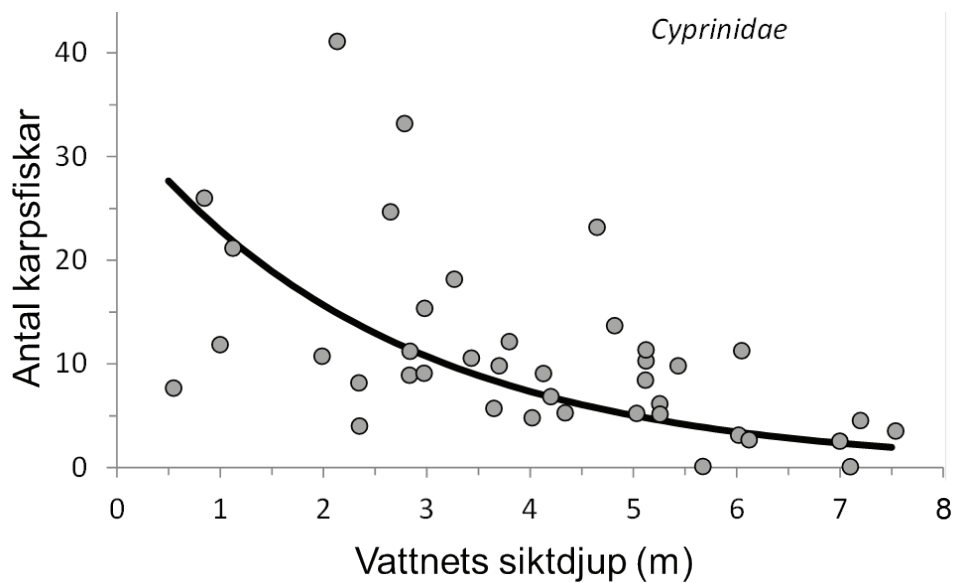
Figur 12. Förekomsten av olika fiskarter i förhållande till sjöns näringsrikedom (fosfor; mätt som Total-fosfor i µg/l). De färgade strecken markerar det intervall där arten sannolikt förekommer i en sjö på 500 hektars storlek och med ett maxdjup på 10 m enligt data från SLU:s databas NORS. Där strecket är jämbrett förekommer arten med 75-100 % sannolikhet om vattnet i övrigt har förutsättningar för arten. Den avsmalnande delen visar området med 50-75 % sannolikhet för förekomst. Figur: David Spjut & Erik Degerman.

I Sverige kan man ana spår av försämrad vattenkvalitet på grund av tillförsel av närsalter och organiskt material runt Stockholm redan på 1600-talet (Degerman & Ekman 2004), men det är först i skiftet till 1900-talet som påverkan var storskalig runt staden. Det varma året 1901 stank staden Stockholm av alla utsläpp och fiskdöd. Successivt började man nu bygga avloppsreningsverk som skulle hindra att avloppsvattnet gick ut orenat.

Om man tar en typisk liten sjö i södra Sveriges slättlandskap och Norrlands kustland så kan man genom att se vilka fiskarter som förekommer grovt avgöra hur påverkad sjön är av övergödning. De näringsfattiga sjöarna kallas oligotrofa och domineras ibland av laxfiskar (röding och öring), men nästan alltid av abborre. Tillsammans med abborren förekommer ofta mört och gädda. I takt med att sjön blir näringsrikare, en måttligt näringsrik sjö kallas mesotrof, så har laxfiskarna oftast försvunnit och mörten har blivit talrik. En del nya karpfiskar, dvs. mörtsläktingar, brukar dyka upp i sjön; sarv, braxen, björkna, benlöja, sutare och ruda. När sjön blivit riktigt näringsrik (eutrof) har dessa nya karpfiskar tagit över allt mer, och abborren är fåtalig. Den stora abborren ersätts i vissa vatten av släktingen gös. Till slut kan sjön få syreproblem och då återstår bara sutare och ruda i sjön, ruda är den sista arten som återstår innan sjön blir fisktom (figur 12).

Samma mönster upprepar sig även i kustområdets fisksamhällen. I inre vikar och områden med högre näringshalt och sämre siktdjup är mörtar och andra karpfiskar vanligare, liksom gös, medan abborre och sik är vanligare i klarare vatten (HELCOM 2006, figur 13). Generaliserat kan man säga att rovfiskar minskar i förekomst och karpfiskar ökar i övergödda kustvatten (Bergström m.fl. 2016). Projektioner in i framtiden om hur näringsbelastningen påverkar fisken på kusten antyder att gösen är en art som kommer att gynnas väsentligt om vi inte minskar närsaltkoncentrationerna i vattnet, medan abborren kommer att missgynnas (Bergström m.fl. 2015). Med ett varmare klimat och en fortsatt näringsrik Östersjö kommer sannolikt även mängden karpfisk och arter med ett sötvattensursprung längs våra kuster att gynnas på bekostnad av marina arter och de som föredrar kallare och mer näringsfattiga vatten.

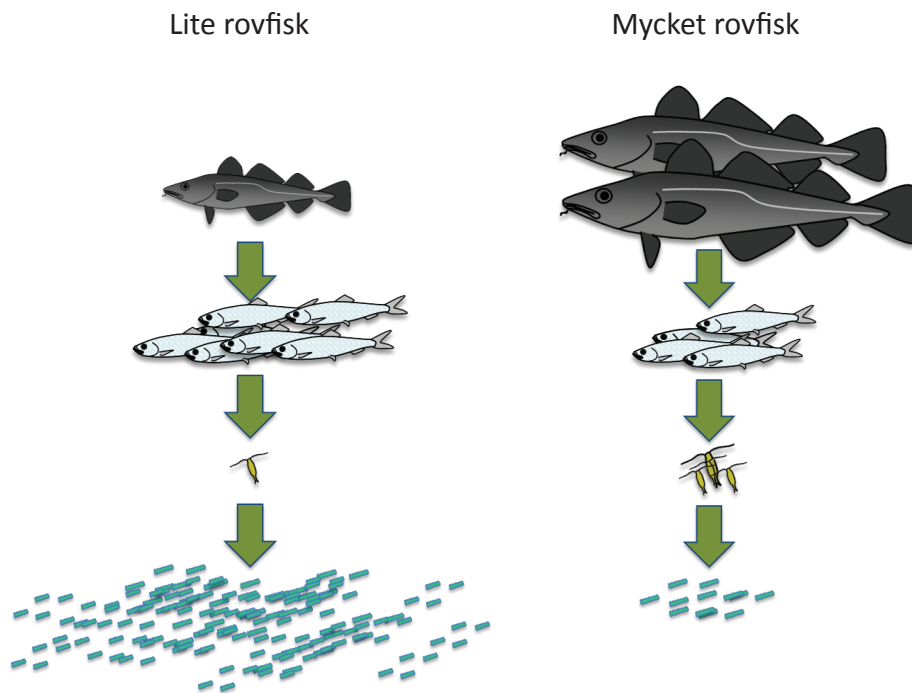
Det finns betydande gradienter i näringskoncentrationen mellan delar av våra hav (HELCOM 2010). Medan Västerhavet generellt är näringsfattigt och med en minskande näringsbelastning, är Östersjön ett mer övergött system. Men även i Östersjön finns betydande skillnader mellan områden. I de södra och centrala delarna är övergödningssproblemet större än längre norrut i Bottenhavet och Bottenviken, även om det finns indikationer om att även dessa områden börjar bli övergödda. Övergödningen har utpekats som ett av de största hoten mot Östersjöns ekosystem, och



Figur 13. Effekter av näringshalt på artsammansättning i kustområdet. Varje punkt i grafen motsvarar ett provfiskeområde längs den svenska kusten från Blekinge till Norrbotten. Det standardiserade antalet karpfiskar (efter att effekter av lokala faktorer, till exempel djup och vågexponering har tagits bort) jämförs med siktdjupet, som används som ett mått på övergödning. På stationer med lägre siktdjup finns det mer karpfisk. Motsvarande mönster ses inte för till exempel abborrar (Bergström m. fl. 2015).

har sitt ursprung i ett stort avrinningsområde med mycket jordbruksmark och ett historiskt stort läckage av närsalter i kombination med ett lite utbyte av vatten med Västerhavet. Den lagrade mängden näring på Östersjöns botten är i dag så omfattande att även om näringstillförseln från omgivande land skulle strypas, skulle det ta ytterligare många tiotals år innan någon minskning i näringskoncentrationer skulle kunna ses. Även om tillrinningen av näring från land i form av t.ex. enskilda avlopp kan vara betydande lokalt, visar nyligen utförda undersökningar längs den svenska kusten att merparten av näringen i skärgårdens vikar kommer från utsjön och inte från avrinningen från land (Dimberg & Bryhn 2016).

Fisken påverkas inte bara av övergödningen, utan kan även själv påverka hur allvarliga symptomen av övergödningen blir. Bevisen ökar nämligen för att artsammansättningen i fisksamhället i sin tur påverkar övergödningssymptomen (Casini m.fl. 2008; Eriksson m.fl. 2011). Genom så kallade kaskadeffekter inom födoväven kan rovfisken (torsk, abborre, gädda) kontrollera mängderna av bytesfiskar (skarpill, spigg,



Figur 14. Illustration av möjliga kaskadeffekter i Östersjöns födoväv i utsjön. Mängden rovfisk (torsk) påverkar mängden bytesfisk (skarpsill, strömming), som i sin tur påverkar mängden betare (djurplankton). Mängden betare kan i sin tur påverka mängden alger, vilka även gynnas av ökade näringshalter. Källa: Casini et al. 2008 Proc. Roy. Soc. Lond., 2009 PNAS.

snultor, smörbultar), som i sin tur inte påverkar mängden betare (djurplankton och bottendjur) i systemet. Mängden betare håller i sin tur mängden alger, som är växter som ökar i mängd med ökade näringshalter, i schack. I system med få rovfiskar, på grund av t.ex. överfiske, kommer mängden bytesfisk öka vilket kommer att resultera i färre betare och en massproduktion av alger (figur 14). Det innebär att betydelsen av en frisk näringsväv med starka bestånd av rovfisk kan ha lika stor betydelse på algblomningar som mängden näring i vattnet. En förvaltning som ämnar minska effekterna av övergödning måste således ta i beaktning såväl halterna av näringsämnen som förvaltningen av rovfisken.

I Laholmsbukten, Halland, blev det stora rubriker när död fisk och musslor upptäcktes utmed stränderna under 1980-talet. Det hade dock funnits flera tidigare tecken hos fisken på att allt inte stod rätt till. Rapporter om fiskrusning i Laholmsbukten i Kattegatt förekommer så tidigt som på 1960-talet men började bli återkommande på höstarna under slutet av 1970-talet och under 1980-talet. Fiskrusningen, det vill

säga att fisk snabbt flydde områden med syrebrist, uppmärksammades av fiskare som lagt nät nära land och plötsligt fick stora fångster, men fisken var ofta redan död när näten drogs. Orsaken stod att finna i en kombination av ökade mängder näringsämnen och speciella oceanografiska förhållanden. Vattnet i Kattegatt är starkt skiktat och i det djupare bottenkiktet av vatten tillförs vanligen inget nytt vatten under sommaren. Syret i bottenvattnet kan därför förbrukas helt om nedbrytningen av biomassa är hög, som är fallet vid övergödning. Fram till senhösten blandar höststormar sedan om hela vattensolumnen och tillför nytt syre vid bottarna. Vid en syrehalt under 4 mg per liter talar man om syrebrist och vid 2 mg per liter om kraftig syrebrist. Dessa syrehalter motsvarar grovt den nivå när fisk börjar fly från ett område (4 mg/l) och den syrenivå när fisk dör av kvävning (2 mg/l), även om det förstås finns skillnader mellan arter. Pelagiska arter som sill, skarpsill och makrill är mest känsliga följt av torskfiskar. Bottenlevande plattfiskar som rödspotta och sandskädda är mer tåliga mot syrebrist och väntar längre med att lämna drabbade områden (Petersen & Pihl 1995). Fiskrusningen uppstod vid vissa vädersituationer då det syrefattiga bottenvattnet pressades in mot den svenska kusten och drev fisken in mot land. När fisken så fastnade i näten eller nådde kusten hann det syrefria vattnet ikapp dem och de kvävdes.

Hösten 1986 rapporterade trålfisket rekordfångster av havskräfta i Kattegatt. Framförallt fick man stora mängder med rombärande kräftehonor. Några veckor senare fylldes trålarna istället av döda havskräftor och bottendjur. Syrebristen hade inledningsvis tvingat upp kräftorna ur sina bohålor, särskilt honor med rom som annars söker skydd i gångsystemen en stor del av tiden. Dessa fångades då lätt i trålarna. När situationen förvärrades och det blev kraftig syrebrist dog havskräftorna tillsammans med många andra typer av bottendjur

Längs den svenska västkusten och delar av östersjökusten medverkar övergödning även till att undervattensängar av ålgräs (även kallad bandtång) på grunt vatten blir övervuxna och att badvikar växer igen med fintrådiga alger (figur 15). Förändringar i vegetationens struktur och utbredning leder till snabba förändringar i fiskfaunans sammansättning under sommaren (Wennhage & Pihl 2007). De grunda badvikarna förvandlas från barnkammare för plattfisk och födoplatser för torsk till illaluktande algvikar där spiggfiskar istället dominerar. I dessa grunda miljöer behövs kanske inte fisken som miljöindikator för att påvisa den påtagliga effekten av igenväxning, men återväxten av fisk och mängden ung fisk kan fungera som en skarp indikator för hur väl dessa grunda områden fungerar som helhet.



Figur 15. Grund havsvik som fått alltmer påväxt av grönalger (grönslick; Cladophora) på stenarna som en följd av ökad tillförsel av närsalter till havet. Foto: Göran Sundblad.

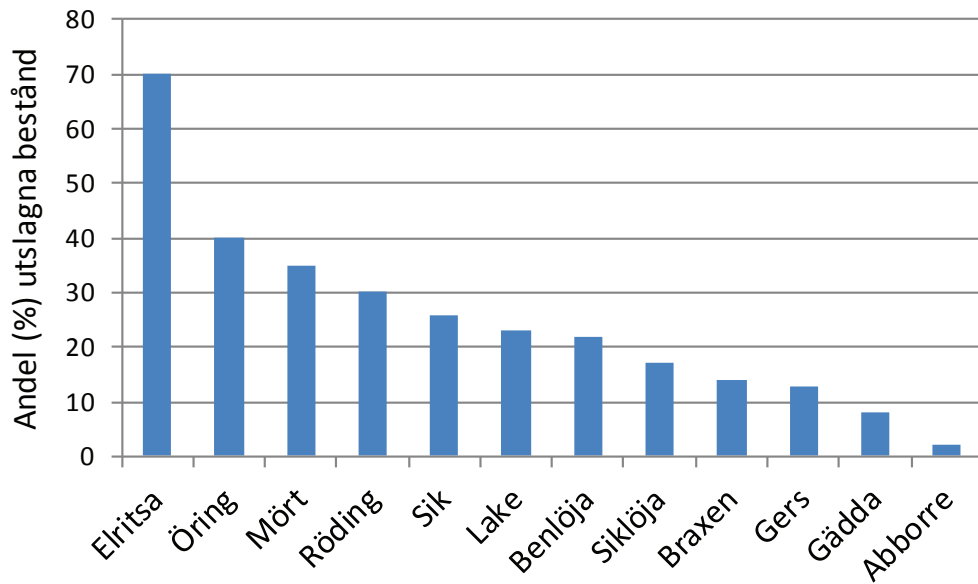
Försurning

Det kanske mest klassiska exemplet på hur fiskar visar på miljöproblem i sötvatten och hur allmänheten slagit larm kommer från Bohuslän. Fiskerikonstulden Ulf Lundin fick in rapporter om att öring försvunnit från många sjöar i början av 1960-talet. Flera av sjöarna var opåverkade av lokala utsläpp och fisketrycket bedömdes inte vara för högt. Ändå var fisken borta och sjöarna hade blivit klara. Ulf undersökte vattenkvaliteten och fann att pH var lågt. I Tolsjön uppmätte han pH 3,7 vilket är långt under vad fiskar klarar att leva i (normalt är pH över 6). Många fler påverkade vatten uppvisade liknande låga pH-värden och till slut ringde Ulf till Svante Odén på meteorologiska institutionen vid Stockholms Universitet. Denne hade ca tjugo år långa mätserier över nederbördens innehåll. Han konstaterade att nederbörden hade väldigt förhöjda halter av försurande svavel och att pH i nederbörden sjunkit drastiskt under början på 1960-talet (Bernes 1991). I en artikel i Dagens Nyheter den 24 oktober 1967 slog Odén larm om "Nederbördens försurning".

Nu startade en febril verksamhet med att kartlägga omfattningen av denna "nya" påverkan. Vattenkemi och fiskbestånd började övervakas. Lyckligtvis fanns äldre vattenkemiska data samlade och Svante Odén samt Torsten Ahl (Uppsala Universitet) publicerade 1970 den viktiga rapporten "Försurning av svenska ytvatten". Carl Puke (1971) som arbetade åt dåvarande Fiskeristyrelsen publicerade i Sötvattenslaboratoriets rapportserie omfattande mätningar av vattenkemi perioden 1956-1969 som också visade sjunkande pH och alkalinitet. Det senare är ett mått på vattnets motståndskraft mot försurning.

Året därpå kom den första sammanställningen från Sötvattenslaboratoriet (numera vid SLU) av försurningens effekter på fisk i västkustsjöar (Brodde Almer 1972). Björn Bergquist konstaterade senare (1991) att 68 % av de försurade svenska sjöarna (de flesta hade pH under 6 hela året) förlorat minst en fiskart. Främst var det elritsa, öring, mört, röding och sik som försvunnit (figur 16), det vill säga arter som lever i närings- och kalkfattiga sjöar. Dessa sjöar försurades lättare eftersom pH redan naturligt var lågt och alkaliniteten (buffertförmågan) ringa. Nu kunde man i Norge också förklara varför Huitfeldt-Kaas (1922) redan i början på 1920-talet noterade en kraftig nedgång i laxfisket i älvar belägna i södra Norge.

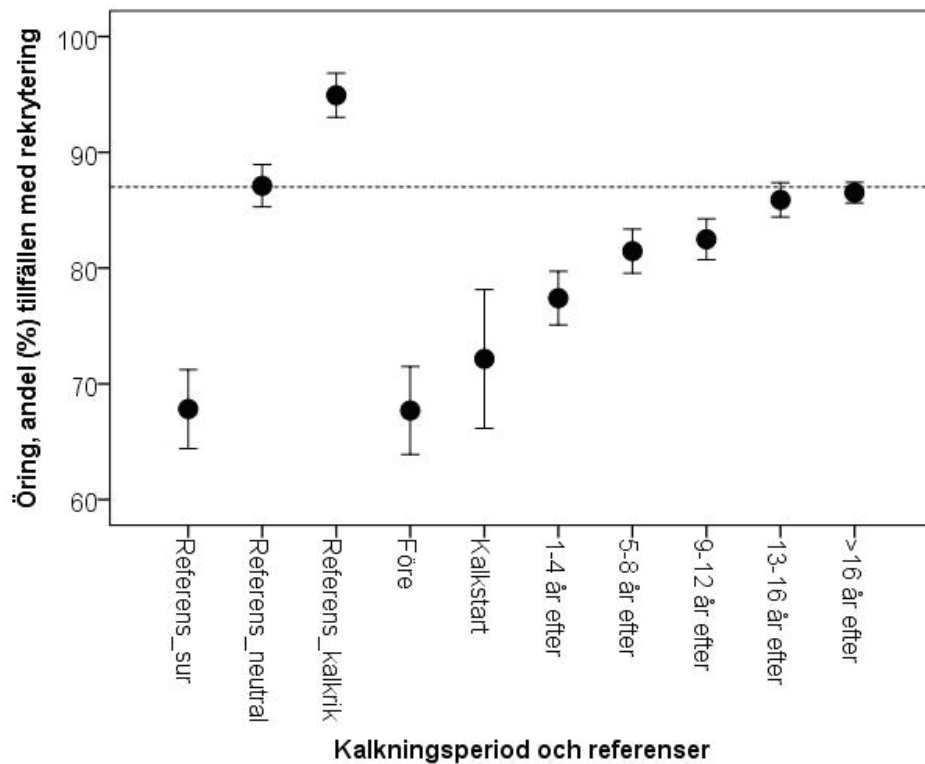
Miljöhotet togs direkt på allvar och Sverige införde förbud mot att använda brännolja med hög svavelhalt. Vid miljökonferensen i Stockholm 1972 presenterade Sverige problemet. Internationellt var det ett visst tvivel och motstånd, men så upptäcktes skador på skog i Västtyskland som också verkade bero av långväga luftföroreningar och våra norska kolleger visade på omfattande skador på laxproduktionen i



Figur 16. Andelen (%) försurade sjöar som hade utslagna bestånd av olika arter enligt provfisken. Totalt 87 sjöar från Blekinge till Västerbotten ingår (Bergquist 1991). Elritsa och öring hade alltså försvunnit från flest sjöar, medan abborre och gädda ofta lyckats leva kvar – de tål alltså surt vatten bättre.

försurade vattendrag. År 1979 kom så konventionen om ”Långväga, gränsöverskridande luftföroreningar” (UN/ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution) och 1985 lovade 21 länder att minska svavelutsläppen fram till 1993. Från att fisk försvann i några sjöar i Bohuslän hade det gått knappt tjugo år (Bernes & Lundgren 2009).

Försök att öka pH genom tillförsel av kalkstensmjöl i de påverkade sjöarna började under 1970-talet och år 1976 startade en nationellt samordnad och finansierad kalkningsverksamhet. Många vetenskapliga rapporter har visat att konstgjord andning i form av kalkning normaliserar förhållandena i de försurade vattnen (figur 17; se även Appelberg & Degerman 1991, Henrikson & Brodin 1995, Nyberg m.fl. 1986, Hesthagen m.fl. 2011). Kalkningsverksamheten fortsätter, men tack vare att de sura uppsläppen minskat har den minskat i omfattning. Försurningen i framför allt västra Sverige har dock gått så långt att markerna är starkt urlakade på kalkrika mineraler och kalkningsverksamheten kommer att behöva fortsätta länge framöver.

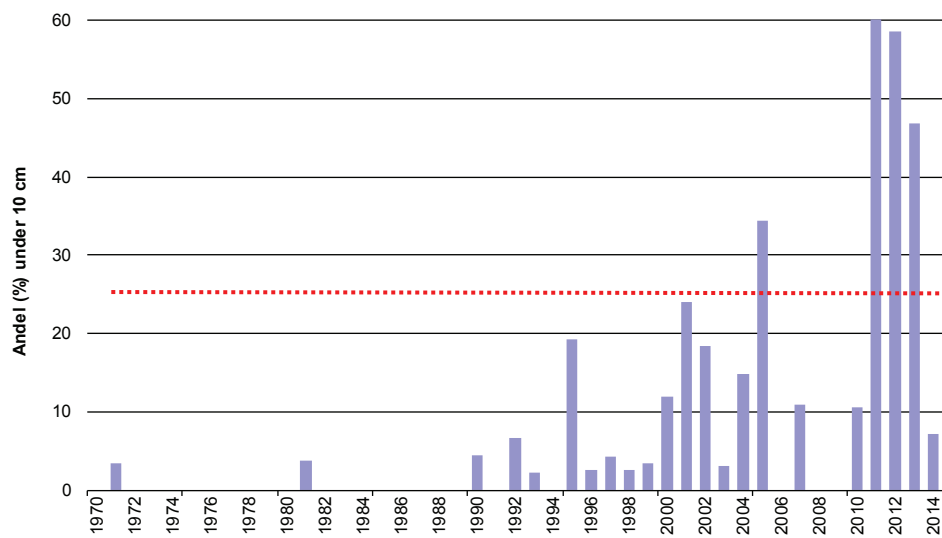


Figur 17. Bilden visar hur ofta öring påträffas i olika typer av rinnande vattendrag (andel som % av antal undersökningstillfällen). Referensvatten utgörs av naturligt sura, neutrala och kalkrika vatten. De övriga punkterna visar försurade vatten, samt vattendrag före kalkning, kalkstartåret och olika perioder efter kalkstart. Den streckade linjen visar hur ofta öring påträffas i neutrala referenser, som man önskar att de försurade vattnen ska likna. Efter minst 16 års kalkning når man dit. Data från 300 kalkade vattendrag spridda över Sverige (Degerman m.fl. 2015). Punkten visar medelvärdet och de lodräta strecken ett osäkerhetsintervall, 95 %-konfidensintervall.

Det har nu upprättats övervakningsprogram som följer fisk i både opåverkade och okalkade referenssjöar och vattendrag (Nationell och regional miljöövervakning), samt ett forskningsprogram som detaljstuderar vad som händer med ekosystemet vid kalkning och när kalkning kan avslutas – IKEU (Integrerad kalkningseffektuppföljning). IKEU (se Bergquist 2000) leds av Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionerna för vatten och miljö samt institutionen för akvatiska resurser (se mer på <http://www.slu.se/sv/centrumbildningar-och-projekt/ikeu/>) tillsammans med Institutionen för miljövetenskap och analytisk kemi vid Stockholms Universitet.

Denna uppföljning visar också hur det går för vatten som inte kalkas, våra referenssjöar. En intressant referenssjö är Rotehagstjärn i norra Bohuslän. Den har hela tiden varit försurningspåverkad, men inte varit så sur att kalkning tillgripits. Provfisken utförs med täta intervall och det är abborre, gädda och mört som fångas. Mört är en art som är känsligt för försurning (se figur 16) och den brukar inte få avkomma när pH är för lågt (under pH 6). I takt med att det försurande nedfallet minskat har pH förbättrats i sjön och mörtan allt oftare fått lyckad reproduktion efter leken i maj. I normala sjöar brukar ca 25 % av mörtarna i ett provfiske vara under 10 cm, vilket motsvarar en ålder från 0 till 2 år. Andelen små mörtar visar alltså om reproduktionen fungerar. På senare tid har den allt oftare fungerat och sjön normaliseras (figur 18).

I havet förekommer också en långsam försurning, men den beror istället på ökade utsläpp av koldioxid i atmosfären. När koldioxiden sedan löser sig i världshaven så sänks pH något. Detta inverkar på organismernas förmåga att bilda skelett av kalk eftersom det finns mindre med tillgängligt löst kalciumkarbonat i surare vatten. Mer bevis framkommer om att försurningen är en ökande och oroande påverkan i havet (Feely m.fl. 2004). Försurningseffekten i havet är betydligt mindre än den som förekommer i sötvatten på grund av havens bättre buffringsförmåga, men havets mer stabila miljö skulle också kunna innebära att de marina arterna är mindre toleranta för förändringar i pH eftersom de är vana vid att stabila förhållanden. I laboratorieexperiment har man kunnat undersöka möjliga direkta effekter på fisk av den sänkning av pH som är att förvänta i världshaven de närmsta hundra åren. I marin miljö har storspiggen uppvisat beteendestörningar vid förhöjda koldioxidnivåer (Jutfelt m.fl. 2013). Hos sjustrålig smörbult påverkas embryonalutvecklingen samtidigt som larvernas förmåga att söka sig mot ljus (fototaxi) störs i en försurad havsmiljö (Forsgren m.fl. 2013). Forskningen om havets försurning och dess påverkan på organismerna är ännu i sin linda, men resultaten indikerar att havsförsurningen är en faktor att ta hänsyn till när fisk används som miljöindikator i framtiden.



Figur 18. Andelen mörtar i den försurningspåverkade Rotehagstjärn (norra Bohuslän, Tanums kommun) som var under 10 cm enligt resultatet från provfisken med så kallade översiktsnät. Den streckade röda linjen visar hur det ser ut vid nätprovfisken i liknande sjöar som inte är försurade. Mörten i sjön lyckas allt oftare med reproduktionen i takt med att det försurande nedfallet minskar. Sjön är 16 hektar och har ett maxdjup på 9 m. Mer information hittar du i SLU:s databas NORS.

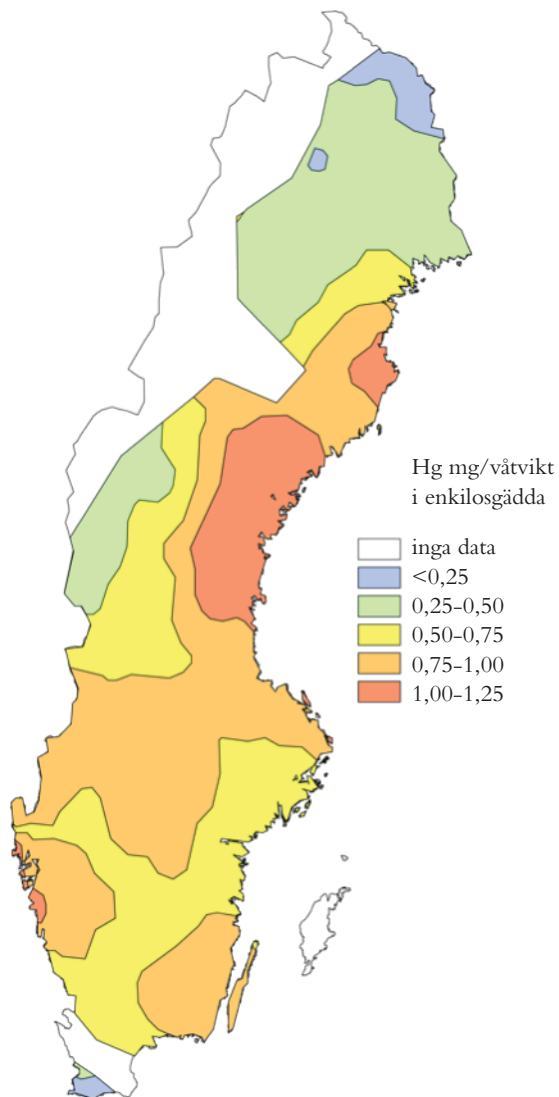
Miljögifter

Georg Bauer (Agricola) skrev 1556 (*De re metallica*) om gruvdrift i Tyskland. Han försökte egentligen argumentera för att det inte är så farligt, och som vanligt vid den tiden skrev han i form av en dialog mellan två personer. Det är den framsynte miljövännen som oftast citeras: ”när malmen vaskas, förgiftar det använda vattnet bäckar och floder och antingen förstör fisken eller driver bort den. Inneånarna i dessa trakter finner det därför på grund av förödandet av fälten, skogarna, lundarna, bäckarna och floderna mycket svårt att skaffa sig livets nödtorft”. Spår av den omfattande gruvverksamheten i Bergslagen har man funnit när man undersökt Mälarens bottensediment, med klart förhöjda blyhalter sedan 1000-talet (Renberg 1999). Men påverkan fanns förstås också lokalt. Verksamheten i Falu gruva hade stor påverkan på omgivningen. All skog inom 3-4 km från gruvan var död under 1625-1725 enligt de skattningar som gjorts (Ek m.fl. 2001). Det sura lakvattnet från varphögarna påverkade den stora sjön Tisken och kombinationen av metaller och lågt pH borde ha påverkat fiskarna (Lindeström 2002). Faktum är att Selma Lagerlöf i ”Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige” skriver att sjön var ”helt utan fisk”.

Fisk kan också berätta mycket om miljötilståndet genom att många av våra miljögifter till slut hamnar i vattnet och då kan komma in i näringsvävarna. Då kan det vara så att rovfiskar som står högst i näringskedjan anrikas gifterna från alla de bytesfiskar som ätits. I mitten av 1960-talet kom kvicksilverlarm från flera svenska sjöar. Allt började egentligen med att Svenska Naturskyddsföreningen hade ordnat ett möte om problemet 1963. Beskeden på detta möte minskade radikalt allmänhetens vilja att köpa sötvattensfisk, speciellt sedan gädda svartlistades i många vatten.

Kvicksilver är kostsamt och svårt att mäta i naturen och ganska snart kom man på att rovfiskar var förnämliga levande provtagare. Vanligast idag i sötvatten är att använda abborre eller gädda och mäta hur mycket kvicksilver det finns per kg fiskkött. Eftersom halterna varierar lite med gäddans storlek strävar man efter att fånga gäddor runt ett kg i vikt, alternativt får man räkna om halterna i sin gädda till de halterna den skulle ha haft om den vägde precis ett kg. Detta kallas att normera.

Kvicksilverhalterna beror både av långväga transporterade kvicksilverföreningar och lokala utsläpp. Dessutom varierar halterna med sjöns näringsrikedom. I näringsrika sjöar blir det fler gäddor och bytesfiskar. Det gör att gifterna späds ut i biomassan. Allt detta gör att det är en komplicerad bild som man får fram över kvicksilverbelastningen i svenska sjöar, lokal påverkan invid industrier på Norrlands kust och låga halter längst i norr på grund av lägre halter av kvicksilver som förs långväga med vindarna (figur 19).



Figur 19. Kvicksilverhalt (mg/kg kött) i Sverige, normerat till halten i en 1 kg gädda. Figuren baseras på data från 2 223 sjöar och över 20 000 gäddor (Åkerblom & Johansson 2008).

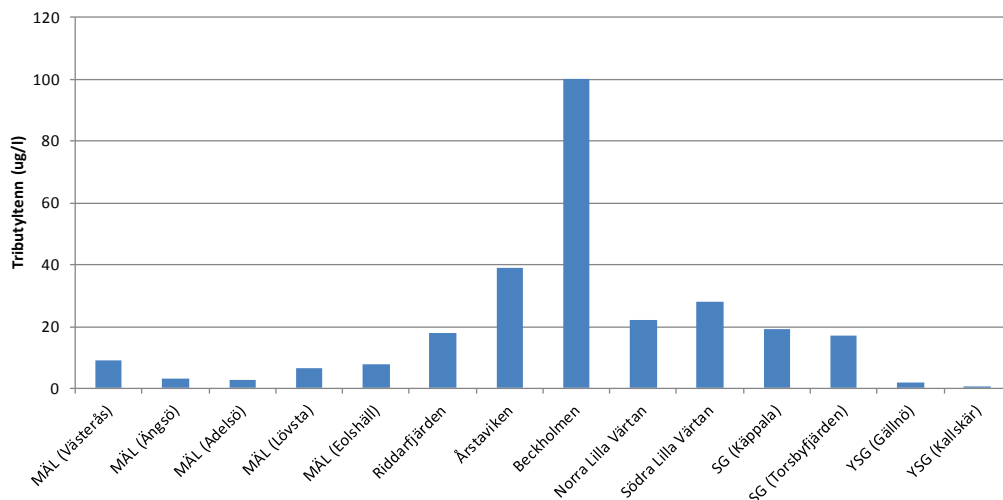
EU liksom WHO/FAO rekommenderar att halterna av kvicksilver i fisk bör vara lägre än 0,5 mg/kg. I ungefär hälften av landets ca 100 000 sjöar överskrider denna gräns (Åkerblom & Johansson 2008). Det är i de magra skogssjöarna. Kvicksilver kan skada utvecklingen av hjärna och nervsystem hos foster. Livsmedelsverket rekommenderar därför att gravida kvinnor inte äter vissa insjöfiskar mer än 2-3 gånger per år. Bland de arter som räknas upp är abborre och gädda.

I fisk på kusten och i Vänern och Vättern är det främst halterna av dioxin i fet fisk (strömming, sik och lax) som lett till kostråd. Livsmedelsverket rekommenderar därför att barn, ungdomar, unga kvinnor som vill ha barn i framtiden, samt gravida och ammande inte ska äta fet fisk oftare än högst 2-3 gånger per år. Övriga kan äta den här fisken en gång i veckan.

Fisk kan användas som levande provtagare för många andra miljögifter. I en studie genomförd av Institutet för Vatten- och luftvårdsforskning (IVL) provtogs abborre i en gradient från Västerås i Mälaren ut till Stockholms ytterskärgård (Karlsson & Viktor 2014). Vi redovisar här halterna av tributyltenn (TBT) som är en organisk tennförening som främst använts i båtbottenfärger för att förhindra påväxt. Denna användning har numer förbjudits, 1989 för småbåtar och 2003 för större fartyg inom EU. TBT finns dock kvar i miljön och kan vara hormonstörande samt ha mutagena effekter redan vid mycket låga koncentrationer. Halterna i abborrmuskel var högst inne i Stockholm och dess närområde med många båthamnar och varv (figur 20). Det finns ännu inget gränsvärde för TBT i livsmedel.

I de flesta fallen med miljögifter visar fiskar inga yttre tecken på att något är fel, utan detta observeras genom särskilda analyser. Ibland kan dock sår och tumörer uppmärksammas i samband med miljögifter. Som en del av miljöövervakningen av fisk noteras förekomster av yttre sår och sjukdomstecken på all fisk, samt avvikelser i de inre delarna av fisken hos de fiskar som provtas. Hudsår (figur 21) förekommer hos många marina arter och det kan finnas flera orsaker. Ofta kan det vara bakterier och virus inblandade (Thulin m.fl. 1989).

Det finns också andra exempel på effekter av främmande ämnen i miljön. Sportfiskare i England märkte i början på 1990-talet att fångade mörtar verkade vara tvåkönade, det vill säga hona och hane på samma gång. Forskning visade att det var hanfiskar som fått feminina drag och det av rester av det kvinnliga könshormonet östrogen i avloppsvattnet. P-piller innehåller bland annat östrogen. I avloppsvatten finns även naturligt östrogen, men det bryts ned ganska fort och det är östrogenet från p-piller, syntetiskt östrogen, som är ett problem. De feminina hannarna kan få nedsatt fertilitet och tappa intresset för fortplantning. Trots allt är halterna av

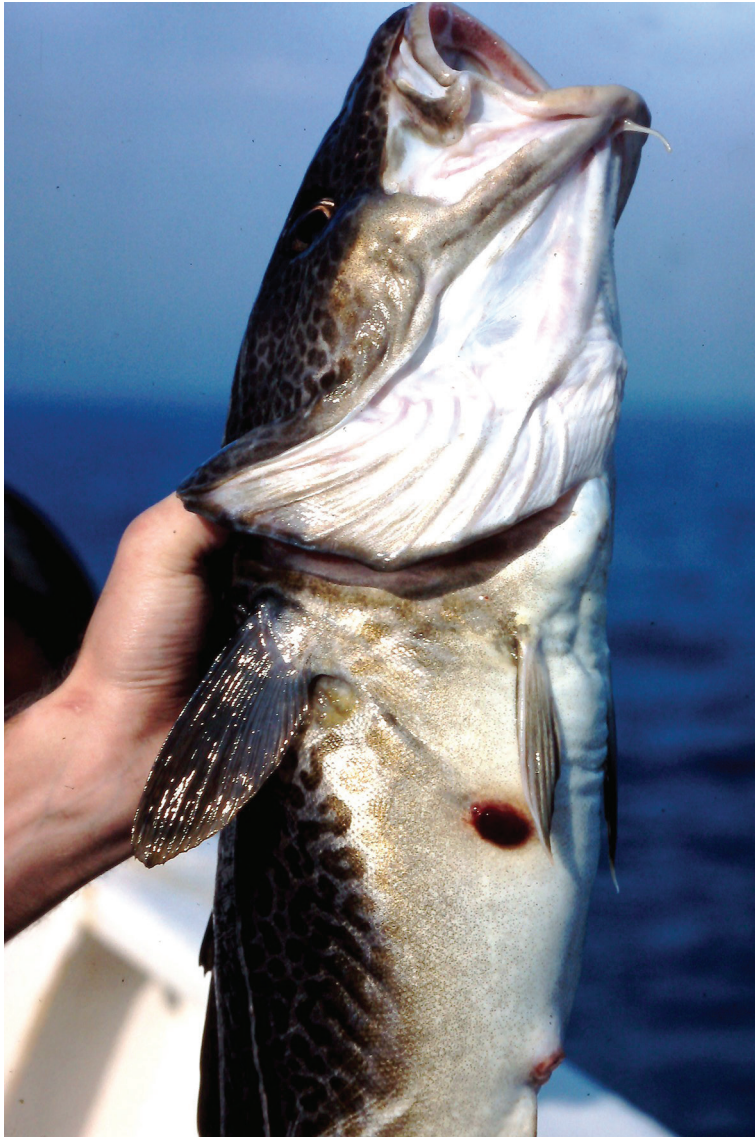


Figur 20. Halten av tributyltenn (TBT) i abborrmuskel i en gradient från Västerås i Mälaren (MÄL) via Stockholm ut till Stockholms skerfjärden (SG) och ytterfjärden (YSG) (Karlsson & Viktor 2014).

östrogen låga i avloppsvattnet, men fiskar ”andas” stora mängder vatten och får på så sätt i sig höga doser under sin livstid (Viklund m.fl. 2005). De tvåkönade mörtarna innebär inte att vi inte kan äta fisken, men de är en budbärare, en indikator, på hur vi påverkar vår miljö.

Rester av läkemedel innebär inte bara att fiskar kan få störda könsroller. Forskare vid Umeå universitet har visat att abborrar som utsätts för vatten med rester av ångestdämpande medel, oxazepam, kan få ett ökat riskbeteende och bli mindre sociala (Brodin m.fl. 2013). De löper därmed risk att ätas upp av gäddor i större utsträckning. Läkemedelrester ger oss alltså inte bara tvåkönade mörtar utan också djärvare abborrar, och det vid mycket låga doser i vattnet. Detta visar att fiskar inte bara är levande provtagare utan också påverkas vid nivåer som är långt under vad som påverkar oss människor.

På kusten finns sedan slutet av 1980-talet ett nationellt undersökningsprogram i fyra referensområden, Holmön (Kvarken), Kvädöfjärden (södra Östergötland), Torhamn (Blekinge) och Fjällbacka (Bohuslän), där övervakning av miljögifter, fiskens hälsa och beståndens utveckling integreras. Här finns således ett unikt tillfälle att studera effekterna av miljögifter på fiskens hälsa och i till slut beståndens storlek och



Figur 21. Hudsår på torsk från södra Östersjön. Sådana hudsår påträffas på någon procent av fiskarna, men ibland på många och indikerar då något allvarligt problem. En möjlig orsak till de sår som syns på bilden kan vara en sekundär infektion efter bett eller annan yttre skada. I detta fall är det troligt att ett parasitiskt flodnejonöga varit upphov till såret. Foto: Erik Degerman.

välstånd. Undersökningarna av abborrar och tånglaxar visar att halterna av de flesta analyserade miljögifter och metaller är stabila eller har minskat sedan mätningarna startade. Trots detta har hälsan hos fisken försämrats, vilket är oroande eftersom områdena är utsedda för att de anses minimalt påverkade av mänskliga aktiviteter. I de flesta områdena kan den försämrade hälsan inte tydligt kopplas till förändringar i bestånden. I Fjällbacka har fångsterna av tånglake dock gradvis minskat, och 2014 var fångsterna rekordlåga. Sammantaget tyder resultaten snarast på att miljögifter tillsammans med andra miljöförändringar som till exempel ett förändrat klimat samverkar och påverkar fiskens hälsa (Förlin m.fl. 2014).

Även om fisken fungerar som viktig budbärare om mängden miljögifter och läkemedel i våra vatten, finns det ännu relativt lite bevis för att bestånden och populationerna av fisk skulle påverkas generellt negativt av detta. Forskningen inom detta område är dock fortfarande i sin linda.

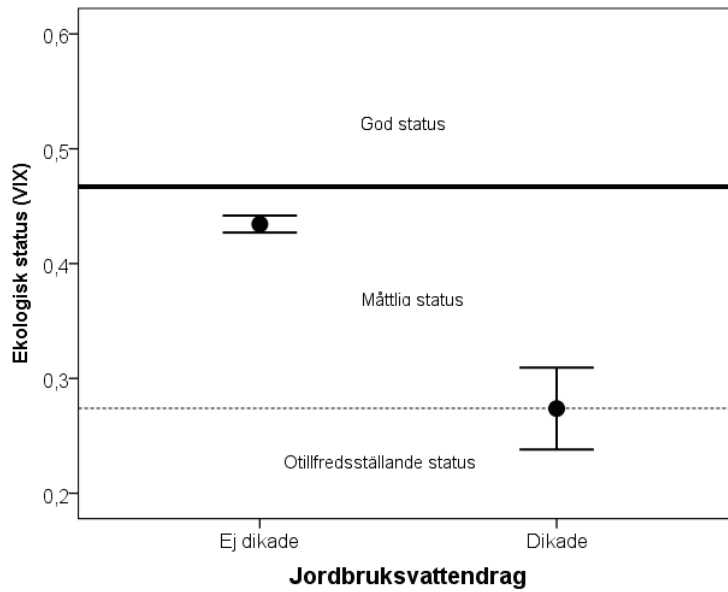
Förändrad fysisk miljö

Man kan generellt säga att biologisk mångfald är arterna i sin naturliga miljö, det vill säga en miljö som karakteriseras av naturliga processer (strömmar, temperaturvariationer etc) och naturliga strukturer (stenar, träd, bottnar, stränder etc.). Fungerar inte de naturliga processerna och strukturerna så trivs inte den normala floran och faunan. Den fysiska miljön har påverkats starkt av oss människor, framför allt i de stora älvarna som använts för timmerflottning och kraftutvinning, jordbruksvatten-dragen som rätats och grävts djupare för att föra bort vatten snabbare, stränder för att anlägga båthamnar, badplatser och bostäder samt storskaliga förändringar av våra havsbottnar genom bottentrålning. Varje sådan förändring avspeglas i flora och fauna.

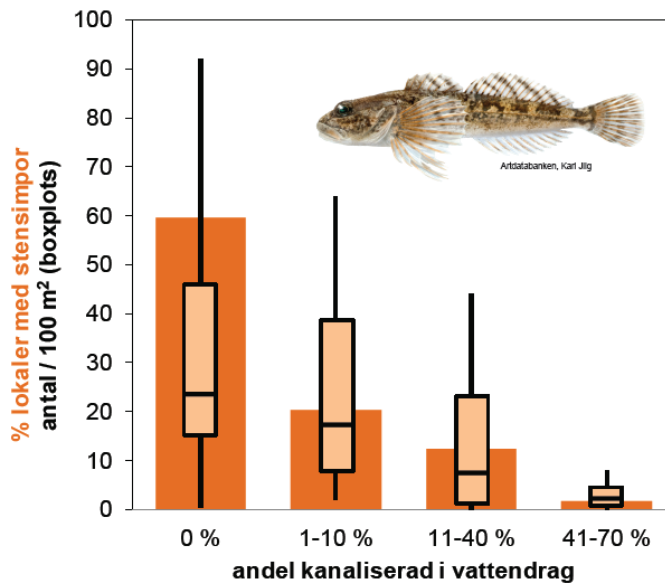
Vattenkraften har använts sedan urminnes tider i kvarnar och vattenhjul. I slutet av 1800-talet började man utvinna elektricitet ur vattenkraftverk och en gigantisk utbyggnad skedde fram till 1970-talet då de flesta norrlandsälvar hade byggts ut. Vid utbyggnaden togs mycket ringa hänsyn till miljön och många förut strömmande



Figur 22. Här är det stopp för laxen, ålen, siken, havsöringen och flodnejonögat att vandra till sina tidigare områden i Ångermanälven. Kraftverket längst ner i älven stänger vägen och ingen fiskväg byggs. Avsaknad av fisk har blivit en miljöindikator. På denna bild syns Sollefteå kraftverk. Foto: Erik Degerman.



Figur 23. Ekologisk status bedömd med fiskfaunan i rinnande vatten vid elfiskeundersökningar i jordbruksvattendrag. Dessa har indelats i sådana som dikats eller ej. Punkten redovisar medelvärdet och strecken kring medelvärdet ett så kallat 95 %-konfidensintervall. Medelvärde och konfidensintervall borde ligga över det tjocka svarta strecket för att vara vid god ekologisk status enligt Ramdirektivet för vatten. Data från Svenskt ElfiskeRegiSter (SERS) vid institutionen för akvatiska resurser, SLU.



Figur 24. Effekter av förändringar i morfologin hos kustvattendrag på simpa. Andelen vattendrag som är kanaliserade påverkar förekomst (staplar) och mängd simpor (avlånga boxar) enligt elfiskeundersökningar. I de avlånga boxarna är det vågräta strecket i mitten av boxen medianvärdet och de svarta lodräta strecken visar ett slags osäkerhetsintervall. Data från Svenskt ElfiskeRegiSter (SERS) vid institutionen för akvatiska resurser, SLU.

älvsträckor förvandlades till stora vattenmagasin bakom höga dammar. De blev oöverstigliga hinder för fiskens vandringar. På detta sätt försvann den vilda laxen från Luleälven, Skellefteälven, Umeälvens huvudfåra, Ångermanälven, Indalsälven, Ljusnan, Dalälven, Motala ström samt Lagan och Göta älvs huvudfåra (figur 22). Laxen blev därmed en symbol, en sinnebild och en indikator, för vad som hänt i våra älvar.

De stora problemen för våra vattendrag är framförallt försurning (har behandlats ovan) och att vattendragens morfologi (läge, fåra, stränder och botten) och hydrologi (vattenföring) påverkats. Som ett exempel kan redovisas tillståndet för jordbruksvattendrag, dvs. vattendrag i jordbruksområden där närmiljön domineras av åker och äng. I databasen SERS har vi 3717 enskilda elfiskeundersökningar i sådana vatten (se figur 4). Hela 52 % av dessa var sannolikt av måttlig eller sämre ekologisk status. Här måste åtgärder till för att uppfylla miljökraven enligt Vattendirektivet. Speciellt i jordbruksvattendrag som hade dikats för att öka vattenavrinningen var statusen dålig (figur 23).

Många vatten i jordbrukslandskapet och nära tätorter har kanaliseras, de har grävts djupare, rätats och stränderna är inte längre långgrunda utan tvärt djupa. När man grävde försvann stenar och stockar som gjorde bottenmiljön mångformig och när stränderna försvann så blev miljön ytterligare fattigare. Många arter, både fiskar och andra djur samt växter, påverkas negativt. Nedan har vi ett exempel på vad som händer med simporn. Simporna i sötvatten är små bottenlevande arter. Stensimpa och bergsimpa lever i rinnande vatten, hornsimpa i djupa sjöar. Simporna har dålig simförmåga, dels för att de saknar simblåsa som hjälper till att hålla fisken svävande i vattnet, dels för sin tillplattade kroppsform som mest är till för att ge skydd mot rovdjur och stark vattenström. Sten- och bergsimpa har svårt att klara att leva i ensartade miljöer där de inte har ett bra bottensubstrat att kravla runt uti. När ingen del av vattendraget kanaliseras förekom simporna i cirka 60 % av 52 undersökta kustvattendrag (Degerman m.fl. 2005), men när mer än 40 % av vattendraget var kanaliserat så fanns det bara simporna i 2 % (figur 24). Samtidigt minskade mängden simporna. Det intressanta är kanske att redan när 1-10 % av vattendraget var kanaliserat så syntes tydliga minskningar i förekomst och mängd av simporna. De är alltså väldigt känsliga mätare av tillståndet i den fysiska miljön, och redan små ingrepp i miljön får konsekvenser.

Även fisken på kusten påverkas av förändrade förhållanden i jordbrukslandskapet. Många vårlekande fiskarter på kusten (t.ex. gädda, abborre, id, lake, mört) utnyttjar kustmynnande vattendrag och våtmarker som lek- och uppväxtområden (Ljunggren m.fl. 2011). Vid vårfloden ökar vattennivån i dessa vattendrag och med en ökande

dygnstemperatur värms vattnet i dessa också upp fortare än i de omgivande vattnen på kusten. Många fiskarter söker sig då upp i vattendragen för att leka. Hos många arter stannar ynglen även kvar under någon eller några veckor för att dra nytta av en hög produktion av föda i samma vattendrag. Betydelsen av dessa vattendrag för bestånden av fisk på kusten har sannolikt varit stor historiskt sett. Ofta låg permanenta fångstanordningar (fiskeverk) just vid mynningsområdena för dessa. I och med jordbrukets kanalisering av vattendrag och utdikning av våtmarker återstår det idag endast en spillra av dessa miljöer, och fisken på kusten utnyttjar dessa i varierande grad längs olika delar av vår kust. Under de senaste åren har intresset ökat starkt för att återskapa dessa miljöer, som ett led i att förhoppningsvis stärka utarmade bestånd av fisk på kusten. Sportfiskarna är den ledande aktören på området idag och arbetar med att återskapa våtmarker för framförallt gädda (så kallade gäddfabriker) längs ett flertal kuststräckor på ostkusten.

Även om flera fiskar på kusten använder kustmynnande vattendrag och våtmarker som lek- och uppväxtområden, överstiger den totala ytan av möjliga lekområden på kusten generellt vida den som finns i sötvatten. Många fiskarter på kusten leker och växer i grunda skyddade vikar där vattentemperaturen är relativt hög och tillgången på föda god (Sundblad m.fl. 2011). Studier visar att tillgången på dessa nyckelhabitat kan påverka hur mycket vuxen fisk det finns i området, där gott om fungerande habitat ger mycket vuxen fisk (Sundblad m.fl. 2014). Intresset hos fisken för dessa miljöer sammanfaller tyvärr väldigt ofta med intressena hos oss människor. Vi anlägger gärna sandstränder, bryggor och hamnar i just de skyddade vikar som fisken föredrar. Uppförandet av dessa konstruktioner och framförallt trafiken av båtar som en effekt kan ha stor negativ påverkan på djur- och växtlivet under vattenytan. Anläggandet av sandstränder, bryggor och hamnar förändrar förutsättningarna för djur och växter radikalt genom att deras naturliga livsmiljö tas bort eller genomgår en betydande förändring. Båttrafik leder i sin tur till en ökad grumling och upprörande av bottenmaterial.

Exploateringsstrycket på grunda havsvikar är stort och ökande, framförallt i tätbefolkade områden. Kartläggningar i Stockholms skärgård visar att mellan en halv och en procent av fiskens lek- och uppväxtmiljöer exploateras och förstörs årligen (Sundblad & Bergström 2014). Uppskattningsvis har 40 % av dessa habitat exploaterats sedan 1960-talet, och takten med vilken denna exploatering sker verkar inte minska. Detta är en mycket oroande utveckling och kan i förlängningen leda till betydande minskningar av bestånden av fisk som abborre, gädda, gös och mört på kusten.

Så när abborrarna i din vik minskar i antal kan orsaken vara den omfattande exploateringen som sker av kusten. Dina uteblivna napp kan vara ett tecken på en storska-



Figur 25. Hugo har tröttnat på att inte få någon abborre på kroken. Han vet inte att det inte är hans fel utan orsakas av exploatering av grunda vikar som är fiskens barnkammare. Foto: Erik Degerman.

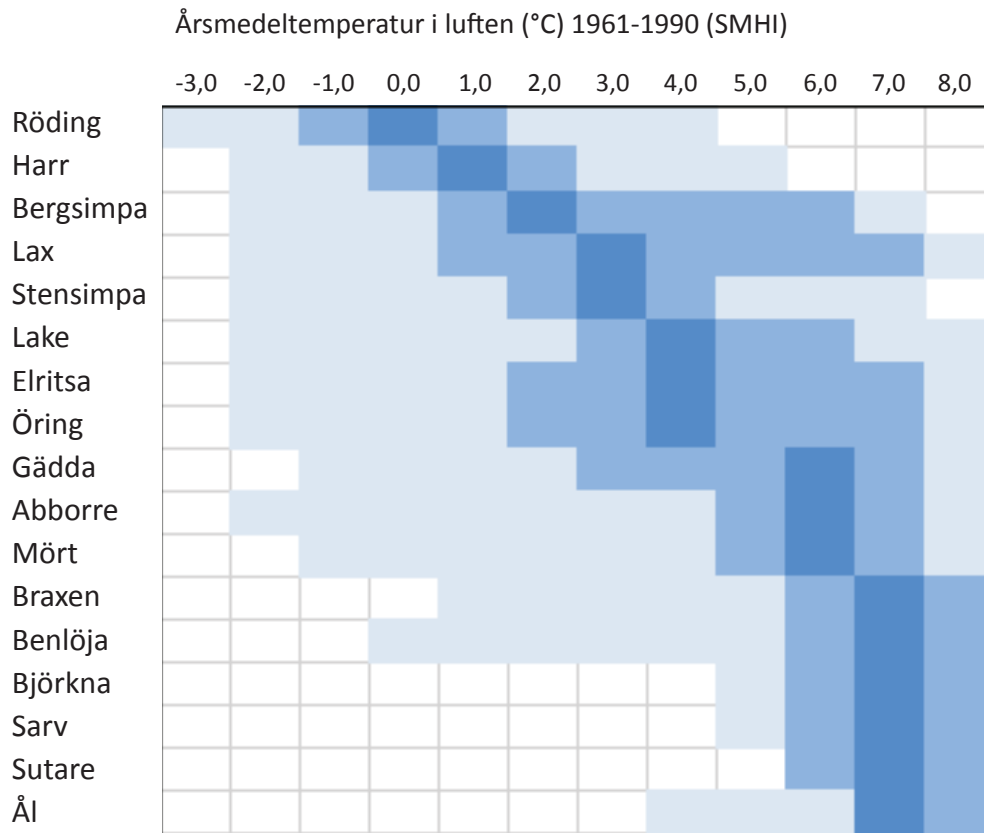
lig påverkan och inte att du blivit sämre på att fiska (figur 25). Sambanden mellan fisk och en förändrad fysisk miljö kan dock vara svåra att förstå. Abborrarna hos dig kan ha minskat för att lekplatsen i nästa vik förstörts. Men god förekomst av yngel av varmvattenarter som abborre, gädda och mört i grunda skyddade vikar på kusten är en bra indikator på ett välmående och fungerande undervattenshabitat.

I början av 1980-talet beskrevs västkustens badvikar som fiskens barnkammare och skafferi. Liknelsen avsåg hur plattfiskar som rödspotta använde badvikarnas kombination av god födotillgång, få rovdjur och hög vattentemperatur under sitt yngelstadium. Större uppväxande fisk som torsk, flundra (skrubbskädda) och havsöring vandrar också in i till de grunda områdena för att äta ur badvikarnas skafferi. Även i Västerhavets kustområden pågår en fortsatt exploatering som minskar mängden tillgängliga vikar som kan ge skydd och födotillgång för uppväxande fisk. Eftersom kustens grundområden är uppväxtområden för bland annat torsk och rödspotta från hela Västerhavet så är bevarandet av kustens grundaste miljöer viktiga för hela Västerhavets fiskbestånd och fiskemöjligheter.

Klimatförändringar

Fiskar är växelvarma och deras aktivitet, tillväxt och ämnesomsättning styrs av vattentemperaturen. De flesta arter i sötvatten får gå på sparlåga under vintern då den låga temperaturen begränsar deras aktiviteter. Många arter leker på våren när vattnet börjar värmas upp, bland de första är gäddorna som kan leka i grunda vikar medan isen ännu ligger kvar längst in. Iden och aspen vandrar upp i vattendragen i april och sedan kommer abborren till lek. Därefter leker olika karpfiskar under successivt stigande temperaturer fram till slutet av juni i norra Sverige. Den befruktade rommen kläcks i regel efter några veckor efter leken och genom en lång anpassning, lagom vid en tid då det finns föda av rätt slag för de små fiskynglen. Vårens ankomst, och därmed de ökande vattentemperaturerna, varierar förstås mellan åren. Alltså kan leken variera något i tid, liksom det datum då ynglen kläcks.

I hav och sjöar kan fiskar i djupa vatten söka upp den vattentemperatur som är lämpligast vid varje tillfälle. Sommartid söker sig kallvattensarter mot det kallare bottenvattnet och varmvattensarter går ytligare och ibland mer strandnära. I strömmande vatten är däremot temperaturen ganska likartad mellan yta och bottenvatten. Förekomsten av fiskarter i strömmande vatten säger därför något om deras temperaturkrav. Vattentemperaturen styrs av lufttemperatur och solinstrålning. Om man beräknar årsmedeltemperaturen i luften (medelvärde 1961-1990 enligt SMHI) på de lokaler där vi fångat olika fiskarter i strömmande vatten får man en tydlig zonerings med kallvattensarter och varmvattensarter (figur 26). Den arktiska rödingen återfinns i kallare områden än varmvattensarter som braxen, benlöja, sarv och sutare. En årsmedeltemperatur i luften på runt 0 grader återfinns normalt i nordligaste Sveriges inland, medan årsmedeltemperaturer på åtta grader finns i ett smalt band utmed kusten från Stockholm till norra Bohuslän. Sydsvenska höglandet brukar hamna runt sex grader. Alla våra fiskarter har temperaturer som de trivs bäst vid och ett förändrat klimat kommer att påverka faunan. Arterna förekomst i landet kan alltså ses som en mängd små klimatövervakare. Om klimatet blir varmare kommer arternas förekomst att påverkas.



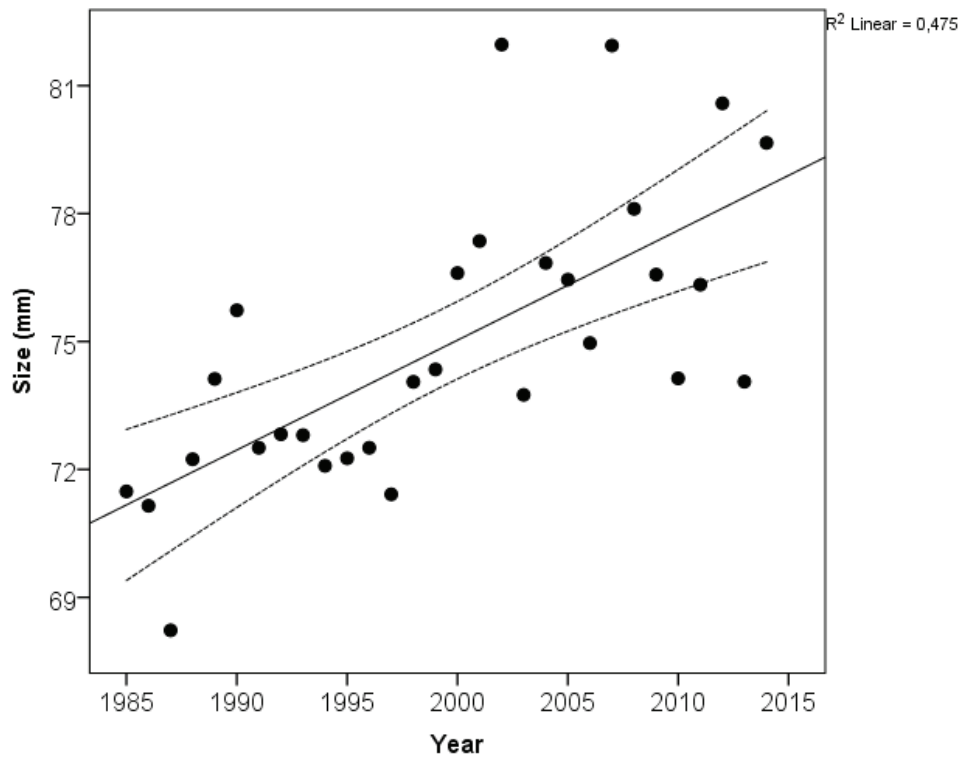
Figur 26. Årsmedeltemperatur i luften (enligt SMHI) vid strömmande vatten där olika fiskarter fångats vid elfiske. Mörkt blå indikerar området där huvuddelen (25 % - 75 %-percentilen) av fångsterna gjorts, ljusare blå visar området med mindre frekventa fångster (5-25 % respektive 75-95 %) och det ljusaste blå området visar hela intervallet där arten fångats. Data från Svenskt ElfiskeRegiSter (SERS) vid institutionen för akvatiska resurser, SLU.

Det senaste seklet har klimatet blivit varmare. I vår övervakning ser vi att detta får konsekvenser för fisken i form av ändrad utbredning av vissa arter. Vi ser också bland annat att unga havsöringar i vattendrag på västkusten blir allt större under sin första sommar. Fiskens storlek blev alltså en indikator på klimatförändringen (figur 27).

Liknande mönster ser man även hos fisken på kusten och i havet. Abborren är en art som tydligt gynnas av högre vattentemperaturer, och en god tillväxt hos arten under början av 2000-talet kan kopplas till gynnsamma och varma somrar (Olsson & Söderberg 2009). I utsläppsområdet av kylvatten för våra kärnkraftverk är vattentemperaturen väldigt fördelaktig för varmvattenarter som abborren. Provfisken i den av kylvattnet från kärnkraftverket i Forsmark uppvärmda Biotestsjön visar att abborren (både vuxen fisk och yngel), har en väsentligt högre tillväxt här än i det uppvärmda referensområdet (Adill m.fl. 2013).

Även själva artsammansättningen i fisksamhället kan påverkas av förändringar i klimatet. Utsläppsområden för kylvattnet från våra kärnkraftverk har gett oss unika möjligheter att studera effekter på ekosystemet av förhöjda vattentemperaturer. Vattentemperaturer direkt i utsläppsplymen kan vara så mycket som tio grader högre än det i omgivande vattnet. Vi har övervakat fisksamhället i dessa recipienter i jämförelse med opåverkade referensområden sedan 1960-talet. Vad vi ser är en ökad förekomst av varmvattenarter i recipienten och även en anlockning av arter som normalt inte förekommer på våra breddgrader.

Men även under naturliga förhållanden längs våra kuster ser man numera liknande effekter. Effekter av ett varmare klimat i Östersjön kan ses som en ökning av vattentemperaturen och i vissa fall en minskning av salthalten, delvis till följd av en ökad avrinning från land. Arter med ett sötvattensursprung (abborre, gädda och karpfiskar) gynnas generellt av lägre salthalter och högre vattentemperaturer, medan de som föredrar kallare vatten (sik och andra laxfiskar) eller som är av ett marint ursprung (torsk och strömming) missgynnas av dessa förändringar (Olsson m.fl. 2012). Även om minskningen i salthalt i Östersjön under de senaste åren har avklingat av och till viss del vänt, kommer den ökande dominansen av sötvattenarter sannolikt att fortsätta som följd av ett varmare klimat och ökande vattentemperaturer. Balansen mellan marina och sötvattensarter och de med olika temperaturpreferenser fungerar således som en bra indikator på klimatförändringar.



Figur 27. Storleken (mm) på den största årsungen av havsöring som ett medelvärde för vattendrag på västkusten från 1985-2015. Den heldragna linjen visar den signifikanta trenden i ökad storlek. Ökningen är i realiteten liten, ca 0,3 mm per år. Så små förändringar kan man inte upptäcka utan att ha långa och omfattande övervakningsprogram. Ökningen var mest korrelerad till varmare vårar, och inte sommartemperaturen. Det tycks alltså vara så att fiskarna kläcker tidigare på våren och hinner växa sig lite större till augusti när de fångas med elfiske (se figur 3). Under publicering (D. Aldvén m.fl.).

Säsongsvariationen i vattentemperatur är som störst vid ytan och minskar med ökande djup. Som ett svar på högre vattentemperaturer har Nordsjöns kallvattenarter förflyttat sig till större djup och värmegynnade arter uppehåller sig på grundare vatten. Medeldjupet för kallvattenarter som marulk och glasvar har ökat med 12-14 m per årtionde, medan medeldjupet för varmvattenarter som tunga och skäggtorsk minskat med 6-7 m per årtionde (Dulvy m.fl. 2008). Rödspotta som tidigare hade sin barnkammare i de allra grundaste vikarna använder nu ett större djupintervall som uppväxtområden (van de Wolfshaar m.fl. 2015). Med ett allt varmare klimat visar våra övervakningsdata att arter kan tvingas använda miljöer som tidigare erbjudit låg tillväxt eller överlevnad. Likaså kan populationer tvingas överge tidigare använda miljöer på grund av för höga vattentemperaturer. Exempelen ovan visar att den geografiska utbredningen såväl som djuputbredningen redan idag fungerar som en indikator på havets uppvärmning till följd av klimatförändringar.

När en art minskar och en annan ökar på en lokal behöver detta inte nödvändigtvis bero på en förändring i hur vanlig arten är totalt sett. I öppna system som i havet och längs våra kuster kan arters förekomst även kopplas till förändringar i utbredningsmönster. I Nordsjön, dit den svenska västkusten räknas, visar data från fiskövervakningen (IBTS) på tydliga förändringar i artsammansättning av fisk. Ytvattentemperaturen i Nordsjön har ökat med 1,3 °C under de senaste 30 åren (Sherman & Hempel 2009), fyra gånger mer än den genomsnittliga globala ökningen. Analyser visar att värmegynnade arter som ansjovis, taggmakrill och multe fått en mer nordlig utbredningsgräns i Nordsjön (Beare m.fl. 2004). Även hos arter som torsk och tunga har den huvudsakliga tyngdpunkten förskjutits norrut (Perry m.fl. 2005). Den nordliga förskjutningen av arter som observeras i fiskövervakningen återspeglas i förändrade landningar i yrkesfisket. Landningarna av kallvattenarter har minskat och landningarna av varmvattenarter ökat under de senaste årtiondena. Det är därför inte osannolikt att klimatförändringarna kommer att återspeglas i fiskdiskens utbud eller i vad fiskrestaurangerna serverar som dagens fångst i framtiden. Här kan vi alla hålla utkik efter tecken på klimatförändringen.

Främmande arter

Övervakningen av vår miljö kan också visa när det dyker upp främmande arter, dvs. arter som är nya för landet. Faran ligger i att de nya arterna kan konkurrera med våra inhemska arter. En enda främmande fisk eller kräfta/hummer utgör i detta fall alltså en indikation på att ekosystemets naturliga biologiska mångfald är hotad. En ny art av fisk, kräfta eller hummer har även med sig egna virus, bakterier, svampar och parasiter, och de lokala arterna har ofta inte motståndskraft mot dessa. När man släpper ut en främmande fisk eller skaldjur i ett vatten tillför man ett helt nytt ekosystem.

Arter har flyttats och introducerats i nya vatten i minst 1 000 år, och många av dessa introducerade arter och bestånd uppfattas idag som naturliga. Ett exempel kan vara karp som infördes på 1500-talet. Vi räknar med att det finns 2 000 främmande arter, både terrestra och akvatiska, i Sverige idag.

Signalkräfta

Ett klassiskt exempel på risken för överföring av sjukdomar är introduktionen av nordamerikanska kräftarter till Europa. När fartygen med migranter gick från Europa till Nordamerika måste de ju ha med sig något i lasten på resan tillbaka. Bland mycket annat skeppades levande nordamerikanska kräftor som introducerades i sjöar på kontinenten. Problemet var att dessa kräftor bar på en svamp som de i princip var immuna mot, kräftpesten. De europeiska kräftorna hade dock inte stött på svampsjukdomen tidigare och hela bestånd slogs ut. Kräftpesten spred sig över hela Europa och nådde Ryssland och strax därpå Finland (1893). Trots kännedomen om denna pest vidtog svenska myndigheter inga åtgärder. Sjuka finska kräftor importerades levande till Stockholm. De som dog gick inte att sälja och dumpades i Mälaren. Året var 1907 och smittan spreds i sjön och samma år dog Mälarens flodkräftor ut. Senare detta ödesår införde myndigheterna införselförbud för levande kräftor. Naturligtvis gagnade detta föga och pesten spred sig redan 1908 till Sveriges förnämsta kräftsjö Hjälmaren och raderade beståndet på en sommar. Sedan dess har kräftpesten spritt sig över hela södra Sverige och endast ett fåtal bestånd med vår flodkräfta lever kvar, de flesta i Norrland.

Till slut gav man upp försöken att återintroducera flodkräftor till vatten där de dött ut. År 1969 importerades istället 60 000 signalkräftor (figur 28) från USA och sattes ut i 60 olika vatten i södra Sverige. Några ytterligare importer skedde, men snart blev Sverige självförsörjande och producerade egna yngel för utsättning. Signal-



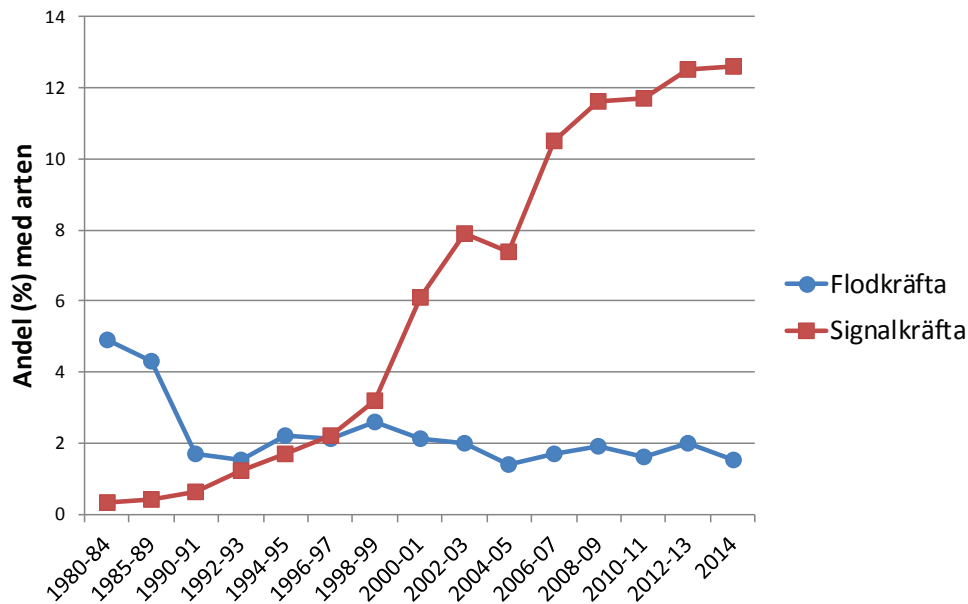
Figur 28. En nordamerikansk signalkräfta. Signalen är den blåvita fläcken i tumgreppet, ofta mer vit än på bilden. Klorna är betydligt slätare än hos vår flodkräfta. Foto: Erik Degerman.

kräftan bär ofta på svampen som ger kräftpest och utsättningar av signalkräftor har blivit ett ytterligare hot mot flodkräftan. Därför har man infört restriktioner så att signalkräftor inte får sättas ut i nya vatten. Med det sker en massa illegala utsättningar (Bohman m.fl. 2013). Faktum är att mängden vattendrag där vi stött på signalkräfta ökat signifikant, medan flodkräftan går ”kräftgång” (figur 29). Varje nytt vatten med fynd av signalkräfta är en varning om att flodkräftan kommer att bli allt ovanligare. Idag är flodkräftan rödlistad som starkt hotad (SLU Artdatabanken 2015).

Svartmunnad smörbult

Den främmande fiskart som fått störst spridning och uppmärksamhet under senaste åren är den svartmunnade smörbulten (figur 30). Arten upptäcktes först längs den polska kusten, i Gdanskbukten, under början av 1990-talet, och har sannolikt förts in via barlastvatten hos fartyg från Svarta havet där den har sitt ursprung (Florin & Karlsson 2011). Arten etablerade sig ganska snabbt i området och har kommit att dominera fiskfaunan i polska kustområden. Under följande år spred sig arten norrut längs Baltikums kuster, och förekommer idag så långt norrut som i Finska viken, i vattnen runt Helsingfors och på Åland (Mariehamn).

I Sverige upptäcktes arten för första gången i Karlskrona skärgård 2008, till vilken den sannolikt förts med fartyg som ankrat i Karlskrona hamn (Florin & Karlsson 2011). Även om arten inte haft en lika explosionsartad utveckling som längs Öster-



Figur 29. Förekomsten av flodkräfta och signalkräfta i Sverige från 1980 till 2014. Andel (%) undersökta vatten där kräftor påträffats vid elfiskeundersökningar. Data från Svenskt ElfiskeRegister (SERS) vid SLU. Varje datapunkt motsvarar medelvärdet av cirka 2 000–4 000 undersökningar.



Figur 30. Två exemplar av den svartmunnade smörbulten som fångats under provfisket vid Muskö (södra Stockholms skärgård). Arten uppträdde för första gången i området, som är det nordligaste fångstområdet för arten längs den svenska kusten, år 2013, och har sedan dess ökat drastiskt i förekomst. Foto: Susanne Tärnlund.

sjöns östra kuster, förekommer den idag talrikt i Blekinge skärgård. Arten har även hittas i andra hamnar med betydande fartygstrafik som Visby, Göteborg och Nynäs-hamn, som är den nordligaste observationslokalen för arten i Sverige - hittills.

Den svartmunnade smörbulten kan vara förvillande lik den inhemska svarta smörbulten, men blir generellt större (ca 20 cm). Den blir könsmogen vid ung ålder och kan under gynnsamma förhållanden leka upp till sex gånger per säsong. Arten föredrar sand- och stenbottnar med inslag av större stenar och klippor med inslag av vegetation, och livnär sig på främst bottendjur som musslor.

Även om det längs den svenska kusten finns ont om vetenskapligt belägg för artens negativa påverkan på fisk- och bottenfauna, så är resultaten från den kusten i Baltikum mer övertygande. Där arten nu förekommer talrikt finns det knappt några musslor kvar på botten, och förekomsten av skrubbskädda och andra fiskar som livnär sig på musslor har minskat samtidigt som smörbulten ökat. Med tanke på artens biologi med möjlighet till snabb förökning och dess explosionsartade utveckling längs Östersjön ostliga kuster, bör vi i Sverige fortsätta övervaka artens spridning, dokumentera dess effekter på ekosystemet, och där det är möjligt begränsa smörbultens fortsatta spridning och etablering.

Avslutningsord

Fisk kan indikera många olika typer av miljöförändringar. Ofta kan de bakomliggande orsakerna till förändringarna vara komplexa, där störningar av födovävarna ger obalans i systemen. När spigg plötsligt ökade i Östersjöns kustvatten kan det ha varit kopplat till både ett ensidigt fisketryck som missgynnade torsk och strömming men också till en ökad närsalttillförsel till kust och hav, ett varmare klimat och förändringar i djurplanktonens artsammansättning och förekomst. Ofta är det också flera olika miljöförändringar som förstärker varandras effekt och som ger en påverkan på fisken. Det kan även vara så att fisken i ett ekosystem i obalans påverkas av en miljöfaktor som annars skulle haft liten effekt om systemet varit i balans.

Långsiktig miljöövervakning är en förutsättning för att upptäcka problem i tid. En lovande utveckling för den nära framtiden är att använda allt mer sofistikerade metoder för miljöövervakningen, till exempel eDNA. Det är en metod som går ut på att detektera de rester av DNA som svävar runt i vattnen, dvs. spårbarare som visar vilka arter som finns i vattnet. Kanske kan vi i framtiden ta ett vattenprov och säga om en art förekommer eller inte, vilket är attraktivt för att studera arters utbredning och spridning. Men metoden gör det inte möjligt att se hur fisken mår eller hur den tillväxt, och många av de standardiserade provtagningsmetoderna vi redovisat i avsnitt 2 kommer att ha en fortsatt viktig användning för att använda fisk som miljöindikator.

Användningen av fisk som miljöindikator har ju den fördelen att allmänheten ofta är intresserad av arterna och känner igen många av dem. Den breda allmänheten är en miljöövervakare som slår larm när något verkar fel, som när fisken har skador, bestånden minskar, döda fiskar flyter omkring, eller för att upptäcka främmande och oväntade arter i våra vatten. I denna rapport har vi redovisat försurningen i sötvatten som ett exempel på hur allmänheten upptäckt miljöproblem genom sitt intresse för fisk och fiske. Medborgarnas bidrag till miljöövervakning och forskning brukar ofta kallas medborgarforskning ("citizens science"). För de som är intresserade av att bidra med sina artfynd rekommenderar vi ett besök på Artportalen hos SLU Artdatabanken (<http://www.artportalen.se/>). Om man specifikt vill rapportera in så kallade invasiva främmande arter i havet, som svartmunnad smörbult, kan man rapportera via den speciellt utvecklade appen för mobiltelefoner – "Rappen". Den hittar man på Havs- och vattenmyndighetens hemsida.

Fiskar spannar över en stor bredd av egenskaper, som olika livslängd, miljökrav, födoval, tillväxthastigheter och rörelsemönster. Fiskarnas egenskaper är väl kända genom de omfattande studier som genomförs. Som miljöindikator berättar fisk

inte bara hur miljön ser ut utan även mycket om vilka ekosystemtjänster som våra vatten kan generera. Vatten skall fungera som dricksvatten och användas till bevattning, men till exempel även erbjuda möjligheter till fiske, akvakultur och rekreation. Dessa verksamheter ska balanseras mot andra behov, som att använda vatten som transportled och för energikälla. Vattenkraftutvinning är ett exempel på en ekosystemtjänst som nyttjats med ringa miljöhänsyn, tänk bara på den utestängda laxen i Ångermanälven. Fisken som miljöindikator berättar därmed om hur vår miljö mår och visar även effekterna av de sätt på vilket olika akvatiska naturresurser har nyttjats och ibland överutnyttjats.

Vi tror att fisk kommer att få en allt större betydelse för miljöövervakningen i framtiden, t.ex. genom att vara utpekad som viktig indikator i de av EU beslutade förvaltningsdirektiven, i sötvatten (Ramdirektivet för vatten) och hav (Havsmiljödirektivet). För detta behöver vi fortsatt övervakning och studier som på ett tydligt sätt belyser hur fisken svarar på yttre miljöpåverkan, och hur fisken påverkar födoväven och sin omgivande miljö. I vår övervakning strävar vi efter metoder som är kostnadseffektiva, statistiskt väl underbyggda och inte medför ett onödigt stort uttag av resursen. De skall också möjliggöra att vi upptäcker förändringar i miljön i god tid.

Erkännanden

För att sammanställa denna rapport har vi tagit hjälp av våra kolleger. Vi vill särskilt tacka Ulf Bergström, Ann-britt Florin, Kerstin Holmgren och Henrik Ragnarsson Stabo för konstruktiva kommentarer. Martin Karlsson, IVL, och Staffan Åkerblom, institutionen för vatten och miljö på SLU, ställde välvilligt figurer och data till vårt förfogande. Johan Törnblom svarade för granskning av manuset. Arbetet finansierades av Havs- och vattenmyndigheten samt SLU:s samordnade arbete med fortlöpande miljöanalys (Foma).

Referenser

- Adill, A., Mo, K., Sevastik, S., Olsson, J. & L. Bergström (2013). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk – Sammanfattande resultat av undersökningar fram till år 2012. Aqua reports 2013:19. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 69 s.
- Almer, B. (1972). Försurningens inverkan på fiskbestånd i västkustsjöar. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm. Nr. 12. 47 s.
- Appelberg, M. & E. Degerman (1991). Development and stability of fish assemblages after lime treatment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48: 546-554.
- Ask, L. & E. Degerman. 2006. Fiskevårdens historia. s. 161-163. Ur: Lindgren, B. & H. Carlstrand (red.) Kustfiske och fiskevård - en bok om ekologisk fiskevård på kusten. Sportfiskarna. Bokförlaget Settern, Örskelljunga.
- Axenrot, T. & E. Degerman (2015). Year-class strength, physical fitness and recruitment cycles in vendace (*Coregonus albula*). Fisheries research, 173:61-69.
- Beare, D.J., Burns, F., Greig, A., Jones, E.G. m.fl. (2004). Long-term increases in prevalence of North Sea fishes having southern biogeographic affinities. Mar. Ecol. Prog. Ser. 284: 269-278.
- Beier, U., Degerman, E., Sers, B., Bergquist, B. & M. Dahlberg (2007). Bedömningsgrunder för fiskfaunans status i rinnande vatten - utveckling och tillämpning av VIX. Fiskeriverket Informerar, 2007:5.
- Bergquist, B.C. (1991). Extinction and natural recolonization of fish in acidified and limed lakes. Nord. J. Freshw. Res. 66:50-62.
- Bergquist, B. (red.) (2000). Kalkade vattendrag – miljö kvalitet och biologisk mångfald. Utvärdering av IKEU-programmets första sex år. Naturvårdsverket Rapport 5076, 167 s.
- Bergquist, B., Degerman, E., Petersson, E., Sers, B., Stridsman, S. & S. Winberg (2014). Standardiserat elfiske i vattendrag – en manual med praktiska råd. Aqua reports 2014:15. Sveriges lantbruksuniversitet, Drottningholm. 165 s.
- Bergström, L., Carstensen, J., Bergström, U. & J. Olsson (2015). Coastal fish abundance in relation to environmental gradients - variability at different scales. Presentation på WATERS final Conference: Tools for assessing status of European aquatic ecosystems. Malmö 6-7 maj, 2015.
- Bergström, L., Heikinheimo, O., Svirgsden, R., Kruze, E., Lozys, L., Lappalainen, A., Saks, L., Minde, A., Dainys, J., Jakubaviciute, E., Ådjers, K & J. Olsson (2016). Long term changes in the status of coastal fish in the Baltic Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science 169:74-84.
- Bernes, C. (1991). Försurning och kalkning av svenska vatten. Monitor 12. Naturvårdsverket, Stockholm. 144 s.
- Bernes, C. & L. J. Lundgren (2009). Bruk och missbruk av naturens resurser - en svensk miljöhistoria. Monitor 21. Naturvårdsverket, Stockholm. 304 s.
- Bohman, P., Degerman, E., Edsman, L. & B. Sers, 2011. Exponential increase of signal crayfish in running waters in Sweden – due to illegal introductions? Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 401, 23.

- Brodin, T., Fick, J., Jonsson, M. & J. Klaminder, 2013. Dilute concentrations of a psychiatric drug alter behavior of fish from natural populations. *Science* 339:814-815.
- Casini, M., Lövgren, J., Hjelm, J., Cardinale, M., Molinero, J. C. & G. Kornilovs (2008). Multi-level trophic cascades in a heavily exploited open marine ecosystem. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 275: 1793-1801.
- Degerman, E. & T. Ekman (2004). De stora blå – fisk och miljö i våra fyra största sjöar. Gullers förlag, Karlstad. 143 s.
- Degerman, E., Beier, U. & B. Bergquist (2005). Bedömning av miljötillstånd i kustvattendrag med hjälp av fisk. *Finfo* 2005:1, 66 s.
- Degerman, E., Petersson, E. & B. Bergquist (2016). Effekter av kalkning på fisk i rinnande vatten. Havs- och vattenmyndigheten rapport 2015:23, 75 s.
- Dimberg, P. H. & A. C. Bryhn (2016). Quantifying water retention time in non-tidal coastal waters using statistical and mass balance models. *Water, Air, & Soil Pollution*, In press.
- Drachman, A.G. (1963). Antikens teknik. 144 s. Prisma Magnum, Stockholm.
- Dulvy, N.K., Rogers, S.I., Jennings, S., Stelzenmüller, V., Dye, S.R. & H.R. Skjoldal (2008). Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas. *J. Appl. Ecol.* 45: 1029-1039.
- Edgren, J. (2005). Effects of a no-take reserve in the Baltic Sea on the top predator, northern pike (*Esox lucius*). Examensarbete 2005:28 Institutionen för systemekologi, Stockholms universitet.
- Ek, A., Löfgren, S., Bergholm, J & U. Qvarfort (2001). Environmental effects of one thousand years of copper production at Falun, central Sweden. *Ambio* 30: 96–103.
- Eriksson, B. K., Sieben, K., Eklöf, J., Ljunggren, L., Olsson, J., Casini, M. & U. Bergström (2011). Effects of altered offshore food webs on coastal ecosystems emphasize the need for cross-ecosystem management. *Ambio* 40: 786-797.
- Feely, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry VJ & F.J. Millero (2004). Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans. *Science* 305:362-366.
- Filipsson, O. (1989). Fisket inverkan på fiskens storlek i fjällsjöar. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm. Nr 3:1-18.
- Florin, A. B., Bergström, U., Ustups, D., Lundström, K., & P.R. Jonsson (2013). Effects of a large northern European no-take zone on flatfish populations. *Journal of fish biology*, 83(4):939–962.
- Florin, A.-B. & M. Karlsson (2011). Svartmunnad smörbult i svenska kustområden. *Finfo* 2011:3. Fiskeriverket, 30 s.
- Forsgren, E., Dupont, S, Jutfelt, F. & T. Amundsen (2013). Elevated CO₂ affects embryonic development and larval phototaxis in a temperate fish. *Ecology and evolution* 3(11):3637-46.
- Förlin, L., Larsson, Å., Hanson, N., Parkkonen, J., Nyberg, E., Faxneld, E., Bignert, A., Ek, H. H., Bryhn, A., Gårdmark, A. & J. Olsson (2014). Fokus Kvädöfjärden: Varför mår kustfisken dåligt? *HAVET* 2013/2014: 26–30.
- Havs- och vattenmyndigheten (2015). Fisk- och skaldjursbestånd i hav och sötvatten 2015. Resursöversikt, 209 s.

- HELCOM (2006). Assessment of Coastal Fish in the Baltic Sea. Balt. Sea Environ. Proc. No. 103 A. 26 p.
- HELCOM (2010). Ecosystem Health of the Baltic Sea 2003–2007: HELCOM Initial Holistic 500 Assessment. Balt. Sea Environ. Proc. 122. 63 p.
- Henrikson, L. & Y.W. Brodin (1995). Liming of Acidified Surface Water – A Swedish Synthesis. Springer Verlag, Berlin. 458 p.
- Hesthagen, T., Larsen, B. M. & P. Fiske (2011). Liming restores Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations in acidified Norwegian rivers. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 68: 224-231.
- Holmgren, K. (2013). *Betydelse av fiskens ålder vid bedömning av ekologisk status*. Sveriges lantbruksuniversitet. Aqua reports 2013:5. Sveriges lantbruksuniversitet, Drottningholm. 66 s.
- Holmgren, K., Kinnerbäck, A., Pakkasmaa, P., Bergquist, B. & U. Beier (2007). Bedömningsgrunder för fiskfaunans status i sjöar - utveckling och tillämpning av EQR8. Fiskeriverket Informerar, 2007:3. 54 s.
- Huitfeldt- Kaas, H. (1922). Om aarsaken til massedød av laks og ørret i Frafjordelven, Helleelven og Dirdarselven i Ryfylke høsten 1920. Norsk Jaeger- og fiskeforening: sid. 37-44.
- Jutfelt, F., Vuylsteke, K.B., de Souza, A. & J. Sturve (2013). Behavioural disturbances in a temperate fish exposed to sustained high-CO₂ levels. PLoS One. 2013:8:e65825.
- Karlsson, M., Ragnarsson Stabo, H., Petersson, E., Carlstrand, H. & S. Thörnqvist (2014). Nationell plan för kunskapsförsörjning om fritidsfiske inom fisk-, havs- och vattenförvaltningen. Aqua reports 2014:12. Sveriges lantbruksuniversitet, Drottningholm. 71 s.
- Karlsson, M. & T. Viktor (2014). Miljöstörande ämnen i fisk från Stockholmsregionen. IVL Rapport B 2214, 44 s.
- Kennedy, C.R. (1997). Freshwater fish parasites and environmental quality: an overview and caution. Parasitologia 39(3):249-254.
- Lauridsen, T.L. & R.B. Hansen (2014). Fisk som indikator for vandkvaliteten. Miljø- & Vandpleje, Vol. 39, 2014, s. 4-9. Online.
- Lind, E. & M. Grahn (2011). Directional genetic selection by pulp mill effluent on multiple natural populations of three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). Ecotoxicology 20(3): 503-512.
- Lindström, L. (2002). Falu gruvas miljöhistoria. Stiftelsen Stora Kopparberget & Å F - Miljöforskargruppen AB, Uppsala. 109 s.
- Ljunggren, L., Olsson, J., Nilsson, J., Stenroth, P., Larsson, P., Engstedt, O., Borger, T. & O. Sandström (2011). Våtmarker som rekryteringsområden för gädda i Östersjön. Finfo 2011:1, Fiskeriverket, 63 s.
- Nyberg, P., Appelberg, M. & E. Degerman (1986). Effects of liming on crayfish and fish in Sweden. Water, Air, and Soil Pollution 31: 669-687.
- Odén, S. & Ahl, T. (1970). Försurning av svenska ytvatten. Ymer, Årsbok 1970. Svenska Sällskapet för Antropologi och Geografi, Uppsala. s. 103-122.
- Olsson, J., Bergström, L. & A. Gårdmark (2012). Abiotic drivers of coastal fish community change during four decades in the Baltic Sea. ICES Journal of Marine Science, 69: 691-670.

- Olsson, J. & K. Söderberg (2009). Kustfiskbestånd. HAVET, 2009. Naturvårdsverket och Havsmiljöinstitutet, Stockholm. s 57.
- Olsson, J., Lingman, A. & L. Bergström (2015). Using catch statistics from the small scale coastal Baltic fishery for status assessment of coastal fish. *Aqua reports 2015:13*. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 65 p.
- Perry, A.L., Low, P.J., Ellis, J.R. & J.D. Reynolds (2005). Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308: 1912–1915.
- Petersen, J.K. & L. Pihl (1995). Responses to hypoxia of plaice, *Pleuronectes platessa*, and dab, *Limanda limanda*, in the south-east Kattegat: distribution and growth. *Environ Biol. Fish* 43:311–321.
- Puke, C. (1971). Vattenanalyser inom mellersta fiskeriintendentsdistriktet. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm. Nr 5, 70 s.
- Renberg, I. (1999). Näringstillståndet i Södra Björkfjärden, Mälaren, under tusen år. *Inst. för ekologi och geovetenskap, Umeå univ.* 17 s.
- Sherman, K. & G. Hempel, (Eds.) (2008). The UNEP Large Marine Ecosystem Report: A perspective on changing conditions in LMEs of the world's Regional Seas. UNEP Regional Seas Report and Studies No. 182. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. 22 p.
- Sundblad, G., Bergström, U. & A. Sandström (2011). Ecological coherence of marine protected area networks: a spatial assessment using species distribution models. *Journal of Applied Ecology*, 48:112-120.
- Sundblad G., Bergström U., Sandström A. & P. Eklöv (2014). Nursery habitat availability limits adult stock sizes of predatory coastal fish. *ICES Journal of Marine Science*. [<http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fst056>]
- Sundblad, G. & U. Bergström, 2014. Shoreline development and degradation of coastal fish reproduction habitats. *Ambio* 43:1020-1028.
- Svedäng, H. & S. Hornborg (2014). Selective fishing induces density-dependent growth. *Nature Communications* 5, Article number: 4152. [<http://dx.doi.org/10.1038/ncomms5152>].
- Thulin, J., Höglund, J., Lindesjö, E. (1989) Fisksjukdomar i kustvatten (Fish diseases in coastal waters of Sweden, in Swedish with English summary). *Naturvårdsverket informerar* 99-0459652-2: 1–126.
- van de Wolfshaar, K.E., Tien, N., Griffioen, A.B., Winter H.V. & M. de Graaf (2015). Evaluation of the Dutch Eel Management Plan 2015: status of the eel population in the periods 2005-2007, 2008-2010 and 2011-2013. *IMARES C078/15*, sid 104.
- Viklund K., Förlin L. & J. Larsson (2005). Fisk andas våra p-piller. *Havsmiljö*, 3:4-5.
- Wennhage, H. & L. Pihl (2007). [From flatfish to sticklebacks: assemblage structure of epibenthic fauna in relation to macroalgal blooms](#). *Marine Ecology Progress Series* 335:187-198.
- Åkerblom, S. & K. Johansson (2008). Kvicksilver i svensk insjöfisk – variationer i tid och rum. Rapport 2008:8, Institutionen för miljöanalys, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 20 s.

