

Reduktionsfiske i Växjösjöarna

Slutredovisning av ett LOVA-projekt 2016-2018



Version 2018-12-18

Text och foton: Andreas Hedrén, Växjö Kommun.

Figurer: Andreas Hedrén, Växjö Kommun och Håkan Olofsson, Synlab AB.

Illustrationer (och framsida): Maj Persson.

Innehåll

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sammanfattning | 4 |
| Bakgrund och genomförande | 5 |
| Resultat och effekt på vattenkvalitet samt växt- och djurliv | 6 |
| Vattenkvalitet | 6 |
| Responsens mekanismer: planktivorers och bentivorerers betydelse | 6 |
| Förändringar avseende fisksamhället | 7 |
| Makrofyter breder ut sig | 8 |
| Förändringar avseende bottenfauna..... | 9 |
| Koppling mellan näringsstatus och tungmetaller | 11 |
| Kostnader och intäkter | 13 |
| Intäkter och andra nyttor - Biogas | 14 |
| Lärdomar kring migration av fisk samt dimensionering av fiskeinsatsen | 15 |
| Genomförda och planerade åtgärder i Växjösjöarna..... | 17 |
| Trummen | 17 |
| Växjösjön..... | 17 |
| Södra Bergundasjön..... | 17 |
| uppföljning av åtgärder framöver..... | 18 |
| Trummen | 18 |
| Växjösjön..... | 18 |
| Södra Bergundasjön..... | 18 |
| Kommande uppföljningsrapporter | 19 |
| Utförlig rapport om reduktionsfisket 2016-2018 i Trummen, Växjösjön och Södra Bergundasjön..... | 19 |
| Bottenbehandling av Växjösjön | 19 |
| Bottenbehandling av Södra Bergundasjön | 19 |
| Norra Bergundasjön..... | 19 |
| Referenser..... | 20 |
| Bilagor..... | 21 |
| Bilaga 1: Trummen 2010-2018. | 22 |
| Bilaga 2: Växjösjön 2010-2018 (Bottenbehandlad i slutet av maj 2018-aug 2018). | 23 |
| Bilaga 3: Södra Bergundasjön 2010-2018..... | 24 |

SAMMANFATTNING

Växjö kommun har med statliga LOVA-stöd förmedlade av Länsstyrelsen i Kronobergs län (1,664 mkr) under perioden 2016-2018 bedrivit ett projekt med målsättning att återfå en mer naturlig och gynnsam sammansättning av fisk och växtlighet i Trummen, Växjösjön och Södra Bergundasjön. Inom ramen för detta arbete har ca 200 ton vitfisk tagits ur de tre sjöarna (ca 120-320 kg/ha). Projektet har gett stora förbättringar i vattenkvalitet.

Störst förbättring av vattenkvalitet har uppnåtts i Trummen (ca 60% förbättring på nyckelparametrar såsom grumlighet, klorofyll- och fosforkoncentration i vattnet). I Växjösjön var motsvarande förbättring ca 30 %, fast med lika stor förbättring som i Trummen under vår/försommar. I Södra Bergundasjön iaktogs också en markant förbättring under försommaren 2018, men uttryckt som medelvärden över hela säsongen syns ingen klar förbättring, vilket sannolikt beror på att 2018 var ett extremt varmt år med mycket kraftig värme och internbelastning. I alla tre sjöarna har andelen fiskätande (+ 20 cm) abborre ökat markant.

Projektet kan beskrivas som mycket kostnadseffektivt. Fiskeentreprenaden kostade ca 3 miljoner SEK. Därtill kan läggas ca 0,45 mkr (15 %) för kringkostnader såsom fångsthantering, biologisk uppföljning, projektledning mm. Entreprenadkostnaden var således ca 15 kr /kg uttagen fisk i genomsnitt för de tre sjöarna. Utöver värdet av att avlägsna fosfor tillkommer de ekologiska positiva effekterna med kraftig tillväxt på rovfisk, mer undervattensvegetation, klarare vatten, god status på bottenfauna, mindre rotande i lösa sediment etc. Dessa ekologiska effekter bedöms vara av ännu större värde än värdet av att föra bort 1,5 ton fosfor ur sjösystemet.

Denna rapport utgör bara en enklare sammanställning avseende effekter på vattenkvalitet och växt- och djurlivet i sjöarna. Av rapporten framgår vilka mer djuplodande utvärderingar som är planerade de närmaste åren inom ramen för arbetet med restaurering av Växjösjöarna. Dessutom ges en "halvtidsöversikt" av arbetet med restaureringen av Växjösjöarna.

BAKGRUND OCH GENOMFÖRANDE

Växjö kommun har i flera decennier arbetat med att minska övergödningen i Växjösjöarna. År 2010 togs ett nytt avstamp i åtgärdsarbetet för att på sikt uppnå "god ekologisk status" i sjöarna. Ett omfattande utredningsarbete kulminerade år 2014 i beslut om bifall till en åtgärdsstrategi för Växjösjöarna.

Syftet med åtgärdsarbetet i Växjösjöarna är att sjöarna ska få en mer naturlig karaktär, vilket bl.a. innebär lägre fosforhalter, större siktdjup, mindre algbloomningar och lägre näringsbelastning på nedströms liggande vattenområden.

En viktig del i arbetet med åtgärdsstrategin för Växjösjöarna är att förbättra den biologiska strukturen. Det innebär mer makrofyter, zooplankton och rovfisk samt mindre fytoplankton och vitfisk (både planktivorer och bentivorer). Denna rapport är utgör en enklare sammanställning av det arbete med reduktionsfiske som bedrivits i Trummen, Växjösjön och Södra Bergundasjön 2016-2018.

Kompletterande åtgärder såsom bottenbehandling av bottarna i Växjösjön och Södra Bergundasjön och utökad dagvattenrening, gör reduktionsfiskena i framför allt Växjösjön och Södra Bergundasjön mer långsiktigt hållbara och effektiva. I Trummen är den interna belastningen så pass låg att kemisk fastläggning av fosfor inte bedömts behövlig.



Foto 1 och 2: Reduktionsfisket år 2016 i Trummen. Trubbnate (t.h.) är en art som ökar kraftigt i alla tre sjöarna åren 2016-2018.

Fisket har bedrivits med hjälp av bottengarn under våren från slutet av april och i hela maj månad. Under hösten, huvudsakligen november, har fiske med ringnot bedrivits. I tabell 3 nedan framgår när respektive sjö fiskades.

En mer noggrann beskrivning av genomförandet och fångstens fördelning finns i separata rapporter (Björk-Rengbrandt och Böklin, 2017 och 2018).

RESULTAT OCH EFFEKT PÅ VATTENKVALITET SAMT VÄXT- OCH DJURLIV

I denna rapport ges endast en översiktlig bild av observerade förändringar i samband med genomförda åtgärder. En mer omfattande redovisning planeras i en kommande rapport under 2019. Av denna anledning bygger denna del i rapporten till stora delar på hittills opublicerade data.

Vattenkvalitet

Störst förbättring av vattenkvalitet har uppnåtts i Trummen (ca 60% förbättring på nyckelparametrar såsom grumlighet, klorofyll- och fosforkoncentration i vattnet). I Växjösjön var motsvarande förbättring ca 26 % i ytvattnet, fast med lika stor förbättring som i Trummen under vår/försommar (Mörrumsåns vattenvårdsförbund, opubl. data t o m nov 2018, se bilaga 1-3). I Södra Bergundasjön iaktogs också en markant förbättring under försommaren 2018, men uttryckt som medelvärden över hela säsongen syns ingen klar förbättring, vilket sannolikt beror på att 2018 var ett extremt varmt år med mycket kraftig värme och internbelastning. Skillnaderna i förbättring mellan de tre sjöarna kan till stor del förklaras med att den potentiella internbelastningen i de tre sjöarna är mycket olika. Den potentiella internbelastningen har beräknats till följande värden ($\text{mgP}/\text{m}^2/\text{d}$), (pers kommunikation B. Huser, 2015):

| | | | | |
|--------------|---|----------------|---|-------------------------|
| Trummen: 1,1 | - | Växjösjön: 2,1 | - | Södra Bergundasjön: 7,7 |
|--------------|---|----------------|---|-------------------------|

Utifrån ovanstående är det ett rimligt antagande att i Trummen räcker biomanipulation ensamt bra som åtgärd för att väsentligt förbättra vattenkvaliteten. I Södra Bergundasjön däremot finns och frigörs under vegetationssäsongen så stora mängder fosfat i porvattnet, att det kommer att diffundera upp mycket stora mängder fosfat i vattenfasen. Detta gäller även om bioturbationen minskar till följd av stora uttag av bentivor fisk. I Växjösjön finns också en problematik av detta slag som är långt tydligare än i Trummen, om än inte lika påtaglig som i Södra Bergundasjön. Om denna förklaringsvariabel kan anses korrelera väl med den relativa förbättringen i respektive sjö, så gäller motsatsen för fångstens storlek, även räknat som fångst/ha. I det avseendet är det ett omvänt samband på så vis att långt mindre fångst (kg/ha) togs i Trummen, som uppvisade störst förbättring. Detta kan bero på att Södra Bergundasjön och Växjösjön är avsevärt djupare än Trummen, samt att Södra Bergundasjön dessutom har klart högre eutrofieringsgrad.

Responsens mekanismer: planktivorers och bentivorers betydelse

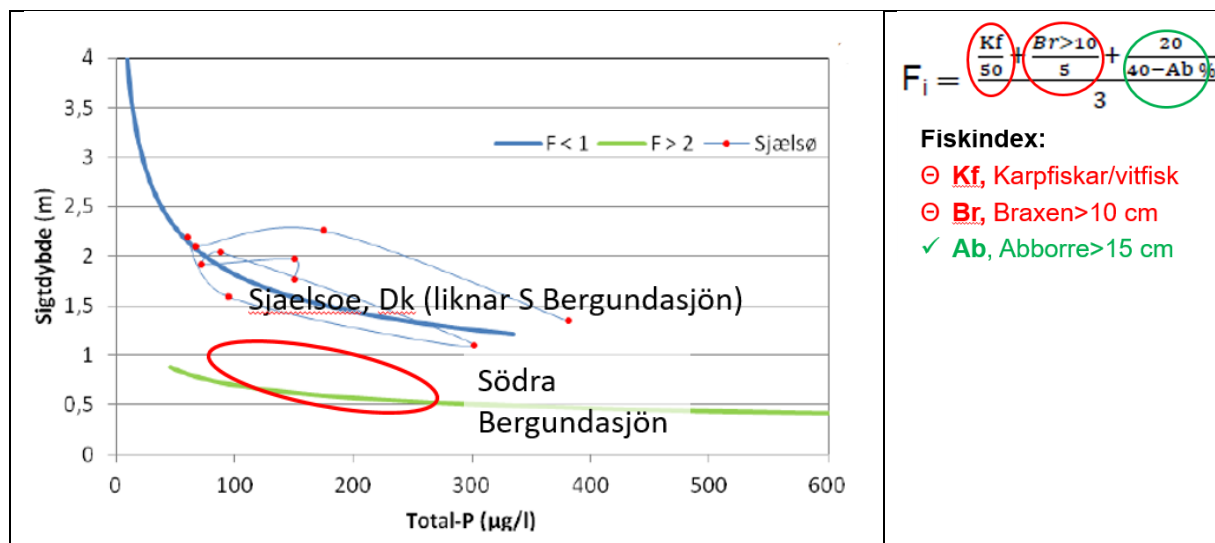
I samband med biomanipulation brukar resonemangen i Sverige till övervägande del handla om vikten av att trycka tillbaka växtplankton genom att öka överlevnaden av djurplankton. I många andra delar av världen har man dock sedan länge haft mer fokus på icke önskvärda *bentiska* processer. Till exempel i USA är "Carp removal" en av de vanligaste åtgärderna mot övergödning. Åtgärden tar då i princip helt och hållet sikte på att eliminera den störning på bottenarna som karpn ger upphov till genom sitt bentiska levnadssätt.

Även i mer närliggande Danmark finns omfattande studier gjorda som beskriver sambandet mellan 1) vitfisk i allmänhet och 2) bentivor, kopplat till vattenkvalitet. Av det underlag som författaren kommit över bedöms informationen kopplat till Dansk Fiskeindex (se figur 1 nedan) vara av mycket stort intresse att reflektera över avseende svenska förhållanden. Av särskilt intresse är det faktum att övergödningseffekterna från (bentivor) braxen > 10 cm har beräknats vara tio gånger (!) kraftigare än övergödningseffekterna av övrig (planktivor) vitfisk.

Vad har då ovanstående för relevans i arbetet med Växjösjöarna? Hur kan man veta om det är tack vare planktivora effekter eller bentivora effekter som förbättringarna sker? Under projektets gång har man vid ett antal tillfällen kunnat se enorma koncentrationer av djurplankton i alla tre sjöarna. Vid sådana tillfällen har självfallet de planktivora effekterna spelat mycket stor roll. Men faktum är att dessa stora koncentrationer ofta är kortlivade, och i de djurplanktonundersökningar (kvantitativ enligt Dansk Miljöundersökelsers standard, provtagning i aug 2012 och aug 2016 hittills) som gjorts inom ramen för projektet har märkligt nog totalt sett *mindre* mängd zooplankton påträffats efter fiskets genomförande (se t ex Alcontrol 2017).

En viktig anledning till att mindre mängd zooplankton påträffats 2016, jämfört med 2012, kan vara att primärproduktionen är strypt, just genom att stora mängder bentivorer tagits ur sjöarna. Den sjö där man bäst skulle kunna iakta förändringar som drivs av denna process är Växjösjön, eftersom den ofta är skiktad sommartid. En effekt av reduktionsfisket skulle därmed kunna antas ge lika stor eller större minskning av P-halt i Växjösjöns djuphåla som i dess ytvatten, om resultatet beror på att påverkan från bentivoreerna har minskat kraftigt.

I Växjösjön minskade totalfosforhalten i ytan med 26 % under maj-okt under 2016-2017, jämfört med perioden 2010-2015. I bottenvattnet, på ca 7 m djup, minskade halterna dock med hela 52 % (se utförligare i bilaga 2). Detta kan tyda på att en viktig drivkraft till förbättringarna i Växjösjön är att bentivoreerna har minskat kraftigt.



Figur 1. Dansk fiskeindex enligt Jens Peter Müller & Helle Jerl Jensen, Fiskeøkologisk Laboratorium. Figuren är bearbetad av författaren. Ursprunglig figur publicerad av Müller och Jensen m fl i *Algae be gone*, slutrapport 2014. Notera den tiofaldiga skillnaden i viktningen på karpfisk i största allmänhet i jämförelse med braxen >10 cm.

Förändringar avseende fisksamhället

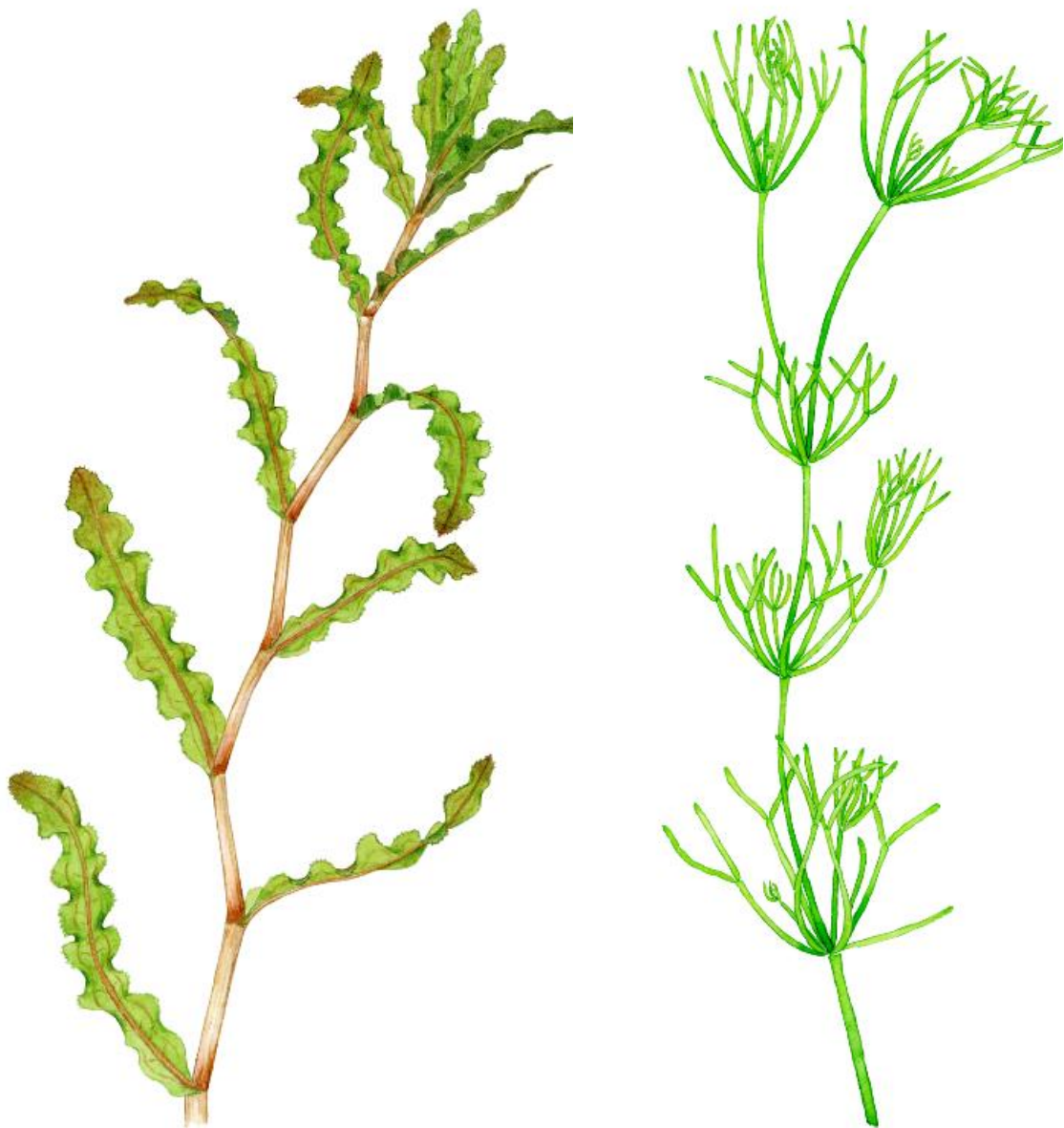
I alla tre sjöarna har andelen fiskätande (+ 20 cm) abborre ökat markant. I Växjösjön ökade antalet abborre >20 cm från ca 1,0 st till ca 3,5 st per provfiskenät. I Trummen var motsvarande ökning från ca 0,3 till 4,0 st ((Björk-Rengbrandt och Böklin, 2017). Ökningen avser tillståndet i sjöarna 2017 i jämförelse med provfisken 2010, 2012 och 2014. I Södra Bergundasjön, som provfiskades 2018, syns en liknande utveckling, med dubbling av antalet större abborre/nät (Björk-Rengbrandt och Böklin, 2018). I styrelsen för Växjösjöarnas fiskevårdsområde har diskuterats att förtydliga nyttan av att återutsätta rovfisk samt att skärpa bestämmelserna kring återutsättning av värdefull storvuxen abborre.

En annan tydlig trend är att konditionen på kvarvarande fisk har förbättrats. Som exempel har större braxen i storleksklassen 40-60 cm ökat ca 20-30% i vikt, räknat utifrån hur längd- och

viktförhållandet förändrats på ca 120 individer av braxen fångade i Södra Bergundasjön i början respektive slutet av projektiden. (Rengbrandt 2018, opubl data). Detta stärker bilden av att det blir gott om föda för kvarvarande fisk när stora mängder bentivorer tas ut ur sjöarna.

Makrofyter breder ut sig

I alla tre sjöarna har utbredningen av makrofyter ökat markant. Noggranna inventeringar har genomförts tidig höst 2015 (innan projektet) samt tidig höst 2017. Krusnate och kransalgen *Nitella sp. (opaca alt. flexilis)* är några av de makrofyter som tillsammans med trubbnate har blivit karaktärsarter i alla sjöarna, se illustration nedan. Vegetationen har ökat mycket kraftigt i synnerhet i Växjösjön och Trummen, samt etablerat stora bestånd i Södra Bergundasjön, där den submersa vegetationen så sent som 2015 inte alls kunde påträffas (Alcontrol m fl 2017).



Figur 2. Krusnate (*Potamogeton crispus*) och mattslinke (*Nitella opaca*). Båda dessa arter är nu karaktärsarter på stark frammarsch i alla de tre reduktionsfiskade sjöarna. Illustration: Maj Persson.

I tillägg till vad som framgår av inventeringen 2017 och som redan nämnts ovan, kan tilläggas att det även år 2018 gick att följa rent visuellt hur vegetationen ökade i djuputbredning i framför allt Växjösjön. *Nitella* växte till exempel ned till ca 3 m djup utanför lagunerna vid Växjösjöns strand i juni 2018 (författaren, observation vid fridykning juni 2018).

Utöver ökad makrofyttutbredning som beskrivits ovan har även fintrådiga alger ökat markant i alla sjöarna. Allra tydligaste var detta i Växjösjön 2016 och i Södra Bergundasjön 2018. I Södra Bergundasjön kunde man under 2018 vid alla tillfällen på sjön fram till och med juli rent visuellt se ett klarare vatten på grundområdena jämfört med sjöns djupare delar. Utbredningen av de fintrådiga algerna, som framför allt skett på grundområden, kan vara en viktig förklaring till detta, se foto nedan.



Foto 3. Grundområde i Södra Bergundasjön nära utloppet i juli 2018. Notera den rikliga påväxten av fintrådiga alger på stenar, samt det klara vattnet, en typisk bild av Södra Bergundasjöns grundare områden fram till midsommartid 2018. Fenomenet med kraftig påväxt började i mindre omfattning 2016, ökade under 2017, och ökade tydligt ytterligare 2018. Flera exemplar av sötvattenssnäckan Stor dammsnäckan (*Lymnea stagnalis*) syns också på fotot, av vilka några kryper fram på undersidan av vattenytan. Även denna art verkar ha ökat kraftigt i alla tre sjöarna.

Förändringar avseende bottenfauna

I alla tre sjöarna har bottenfaunasammansättningen ändrats markant. Växjösjön och Trummen uppnådde år 2017 för första gången God Status med avseende på bottenfauna (Mörrumsån 2017, Olofsson m fl, 2018). Även i Södra Bergundasjön uppnåddes god status i litoralzonen 2018 (måttlig status 2016). I djupare områden i Södra Bergundasjön råder fortsatt ej god status. Även på dessa områden har en tydlig förändring skett på så vis att fjädermyggglarver och larver av tofsmyggor har ökat i antal med ca 100-150%, från år 2016 till 2018 (Medins 2018, opubl. data). Viktigaste anledningen till ökade tätheter av dessa larver torde vara minskad predation från braxen och andra bentivorer.



Foton 4-6. Överst: Provtagning i Södra Bergundasjön på 3 m djup i okt 2018, samt detalj av prov vid samma tillfälle (fjädermygglarver som ökat kraftigt i antal). Stora bilden (foto nr 6): Växjösjöns norra del den 21 maj 2018. Stora mängder tofsmyggor har nyligen kläckts.

KOPPLING MELLAN NÄRINGSSTATUS OCH TUNG-METALLER

Eftersom en del av de genomförda och planerade åtgärderna i Växjösjöarna består i att fastlägga fosfor med tillförsel av stora mängder aluminium tas omfattande provtagning på metaller i vattenfas ibland annat Växjösjöns utlopp, Södra och Norra Bergundasjöarnas utlopp, samt nedströms liggande Kråkesjöns utlopp.

I arbetet med att utreda risker och effekter av aluminiumbehandling framkom att det troliga resultatet är att på sikt kommer transporten av aluminium ur de behandlade sjöarna att minska. Detta beror på att sjöarna redan i dagsläget är sänkor med avseende på aluminiumtransport, och de perioder med förhöjda halter av aluminium som förekommit beror på att det har varit mycket partiklar i vattnet som binder aluminium. Aluminium, och flera andra metaller som t ex bly, har mycket låg löslighet i sjöar med pH omkring 7. Av denna anledning finns redan innan behandling en mycket stor mängd aluminium i sedimenten, och det spelar för koncentrationen i vattenfasen ingen roll om det finns till exempel 30 eller 60 ton aluminium i de översta 10 cm av sedimentet i Växjösjön.

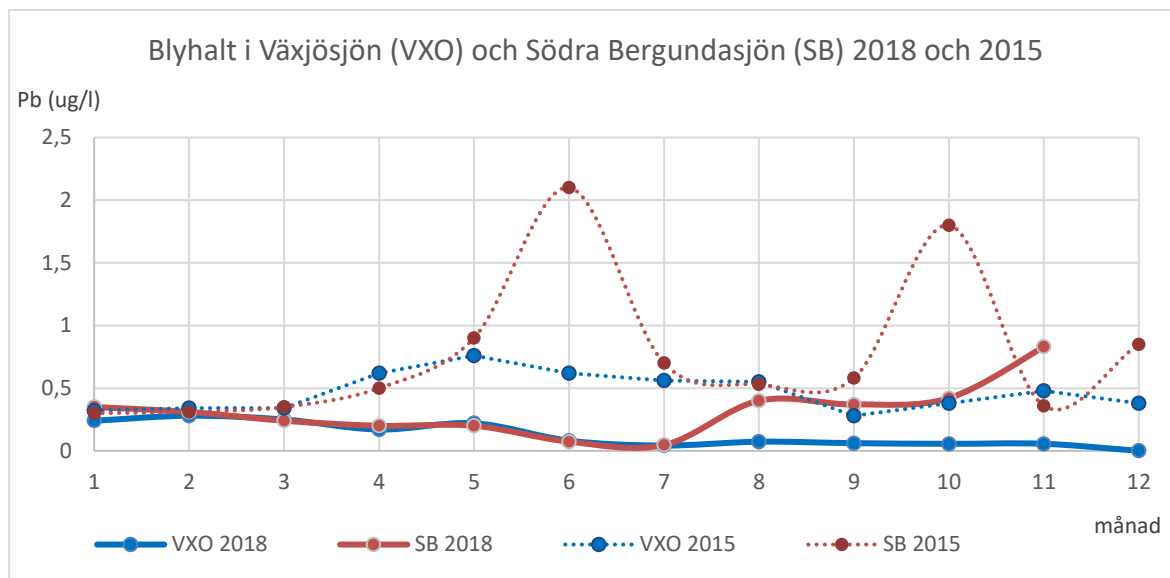
Det har nu visat sig att de antaganden som gjordes om minskad aluminiumtransport till följd av minskad grumlighet verkar att stämma. Och det är intressant att se att det egentligen inte krävs någon *kemisk* fastläggning av bly, eller aluminium. Halterna minskade redan när grumligheten minskade till följd av reduktionsfisket.

I tabell 1 och 2 samt figur 3 nedan visas hur aluminium- och blyhalter har utvecklats i Växjösjön efter reduktionsfiske tidigt år 2016 och bottenbehandling med aluminiumklorid maj-aug 2018.

Tabell 1. Aluminiumhalter i Växjösjön 2018, före, under och efter aluminiumbehandling. Prover tagna mellan den 5:e och 14:e dagen varje månad.

| Månad | Behandling | Tot-Al (ug/l) | |
|-------|------------|---------------|------------------------------------------------------------|
| jan | innan | 53 | ngt förhöjt pga humustillförsel |
| feb | innan | 92 | förhöjt pga humus/höga flöden |
| mar | innan | 71 | avtagande pga klarnande process, mindre brunt |
| apr | innan | 54 | avtagande pga klarnande process, mindre brunt |
| maj | innan | 34 | avtagande pga klarnande process, mindre brunt |
| | | 61 | medel innan behandling |
| jun | under | 190 | förhöjt pga spridning i vatten från slutet av maj |
| jul | under | 19 | sjunker pga klarare vatten och spridning enbart i sediment |
| aug | under | 12 | sjunker pga klarare vatten och spridning enbart i sediment |
| | | 74 | medel under behandling |
| sep | efter | 11 | klart vatten, efter behandling |
| okt | efter | 9,2 | klart vatten efter behandling |
| nov | efter | 9,4 | klart vatten efter behandling |
| | | 10 | medel efter behandling |

Det är egentligen inte förvånande att man kan notera dessa radikala minskningar av metallhalter om man sätter sig in i frågan om metallernas begränsade löslighet vid pH omkring neutrala förhållanden, samt metallernas beroende av partiklar i vattenmassan för att alls förekomma i vattenfasen. Icke desto mindre är det intressant att påvisa att genom att nå framgång i övergödningsarbetet kan man antagligen ofta förvänta sig en minskning av nedströmstransporter av t ex bly och andra tungmetaller.



Figur 3. Blyhalter i Växjösjön och Södra Bergundasjön 2018 och 2015. År 2015 hade inget åtgärdsarbete bedrivits på senare år i någon av sjöarna. År 2018 har båda sjöarna genomgått biomanipulation, samt att i Växjösjön genomfördes bottenbehandling från slutet av maj 2018 - aug 2018. Data från Mörrumsåns vattenvårdsförbund.

En konsekvens av de samband som påvisats ovan är att åtgärder som långvarigt kan driva en sjö från klarvattenfas till grumligare fas kan antas påverka långt fler parametrar än vad man i första hand tänker sig, t ex spridning av tungmetaller. Omvänt kan antagligen icke önskvärd spridning enligt ovan antas begränsas avsevärt om det går att uppnå god status med avseende på övergödningsrelaterade parametrar i en grumlig sjö.

En ytterligare konsekvens är att humushalter, algblomning och övriga orsaker till grumlighet är det som till största delen kommer att bestämma många metallhalter i vattenfasen för mycket lång tid framöver i Växjösjön och Södra Bergundasjön. Betänk till exempel att Växjösjön har klart högre blyhalter i sediment, och sedan länge en högre blybelastning än Södra Bergundasjön. Södra Bergundasjön har ändå klart högre blyhalter i vatten. Allt detta har även stöd i väl underbyggda teorier och etablerade jämviktsekvationer. Utfasning och skärpta miljökrav kommer förvisso att ha stor betydelse för att minska förekomsten av tungmetaller i vattenmiljön, men bara på mycket, mycket lång sikt, se tabell 2 nedan.

Mer omfattande redovisning av aluminiumhalter och aluminiumtransporter kommer att göras inom ramen för uppföljningsprojekten för aluminiumbehandlingarna av Växjösjön och Södra Bergundasjön.

Tabell 2. Minskande blyhalter i Växjösjöarna 2015-2018. Medelvärden för säsongen juni-nov. Notera att den procentuella minskningen är hela 87% för både Växjösjön och Södra Bergundasjön. Säsongen juni-november valdes för att få bra brytpunkter före och efter respektive åtgärder (i Örken jan-okt). Data från Mörrumsåns vattenvårdsförbund.

| | Pb ug/l före åtg. 2015 | Pb ug/l 2016 | Pb ug/l 2017 | Pb ug/l 2018 | procentuell minskning 2017/2015 | procentuell minskning 2018/2015 |
|----------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| VÄXJÖSJÖN | 0,48 | 0,14 | 0,08 | 0,06 | -84 | -87 |
| S BERGUNDASJÖN | 1,01 | 0,73 | 0,39 | 0,13 | -62 | -87 |
| N BERGUNDASJÖN | 0,91 | 0,68 | 0,52 | 0,70 | -43 | -23 |
| Örkens utlopp (ref) | 0,15 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | +12 | +30 |

Som framgår av tabell 2 uppmättes en viss minskning av bly även i Norra Bergundasjön, vilket sannolikt beror på den omfattande migrationen mellan Bergundasjöarna. Klarvattenfas förekom för första gången i modern tid i Norra Bergundasjön under försomrarna 2017 (svag tendens - 1,7 m siktdjup slutet av maj) och 2018, (flera veckor i maj/juni >>2,0 m siktdjup).

KOSTNADER OCH INTÄKTER

Projektet kan beskrivas som mycket kostnadseffektivt. Fiskeentreprenaden kostade ca 3 miljoner kr. Därtill kan läggas ca 0,45 mkr (15 %) för kringkostnader såsom fångsthantering, biologisk uppföljning, projektledning mm. Entreprenadkostnaden var således ca 15 kr/kg uttagen fisk i genomsnitt för de tre sjöarna. Inklusiva alla projektkostnader blir siffran 17,25 kr/kg. Sett enbart till bortförd mängd fosfor uppgår kostnaden således till ca 2000 kr/kg fosfor (3 milj kr/(200 ton fisk * 0,75%P)). I de kostnader som redovisas i denna rapport ingår ca 240 tkr som upparbetades i december 2015, innan LOVA-projektet påbörjades.

Nedan följer en sammanställning av kostnader för själva reduktionsfiskeentreprenaden, som helhet, samt uppställt per sjö. En anledning till att kostnaderna har kunnat hållas ner är att de mindre sjöarna Trummen och Växjösjön alltid har fiskats samtidigt eller parallellt med Södra Bergundasjön. Detta förfarande har minskat antalet dagar som entreprenören behöver viga åt fältarbete.

Tabell 3. Fisketider, fångst och kostnader per sjö.

| | Trummen | Växjösjön | S Bergundasjön | Totalt |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| fisketid | Fr a tidigt -16 | Fr a tidigt -16 | Höst-16 -höst 18 | 2016-2018 |
| sjöyta (ha) | 76 | 79 | 432 | 587 |
| kr | 417 799 | 549 675 | 2 098 800 | 3 066 274 |
| kg fångst | 8 882 | 17 760 | 175 000 | 201 642 |
| kr/kg | <u>47</u> | <u>31</u> | <u>12</u> | <u>15</u> |

En viktig lärdom avseende kostnader är att det lönar sig att organisera upphämtningen av fisk rationellt. Under 2018 fungerade detta bäst, med något färre tömningsdagar, samt att all tömning/hämtning kunde ske med kranbil från en enda landningsplats vid stranden. Detta möjliggjordes genom att entreprenören tog med sig de mindre fångsterna från Växjösjön till den stora lastningsplatsen i Södra Bergundasjön. Sådana förenklingar förbättrar även hygien och minskar risken för klagomål och andra otrevligheter som kan uppstå på uppsamlingsplatserna.

För att undvika incitament till överskattning av fångster har upphandlingen inte gjorts så att ersättningen är beroende av fångstens storlek. Ambitionen har varit att genom stark närvaro och tydlig återkoppling till entreprenörerna under arbetets gång visa på att beställaren ändå starkt värdesätter professionalitet och de resultat som uppnås dag för dag.

En ytterligare anledning att utforma kontrakt så att fokus inte ensidigt hamnar på att leverera så många kilo som möjligt per dag är att olika målarter har olika stor relevans. T ex finns vetenskapliga belägg för att det är klokt att prioritera större braxen, då övergödningseffekterna av dessa individer i många fall kan antas vara ca 10 ggr större per kilo fisk jämfört med mer planktivora arter/stadier, se figur 1 ovan.

En ytterligare anledning till nyanserad beskrivning av fångsten och dess kostnader kan beskrivas enligt följande: I Trummen togs under första vintern/våren ut ca 7 ton (99 kg/ha). Den största delen av denna fångst bestod av braxen och mört, följt av småaborre (<12 cm) samt övrig vittfisk. I slutet av våren 2016 var fångsterna mycket små. Sjön var mycket klar hela året ut. Ändå beslutade kommunen att gå vidare och göra ett underhållsfiske på framför allt tillväxande årsyngel av abborre och småmört redan våren 2017. Det säger sig självt att ett sådant fiske blir mycket dyrt, räknat per kg landad fisk eftersom vårfisket 2017 tar i princip lika stora resurser i anspråk. Och mycket riktigt fanns inte så mycket fisk att fånga år 2017. Men det är högst troligt att vårfisket 2017 bidrar avsevärt till att göra hela fiskeinsatsen i Trummen mycket

mer långsiktigt hållbar, eftersom den sista ansträngningen, som förvisso endast gav ca 1,8 ton, innebar en mycket markant utglesning av småabborre, och därmed ger förutsättning för kvarvarande individer att snabbt uppnå fiskätande storlek. Dessa kvalitetsaspekter av fisket är lika intressant att nämna som kostnaden uttryckt som kr/kg landad fisk för alla som överväger att genomföra liknande projekt.



Foto 7. En av alla fiskätande abborrar i Växjösjön. Fångad och återutsatt av sportfiskare mitt i city under försommaren 2018. Ett noggrant fiske i slutfasen av fisket i respektive sjö ger goda förutsättningar för tillväxt av dessa naturliga reduktionsfiskare!

Intäkter och andra nyttor - Biogas

Totalt sett togs ca 200 ton fisk ut ur sjöarna. Av detta har merparten, ca 160 ton, lämnats till kommunens biogasanläggning för framställning av metangas som sedan används som fordonsgas lokalt. Ca 40 ton eller 20% av den landade fångsten har tagits om hand spontant av privatpersoner för konsumtion som livsmedel eller betesfisk till kräftfiske mm. Biogasanläggningen i Växjö har på senare år försetts med ett extra processteg ("termisk hydrolys") i förbehandlingen av substratet, vilket ökar effektiviteten med ca 20 % jämfört med konventionell rötning.

Utifrån andra beräkningar som gjorts (t ex Biogaspotential från akvatiska substrat i Skåne, delrapport 1, BUCEFALOS/LIFE11/ENV/SE/83, 2014) avseende energiinnehållet i fiskrester kan man räkna med att den biogas som genererats inom ramen för detta projekt uppgår till ca 45 000 Nm³ biogas. Denna mängd biogas kan med avseende på energiinnehållet jämföras med drygt 50 000 liter bensin, eller ca 0,45 GWh energi. Värdet "vid biogaspumpen" är ca 700 000 kr och klimatnyttan kan beskrivas som att 50 000 liter förnybar bensin har tillkommit, vilket motsvarar en besparing av ca 75 ton CO₂. Det vore i tillägg till detta intressant att beräkna om och i så fall hur mycket metanavgången minskar från sjöarna när nedbrytning av organiskt material i syrefattig miljö i och nära sjöbotten minskar.

LÄRDOMAR KRING MIGRATION AV FISK SAMT DIMENSIONERING AV FISKEINSATSEN

Utloppen ur Växjösjöarna ger endast mycket begränsade möjligheter till fiskvandring. Detta förhållande gör det sannolikt att de goda resultaten i Trummen och Växjösjön kan stå sig över tid. Om utloppen vore utformade för optimal fiskvandring skulle sjöarna antagligen kontinuerligt ha fyllts på från de nedströms mycket större och mer fiskrika Bergundasjöarna. Antagligen skulle de därför inte ha genomgått den snabba och positiva förändring som nu var fallet. Det kan särskilt noteras att det i Växjösjöarna, i synnerhet Bergundasjöarna, varit vanligt med mycket kraftiga massmigrationer av framför allt mört, men även övrig vitfisk. Dessa migrationer sker ofta under senhöst/tidig vinter, och verkar ofta utlösas av att stora flockar av storskrak driver in stora fiskstim i vikar. Om det då är ett vattendrag i viken flyr fisken ofta upp längs dessa vattendrag, se foto 8 nedan.

I litteratur om reduktionsfiske framgår det sällan om man har beaktat effekten av migration. Erfarenheterna från detta projekt är att ett projekt utan ett genomtänkt förhållande till dessa processer mycket väl kan visa sig vara ett helt bortkastat arbete. Till exempel att fiska enbart Växjösjön och Trummen, om det vore goda migrationsmöjligheter mellan dessa sjöar och nedströms liggande Södra Bergundasjön, skulle antagligen inte alls ge resultat.



Foto 8. Foto i gryningsljus med vy över Norra Bergundasjön i början av december 2017. En stor flock med storskrak driver in vitfisk mot sundet mellan Bergundasjöarna. Hägrar kalasar på fisken när den pressas mot land. Sundet stängdes av i slutet av oktober 2017 med en damm som skymtar i förgrunden. Tidigare händelser av detta slag ledde till omfattande fiskmigration mellan sjöarna. Dammen har uppförts i enlighet med gällande tillstånd i mål M 2666-16, mark- och miljödomstolen Växjö Tingsrätt.



Foto 9. Dammen mellan Bergundasjöarna i juli 2018. Notera den påtagligt bättre vattenkvaliteten i Södra Bergundasjön (närmast i bild). Dammen har två syften: att hindra bakåtströmning av vatten från Norra Bergundasjön till Södra Bergundasjön i samband med mycket låga flöden och/eller blåst, samt -viktigare- att minimera migration av fisk. En permeabel stenvall uppfördes under våren 2018 istället för 15 mm galler, eftersom det uppstod problem med dödlighet av framför allt abborre på gallret pga för höga vattenhastigheter genom detsamma.

Ett alternativ till att uppföra eller förändra vandringshinder mellan sjöarna för att undvika att migrationen överskuggar fångstresultatet vore att fiska ut större områden på en gång. Man får dock beakta att ett sådant angreppssätt medför flera svårigheter, och man försätter sig i ett svårare läge avseende krav på att leverera extremt effektivt arbete från dag 1 tills projektet är slutfört.

En viktig orsak till framgången i reduktionsfisket i Växjösjöarna 2016-2018 torde vara att sjöarna systematisk "tömts" på stora mängder vitfisk (samt småvuxen abborre) under en enda tillväxtsång eller mindre, utan att det har skett någon betydande påfyllning av fisk.

GENOMFÖRDA OCH PLANERADE ÅTGÄRDER I VÄXJÖSJÖARNA

I och med slutförandet av reduktionsfisket i de tre översta sjöarna bedöms det lämpligt att summera det åtgärdsarbete som hittills genomförts samt vad som återstår. Fokus i denna framställning ligger på det samlade arbete kring Växjösjöarnas som återupptogs i samband med beslut om bifall till åtgärdsstrategi för Växjösjöarna år 2014. Åtgärderna i Växjösjöarna bedrivs i projektform för en rad olika delprojekt som alla redovisas på <https://vaxjo.se/sjoar>.

Trummen

Trummen uppnådde redan 2016 och 2017 GES eller mycket nära GES på etablerade nyckelparametrar. Det står utom tvivel att reduktionsfisket har varit den helt dominerande positiva kraften bakom de observerade förändringarna på senare år.

För Trummens del återstår arbete med att minska tillflöde av höga fosforhalter till södra delen av sjön. Betydande åtgärder har gjorts avseende dagvattenrening. Vad som ytterligare kan övervägas är att göra någon form av efterbehandling med Ca och/eller Al i Kvarndammen (den dagvattendamm som sedan 2015 inte belastas med så mycket annat än naturvatten). Man kan annars befara att den på grund av det nya jämviktsläget tenderar att bli en källa istället för fälla för fosfor. Sannolikt kommer kommunen göra någon form av uppföljning/övervakning på den dammen ca 2019/2020.

Växjösjön

Växjösjön uppnådde GES 2018, efter reduktionsfiske (från senvintern 2015 och våren 2016) samt aluminiumbehandling av bottensediment maj-aug 2018. I till dessa två åtgärder har sjön fått en minskad P-belastning från Trummen (ca 30-50% just från Trummen), samt kan på sikt förväntas få en något minskad belastning även från dagvattensystemet som mynnar i Lagunerna.

Södra Bergundasjön

Restaureringsarbetet i Södra Bergundasjön liknar till stora delar det som genomförts i Växjösjön. Den externa belastningen har nu minskat kraftigt från Växjösjön, i storleksordningen 100 kg/år. Den externa belastning var redan innan detta på en gynnsam nivå men är nu ännu bättre. Genom uttaget av ca 320 kg vitfisk per ha senhöst 2016- senhöst 2018 är även fisksamhället mycket gynnsamt. Detta gäller i synnerhet som migrationen av fisk från Norra Bergundasjön har upphört. Bottenbehandling med aluminiumklorid är planerad att genomföras under två på varandra följande säsonger, 2019-2020. Det är troligt att ytterligare en bottenbehandling kommer att behövas i Södra Bergundasjön, då det förekommer så stora mängder organisk bunden fosfor (se nästa kapitel). Kommunen har för övrigt i november 2018 beviljats 5 mkr i bidrag för detta arbete från HaV och Länsstyrelsen.

För samtliga dessa tre sjöar bedöms det dessutom viktigt att med några års mellanrum följa upp fisksamhället och vid behov sätta in underhållsfiske med de metoder som användes inom ramen för detta projekt.

UPPFÖLJNING AV ÅTGÄRDER FRAMÖVER

Trummen

I Trummen bedöms genomförda och planerade åtgärder för närvarande som tillräckliga mot bakgrund av relativt låga halter mobil fosfor i sediment och låga halter fosfat i sedimentets porvatten i jämförelse med övriga sjöar. Det kommer antagligen att krävas att fiskeinsatser genomförs med vissa intervall i Trummen, liksom i de flesta näringsrika sjöar, för att bibehålla ett gott resultat. Några av de viktigaste sakerna att vårda framöver kommer att vara fiskfaunans sammansättning. Det är viktigt att vara rädd om storvuxen abborre, t ex genom att införa fångstbegränsningar samt att skapa en samsyn med fiskare om vikten av att återutsetta större rovfisk. Vidare bör karp hållas under uppsikt, och om möjligt avlägsnas. Under 2018 inleddes ett samarbete mellan Växjö Kommun och några engagerade karpfiskare, där en del i arbetet är att karp som fångas flyttas till en mindre skogssjö i trakten (där tillstånd för utsättning finns). Dessa observandum avseende fiskfaunan gäller även Växjösjön och Södra Bergundasjön.

Växjösjön

För Växjösjöns del kommer mycket uppföljning av status att göras inom ramen för beslutad plan för uppföljning av sedimentbehandlingen som genomfördes 2018. Fokus kommer bland annat att vara att försöka bestämma hur mycket mobil fosfor det finns i de övre sedimentlagren, för att avgöra huruvida ytterligare sedimentbehandlingar kommer att behövas.

I övrigt kommer etablerade nyckelparameterar såsom siktdjup, tot-P, grumlighet, Chl a, fytoplankton och metaller i vatten att övervakas löpande. Därutöver genomförs mer momentana undersökningar av zooplankton, makrofyter och sediment.

Ett ytterligare verktyg som skulle kunna användas i framtida övervakning är de passiva provtagare som Växjö Kommun testade i samarbete med professor Adam Hoffman, University of Dubuque, USA 2017 och 2018. Av de provtagningar som gjordes framgick att fosfat i porvatten i Växjösjöns grundare delar uppgick till ca 500 ug/l, att jämföra med Trummen, ca 150 ug/l. Siffrorna ovan avser de ca 10-15 översta cm av sedimentet. I Växjösjöns djuphåla var halterna omkring 1000 ug/l, och ännu högre i något djupare lager.

I Växjösjön övervakas inflödet från Trummen (6 ggr/år), samt lagunerna (12 ggr/år). Därutöver övervakas yta och botten i sjöns mitt maj-okt samt utloppet 12 ggr/år.

Södra Bergundasjön

Övervakningen av Södra Bergundasjön liknar till stor del övervakningen av Växjösjön. Även för Södra Bergundasjöns del kommer mycket uppföljning av status att göras inom ramen för uppföljning av bottenbehandlingen som genomförs 2019-2020. Fokus kommer bland annat att vara till stor del samma som i Växjösjön, men därutöver övervakas bottenfauna noggrannare (litoral, sublitoral och profundal). Dessutom samarbetar kommunen med SLU i ett forskningsprojekt om omsättning av organisk fosfor i näringsrika sjöar. Bassängförsök med fosfor från Södra Bergundasjön bedrivs inom ramen för ett PhD-projekt på SLU i Uppsala.

KOMMANDE UPPFÖLJNINGSRAPPORTER

Utförlig rapport om reduktionsfisket 2016-2018 i Trummen, Växjösjön och Södra Bergundasjön

I mitten av 2019 är det planerat att en mer omfattande uppföljningsrapport ska publiceras avseende reduktionsfisket och därtill kopplade biologiska och vattenkemiska förändringar i sjöarna.

Bottenbehandling av Växjösjön

I slutet av 2020 ska en omfattande rapport publiceras inom ramen för pågående LOVA-projekt "Bottenbehandling av Växjösjön".

Bottenbehandling av Södra Bergundasjön

I slutet av 2021 (troligen) ska en rapport sammanställas avseende bottenbehandling av Södra Bergundasjön.

Norra Bergundasjön

Avseende Norra Bergundasjön pågår en revidering av tidigare utredning om möjligheten att flytta reningsverkets utsläpp till en helt ny recipient. Den nya recipienten skulle vara ett sammanlänkat system av våtmarker med självfall från reningsverket ner till Bergkvarasjön. En rapport om dessa förutsättningar ska redovisas år 2019.

Därutöver kommer kommunen antagligen att genomföra ett reduktionsfiske i Norra Bergundasjön under 2019, vilket i så fall kommer att föranleda någon form av enklare årliga resultatredovisningar 2019-2021. Anledningarna till detta planerade fiske är framför allt följande:

Vid fisket i Södra Bergundasjön (hösten 2016-2018) fanns under första säsongens höst- resp. vårfiske ingen barriär mellan sjöarna. Det fick till följd att en omfattande migration ägde rum (jfr foton ovan i denna rapport). Man kan grovt räkna med att ca 30-40 % av fisken som togs i Södra Bergundasjön under det första året kom från Norra Bergundasjön (ca 35 % av arean om räknar de båda sjöarna som en sjö).

Den oväntat stora migrationen ledde till att inledningsvis var effekterna av reduktionsfisket i Bergundasjöarna lika stora i norra och södra sjön, trots att fisket bara bedrevs i den södra sjön. Nu när Norra Bergundasjön därmed är "halvt" reduktionsfiskad finns ett ypperligt läge att så att säga göra färdigt detta fiske.

Det är mycket intressant att se hur stora förbättringar som kan uppnås i sjön *utan* att vidta byte av utsläppspunkt enligt ovan. Detta skulle rent av kunna dyka upp som ett framtida utredningskrav inför en så pass omfattande åtgärd. Detta sidospår har även aktualiserats tack vare att effekten av de nyligen genomförda reduktionsfiskena har överträffat förväntningarna.

REFERENSER

- ALcontrol AB & DHI 2014. Åtgärdsstrategi för Växjösjöarna, Etapp 1 av 3, Undersökningar och beslutsunderlag. Växjö kommun.
- ALcontrol AB, Hushållningssällskapet Halland 2017. Vattenväxter i Växjösjön och Södra Bergundasjön Slutrapport 2017. Växjö kommun.
- BUCEFALOS/LIFE11/ENV-/SE/83, 2014. Biogaspotential från akvatiska substrat i Skåne, delrapport 1,
- Björk Rengbrandt Jesper & Böklin Magnus. Reduktionsfiske i Växjösjöarna samt resultat för provfiske med översiktnät 2017
- Björk Rengbrandt Jesper & Böklin Magnus. Provfiske med översiktnät i Södra och Norra Bergundasjön, Växjö 2018.
- Huser, Brian, 2015. Personlig kommunikation.
- Müller, Jens Peter m fl 2014. Restaurering av övergödda sjöar – Erfarenheter från EU projektet Algae be gone.
- Synlab AB, Calluna AB och Alcontrol AB. Mörrumsån 2010-2017 (årliga sammanställningar av den samlade miljöövervakningen i Mörrumsån, <https://www.vattenorganisationer.se/morrumsansvr/modules.php?name=Downloads&cat=752>).

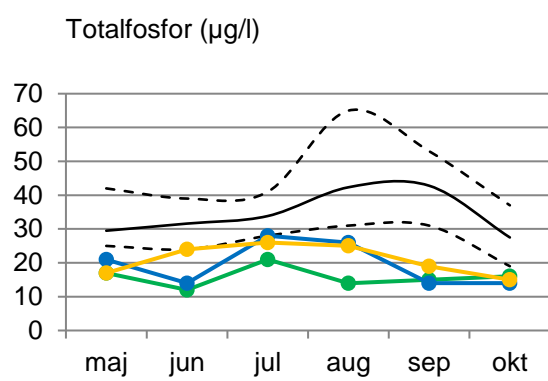
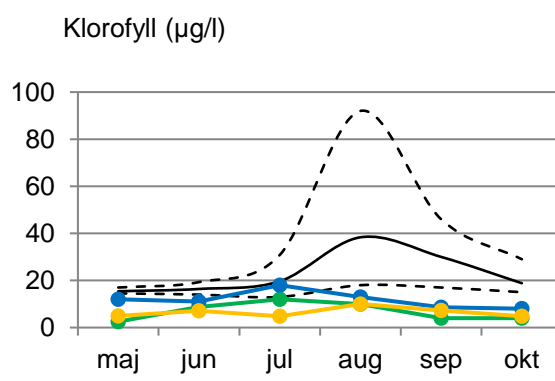
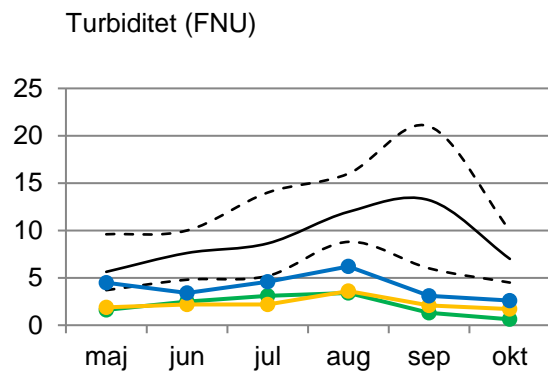
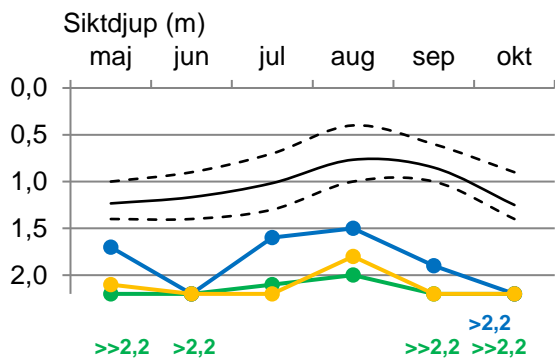
BILAGOR

Bilagor 1-3: Utveckling av nyckelparametrarna totalfosfor, siktdjup, klorofyll a samt grumlighet i Trummen, Växjösjön samt Södra Bergundasjön under maj-okt. Åren 2016, 2017 och 2018 redovisas var för sig. Som jämförelse redovisas även medel- max- och minvärden för perioden 2010-2015. Provtagning av bottenvatten (7 m djup) påbörjades i Växjösjön år 2013.

Data till diagram i bilagorna 1-3 kommer från från Mörrumsåns vattenråd (<https://www.vattenorganisationer.se/morrumsansvr/modules.php?name=Downloads&cat=752>).

Observera att i Växjösjön genomfördes fastläggning av fosfor med polyaluminiumklorid under slutet av maj till mitten av augusti under 2018.

Bilaga 1: Trummen 2010-2018.

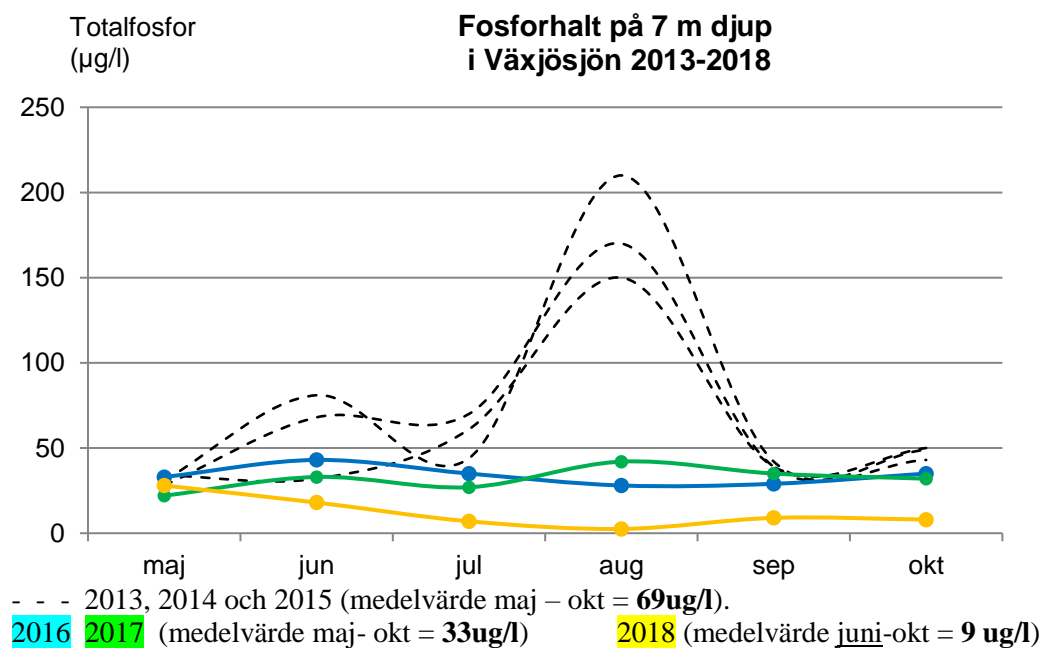
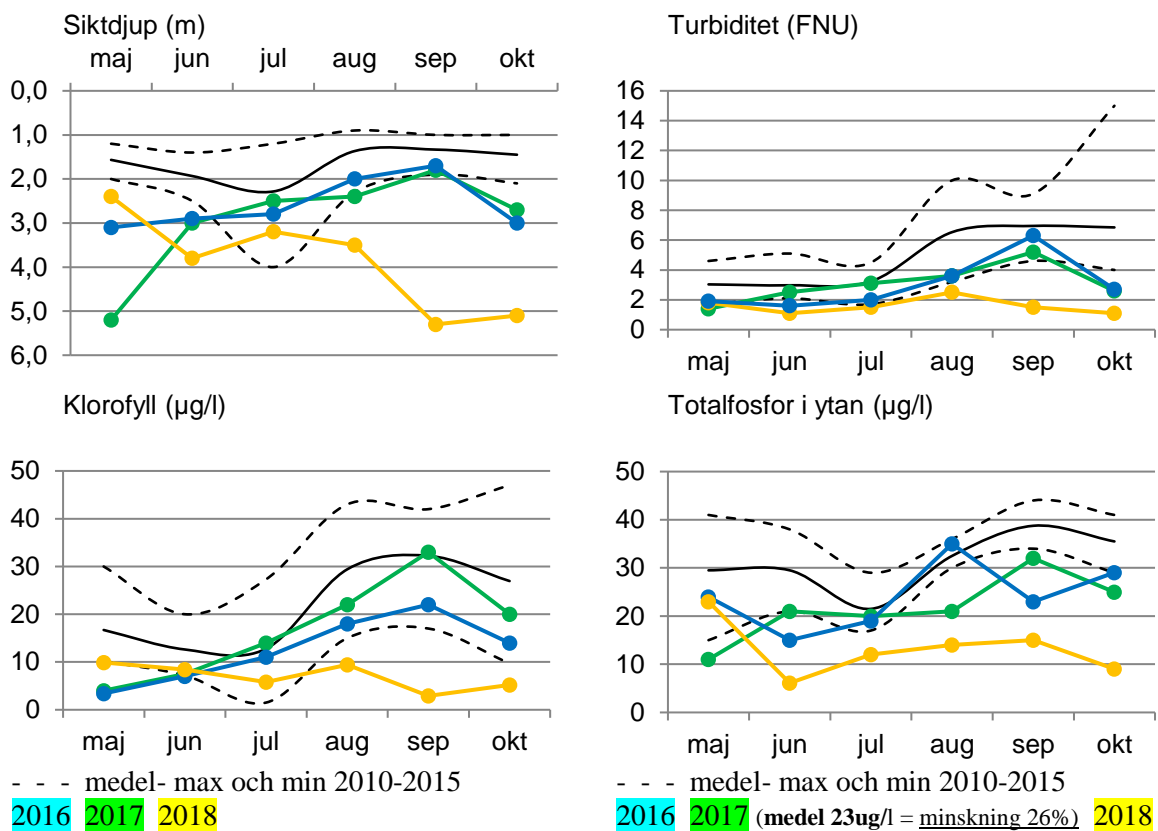


- - - medel- max och min 2010-2015
2016 2017 2018

- - - medel- max och min 2010-2015
2016 2017 2018

OBS! det maximala djupet i Trummen är ca 2,2 m. Sedan vattenkvaliteten förbättrats genom reduktionsfisket är det numera vanligt att siktdjupet överstiger vattendjupet.

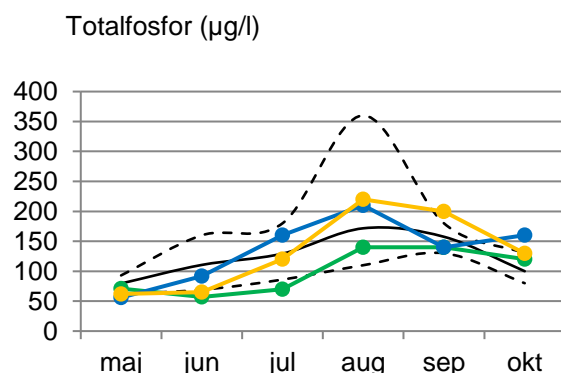
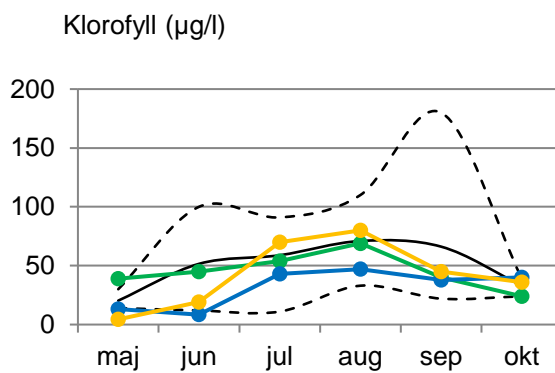
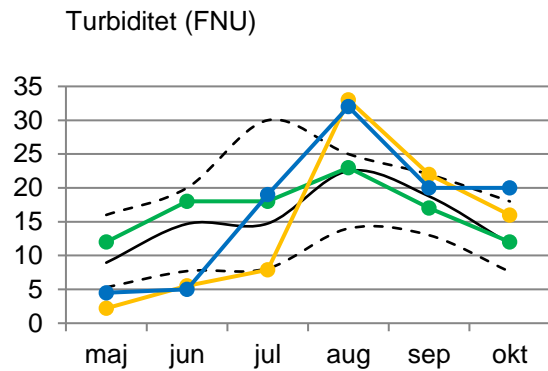
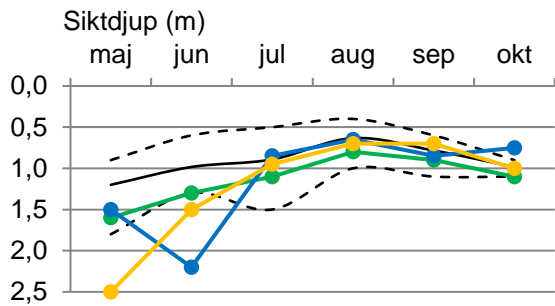
Bilaga 2: Växjösjön 2010-2018 (Bottenbehandlad i slutet av maj 2018-aug 2018).



Observera att P-halterna minskade kraftigare i bottenvattnet än i ytvattnet redan i samband med reduktionsfisket (-52%).

Efter att bottenbehandling påbörjades är minskningen hela 87% i bottenvattnet jämfört med åren 2013-2015.

Bilaga 3: Södra Bergundasjön 2010-2018.



- - - medel- max och min 2010-2015

2016 2017 2018

- - - medel- max och min 2010-2015

2016 2017 2018