



Provtagningar i Bornsjön och dess tillflöden till och med 2020

Christer Lännergren, 21MB2086

Tillsammans för världens
mest hållbara stad



STOCKHOLM
VATTEN
OCH AVFALL

© Stockholm Vatten och Avfall 2022

Författare: Christer Lännergren

Rapporten citeras: Lännergren, C (2021). Provtagningar i Bornsjön och dess tillflöden till och med 2020, Stockholm Vatten och Avfall.

Diarienummer: 21MB2086

Kontaktuppgifter: Stockholm Vatten och Avfall, 106 36 Stockholm

Telefon: 08-522 120 00

Webb: www.svoa.se

Innehåll

Sammanfattning.....	3
Diken	3
Bornsjön	3
Status	4
Inledning.....	5
Avrinningsområde	6
Tillrinning, ämnestransporter	7
Flöden.....	8
Temperatur och nederbörd	9
Dikesprovtagningar	10
Konduktivitet och turbiditet	10
Fosfor	11
Kväve	11
Förändringar av fosfor och kväve 1986-2020	12
Förändringar av fosfor och kväve 2004-2020	13
Säby gamla tomt.....	16
Förhållandet mellan kväve och fosfor	17
Turbiditet och halter av fosfor och kväve.....	17
Transporter av kväve och fosfor, kväve- och fosforbalans	18
Fosfor- och kvävebalans.....	19
Provtagning av metaller.....	20
Bornsjön	21
Provtagningar i Bornsjön.....	22
Konduktivitet.....	23
pH och alkalinitet	23
Temperatur	24
Syre.....	25
Fosfor och kväve	26
Fosfor och kväve, mängder	29
Kisel	33
Klorofyll och siktdjup	34
Fosfor och/eller kvävebegränsning?.....	35
Utpumpning av bottenvatten	36
Effekter av pumpningen	38
Registrering in-situ	40
Status	41
Bilaga 1	43
Bilaga 2	45

Sammanfattning

Bornsjön, Stockholms viktigaste reservvattentäkt, ligger mellan Stockholm och Södertälje. Ytan är drygt 6 km² och det största djupet 18,3 m. Uppehållstiden är över 6 år. Tillrinningsområdet har en yta av 40,5 km². Ca 30 km² utgörs av skog och 8 km² av odlad mark. Knappt 2/3 av tillrinningsområdet avvattnas av fyra diken med ett gemensamt utlopp i den södra delen av Bornsjön.

Det totala utflödet från Bornsjön har de senaste åren varit lägre än normalt, flödena har varit låga under sommaren. Årsmedeltemperaturen har varit något högre och nederbörden lägre än vanligt. Framförallt vintrarna har varit varmare, 2019 och 2020 med i genomsnitt över 0° C i december-februari.

Diken

Konduktiviteten har varierat mellan 20 och 200 mS/m med de högsta värdena i Salemdiket nedströms Salem och E4/E20 och de lägsta i Acksjödiket. Konduktiviteten har efter 2010 ökat i både Eksättra- och Salemdiket. Höga turbiditetsvärden, >100 FNU, har tillfälligt påträffats i båda diken. Sambandet har varit starkt mellan turbiditet och halterna av fosfor och kväve.

Halterna av nitrit-nitrat- och totalkväve minskade i de två stora diken i slutet av 1990-talet, förändringarna har därefter varit små. Fosforhalterna har fortgående minskat i Eksättradiket från mitten av 1980-talet till idag. De senaste åren har kvävehalterna ökat något, fosfor har minskat i Salemdiket. Både fosfor och kvävehalterna har ökat kraftigt i Acksjödiket. Mycket höga halter har uppmätts i utflödet från Säby gamla tomt som ligger utanför de fyra diken. Halterna av ammoniumkväve har varit höga i Eksättradiket nedströms Eksättra och i Bergsjödiket vid utloppet V Talby, i båda fallen sannolikt indikation på avloppsvatten.

Transporterna av fosfor och kväve till Bornsjön från tillrinningsområdet har beräknats till ca 0,65 respektive 15 ton och utflödet från Bornsjön till Mälaren till ca 0,25 respektive 5 ton per år. Ungefär 0,4 ton fosfor stannar kvar i Bornsjön varje år, en del av kvävet avgår sannolikt genom denitrifikation.

Metaller har analyserats i Bergsjödiket nedströms Ritorp i Södertälje och vid Salems pistolklubb. Halterna i Bergsjödiket var allmänhet låga eller mycket låga. Kopparhalterna var höga i alla prover från pistolklubben, höga halter förekom även av bly och zink.

Bornsjön

Konduktiviteten i Bornsjön är jämnt fördelad i hela vattenmassan med undantag av tidvis förhöjda värden i bottenvattnet. Efter 2015 har konduktiviteten ökat, från ca 25 till drygt 27 mS/m. pH har vanligen varit mellan 7,5 och 8,5 i ytvattnet och ca 7-8 i bottenvattnet, alkaliniteten ca 80 respektive 80-110 mg HCO₃/l – betydligt högre än i Mälaren där halten är ca 45 mg HCO₃/l.

Temperaturskiktningen etableras i maj-juni och bryts i oktober-november. Efter år 2000 har temperaturen varit högre i ytvattnet och lägre i bottenvattnet än tidigare, förändringen har varit störst i augusti och september. Syrehalterna minskar under den skiktade perioden och halterna har varit mycket låga i bottenvattnet i augusti-oktober. Syreminskningshastigheten har varit oförändrad sedan mitten av 1980-talet.

Fosforhalterna i ytvattnet har långsiktigt minskat från 1970-talet till idag, halterna var höga i början av 2000-talet. Kväve minskade i slutet av 1900-talet och halterna har därefter varit oförändrade.

Halterna av fosfor och kväve är höga i bottenvattnet när syrehalterna är låga mot slutet av den skiktade perioden. Halterna ökade kraftigt i början av 2000-talet, efter 2015 har halterna åter minskat. Syrsättningen av bottenvattnet i den östra bassängen, som påbörjades 1987, avbröts 2017. Fosfor- och kvävehalterna har därefter varit höga i september-oktober.

De sammanlagda mängderna av fosfor och kväve i de tre bassängerna minskade kraftigt från 1980-talet till mitten av 1990-talet och ökade sedan till början av 2000-talet. Kväve har därefter legat kvar

på ungefär samma nivå, 25-30 ton. Fosfor minskade från ett tillfälligt högt värde år 2000 och har sedan varierat mellan 1,5 och drygt 2 ton.

Planktonalgernas vårblooming inträffar i april-maj. Klorofyllhalterna under sommar och höst har inte visat någon tydlig förändring sedan mitten av 1980-talet, siktdjupet har ökat under sommar och höst. Både oorganisk fosfor och oorganiskt kväve förbrukas helt under vårbloomingen. Halterna av för växterna tillgängliga former av fosfor och kväve har varit mycket låga under sommaren, kväve har varit begränsande när fosforhalterna varit höga under hösten. Kiselhalterna har sällan varit så låga att de begränsat algernas tillväxt.

För att minska innehållet av fosfor i Bornsjöns bottnar har bottenvatten pumpats från Edebybassängen 2017-2019 och från den östra bassängen 2020 till ett nybyggt reningsverk nära Bornsjön. Det renade vattnet har sedan återförts till den östra bassängen när vattnet pumpades från Edeby och vice versa. Pumpningen pågick när fosforhalterna var höga i september-oktober. 160-260 kg fosfor fördes bort per år från Edeby och 360 kg från den östra bassängen.

Halterna av fosfor och kväve i bottenvattnet vid Edeby var lägre än vanligt och syrehalterna högre under den tid pumpningen pågick. Pumpningen gav inga tydliga effekter i den östra bassängens bottenvatten. Återföringen till den östra bassängen av vatten från Edeby påverkade inte förhållandena på de största djupen och det renade vattnet lagrades möjligen in på mindre djup.

För att optimera tiden för utpumpning av bottenvatten har sensorkedjor för registrering av temperatur, konduktivitet och syre lagts ut i Bornsjön, en i Edebybassängen och en i den östra bassängen. Data har erhållits med avbrott från september 2019 till oktober 2020. Överensstämmelsen med resultat från den ordinarie provtagningen har varit god vid Edeby men sensorerna har fungerat dåligt i den östra bassängen.

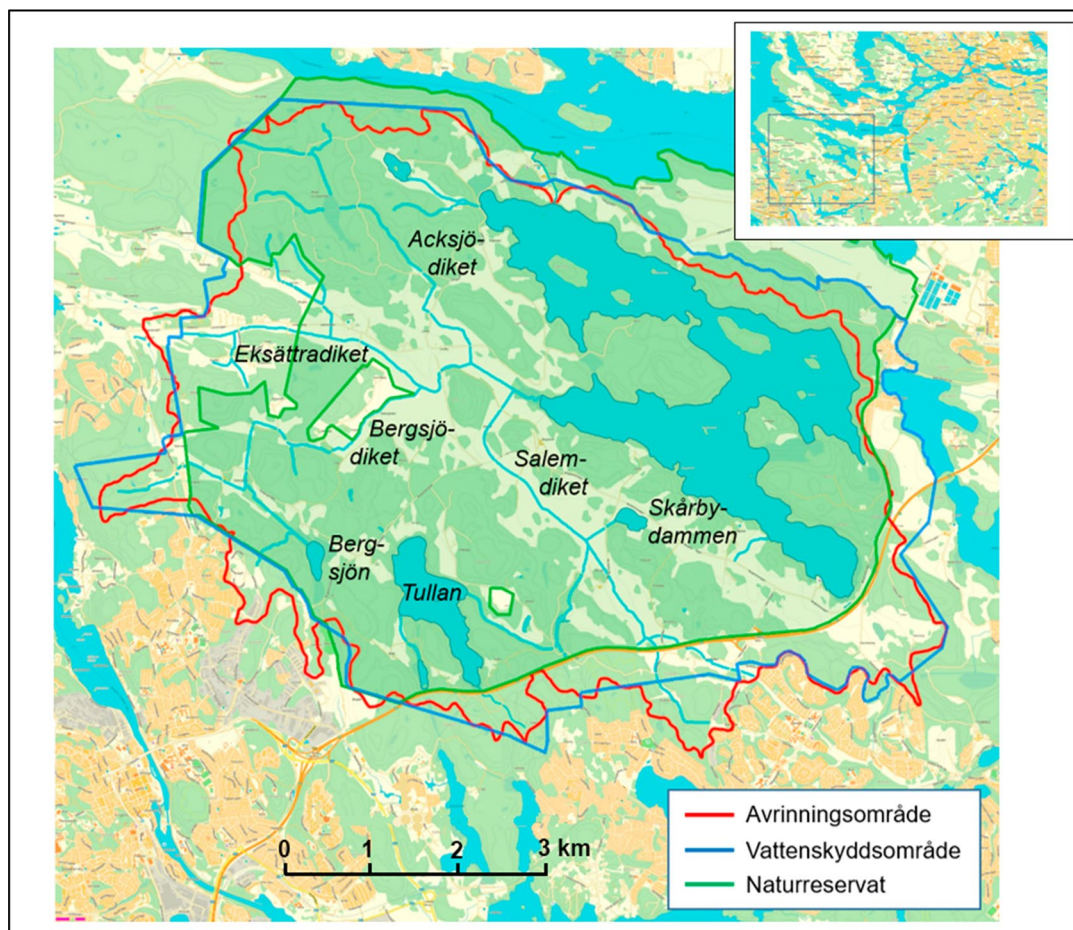
Status

Bornsjöns övergripande ekologiska status bedöms av Vattenmyndigheten som *god*. Växtplankton har givits *hög* status baserat på klorofyll a, makrofyter *måttlig* status. Statusen för näringsämnen (i sötvatten bara fosfor), bedöms som *god* baserad på helårsvärden, i den tidigare förvaltningscykeln *hög* med värden enbart från augusti, augustivärdena har inte förändrats. Status för ljusförhållanden och försurning är *hög*.

Alla hydrologiska kvalitetsfaktorer har *hög* status. Bornsjön uppnår inte *god kemisk status* vilket är en generell bedömning av halter i biota i svenska sjöar. PFOS överskred bedömningsgrundernas gränsvärde i ett prov från 2019.

Inledning

Bornsjön ligger mellan Stockholm och Södertälje. Avrinningsområdet delas av tre kommuner: Södertälje, Botkyrka och Salem. Bornsjön är den viktigaste reservvattentäkten för Stockholm och omges av ett vattenskyddsområde som i stort sett sammanfaller med gränsen för avrinningsområdet. Även naturvärdena är stora. Större delen av avrinningsområdet ingår i Bornsjöns naturreservat och Bornsjöns yta är avsatt som Natura 2000-område (Fig 1).



Figur 1. Bornsjön med gränser för avrinningsområde, vattenskyddsområde och naturreservat.

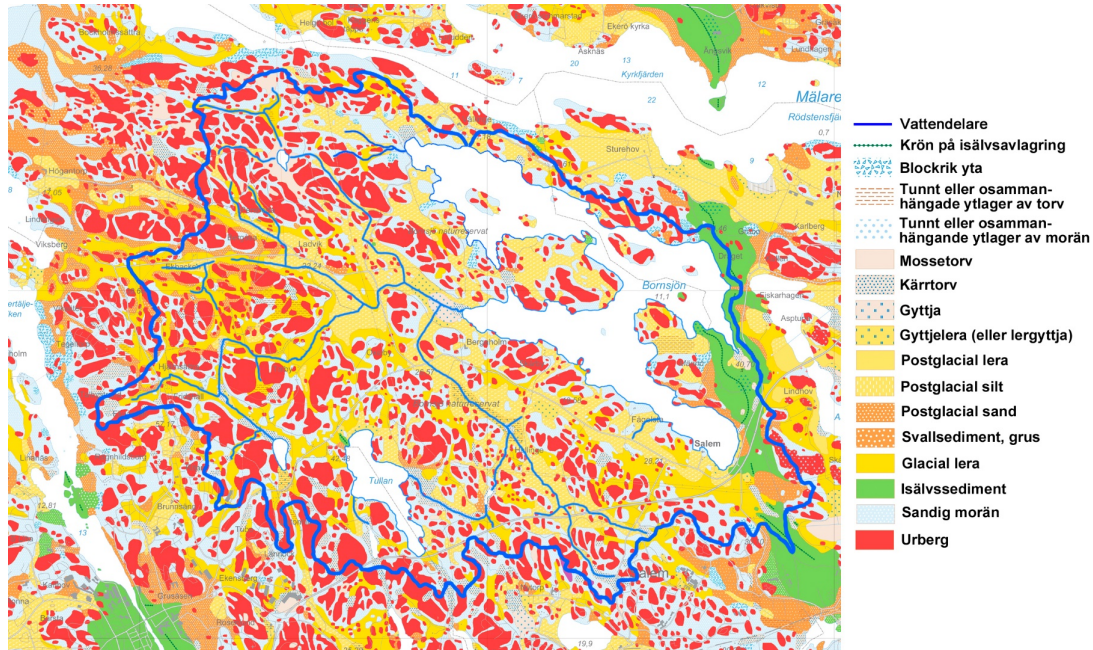
Större delen av Bornsjöns avrinningsområde köptes av Stockholms stad redan 1899. Egendomarna har därefter gradvis utvidgats och staden äger idag över 90 % av området. Omfattande åtgärder har under åren vidtagits för att skydda vattenkvaliteten. Under 1980-talet försämrades dock kvaliteten, huvudsakligen p.g.a. ökade fosforhalter. Som en temporär åtgärd installerades 1987 ett luftningsaggregat i den nordöstra bassängen, enskilda avlopp förbättrades och åtgärder vidtogs för att minska näringsläckaget från odlad mark.

Fosforhalterna ökade på nytt i början av 2000-talet och 2013 beslöt Stockholm Vatten att bygga ett reningsverk för att reducera fosforinnehållet i bottenvattnet som är stort mot slutet av sommaren och under tidig höst. Verket har varit i funktion sedan 2017.

Föreliggande rapport, som gjorts på uppdrag av Stockholm Vatten Och Avfall (SVOA), är en uppföljning av den redovisning av utvecklingen i Bornsjön till och med 2015 som gjordes 2016. Det är också den första beskrivningen av det nya reningsverkets funktion och effekt på Bornsjön.

Avrinningsområde

Avrinningsområdet har en yta av 48 km², därav ca 7,5 km² sjö – Borsjön, Tullan och Bergsjön. Skogsmark upptar drygt 30 km² och odlad mark ca 8 km². En liten andel urban mark, ungefär 0,2 km², finns i Södertäljes del av avrinningsområdet. Dagvatten från en del av bebyggelsen i Salem, ca 1,6 km², som naturligt tillhör avrinningsområdet, avleds från Borsjön (en mindre del kan återstå).



Figur 2. Geologi. Karta från SGU.

Avrinningsområdet är ganska typiskt för denna del av Sverige med dalgångar med glacial och postglacial lera åtskilda av höjdryggar med morän och berg i dagen. Odlad mark finns huvudsakligen på lerjorden i dalgångarna i anslutning till de stora vattendragen. Skyddszoner har anlagts vid huvuddiken, restriktioner har införts för användning av bekämpningsmedel och växtnäring och jorden har strukturralkats. Förberedelser görs nu för att i hela området införa ekologiskt jordbruk. Skogsbruket, som bedrivs av SVOA, är SFC-certifierat. Hyggesytorna är begränsade till 3,5 ha per år.

Motorvägen E4/E20 passerar på en stor sand- och grusås öster om Borsjön. Avrinningen från ca 2,5 km av vägen där den går närmast Borsjön renas sedan 1997 i en sedimenteringsanläggning och efterföljande damm som båda byggts och sköts av Trafikverket. Biltrafiken är tidvis intensiv på gamla Riksettan, som passerar mellan motorvägen och Borsjön, och Trafikverket arbetar med skyddsåtgärder även där.

Det finns ett stort antal enskilda fastigheter, flertalet för permanentboende och till allra största delen inom Södertäljes del av avrinningsområdet väster om Borsjön.

Tillrinning, ämnestransporter



Figur 3. Diken med provtagningspunkter 2017-2020.

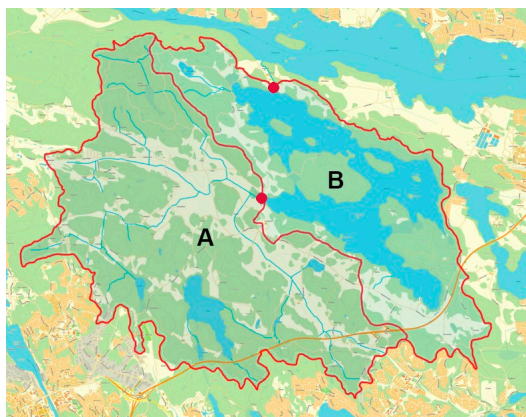
Knappt 2/3 av tillrinningsområdet, 27,5 km², avvattnas av diken söder och väster om Bornsjön, som har ett gemensamt utlopp med *Sigmadikets utlopp* i den södra bassängen – Salemdiket, som också tar emot utflödet från Tullan via Tullandiket, Eksättra- och Bergsjödiket i den västra delen av avrinningsområdet, samt Acksjödiket från nordväst (Fig 3, se också Fig 1). Provtagningar har gjorts i diken sedan 1986 och tidvis även i andra, mindre tillflöden till Bornsjön, som mest 51 lokaler.

2017 återupptogs några lokaler som inte varit provtagna sedan 2010 - *V Talby utlopp i diket*, *Hallingevägen*, *Hallinge kvarn* och *Sigmadikets utlopp*. Från 2017 har prover tagits ungefär 2 gånger i månaden vid de 16 lokaler som visas på kartan i Figur 3, med undantag av de nedersta punkterna i Salem- och Eksättradikena, *Bergaholm vägbron* och *Bron Hamnberget*, där prover tagits en gång i veckan. 2019-2020 har prover även tagits vid *Säby gamla tomt* som ligger i ett litet vattendrag utan kontakt med övriga diken.

De parametrar som analyserats har varit konduktivitet (=ledningsförmåga, mått på innehåll av lösta salter), turbiditet (=grumlighet), fosfor (total, fosfat) samt kväve (total, ammonium, nitrit+nitrat). 2015-2020 har analyser dessutom gjorts vid Björkmossen av suspenderat material, olja och metaller.

Flöden

Utflöden från de större avrinningsområdena i Sverige beräknas löpande av SMHI. För Bornsjön beräknas dels det samlade utflödet från hela avrinningsområdet och dels utflödet från det delområde som mynnar i *Sigmadikets utlopp*, d.v.s. hela det stora dikessystemet söder och väster om Bornsjön (Fig 4). Det har även gjorts direkta mätningar av flödet som en del av kontrollprogrammet med en mätpunkt i Eksättradiket vid *Bron Hamnberget* och en i Salemdiket vid *Bergaholm vägbron* (Fig 5). Mätningarna från Bergaholm har dock givit osäkra resultat och resultat från Hamnberget saknas efter 2015.



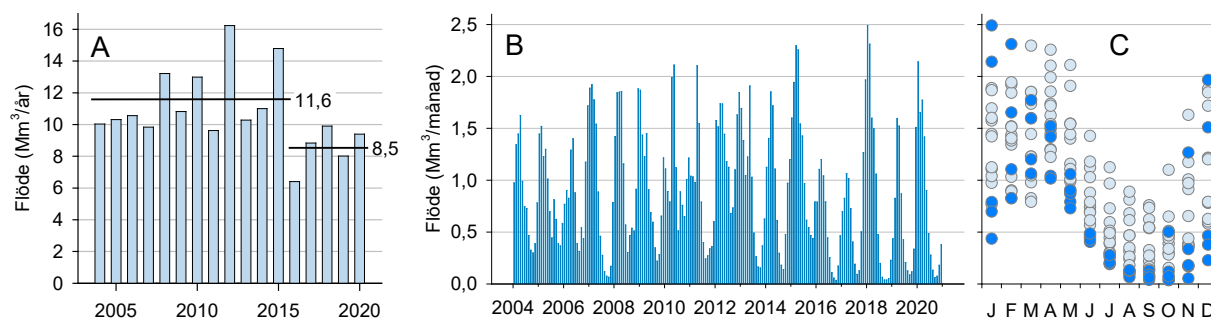
Figur 4. Delområde A med utflöde i Sigmadikets utlopp, 27,6 km², och B återstående del av Bornsjöns avrinningsområde, 13,4 km² (exkl sjöytor).



Figur 5. Ytor uppströms H Bron Hamnberget, 11,2 km², och B Bergaholm vägbron, 12,0 km² (exkl sjöytor).

Utflödet från hela avrinningsområdet har enligt SMHI sedan 2004 varierat mellan 6,4 och 16,2 Mm³/år. Flödena har varit låga den senaste 5-årsperioden, medelvärden för årsflödena 2016-2020 var 8,5 Mm³ mot 11,6 Mm³ 2004-2015 och årsflödet var fyra av de fem åren efter 2015 lägre än något tidigare år sedan 2004 (Fig 6 A).

Flödena varierar under året med de högsta flödena i december-april, de har vanligen varit låga redan i maj och börjat öka först i oktober (Fig 6 C). 2016-2020 var flödena genomgående mycket låga under sommaren, men enstaka höga månadsflöden förekom under övriga delar av året.



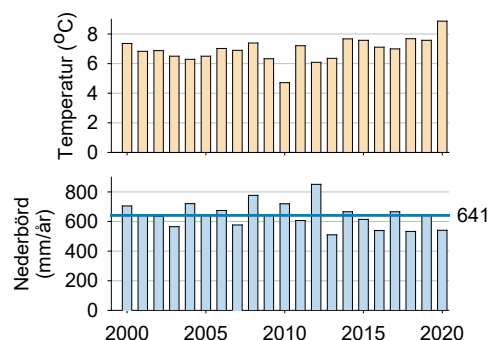
Figur 6. (A) Utflöde från hela avrinningsområdet 2004-2020, medelvärden 2004-2015 och 2016-2020, (B) Månadsflöden från hela avrinningsområdet, och (C) Fördelningen av flödena 2004-2020, 2016-2020 med mörka symboler.

Temperatur och nederbörd

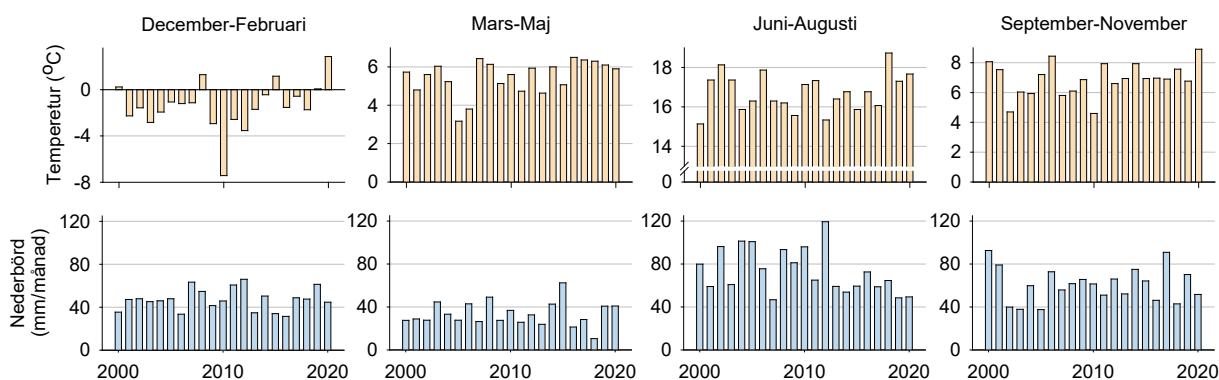
Det fanns tidigare en meteorologisk station i Norsborg. Sedan den upphört ligger den närmaste stationen i Södertälje. Dataserier från SMHI:s hemsida kan laddas ner i Excelformat med värden kl 06:00 och 18:00 för temperatur (t.o.m. oktober 1995 även 12:00) och dygnsvärden för nederbörd.

Temperaturen har visat stora variationer med över 4 °C i skillnad mellan lägsta och högsta årsmedeltemperatur 2000-2020. Temperaturen var låg 2010, 4,6 °C, därefter har temperaturen ökat och årsmedeltemperaturen 2020 var 8,9 °C (Fig 7). Framförallt vintrarna har blivit varmare, både 2019 och 2020 var medeltemperaturen i december-februari över 0 °C (Fig 8).

Medelvärde för årsnederbörden 2000-2020 har varit 641 mm. 2012 var nederbörden ovanligt stor, över 800 mm. Sedan har nederbörden flera år varit mindre än normalt - 2013, 2016, 2018 och 2020 mellan 510 och 540 mm (Fig 8). Den tydligaste minskningen har sett under sommaren, både 2019 och 2020 var nederbörden i juni-augusti, med undantag av 2007, den minsta under 2000-talet.

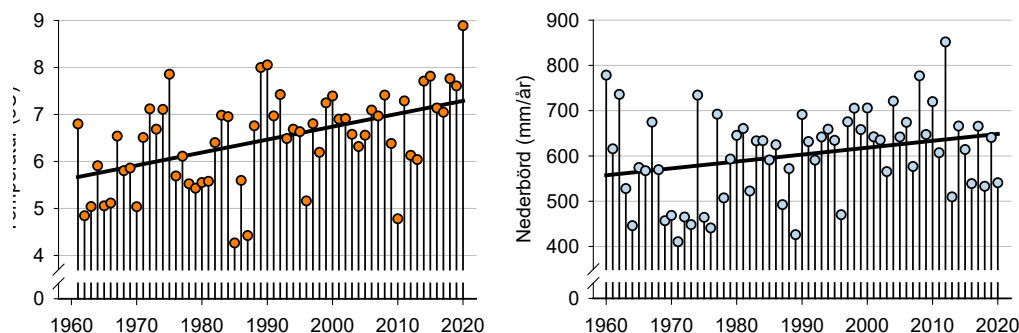


Figur 7. Temperatur, årsmedelvärde, och nederbörd, mm/år, SMHI:s station Södertälje 2000-2020.



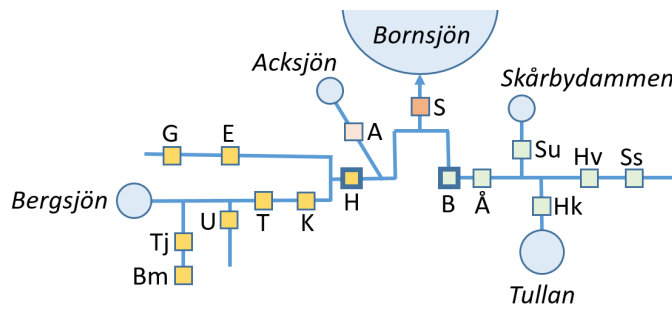
Figur 8. Temperatur och nederbörd, genomsnitt vinter, vår, sommar och höst 2000-2020. SMHI:s station Södertälje.

Över längre tid har förändringarna varit stora med en markerad ökning av temperaturen och ökad nederbörd, temperaturen 2020 framstår som extremt hög (Fig 9).



Figur 9. Årsmedeltemperatur och nederbörd vid SMHI:s station i Södertälje 1961-2020.

Dikesprovtagningar

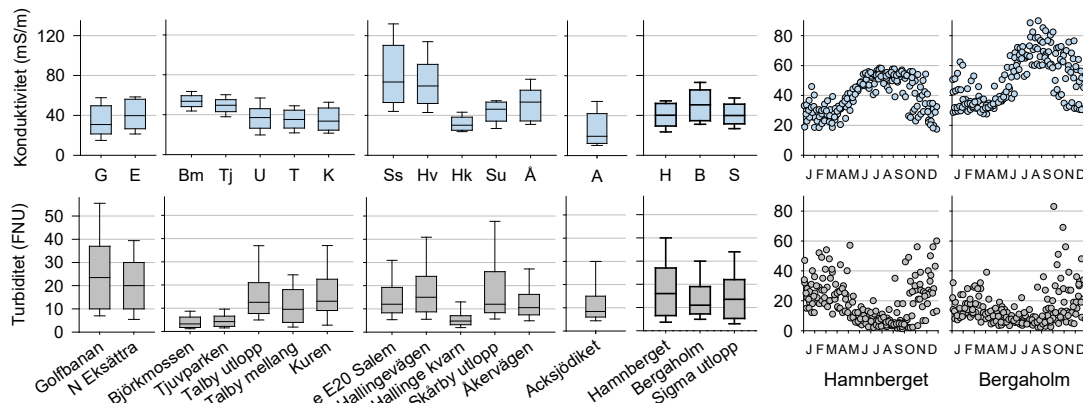


Figur 10. Förenklad bild med diken och provpunkter.

Bm	Björkmossen
Tj	Bergsjödiket, Tjuvparken
U	Bergsjödiket, V Talby utlopp t diket
T	Bergsjödiket, Talby Mellangård
K	Bergsjödiket, Kuren
G	Eksättradiket, Golfbanan
E	Eksättra, Nedom Eksättradiket
H	Eksättradiket, Bron Hamnberget
Ss	Salemdiket, uppsaml eft E20-Salemdikena
Hv	Salemdiket, Hallingevägen
Hk	Tullandiket, Hallinge kvarn
Su	Salemdiket, Utlopp Skårbydammen
A	Salemdiket, Åkervägen Bergaholm
B	Bergaholm, vägbron
A	Acksjödiket, Bornövägen trumma
S	Salemdiket, Sigmadikets utlopp

Konduktivitet och turbiditet

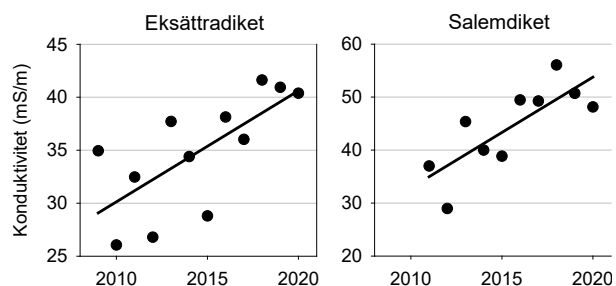
Konduktiviteten varierar mellan ca 10 och 200 mS/m, medianvärdet för samtliga lokaler är 43 mS/m. Värdena är högst i den övre delen av Salemdiket där tre mindre diken förenar sig nedströms E4/E20. Värdena har varit lägst i Acksjödiket och vid Golfbanan i den övre delen av Eksättradiket. Golfbanan är samtidigt den lokal där turbiditeten varit högst, turbiditeten har varit mycket låg vid Björkmossen och Tjuvparken som ligger utanför de odlade områdena med lerjordar och vid Hallinge kvarn i Tullandiket (Fig 11).



Figur 11. Konduktivitet och turbiditet, samtliga värden 2017-2020, och variationen under året i nedre delen av Eksättradiket vid Bron Hamnberget och nedre delen av Salemdiket vid Bergaholm vägbron.

Turbiditeten ökar med ökande flöde medan konduktiviteten är högst när flödet är litet. Under sommaren har turbiditeten därför varit låg och konduktiviteten hög och tvärtom under vintern.

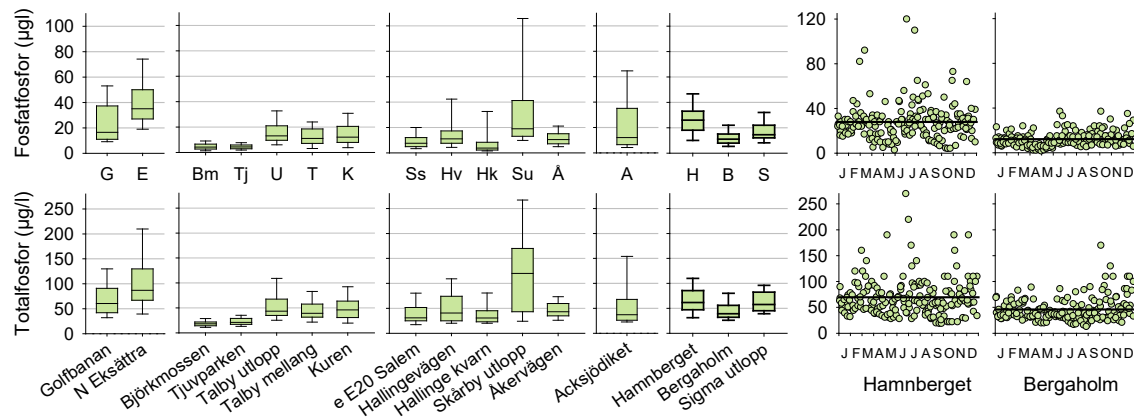
Konduktiviteten har efter 2010 ökat i både Eksättradiket och Salemdiket (Fig 12). Ökningen har varit störst i Salemdiket där också värdena varit högst. Orsaken till de höga värdena är inte känd, en möjlig förklaring är påverkan av motorvägen och dagvatten från bebyggelsen i Salem.



Figur 12. Konduktivitet, årsmedelvärden, i Eksättradiket vid Bron Hamnberget och i Salemdiket vid Bergaholm vägbron 2009-2020 resp 2011-2020.

Fosfor

Fosforhalterna har varit höga i Eksättradiket, i Skårbydammens utlopp i Salemdiket och tidvis i Ack-sjödiket. De höga halterna i Eksättradiket har huvudsakligen orsakats av en kraftig ökning från *Golfbanan* till *Eksättra nedom Eksättradiket* – fosfatfosfor (medianvärde) från 17 till 35 µg/l och totalfosfor från 61 till 87 µg/l - och halterna vid *Bron Hamnberget* i nedre delen av Eksättradiket har varit avsevärt högre än vid *Bergaholm vägbron* i Salemdikets nedre del. Totalfosforhalterna har varit exceptionellt höga i utloppet från Skårbydammen, som mynnar uppströms Bergaholm vägbron, men flödet är litet och påverkan på halterna i Salemdiket har varit obetydlig.



Figur 13. Fosfat- och totalfosfor, samtliga värden 2017-2020. Diagrammen till höger visar förändringarna under året vid Bron Hamnberget och Bergaholm vägbron nederst i Eksättra- resp Salemdiket. Horisontella linjer anger medelvärden 2017-2020.

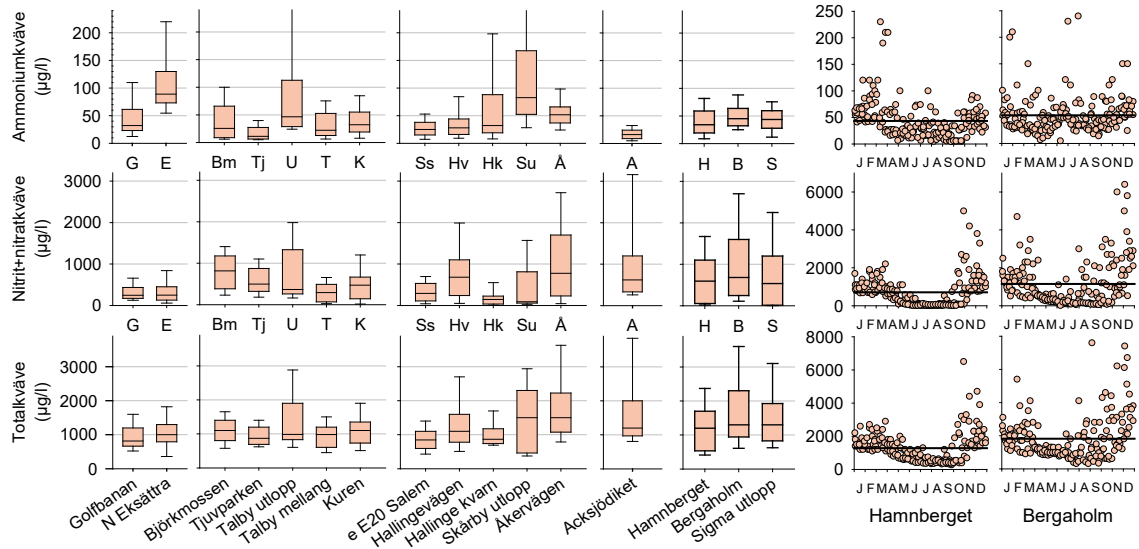
Variationerna under året har varit små. Spridda höga halter har förekommit i Eksättradiket under alla tider på året, halterna i Salemdiket har varit något högre under hösten (Fig 13). Fosfatfosforhalterna har några gånger varit mycket låga, <2 µg/l, vid Hallinge kvarn i Tullandiket och vid provpunkterna Björkmossen och Tjuvparken i tillloppet från Björkmossen till Bergsjödiket.

Kväve

Alla former av kväve – ammoniumkväve, nitrit+nitratkväve och totalkväve – har förekommit i något högre halter vid Bergaholm i Salemdiket än vid Hamnberget i Eksättradiket. Ammoniumkväve, som utgör en liten del av det totala kväveinnehållet, i genomsnitt 3-4 %, har förekommit i jämförelsevis höga halter i Skårbydammen. Den kraftiga ökningen från Golfbanan till Eksättradiket nedom Eksättra beror troligen på inverkan av avloppsvatten vilket också kan förklara de höga halterna i V Talby utlopp till Bergsjödiket.

Nitrit+nitrathalterna har varit relativt höga i Bergsjödikets tillflöde från Björkmossen i provpunkterna Björkmossen och Tjuvparken. I den övre delen av Salemdiket ökar halten från Uppsamling eft E20 till Hallingevägen och har varit ännu något högre vid Åkervägen Bergaholm. Medianvärdena för totalkväve ligger ganska nära 1000 µg/l vid alla provpunkter med undantag av högre halter i utloppet från Skårbydammen och Åkervägen Bergaholm.

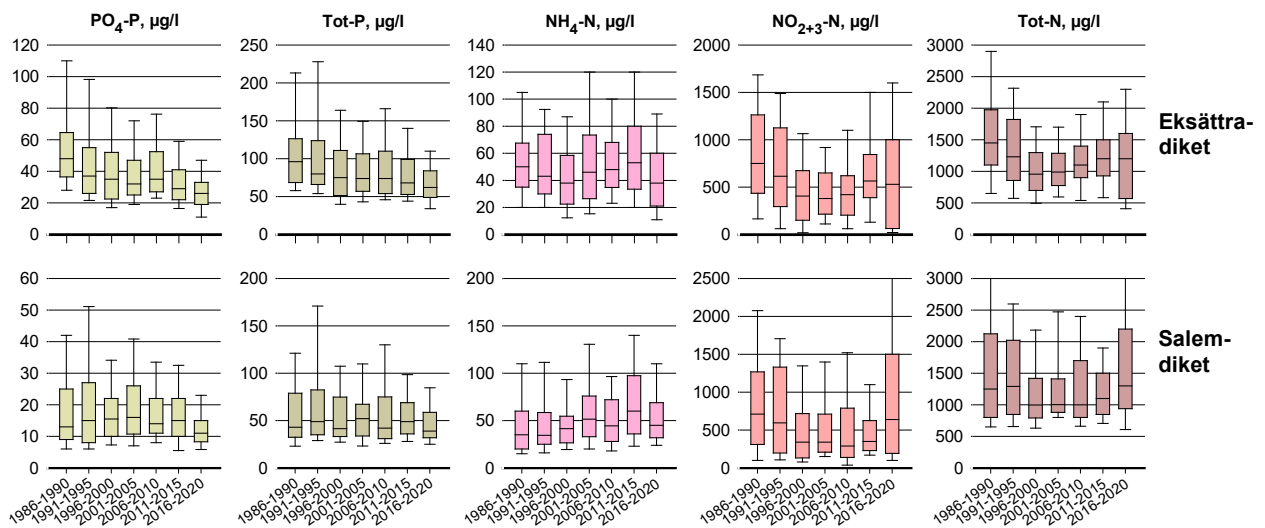
Både nitrit+nitratkväve och totalkväve varierar kraftigt under året med låga halter under sommaren, högre under våren och de högsta under hösten och början av vintern. Mycket låga nitrit+nitrathalter, <5 µg/l, har varit ovanliga men har förekommit vid några tillfällen i april-oktober vid Hallinge kvarn i Tullandiket och i Sigmadikets utlopp, mer sällsynt också i Bergsjödiket vid Talby Mellangård och vid Kuren.



Figur 14. Ammonium-, nitrit+nitrat- och totalkväve, samtliga värden 2017-2020. Diagrammen till höger visar förändringarna under året vid Bron Hamnberget och Bergaholm vägbron nederst i Eksättra- resp Salemdiket. Horisontella linjer anger medelvärden 2017-2020.

Förändringar av fosfor och kväve 1986-2020

Provtagningarna i dikena har pågått sedan mitten av 1980-talet. De största förändringarna i de två stora dikena Eksättradiket och Salemdiket har varit en kraftig minskning av kvävehalterna – nitrit+nitrat och totalkväve - från mitten av 1980-talet till mitten av 1990-talet vilket i tid sammanfaller med införandet av skyddszoner och begränsningar av användningen av gödningsmedel. Fosforhalterna har gradvis minskat i Eksättradiket men har varit oförändrade i Salemdiket fram till den sista femårsperioden. Eksättradiket är påverkat av ett stort antal fastigheter och minskningen av fosforhalterna har sannolikt varit en effekt av förbättrade enskilda avlopp.

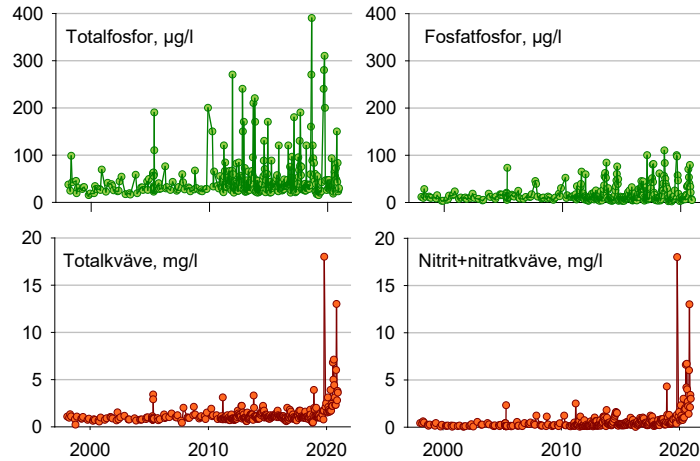


Figur 15. Fosfor och kväve vid Bron Hamnberget i Eksättradiket och Bergaholm vägbron i Salemdiket. 10-, 25-, 50-, 75- och 90-percentiler, femårsperioder 1986-2020.

Förändringar av fosfor och kväve 2004-2020

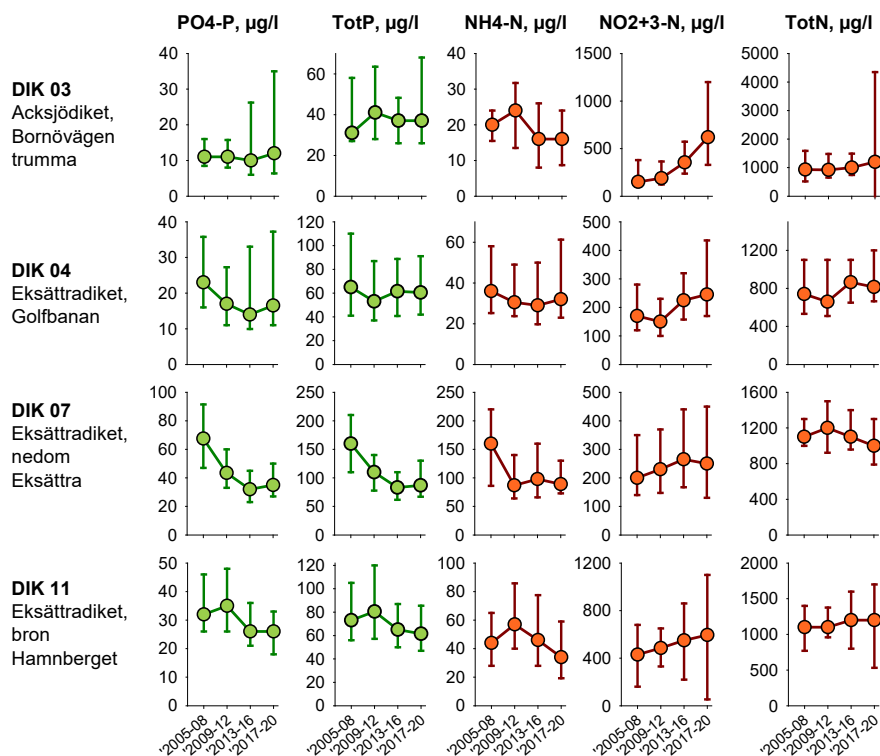
Halterna av fosfor och kväve vid samtliga provpunkter, utom *Björkmossen* och *Sigmadiket utlopp* med alltför få provtagningar, visas i fyraårsperioder 2005-2020 uppdelade på Acksjö- och Eksättradiket, Bergsjödiket och Salemdiket i figurerna 16-20.

Anmärkningsvärt stora förändringar har skett i **Acksjödiket**. Fosforhalterna, som tidigare var bland de lägsta i Bornsjöområdet, ökade kraftigt efter 2010 och halterna har tillfälligt varit mycket höga – totalfosfor över 300 µg/l, huvudsakligen beroende på bunden fosfor, d.v.s. den andel av det totala fosforinnehållet som inte förekommit som löst fosfatfosfor (Fig 16). Troligen på grund av brytning av vall uppströms provpunkten har kvävehalterna varit mycket höga efter 2018 vilket enbart orsakats av höga halter nitrit+nitratkväve, högre än i något annat dike med undantag av Säby gamla tomt.



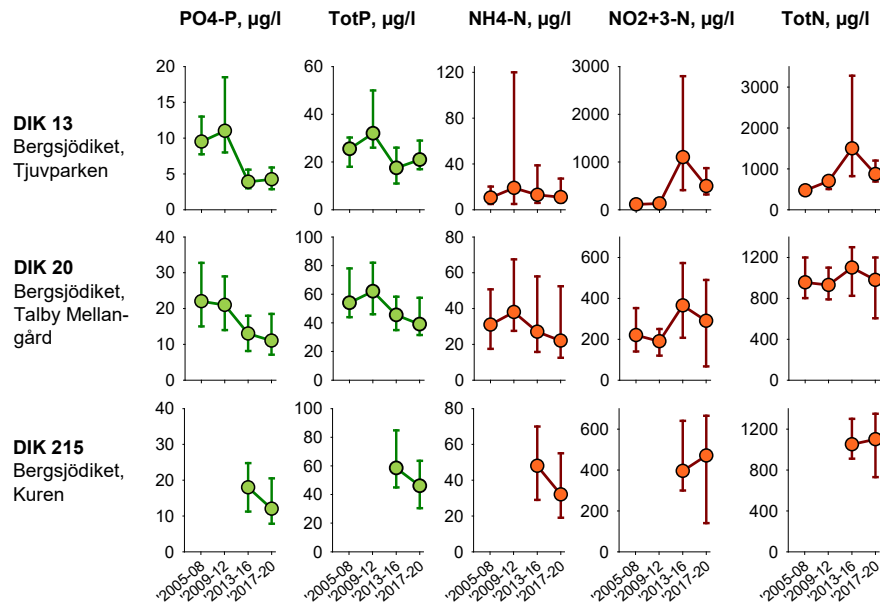
Figur 16. Fosfor och kväve i Acksjödiket 1998-2020.

De tydligaste förändringarna i **Eksättradiket** har varit en kraftig minskning av fosforhalterna, total och fosfat, i *Eksättradiket nedom Eksättra* både 2005-08 och 2009-12. Lägre ammoniumhalter vid samma lokal efter 2005-08 tyder på minskad påverkan av avloppsvatten. Halterna av nitrit+nitratkväve har ökat vid alla lokaler.



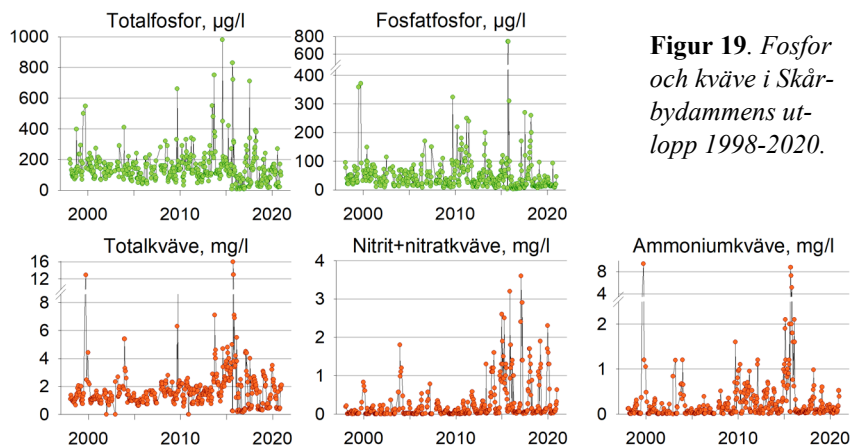
Figur 17. Fördelningen av halter av fosfor och kväve i Acksjö- och Eksättradiket, 4-årsperioder 2005-2020. Median, 75-percentil

De stora förändringarna i **Bergsjödiket** har skett i sidodiket från Björkmossen, prover från provpunkten med samma namn har bara tagits sedan 2013. Vid *Tjuvparken* ett kort stycke nedströms har fosfatfosfor minskat och halterna har varit låga efter 2009-12. Halterna av kväve som periodvis varit mycket höga, ammonium 2009-12 och nitrit+nitrat 2013-16, har varit jämförelsevis låga den sista fyraårsperioden. Påverkan av de höga halterna i diket från Björkmossen har varit tydlig vid *Talby Mellangård* längre ner i Bergsjödiket.



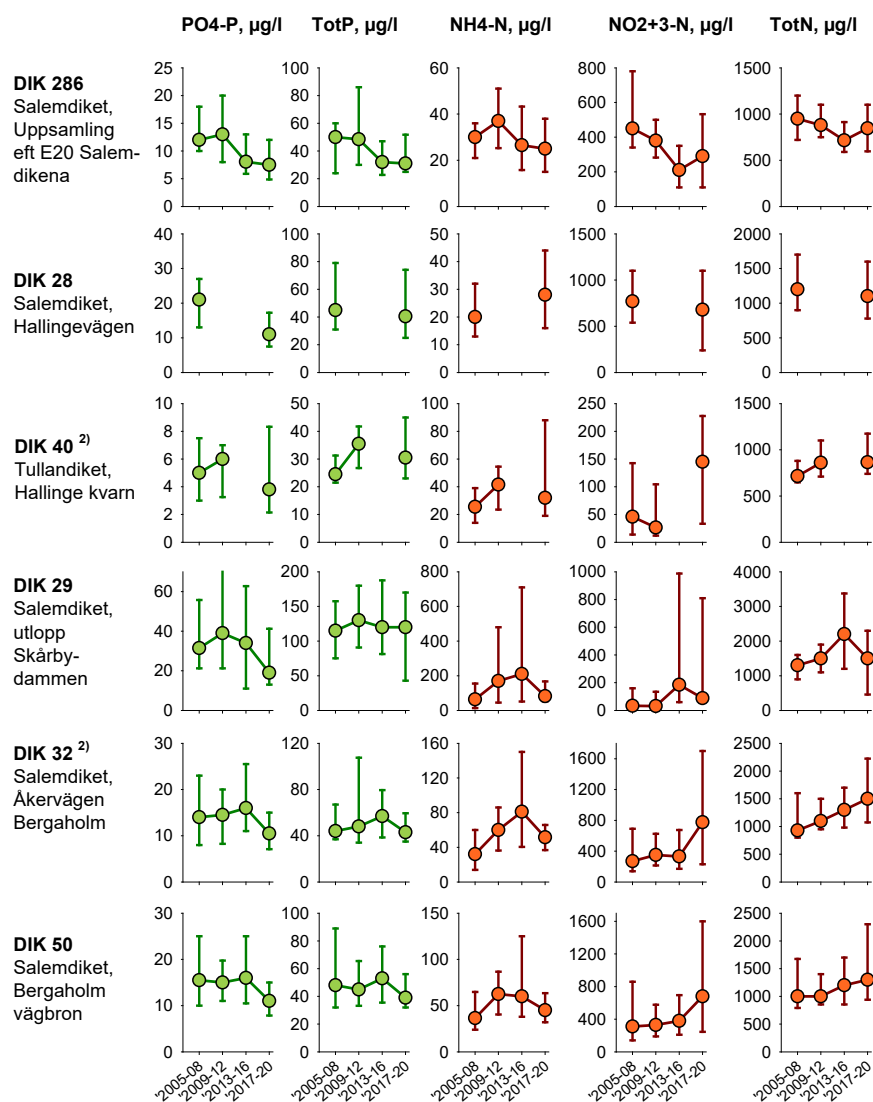
Figur 18. Fördelningen av halter av fosfor och kväve i Bergsjödiket, 4-årsperioder 2005-2020.

Fosforhalterna har minskat vid alla provpunkter i **Salemdiket** med undantag av totalfosfor i Skårbydammens utlopp. Tillrinningen leddes tidigare genom dammen. 2015-2016 anlades en förbiledning på grund av de höga halterna av både fosfor och kväve i utloppet som antogs ha orsakats av utlösning från dammens botten. Fosfatfosfor har minskat något, de mycket höga halterna av totalfosfor har blivit lägre, medelvärden de senaste åren har dock fortfarande varit högt. Kvävehalterna har tidvis varit mycket höga men har minskat den senaste fyraårsperioden.



Figur 19. Fosfor och kväve i Skårbydammens utlopp 1998-2020.

Halterna av nitrit+nitratkväve och totalkväve har 2017-2020 varit höga vid de nedre lokalerna i Salemdiket, *Åkervägen Bergaholm* och *Bergaholm vägbron*, medan ammoniumkväve har minskat vilket kan ha samband med lägre halter i Skårbydammens utlopp.



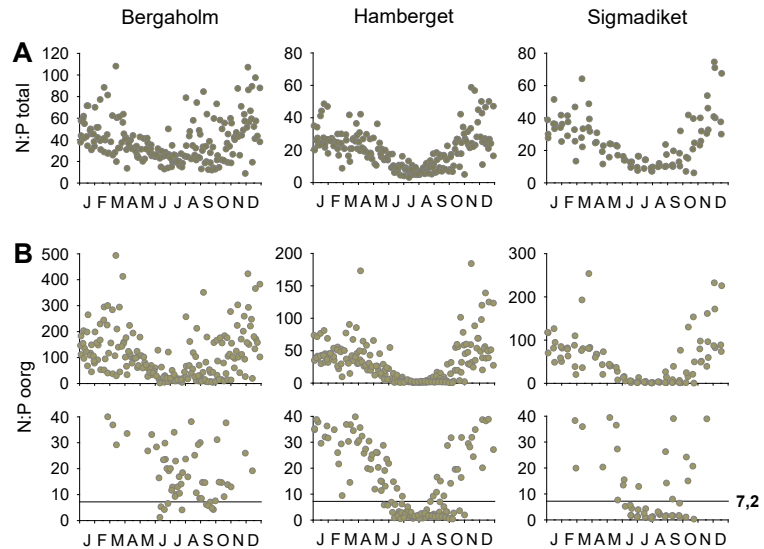
Figur 20. Fördelningen av halter av fosfor och kväve i Salemdiket, 4-årsperioder 2005-2020.

Figur 22. Halter av fosfor och kväve i dikena i Bornsjöns tillrinningsområde 2019-2020, medelvärden, min och max.

Förhållandet mellan kväve och fosfor

Kvävehalterna har varierat under året, med låga halter under sommaren, medan fosforhalterna varit relativt konstanta (Fig 13 och 14). N:P-kvoten, förhållandet mellan kväve och fosfor, varierar därför på ungefär samma sätt som kvävehalterna.

Förhållandet mellan totalhalterna har varit lägre i Eksättradiket än i både Salemdiket och Sigmadikets utlopp. Skillnaderna har varit ännu större för förhållandet mellan halterna av oorganiskt kväve och fosfor. I flertalet prover från sommar och tidig höst i Eksättradiket och Sigmadikets utlopp har N:P-kvoten varit lägre än 7,2:1, som är det förhållande i vilket de flesta alger behöver kväve och fosfor. Under en övervägande del av vegetationsperioden är alltså det samlade tillflödet till Bornsjön med de stora diken via Sigmadikets utlopp jämförelsevis kvävefattigt och fosfor tillförs i relativt överskott.

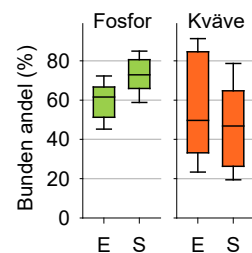


Figur 23. Förhållandet mellan kväve och fosfor i de nedre delarna av Salemdiket och Eksättradiket samt i Sigmadikets utlopp 2017-2020. (A) Totalhalter, (B) Oorganiska fraktioner. NB olika skalor.

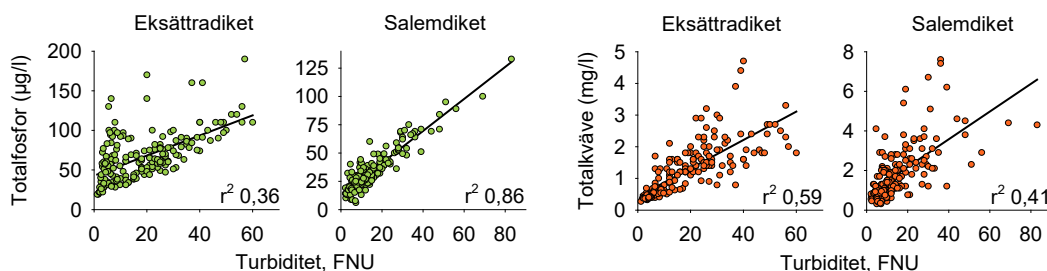
Turbiditet och halter av fosfor och kväve.

Det finns ett starkt samband mellan turbiditet (grumlighet) och halter av fosfor och kväve, som beror på att en stor del av både fosfor och kväve förekommer i bunden och sannolikt till största delen partikulär form, fosfor i Salem- och Eksättradiket 70 % resp 60 %, kväve i båda diken ca 50 % (Fig 24).

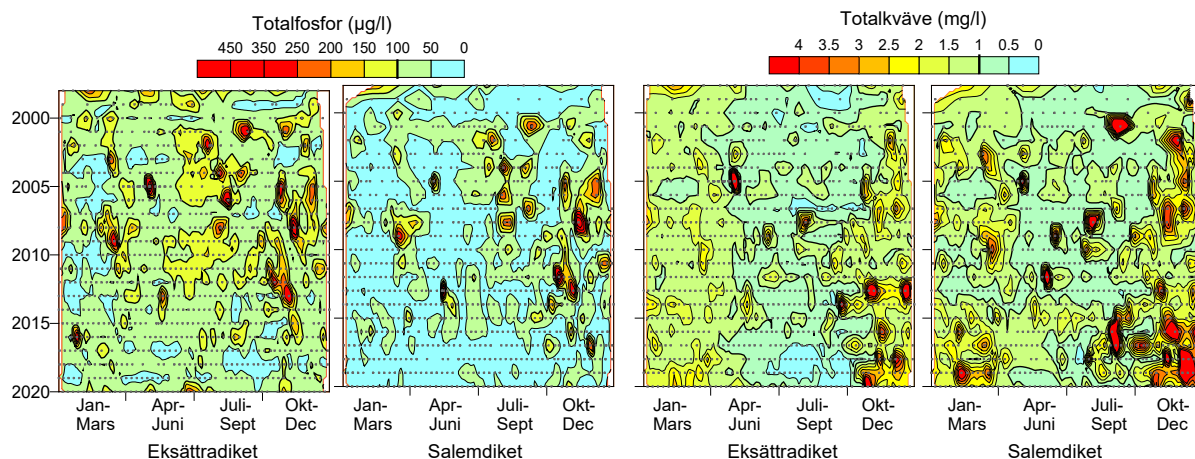
Salemdiket med den största andelen bunden fosfor är också det dike där sambandet mellan turbiditet och fosfor har varit starkast. Sambandet har varit svagare i Eksättradiket där en ganska stor andel av fosfor troligen kommer från enskilda avlopp. Kväve har uppvisat större variationer under året än fosfor och sambandet med turbiditet är mindre tydligt. Sambandet med turbiditeten, som ökar med ökande flöde, gör att halterna av fosfor och kväve kan bli mycket varierande (Fig 26) med beroende på flödet mycket höga halter vid enstaka tillfällen. Beräkningen av transporterade mängder blir därför något osäker.



Figur 24. Bunden andel av totalfosfor och totalkväve i Eksättra- och Salemdiket 2017-2020.



Figur 25. Samband mellan turbiditet (grumlighet) och totalfosfor resp totalkväve vid Bron Hamnerget i Eksättradiket och Bergaholm vägbroen i Salemdiket 2017-2020.



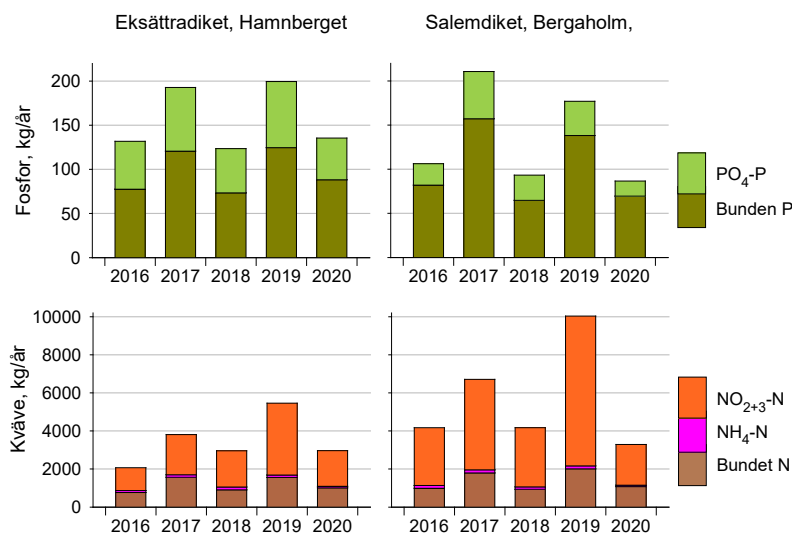
Figur 26. Analyserade halter av totalfosfor och totalkväve i Eksättradiket (Bron Hamnberget) och Salemdiket (Bergaholm vägbron) 1998-2020. Varje punkt representerar ett prov. De högre fosforhalterna i Eksättradiket än i Salemdiket framgår tydligt liksom tendensen mot höga kvävehalter under höst-tidig vinter.

Transporter av kväve och fosfor, kväve- och fosforbalans

SVOA

Transporterna av kväve och fosfor beräknas med uppmätta flöden och halter av fosfor och kväve vid *Bron Hamnberget* och *Bergaholm vägbron*. Data finns från 1986-92, 1999-2005 och 2009-2020 (Tabell 1). Flödesmätningar saknas 2016-2020, uppmätta flöden och därmed beräknade transporter var felaktiga 2013. De saknade flödena 2016-2020 har ersatts av modellerade flöden från SMHI.

Transporten av fosfor har uppgått till mellan 0,22 och 0,73 ton per år och transporten av kväve till mellan 4,7 och 15,5 ton/år. En stor andel av fosfor transporteras i bunden form medan kvävet till största delen förekommer som i löst form som nitrit+nitrat. Ammoniumkväve har utgjort en mycket liten andel (Fig 27). Som framgår av Tabell 1 har de transporterade mängderna minskat, framförallt av fosfor.



Figur 27. Transporter av fosfor och kväve i Eksättradiket och Salemdiket 2016-2020.

Tabell 1. Sammanlagda transporter av fosfor och kväve i Eksättradiket och Salemdiket vid Bron Hamnberget och Bergaholm vägbron.

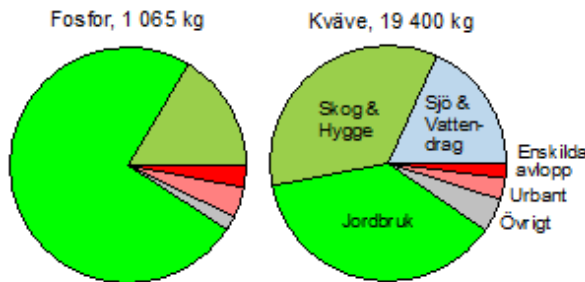
År	Tot-P Ton/år	Tot-N Ton/år
1986	0,70	11,7
1987	0,44	8,9
1988	0,46	8,2
1990	0,63	10,3
1991	0,25	4,9
1992	0,39	5,3
Median	0,45	8,6
1999	0,43	9,1
2000	0,60	9,2
2001	0,73	11,8
2002	0,67	10,3
2003	0,17	4,7
2004	0,41	6,9
2005	0,58	8,2
Median	0,58	9,1
2009	0,42	6,8
2010	0,42	8,7
2011	0,36	5,7
2012	0,42	9,3
(2013)	0,10	2,1
2014	0,34	7,5
2015	0,46	9,7
Median	0,42	8,1
2016	0,24	6,2
2017	0,40	10,5
2018	0,22	7,1
2019	0,38	15,5
2020	0,22	6,3
Median	0,24	7,1

Eksättradiket och Salemdiket avvattnar tillsammans ca 56 % av tillrinningsområdet. Med en uppräknings av transporterna i de två diken till hela tillrinningsområdet blir medelvärdet under åren 2009-2020, som är den senaste sammanhängande mätperioden, för fosfor 0,63 ton/år och kväve 15,2 ton.

SMHI

SMHI har beräknade mängder fosfor och kväve från de olika källorna inom två delar av avrinningsområdet (se Fig 4) - sammanlagt, exklusive retention, drygt ett ton fosfor och nästan 20 ton kväve (Fig 28). Fosfor kommer till största delen från jordbruksmark och en mindre del från skogsmark. Skog och hygge bidrar med överraskande mycket av kvävet, som till stor del också kommer från sjö och vattendrag (i praktiken detsamma som nedfall på Bornsjöns yta). SMHI har inte räknat med avledningen av dagvatten från Salem och

mängderna från urbana delar av området är antagligen överskattade.



Figur 28. Källor till fosfor och kväve i Bornsjöns totala avrinningsområde (SMHI).

Retentionen är betydande i den del av området som avvattnas av de stora diken, ca 20 %, vilket gör att fosfor minskar från 0,54 till 0,43 ton och kväve från 10,4 till 8,3 ton.

Källorna inom den återstående delen av tillrinningsområdet ger brutto 0,28 ton fosfor och 4,7 ton kväve, därtill drygt 3 ton kväve

med atmosfäriskt nedfall på sjöytan. Uppgifter om retention saknas. Den är sannolikt mindre än i den andra delen av tillrinningsområdet där det finns ett antal sjöar. Med antagande om 10 % retention blir tillförseln av fosfor 0,25 ton och kväve 4,2 ton och den totala tillförseln av fosfor och kväve ca 0,68 ton fosfor och drygt 15,5 ton kväve, nära SVOA:s mängder.

Fosfor- och kvävebalans

En del av den fosfor och det kväve som tillförs Bornsjön sjunker till botten och binds temporärt eller mer eller mindre fast till sedimenten. Kväve kan också avgå genom denitrifikation, vilket innebär att kvävet omvandlats till kvävgas. Uppehållstiden i Bornsjön är lång och de mängder som fastläggs/avgår i Bornsjön, alltså skillnaden mellan tillförd och bortförd mängd, är förhållandevis stora.

Utflödet från Bornsjön består huvudsakligen av ytvatten via Bornsjötunneln och, vid högt vattenstånd, via det naturliga utloppet vid Vällinge. Volymerna ytvatten är bara delvis kända – uppgifter saknas för ett stort flöde som används för spolning av Bornsjötunneln och utflödet vid Vällinge mäts inte. För beräkningarna av bortförda mängder används därför SMHI:s modellerade flöden.

Beräkningarna har gjorts genom att utflödet varje månad multiplicerats med den genomsnittliga halten av fosfor och kväve på 0-5 m djup samma månad. Det görs inga provtagningar i december och januari, halterna antas båda månaderna vara ett genomsnitt mellan november och februari. Provtagningar görs inte heller i mars, halterna antas vara genomsnitt mellan februari och april. Medelvärdena för utflödet av fosfor och kväve åren 2004-2020 uppgår då till 0,29 ton fosfor och 4,8 ton kväve. 2018 och 2019 togs vatten från 10-12 m djup i den östra bassängen till Bornsjöverket för beredning av dricksvatten, båda åren ca 800 000 m³. Mängden fosfor och kväve som fördes bort var liten, mindre än 20 resp 400 kg.

Skillnaden mellan tillförda och bortförda mängder uppgår med de med den till- och frånförsel som beräknats med SVOA:s data $0,63 - 0,28 = 0,35$ ton fosfor och $15,2 - 4,8 = 10,4$ ton kväve. Skillnaden blir för fosfor större med SMHI:s modellerade värden på grund av både större tillförsel och mindre bortförsel, $0,68 - 0,21 = 0,47$ ton, medan skillnaden för kväve blir mindre, $15,5 - 5,8 = 9,7$ ton.

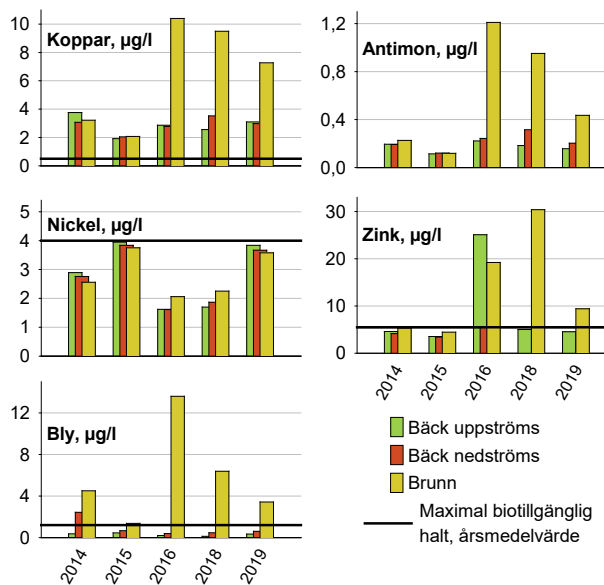
Provtagning av metaller

Salem Pistolklubb

Prover för analyser av lösta metaller (0,45 µm filter) har tagits vid tre punkter i anslutning till Salems Pistolklubbs skjutbana – i bäck uppströms skjutbanan, i samma bäck nedströms skjutbanan samt i en brunn nära en av vallarna.

Gränsvärden¹⁾ för lösta och antaget biotillgängliga metaller är framtagna för inlandsvatten och för vattenförekomster, alltså inte små diken och en brunn som i detta fall. Gränsvärdena ger ändå en uppfattning om storleksordningen på halterna.

Koppar har överskridit gränsvärdet i samtliga prover, bly och zink i ett antal prover från brunnen. Nickelhalten har genomgående varit lägre än gränsvärdet, gränsvärde saknas för antimon. Bly var den enda metall som genomgående ökade i diket från punkten uppströms till punkten nedströms skjutbanan (Fig 29).



Figur 29. Metallhalter i anslutning till Salem Pistolklubbs skjutbana och maximal tillätlig biotillgänglig halt, årsmedelvärde.

Björkmossen

Metallprover utan filtrering har tagits i provpunkten *Björkmossen* i den översta delen av Bergsjödiket, som påverkas av avrinning från bebyggelse i Björkmossen och Ritorp i Södertälje. Enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder²⁾ har halterna i de flesta fall varit *låga* eller *mycket låga*. Bly, koppar och zink har vid några tillfällen förekommit i *måttligt höga* halter, kopparhalten var *hög* i ett prov – avvikelser från övriga prover var stor och värdet kan vara felaktigt (Tabell 2). Halterna av alla metaller var positivt korrelerade med halten suspenderat material.

Oljeindex bestämdes i samma prover och var i de flesta fall 0,05 mg/l, i ett prov 0,1 mg/l och i ett avvikande prov 0,23 mg/l.

Tabell 2. Metallhalter (µg/l) vid Björkmossen 2015-2020

År	Månad	Dag	Pb	Cr	Cd	As	Cu	Ni	Zn	
2015	6	9	0,24	0,95	0,005	0,31	2,6	3,0	5,7	Mkt låg
2015	9	1	0,16	0,40	0,005	0,48	2,3	2,8	4,5	Låg
2015	12	8	0,80	1,40	0,019	0,39	2,9	4,9	15	Måttligt hög
2016	2	16	0,38	0,50	0,018	0,27	1,9	4,5	16	Hög
2016	5	10	0,15	0,28	0,005	0,36	1,5	2,3	3,4	Måttligt hög
2016	8	16	0,02	0,10	0,005	0,40	1,7	2,7	1,1	Låg
2016	11	22	0,34	0,69	0,018	0,26	2,6	4,8	15	Måttligt hög
2017	5	9	0,16	0,19	0,005	0,28	1,4	2,1	3,5	Låg
2017	8	15	0,18	0,28	0,005	0,34	1,0	2,2	4,9	Måttligt hög
2017	11	21	0,21	0,34	0,011	0,22	1,7	4,0	11	Låg
2018	2	12	0,13	0,27	0,019	0,18	2,4	4,7	20	Måttligt hög
2018	8	14	0,38	0,50	0,012	0,35	2,7	3,6	15	Måttligt hög
2018	11	20	0,05	0,15	0,007	0,18	1,4	2,9	4,7	Låg
2019	2	11	0,74	1,20	0,045	0,32	2,7	3,9	34	Måttligt hög
2019	5	7	1,80	0,21	0,008	0,22	24,0	2,6	23	Hög
2019	8	13	0,22	0,37	0,007	0,33	2,1	2,8	5,9	Måttligt hög
2020	2	11	0,62	0,80	0,026	0,32	4,5	4,4	23	Måttligt hög
2020	5	5	0,23	0,34	0,010	0,31	1,8	3,6	7,9	Måttligt hög
2020	8	11	0,03	0,09	0,002	0,36	1,2	2,6	1,4	Låg
2020	11	17	0,07	0,16	0,012	0,24	1,8	3,2	9,0	Måttligt hög

¹⁾ Klassificering och miljökvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2019:25).

²⁾ Bedömningsgrunder för miljökvalitet, sjöar och vattendrag. Naturvårdsverket, Rapport 4913 (1999)

Bornsjön

Bornsjön är en stor och djup sjö (Tabell 4). Vattenytan är drygt 6 km² och det största vattendjupet över 18 m. Omsättningstiden - den tid det tar att, teoretiskt, byta ut hela vattenmassan - är lång, mer än 6 år. Det stora vattendjupet medför att Bornsjön är starkt och stabilt skiktad, under sommaren med ett varmt ytvatten och ett kallt bottenvatten, under vintern omvänt med högre temperatur i bottenvattnet än i ytvattnet.

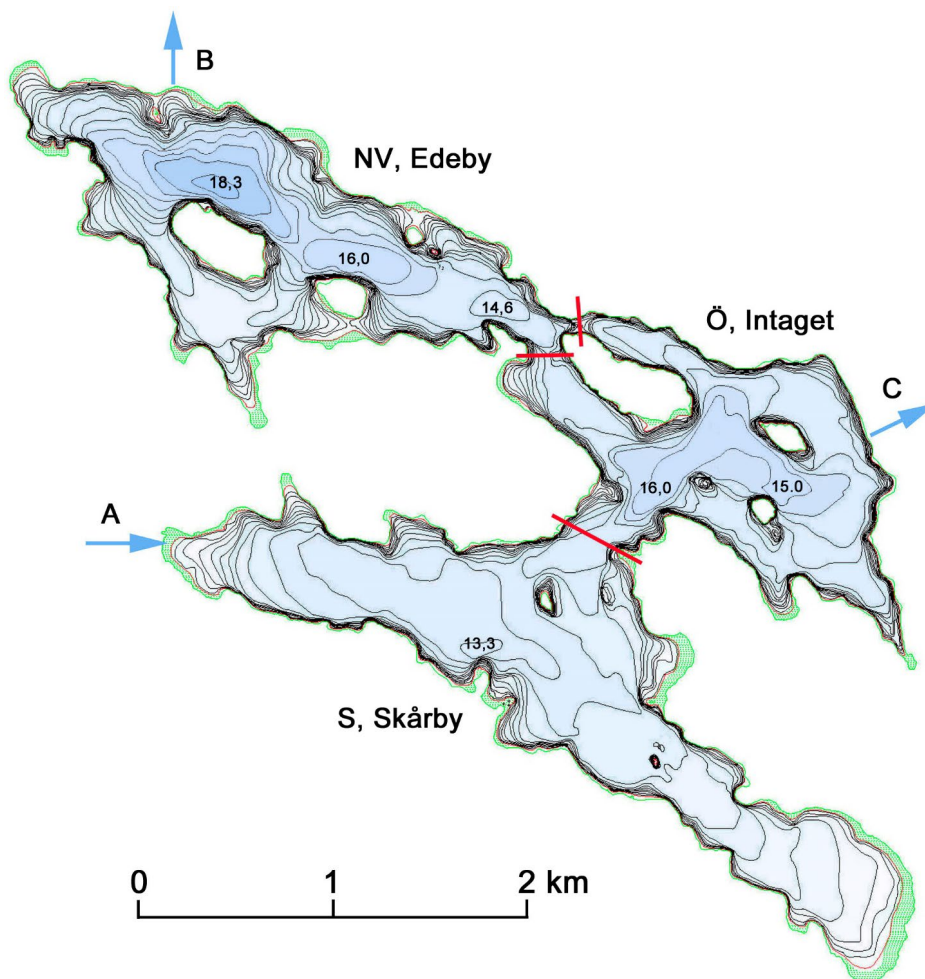
Sjön är indelad i tre bassänger som skiljs åt av grundare områden. Avgränsningen mellan Edeby och Intaget är ganska tydlig - det största djupet i de två bassängerna är 18,6 resp 16,0 m och djupet i förbindelsen ca 14 m. Gränsen mellan Intaget och Skårby, den södra bassängen, är mindre tydlig - det största djupet i Skårbybassängen är bara 13,3 m och djupet i förbindelsen 11-12 m.

Tabell 3. Bornsjön, grunddata.

Areal sjöyta	6,6	km ²
Maxdjup	18,6	m
Medeldjup	9,8	m
Volym	65	Mm ³
Avrinningsområde	49,6	km ²
Årlig avrinning	ca 10	Mm ³
Omsättningstid	ca 6,5	år

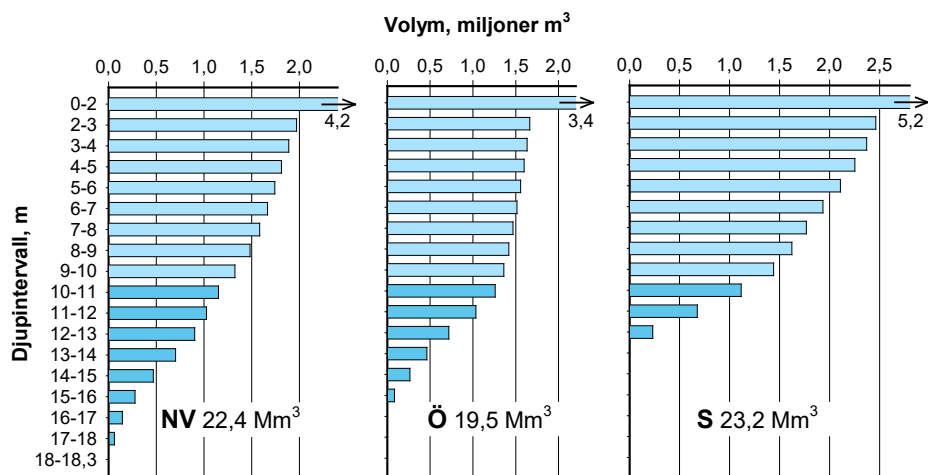
Tabell 4. Volym, se också Fig 19.

Djup, m	Volym, Mm ³			
	Totalt	Edeby	Intaget	Skårby
0-2	12,80	4,16	3,43	5,21
2-3	6,10	1,97	1,66	2,46
3-4	5,89	1,89	1,63	2,37
4-5	5,66	1,81	1,60	2,25
5-6	5,41	1,74	1,56	2,11
6-7	5,11	1,67	1,51	1,93
7-8	4,82	1,58	1,47	1,77
8-9	4,53	1,48	1,42	1,62
9-10	4,12	1,32	1,36	1,44
10-11	3,53	1,15	1,26	1,12
11-12	2,74	1,03	1,03	0,68
12-13	1,85	0,90	0,72	0,23
13-14	1,17	0,70	0,46	0,01
14-15	0,73	0,47	0,27	23,20
15-16	0,36	0,28	0,08	
16-17	0,15	0,15	19,47	
17-18	0,062	0,06		
18-18,3	0,003	0,003		
	65,04	22,37		



Bottenvattnet, (under 10 m djup) utgör 20 % av den totala volymen i både Edeby- och Intagsbassängen. På större djup minskar volymen snabbt i Edebybassängen och är under 16 m djup bara 1 % av den totala volymen. I den grundare Skårbybassängen finns ett stort område med mindre än 8 m djup i den sydöstra delen och bottenvattnet under 10 m utgör bara 8 % av den totala volymen. Fördelningen av volymer inom olika djupintervall visas i Tabell 4 och Figur 31.

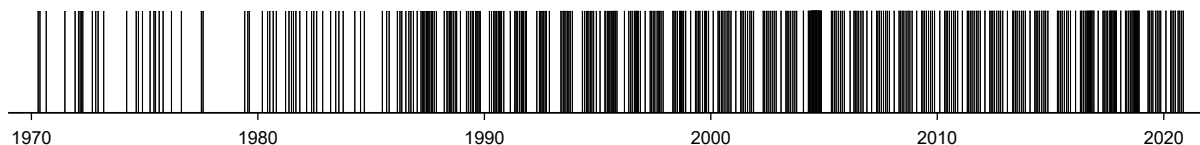
Figur 30. Bornsjön, djupkarta och indelning i delbassänger. A: Samlat inlopp från de tre stora diken, B: Naturligt utlopp, C: Intag till vattenverket.



Figur 31. Volymens förändring med djupet i Bornsjöns tre bassänger. NB det översta skiktet omfattar 2 meter, de övriga 1 m. Mörkare färg anger volymer under 10 m djup.

Provtagningar i Bornsjön

Det finns spridda uppgifter om syrehalter i intagsbassängens bottenvatten från 1940-talet och något tätare från 1950-, 60- och 70-talet. De första dokumenterade fosforanalyserna gjordes 1970 med prover från den östra bassängen.



Mer regelbundna provtagningar med fler parametrar och i alla tre bassängerna påbörjades 1986 och har sedan fortgått i stort sett oförändrade till idag. Provtagningarna har sedan 1986 gjorts vid sammanlagt 388 tillfällen.

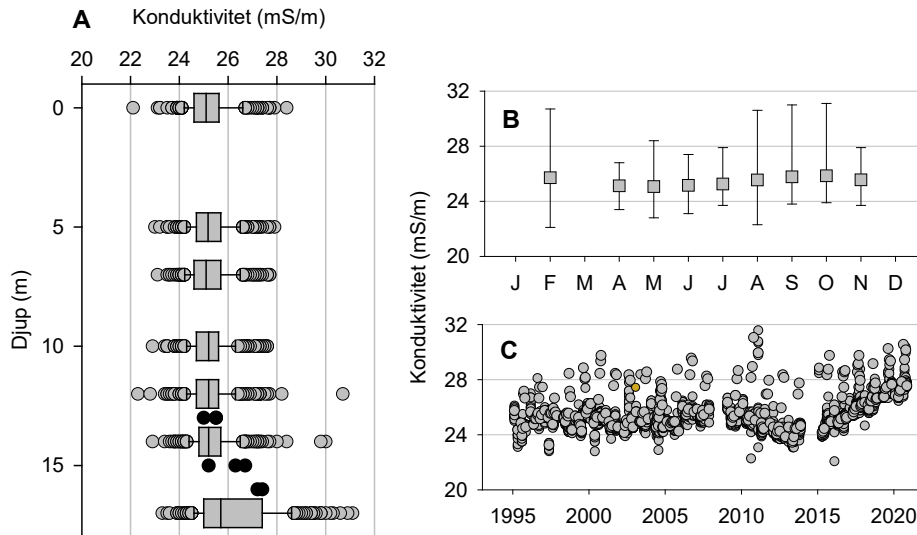
Proverna tas ungefär en gång i månaden med undantag av december och januari på 0, 5, 7, 10, 12, 14 och 17 m djup vid Edeby, ner till 14 m i intagsbassängen och till 12 m vid Skårby. Från och med 2018 tas prover vid Edeby även på 13, 15 och 16 m djup.

De parametrar som ingår är temperatur, konduktivitet, pH, alkalinitet, syre, fosfor (fosfat och totalfosfor), kväve (ammonium, nitrit+nitrat och totalkväve), kisel, siktdjup och klorofyll a. Resultaten lagras i databas, sammanställningar har gjorts ungefär vart 5:e år.

Konduktivitet

Konduktiviteten i Bornsjön har sedan mitten av 1990-talet varierat mellan 22,1 och 31,6 mS/m. Medelvärdena i de tre bassängerna, Edeby, Intaget och Skårby, har varit praktiskt taget identiska - 25,5, 25,4 och 25,3 mS/m. Något högre värden har förekommit på 17 m djup under sensommar och tidig höst, förändringarna med djupet har annars varit små, liksom förändringarna under året.

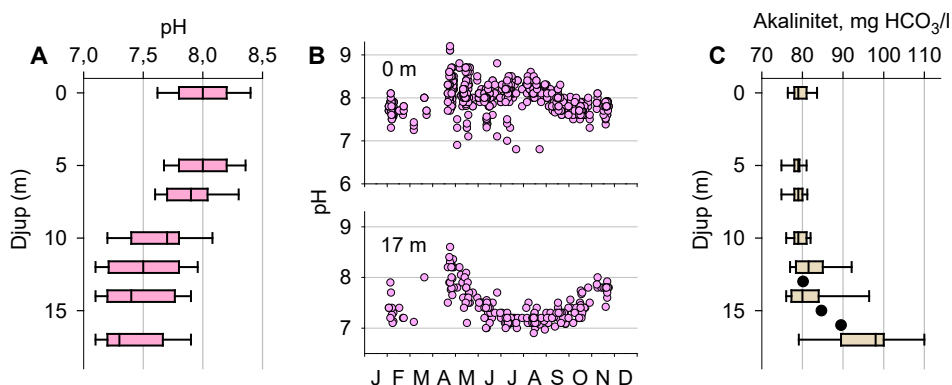
Konduktiviteten var relativt konstant fram till 2010. Efter en minskning 2010-2015 har konduktiviteten ökat med 2 - 3 mS/m.



Figur 32. Konduktiviteten i Bornsjön 1995-2020 (A) På 0-17 m djup samt 13, 15 och 16 m djup 2018-2020 (svarta symboler), (B) Variationer under året, medelvärde, min och max, (C) Samtliga värden 0-17 m djup.

pH och alkalinitet

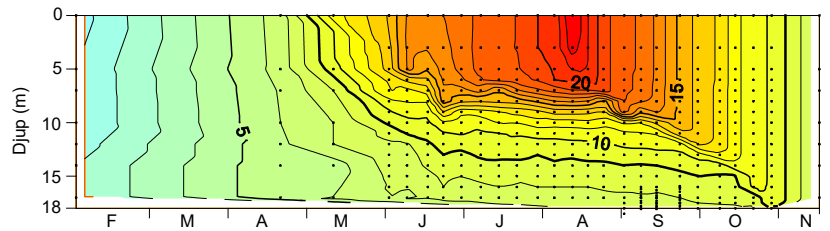
pH-värdet har med få undantag varit över 7,0 i både yt- och bottenvattnet. De högsta pH-värdena har förekommit i ytvattnet i samband med vårbloomingen i april-maj, de lägsta i bottenvattnet mot slutet av sommaren. Alkaliniteten, ca 80 mg HCO_3/l , är jämnt fördelad i hela vattenmassan med undantag av höga värden i bottenvattnet, på 17 m djup upp till 110 mg/l, och variationerna under året har varit små. Alkaliniteten är högre än i Mälaren, i Kyrkfjärden ca 45 mg/l.



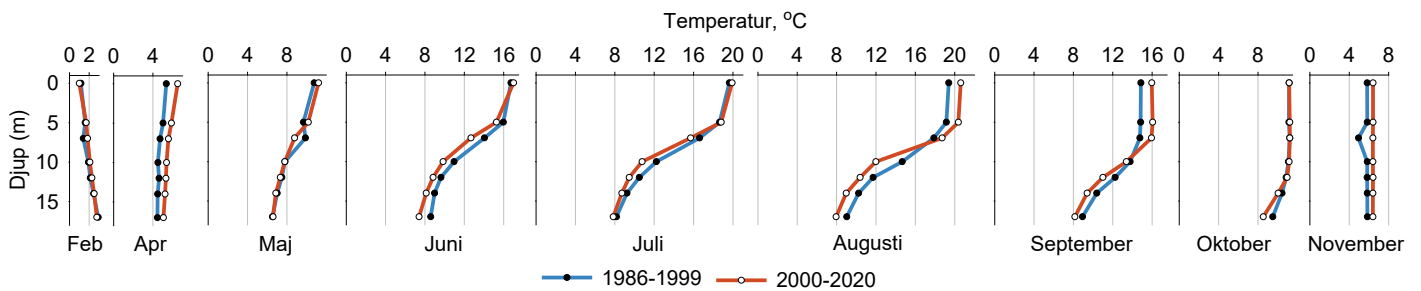
Figur 33. (A) pH på 0-17 m djup 1988-2020 och (B) förändringarna under året på 0 och 17 m djup. (C) Alkalinitet på 0-17 m djup 2000-2020 (svarta symboler medelvärden 2018-2020).

Temperatur

Bornsjön är sommar och tidig höst starkt skiktad med ett varmt och lätt ytvatten och ett kallt och tungt bottenvatten. Språngskiktet, gränsen mellan yt- och bottenvatten, sjunker gradvis under sommaren, från ca 5 m när skiktningen etableras i maj-juni till under 10 m djup i september-oktober varefter skiktningen bryts i oktober-november (Fig 34 och 35).

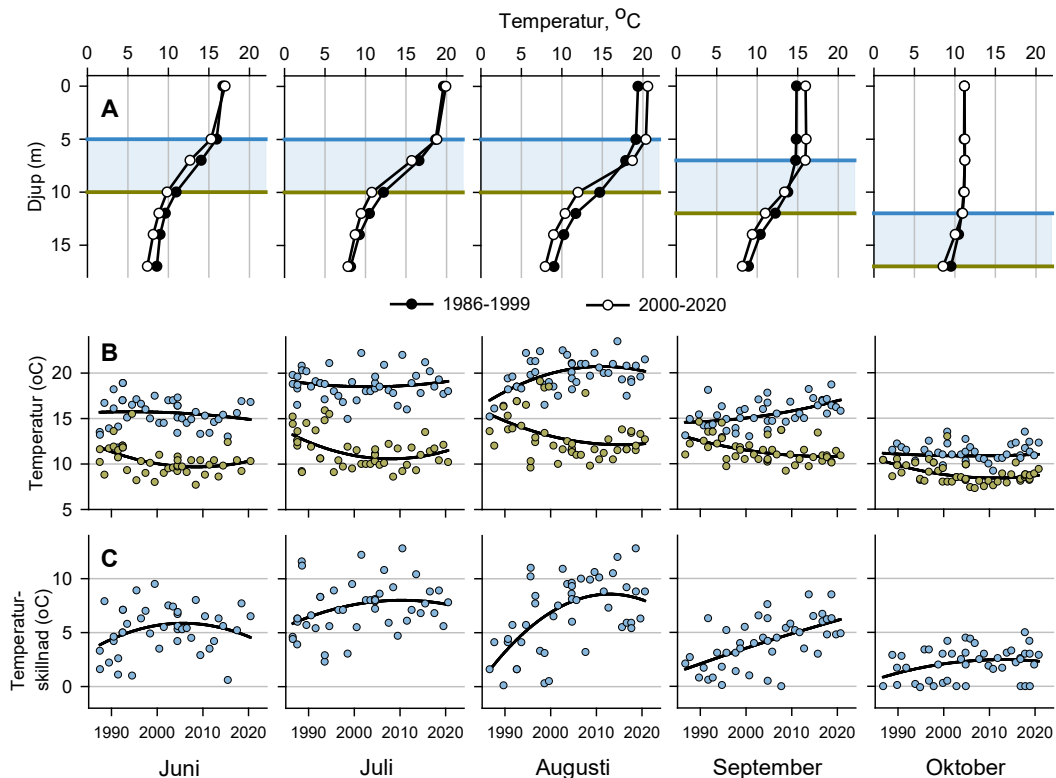


Figur 34. Temperaturfördelningen i Bornsjön februari-november. Data från 2004 med tätare mätningar än vanligt.



Figur 35. Temperatur på 0-17 m djup vid Edeby, medelvärden 1986-1999 och 2000-2020.

Temperaturen har efter år 2000 varit högre i ytvattnet och lägre i bottenvattnet än tidigare (Fig 35 och 36). Förändringarna har varit störst i augusti med en ökning av skillnaden mellan yt- och bottenvatten från ca 2 till 8 °C från 1990-talet till 2010. I september, med den näst största förändringen har temperaturskillnaden fortsatt att öka fram till 2020 då skillnaden uppgick till 6 °C mot 2 °C under 1990-talet.



Figur 36. Temperaturen vid Edeby på 0-17 m djup i juni-september, (A) Medelvärden 1986-1999 och 2000-2020, (B) Temperaturen på djupet närmast över och under språngskiktet och (C) Temperaturskillnaden mellan djupet närmast över och under språngskiktet.

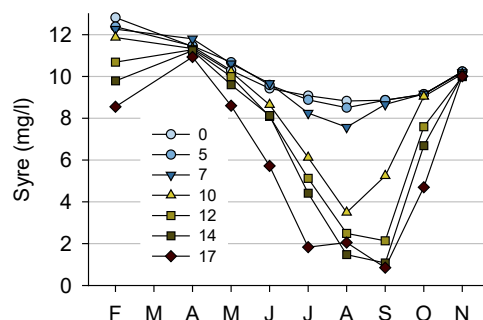
Den ökade temperaturskillnaden gör att språngskiktet, gränsen mellan yt- och bottenvattnet, blir starkare. Den skiktade perioden varar längre och utbytet av syre och näringsämnen mellan yt- och bottenvatten försvåras. Effekterna är tydligast mot slutet av den skiktade perioden med låga syrehalter i bottenvattnet och höga halter av fosfor och kväve.

Temperaturen kan vara ungefär densamma på 0 och 5 m eller ända ner till 7 m djup och ytvattnet är då ganska homogent. Förändringen av temperaturen med djupet är vanligen större i bottenvattnet vilket påverkar fördelningen av syre och lösta ämnen, och ett homogent bottenvatten förekommer bara under begränsade tider på året när hela vattenmassan är omblandad.

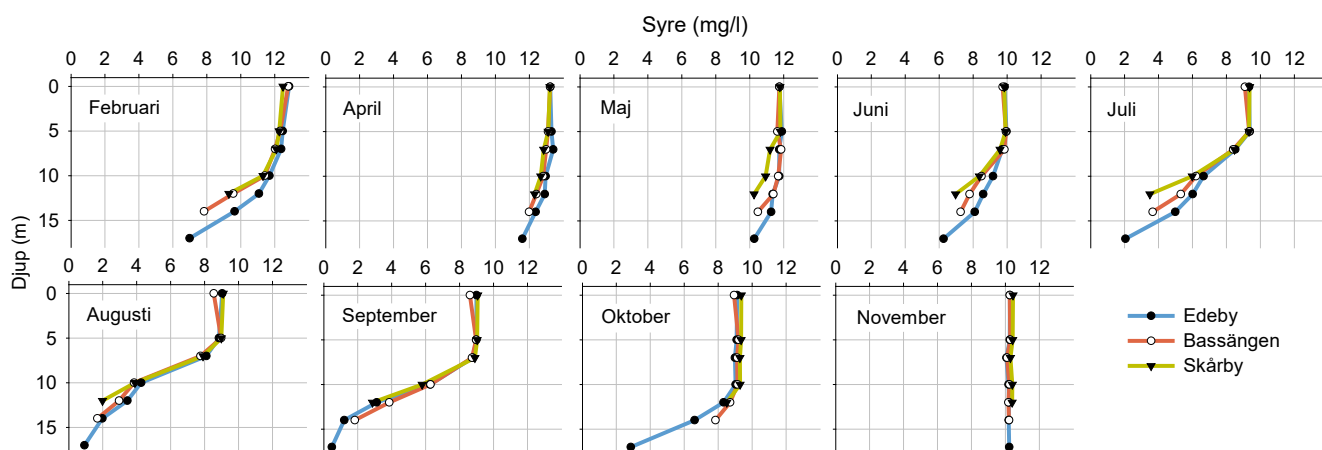
Syre

Syrehalterna är hela året höga i ytvattnet på 0-5 m djup, under sommaren något lägre på 7 m och betydligt lägre på 10 m djup, i augusti < 4 mg/l. De lägsta halterna i bottenvattnet, ≤2 mg/l, förekommer i augusti-september. Halterna ökar när skiktningen försvagas i oktober och är höga när vattnet är helt omblandat i november.

Utvecklingen har varit likartad i de tre bassängerna, men halterna under språngskiktet har i allmänhet varit lägre i den grunda Skårbybassängen än i Östra bassängen som i sin tur har haft lägre halter än Edeby.

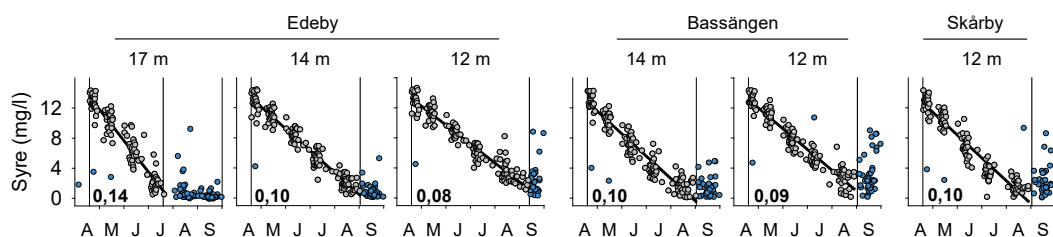


Figur 37. Syrehalter på 0-17 m djup respektive månad 2015-2020, medelvärden alla tre bassängerna.



Figur 38. Fördelningen av syre på 0-17 m djup vid Edeby, 0-14 m djup i Östra bassängen och 0-12 m djup i Skårbybassängen, medelvärden 2016-2020.

Syrenehållet i bottenvattnet minskar från ca 13 mg/l i april när vattnet är totalomblandat till nära 0 mg/l på 17 m djup i juli och på 12 och 14 m djup i augusti-september. Syreminskningshastigheten har varit 0,14 mg/l/d på 17 m djup och betydligt lägre, ca 0,10 mg/l/d, på 12 och 14 m djup.



Figur 39. Syrehalter och syreminskningshastigheten, mg/l/d, under perioder med linjär minskning på 12, 14 och 17 m djup i de tre bassängerna 1992-2020.

Syreminskningshastigheten har inte visat någon tydlig förändring sedan mitten av 1980-talet (Tabell 5).

Bottenvattnet i den östra bassängen luftades under ett antal år under sensommar och höst, vanligen juli-oktober, för att minska utlösningen av fosfor från sedimenten. Luftningen påbörjades 1987 och pågick till och med 2016 med avbrott bara för 2004. Effekterna av luftningen på syrehalterna var relativt små och medelvärdet för syreförbrukningshastigheten 2016-2020, då luftningen bara pågick ett år av fem, var inte lägre än medelvärdet för de föregående perioderna. Påverkan på fosforhalterna har däremot varit stor (se Fig 47).

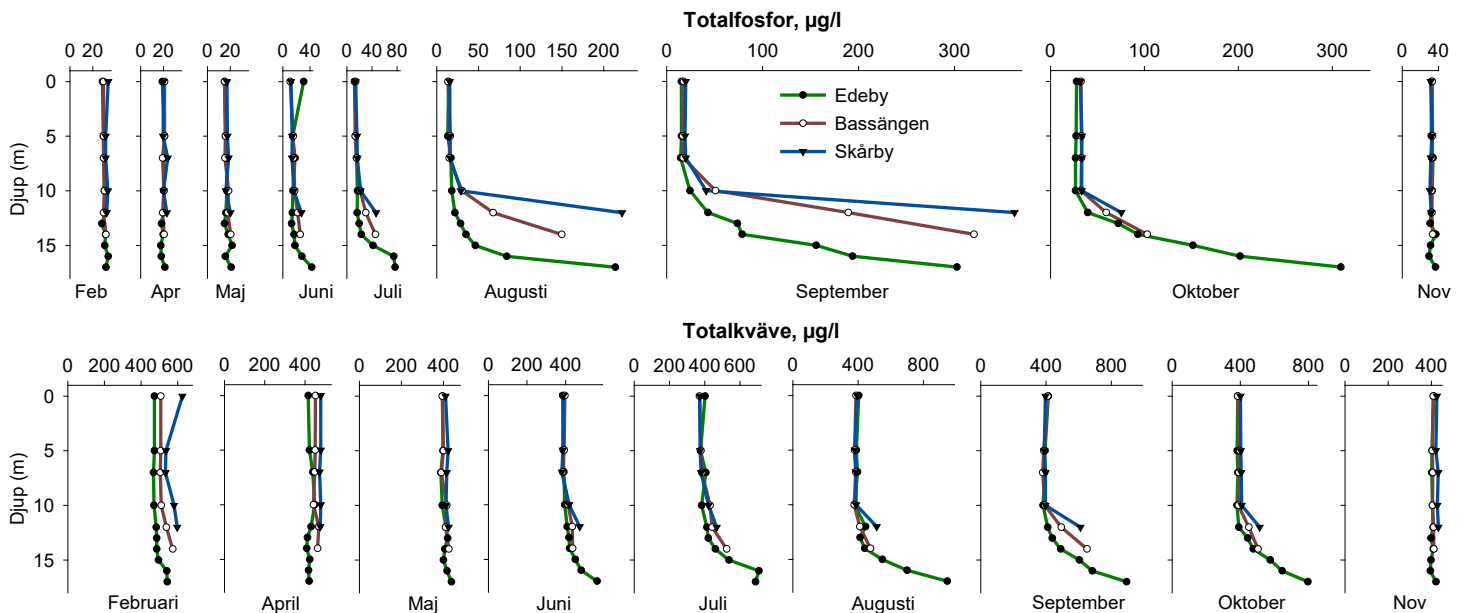
Fosfor och kväve

Halterna av totalfosfor är i början av året jämnt fördelade i hela vattenmassan och ökar sedan i bottenvattnet under 10 m djup när vattnet skiktas i juni. Halterna är mycket höga i augusti-september, i september med de högsta halterna i Skårbybassängen, där det största djupet är bara 12 m. Halterna är fortfarande höga vid Edeby i oktober när halterna har minskat i de två andra bassängerna. I november är halterna låga och på nytt jämnt fördelade från ytan till botten. Förändringarna av totalkväve är betydligt mindre, både med djupet och under året, och kraftigt förhöjda halter förekom bara på det största djupet, 17 m, vid Edeby (Fig 40).

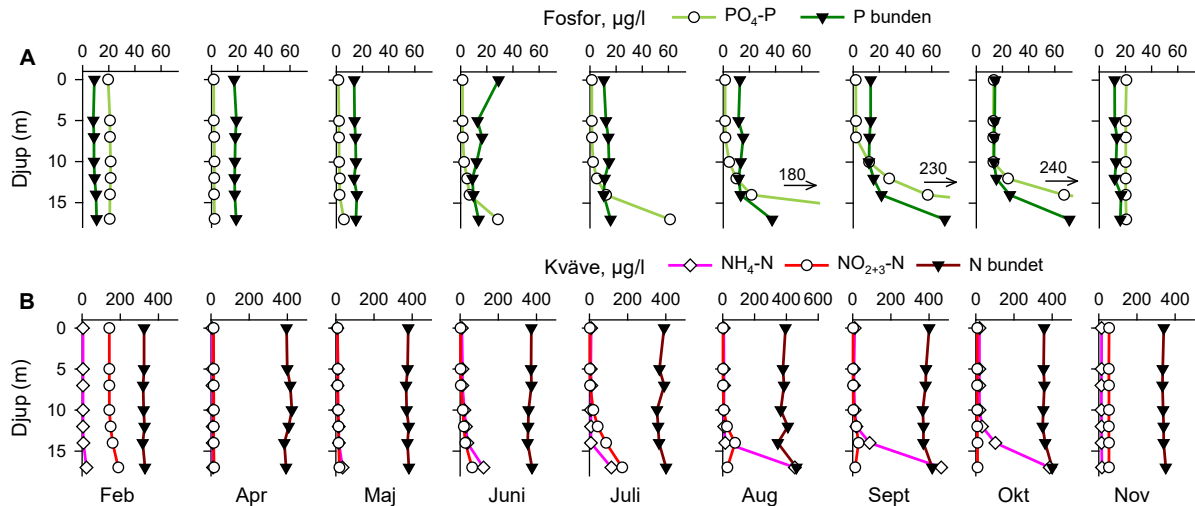
De små variationerna av totalkväve beror på att kväve till en större del än fosfor föreligger i bunden form (skillnaden mellan totalkväve och de lösta fraktionerna ammonium- och nitrit-nitratkväve) som påverkas lite av växtlighet och syreförhållanden.

Tabell 5. Syreförbrukningshastigheter och korrelationskoefficienter i perioder 1986-2020.

Syreförbrukning, mg l ⁻¹ dygn ⁻¹ r ²				
Edeby	14 m	1986-1998	0,100	0,89
		1999-2009	0,104	0,96
		2010-2015	0,095	0,94
		2016-2020	0,101	0,96
Edeby	17 m	1986-1998	0,147	0,90
		1999-2009	0,149	0,93
		2010-2015	0,139	0,89
		2016-2020	0,135	0,96
Bas-sängen	14 m	1986-1998	0,090	0,87
		1999-2009	0,096	0,93
		2010-2015	0,093	0,92
		2016-2020	0,093	0,97
Skårby	12 m	1986-1998	0,104	0,88
		1999-2009	0,106	0,93
		2010-2015	0,101	0,91
		2016-2020	0,956	0,92



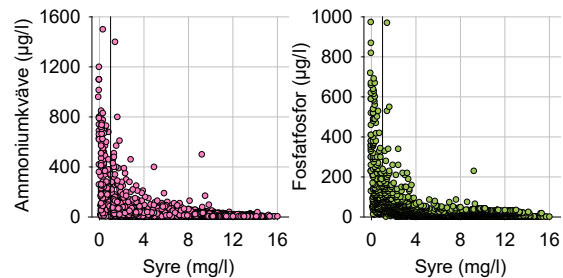
Figur 40. Totalfosfor och totalkväve från ytan till största provtagningsdjup februari – november i Edeby-, Skårby- och Östra bassängen, medelvärden 2016-2020. Edeby 13, 15 och 16 m endast 2018-2020.



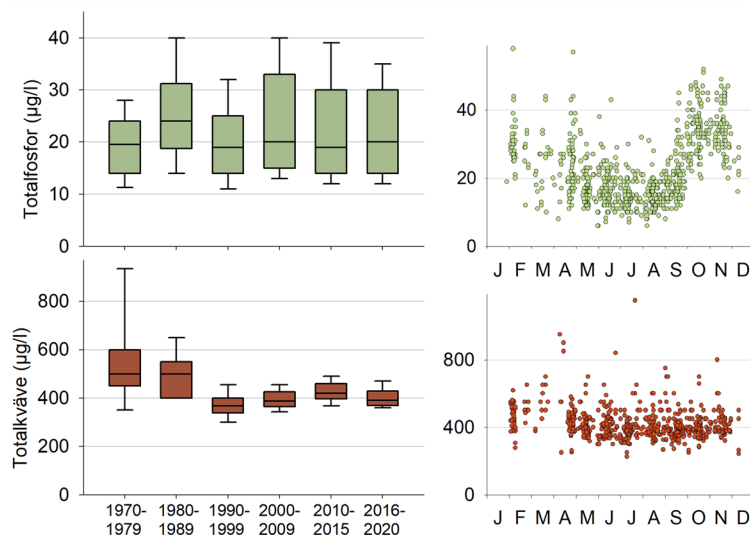
Figur 41. (A) Fosfor: bunden fosfor och fosfatfosfor, (B) Kväve: bundet kväve, ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve. Medelvärden 0-17 m djup vid Edeby 2016-2020.

Sambandet mellan syre och ammoniumkväve är mycket starkt liksom sambandet mellan syre och fosfatfosfor och höga halter har bara undantagsvis förekommit vid syrehalter >1 mg/l (Fig 42).

Ytvattnets innehåll av totalfosfor varierar under året med de lägsta halterna under sommaren och höga halter i samband med höstomblandningen i oktober-november. Medianvärdena för perioderna i Figur 43 har varierat mellan 19 och 23 µg/l, det högsta värdet från 1980-1989. Kvävehalterna var relativt höga 1970-1989 och har därefter legat kring 400 µg/l utan tendens mot högre eller lägre värden.

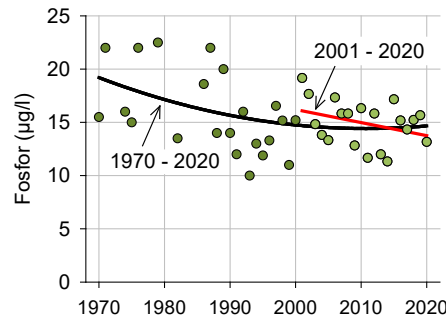


Figur 42. Samband mellan syrehalter och halter av ammoniumkväve respektive fosfatfosfor, samtliga värden 1992-2020.



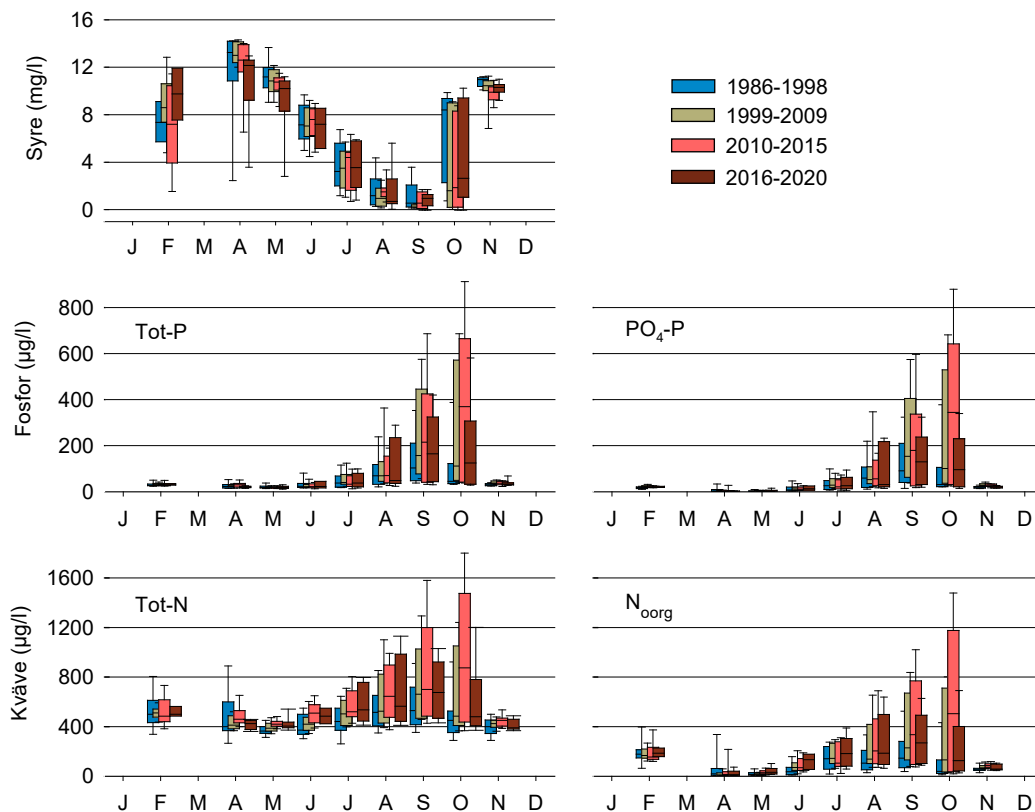
Figur 43. Totalhalter av fosfor och kväve i ytvattnet (0-5 m) i den östra bassängen. 10, 25 50, 75 och 90-percentiler 10-årsperioder 1970-2009 och 5-årsperioder 2010-15 och 2016-2020. Diagrammen till höger visar förändringar under året, samtliga värden.

Ytvattnets innehåll av totalfosfor i augusti är det vanligaste måttet på näringsstatus i sjöar, kväve ingår inte i bedömningen i motsats till i kust- och havsvatten. Tendensen för totalfosfor har varit minskande både för hela perioden 1970-2020 och för den senaste 20-årsperioden 2000-2020. Medelvärdet i båda perioderna, liksom 2016-2020, har varit 15 µg/l.



Figur 44. Totalfosfor i ytvattnet (0+-5 m) i augusti 1970-2020. Medelvärden alla tre bassängerna.

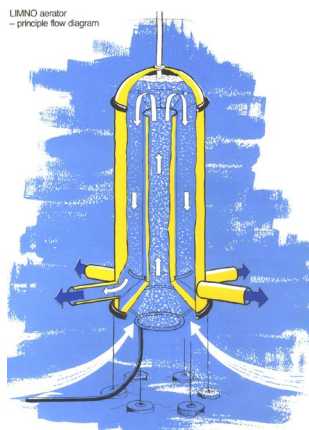
I början av 2000-talet observerades en ökning av fosfor och kväve i bottenvattnet, framförallt vid Edeby i september-oktober när syrehalterna varit låga mot slutet av den skiktade perioden (Fig 45). Ökningen har tolkats som en effekt av den förstärkta skiktningen som orsakades av en ökad skillnad mellan temperaturen i yt- och bottenvattnet³⁾. Fosfor och kväve fortsatte att öka 2010-2015 men halterna i september-oktober har därefter minskat – minskningen liksom den tidigare ökningen orsakades till allra största delen av de oorganiska fraktionerna fosfatfosfor och ammoniumkväve; halterna av nitrit+nitratkväve som är en del av det oorganiska kvävet, är mycket låga vid låga syrehalter.



Figur 45. Syre, fosfor och kväve i bottenvattnet vid Edeby 14-17 m 1986-2020.

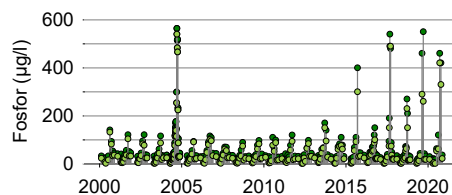
³⁾ En intressant artikel om klimatförändringar och skiktning i sjöar: *Phenological shifts in lake stratification under climate change*, Nature Communications 12, 2318 (2021). Artikelns abstract finns som Bilaga 1.

Fosforhalterna har varit höga de senaste åren i den östra bassängens bottenvattnet, vilket beror på att luftning av bottenvattnet upphörde efter 2016. Luftningen påbörjades med Limnoluftare 1987 sedan fosforhalterna börjat öka tidigare under 1980-talet med syfte att begränsa utlösningen av fosfor från sedimenten. Luftningen har vanligen pågått varje år i



Figur 46. Limnoluftare.

juli-oktober, med avbrott bara 2004 i samband med försök med utpumpning av bottenvattnet. Fosforhalterna, huvudsakligen fosfatfosfor, var tillfälligt starkt förhöjda 2004 och 2017-2020, upp till 500 µg/l mot normalt ca 100 µg/l. Halterna var av okänd orsak höga även 2015 (Fig 47).



Figur 47. Total- och fosfatfosfor på 14 m djup i den östra bassängen 2000-2020.

Fosfor och kväve, mängder

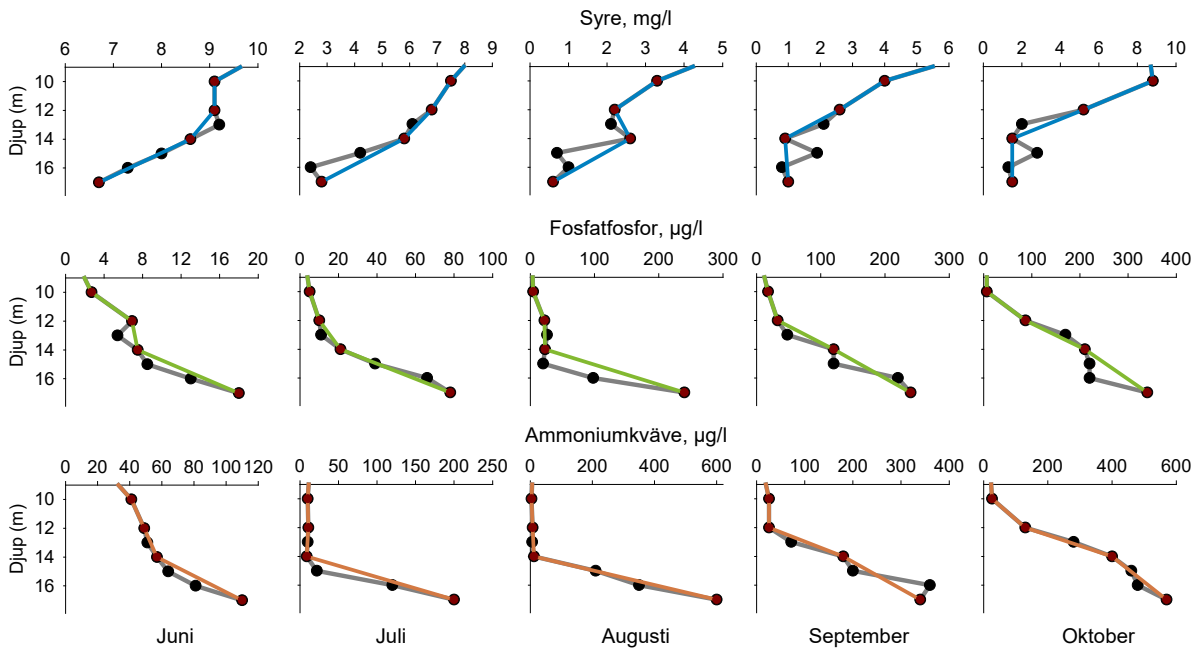
Mängder av fosfor och kväve beräknas genom multiplikation av volymen i varje 1-meters djupskikt med medelhalten av kväve och fosfor, som beräknas som medelvärde av halterna på angränsande djup. För de djup där halter saknas beräknas halten genom linjär interpolering.

En osäkerhet är att prover inte tas på de största djupen men volymerna är små under det största provtagningsdjupet, i Edebybassängen 0,3 %, i Skårbybassängen 1 % och i den östra bassängen 1,6 %. Även om halterna kan vara höga blir felen relativt små.

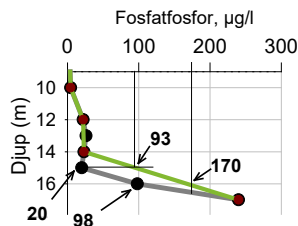
I Skårbybassängen är mängden i ytvattnet något osäker genom att ytan är stor, sannolikt med horisontella skillnader i både fosfor- och kvävehalterna på grund av inflödet från de stora diken i den västra delen av bassängen och stora grundområden i den sydöstra delen. Horisontella skillnader bör vara små i de andra bassängerna.

Ytterligare en felkälla är den linjära interpoleringen på större djup. Proverna från Bornsjön har under lång tid tagits på 0, 5, 7, 10, 12, 14 och 17 m djup (Skårby största djup 12 m och Bassängen 14 m). Efter 2017 har provtagningarna vid Edeby utökats med prover från 13, 15 och 16 m djup. Jämförelser mellan uppmätta och interpolerade värden på 15 och 16 m djup visat att de interpolerade värdena i främst augusti-oktober har givit alltför höga värden för fosfor som kan förekomma i relativt låga halter på 15 och 16 m samtidigt som halten är hög på 17 m djup (Fig 48, 49). Överskattning har som mest uppgått till 15 % av mängden i Edebybassängen (Fig 50) vilket motsvarar ungefär 5 % av mängden i hela Bornsjön. Felaktigheterna på grund av interpoleringen spelar däremot liten roll för kväve.

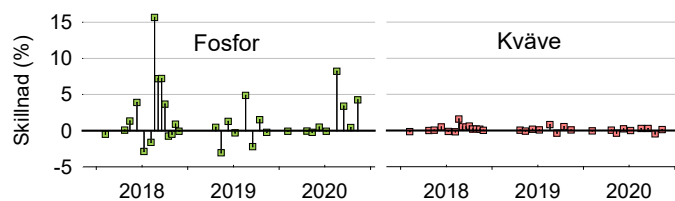
Eftersom mätvärden från 15 och 16 m djup bara finns för de senaste tre åren görs tidsserier för mängder i Edebybassängen än så länge med interpolerade värden.



Figur 48 Fördelningen av syre, fosfatfosfor och ammoniumkväve vid Edeby i juni-oktober 2020, med samtliga mätvärden (mörkgrå kurvor) och med interpolering 12 - 14 m och 14 - 17 m.



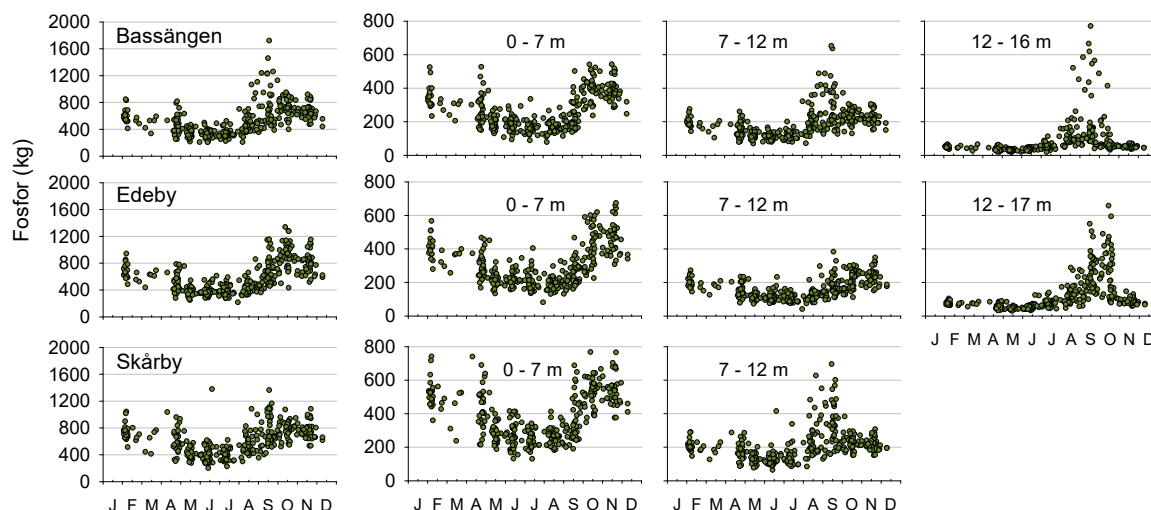
Figur 49. Exempel på skillnad mellan uppmätta (understrukna) och interpolerade värden, augusti 2020.



Figur 50. Skillnad mellan beräknade mängder av fosfor och kväve i Edebybassängen med interpolerade och uppmätta och interpolerade värden på 13, 15 och 16 m djup.

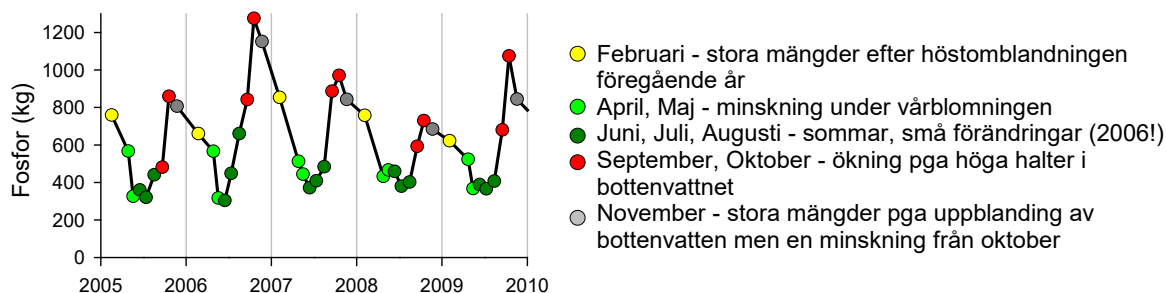
Mängderna av fosfor och kväve har varit ungefär lika stora i alla tre bassängerna, som minst ca 400 kg i maj-juni och som mest ca 800 - 1000 kg i september-oktober – i den östra bassängen har mängderna varit så stora bara år utan luftning av bottenvattnet och annars närmare 400 kg.

Bassängernas totala innehåll av fosfor varierar under året med de minsta mängderna, ca 400 kg, under sommaren (Fig 51). Mängderna är störst, som mest ca 1600 kg, i september-oktober beroende på stora mängder i bottenvattnet mot slutet av den skiktade perioden, i den östra bassängen och vid Edeby under 12 m djup och i Skårbybassängen under 7 m djup. När skiktningen bryts, vanligen i oktober, blandas det fosforrika bottenvattnet upp i hela vattenmassan och mängderna på 7-12 m djup är störst i november. De totala mängderna minskar sedan något från november till februari och kraftigt i samband med vårbloomingen i april-maj (Fig 51, 52).



Figur 51. Fosfor i den östra bassängen, vid Edeby och Skårby. Förändringar under året av den totala mängden i respektive bassäng och förändringen i ytvattnet 0-7 m, intermediärt djup 7-12 m och i bottenvattnet, under 12 m djup.

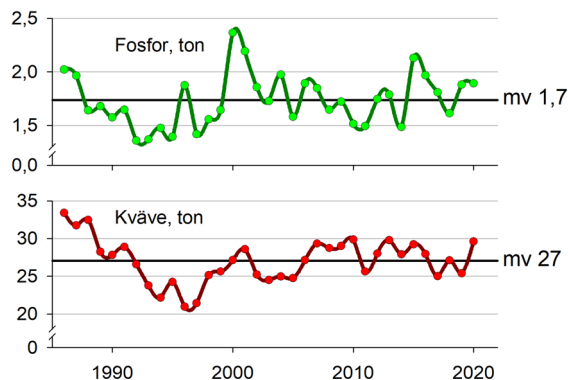
Beroende på kemiska, fysiska och biologiska processer förändras alltså fosforinnehållet i Bornsjöns vattenmassa under året och ibland också från år till år beroende på yttre omständigheter. Förhöjda halter i bottenvattnet under sensommar och höst på grund av frigöring från sedimenten är i djupa och skiktade sjöar en naturlig del av dessa processer och behöver inte vara tecken på att näringsbalansen håller på att rubbas.



Figur 52. Förändringar av fosforinnehållet i vattnet i Edebybassängen 2005-2009.

Eftersom den övervägande andelen kvävet förekommer i bunden form (se Fig 41) är förändringarna under året små med bara en svag minskning i början av året av mängderna i ytvattnet och på 7-12 m djup. Kväve visar inte heller, som fosfor, någon tydlig ökning i bottenvattnet och mängderna där utgör i den östra bassängen knappt 10 % av det totala innehållet och vid Edeby med en större bottenvatten-volym ca 20 %.

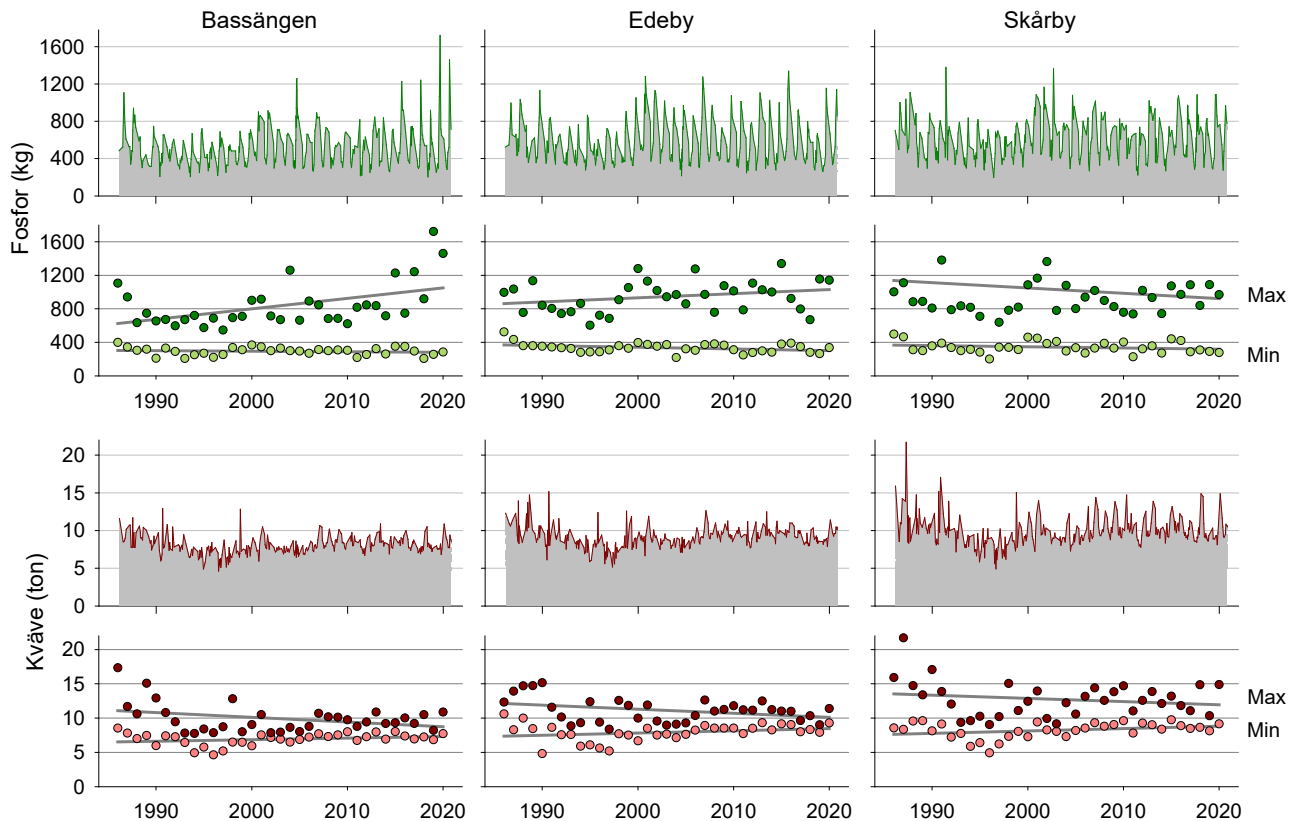
De sammanlagda mängderna av fosfor och kväve i de tre bassängerna minskade kraftigt från 1980-talet till mitten av 1990-talet och ökade sedan till början av 2000-talet. Kväve har därefter legat kvar på ungefär samma nivå, 25-30 ton. Fosfor minskade från ett tillfälligt mycket högt värde år 2000 och har sedan varierat mellan 1,5 och drygt 2 ton.



Figur 53. Sammanlagda mängder fosfor och kväve i de tre bassängerna, medelvärden respektive år 1986-2020 och medelvärden (mv) för hela perioden.

Förändringar i de enskilda bassängerna sedan 1980-talet har varit både positiva och negativa. Mängden fosfor under den tid på året då de varit minst, i alla tre bassängerna knappt 400 kg, har minskat svagt hela perioden 1986-2020 och variationerna från år till år har varit små. Däremot har de största mängderna under året ökat i den östra bassängen, bara delvis på grund av stora mängder de senaste åren efter att luftningen avbrutits. Tendensen för de största mängderna är svagt ökande i Edebybassängen och svagt minskande i Skårbybassängen.

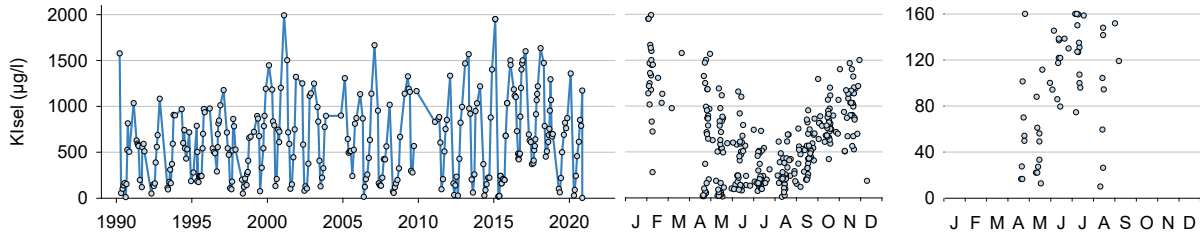
De minsta mängderna kväve under året har ökat svagt i alla tre bassängerna, maximala mängder under året minskade från 1980-talet fram till mitten av 1990-talet och har sedan varierat utan ökande eller minskande tendens.



Figur 54. Totala mängder fosfor och kväve i de tre bassängerna 1986-2020 och största och minsta mängd under året.

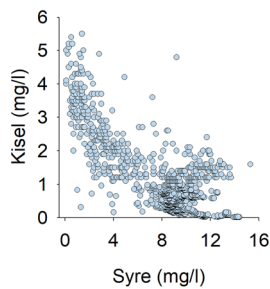
Kisel

Halterna i ytvattnet har varierat mellan ca 10 och 2000 $\mu\text{g/l}$ med de högsta värdena under vintern. De minskar kraftigt i samband med vårbloomingen, är låga under sommaren och ökar sedan på hösten. Kisel är av betydelse främst för kiselalger, som har skal av kisel. Tillväxten kan troligen begränsas av halter $< 20\text{--}30 \mu\text{g/l}$, men så låga halter har förekommit mycket sällan.

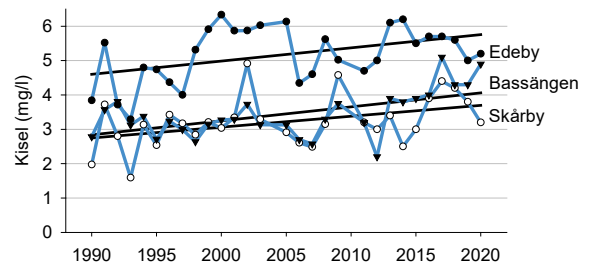


Figur 55. Halter av kisel i ytvattnet 0-5 m, medelvärden alla tre bassängerna 1990-2020. Diagrammet längst till höger med annan skala.

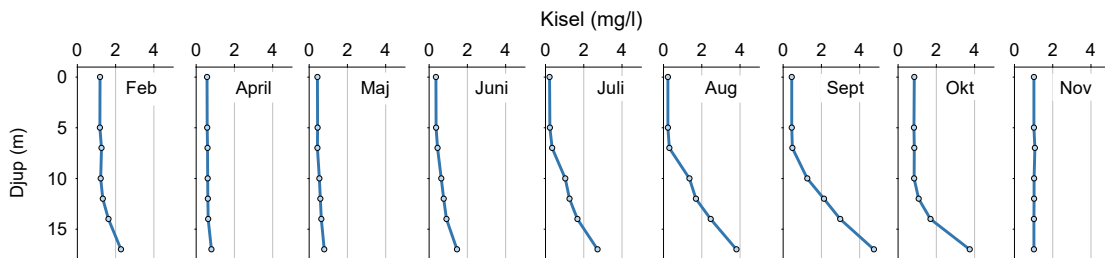
Kiselhalterna är omvänt korrelerade med syre på ungefär samma sätt som fosfor (Fig 56) och är fördelade med djupet på liknande sätt med de högsta halterna i bottenvattnet under sensommar-höst. De högsta halterna har ökat i alla tre bassängerna.



Figur 56. Samband syre-kisel, samtliga värden 1990-2020.



Figur 57. Högsta halt under året i respektive bassäng 1990-2020.

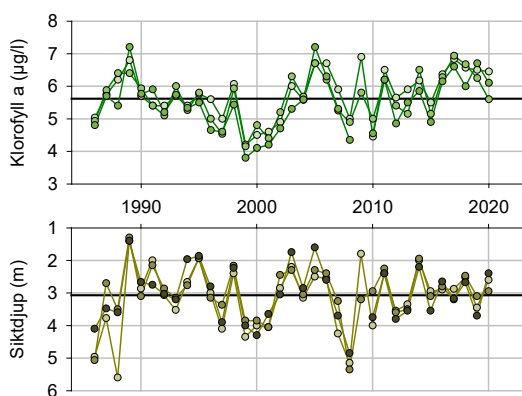


Figur 58. Kiselhalter 0-17 m, medelvärden 1990-2020 alla tre bassängerna.

Klorofyll och siktdjup

Vegetationsperioden börjar med vårbloomingen i april när ljuset har blivit tillräckligt starkt för att planktonalger ska kunna utnyttja de näringsämnen som ansamlats i vattnet efter vintern. Tillväxten är mycket snabb och blomningen varar bara några veckor. Efter vårbloomingen sjunker en stor del av algerna till botten. Språngskiktet som börjar utvecklas i maj förhindrar transport av näringsämnen från bottenvattnet till ytvattnet. Tillrinningen är i allmänhet liten och halterna av de former av fosfor och kväve som kan utnyttjas av växtligheten är låga under sommaren och börjar öka först i september-oktober. Siktdjupet är till stor del beroende av mängden planktonalger – det är litet under vårbloomingen och stort under sommaren när mängden planktonalger är liten (Fig 59).

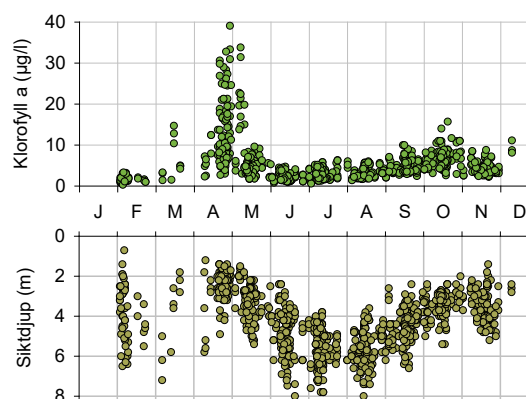
Klorofyllhalterna har varit ungefär lika höga i alla tre bassängerna. Siktdjupet har varit mindre i Skårbybassängen än i de två andra bassängerna, sannolikt på grund av suspenderat material som kommer med utflödet från de stora diken.



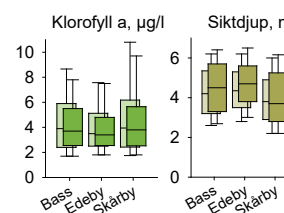
Figur 61. Klorofyll a och siktdjup i juli-augusti 1986-2020, alla tre bassängerna.

De snabba förändringarna av klorofyll och siktdjup under våren gör det svårt att jämföra olika år med varandra. Prover för att följa utvecklingen i sjöar och för bedömning av näringsstatus tas därför istället i juli-augusti när förhållandena är jämförelsevis stabila. Förändringarna i Bornsjön har ändå varit stora med klorofyllhalter som varierat mellan 4 och 7 µg/l och siktdjup mellan 1-2 till över 5 meter. Eftersom siktdjupet till stor del bestäms av mängden planktonalger har klorofyll och siktdjup följt varandra ganska väl (Fig 61).

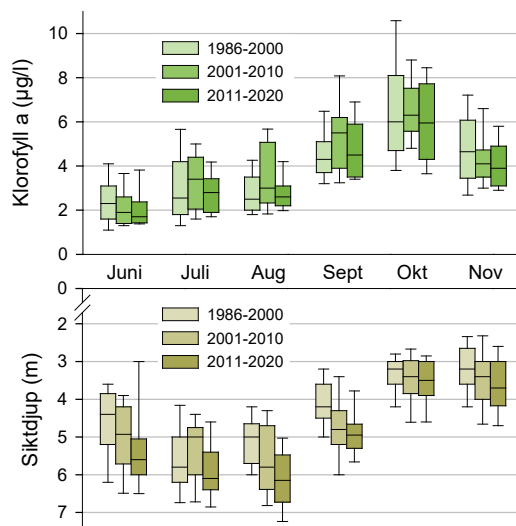
Siktdjupet har med undantag av juli gradvis ökat varje månad under sommar och höst sedan 1986. Förändringen av klorofyllhalter har varit mer oregelbunden – halterna har varit lägre den senaste 10-årsperioden 2011-2020 än den närmast föregående, men minskningen har i de flesta fall varit liten och halterna har flera månader varit ungefär lika höga som före år 2000 (Fig 62).



Figur 59. Klorofyll a och siktdjup i alla tre bassängerna 1986-2020.



Figur 60. Klorofyll a och siktdjup i de tre bassängerna 1986-2020.

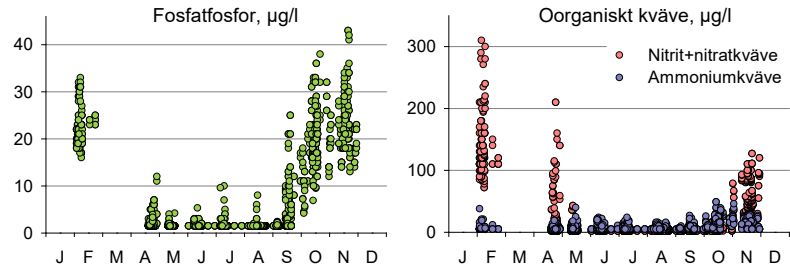


Figur 62. Klorofyll a och siktdjup juni-november 1986-2000, 2001-2010 och 2011-2020.

Fosfor och/eller kvävebegränsning?

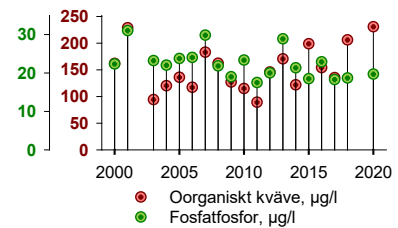
En ”standardalg” innehåller kväve och fosfor i förhållandet 16:1 som atomer eller 7,2:1 i vikt. Förmågan att ta upp olika näringsämnen varierar men ungefär samma förhållande gäller när det, med avseende på algerna näringsbehov, är balans mellan oorganiskt kväve (nitrit+nitrat och ammonium) och fosfor (fosfat) som är löst i vattnet. Ett förhållande över 7,2:1 betyder att det finns ett överskott på kväve och att brist på fosfor begränsar tillväxten, och vice versa. Fosfor är ofta det främsta begränsande näringsämnet i sötvatten.

Ytvattnets innehåll av oorganiskt kväve och fosfor är stort i början av året och minskar sedan snabbt under vårbloomingen i april. Innehållet är litet fram till september-oktober när skiktningen bryts och näringsrikt djupvattnet blandas upp i ytvattnet.



Figur 63. Oorganisk fosfor och kväve (nitrit+nitratkväve och ammoniumkväve) i ytvattnet 0-5 m i alla tre bassängerna 2000-2020.

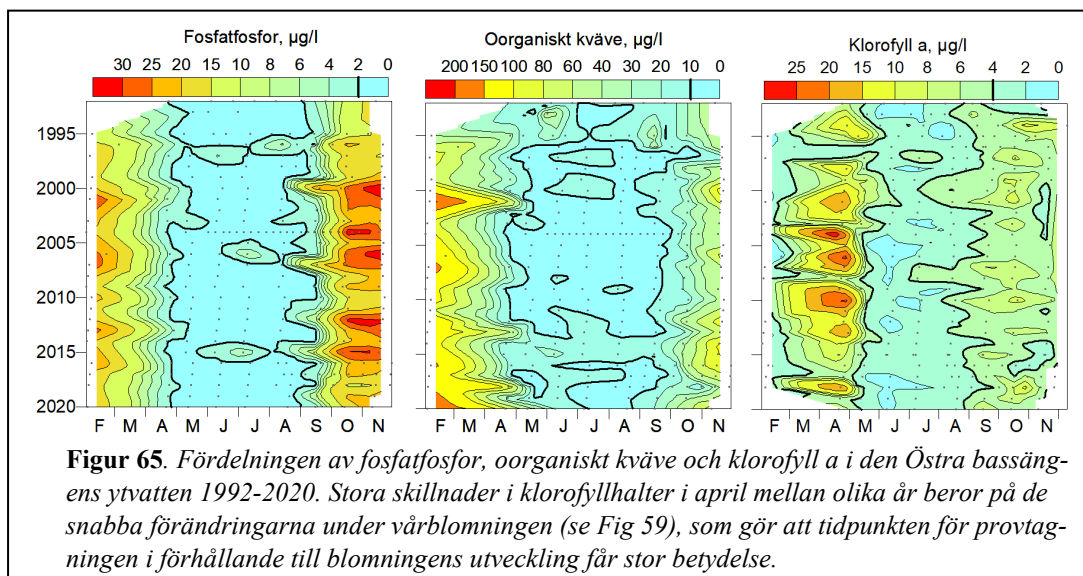
De flesta år har förhållandet mellan kväve och fosfor i februari inför vårbloomingen varit nära eller lägre än 7,2:1. 2018 och 2020 var kvävehalterna höga (data saknas för 2019), N:P-kvoterna var höga och kväve förekom i överskott (Fig 64).



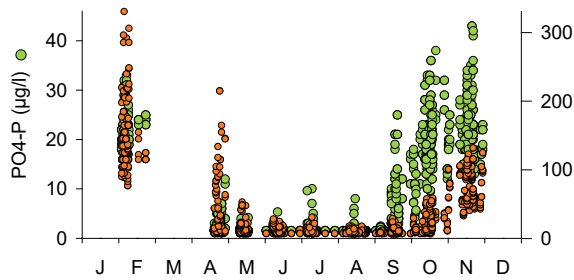
Figur 64. Oorganiskt kväve och fosfor i ytvattnet (0-5 m) i februari 2000-2020. Medelvärdena alla tre bassängerna angivna i förhållandet 7,2:1. De år halterna sammanfaller i diagrammet rådde balans mellan kväve och fosfor, när fosfor i diagrammet är högre än kväve förekom fosfor i överskott och tvärtom.

Med undantag av tillfälliga högre värden har halterna av både kväve och fosfor varit låga under sommaren, vid eller nära detektionsgränsen - för fosfatfosfor 1,5 µg/l och summan oorganiskt kväve 7 µg/l (Fig 65) och det går inte att med de kemiska analyserna avgöra om något ämne varit av större betydelse som begränsande ämne än något annat.

Det bottenvattnet som förs upp när skiktningen försvagas och slutligen bryts innehåller betydligt mer fosfor än kväve och överskottet av fosfor (eller underskottet av kväve) har varit stort i september, oktober och november. Underskott



Figur 65. Fördelningen av fosfatfosfor, oorganiskt kväve och klorofyll a i den Östra bassängens ytvatten 1992-2020. Stora skillnader i klorofyllhalter i april mellan olika år beror på de snabba förändringarna under vårbloomingen (se Fig 59), som gör att tidpunkten för provtagningen i förhållande till blomningens utveckling får stor betydelse.



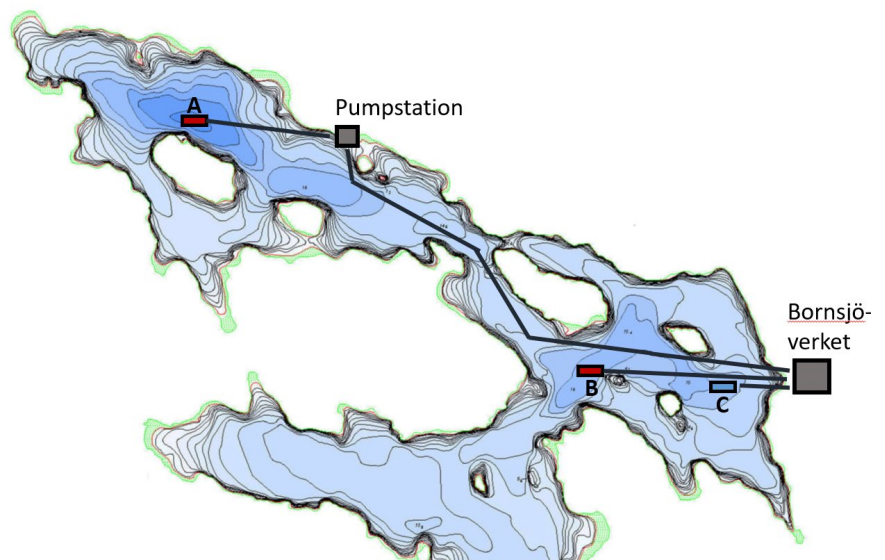
Figur 66. Oorganiskt kväve och fosfor i ytvattnet 0-5 m årsvariation 2000-2020 i N:P-förhållandet 7,2:1.

av kväve och samtidigt höga fosforhalter gynnar kvävefixerande blågröna alger (cyanobakterier) som kan vara giftiga och besvärliga på andra sätt. Trots tillgången på näringsämnen i ytvattnet är algväxten svag på hösten och klorofyllhalterna är låga, vilket beror på att ljuset är alltför svagt för en intensiv tillväxt. Blomningar av blågröna alger har ändå förekommit i Bornsjön under hösten men är dåligt dokumenterade.

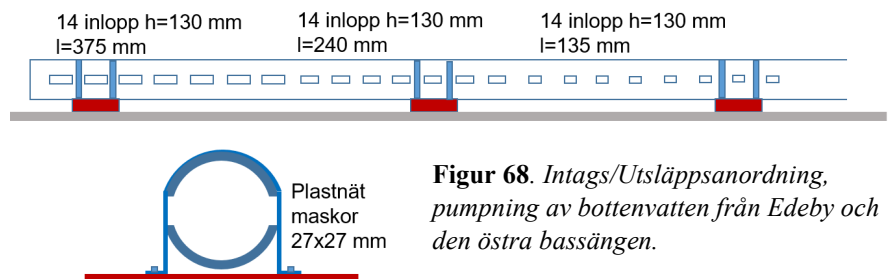
Utpumpning av bottenvatten

Fosforhalterna i Bornsjön ökade under 2000-talet. På inrådan av Gertrud Nürnberg⁴ beslöts att fosforinnehållet skulle reduceras genom utpumpning av bottenvatten. Pumpningen skulle göras växelvis från det största djupet i den nordvästra och i den östra bassängen och bara under en begränsad tidsperiod, sommar-tidig höst i slutet av stagnationsperioden då fosforhalterna i bottenvattnet är höga. Ett reningsverk, Bornsjöverket, byggdes nära vattenverkets intag från den östra bassängen, inte bara för att rena bottenvatten utan också för att leverera renat vatten till vattenverket från ett intag på 10-12 m djup i den östra bassängen. Bornsjöverket togs i drift hösten 2017.

Intagen av bottenvatten är utformade som ett slags diffusorer – rör som ligger horisontellt på stöd på botten med ett antal hål på var sida. Placeringen av intagen innebär att vattnet från Edeby kommer från ca 18,3 m djup och vattnet från Intaget från ca 16 m djup, 1 – 2 m djupare än det största djupet i det löpande övervakningsprogrammet för Bornsjön. Efter rening i Bornsjöverket släpps vattnet tillbaka till Bornsjön – när bottenvattnet tas från Edeby släpps det reade vattnet ut genom diffusorn i den östra bassängen och vice versa.



Figur 67. Intag av bottenvatten vid A Edeby och B i den östra bassängen (Bassängen) samt C intag av vatten för produktion av dricksvatten.

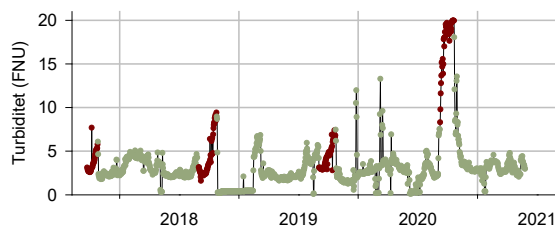


Figur 68. Intags/Utläppsanordning, pumpning av bottenvatten från Edeby och den östra bassängen.

⁴ Nürnberg, G. *Evaluation of hypolimnetic withdrawal as a possible treatment for the Bornsjön Reservoir internal phosphorus load*, Freshwater Research, 2012.

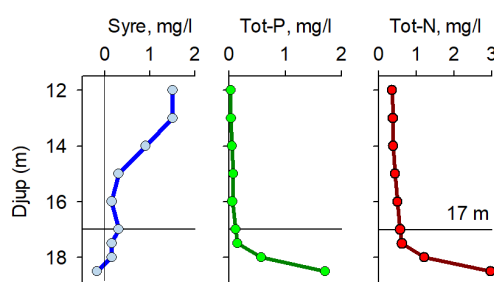
Totalfosfor är den enda parametern som analyseras i det pumpade vattnet. I tillägg görs mätningar on-line av temperatur, syre och turbiditet av det vatten som passerar genom Borsjöverket oavsett ursprung.

Totalfosfor analyseras före och efter reningen i Borsjöverket. 2019-2020 togs ett prov per vecka, 2018 något tätare och 2017 bara två prover efter de tre första dagarna. Koncentrationen har i det inkommande vattnet från Edeby varierat mellan 220 och 880 µg/l. Högre halter, som mest 1020 µg/l, förekom i vattnet från östra bassängen 2020 samtidigt med exceptionellt hög turbiditet som berodde på att slam följde med vattnet (Fig 69). Ökande turbiditet under pumpningen av bottenvatten från Edeby 2017, 2018 och 2019 tyder på att slam sögs med även då.



Figur 69. Turbiditet, on-line mätning. Röda symboler visar perioder med pumpning av bottenvatten.

Fosforhalterna i det inkommande vattnet har varit betydligt högre än i de prover som tas i övervakningsprogrammet. Den högsta halten på 17 m vid Edeby 2017-2019 var exempelvis 390 µg/l i ett prov som togs 16 september, halten i det pumpade vattnet var samtidigt 510 µg/l; i oktober 2020 var halten i det pumpade vattnet från den östra bassängen 990 µg/l och i prov från 14 m djup 420 µg/l. Orsaken till skillnaderna är att fosfor, liksom syre och kväve, kan uppvisa kraftiga gradienter nära sedimentytan – exemplet i Figur 70 är från provtagningar som gjordes 2004 i samband med utpumpning av bottenvatten från Edeby.



Figur 70. Syre (svavelväte), totalfosfor och totalkväve på 12 – 18,5 m djup vid Edeby 31 augusti 2004.

De pumpade volymerna har åren 2018 – 2020 uppgått till drygt 400 000 m³, 2017 försenades pumpningen av arbeten med reningsverket och volymen var bara 339 000 m³. Fosforhalterna i det renade vattnet har varit mycket låga, i allmänhet under 20 µg/l och i många fall så låga som 4-5 µg/l. Differensen mellan det orenade och renade vattnet från Edeby har i genomsnitt varit något mindre än 500 µg/l; med pumpade årliga volymer av drygt 400 000 m³ blir den mängd som fastlagts i Borsjöverket i storleksordningen 200 kg. Med de högre halterna i vattnet från den östra bassängen, i genomsnitt nära 900 µg/l, blir mängden över 300 kg. De beräknade, bortförda mängderna 2017-2020 har varierat mellan 158 och 358 kg (Tabell 6).

Tabell 6. Utpumpning av bottenvatten från Edeby 2017-2019 och Bassängen 2020.

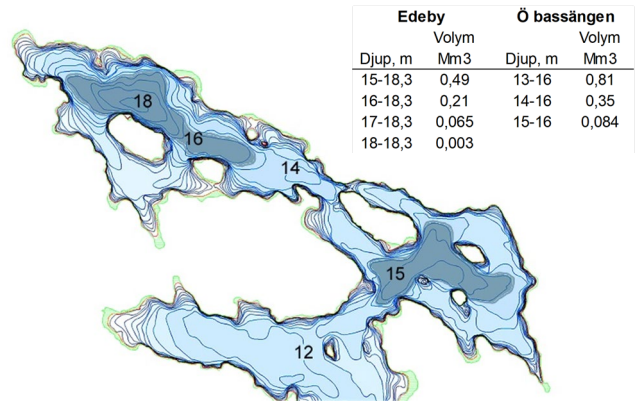
Från	År	Start	Stopp	Antal dagar	Pumpad volym, 1000-tal m ³	Bortförd mängd fosfor, kg
Edeby	2017	21 sept	23 okt	33	339	172
Edeby	2018	29 aug	22 okt	55	435	158
Edeby	2019	2 sept	21 okt	50	468	261
Bassängen	2020	7 sept	19 okt	43	408	358

Enligt den beräknade fosforbalansen för Borsjön är skillnaden mellan tillförd och bortförd mängd, d.v.s. den mängd som kvarstannar i Borsjön, ungefär 400 kg (SVOA 350 kg, SMHI 470 kg). Pumpningen av bottenvatten är därför inte tillräcklig för att minska mängden fosfor i Borsjöns sediment, möjligen med undantag för pumpningen från den östra bassängen 2020. En stor del av den fosfor som kommer till Borsjön med dikesvattnet är bunden till partiklar och sedimenterar troligen nära utloppet i Skårbybassängen. Det är därför möjligt att mängden kan minska i de pumpade bassängerna även om den inte minskar i Borsjön totalt.

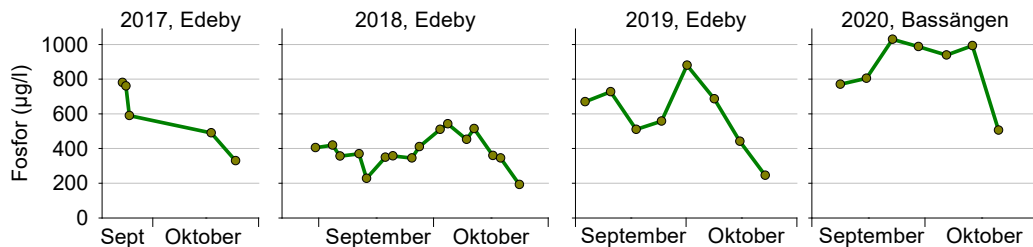
Effekter av pumpningen

De pumpade volymerna 2018-2020, drygt 400 000 m³, motsvarar vid Edeby volymen under ca 15,5 m djup och i den Östra bassängen under knappt 14 m djup, vilket innebär att stora bottenarealer berörs av utpumpningen av bottenvatten och eventuellt också av återföringen av det renade vattnet från Bornsjöverket (Fig 71).

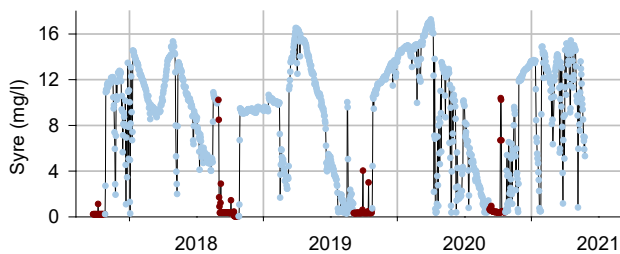
Vid utpumpningen sugs först det tyngsta vattnet nära botten bort. Det ersätts sedan av ovanliggande och gradvis lättare vatten. Eftersom syrehalten minskar med djupet och innehållet av fosfor och kväve ökar (främst som fosfatfosfor och ammoniumkväve), skulle utpumpningen förväntas medföra gradvis ökande syrehalter och minskande fosfor- och kvävehalter i bottenvattnet.



Figur 71. Ungefärliga arealer under ca 15,5 m djup vid Edeby och under knappt 14 m djup i den Östra bassängen.



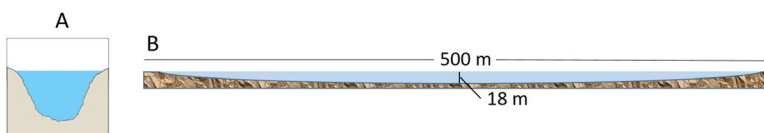
Figur 72. Halter av totalfosfor i utpumpat vatten.



Figur 73. Syre, on-line mätning. Röda symboler visar perioder med pumpning av bottenvatten.

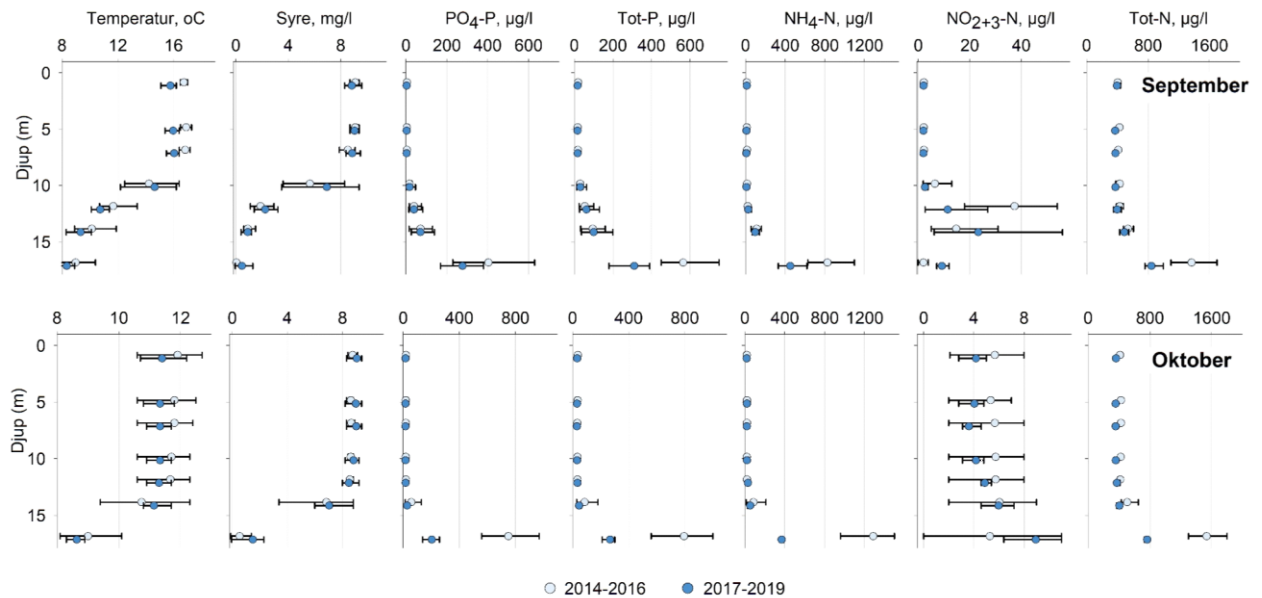
Totalfosfor i det utpumpade vattnet har inte visat något sådant med undantag av i början av utpumpningen 2017, utan fosforhalterna har snarare ökat fram till slutet av den pumpade perioden då halterna blivit lägre i samband med att temperaturskiktningen brutits (Fig 72). On-line mätningarna visar inte heller någon genomgående ökning av syrehalterna (Fig 73). Minskningen av fosfor 2017 berodde sannolikt på att pumphastigheten var mycket hög de första dagarna, över 800

m³/timme, slam drogs med i det pumpade vattnet och hastigheten reducerades till ca 400 m³/timme som sedan genomgående tillämpats. Med den lägre hastigheten blir tiden som vattnet står i förbindelse med sedimentytan längre, syre hinner förbrukas och fosfor lösas ut innan det nya bottenvattnet, d.v.s. det tidigare överstående lättare vattnet, når fram till pumpen.



Figur 74. (A) Vanlig bild av en sjö med förvrängda proportioner och (B) verkligt djup-bredd förhållande vid Edeby holme.

Transportsträckan för det ”nya” vattnet är längre än man kanske föreställer sig, eftersom sjöar oftast ritas med överdrivet djup i förhållande till bredden. I Figur 74 B visas det verkliga förhållandet mellan djup och bredd (men inte geografiskt korrekt) från Edeby holme över den djupaste punkten och till den norra stranden.

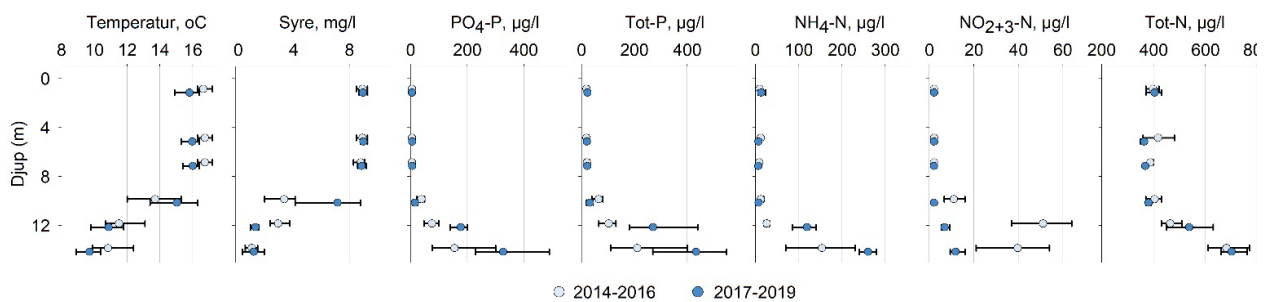


Figur 75. Fördelningen av temperatur, syre, fosfor och kväve vid Edeby på 0-17 m djup i mitten av september och oktober 2014-2016 och 2017-2019. Medelvärden samt min och max.

Jämförelse mellan förhållandena de tre år då vatten pumpades från Edeby och de tre närmast föregående åren visar stora skillnader i bottenvattnet på 17 m djup. De år då pumpningen pågick var medelvärdet för syrehalten något högre och halterna av fosfor, ammonium- och totalkväve var i mitten av både september och oktober betydligt lägre än åren innan (Fig 75).

Effekter av utsläppet av det renade vattnet från Bornsjöverket på de största djupen i Bassängen och vid Edeby beror på inlagringen av vattnet. Temperaturen på 17 m djup vid Edeby har varit mellan 1,1 och 3,0 °C lägre än på 14 m djup i Bassängen. När vattnet från Edeby efter rening släpps ut i Bassängen skulle det därför genom sin större densitet lagras in under det gamla bottenvattnet, under förutsättning att temperaturen inte förändras i ledningar och i reningsverket. Vid Edeby skulle utsläppet av vatten från Bassängen istället bilda en plym av lättare vatten som lagras in över bottenvattnet.

Temperaturen på det renade vattnet mäts inte innan det släpps ut från reningsverket. Jämförelser mellan förhållandena i Bassängens bottenvatten före och i samband med utsläpp av vatten från Edeby visar inte några tecken på inlagring av renat vatten på 12 och 14 m – halterna av fosfor och ammoniumkväve var tvärtom högre än tidigare vilket troligen berodde på att luftningen upphörde efter 2016. Det är däremot möjligt att vattnet lagrades in på minde djup – syrehalterna var tydligt högre på 10 m djup 2017-2019 och fosfor- och kvävehalterna var något lägre.



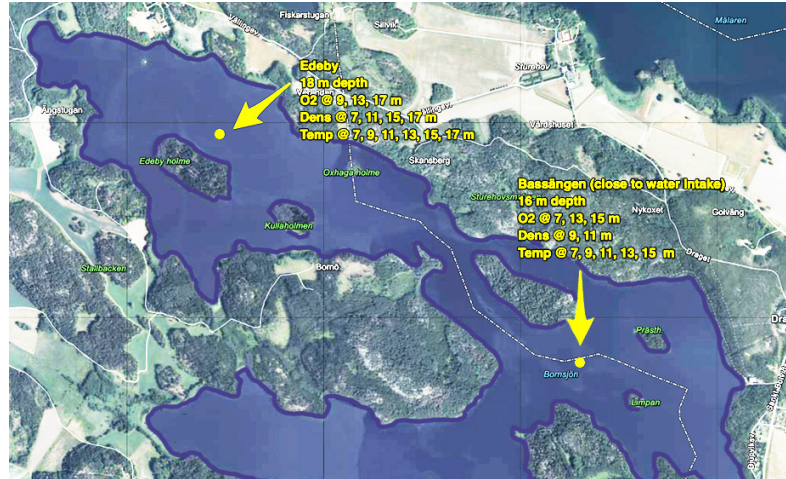
Figur 76. Temperatur, syre, fosfor och kväve i september på 0-14 m djup i Bassängen 2014-2016 och när renat vatten från Edeby släpptes ut 2017-2019.

Registrering in-situ

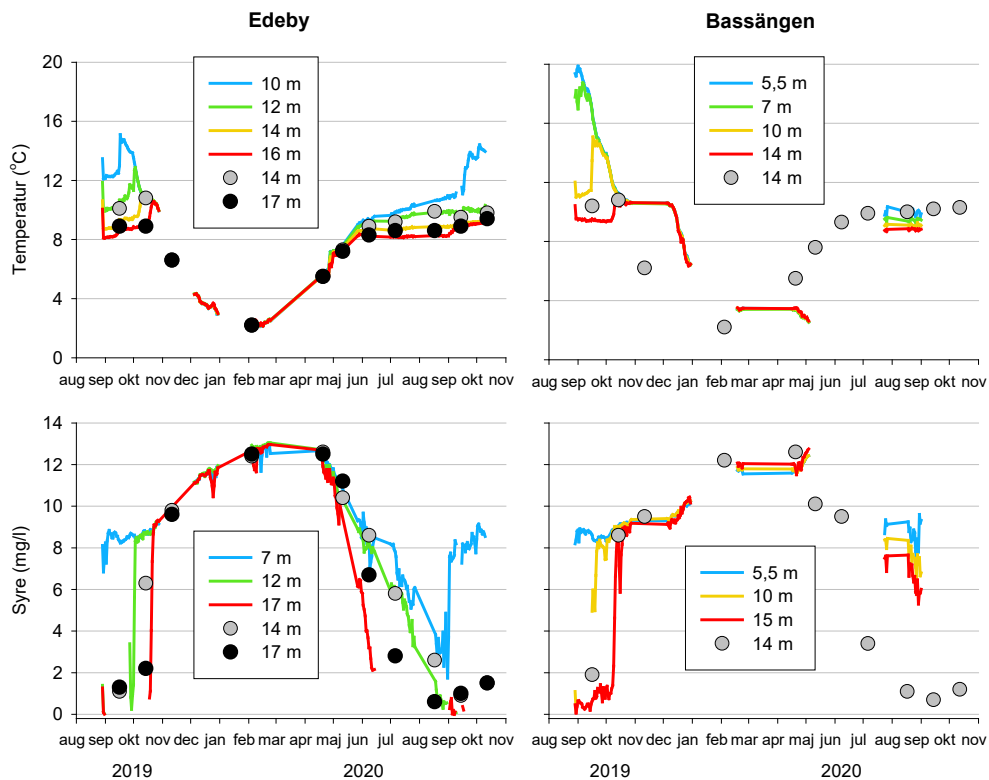
Två mätkedjor från Aanderaa har satts ut i Bornsjön med sensorer på som mest sex djup för syre, temperatur och konduktivitet. Densitet och syremättnad beräknas automatiskt. Resultat finns med avbrott från september 2019 till oktober 2020 samt en kort period från 2021 som inte visas här.

Djupen för sensorerna anges delvis olika i Aanderaas karta (Fig 77) och i Aanderaas data-sammanställning, de senare har använts i Figur 78 med undantag av syre på de största djupen.

Temperaturregistreringarna från Edeby stämmer väl överens med resultaten från de ordinarie provtagningarna och åskådliggör tydligt oskiktade förhållanden under vintern med sammanfallande kurvor som skiljs åt när skiktningen utbildas i maj-juni. Registreringarna av syre både på 12 (13) och 17 m stämmer ganska bra med de ordinarie provtagningarna.



Figur 77. Placering av de två sensorkedjorna vid Edeby respektive i Bassängen för registrering av syre, temperatur och konduktivitet.



Figur 78. Temperatur och syre vid Edeby och i Bassängen augusti 2019 – oktober 2020. Kontinuerliga registreringar, dygnsmedelvärden, samt mätvärden från 14 och 17 m djup i de ordinarie provtagningarna.

Temperaturen i Bassängen tycks vara korrekt registrerad bara i början och mot slutet av mätningarna. De registrerade syrehalterna var fram till maj 2020 något lägre än från de ordinarie provtagningarna. Registreringarna i augusti-september var uppenbart felaktiga med alltför höga värden både för årstiden och jämfört med ordinarie mätningar.

Syftet med sensorkedjorna är att ge information som kan användas för att optimera utpumpningen av bottenvatten från Edeby och Bassängen. Pumpningen ska bara göras när fosforhalten i bottenvattnet är hög. Det finns ingen möjlighet att mäta fosforhalten *in-situ* och optimeringen är en fråga om att anpassa starten av pumpningen till syrehalten som är ett indirekt mått på halten av fosfor, i princip enligt sambandet i Figur 42. Det finns ännu för få resultat för att bedöma hur användbara registreringarna är. Ett problem kan vara att koncentrationen av både syre och fosfor under den tid på året, då det är aktuellt med pumpning, ökar mycket snabbt ner mot sedimentytan (se Fig 70). Skillnaden kan då vara stor mellan de halter som registreras på 14 (15?) m i Bassängen och 16 (17?) m vid Edeby och halterna i det vatten som pumpas till Bornsjöverket. Om detta verkligen visar sig vara ett problem bör det vara möjligt att montera sensorer, främst för syre, direkt på intagsanordningarna.

Status

Bornsjöns övergripande ekologiska status bedöms av Vattenmyndigheten som *God*. Av biologiska kvalitetsfaktorer finns bedömning av växtplankton, som har givits *Hög* status baserad på klorofyll a (data saknas för artsammansättning och trofisk status) och av makrofyter som har bedömts ha *Måttlig* status. Underlag saknas för bedömning av bottenfauna och fisk.

De fysikalisk-kemiska kvalitetsfaktorerna omfattar näringsämnen, ljusförhållanden (=siktdjup), syrgasförhållanden, försurning och särskilt förorenande ämnen. Statusen för näringsämnen, i sötvatten endast fosfor, är *God*. I den tidigare förvaltningscykeln bedömdes statusen som *Hög*. Den lägre klassningen i den nu aktuella förvaltningscykeln beror på att dataurvalet har ändrats från enbart augustivärden till helårsvärden, någon förändring av augustivärdena har inte skett. Status för ljusförhållanden och försurning bedöms vara *Hög*.

Syrgasförhållanden och särskilt förorenande ämnen har inte klassats. Det finns ett mycket omfattande underlag för att bedöma syrgasförhållandena, men metoden är komplicerad och bedömningen görs sällan av Vattenmyndigheten. Särskilt förorenande och andra förorenande ämnen analyserades i ytvattnet i intagsbassängen i mars 2020 (sammanställning finns i Bilaga 2). Gränsvärden, maximal tillåtlig biotillgänglig halt, finns för ett fåtal metaller – bly, koppar, nickel och zink, som förekom i halter långt under gränsvärdena.

Alla hydrologiska kvalitetsfaktorer har *Hög* status – konnektivitet, hydrologisk regim, och morfologiskt tillstånd. I morfologiskt tillstånd ingår en faktor *Svämplanets struktur och funktion* som har *God* status beroende på markanvändningen i svämplanet, d.v.s. ”den flacka ytan längs vattendraget/sjön som bildas genom återkommande översvämningar” (Vattenmyndighetens definition).

Bornsjön uppnår inte *God kemisk status* vilket är en generell bedömning av halter i biota i svenska sjöar med undantag av PFOS, som i ett prov från 2019 överskred bedömningsgrundernas gränsvärde.

Bilaga 1

Woolway, R.I., Sharma, S, & Jennings, E.: Phenological shifts in lake stratification under climate change

Nature Communications **volume 12**, Article number: 2318 (2021)

Abstract

One of the most important physical characteristics driving lifecycle events in lakes is stratification. Already subtle variations in the timing of stratification onset and break-up (phenology) are known to have major ecological effects, mainly by determining the availability of light, nutrients, carbon and oxygen to organisms. Despite its ecological importance, historic and future global changes in stratification phenology are unknown. Here, we used a lake-climate model ensemble and long-term observational data, to investigate changes in lake stratification phenology across the Northern Hemisphere from 1901 to 2099. Under the high-greenhouse-gas-emission scenario, stratification will begin 22.0 ± 7.0 days earlier and end 11.3 ± 4.7 days later by the end of this century. It is very likely that this 33.3 ± 11.7 day prolongation in stratification will accelerate lake deoxygenation with subsequent effects on nutrient mineralization and phosphorus release from lake sediments. Further misalignment of lifecycle events, with possible irreversible changes for lake ecosystems, is also likely.

Bilaga 2. Utvidgad provtagning, ytvatten i den östra bassängen 23 mars 2020.

Herbicider			Övriga		
2,6-Diklorbenzamid	µg/l	<0,01	Bensen	µg/l	< 0,2
Atrazine	µg/l	<0,01	Benso(a)pyren	µg/l	< 0,003
Atrazine-desethyl	µg/l	<0,01	Benso(b)fluoranten	µg/l	< 0,003
Atrazine-desisopropyl	µg/l	<0,01	Benso(ghi)perylene	µg/l	< 0,003
Bentazone	µg/l	<0,01	Benso(k)fluoranten	µg/l	< 0,003
Cyanazine	µg/l	<0,01	Fluoranten	µg/l	< 0,003
Diclorprop	µg/l	<0,01	Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	< 0,003
Ethofumesate	µg/l	<0,01	Summa PAH	µg/l	< 0,009
Fluroxypyr	µg/l	<0,01	Tetrakloreten	µg/l	< 1,0
Glyfosat	µg/l	<0,01	Triklormetan	µg/l	< 1,0
Hexaklorobensen	µg/l	<0,01	1,2-Dikloreten	µg/l	< 1,0
Imazapyr	µg/l	<0,01	1,1,2-Trikloreten	µg/l	< 1,0
Isoproturon	µg/l	<0,01	Hexakloreten	µg/l	< 0,10
Klopyralid	µg/l	<0,01	Summa Tri och Tetrakloreten	µg/l	< 2,0
Klorsulfuron	µg/l	<0,01	Hexachlorobutadiene (HCBD)	µg/l	< 1,0
Kvinmerac	µg/l	<0,01	Dibromklormetan	µg/l	< 1,0
MCPA	µg/l	<0,01	Bromdiklormetan	µg/l	< 1,0
Mekoprop	µg/l	<0,01	Tribrommetan	µg/l	< 1,0
Metamitron	µg/l	<0,01	Summa THM	µg/l	< 4,0
Metazaklor	µg/l	<0,01	Bromat	mg/l	< 0,002
Metribuzin	µg/l	<0,01	Cyanid, total	µg/l	< 1,0
Pentaklorobensen	µg/l	< 0,1	AMPA	µg/l	<0,01
Simazine	µg/l	<0,01			
Terbutylazine	µg/l	<0,01			
Tifensulfuron-metyl	µg/l	<0,01			
Pesticider					
Aldrin	µg/l	<0,03			
DDD, p,p'-	µg/l	<0,01			
DDD-o,p	µg/l	<0,01			
DDE, p,p'-	µg/l	<0,01			
DDE-op	µg/l	<0,01			
DDT, o,p'-	µg/l	<0,03			
DDT, p,p'-	µg/l	<0,03			
Dieldrin	µg/l	<0,03			
Dimethoate	µg/l	<0,01			
Endosulfan-alpha	µg/l	<0,05			
Endrin	µg/l	<0,05			
Fenoxaprop	µg/l	<0,01			
HCH,gamma- (Lindane)	µg/l	<0,05			
Heptaklor	µg/l	<0,03			
Isodrin	µg/l	<0,03			

Metaller			G
Bly	µg/l	0,023	1,2
Koppar	µg/l	0,43	0,5
Nickel	µg/l	0,58	4,0
Zink	µg/l	0,22	5,5
Aluminium	µg/l	23	
Antimon	µg/l	0,067	
Arsenik	µg/l	0,25	
Barium Ba	µg/l	9,8	
Bor	µg/l	16	
Järn	µg/l	1,9	
Kobolt	µg/l	0,012	
Mangan	µg/l	0,98	
Molybden	µg/l	0,62	
Vanadin	µg/l	0,19	
Kadmium	µg/l	<0,004	
Krom	µg/l	<0,05	
Kvicksilver	µg/l	<0,1	
Selen	µg/l	<0,5	
Silver	µg/l	<0,01	
Tenn	µg/l	<0,1	
Wolfram	µg/l	<0,1	
Mikrobiologiska parametrar			
Mikrosvamp, jäst	cfu/100 ml	9	
pres Clostr. perfr.	cfu/100 ml	1	
E. coli	cfu/100 ml	1	
Kolif bakt 35°	cfu/100 ml	1	
Aktinomyceter	cfu/100 ml	81	
Odlingsbara mikroorganismer 22°C	cfu/ml	110	
Mikrosvamp, mögel	cfu/100 ml	290	
Mikrosvamp	st/100ml	299	
Långsamväxande bakterier	cfu/ml	340	
Intestinala enterokocker	cfu/100 ml	< 1	
Annat			
Nitrat (NO3)	µg/l	< 440	
Nitrit (NO2)	µg/l	< 7	
Kalcium Ca (end surgjort)	mg/l	28	
Klorid	mg/l	26	
Sulfat	mg/l	24	
Natrium Na (end surgjort)	mg/l	18	
Magnesium Mg (end surgjort)	mg/l	5,4	
Kalium K (end surgjort)	mg/l	2,6	
Fluorid	mg/l	0,27	
TOC	mg/l	5,6	

G = gränsvärde, maximal biotillgänglig halt, årsmedelvärde