

VA-avdelningen
KMAS
Fred Erlandsson

Styrelsen för Stockholm Vatten AB

Anmälan av femårsrapport Bornsjön status som vattentäkt

FÖRSLAG

Styrelsen föreslås besluta
att godkänna anmälan.

Christian Rockberger
Verkställande direktör

Sigrid De Geyter
Avdelningschef
VA-avdelningen

Bilaga: Bornsjörapporten

ÄRENDET

Bornsjörapporten tas fram c:a vart femte år för att följa de långsiktiga trenderna i Bornsjön och dess vattendrag. Rapporten är en sammanställning av de kontinuerliga mätningarna för att följa utvecklingen av sjöns status såväl som råvattentäkt och ytvattenförekomst.

Såväl positiva som negativa trender kan skönjas. För tillrinnande vatten är den långsiktiga trenden sjunkande halter av näringsämnen medan sjön istället har en långsiktig trend med svagt stigande halter av näringsämnen. De stigande halterna i sjön är en följd av historisk belastning av fosfor och kväve som frisätts från bottensedimenten under syrefattiga förhållanden.

Siktdjupet har under de senaste 40 åren ökat med c:a en meter medan klorofyllhalterna är relativt oförändrade. PFAS-halterna i sjön är mycket låga och härrör primärt från nederbörd.

Sammantaget bör belastningen fortsatt minska och Bornsjöverket nyttjas för reduktion av fosfor under hösten. Av rapporten framgår att det är av vikt att Bornsjöns vattenskyddsområde fortsatt värnas.

SLUT



Provtagningar i Bornsjön och dess tillflöden till och med 2024

Christer Lännergren, 25SVOA657

Tillsammans för världens
mest hållbara stad



STOCKHOLM
VATTEN
OCH AVFALL

© Stockholm Vatten och Avfall 2026

Författare: Christer Lännergren

Rapporten citeras: Lännergren (2025) Provtagningar i Bornsjön och dess tillflöden till och med 2024
Christer Lännergren, 25SVOA657

Stockholm Vatten och Avfall

Diarienummer: 25SVOA657

Kontaktuppgifter: Stockholm Vatten och Avfall, 106 36 Stockholm

Telefon: 08-522 120 00

Webb: www.svoa.se

Innehåll

Sammanfattning.....	3
Diken	3
Bornsjön	3
Inledning.....	5
Avrinningsområde	6
Temperatur och nederbörd	8
Dikesprovtagningar.	9
Konduktivitet och turbiditet	10
Fosfor	11
Kväve	12
Förhållandet mellan kväve och fosfor	13
Samband mellan turbiditet och halter av fosfor och kväve.	13
Förändringar av fosfor och kväve 1986-2024	15
Förändringar av fosfor och kväve 2000-2024	15
Lugnetkärret och Rönningevägen x diket.....	17
Metaller vid Björkmossen	18
Flöden.....	19
Transporter	20
Fosfor- och kvävebalans.....	21
Bornsjön	22
Provtagningar i Bornsjön.....	23
Konduktivitet.....	24
pH och alkalinitet	24
Temperatur	25
Syre.....	26
Fosfor och kväve	28
Fosfor och kväve, mängder	30
Kisel	33
Siktdjup och klorofyll.....	34
Fosfor- och/eller kvävebegränsning	35
Utpumpning av bottenvatten	36
Effekter av pumpningen	38
PFAS	40
Status	41

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. Tillrinningsområde har en yta av 40,5 km². Ca 30 km² utgörs av skog och 8 km² av odlad mark. Större delen av avrinningsområdet ingår i Bornsjöns naturreservat och Bornsjöns yta är avsatt som Natura 2000-område. Knappt 2/3 av tillrinningsområdet avvattnas av fyra diken med ett gemensamt utlopp i den södra delen av Bornsjön.

Skyddszoner är anlagda längs samtliga huvuddiken och anpassade skyddszoner anläggs efter behov. På området används inga bekämpningsmedel och större delen av åkermarken är även strukturkalkad. Åkermarken hålls till största delen beväxt även under vinterhalvåret och målet är att ha så stor andel grön mark som möjligt under året. Under 2026 kommer SVOA ta över brukandet av Ladvik och Bergaholm som varit utarrenderade och vi kan därmed jobba vidare med att implementera skyddszoner på platser med hög risk för erosion och öka andelen grön mark under vinterhalvåret. Förberedelser görs nu för att införa ekologiskt jordbruk i så gott som hela området, och all mark ska skötas av SVOA från 2026. Ca 300 hektar tillkommande areal kommer dock att kvarstå som konventionellt jordbruk med vallproduktion där ekologisk produktion inte är möjlig.

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 2020 som gjordes 2021.

Diken

Vattenprover har 2021-2024 tagits vid 18 punkter i de stora diken. Konduktiviteten varierade mellan 5 och 380 mS/m med de lägsta värdena i Acksjödiket och de högsta i den övre delen av Salemdiket. Konduktiviteten, som under ett antal år ökade i både Eksättra- och Salemdiket, har minskat efter 2020. Höga turbiditetsvärden har tillfälligt påträffats i båda diken. Sambandet har varit starkt mellan turbiditet och halter av fosfor och kväve.

Fosforhalten, både fosfat- och totalfosfor, minskade från slutet av 1900-talet till 2015-2020. Därefter har medelhalten ökat, tydligast i Eksättradiket. Totalkväve har ökat något under samma period, huvudsakligen beroende på högre halter av nitrit+nitratkväve.

Metallhalterna vid Björkmossen var mycket låga till måttliga, höga halter av koppar och bly har i enstaka prover påvisats vid Lugnetkärret och Rönningevägen, vid Lugnetkärret även höga halter av bly.

Tillflödet till Bornsjön var stort, över 12 Mm³/år 2023 och 2024, och 2022 bara 6,7 Mm³. Transporterna av fosfor och kväve beräknades med analysvärden från SVOA:s provtagningar till ca 0,7 respektive 19 ton per år.

Bornsjön

Vattenprover togs en gång per månad i de tre bassängerna med undantag av januari, mars och december. Konduktiviteten, ca 27 mS/m ökade från 2015 till 2020, ökningen har därefter avstannat. pH har varit 7,5-8,5 i ytvattnet och alkaliniteten ca 80 mg HCO₃/l, betydligt mer än i Mälaren.

Temperaturskiktningen etableras i maj-juni och bryts i oktober-november. Temperaturskillnaden mellan yt- och bottenvatten har ökat, tydligast i juli och september. De senaste åren har syrehalterna under den skiktade perioden varit lägre än tidigare, förändringen har varit störst på intermediära djup vid Edeby och i Bassängen.

Halterna av fosfor och kväve har varit höga i bottenvattnet när syreinnehållet varit litet mot slutet av den skiktade perioden. Efter en ökning fram till 2010-2015 har halterna minskat och var ungefär hälften så höga 2021-2024, huvudsakligen på grund av lägre halter av fosfatfosfor och ammoniumkväve.

De sammanlagda innehållerna av fosfor i Bornsjöns vattenmassa har sedan 1980-talet uppgått till i medelvärde under året ca 1,7 ton och har med stora variationer visat en svagt stigande tendens. Kväve minskade kraftigt från över 30 ton på 1980-talet till ca 20 ton i mitten av 1990-talet och har därefter varierat mellan 25 och 30 ton.

Kisel förekommer under vintern i stort överskott men halterna i ytvattnet har tidvis varit mycket låga i samband med vårblomningen i april och under sensommaren. Halterna har sedan 1990-talet ökat i ytvattnet från ca 400 till 700 µg/l, ökningen har varit stor i bottenvattnet.

Klorofyll och siktdjup har visat stora variationer sedan mätningarna började. Den långsiktiga trenden för klorofyll i juli-augusti, som används för statusbedömning, är oförändrad medan siktdjupet har ökat något, från ca 5 till 6 meter.

Fosfor förefaller vara det främsta begränsande näringsämnet under vårblomningen. Halterna av för växterna tillgängliga näringsämnen har varit mycket låga under sommaren och produktionen begränsas troligen inte av brist på ett enskilt ämne. Efter höstomblandningen har fosforhalterna varit höga och underskottet av kväve har varit stort.

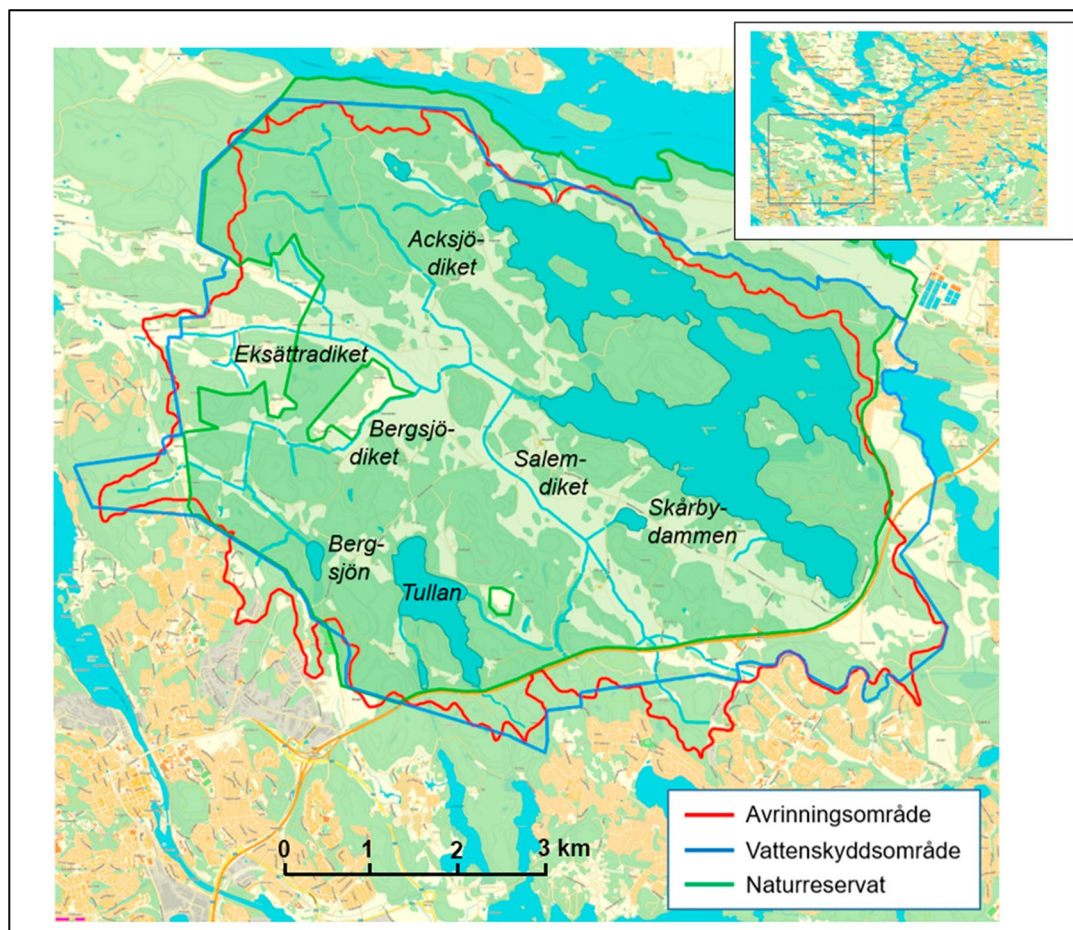
För att minska innehållet av fosfor i Bornsjöns bottnar har bottenvatten sedan 2017 pumpats växelvis från det största djupet i Edebybassängen och i Bassängen till ett nybyggt reningsverk nära Bornsjön och sedan återförts till Bassängen när vattnet pumpats från Edeby och tvärtom. Pumpningen har pågått när fosforhalterna varit höga i september-oktober. 100-260 kg fosfor per år har förts bort från Edeby och ca 360 kg per år från den östra bassängen.

PFAS analyserades i råvatten från Bornsjön 2023 och 2024. Halterna var mycket låga. I två prover som togs från Bassängens bottenvatten 2024 var halten av TFA (ett PFAS-ämne) 420-500 ng/l, föreslaget gränsvärde är 500 ng/l.

Bornsjöns övergripande ekologiska status bedöms av Vattenmyndigheten som *God*. Biologiska kvalitetsfaktorer, växtplankton baserat på klorofyll a och makrofyter, har *Hög* respektive *Måttlig* status. Fysikalisk-kemiska kvalitetsfaktorerna omfattar näringsförhållanden, endast fosfor, med *God* status, samt ljusförhållanden (siktdjup) och försurning som båda bedöms ha *Hög* status. PFOS har i ett prov från 2019 överskridit bedömningsgrundernas gränsvärde. Prover av PFAS har tagits 2022-2024 men resultaten är inte tillgängliga. Hydromorfologiska faktorer har *Hög* status med undantag av *God* status för *Svämplanets struktur och funktion*. Historisk förorening (fosfor) klassas som *Ej betydande påverkan* efter att interngödningen, enligt Vattenmyndigheten, åtgärdats med Bornsjöverket.

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.

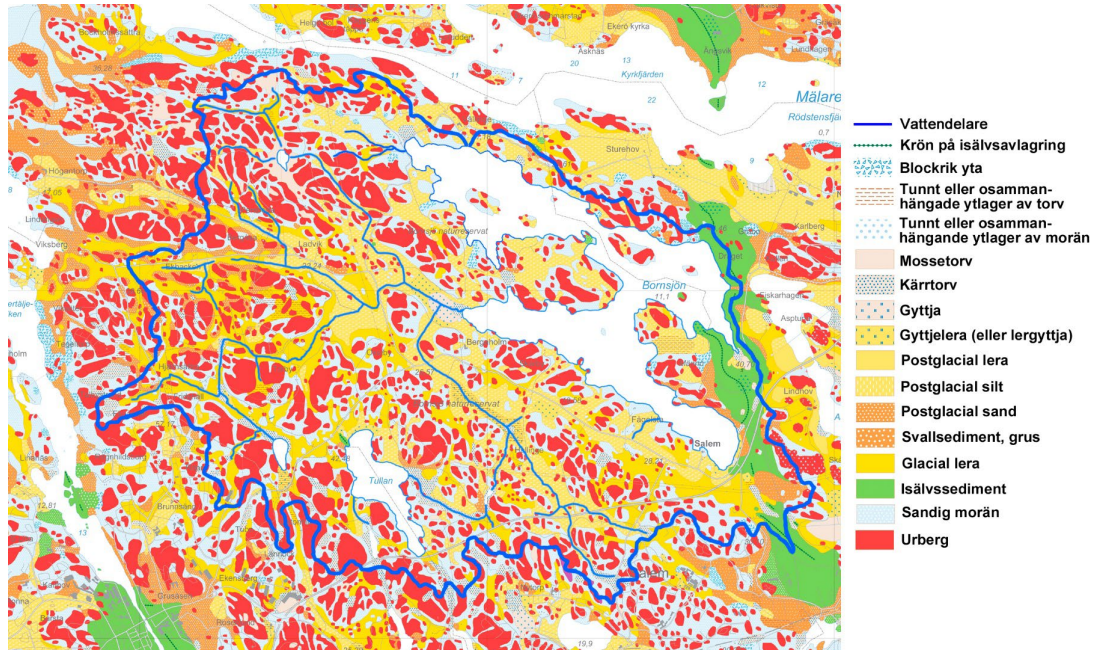
Större delen av Bornsjöns avrinningsområde köptes av Stockholms stad redan 1899. Egendomarna har därefter gradvis utvidgats och staden äger idag över 90 % av området. Omfattande åtgärder har under åren vidtagits för att skydda vattenkvaliteten. Under 1980-talet försämrades dock kvaliteten, huvudsakligen 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 2020 som gjordes 2021.

Avrinningsområde

Avrinningsområdet har en yta av 48 km², därav ca 7,5 km² sjö – Bornsjön, 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 Bornsjön (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, marken hålls beväxt under hela året, restriktioner har införts för användning av bekämpningsmedel och växtnäring och jorden har strukturskalkats.

Motorvägen E4/E20 passerar på en stor sand- och grusås öster om Bornsjön. Avrinningen från ca 2,5 km av vägen där den går närmast Bornsjön renas sedan 1997 i en sedimenteringsanläggning och efterföljande damm som båda byggts och sköts av Trafikverket, bassängen töms en gång om året. Biltrafiken är tidvis intensiv på gamla Riksettan, som passerar mellan motorvägen och Bornsjön, 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 Bornsjön, där bebyggelsen nu förtätas.



Figur 3. Diken med provtagningspunkter 2021-2024 (två punkter i Salemdiket, Rönningevägen och Lugnetkärret med provtagning 2022-2024, är inte utsatta,).

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 dikena sedan 1986 och tidvis även i andra, mindre tillflöden till Bornsjön, som mest 51 lokaler.

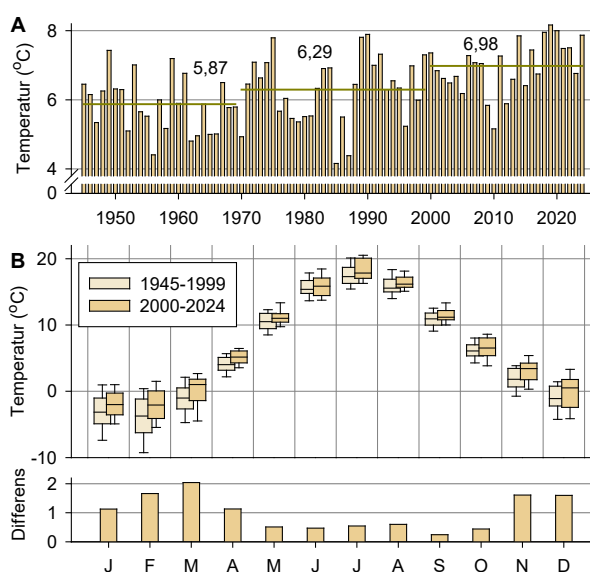
De parametrar som analyserats har varit konduktivitet (=ledningsförmåga, mått på innehåll av lösta salter), turbiditet (=grumlighet), fosfor (total, fosfat) samt kväve (total, ammonium, nitrit+nitrat), undantagsvis även suspenderat material, metaller och oljeindex.

Temperatur och nederbörd

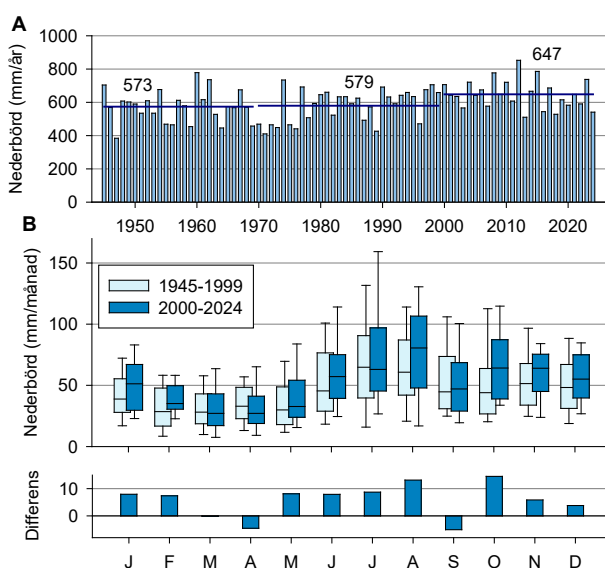
Den närmaste meteorologiska stationen finns i Södertälje. Data, temperatur och nederbörd, kan laddas ner från SMHI:s hemsida. Temperaturen mäts efter 1995 bara morgon och kväll (06 och 18) vilket gör att den högsta dagstemperaturen inte registreras.

Både lufttemperatur och nederbörd har visat stora förändringar sedan 1940-talet, temperaturen tydligast genom att låga temperaturer blivit mindre vanliga, den lägsta månadsmedeltemperaturen 2000-2024 var bara -3,7 °C. Medelvärdet för åren 2000-2024 var ungefär en grad högre än 1945-1970, 5,9 mot 7,0 °C. Skillnaden har varit relativt liten under sommarmånaderna, stor i november-december och störst i mars då temperaturen (medianvärde) har varit 2°C högre.

Nederbörden uppgår i genomsnitt till ungefär 50 mm/månad. De största mängderna har kommit i juli-augusti, efter 2000 har mängderna varit stora också under hösten. Nederbörden har ökat, den genomsnittliga årsnederbörden 1945-70 var 573 mm mot 647 mm 2000-2024.

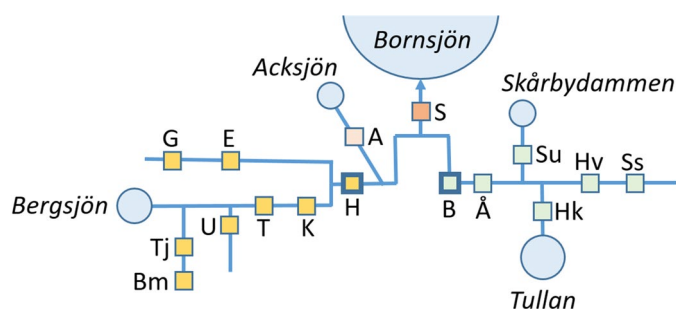


Figur 4. (A) Temperatur, årsmedelvärden och medelvärden respektive period, (B) Variation under året, månadsmedelvärden och skillnad 1945-99 och 2000-2024.



Figur 5. (A) Nederbörd, mängd per år och medelvärden respektive period, (B) Variation under året, månadsmedelvärden och skillnad 1945-99 och 2000-2024.

Dikesprovtagningar.

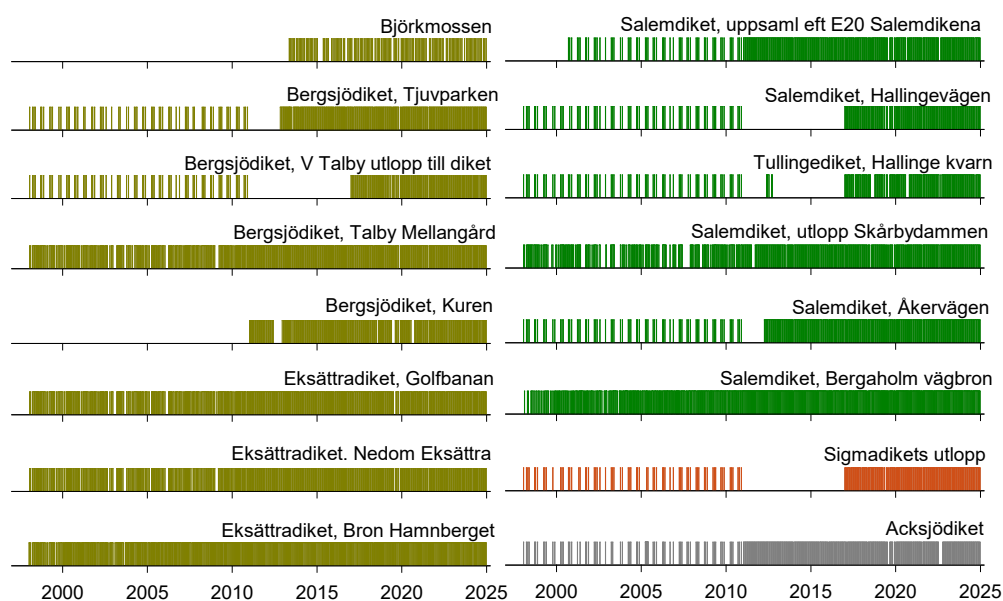


Figur 6. Förenklad bild med diken och provpunkter.

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
Å	Salemdiket, Åkervägen Bergaholm
B	Bergaholm, vägbron
A	Acksjödiket, Bornövägen trumma
S	Salemdiket, Sigmadikets utlopp

Prover har 2021-2024 tagits vid sexton punkter i de tre stora diken som rinner mot Bornsjön – Bergsjödiket, Eksättradiket och Salemdiket – samt i Acksjödiket och Tullandiket som kommer från Acksjön och Tullan (Fig 6), 2022-2024 dessutom vid Lugnetkärret och Rönningevägen i den övre delen av Salemdiket.

Provtagningsfrekvensen har varit mycket olika, tätast vid de nedersta provpunkterna i Eksättradiket och Salemdiket och glesare vid lokalerna högt upp i Salemdiket och Bergsjödiket. Provtagningen har sedan slutet av 1990-talet allmänt förtätats och två punkter har tillkommit i Bergsjödiket, Kuren 2011 och Björkmossen 2013. Provtagningen i Sigmadiket, det samlade utflödet från de stora diken, var gles 1998-2010, upphörde 2011 – 2016 och upptogs igen 2017 för att tjäna som underlag för beräkningar av belastningen på Bornsjön, som ett tillägg till, eller ersättning för, provtagningarna vid de nedersta punkterna i Eksättra-och Salemdikena (Fig 7).



Figur 7. Dikesprovtagningar 1998-2024.

Konduktivitet och turbiditet

Konduktiviteten har varierat mellan 5 och 380 mS/m med de lägsta värdena från Acksjödiket och de högsta i den övre delen av Salemdiket vid sammanflödet av tre mindre diken nedströms E4/E20. Skillnaden mellan lägsta och högsta turbiditet har varit ännu större med värden under 1 FNU vid Björkmossen och Tjuvparken och omkring 400 FNU i Salemdiket. Det finns inte något omedelbart samband mellan konduktivitet och turbiditet – både konduktivitet och turbiditet är hög i övre delen av Salemdiket medan turbiditeten är mycket låg vid Björkmossen samtidigt med de höga konduktivitetsvärdena (Fig 8).

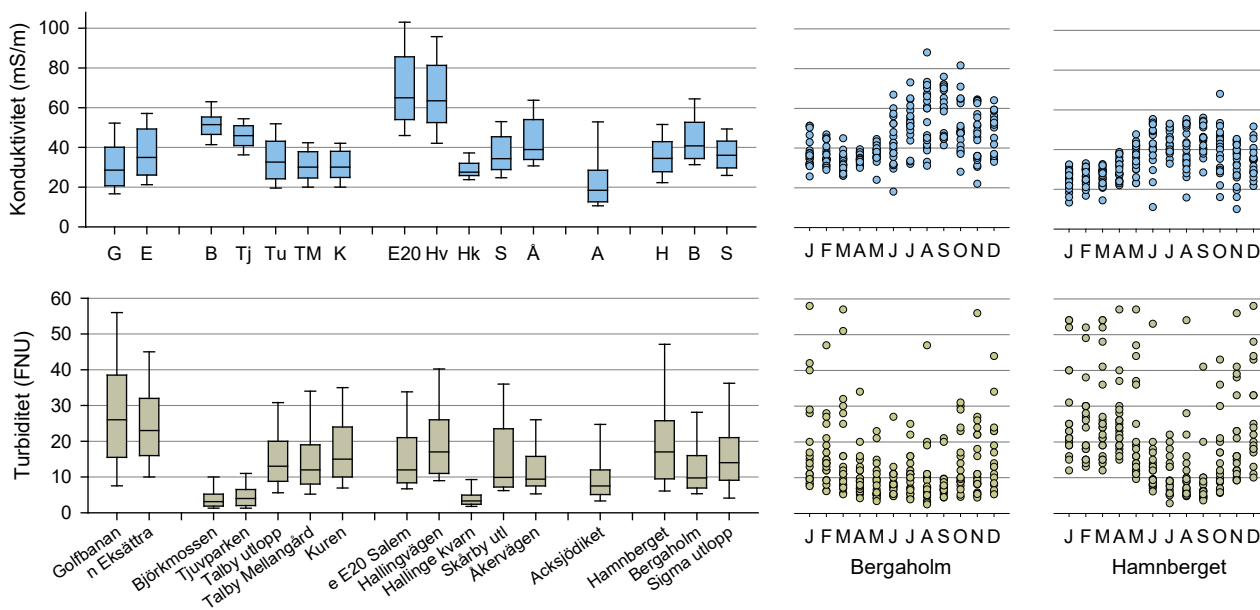
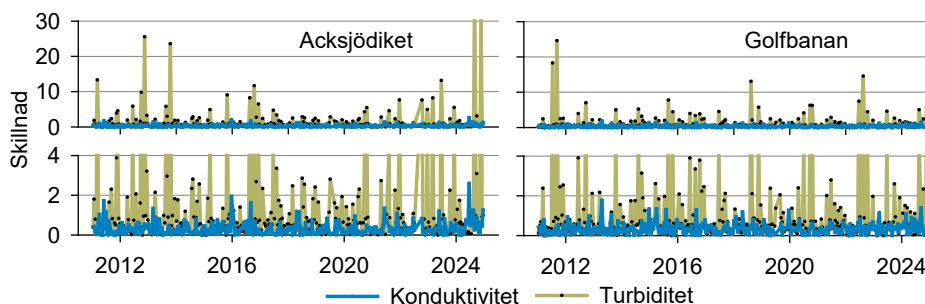


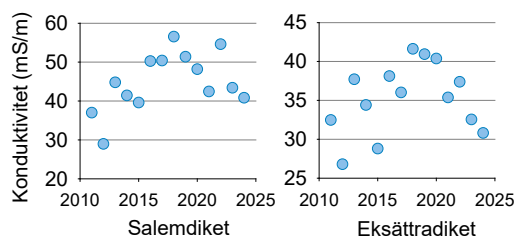
Fig 8. Konduktivitet och turbiditet, samtliga värden 2020-2024 samt förändringarna under året vid Vägbron Bergaholm i den nedersta delen av Salemdiket och Bron Hamnerberget i den nedersta delen av Eksättradiket (extremt höga värden har uteslutits).

Allmänt ökar dock turbiditeten med ökande flöden medan konduktiviteten är högst när flödet är litet. Små flöden under sommaren har därför medfört låg turbiditet och hög konduktivitet medan förhållandet varit motsatta när flödena varit stora vår och höst. Flödesvariationerna påverkar turbiditeten mer än konduktiviteten. Skillnaden i turbiditet kan vara mycket stor mellan två provtagningar och betydligt större än skillnaden i konduktivitet, vilket gäller både lokaler med låga och med höga värden, i Figur 9 exemplifierat med Acksjödiket och Golfbanan.



Figur 9. Skillnad (kvot) i konduktivitet och turbiditet mellan två på varandra följande provtagningar, Acksjödiket och Golfbanan 2011-2024. De nedre diagrammen med förstord skala.

I den rapport som beskrev resultaten av provtagningarna till och med 2020 uppmärksammades en fortgående ökning av konduktiviteten både i Salemdiket vid *Bergaholm vägbron* och i Eksättradiket vid *Bron Hamnberget*. Konduktiviteten har därefter minskat vid båda lokalerna och låg 2024 på ungefär samma nivå som 2015 (Fig 10).

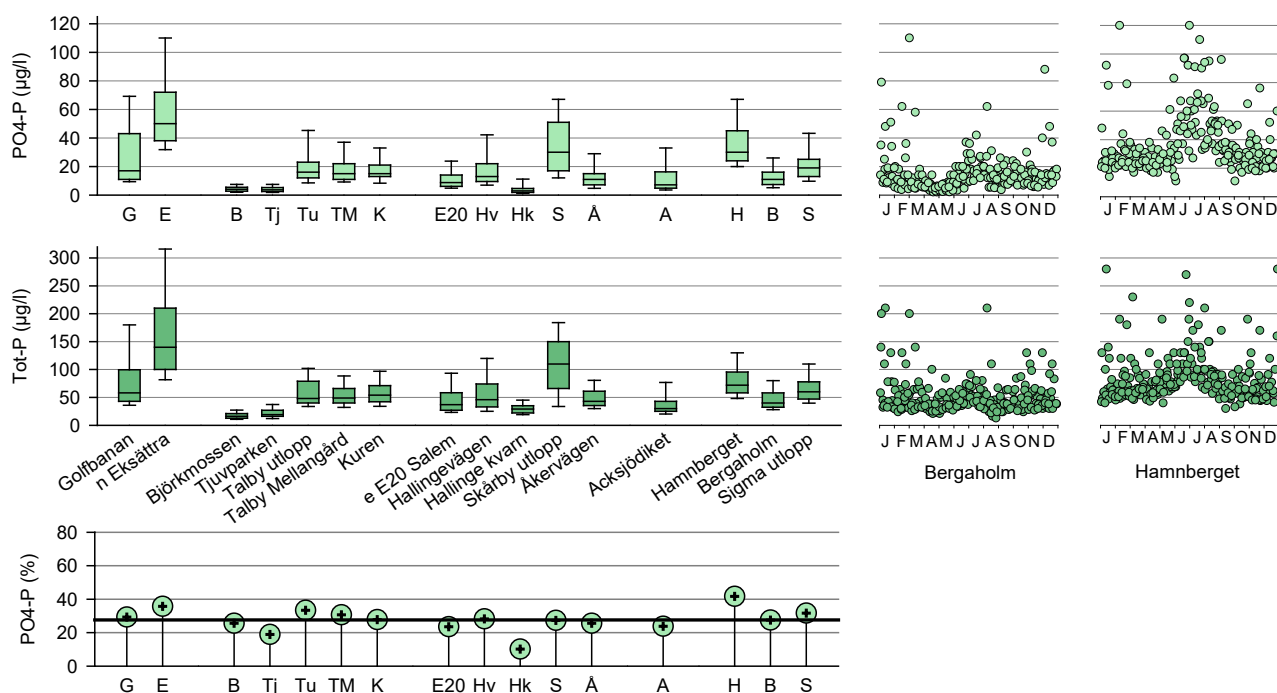


Figur 10. Konduktivitet, årsmedelvärden vid Bergaholm och Hamnberget 2011-2024.

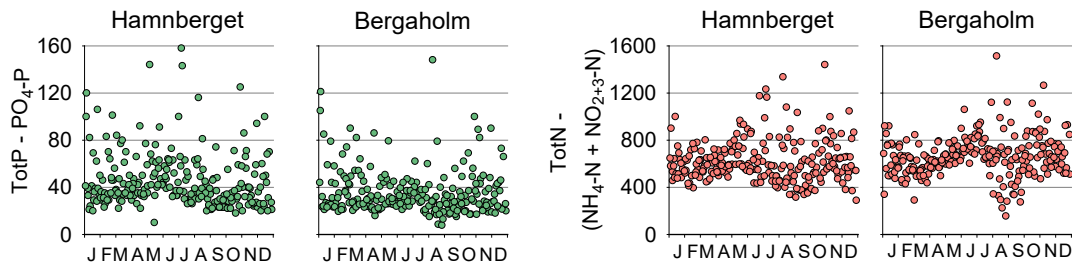
Fosfor

Halterna av fosfor var 2020-2024 höga i Eksättradiket och i utloppet från Skårbydammen (Fig 11). De högsta halterna påträffades *nedströms Eksättra*, där proverna tas nedströms sammanflödet med ett dike som kommer från bebyggelsen och det lokala reningsverket i Eksättra. Utflödet från Skårbydammen är litet jämfört med flödet i Salemdiket. Halterna vid *Åkervägen Bergaholm* har varit relativt låga trots de höga halterna i utflödet och fosforhalten har varit betydligt lägre vid *bron Bergaholm*, den nedersta punkten i Salemdiket, än vid *Hamnberget* som är den nedersta punkten i Eksättradiket. Halterna har varit låga vid *Björkmossen* och *Tjuvparken* i den övre delen av Bergsjödiket och vid *Hallinge kvarn* i utloppet från Tullan. Fosfatfosfor har i genomsnitt utgjort något mindre än en tredjedel av totalhalterna. Andelen har varit stor *nedströms Eksättra* och större vid *Hamnberget* än vid *bron Bergaholm*, men allmänt finns inte något tydligt samband mellan halter och andel fosfatfosfor.

Innehållet av fosfor varierar kraftigt under året med de högsta halterna under sommarmånaderna (Fig 11). Variationerna beror på fosfatfosfor medan halterna av bunden fosfor (Tot-P minus fosfatfosfor) varit ganska konstanta (Fig 11).



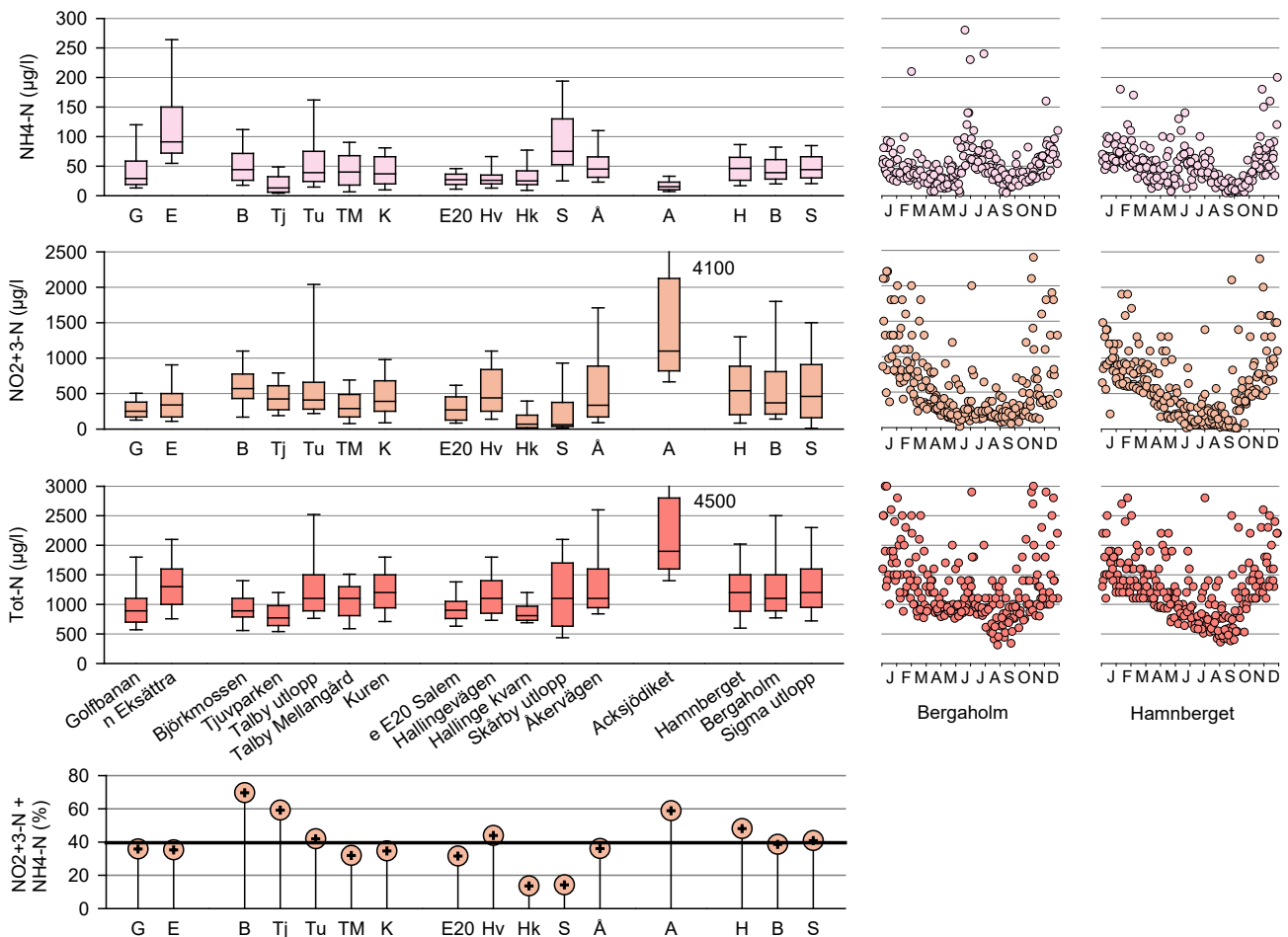
Figur 11. Halter 2020-2024 av fosfat- och totalfosfor vid provtagningspunkterna i Eksättradiket och Salemdiket samt i Åkervägen och Sigmadiket (det samlade utloppet till Bornsjön). Figurerna till höger visar förändringarna under året, den nedre figuren andelen fosfatfosfor som procent av totalhalten beräknad med medianvärdena.



Figur 12. Variationer under året av bunden fosfor ($\text{TotP} - \text{PO}_4\text{-P}$) och bundet kväve ($\text{TotN} - (\text{NH}_4 + \text{NO}_{2+3}\text{-N})$) vid H

Kväve

Halterna av alla former av kväve – ammoniumkväve, nitrit+nitratkväve och totalkväve – har 2020-2024 varit något högre vid *Hamnberget* i Eksättradiket än vid *bro Bergaholm* i Salemdiket vilket är en förändring mot tidigare då halterna vanligen var högre i Salemdiket. Ammoniumkväve, som utgör en mycket liten del av det totala kväveinnehållet, har, liksom fosfatfosfor, ökat kraftigt från *Golfbanan* till *nedom Eksättra*, sannolikt beroende på utsläpp från avloppsreningsverket i Eksättra. Halterna var höga också i utloppet från *Skårbydammen*. De lägsta halterna av ammoniumkväve förekom i *Acksjödiket* och vid *Tjuvparken* högt upp i Bergsjödiket (Fig 13).



Figur 13. Halter 2020-2024 av ammonium-, nitrit+nitrat- och totalkväve vid provtagningspunkterna i Eksättradiket och Salemdiket samt i Acksjödiket och Sigmadiket (det samlade utloppet till Bornsjön). Figurerna till höger visar förändringarna under året, den nedre figuren andelen löst kväve (ammoniumkväve plus nitrit-nitratkväve) som procent av totalhalten beräknad med medianvärdena.

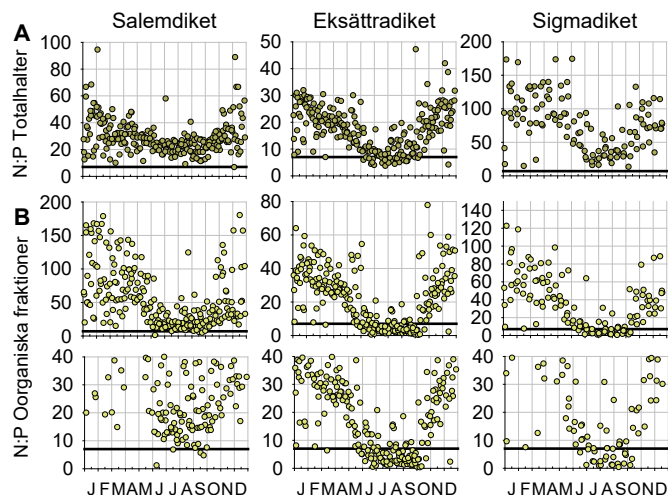
Nitrit+nitratkväve utgör i genomsnitt knappt hälften av totalkvävet. Medianhalterna har varierat mellan 250 och 570 µg/l med undantag av en anmärkningsvärt hög halt, 1100 µg/l, i *Acksjödiket* och låga halter, ca 60 µg/l, i Tullans utlopp vid *Hallinge kvarn* och i utloppet från *Skårbydammen* – vid båda lokalerna utgjorde nitrit+nitratkväve en mycket liten andel av totalkvävet.

Ammoniumkväve varierar under året med lägsta halter vår och höst och som fosfatfosfor med de högsta halterna under sommaren. Förändringarna av nitrit+nitratkväve har varit motsatta med låga halter under sommaren, och betydligt högre halter under övriga delar av året. Totalkväve har varierat på ungefär samma sätt eftersom nitrit+nitratkväve utgör en så stor andel av totalkvävet. I likhet med fosfor har bundet kväve (Tot-N minus ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve) förekommit i ungefär lika höga halter under hela året (Fig 12), och variationerna av kväveinnehållet har orsakats av det lösta kvävet, främst nitrit+nitratkväve.

Förhållandet mellan kväve och fosfor

Förhållandet mellan kväve och fosfor i tillrinningen till Bornsjön kan påverka mängden och sammansättningen av alger och annan växtlighet. Allmänt gäller att växter behöver, i vikt, ungefär sju gånger mer kväve än fosfor. Om förhållandet mellan kväve och fosfor är lägre är det alltså överskott av fosfor och brist på kväve och omvänt överskott av kväve och brist på fosfor när förhållandet är högre.

Eftersom kväveinnehållet i dikesvattnet varierar mer under året än fosfor (Fig 11 och 13) förändras förhållandet på ungefär samma sätt som kvävehalterna med de lägsta värdena under sommaren (Fig 14). Förhållandet är olika i de tre dikena vilket beror på skillnader i fosforhalter, medan kvävehalterna är ungefär lika höga – förhållandet är lägst i Eksättradiket med de högsta fosforhalterna, högre i Sigmadiket och högst i Salemdiket. Skillnaderna har varit störst för de lösta halterna (fosfatfosfor, ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve) som troligen betyder mer än totalhalterna. Under sommaren har förhållandet i både Eksättradiket och Sigmadiket, i de allra flesta fall varit lägre än 7:1 och tillrinningen har alltså innehållit ett överskott av fosfor i förhållande till växternas behov.

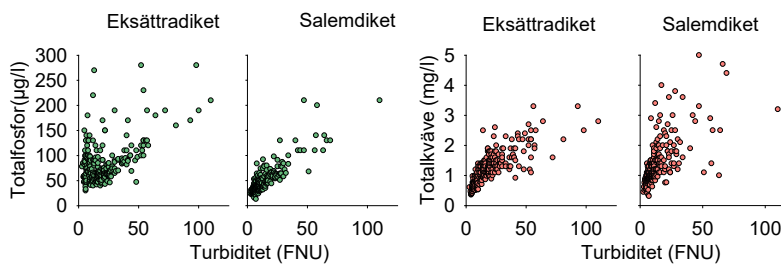


Figur 14. Förhållandet mellan kväve och fosfor vid de nedersta provpunkterna i Salem- och Eksättradiket samt i Sigmadiket 2020-2024. (A) Totalhalter, (B) Oorganiska halter. Fet linje anger förhållandet 7,2:1. Ett fåtal höga värden har uteslutits.

Samband mellan turbiditet och halter av fosfor och kväve.

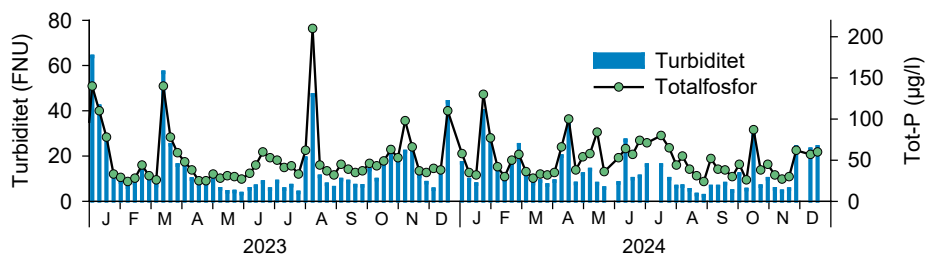
Sambandet är tydligt mellan turbiditet och dikesvattnets innehåll av fosfor och kväve som beror på att en stor andel av både fosfor och kväve förekommer i bunden form, troligen som partikulärt material, fosfor 60-70 % och kväve 50-60 % (medianvärden, Fig 11 och 13).

Sambandet med fosfor är starkast i Salemdiket och relativt svagt i Eksättradiket där en stor andel av fosfor troligen kommer från enskilda avlopp och halterna varit höga också när turbiditeten varit låg. Kväve varierar under året mer än fosfor men sambandet är ändå starkt i Eksättradiket och något svagare i Salemdiket (Fig 15).



Figur 15. Samband mellan turbiditet och totalhalter av fosfor och kväve i Eksättradiket vid Hamnberget och Salemdiket vid bron Bergaholm 2020-2024. Enstaka höga värden har utelämnats.

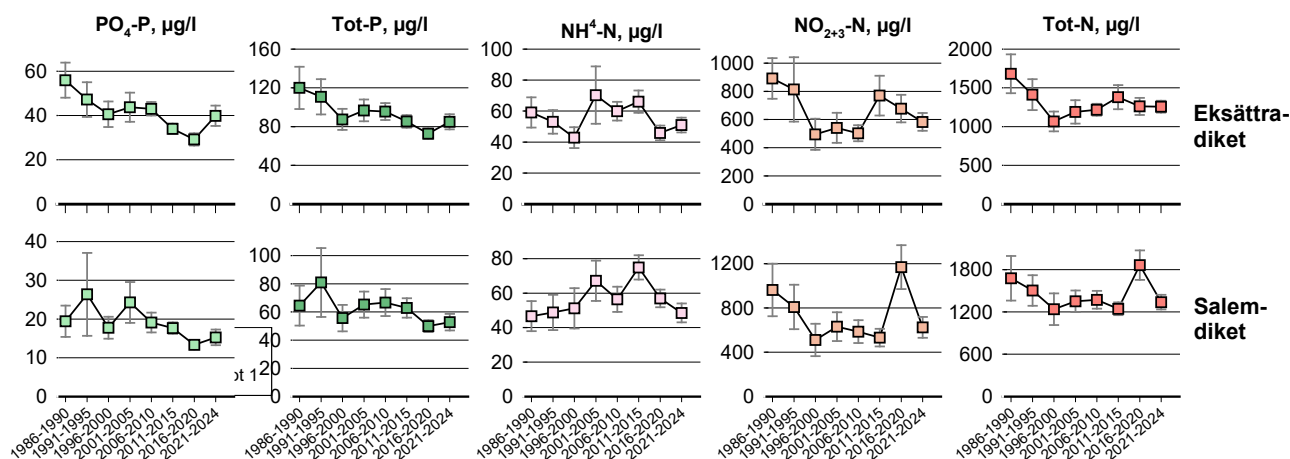
Skillnaden i turbiditet är ibland mycket stor från en provtagning till nästa, huvudsakligen på grund av förändringar i flödet. Sambandet med fosfor och kväve medför liknande stora förändringar av näringsinnehållet, i Figur 16 exemplifierat med turbiditet och totalfosfor i Salemdiket. Beräkningar av transporterade fosfor och kvävemängder kan därför vara relativt osäkra.



Figur 16. Turbiditet och halt av totalfosfor vid Bergaholm vägbron i nedre delen av Salemdiket 2023-2024.

Förändringar av fosfor och kväve 1986-2024

Prover har tagits i dikenena sedan mitten av 1980-talet. Den största förändringen i de två stora dikenena – Eksättradiket och Salemdiket – har varit en minskning av fosforhalten, både fosfat- och totalfosfor, till och med perioden 2015-2020. Därefter har medelhalten ökat, tydligast fosfatfosfor i Eksättradiket. Totalkväve minskade i båda dikenena fram till 1995-2020 men har sedan ökat något. Ammoniumkväve har utgjort en liten andel av totalkvävet och ökningen har främst berott på ökade halter av nitrit+nitratkväve. Halterna var mycket höga 2015-2020 men återgick till mer normala nivåer 2021-2024.



Figur 17 Fosfor och kväve vid bron Hamnberget nederst i Eksättradiket och Bergaholm vägbron nederst i Salemdiket. Medelvärden och 95 % konfidens, 5-årsperioder 1986-2020 samt 2021-2024.

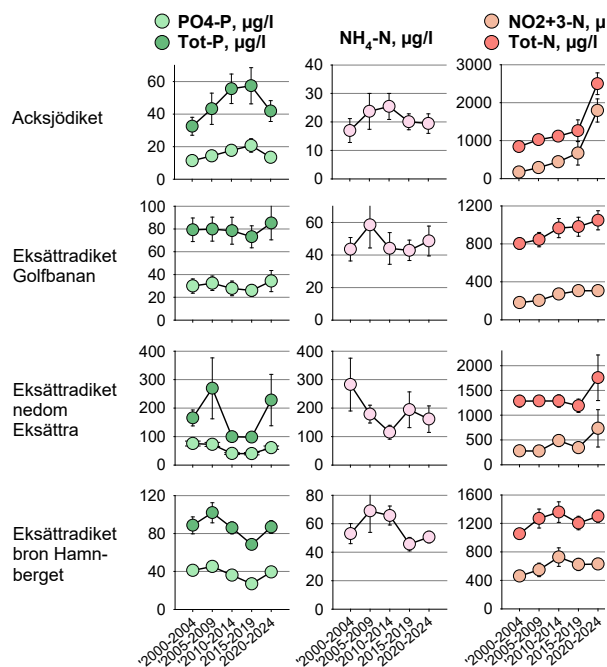
Förändringar av fosfor och kväve 2000-2024

Acksjödiket och Eksättradiket

Stora förändringar har skett i Acksjödiket med ökande fosfor- och kvävehalter (Fig 18). Fosfor minskade efter 2020, samtidigt ökade kväve kraftigt, huvudsakligen som nitrit+nitratkväve. Orsaken är inte känd.

Fosforhalterna i Eksättradiket har varit i stort sett oförändrade, vid *nedom Eksättra* efter stora variationer av totalhalterna. Vid samma lokal har ammoniumhalterna varit höga, högre än vid någon annan provpunkt med undantag av *Skårbydammens utlopp*. Halterna har ungefär halverats sedan 2000.

Totalkväve har ökat på grund av ökande nitrit+nitrathalter. Ökningen har varit stor *nedom Eksättra* den senaste 5-årsperioden efter tidigare oförändrade halter (Fig 18).



Figur 18. Fosfor- och kväve i Acksjödiket och Eksättradiket. 5-årsperioder 2000-2024, medelvärden och 95 % konfidens.

Bergsjödiket

Fosfor har minskat vid *Tjuvparken*, förändringen av totalfosfor har varit liten men fosfatfosfor har ungefär halverats. Halterna har varit betydligt lägre än vid lokalerna längre nedströms. Halterna har ökat något i *Talby utlopp* och har efter stora variationer varit oförändrade vid *Talby Mellangård*.

Ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve har ökat kraftigt i *Talby utlopp*, ammoniumkväve från ca 40 till 80 µg/l och nitrit+nitratkväve från 200 till 800 µg/l. Totalkväve har ökat ungefär lika mycket, huvudsakligen beroende på nitrit+nitratkväve.

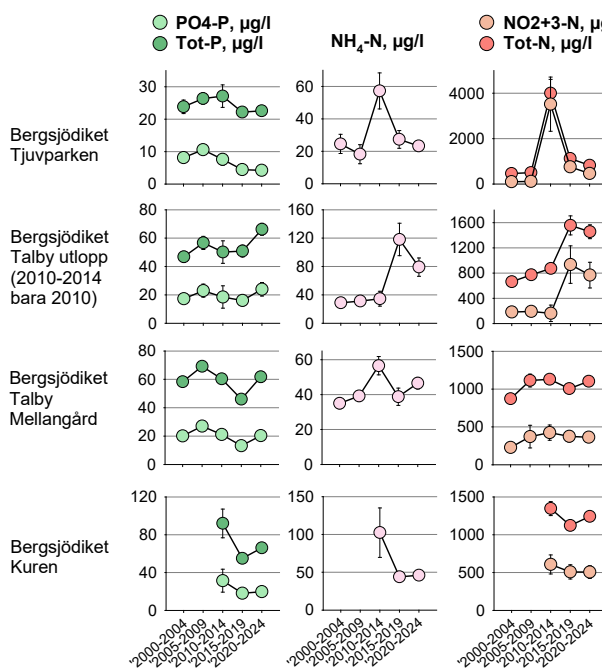
Halterna av nitrit+nitratkväve var under en period mycket höga vid *Tjuvparken* vilket berodde på kväverikt vatten i ett sidodike från *Björkmossen* med halter upp till 25 000 µg/l.

Salemdiket

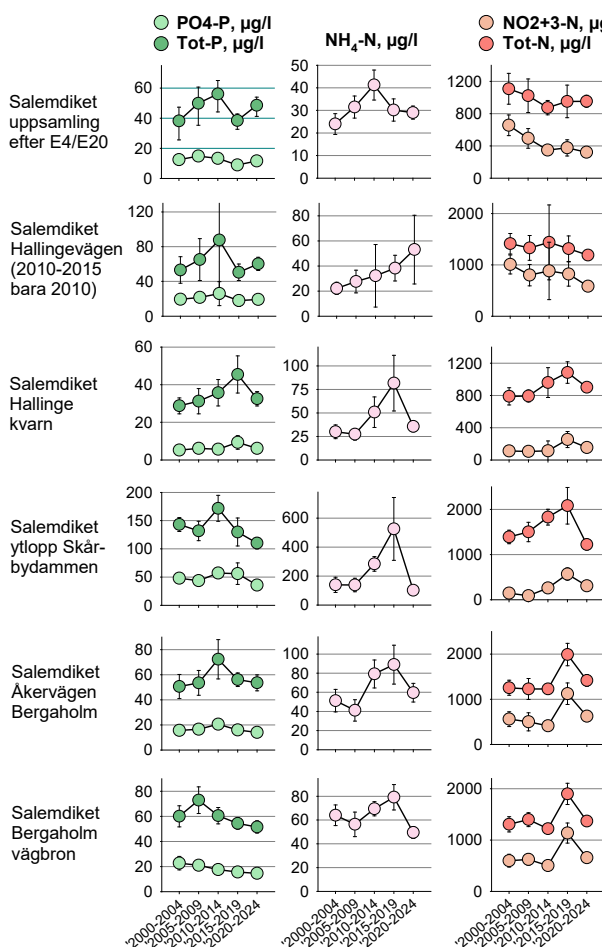
Fosfor har under åren 2000–2024 först ökat vid alla lokaler i Salemdiket och därefter minskat ungefär lika mycket. Någon större långsiktig förändring av halterna har inte skett med undantag en minskning i *Skårbydammens utlopp* som berott på att vattnet efter 2016 leds via en förbiledning och inte som tidigare genom dammen. Halterna har minskat svagt vid *Bergaholm vägbron* nerst i Salemdiket.

Kväve, nitrit+nitratkväve och totalkväve, har gradvis minskat vid de översta lokalerna *Uppsamling efter E20* och *Hallingevägen*. Den senaste 5-årsperioden har halterna minskat både vid *Hallinge kvarn* i Tullans utlopp och vid lokalerna längre nedströms i diket.

Ammoniumhalterna har visat en liknande förändring, i utloppet från *Skårbydammen* anmärkningsvärt stor, från nära 600 till ca 100 µg/l.



Figur 19. Fosfor och kväve i Bergsjödiket. 5-årsperioder 2000-2024, medelvärden och 95 % konfidens.



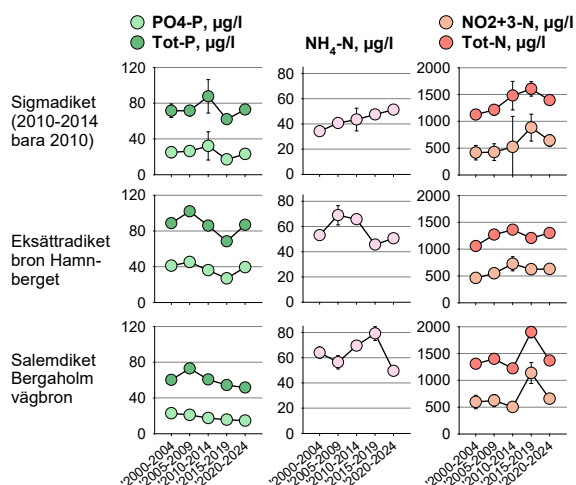
Figur 20. Fosfor och kväve i Salemdiket. 5-årsperioder 2000-2024, medelvärden och 95 % konfidens.

Sigmatdiket

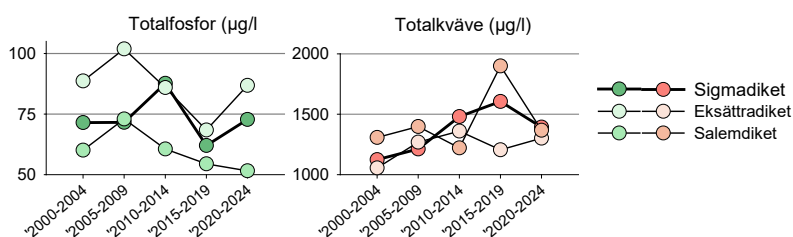
Sigmatdiket är en kort åsträcka, knappt 500 m, efter sammanflödet mellan Eksättra- och Salemdikena, som avvattnar 11,2 respektive 12 km² (exklusive vattenytan). Acksjödiket, med ungefär 3 km² avrinningsområde, rinner i täckdike samman med Eksättradiket efter mätpunkten vid *bro Hamnberget*.

De förändringar som har skett i Sigmatdiket beror främst på kvävehalterna som ökade kraftigt från början av 2000-talet men sedan har minskat något den senaste 5-årsperioden. Ammonium har gradvis ökat, men halterna är mycket låga. Fosforhalterna har varierat men ligger kvar på samma nivå som tidigare under 2000-talet.

Eftersom avrinningsområdena för Eksättra- och Salemdiket är ungefär lika stora, bör också flödena vara av ungefär samma storlek och halterna i Sigmatdiket bör ligga mellan halterna i de två andra dikena. Det stämmer ganska bra den första och de två senaste 5-årsperioderna, däremot inte 2005-2009 och inte heller 2010-2014 men då provtogs Sigmatdiket bara 2010 (Fig 22).



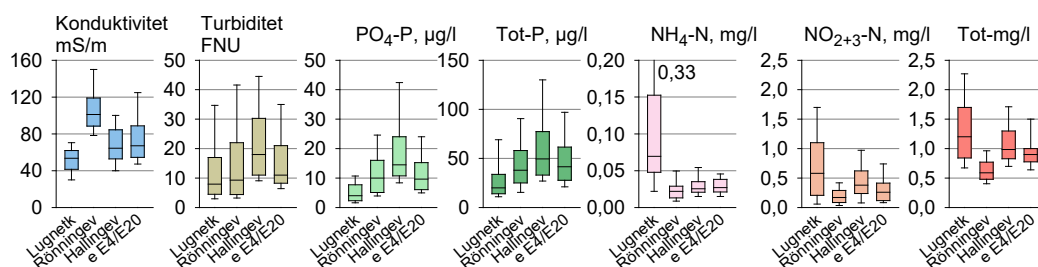
Figur 21. Fosfor och kväve i Sigmatdiket samt vid de nedersta punkterna i Eksättra- och Salemdiket. 5-årsperioder 2000-2024, medelvärden och 95 % konfidens.



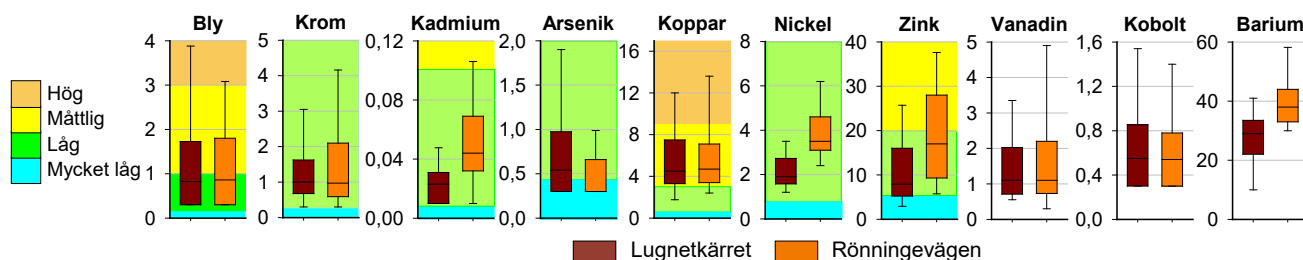
Figur 22. Totalfosfor och totalkväve i Sigmatdiket och vid de nedersta provpunkterna i Eksättra- och Salemdiket. Medelvärden 5-årsperioder 2000-2024.

Lugnetkärrret och Rönningevägen x diket

Prover togs varannan vecka juli 2022 - december 2024 i den övre delen av Salemdiket, *Lugnetkärrret* och *Rönningevägen x diket*. Turbiditeten och fosforhalten var låg vid båda lokalerna, konduktiviteten var mycket hög vid Rönningevägen, högre än vid *Hallingevägen* och *Salemdiket efter E20* som har den högsta konduktiviteten i de ordinarie provtagningarna. Fosforhalterna, både fosfat- och totalfosfor, var låga. Kvävehalterna var högre vid *Lugnetkärrret* än vid *Rönningevägen*. ammoniumhalterna mycket höga och jämförbara med dem vid *ned Eksättra* och i *Skårbydammens utlopp* (Fig 23).



Figur 23. Konduktivitet, turbiditet, fosfor (fosfat och totalfosfor) och kväve (ammonium-, nitrit+nitrat- och totalkväve) 2022-2024 vid Lugnetkärrret och Rönningevägen samt, för jämförelse, Hallingevägen och Salemdiket eft E20.

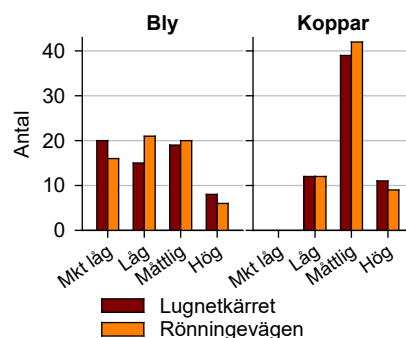


Figur 24. Metallhalter, ofiltrerade prover $\mu\text{g/l}$, i Salemdiket Lugnetkärret och Rönningevägen 2022-2024, samt klassning enligt NV rapport 4913 (1999). Bedömningsgrunder saknas för barium, kobolt och vanadin.

Prover för analys av metaller (totalhalter, utan filtrering) togs samtidigt med andra proverna 2022- 2024. Halterna av krom, nickel, arsenik och kadmium var i de flesta fall låga; zink och bly låga-måttliga; och koppar måttliga (Fig 24). Höga halter av bly och koppar förekom i ett mindre antal prover vid båda lokalerna. (Fig 25). Halterna av kadmium, nickel och zink var högre vid Rönningevägen än vid Lugnetkärret, medan halterna av arsenik var lägre (Tabell 1).

Tabell 1. Medianhalter, $\mu\text{g/l}$, vid Lugnetkärret och Rönningevägen 2022-2024. Stora skillnader är markerade.

	Pb	Cr	Cd	As	Cu	Ni	Zn	V	Co	Ba
Lugnetkärret	0,83	1,00	0,023	0,54	4,50	1,90	7,90	1,10	0,55	29
Rönningevägen	0,86	0,97	0,044	0,30	4,70	3,50	17,00	1,10	0,54	38



Figur 25. Antal prover med mycket låg, låg, måttlig och hög halt av bly och koppar vid Lugnetkärret och Rönningevägen 2022-2024.

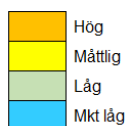
Metaller vid Björkmossen

Metaller har analyserats vid Björkmossen, den provpunkt som ligger närmast Södertälje, sedan 2015 och har därefter fortsatt med 3 eller 4 provtagningar per år. Samtidigt har prover tagits för mätning av oljeindex och mängden suspenderat material.

Halten av arsenik har i de allra flesta fall varit mycket låg. Halten bly, krom, kadmium och zink har varit mycket låg – låg. Nickelhalten har genomgående varit låg (Tabell 2). Zink har, liksom koppar,

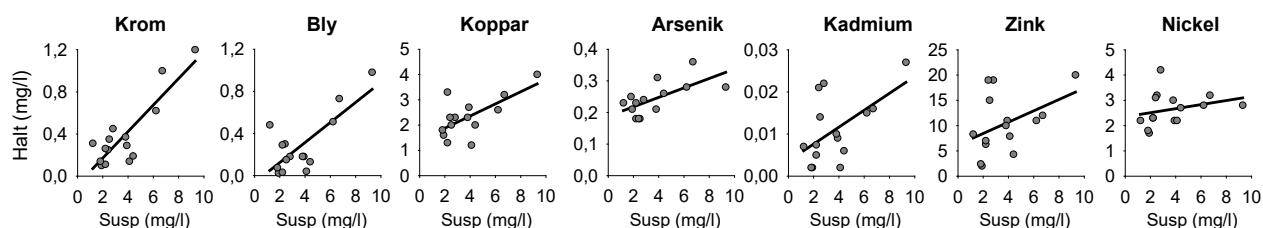
Tabell 2 Metaller (ofiltrerade, totalhalter $\mu\text{g/l}$) vid Björkmossen 2015-2020 och 2021-2024. Klassning av halter enligt NV Rapport 4913 (1999).

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
2015	9	1	0,16	0,40	0,005	0,48	2,3	2,8	4,5
2015	12	8	0,80	1,40	0,019	0,39	2,9	4,9	15
2016	2	16	0,38	0,50	0,018	0,27	1,9	4,5	16
2016	5	10	0,15	0,28	0,005	0,36	1,5	2,3	3,4
2016	8	16	0,02	0,10	0,005	0,40	1,7	2,7	1,1
2016	11	22	0,34	0,69	0,018	0,26	2,6	4,8	15
2017	5	9	0,16	0,19	0,005	0,28	1,4	2,1	3,5
2017	8	15	0,18	0,28	0,005	0,34	1,0	2,2	4,9
2017	11	21	0,21	0,34	0,011	0,22	1,7	4,0	11
2018	2	12	0,13	0,27	0,019	0,18	2,4	4,7	20
2018	8	14	0,38	0,50	0,012	0,35	2,7	3,6	15
2018	11	20	0,05	0,15	0,007	0,18	1,4	2,9	4,7
2019	2	11	0,74	1,20	0,045	0,32	2,7	3,9	34
2019	5	7	1,80	0,21	0,008	0,22	24,0	2,6	23
2019	8	13	0,22	0,37	0,007	0,33	2,1	2,8	5,9
2020	2	11	0,62	0,80	0,026	0,32	4,5	4,4	23
2020	5	5	0,23	0,34	0,010	0,31	1,8	3,6	7,9
2020	8	11	0,03	0,09	0,002	0,36	1,2	2,6	1,4
2020	11	17	0,07	0,16	0,012	0,24	1,8	3,2	9,0
2021	2	16	0,18	0,45	0,022	0,24	2,3	4,2	19
2021	5	11	0,51	0,62	0,015	0,28	2,6	2,8	11
2021	8	17	0,18	0,29	0,009	0,31	2,7	2,2	11
2021	11	23	0,04	0,14	0,002	0,76	1,2	2,2	7,9
2022	2	15	0,98	1,20	0,027	0,28	4,0	2,8	20
2022	5	16	0,13	0,19	0,006	0,26	2,0	2,7	4,3
2022	8	16	0,02	0,10	0,002	0,21	1,6	1,7	2,0
2022	11	22	0,03	0,11	0,005	0,18	1,3	2,3	6,3
2023	2	14	0,15	0,35	0,014	0,18	2,0	3,2	15
2023	5	9	0,48	0,31	0,007	0,23	7,4	2,2	8,3
2023	11	21	0,18	0,37	0,010	0,21	2,3	3,0	10
2024	2	13	0,30	0,25	0,021	0,18	2,3	3,1	19
2024	5	7	0,73	1,00	0,016	0,36	3,2	3,2	12
2024	8	13	0,07	0,14	0,002	0,25	1,8	1,8	2,4
2024	11	19	0,29	0,26	0,007	0,23	3,3	2,3	7,0



vid några tillfällen förekommit i *måttliga* halter. Någon tydlig förändring av metallhalter har inte skett sedan 2015. Oljeindex har i samtliga prover legat under detektionsgränsen 0,05 mg/l.

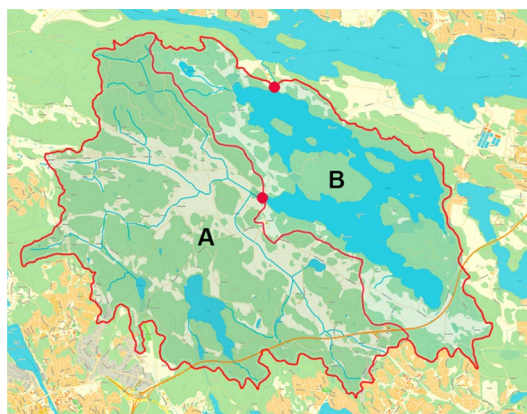
Suspenderat material analyseras inte vid någon annan provpunkt än *Björkmossen*. Turbiditeten är mycket låg jämfört med andra provpunkter i Bornsjödikena (Fig 8) och det är troligt att också halten av suspenderat material, mellan ca 1 till 9 mg/l, är jämförelsevis låg. Sambandet är ganska starkt mellan suspenderat material och flera av de analyserade metallerna, främst krom, bly och koppar (Fig 26).



Figur 26 Samband mellan suspenderat material och metaller vid Björkmossen 2021-2024.

Flöden

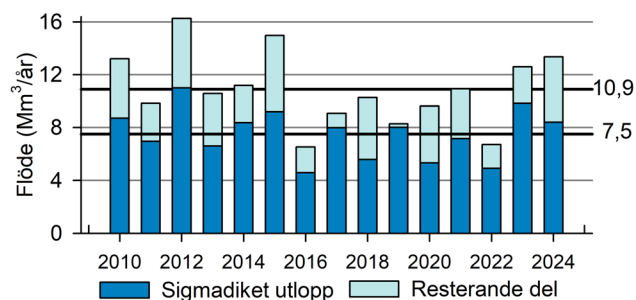
SMHI beräknar löpande utflödet från större avrinningsområden i Sverige. Uppgifter finns dels för Bornsjöns hela avrinningsområde med det naturliga utloppet vid Vällinge som mätpunkt och dels för den del av Bornsjöns avrinningsområde som avvattnas av Eksättra- och Salemdiket med Sigmadikets utlopp som mätpunkt. Flödesmätningar har tidigare gjorts av SVOA vid *Bron Hamnberget* och *Bergaholm vägbro*. Mätningarna har varit opålitliga och nya flödesmätare installerades under 2023 men resultat är ännu inte tillgängliga.



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



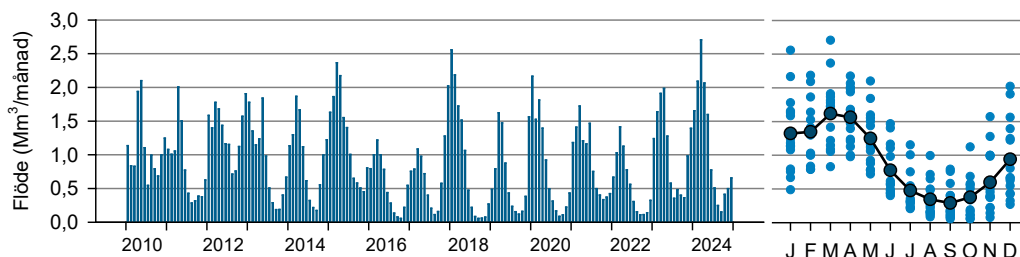
Figur 28. Ytor uppströms H Bron Hamnberget, 11,2 km², och B Bergaholm vägbron, 12,0 km² (exkl sjöytor).



Figur 29. Tillrinningen, Mm³/år, till Bornsjön från områdena A (Sigmadikets utlopp) och B (resterande del) i Figur 27.

Enligt SMHI:s beräkningar har det genomsnittliga tillflödet från hela avrinningsområdet 2010-2024 uppgått till 10,9 Mm³/år och från den del som mynnar i Sigmadiket 7,5 Mm³/år, ca 70 % av det totala flödet. Flödena var relativt stora 2023 och 2024, 12-13 Mm³, och uppgick 2022 till endast 6,7 Mm³.

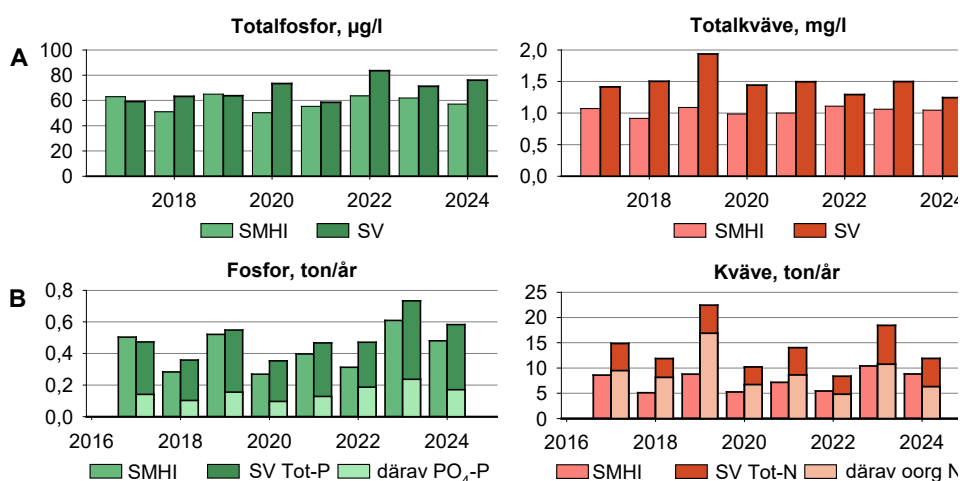
Flödena varierar under året med de största flödena i mars-april, ca 1,5 Mm³ och som mest över 2 Mm³, och de lägsta i augusti-oktober när det genomsnittliga månadsflödet har varit ca 0,3 Mm³.



Figur 30. Månadsflöden från hela avrinningsområdet 2010-2024 och förändringar under året, mörk linje anger medelvärden.

Transporter

Fosfor och kväve från område A i Figur 27, dvs den samlade transporten från Eksättra-, Salem- och Acksjödikena samt mindre områden nedströms sammanflödena, beräknas med SMHI:s HYPE-modell, den modell som används för flödena och som även innehåller modellerade halter. De transporterade mängderna kan också beräknas genom att använda SMHI:s modellerade flöden tillsammans med uppmätta halter från SVOA:s provtagningar.



Figur 31. (A) Totalfosfor och totalkväve i Sigmadikets utlopp, medelhalt/år, 2017-2024. Beräknade (SMHI) och uppmätta (SVOA) halter, (B) Transporterade mängder: totalhalter enligt SMHI, totalhalter och oorganiska fraktioner enligt SVOA.

De uppmätta halterna har med få undantag varit högre än SMHI:s modellerade halter (Fig 31). Skillnaderna i transporterade mängder är relativt liten för fosfor, 0,50 mot 0,42 ton /år som genomsnitt 2017-2024, men mycket stor för kväve, 14 mot 7,2 ton/år (Tab 3).

Sigmadikets tillrinningsområde har en yta av 27,6 km², ungefär 2/3 av Bornsjöns totala tillrinningsområde. Det finns inga större vattendrag som mynnar i Bornsjön från den resterande delen av området, 13,4 km², och det är inte möjligt att mäta halterna i tillrinningen. Tillrinningen kommer delvis från ganska opåverkade områden - Männö, Bornö och öarna i Bornsjön. Bidragen av fosfor och kväve per ytenhet är troligen något mindre än från Sigmadikets tillrinningsområde och kan uppskattas till 0,2 respektive 5 ton. Den totala tillförseln av fosfor och kväve uppgår då till ca 0,7 respektive 19 ton/år.

Tabell 3 Transporter (ton) av fosfor och kväve i Sigmadikets utlopp 2017-2024, beräknade med uppmätta halter (SVOA) och modellerade flöden (SMHI).

År	PO4-P	Tot-P	NH4-N	NO2+3-N	Tot-N
2017	0,14	0,47	0,36	9,1	14,9
2018	0,10	0,36	0,37	7,8	11,9
2019	0,16	0,55	0,39	16,5	22,5
2020	0,10	0,35	0,26	6,5	10,2
2021	0,13	0,47	0,43	8,2	14,0
2022	0,19	0,47	0,34	4,5	8,4
2023	0,24	0,73	0,42	10,3	18,4
2024	0,17	0,58	0,40	5,9	11,9
Medelv. SMHI	0,15	0,50	0,37	8,6	14,0
2017-2024		0,42			7,4

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 omvandlas 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.

Utfödet från Bornsjön består dels av ytvatten via Bornsjötunneln och, vid höga vattenstånd, via det naturliga utloppet vid Vällinge och dels av vatten som pumpas till Bornsjöverket från 10-12 m djup i Bassängen. Utfödet av ytvatten från Bornsjön 2021-2024 uppgick enligt SMHI till 6,7-13 Mm³/år. Med genomsnittliga uppmätta halter på 0-5 m djup för respektive månad och interpolerade värden för de månader som saknar mätvärden uppgick uttransporten av fosfor och kväve med ytvattnet till 250-330 respektive 3 200- 6 100 kg/år. Inlödet till Bornsjöverket varierade 2021-2024 mellan 1,6 och 2,9 Mm³/år. Halterna av fosfor- och kväve på intagsdjupet var relativt höga, i genomsnitt 40 respektive 460 µg/l, och uttransporten av fosfor och kväve via Bornsjöverket uppgick till 40-75 kg fosfor och 1 600-2 900 kg kväve per år.

Det samlade utfödet av fosfor 2021-2024, ca 330 kg/år, motsvarade något mindre än hälften av den uppskattade tillförseln. och utfödet av kväve 50-70 % av tillförseln; osäkerheten är stor på grund av de stora skillnaderna mellan åren.

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 ytvattenet.

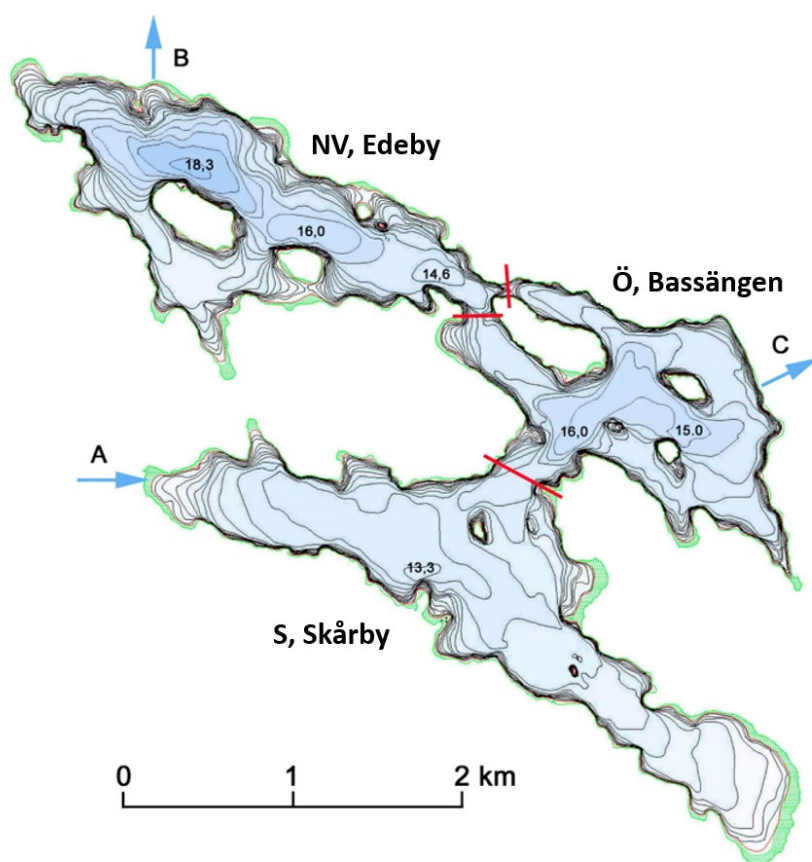
Sjön är indelad i tre bassänger som skiljs åt av grundare områden. Avgränsningen mellan Edeby och Bassängen är ganska tydlig - det största djupet i de två bassängerna är 18,6 resp 16,0 m och djupet i förbindelsen ca 14 m. Gränsen mellan Intaget och Skårby, den södra bassängen, är mindre tydlig - det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

Tabell 4. 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 avinning	ca 10	Mm ³
Omsättningstid	ca 6,5	år

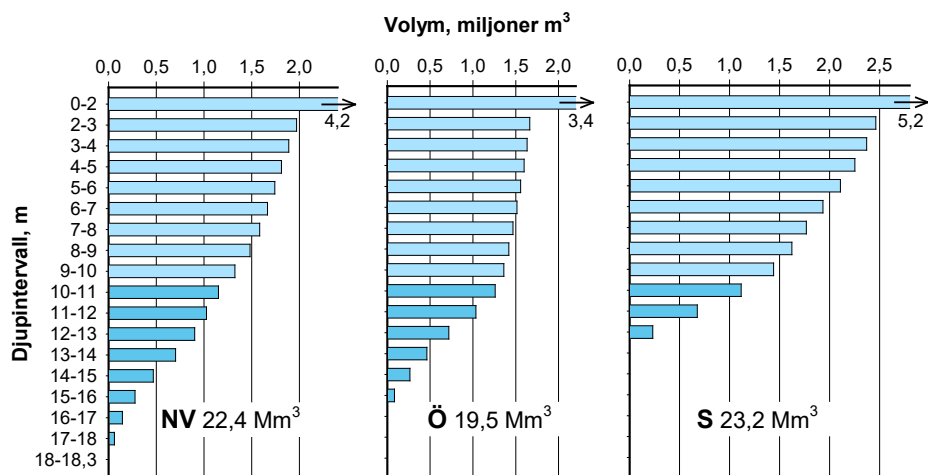
Tabell 5. Volymer, se också Fig 32..

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		



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

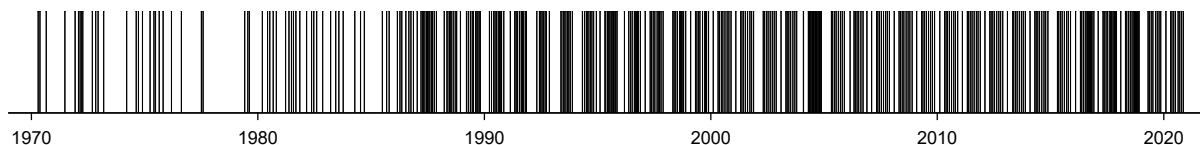
Bottenvattnet, (under 10 m djup) utgör 20 % av den totala volymen i både Edeby- och Intagsbassängen. På större djup minskar volymen snabbt i Edebybassängen och är under 16 m djup bara 1 % av den totala volymen. I den grundare Skårbybassängen finns ett stort område med mindre än 8 m djup i den sydöstra delen och bottenvattnet under 10 m utgör bara 8 % av den totala volymen. Fördelningen av volymer inom olika djupintervall visas i Tabell 5 och Figur 32.



Figur 32. 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.

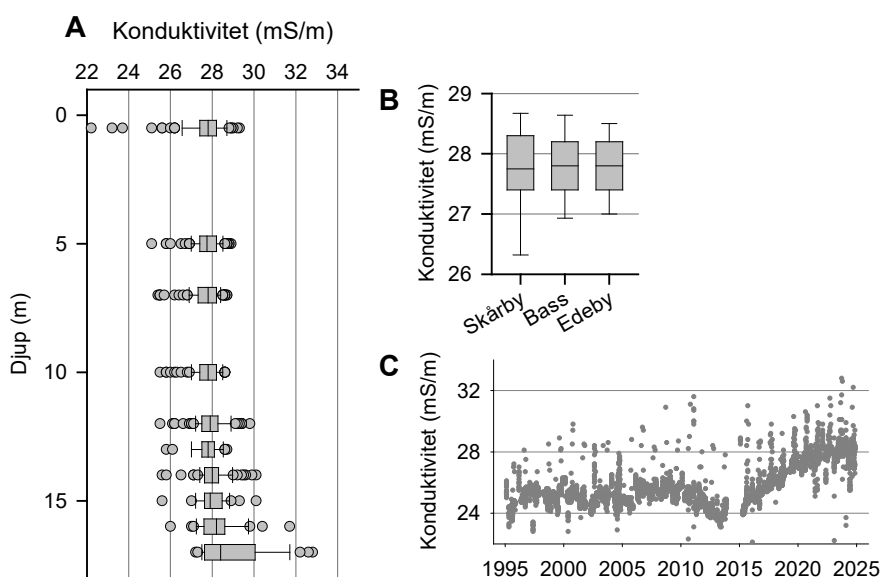
Proverna tas ungefär en gång i månaden med undantag av december och januari på 0, 5, 7, 10, 12, 14 och 17 m djup vid Edeby, ner till 14 m i intagsbassängen och till 12 m vid Skårby. Från och med 2018 tas prover vid Edeby även på 13, 15 och 16 m djup.

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 varierat mellan 22 och drygt 32 mS/m med de högsta värdena tillfälligt på 16 och 17 m. djup. Värdena har annars varit jämnt fördelade med djupet (Fig 33 A) och skillnaden mellan bassängerna har varit liten, något lägre värden har förekommit i ytvattnet i Skårbybassängen som är mest påverkad av tillflödet från de stora dikena (Fig 33 B).

Konduktiviteten låg ganska konstant mellan ca 24 och 26 mS/m fram till 2015, och ökade därefter till ca 28 mS/m. Ökningen har avstannat de senaste åren (Fig 33 C).

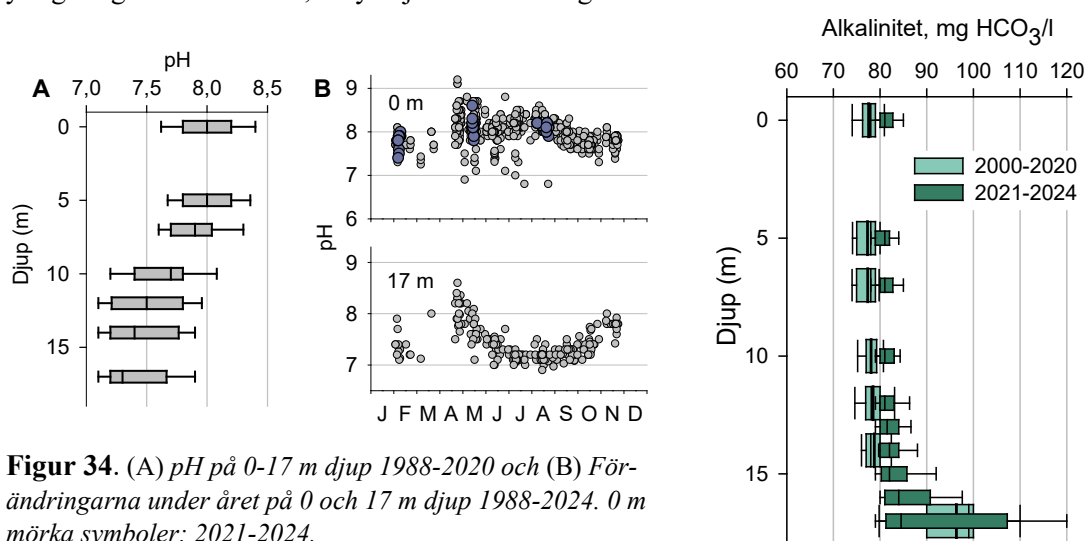


Figur 33. Konduktiviteten (A) På 0,5-17 m djup, samtliga värden 2021-2024. (B) I ytvattnet (0-7 m) i de tre bassängerna 2021-24. (C) Samtliga värden 1995-2024.

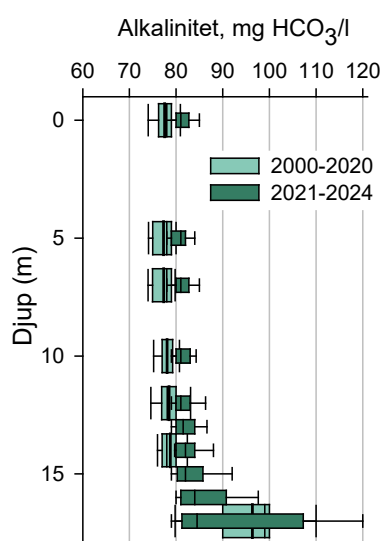
pH och alkalinitet

Efter 2020 har mätningar av pH gjorts på 0,5 m djup i februari, maj och augusti. pH har liksom tidigare varit något under 8,0 i februari, i maj och augusti 7,9-8,2 (Fig 34), vilket är normala värden för inte försurade och måttligt näringsrika sjöar.

Mätningar av alkaliniteten har gjorts sedan år 2000 vid Edeby, 2013 i Bassängen och 2016 vid Skårby. Alkaliniteten, ca 80 mg HCO₃/l, har varit ganska jämnt fördelad med djupet med undantag av högre värden i bottenvattnet, upp till 120 mg/l (Fig 35). Variationerna är små under året. Alkaliniteten är betydligt högre än i Mälaren, i Kyrkfjärden ca 45 mg/l.



Figur 34. (A) pH på 0-17 m djup 1988-2020 och (B) Förändringarna under året på 0 och 17 m djup 1988-2024. 0 m mörka symboler: 2021-2024.

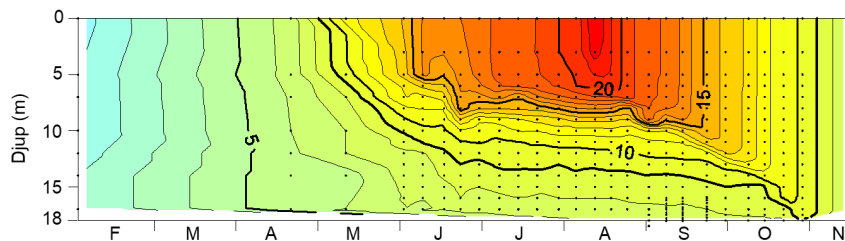


Figur 35. Alkalinitet vid Edeby på 0,5 – 17 m djup 2000-2020 och 2021-2024.

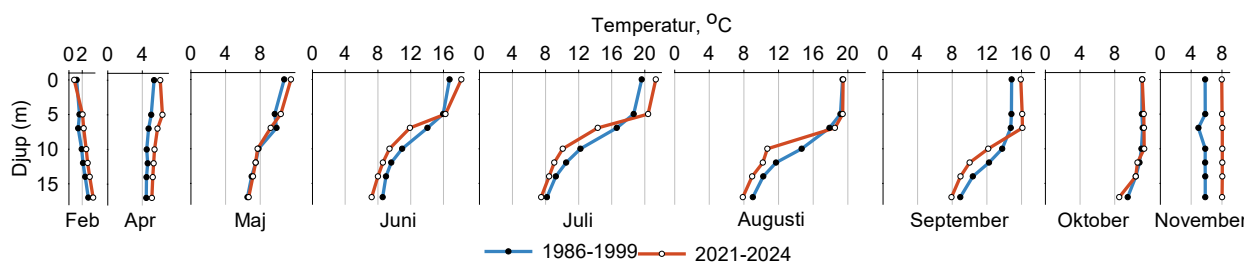
Temperatur

Under sommaren och början av hösten är Bornsjön starkt skiktad med ett varmt ytvatten och ett kallt bottenvatten. En svag skiktning förekommer också under vintern med, omvänt, ett kallare ytvatten och varmare bottenvatten.

Skiktningen under sommar och höst bryts genom att språngskiktet, gränsen mellan yt- och bottenvatten, gradvis sjunker tills bottenvattnets volym är så liten att skiktningen inte längre kan upprätthållas. Figur 36 visar utvecklingen 2004 då täta prover togs i samband med försök att pumpa ut bottenvatten från djuphålan vid Edeby.

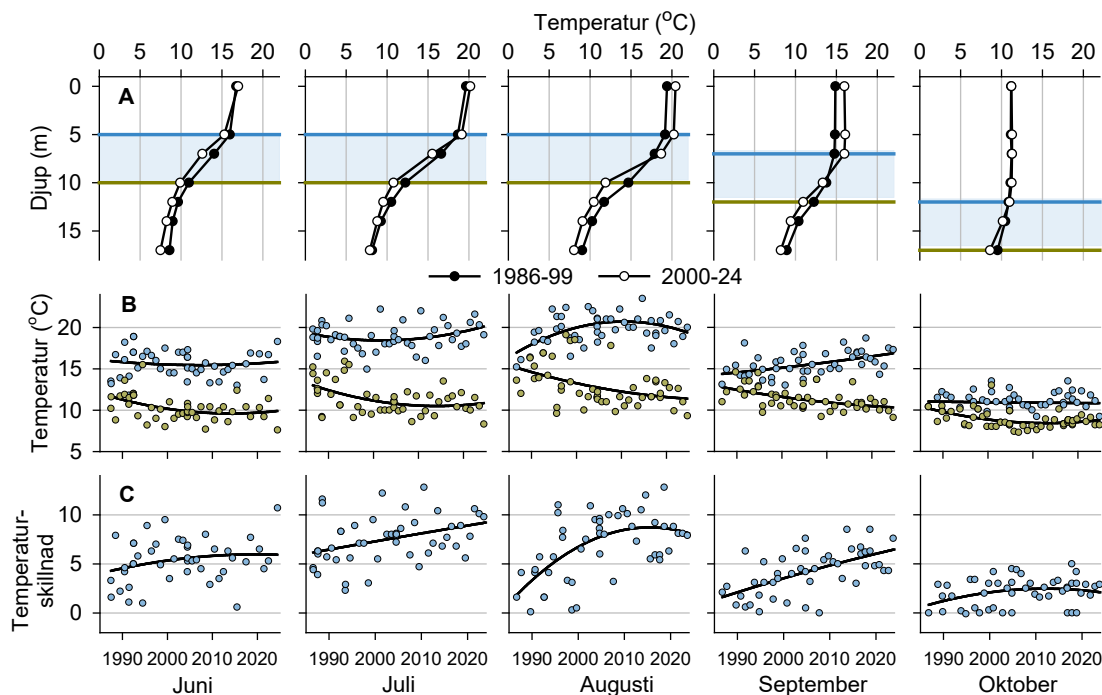


Figur 36. Förändring av temperaturen på 0-18 m djup vid Edeby 2004.



Figur 37. Temperaturen på 0-17 m djup vid Edeby, medelvärden 1986-1999 och 2021-2024.

Jämfört med temperaturen 1986-99, var temperaturen 2021-24 i de flesta fall högre i ytvattnet och, under den skiktade perioden juni-september, lägre i bottenvattnet (Fig 37). Den lägre bottenvattentemperaturen förklaras sannolikt av att ytvattnet har värmts upp tidigare än förut och att ett tidigt språngskikt har hindrat utbytet mellan yt- och bottenvatten.



Figur 38. Temperaturen vid Edeby på 0-17 m djup i juni-september, (A) Medelvärden 1986-1999 och 2000-2024, (B) Temperaturen på djupet närmast över och under språngskiktet 1986-2024 och (C) Temperaturskillnaden mellan djupet närmast över och under språngskiktet.

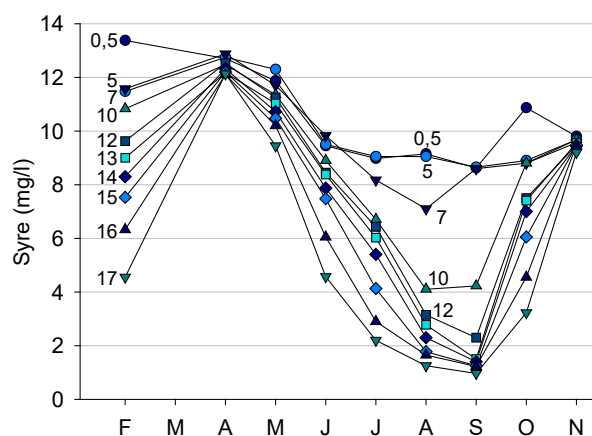
Temperaturskillnaden mellan yt- och bottenvattnet har ökat sedan mitten av 1980-talet. Ökningen har varit störst i augusti, från ca 2 till 8°C, men har avtagit de senaste åren. Temperaturskillnaden har fortsatt att öka i juli och september, där skillnaderna nu uppgår till ca 3 respektive 5°C (Fig 38).

Den ökade temperaturskillnaden gör att språngskiktet blir starkare och utbytet av temperatur, syre och näringsämnen mellan yt- och bottenvattnet blir mindre. De stora och ökande skillnaderna i september medför att den skiktade perioden förlängs och är därför av särskild betydelse.

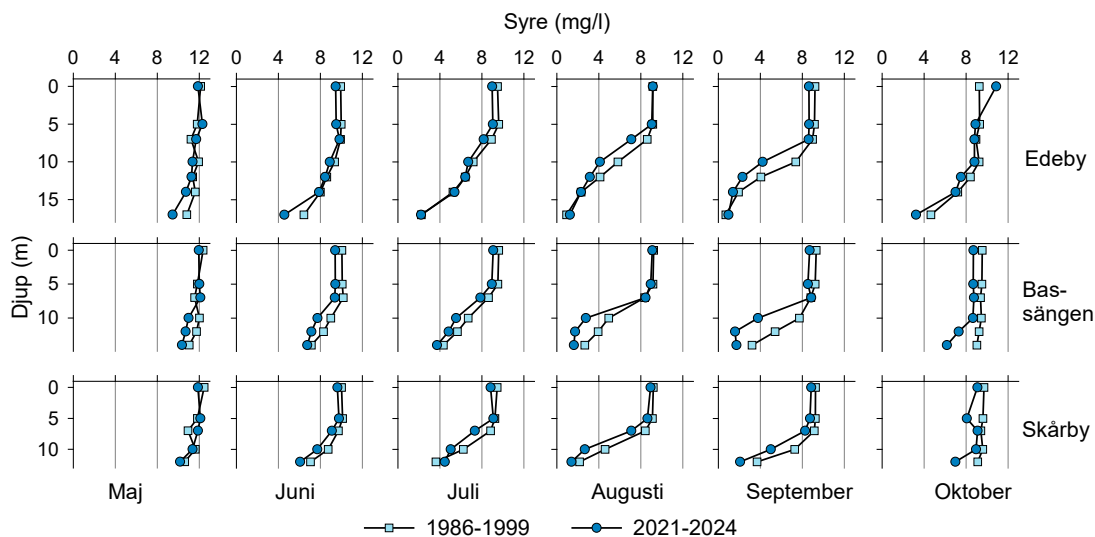
Syre

Hela vattenmassan blandas om två gånger om året, på våren i mars-april och på hösten i oktober-november. Syrehalterna jämnas ut och halterna är lika höga på alla djup. Efter våromblandningen sjunker halterna i bottenvattnet till lägsta halter i augusti-september. Halterna ökar sedan vid höstomblandningen och sjunker därefter på nytt under vintern, men inte till lika låga halter som under sensommar-tidig höst (Fig 39).

Gränsen mellan syrerikt ytvatten och syrefattigt bottenvatten går i allmänhet mellan 7 och 10 m djup. De senaste åren har syrehalterna under den skiktade perioden varit lägre än tidigare. Skillnaden har varit störst på intermediära djup i augusti-september, vid Edeby och i Bassängen, halterna har också varit låga på det största djupet, 14 m, i Bassängen (Fig 40).

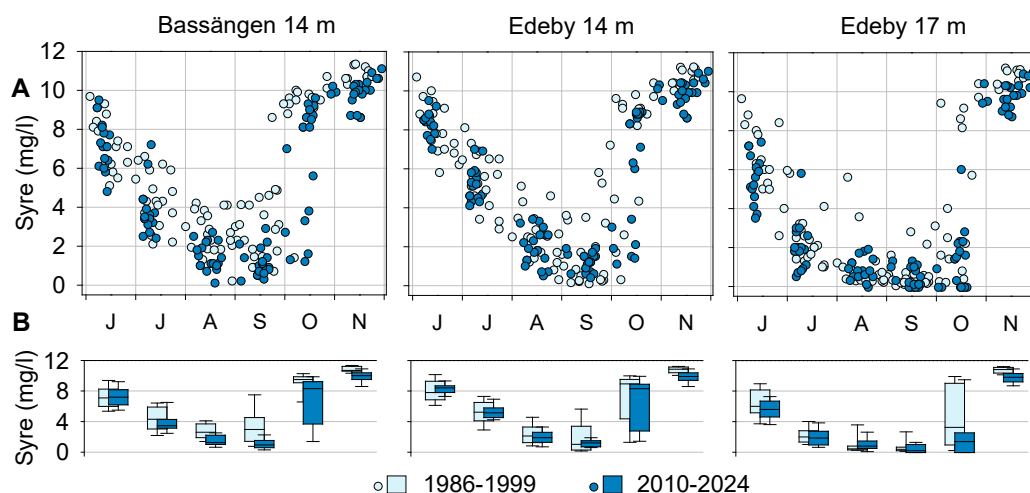


Figur 39. Syrehalter vid Edeby på 0,5 17 m djup, medelvärde respektive månad 2021-2024.

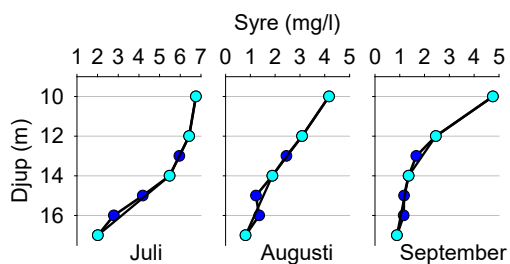


Figur 40. Syrehalter i maj-oktober vid Edeby 0-17 m, i Bassängen 0-14 m och vid Skårby 0-12 m, medelvärden 1986-1999 och 2021-2024.

Förstärkningen av temperaturskiktningen i början av hösten (se Fig 38) har medfört att syrehalterna blivit lägre i bottenvattnet i Bassängen och vid Edeby. Förändringarna har varit störst på 17 m djup vid Edeby (Fig 41) och stora i Bassängen i både september och oktober. Förändringarna i Bassängen tycks inte ha något samband med luftningen av bottenvattnet som påbörjades 1987 och pågick sommar



Figur 41. (A) Syrehalter, i Bassängen på 14 m djup, och vid Edeby på 14 och 17 m djup 1986-99 och 2010-2024, (B) Fördelningen av syrehalterna respektive månad 1986-1999 och 2010-2024.



Figur 42. Syrehalter på 10-17 m djup vid Edeby, medelvärden 2018-2024 med och utan värden från 13, 15 och 16 m djup (mörkblå symboler).

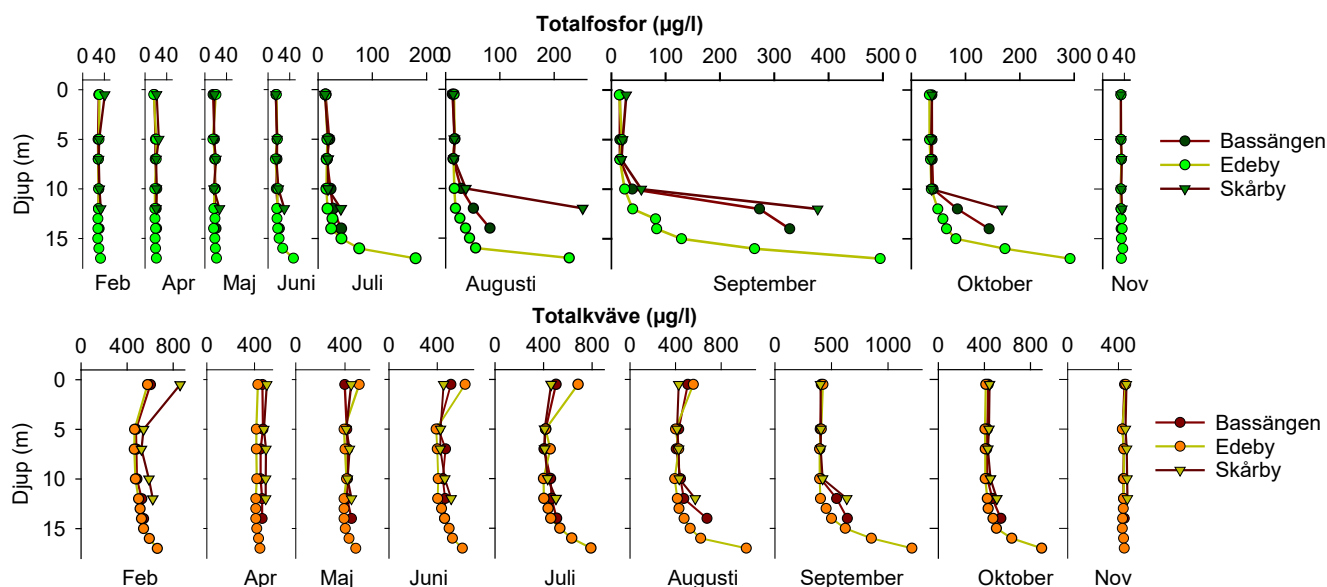
och höst till och med 2016 med avbrott bara för 2004. Effekterna av luftningen på syrehalterna var relativt små och medelvärdet för syreförbrukningshastigheten 2016-2020, då luftningen bara pågick ett år av fem, var inte lägre än medelvärdet för de föregående perioderna. Påverkan på fosforhalterna har däremot varit stor (se Fig 49).

Från och med 2018 tas prover på fler djup i bottenvattnet vid Edeby än tidigare, utöver 12, 14 och 17 m djup även 13, 15 och 16 m. De extrapolerade värdena med den glesa provtagningen stämmer väl överens med de tätare mätvärdena och skillnaden är liten (Fig 42).



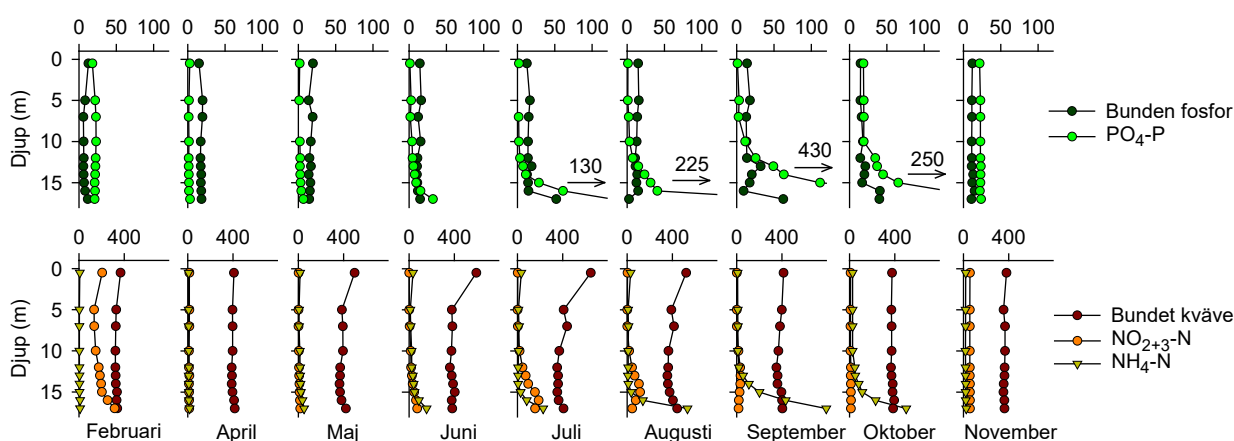
Fosfor och kväve

I början av året är halterna av fosfor och kväve ungefär lika höga från ytan till botten och ökar sedan i bottenvattnet när vattnet blir skiktat under sommaren. Fosforhalterna har varit höga på de största djupen redan i augusti och mycket höga i september, fortfarande höga i oktober och fullt utjämnade först i november. Kvävehalterna förändras under året på samma sätt men med mindre skillnader mellan lägsta och högsta halter (Fig 43).

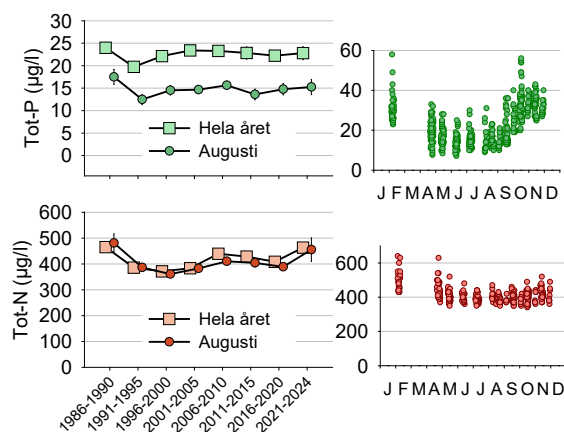


Figur 43. Totalfosfor och totalkväve (µg/l), medelvärden från ytan till största provtagningsdjup vid Edeby, Skårby och i Bassängen februari-november 2021-2024.

De mindre variationerna av totalkväve beror på att kvävet till största delen föreligger som bundet kväve (skillnaden mellan totalkväve och de lösta fraktionerna ammonium- och nitrit-nitratkväve) som påverkas lite av växtlighet och syreförhållanden. Nitrit+nitrathalterna är förhöjda i bottenvattnet i juni-augusti, men är sedan låga när syreinnehållet är litet i augusti-oktober och förändringarna orsakas huvudsakligen av ammoniumkväve.



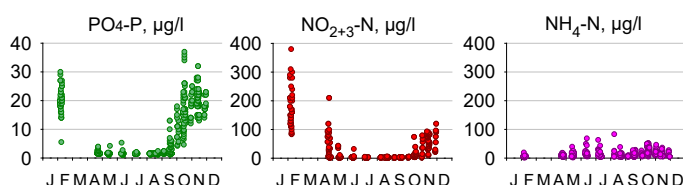
Figur 44. Fosfor (fosfatfosfor och bunden fosfor) och kväve, (ammoniumkväve, nitrit+nitratkväve och bundet kväve) på 0-17 m djup vid Edeby. Medelvärden februari-november 2021-2024.



Figur 45. Totalfosfor och totalkväve i ytvattnet (0-5 m) hela året och i juli-augusti, 5-årsperioder 1986-2020 och 2021-2024; samt variationer under året 2016-2024.

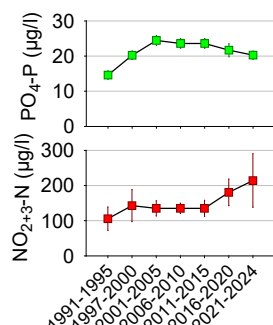
Ytvattnets innehåll av totalfosfor i augusti är ett vanligt mått på status i sjöar, kväve ingår inte i bedömningen i motsats till i kust- och havsvatten. Efter en minskning i slutet av 1980-talet har fosfor varierat mellan ca 14 och 16 µg/l. Medelvärdet för 2021-2024 var 15,3 µg/l. Eftersom variationerna är stora med höga halter i början och slutet av året, har genomsnittet för hela året varit betydligt högre, drygt 20 µg/l (Fig 45).

Kväve varierar mindre under året än fosfor och skillnaden mellan halterna i juli-augusti och under hela året är ganska liten. Halterna i augusti har sedan år 2000 ökat från mindre än 400 µg/l till 460 µg/l 2021-2024 (Fig 45).



Figur 46. Fosfatfosfor, nitrit+nitratkväve och ammoniumkväve i ytvattnet (0-5 m) 2016-2024.

De oorganiska fraktionerna fosfatfosfor och nitrit+ nitratkväve varierar betydligt mer under året än totalhalterna, med höga halter i samband med vår- och höstomblandningen och mycket låga halter under sommaren. Ammoniumkväve förekommer i jämförelsevis låga halter i början och slutet av året och under sommaren i högre halter än nitrit+nitratkväve (Fig 46).

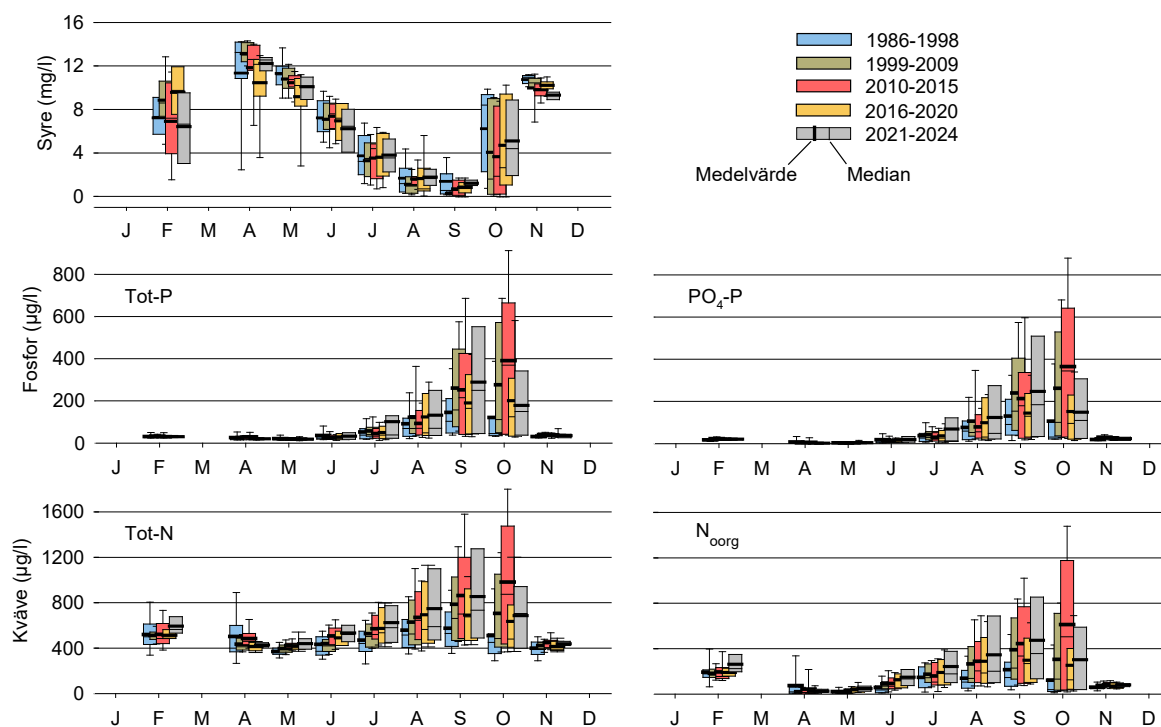


Figur 47. Fosfatfosfor och nitrit+nitratkväve i ytvattnet 0-5 m i februari 1991-2024.

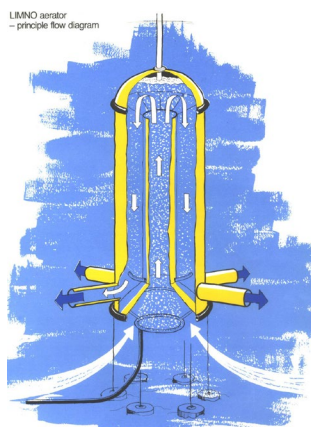
I början av året är halterna av fosfatfosfor och nitrit+nitratkväve höga i ytvattnet efter uppblandningen och utjämningen av halterna under höstomblandningen. Fosfat i februari, den första provtagningen under året, har ökat från ca 15 µg/l i slutet av 1990-talet till ca 25 µg/l 2001-2005 och därefter minskat till ca 20 µg/l. Halten av nitrit+nitratkväve har fördubblats från ca 100 µg/l i slutet av 1990-talet till ca 200 µg/l 2021-2024 (Fig 47).

De ökade halterna i februari beror troligen på att halterna i bottenvattnet har blivit högre. En ökning av fosfor och kväve i bottenvattnet observerades i början av 2000-talet, framförallt vid Edeby i september-oktober när syrehalterna varit låga mot slutet av den skiktade perioden (Fig 48). Ökningen har tolkats som en effekt av den förstärkta skiktningen som orsakades av en ökad skillnad mellan temperaturen i yt- och bottenvattnet.

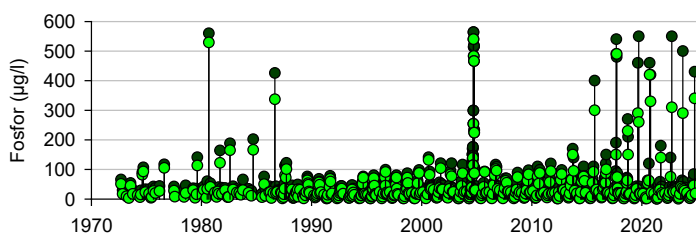
Fosfor och kväve fortsatte att öka 2010-2015 men halterna i september-oktober har därefter minskat – minskningen liksom den tidigare ökningen orsakades till allra största delen av de oorganiska fraktionerna fosfatfosfor och ammoniumkväve; halterna av nitrit+nitratkväve, som är en del av det oorganiska kvävet, är mycket låga vid låga syrehalter.



Figur 48. Syre, fosfor och kväve i bottenvattnet vid Edeby 14-17 m 1986-2024.



Limnoluftare.



Figur 49. Total- och fosfatfosfor på 14 m djup i Bassängen 1972-2024.

Fosforhalterna har varit höga de senaste åren i den östra bassängens bottenvatten, 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

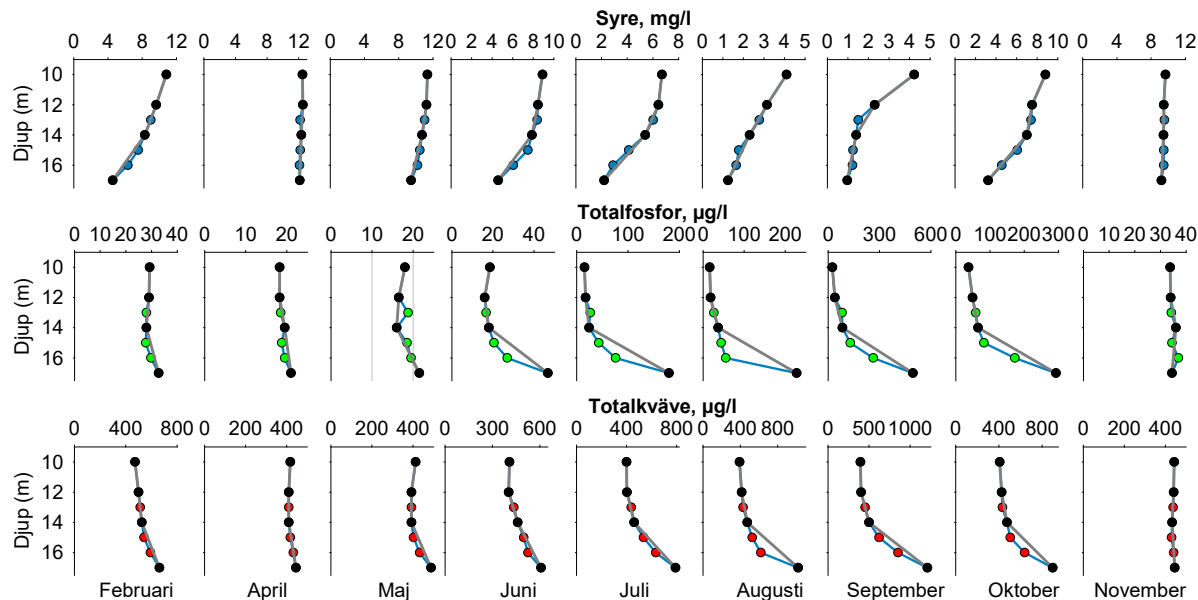
varje år i juli-oktober, med avbrott bara 2004 i samband med försök med utpumpning av bottenvatten. Fosforhalterna, huvudsakligen fosfatfosfor, har varit starkt förhöjda, tillfälligt 2004 och genomgående 2017-2024. Halterna var av okänd orsak höga även 2015 (Fig 49).

Fosfor och kväve, mängder

Mängder av fosfor och kväve beräknas genom multiplikation av volymen i varje 1-meters djupskikt med halten av kväve och fosfor, beräknad som medelvärdet 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 osäker genom att ytan är stor, sannolikt med horisontella skillnader i både fosfor- och kvävehalterna på grund av inflödet från de stora dikena i den västra delen av bassängen och stora grundområden i den sydöstra delen. Horisontella skillnader bör vara små i de andra bassängerna.



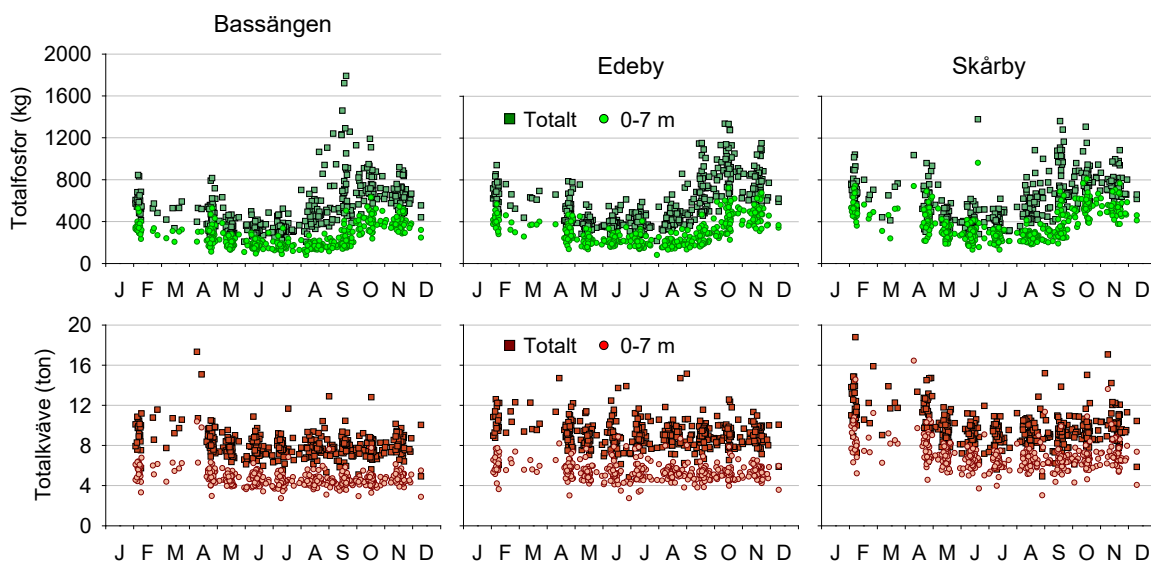
Figur 50. Syre, fosfor och kväve på 10-17 m djup vid Edeby, fördelningen med och utan prover från 13, 15 och 16 m djup.

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 fördelningen av syre, fosfor och kväve med uppmätta respektive interpolerade värden visar att det inte är någon skillnad på 13 m djup. Skillnaderna är mycket små för syre även på större djup och små för kväve med undantag i augusti då interpoleringen överskattar halterna på både 15 och 16 m. Fosfor på 15 och 16 m djup överskattas med interpolerade värden i juni-oktober, skillnaden har varit stor i augusti-september då den uppgått till ca 40 kg fosfor, vilket motsvarar 5-10 % av det totala innehållat vid Edeby (Fig 50, Tabell 6).

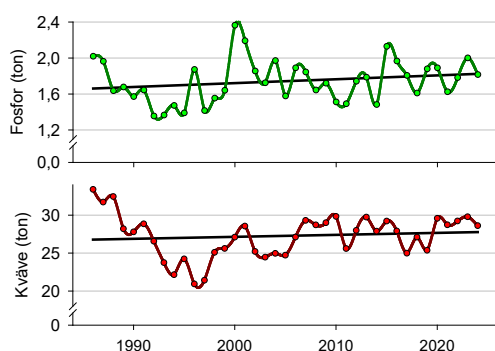
Tabell 6. Mängder fosfor och kväve på 10-17 m djup vid Edeby med uppmätta respektive interpolerade halter på 13, 15 och 16 m djup, medelvärden 2021-2024.

		Feb	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov
Fosfor, kg	Mätt	135	87	82	86	125	133	343	290	161
	Interpolerat	136	81	80	91	144	179	381	320	162
	Skillnad	1	-6	-2	5	19	45	38	30	1
Kväve, ton	Mätt	2,38	1,94	1,88	2,03	2,07	2,10	2,21	2,12	2,05
	Interpolerat	2,40	1,85	1,90	2,04	2,10	2,21	2,28	2,18	2,01
	Skillnad	0,02	-0,09	0,02	0,01	0,03	0,12	0,06	0,07	-0,04

Mängderna fosfor och kväve har varit ungefär lika stora i de tre bassängerna. Fosfor har varierat mellan ca 400 kg under sommaren, då mängden varit minst, till som mest ca 1200 kg i september-oktober; mängden har tillfälligt varit större i Bassängen. Mängden kväve har ganska konstant varit ca 6-10 ton, halterna har vid Skårby varit något högre i början av året, troligen på grund av inflöde från de stora dikena. Volymen minskar snabbt med djupet, trots att halterna under stora delar av året är lägre i ytvattnet än på större djup, förekommer 50-60 % av fosfor och 60-70 % av kvävet i ytvattnet 0-7 m.



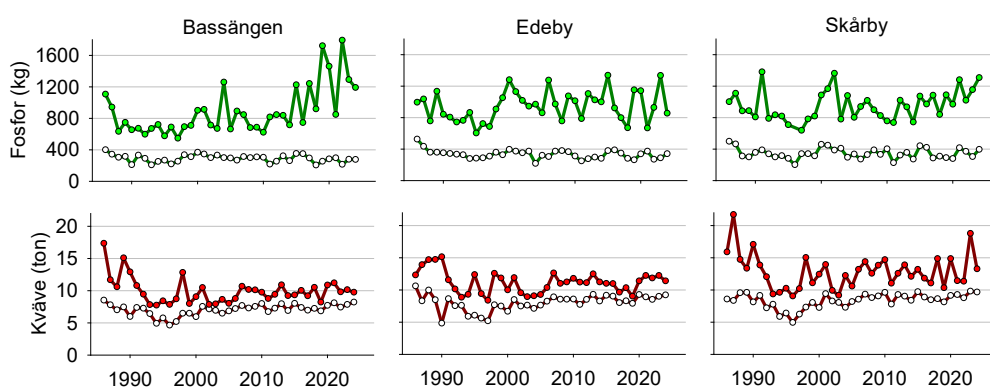
Figur 51. Totalfosfor och totalkväve, total mängd och mängd 0-7 m i de tre bassängerna 1986-2024.



Figur 52. Sammanlagd mängd fosfor och kväve i de tre bassängerna, medelvärden 1986-2024.

Det sammanlagda innehållet av fosfor i Bornsjöns vattenmassa har sedan 1980-talet uppgått till ca 1,7 ton. Tendensen för hela perioden 1986-2024 har varit svagt stigande men mängderna har varit mycket varierande med en ökning till över 2 ton 2000-2001, därefter en minskning och på nytt stora mängder 2015. Kväve minskade kraftigt från över 30 ton på 1980-talet till ca 20 ton i mitten av 1990-talet och har därefter varierat mellan 25 och 30 ton (Fig 52).

Förändringarna i de enskilda bassängerna har i allmänhet varit små med undantag av främst fosfor i Bassängen där största mängder under året har varit stora sedan luftningen avbrutits.

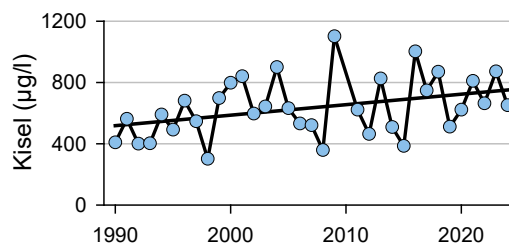


Figur 53. Fosfor och kväve i de tre bassängerna, minsta och största mängd under året 1986-2024.

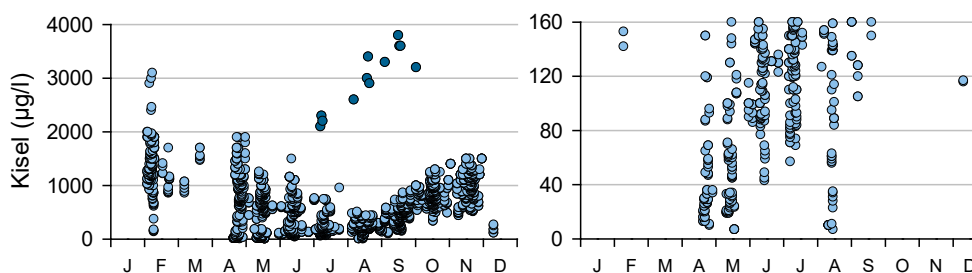
Kisel

Medelkoncentrationen av kisel i ytvattnet har varierat mellan ca 300 och 1100 $\mu\text{g/l}$. Tendensen har varit svagt stigande, från ca 400 $\mu\text{g/l}$ på 1990-talet till drygt 700 $\mu\text{g/l}$ (Fig 54).

Kisel är ett nödvändigt ämne för främst kiselalger som brukar vara de vanligaste algerna under vårbloomingen. Alger behöver ungefär 15 gånger mer kisel än fosfor. I februari, före vårbloomingen har kiselhalten i ytvattnet varit ungefär 40 gånger högre än fosforhalten och den totala mängden i Borsnön ca 70 gånger större. Kisel bör alltså ha förekommit i stort överskott. Några år har halterna i ytvattnet ändå varit låga i april-maj, under 20 $\mu\text{g/l}$, och halterna har undantagsvis varit låga i ytvattnet i augusti (Fig 55).

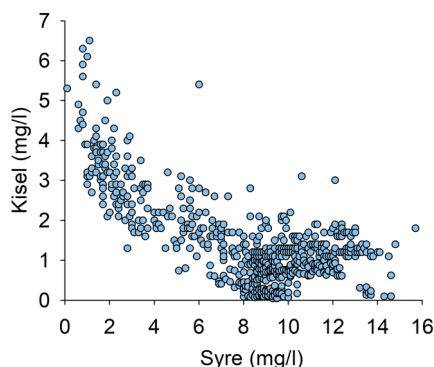


Figur 54. Kisel i Borsnön's ytvatten 0-5 m. Medelhalter under året, 1990-2024.

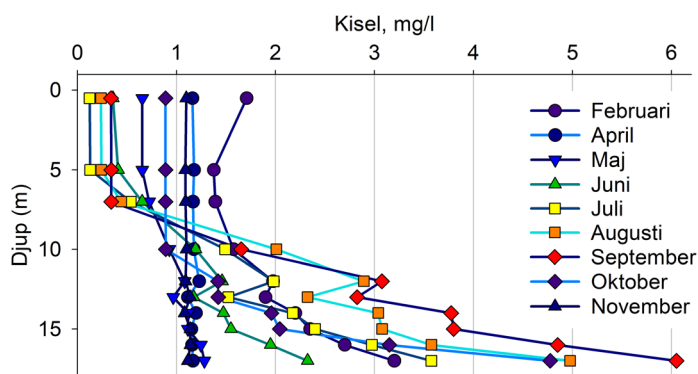


Figur 55. Kisel i Borsnön's ytvatten 0-5 m, variationer under året 1990-2024, figuren till höger med annan skala. Avvikande, höga värden i den vänstra figuren från Bas-sängen i juli-september 2018-2020.

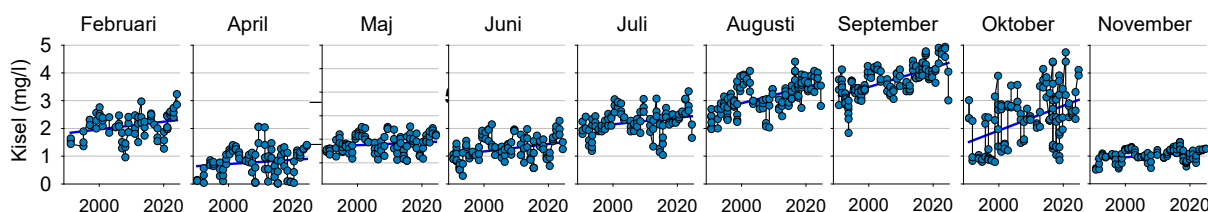
Kiselhalterna ökar med minskande syrehalter på liknande sätt som fosfatfosfor och ammoniumkväve (Fig 56) och halterna har varit höga i bottenvattnet när syrehalterna varit låga i augusti-oktober (Fig 57 A). Halterna har ökat alla månader, ökningen har varit störst när syrehalterna varit låga i augusti-oktober (Fig 57 B).



Figur 56. Samband mellan syrehalt och halter av kisel. Samtliga värden 1990-2024



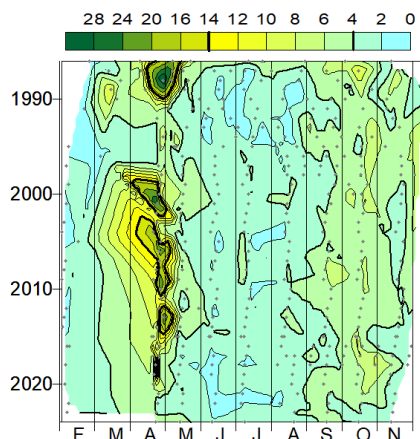
Figur 57 A. Kisel på 0 till 17 m djup, medelhalter 2021-2024.



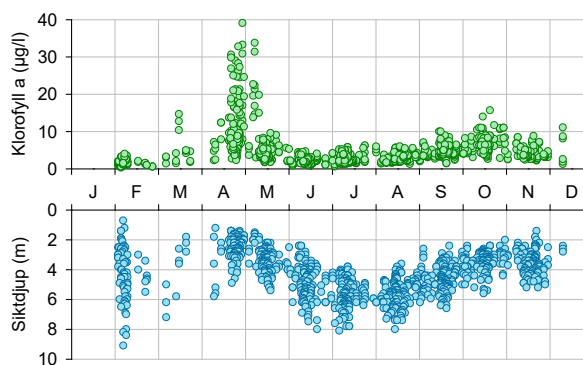
Figur 57 B. Kiselhalter på 14 och 17 m djup, samtliga värden 1999-2024.

Siktdjup och klorofyll

Växtperioden börjar när ljuset blir tillräckligt starkt i april och ytvattnet innehåller stora mängder näring efter höstomblandning och vinter. Tillväxten blir snabb men varar bara några veckor, algerna sjunker sedan och tar med sig näringsämnena till botten. Ytvattnet skiljs från bottenvattnet av temperaturskiktningen och ytvattnet blir hela sommaren fattigt på näringsämnen. Skiktningen bryts på hösten men Bornsjön är så stabilt skiktad att omblandningen kommer sent och algernas tillväxt blir liten. Siktdjupet, som till stor del beror på mängden planktonalger, är litet under vårbloomingen och stort under sommaren (Fig 58 och 59)



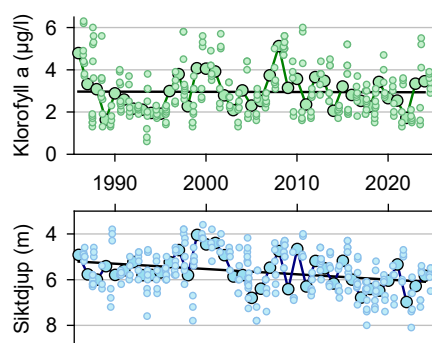
Figur 58. Klorofyll a, µg/l, i Bornsjöns ytvatten 1986-2024. Medelvärden för de tre bassängerna.



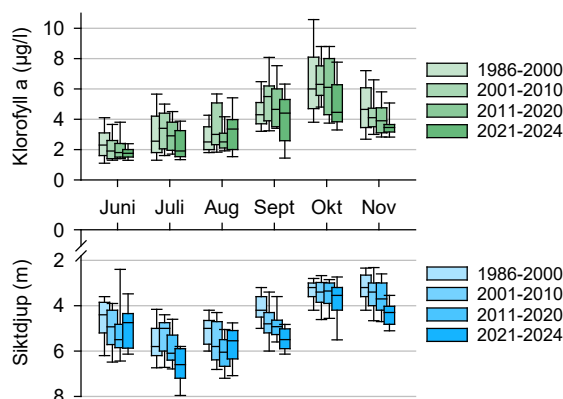
Figur 59. Klorofyll a och siktdjup, förändringar under året, samtliga värden 1986-2024.

Eftersom både klorofyllhalter och siktdjup förändras snabbt under våren är resultaten av provtagningarna osäkra och beroende av när proverna tas. För jämförelser mellan olika lokaler och förändringar över tid används därför vanligen värden från sommaren, juli-augusti eller bara augusti när förhållandena brukar vara stabila.

Klorofyll har sedan 1980-talet inte visat någon tendens mot ökande eller minskande halter, siktdjupet har ökat från ca 5 till 6 meter (Fig 59). Variationerna har varit stora, klorofyllhalterna minskade kraftigt under 1980-talet, halterna var höga samtidigt som siktdjupet var litet omkring år 2000 och halterna var mycket höga 2008. De senaste åren har halterna under hösten, i oktober-november, varit lägre än tidigare och siktdjupet har gradvis ökat (Fig 60).



Figur 59. Klorofyll a och siktdjup juli-augusti 1986-2024. Årsmedelvärden för de tre bassängerna och (små symboler) enskilda mätvärden.



Figur 60. Klorofyll a och siktdjup, periodvisa förändringar, samtliga värden 1986-2024.

Fosfor- och/eller kvävebegränsning

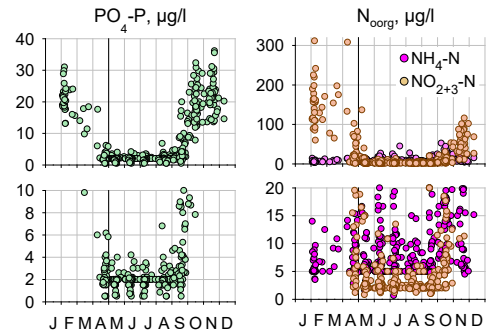
Ytvattnets innehåll av lättillgängliga näringsämnen, fosfatfosfor och oorganiskt kväve, främst nitrit+nitratkväve, är stort i början av året och minskar till mycket låga halter efter vårbloomingen i april. Vid höstomblandningen ökar halterna på nytt, ökningen är betydligt större för fosfatfosfor än för oorganiskt kväve (Fig 61). Fosforhalten är lika hög efter höstomblandningen som i början av året medan kvävehalten är betydligt lägre (Fig 62).

Förhållandet mellan medianvärdena för kväve och fosfor är i ytvattnet i februari 7,3:1 i vikt, vilket är mycket nära förhållandet mellan kväve och fosfor, 7,2:1, i en ”normalg”. Under vårbloomingen kan näringsämnena antas bli förbrukade i samma förhållande och båda näringsämnena tar slut samtidigt, fosfor- och kvävebrist bli lika begränsande för växtligheten och inget näringsämne bestämmer ensamt produktionens storlek.

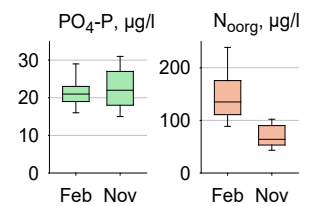
Bilden blir en lite annan om man ser till mängderna fosfor och kväve istället för till halterna. Temperaturskiktningen är svag i februari och är upplöst i april. Halterna av fosfor och kväve är i februari ungefär lika höga på alla djup, i april förbrukas näringsinnehållet inte bara i ytvattnet utan på samtliga djup från ytan till botten (se Fig 44). I februari innehåller hela Bornsjöns vattenmassa ca 12,7 ton kväve, huvudsakligen som nitrit+nitratkväve och 1,4 ton fosfor. Förhållandet mellan kväve och fosfor, 9,3:1, är högre än i ytvattnet och kväve förekommer sannolikt i överskott. Under vårbloomingen minskar innehållet i Bornsjöns vattenmassa med knappt 10 ton kväve och ca 1,3 ton fosfor. Förhållandet mellan kväve och fosfor som förbrukas är 7,5:1, överskottet av kväve är stort och i april återstår 3 ton kväve och bara 0,08 ton fosfor (Tabell 7).

Under sommaren är halterna i ytvattnet låga. Det är inte så meningsfullt att med kemiska metoder försöka avgöra om brist på ett ämne är mer begränsande än brist på något annat och det är inte heller av så stor betydelse eftersom mängden planktonalger är liten i motsats till under vårbloomingen, då mängden är mycket stor och övervägande utgörs av alger som snabbt sedimenterar och för med sig näringsämnena och syreförbrukande ämnen till botten. Utvecklingen under sommaren, med syrebrist och höga näringshalter i bottenvattnet, bestäms till stor del av vad som händer under vårbloomingen, medan de alger som är vanliga under sommaren brukar vara mindre, sedimenterar i mindre utsträckning och omsätts i ytvattnet genom att betas av djurplankton.

Den kraftiga ökningen av fosfor på hösten, medan ökningen av kväve är mer måttlig, medför en uttalad kvävebrist i hela vattenmassan. Underskott av kväve och samtidigt höga fosforhalter gynnar kvävefixerande blå-gröna alger (cyanobakterier) som kan vara giftiga och besvärliga på andra sätt. Trots tillgången på näringsämnena i ytvattnet är algväxten svag och klorofyllhalterna 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.



Figur 61. Fosfatfosfor och oorganiskt kväve (µg/l) i Bornsjöns ytvatten 1986-2024, medelvärden 0-5 m för de tre bassängerna.



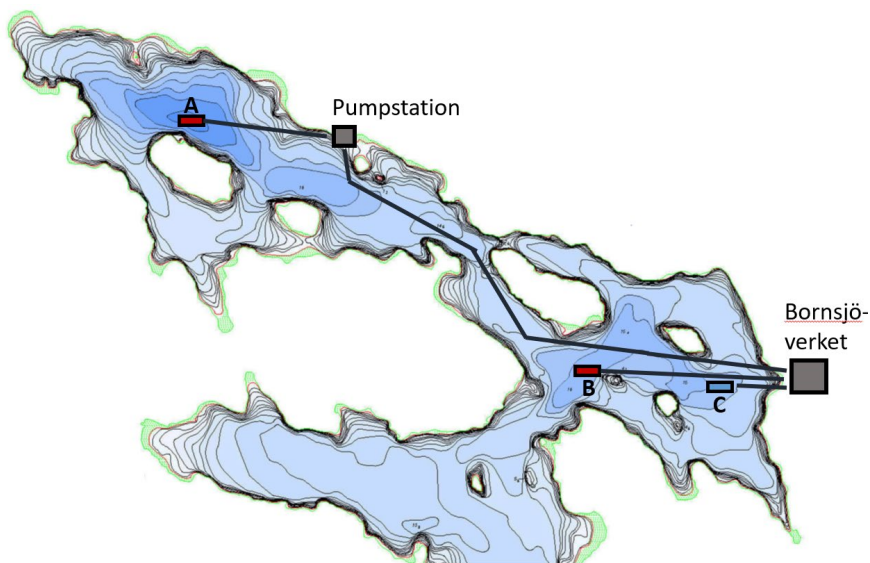
Figur 62. Halt i februari och i november av fosfatfosfor och oorganiskt kväve i ytvattnet 0-5 m.

Tabell 7. Fosfor och kväve (kg) i de tre bassängerna i februari och april. Medelvärden 2021-2024.

		Edeby	Bass	Skårby	Sum	N:P kvot
Oorganiskt kväve	Februari	3 700	3 190	5 880	12 800	9,3
	April	450	970	1 610	3 030	
	Diff	3 250	2 220	4 280	9 750	
Fosfatfosfor	Februari	475	400	490	1 370	7,5
	April	21	25	31	77	
	Diff	450	380	460	1 290	
Ammoniumkväve	Februari	89	88	145	320	
	April	210	230	280	720	
	Diff	-120	-140	-140	-400	
Nitrit+nitratkväve	Februari	3 610	3 100	5 740	12 450	
	April	240	740	1 320	2 310	
	Diff	3 370	2 360	4 420	10 140	

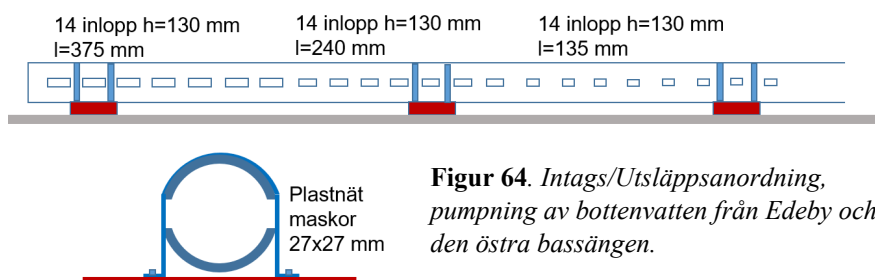
Utpumpning av bottenvatten

Fosforhalterna i Bornsjön ökade under 2000-talet. På inrådan av en kanadensisk limnolog, Gertrud Nürnberg¹, beslöts att fosforinnehållet skulle reduceras genom rening av bottenvatten. Bottenvattnet skulle växelvis pumpas till ett reningsverk 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. Reningsverket, "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 (Fig 63). Bornsjöverket togs i drift hösten 2017.



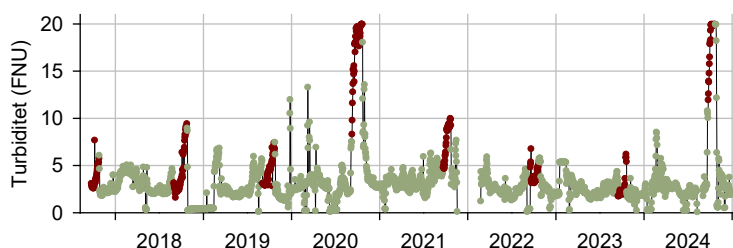
Figur 63. Intag av bottenvatten vid A Edeby och B i den östra bassängen (Bassängen) samt C intag av vatten för produktion av dricksvatten.

Intagen av bottenvatten är utformade som ett slags diffusorer – rör som ligger horisontellt på stöd på botten med ett antal hål på var sida (Fig 64). 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 renade vattnet ut genom diffusorn i den östra bassängen och vice versa.



Figur 64. Intags/Utsläppsanordning, pumpning av bottenvatten från Edeby och den östra bassängen.

Temperatur, syre och turbiditet mäts on-line i det vatten som passerar genom Bornsjöverket oavsett ursprung. Turbiditeten har ökat under perioder med pumpning av bottenvatten, ökningen har varit ganska måttlig när vattnet tas från Edeby och mycket stor i vattnet från Bassängen (Fig 64), där det troligen finns stora mängder slam som ansamlades på botten under de år då bottenvattnet luftades.



Figur 65. Turbiditet, on-line mätning. Röda symboler visar perioder med pumpning av bottenvatten. 2020 och 2024 från Bassängen, övriga år från Edeby

¹ Nürnberg, G. *Evaluation of hypolimnetic withdrawal as a possible treatment for the Bornsjön Reservoir internal phosphorus load*, Freshwater Research, 2012.

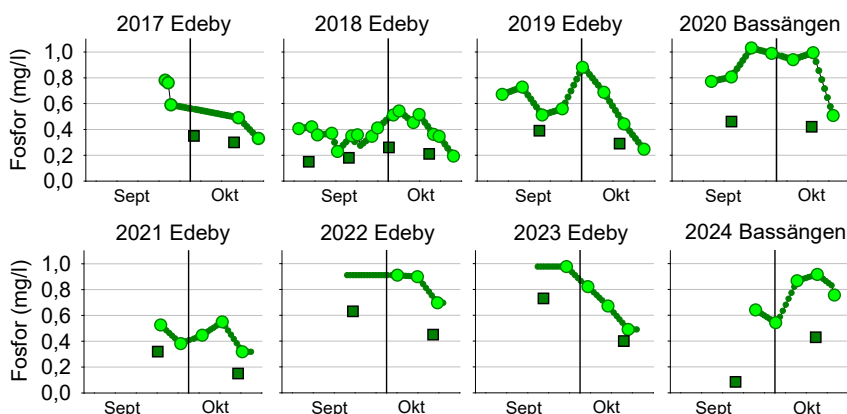
Totalfosfor är den enda parameter som analyseras i vattnet som pumpas till reningsverket och analyser görs också av det vatten som förs tillbaka till Bornsjön efter fosforfällningen. Proverna har vanligen tagits ungefär en gång i veckan, mer sällan 2017 och 2022 och ofta 2018.

Fosforhalterna i det inkommande vattnet till Bornsjöverket har varit högre än i proverna som tagits i övervakningsprogrammet (Fig 66). Fosfor, liksom kväve och syre, beskriver en brant gradient mot botten och halterna på de största djupen brukar vara höga mot slutet av den skiktade perioden (Fig 67). Skillnaderna har i de flesta fall varit stora mot halterna på 17 m vid Edeby med ett undantag och mycket stora mot halterna på 14 m djup i Bassängen.

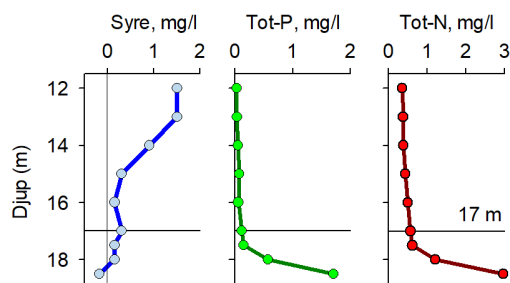
De pumpade volymerna uppgick åren 2017-2024 till mellan 230 och 470 Mm³/år. Halterna i det inkommande vattnet har varierat mellan 0,3 och 1 mg/l. Fosforhalterna i det renade vattnet har varit mycket låga, i allmänhet under 20 µg/l och i många fall så låga som 4-5 µg/l. Differensen mellan det orenade och renade vattnet från Edeby har i genomsnitt varit något mindre än 500 µg/l och md vattnet från Bassängen drygt 800 µg/l. Mängderna i inkommande och utgående vatten har beräknats med dagliga, uppmätta flöden och analyserade eller, mellan analystillfällena, linjärt interpolerade fosforhalter. Den mängd som fastlagts i Bornsjöverket har varit i storleksordningen 200 kg när vattnet pumpats från Edeby och över 350 kg med vattnet från Bassängen. (Tabell 8).

Enligt den beräknade fosforbalansen för Bornsjön är skillnaden mellan tillförd och bortförd mängd, d.v.s. den mängd som kvarstannar i Bornsjön, ungefär 400 kg. Pumpningen av bottenvatten

är därför inte tillräcklig för att minska mängden, möjligen med undantag för pumpningen från den östra bassängen 2020 och 2024. En stor del av den fosfor som kommer till Bornsjön 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 Bornsjön totalt.



Figur 66. Totalfosfor (mg/l) i inkommande vatten till Bornsjöverket, samt (mörkgröna symboler) halter på 17 m djup vid Edeby 2017-2019 och 2021-2023 och på 14 m djup i Bassängen 2020 och 2024.



Figur 67. Syre (svavelväte), totalfosfor och totalkväve på 12 – 18,5 m djup vid Edeby 31 augusti 2004.

Tabell 8. Utpumpning av bottenvatten från Edeby 2017-2019 och 2021-2023 och från Bassängen 2020 och 2024.

Från	År	Start	Stopp	Antal dagar	Pumpad volym 1000-tal m3	Bortförd mängd fosfor, kg
Edeby	2017	21-sep	23-okt	33	339	172
Edeby	2018	29-aug	22-okt	55	435	158
Edeby	2019	02-sep	21-okt	50	468	261
Bassängen	2020	07-sep	19-okt	43	408	358
Edeby	2021	20-sep	21-okt	32	228	98
Edeby	2022	19-sep	19-okt	34	276	232
Edeby	2023	15-sep	19-okt	38	235	158
Bassängen	2024	23-sep	19-okt	27	491	365

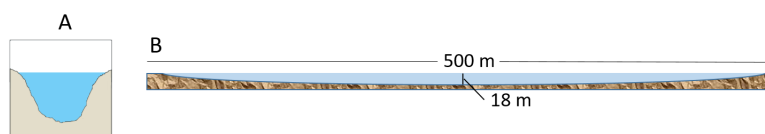
Effekter av pumpningen

En pumpad volym av 400 000 m³ motsvarar vid Edeby volymen under ca 15,5 m djup och i Bassängen under knappt 14 m djup, vilket innebär att stora bottenarealer berörs av utpumpningen och eventuellt också av återföringen av det renade vattnet från Bornsjöverket (Fig 68).

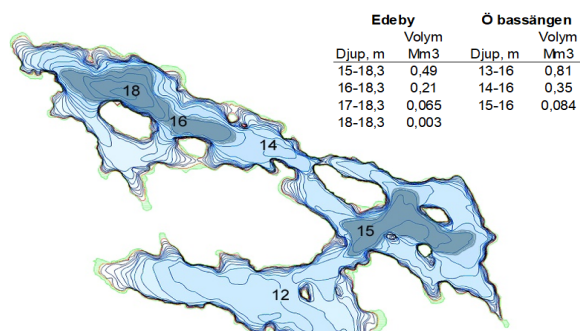
Vid utpumpningen suges först det tyngsta vattnet nära botten bort. Det bör sedan ersättas av ovanliggande och gradvis lättare vatten. Eftersom syrehalten minskar med djupet och innehållet av fosfor ökar skulle utpumpningen förväntas medföra ökande syrehalter och minskande fosforhalter i det utpumpade vattnet.

Totalfosfor minskade gradvis framförallt i vattnet från Edeby, mycket tydligt 2019 och 2023, mindre tydligt 2018, men minskningen föregicks av en ökning av halterna (Fig 67, data saknas 2023) som är svår att förklara och minskningen kan åtminstone delvis ha berott på lägre halter i samband med en begynnande höstomblandning. Det finns inte något som entydigt visar att pumpningen resulterat i högre syrehalter eller lägre fosfor- eller ammoniumhalter i bottenvattnet vid Edeby eller i Bassängen mot slutet av den pumpade perioden (Fig 69), även om syrehalterna några år har ökat markant vid Edeby. Inte heller on-line mätningarna visar någon genomgående ökning av syrehalterna (Fig 70).

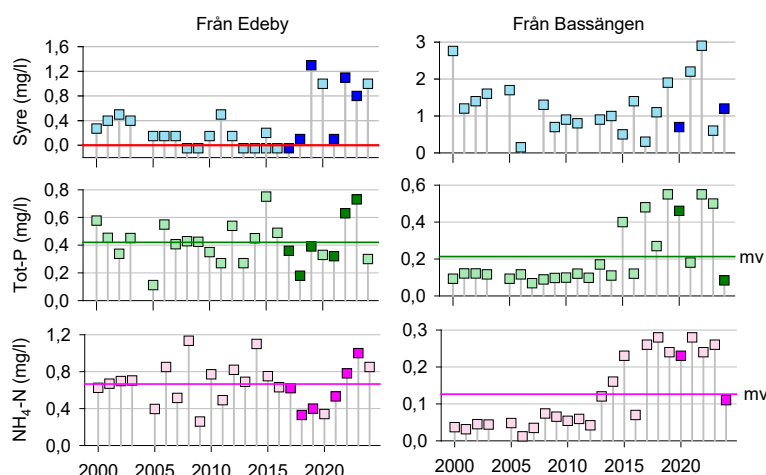
Förklaringen kan vara att syre hinner förbrukas och fosfor lösas ut från sedimenten innan det ”nya” bottenvattnet, d.v.s. det tidigare överstående lättare vattnet, når fram till pumpen. Transportsträckan för det nya vattnet är längre än man kanske föreställer sig, eftersom sjöar oftast ritas med överdrivet djup i förhållande till bredden. I Figur 71 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.



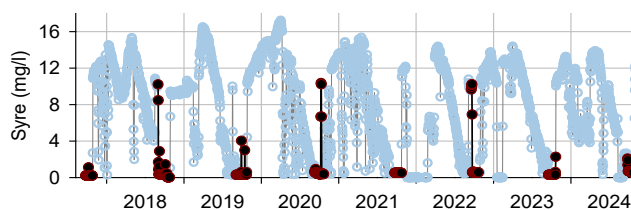
Figur 71. (A) Vanlig bild av en sjö med förvrängda proportioner och (B) verkligt djup-bredd förhållande vid Edeby holme.



Figur 68. Ungefärliga arealer under ca 15,5 m djup vid Edeby och under knappt 14 m djup i den Östra bassängen.



Figur 69. Syre, totalfosfor och ammoniumkväve 2000-2024. Halt i mitten av oktober (14-20 oktober) på 17 m djup vid Edeby och 14 m djup i Bassängen. Mörka symboler: år med pumpning från Edeby respektive Bassängen.



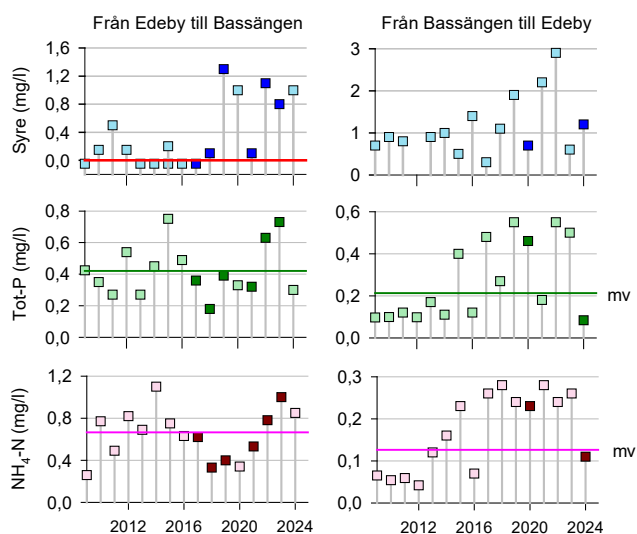
Figur 70. Syre, on-line mätning. Röda symboler visar perioder med pumpning av bottenvatten.

Återföringen av det renade vattnet bör påverka förhållandena i den mottagande bassängen antingen genom att det renade vattnet är kallare än bottenvattnet och lagras in på det största djupet som ett nytt bottenvatten, eller genom att det renade vattnet är varmare och under omblandning stiger till ett mindre djup.

Fosforhalterna i bottenvattnet har varit relativt höga och det finns ingenting som tyder på en stabil inlagring av fosforfattigt vatten nära botten, möjligen med undantag för Edeby 2024 (Fig 72).

Om vattnet stiger till mindre djup bör omblandningen medföra att syrehalterna ökar. Syrehalterna har några år varit höga i Bassängens bottenvatten, men inte högre än år utan återföring, och någon större förändring av halterna har inte skett (Fig 72).

Det är tänkbart att mätningar av temperaturen på det utgående vattnet från reningsverket skulle förbättra möjligheterna att tolka effekterna av återföringen, men mätningarna skulle behöva göras i omedelbar anslutning till utsläppen vid botten eftersom temperaturen antagligen förändras i de långa ledningarna från reningsverket till utsläppen.



Figur 72. Samma värden som i Figur 69. Mörka symboler: år med återföring till Bassängen respektive Edeby.



Bornsjöverket.

PFAS

Det finns ett mycket stort antal PFAS-ämnen, raka kolkedjor där väte fullständigt (per-) eller delvis (poly-) har ersatts med fluor. Analyser och riskbedömning görs med ett mindre antal, som minst fyra, olika ämnen. För dricksvatten används vanligen PFAS21, summan av 21 ämnen.

Tabell 9. PFAS i råvatten från Bornsjön.

		2023	2023	2024	2024
	Bornsjöverket Råvatten, ng/l	0327	0925	0408	0930
PFBA	Perfluorbutansyra	1,30	1,40	1,40	1,60
PFBS	Perfluorbutansulfonsyra	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFDA	Perfluordekansyra	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFDS	Perfluordekansulfonsyra	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFDoA	Perfluordodekansyra	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFDoS	Perfluordodekansulfonat	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PFHxS	Perfluorhexansulfonsyra	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFHxA	Perfluorhexansyra	0,40	0,47	0,44	0,46
PFHpA	Perfluorheptansyra	0,43	0,52	0,46	0,47
PFHpS	Perfluorheptansulfonsyra	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFNA	Perfluoronansyra	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFNS	Perfluoronansulfonat	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFOA	Perfluoroktansyra	0,43	0,58	0,52	0,68
PFOS	Perfluoroktansulfonsyra	0,24	0,27	<0,20	0,30
6:2 FTS	Fluortelomer sulfonat	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFPeA	Perfluorpentansyra	0,36	0,58	0,51	0,78
PFPeS	Perfluorpentansulfonat	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFTrDS	Perfluortridekansulfonsyra	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFUdA	Perfluorundekansyra	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFTrDA	Perfluortridekansyra	<1,0			
PFUnDS	Perfluorundekansulfonsyra	<1,0			
	Summa PFAS21, ng/l	3,2	3,8	3,3	4,0

TFA kan bildas bland annat vid nedbrytning av halogenerade kolväten och av andra, längre PFAS-föreningar. TFA tycks vara måttligt eller mycket lite akut giftig för växter och djur men misstänks kunna skada foster och fortplantningsförmåga. Eftersom TFA inte bryts ner i naturen är halterna höga i grundvatten och i sjöar och vattendrag, i Europa 100 till 1000 högre än andra PFAS, 650 ng/l har uppmätts i Mälaren. Det föreslagna gränsvärdet för TFA är 500 ng/l.

2023 och 2024 gjordes analyser av PFAS i råvatten från Bornsjön vid fyra tillfällen. De flesta ämnena förekom i halter under analysmetodernas känslighet och mätvärden erhöles för bara sex av de ämnen som ingår i PFAS21. Den summerade halten låg i råvattnet mellan 3,2 och 4,0 ng/l, långt under 100 ng/l som är Livsmedelsverkets gränsvärde för dricksvatten (Tabell 9).

Bottenvattnet i Bassängen provtogs vid två tillfällen 2024. I analyserna ingick TFA, trifluorättiksyra, en ultrakort PFAS-kedja som är mycket svårnedbrytbar. Halterna av övriga ämnen låg under känsligheten för analyserna, halten av TFA uppgick till 420 respektive 500 ng/l (Tab 10).

Tabell 10. PFAS i bottenvatten från Bassängen, 14 m djup.

		2024	
	Bassängen 14 m, ng/l	0819	1111
PFPrS	Perfluorpropansulfonsyra	<3	<3
PFEtS	Perfluoretansulfonsyra	<3	<3
PFPrA	Perfluorpropansyra	<3	<3
TFMS	Trifluormetansulfonsyra	<1	<1
TFA	Trifluorättiksyra	420	500

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 och av makrofytter som har bedömts ha *Måttlig* status. Underlag saknas för bedömning av bottenfauna och fisk.

De fysikalisk-kemiska kvalitetsfaktorerna omfattar näringsämnen, ljusförhållanden (=sikt djup), syrgasförhållanden, förurning och särskilt förorenande ämnen. Statusen för näringsämnen, i sötvatten endast fosfor, är *God*. I tidigare förvaltningscykel 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 (för förändring av värdena och för skillnaden mellan augustivärden och värden från hela året, se Fig 45). Status för ljusförhållanden och förurning 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. Gränsvärden, maximal tillåtlig biotillgänglig halt, finns för ett fåtal metaller – bly, koppar, nickel och zink, som förekom i halter långt under gränsvärdena. 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.

I morfologiskt tillstånd ingår *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). Andra hydrologiska kvalitetsfaktorer har *Hög* status – konnektivitet, hydrologisk regim, och morfologiskt tillstånd. Statusen för närområdet runt Bornsjön bedöms som *Hög*.

En särskild punkt är Historisk förorening som avser näringsämnen, här fosfor. Klassificeringen är *Ej betydande påverkan* efter att ”Interngödningen åtgärdat med Bornsjöverket”.

Historisk förorening (fosfor) klassas som *Ej betydande påverkan* efter att interngödningen, enligt Vattenmyndigheten, åtgärdats med Bornsjöverket.