

Intern belastning av fosfor i 11 sjöar, Västerbottens län

Preliminära bedömningar baserade på
sediment- och vattenkvalitetsdata.

Förord

Trots att övergödning är ovanligt i norra Norrland har det konstaterats påtagliga övergödningssproblem, i form av t.ex. giftiga algbloomningar och kraftigt försämrad vattenkvalitet, i ett antal sjöar, vattendrag och kustvatten i Bottenvikens vattendistrikt. På grund av det stora antalet vattenförekomster i distriktet finns därtill ett behov av ytterligare kunskap om vilka övriga vatten som eventuellt påverkas av övergödning, samt ett behov av mera detaljerad kunskap om orsaken till övergödning i dessa vatten.

Övergödning orsakas inte bara av näringsrika inflöden från t.ex. diken och vattendrag, utan också av så kallad internbelastning från sjöarnas sediment. Internbelastning orsakas av ett förhöjt läckage av näringsämnen från sedimenten som under ett stor antal år har lagrat in näring från inflödena. Vattenmyndigheten i Bottenvikens vattendistrikt bedömer att internbelastning av näringsämnen misstänks förekomma i ca 20 sjöar i Västerbotten (VISS 20210511). Kopplat till detta behövs mätningar i fält, som kan särskilja internbelastningen från övrig näringsbelastning. Denna kunskap är inte minst viktig som underlag för dialog och åtgärdsarbete.

Den föreliggande rapporten baseras på undersökningar som har genomförts inom ramen för två projekt i Västerbotten: Algbloomande sjöar i Norsjö och Skellefteå kommuner - utredning av orsaker och förslag till åtgärder och Källfördelnings- och Interbelastningsprojektet. Genom dessa projekt har fosforläckage från sediment kunnat undersökas översiktligt i 11 sjöar i länet. Provtagningen i fält har genomförts av projektens partners, medan analyserna av sediment har genomförts av Erkenlaboratoriet, Uppsala universitet. Resultaten har slutligen analyserats och sammanställts av Naturvatten AB.

Resultaten indikerar att en förhöjd intern fosforbelastning förekommer i åtminstone några av de undersökta sjöarna, och pekar på ett behov av ytterligare undersökningar; dels för att verifiera indikationerna om internbelastning, dels för att kunna specificera vilka åtgärder som vore möjliga för respektive sjö som berörs av intern näringsbelastning.

För att åtgärda övergödningssproblemet i övergödda sjöar behöver vi i första hand jobba med att minska näringstillförsel från landbaserade källor, men för några sjöar kan det på sikt även vara aktuellt med åtgärder för att minska internbelastning. Arbetet med att ta fram kunskap om övergödningssproblemet omfattning, orsak och åtgärdsbehov behöver ske i dialog och samråd med lokala aktörer och berörda organisationer och myndigheter.

Åtgärder mot övergödning skapar förutsättningar för att nå miljökvalitetsnormer för vatten, och behövs därtill för att vi ska kunna nå miljömålen Ingen övergödning, Levande sjöar och vattendrag och Hav i balans samt levande kust och skärgård. Arbetet är även ett led i att nå de globala hållbarhetsmålen, framförallt mål 6 Rent vatten och sanitet för alla.

Gunilla Forsgren Johansson
Länsstyrelsen Västerbotten

Elin Nilsson
Norsjö kommun

Leif Vestermark
Skellefteå kommun

Jan Åberg
Mellanbygdens vattenråd

Nina Stenbacka
Umeå kommun

Projektet Algbloomande sjöar i Norsjö och Skellefteå kommuner - utredning av orsaker och förslag till åtgärder, även kallat Inlandsvattenprojektet, drivs av Norsjö och Skellefteå kommuner och medfinansieras med LOVA-bidrag från Havs- och vattenmyndigheten genom anslag 1:11 - åtgärder för havs- och vattenmiljö.

Syftet med projektet är att göra en källfördelningsanalys över näringsbelastningen i sju misstänkt övergödda sjöar, samt ta fram en åtgärdsplan med förslag till åtgärder för att nå god status. Internbelastning har översiktligt studerats i sex av dessa sjöar.

Projektet Källfördelnings- och Interbelastningsprojektet drivs av Länsstyrelsen Västerbotten, Skellefteå och Umeå kommuner samt Mellanbygdens vattenråd i samverkan och medfinansieras från Havs- och vattenmyndigheten, via beslut från Vattenmyndigheten i Bottenvikens vattendistrikt, genom anslag 1:11 - Åtgärder för havs- och vattenmiljö, inom ramen för satsningen strkt åtgärdsarbete mot övergödning.

Syftet med projektet är att översiktligt analysera källor till näringsbelastning i sex misstänkt övergödda sjöar som underlag för vidare utredningar i arbetet med att ta fram förslag till åtgärder i dialog med berörda lokala aktörer. Internbelastning har översiktligt studerats i fem av dessa sjöar.

Intern belastning av fosfor i 11 sjöar, Västerbottens län

*Preliminära bedömningar baserade på sediment- och
vattenkvalitetsdata*

Intern belastning av fosfor i 11 sjöar, Västerbottens län
Preliminära bedömningar baserade på sediment- och vattenkvalitetsdata

Författare: Anna Gustafsson & Emil Rydin
2021-04-27
Rapport 2021:10
Naturvatten i Roslagen AB
Norra Malmavägen 33
761 73 Norrtälje
0176 – 22 90 65

SAMMANFATTNING	4
INLEDNING	5
UPPDRAGETS SYFTE OCH AVGRÄNSNING	5
SAMBAND MELLAN NÄRINGSSTATUS OCH FOSFORHALTER I SEDIMENT	5
METODIK	7
PROVTAGNING OCH ANALYSER	7
ÖVRIGT DATAUNDERLAG	9
BEDÖMNINGAR	9
<i>Osäkerheter i bedömningarna</i>	<i>10</i>
RESULTAT OCH DISKUSSION	11
VATTENHALT OCH ORGANISK ANDEL.....	11
YTSEDIMENTENS FOSFORHALTER	12
<i>Läckagebenägna fosforformer</i>	<i>12</i>
<i>Stabilt bundna fosforformer.....</i>	<i>13</i>
INDIKATIONER PÅ FOSFORLÄCKAGE	14
NÖRD-LIDSTRÄSKET.....	15
SÖR-LIDSTRÄSKET	17
FÄBODTRÄSKET.....	18
KALVTRÄSKET	20
BJURSELET	22
NORSJÖN, NORDÖSTRA	24
NORSJÖN, SÖDRA	26
LABBTRÄSKET	28
INRE LJUSVATTNET	30
TREHÖRNINGEN.....	32
AVAN	34
BROTRÄSKET NORRA	37
BROTRÄSKET SÖDRA	38
SAMMANFATTANDE DISKUSSION.....	41
REKOMMENDATIONER FÖR FORTSATTA STUDIER	42
UTÖKADE SEDIMENTUNDERSÖKNINGAR	42
VATTENKVALITETSUNDERSÖKNINGAR	42
REFERENSER	44
BILAGA 1. RESULTAT AV SEDIMENTUNDERSÖKNING.....	45

Sammanfattning

I Västerbotten pågår två samverkansprojekt med inriktning mot övergödning i sjöar, Inlandsvattenprojektet och Källfördelnings- och interbelastningsprojektet. Inom ramen för dessa projekt analyserades år 2020 fosforhalter i sediment från 11 sjöar i syfte att undersöka om fosforläckage från bottenarna påverkar sjöarnas näringsstatus. Föreliggande rapport redovisar resultat av en utredning som syftar till att bedöma om uppmätta sedimenthalter indikerar förhöjd intern fosforbelastning, det vill säga ett förhöjt läckage av fosfor från sediment till vattenmassa. Utredningen utfördes av Naturvatten AB på uppdrag av Länsstyrelsen Västerbotten och Norsjö kommun.

Förändringen i fosforhalt mellan ytsediment (0-2 cm) och ett något djupare sedimentskikt (4-6 cm) användes för att skatta fosforfrisättningen. Som stöd vid bedömningen användes data från vattenkemiska undersökningar. Tillgängliga underlag möjliggör preliminära bedömningar av interbelastningens omfattning.

För 5 av de 11 undersökta sjöarna indikerade sedimentundersökningen en betydande intern fosforbelastning. I sedimentprofilerna från Trehörningen, Bjurselet, Avan och Norsjön klingade fosforhalterna av tydligt vilket tolkades som att fosforläckaget från sediment till vattenmassa var betydande. Halterna avtog med större sedimentdjup även i Fäbodträsket, om än i något mindre utsträckning. I övriga sedimentprofiler uteblev minskningen av sedimentfosfor eller så var den begränsad, vilket tolkades som att interbelastningen var begränsad.

Vattenkemiska data pekade mot en betydande frisättning av fosfor från bottenarna även för Inre Ljusvattnet, södra Broträsket och Kalvträsket, något som inte framgick av fosforhalterna i sedimenten.

Sjöar som kan ses som prioriterade för fortsatta sedimentstudier är Trehörningen, Bjurselet och Avan där både sediment- och vattenkvalitetsdata indikerar en betydande interbelastning. Fortsatta och utökade studier kan rekommenderas även för Norsjön där sedimentundersökningen visade på höga fosforhalter och en betydande fosforfrisättning.

För övriga sjöar kan det vara rimligt att bedöma behovet av vidare sedimentstudier mot bakgrund av en förbättrad kunskap om den interna fosforbelastningen, något som kan erhållas genom fortsatta och utökade vattenkvalitetsundersökningar. Vilka sjöar som prioriteras för sådan övervakning bör i sin tur avgöras med kunskap om bland annat den externa belastningssituationen.

Inledning

I Västerbotten pågår två samverkansprojekt med inriktning mot övergödning i sjöar. Inlandsvattenprojektet drivs av Norsjö och Skellefteå kommuner. Källfördelnings- och interbelastningsprojektet genomförs i samverkan mellan Skellefteå och Umeå kommuner, Mellanbygdens vattenråd samt Länsstyrelsen Västerbotten. Inom ramen för dessa projekt analyserades år 2020 fosforhalter i sediment från 11 sjöar i syfte att undersöka om fosforläckage från bottenarna påverkar sjöarnas näringsstatus. Parallellt med detta sammanställs kunskap om den externa fosforbelastningen till sjöarna.

Uppdragets syfte och avgränsning

Denna rapport redovisar en utredning som syftar till att bedöma om uppmätta sedimenthalter indikerar förhöjd intern fosforbelastning, det vill säga ett förhöjt läckage av fosfor från sediment till vattenmassa. Tillgängliga underlag möjliggör preliminära bedömningar av internbelastningens omfattning. För att säkert fastställa om det förekommer ett förhöjt fosforläckage från sedimentet, och omfattningen av ett sådant läckage, behöver ytterligare studier genomföras. Utredningen omfattar översiktliga förslag till sådana undersökningar.

Uppdraget omfattade inte sammanställning av fosforbudget eller bedömningar av den interna belastningens påverkan på näringsstatus.

Utredningen utfördes av Naturvatten AB på uppdrag av Länsstyrelsen Västerbotten och Norsjö kommun.

Samband mellan näringsstatus och fosforhalter i sediment

En sjös näringsstatus beror förutom av den externa näringsbelastningen och vattenomsättningstiden till stor del även på bottenarnas fosforbindande förmåga. Om den yttre näringspåverkan ökar, kommer sannolikt även planktonproduktionen att öka. Sjöns långsiktiga förmåga att hantera en viss fosforbelastning avgörs dock av hur mycket fosfor sedimenten klarar att binda permanent.

I näringsrika (eutrofa) sjöar sker som regel en betydande återföring av fosfor från sediment till vattenmassa, medan måttligt näringsrika (mesotrofa) sjöar kan ha en blygsam återcirkulation (Nürnberg 1988).

Denna process brukar kallas intern fosforbelastning. I riktigt näringsfattiga (oligotrofa) sjöar sker ingen fosforfrisättning eftersom tillförd fosfor binds permanent i sedimenten. Effekterna av detta återspeglas i totalfosforhalterna i sedimentkärnor från de botten där material ansamlas, de så kallade ackumulationsbottenarna. En sammanställning av sedimentkärnor från närmare hundra sjöar visar hur totalfosforprofilerna skiljer sig åt beroende på sjöns näringsstatus (Figur 1). Dessa mönster utgjorde grunden för att bedöma om undersökta sediment läcker fosfor i betydande omfattning.

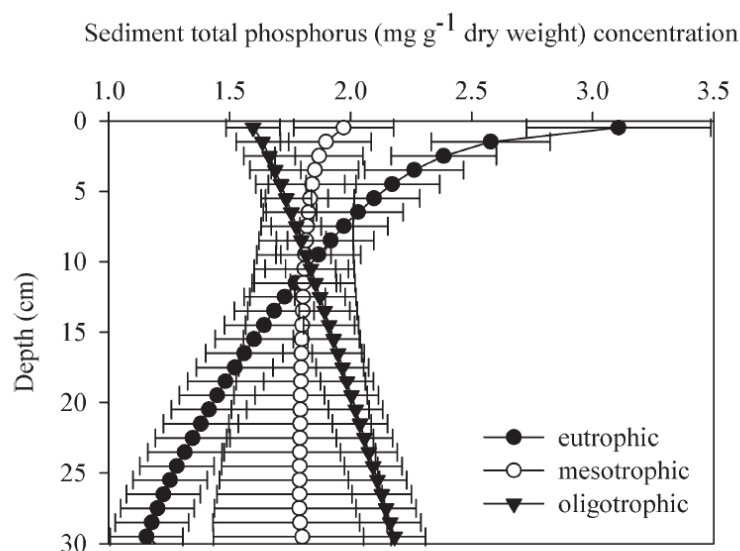


Fig. 2. Mean sediment total phosphorus concentrations, with 1 standard error, observed in sediment cores from the eutrophic (water column TP $\geq 30 \mu\text{g L}^{-1}$), mesotrophic (water column TP 10 to $30 \mu\text{g L}^{-1}$), and oligotrophic (water column TP $< 10 \mu\text{g L}^{-1}$) lakes in our dataset.

Figur 1. Totalfosforhalt (mg/g TS) i sedimentkärnor från eutrofa, mesotrofa och oligotrofa sjöar. Från Carey & Rydin (2011).

De eutrofa sjöarnas sediment uppvisar generellt högre totalfosforhalt i ytsedimenten, och halterna klingar av tydligt med ökande sedimentdjup, vilket också avspeglar ett tidsförlopp (Figur 1, ovan). Håltminskningen är en följd av nedbrytning av organiskt material, exempelvis utsedimenterade plankton, varvid fosfat (och ammonium) läcker ut från sediment till vattenmassa. Är sedimentytan syresatt kan järn binda fosfat och på så vis förhindras frisättning till vattenmassan. Vid syrefria förhållanden reduceras järn och förlorar därmed sin fosforbindande förmåga, något som leder till att en puls av löst fosfat når bottenvattnet.

I mesotrofa sjöar är ytsedimentets totalhalter lägre än i de eutrofa sjöarna, och totalfosforminskningen blygsam med ökande sedimentdjup (Figur 1, ovan). Att så är fallet beror på att den fosformängd som sedimenterar till bottenarna inte är större än att den binds i sedimenten. Det ger en totalfosforprofil som är i det närmaste konstant med ökande sedimentdjup.

Oligotrofa sjöar uppvisar de lägsta ytsedimenthalterna och halter som ökar med ökande sedimentdjup (Figur 1, ovan). Det tolkas som att ett överskott av bindningsförmåga finns i dessa sediment och den relativt begränsade mineralisering av fosfat som förekommer i sedimenten diffunderar ner i sedimentprofilen.

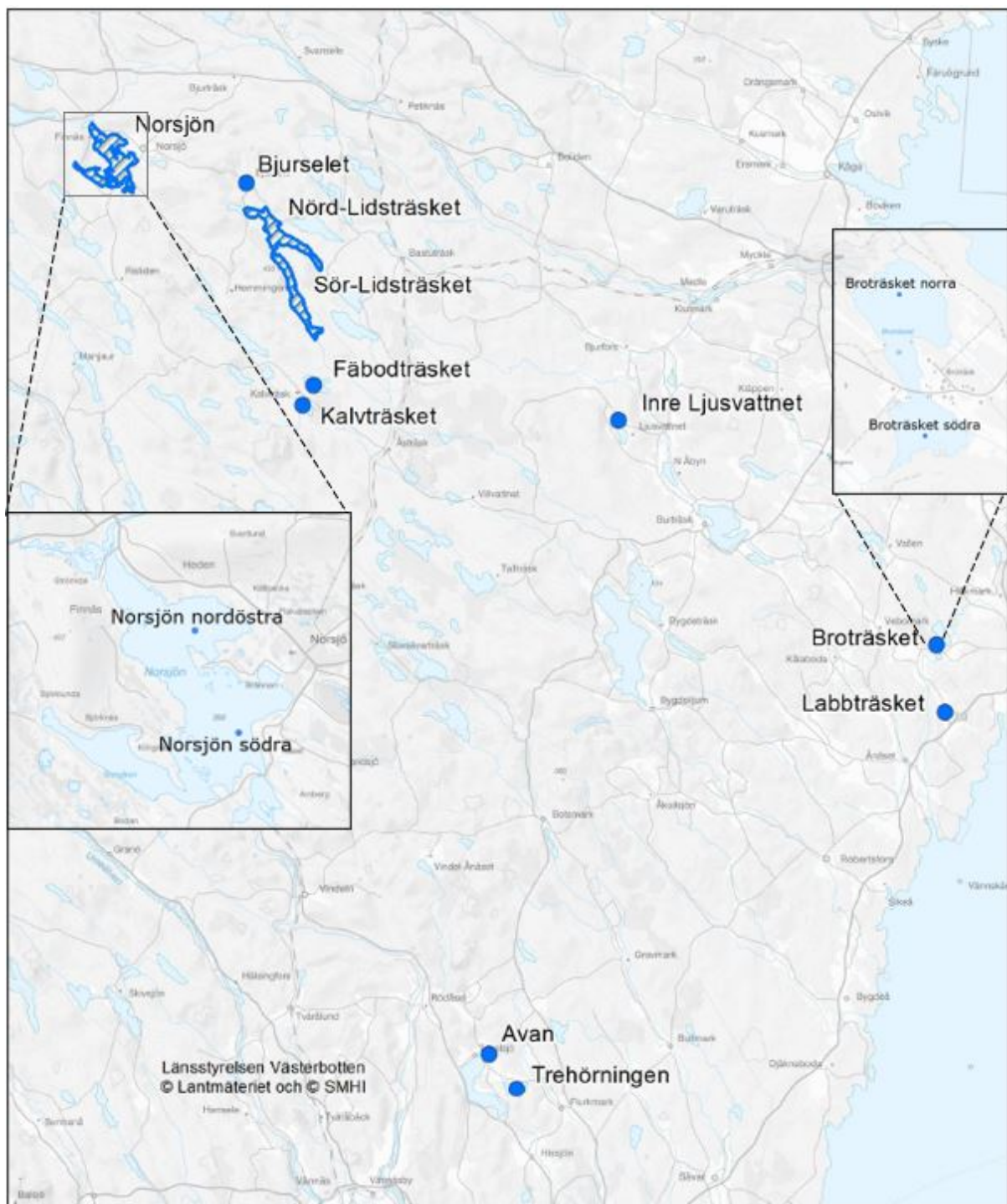
Metodik

Provtagning och analyser

Undersökningen omfattade 11 sjöar för vilka namn, Sjö ID, provtagningsposition och djup, vattenkategori samt projekttillhörighet framgår nedan (Tabell 1, Figur 2). Norsjön och Broträsket undersöktes med två provpunkter vardera.

Tabell 1. Sjöar som omfattas av undersökningen. Sjö ID enligt VISS, provtagningsposition i SWEREF TM. Källfördelningsprojektet avser Källfördelnings- och Internbelastningsprojektet.

Sjönamn/lokal	Sjö ID (MS_CD)	Position		Djup (m)	Kategori	Projekt
Nörd-Lidsträsket	WA44115377	7198240	725974	12,5	Vattenförekomst	Inlandsvatten sediment
Sör-Lidsträsket	WA80053840	7192836	727229	10,2	Vattenförekomst	Inlandsvatten sediment
Fäbodträsket	WA90190322	7181453	729953	4,5	Vattenförekomst	Inlandsvatten sediment
Kalvträsket	WA81591020	7179347	728805	5,5	Vattenförekomst	Inlandsvatten sediment
Bjurselet	WA63458618	7202658	722926	10	Övrigt vatten	Inlandsvatten sediment
Norsjön, nordöstra	WA65251354	7206878	708882	16	Vattenförekomst	Inlandsvatten sediment
Norsjön, södra	WA65251354	7204144	710051	10,5	Vattenförekomst	Inlandsvatten sediment
Labträsket	WA42794787	7147167	796307	6	Övrigt vatten	Källfördelningsprojektet
Inre Ljusvattnet	WA79793267	7177759	761954	3,6	Vattenförekomst	Källfördelningsprojektet
Trehörningen	WA50165423	7107577	751296	16,6	Vattenförekomst	Källfördelningsprojektet
Avan	WA11362677	7111271	748406	7,5	Vattenförekomst	Källfördelningsprojektet
Broträsket, norra	WA59724847	7154212	795417	2,3	Övrigt vatten	Källfördelningsprojektet
Broträsket, södra	WA59724847	7152878	795666	7,4	Övrigt vatten	Källfördelningsprojektet



Figur 2. Läge för sjöar/lokaler som omfattades av sedimentundersökning år 2020.

Provtagning genomfördes den 25-27 maj av Länsstyrelsen Västerbotten samt Umeå och Skellefteå kommuner. Sedimentprover togs med rörprovtagare (HTH 70) i sjöarnas djuphål. I Norsjön och Broträsket togs prover i två delbassänger vardera. Som underlag för bedömning analyserades två skikt, ytsediment 0-2 cm och ett något djupare skikt, 4-6 cm. Samtliga skikt analyserades med avseende på vattenhalt,

glödningsförlust, totalfosforhalt och fosforfraktioner. Det senare innebär en analys av fosfors olika bindningsformer i sedimentet (Psenner m.fl. 1988). Vid fraktioneringen kvantifieras följande sex fosforformer genom stegvis extrahering:

1. löst bunden fosfor ($\text{NH}_4\text{Cl-rP}$)
2. järnbunden fosfor (BD-rP)
3. aluminiumbunden fosfor (NaOH-rP)
4. organiskt bunden fosfor (NaOH-nrP)
5. kalciumbunden fosfor (HCl-rP)
6. residualfosfor (huvudsakligen organiska fosforformer)

För fördjupad information om fosforfraktionering och läckagebenägen fosfor i sediment hänvisas till publikation av Rydin (2000). Analyser utfördes av Erkenlaboratoriet, Uppsala universitet.

Övrigt dataunderlag

Som stöd vid bedömningen användes data från vattenkemiska undersökningar. Data tillhandahölls av beställaren och omfattar yt- och bottenvatten vid 1-5 provtagningstillfällen perioden april-oktober år 2020. För flera sjöar finns vattenkvalitetsdata även för enstaka tillfällen åren 2017-2019. Variabler som utgjorde stöd vid bedömningen var främst totalfosfor i yt- och bottenvatten, samt syrgashalter i bottenvatten. Provtagning utfördes av Länsstyrelsen Västerbotten, Mellanbygdens vattenråd, Skellefteå kommun och analysföretaget Synlab. Analyser utfördes av Synlab.

Bedömningar

Sedimentundersökningarna omfattar enligt ovan två analyserade skikt per kärna och ger inte tillräckligt underlag för att beräkna mängder läckagebenägen fosfor. Resultaten kan dock användas för att översiktligt bedöma vilka fosforformer som av allt att döma ska betraktas som aktiva och kommer att bidra till internbelastning.

Den läckagebenägna fosfor utgörs av organiskt bunden fosfor som återfinns i två av de analyserade fraktionerna (Org-P, Res-P), och av järnbunden fosfor (Fe-P) i ytsedimentskiktet. Genom att beräkna haltminskningen från ytsedimentskiktet (0-2 cm) till det något djupare skikt som analyserats (4-6 cm) erhålls ett mått på hur mycket organiskt bunden respektive järnbunden fosfor som har läckt ut. Detta återspeglas i totalfosforförändringen mellan de två skikten. Är övriga fraktioner konstanta i koncentration kommer totalfosforhalten avspegla minskningen i läckagebenägen fosfor över tiden.

Tillvägagångssättet bygger på antagandet att den externa belastningen har varit relativt konstant under den tidsperiod som de undersökta sedimentskikten representerar (0-6 cm), vilket troligen innebär någonstans mellan ett och två decennier, antaget en genomsnittlig sedimenttillväxt på mellan 3 och 6 mm årligen. Det innebär vidare att halterna i det djupare skiktet (4-6 cm) ursprungligen antas ha varit desamma som de som nu uppmätts i ytsedimentskiktet.

Fosforfrisättningen från sediment till vattenmassa bedömdes vara betydande för de sedimentprofiler där totalfosforhalten uppvisade en minskning av minst 25 procent till det djupare skiktet, vilket ligger nära den minskning av totalfosforhalten som sker i näringsrika sjöar i det sedimentintervallet (se Figur 1 ovan). För järnbunden fosfor bedömdes läckaget betydande om halterna var minst hälften så låga i det djupare skiktet, och för den organiskt bundna fosfor om minskningen låg kring 25 procent eller mer.

Vattenkvalitetsdata utgjorde stöd vid bedömningen. Frisättningen av fosfor från sediment till vattenmassa bedömdes vara betydande om halterna i bottenvattnet ökade tydligt mellan närliggande mätstillfällena, om halterna i bottenvattnet var mycket höga och/eller om halterna uppvisade kraftiga variationer. I grunda sjöar som omblandas flera gånger per år krävs relativt omfattande underlag för bedömning. Successivt ökande halter i bottenvatten under försommar-tidig höst, då vattenföringen vanligen är låg och näringspåverkan från tillrinningsområdet därmed är begränsad, är ofta ett tecken på en intern fosforbelastning. I grunda sjöar där temperaturskiktning uteblir eller inte är varaktig medför en intern fosforbelastning ökande fosforhalter även i ytvattnet.

Läckagehastighet (mg P/m^2 , dygn) beräknades som kvoten mellan differensen i bottenvattnets fosforhalt mellan två provtagningstillfällen och antalet dygn mellan de båda tillfällena. Uppgiften anger läckaget vid provtagningsstationen och det aktuella tillfället. Dataunderlag saknades i stor utsträckning för denna typ av beräkning.

Osäkerheter i bedömningarna

En betydande fosforfrisättning enligt definitionerna ovan behöver inte nödvändigtvis innebära en påtaglig höjning av fosforhalterna i vattenmassan. Här spelar även andra faktorer in som till exempel extern fosforbelastning, vattenvolym och omsättningstid. Bedömningar av den interna belastningens betydelse för sjöns näringsstatus måste göras mot kunskap om dessa faktorer. Någon sådan helhetsbedömning ingick inte i uppdraget.

För att åstadkomma säkra bedömningar av den interna fosforbelastningen krävs mer omfattande dataunderlag (se avsnittet *Rekommendationer för*

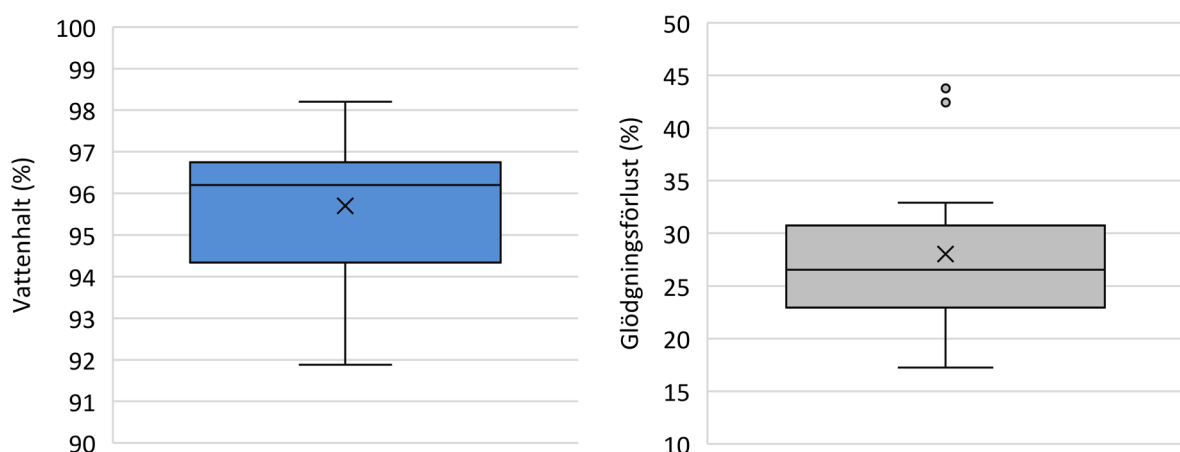
fortsatta studier). De bedömningar av internbelastningens omfattning som presenteras i utredningen ska därför betraktas som preliminära.

Resultat och diskussion

Undersökningens resultat presenteras inledningsvis med en sammanställande översikt, och därefter per sjö/lokal tillsammans med en kortfattad diskussion kring utfallet. Samtliga analysresultat redovisas i Bilaga 1.

Vattenhalt och organisk andel

Sedimenten från undersökta sjöar uppvisade generellt höga vattenhalter, drygt 95 procent i ytan (Figur 3a, Bilaga 1). Halterna var höga även i det något djupare skiktet (4-6 cm) där de ofta översteg 90 procent. De höga vattenhalterna förklaras dels av en generellt sett hög andel organiskt material, i genomsnitt cirka 25 procent, mätt som glödningsförlust (Figur 3b). Bjurselet och Fäbodträsket utmärkte sig med nära 45 procent organisk andel av torrsubstansen. Dessutom förklaras den höga vattenhalten förmodligen av en begränsad närvaro av exponerade leror i avrinningsområdet vilka annars sänker vattenhalten och den organiska andelen av torrsubstansen.

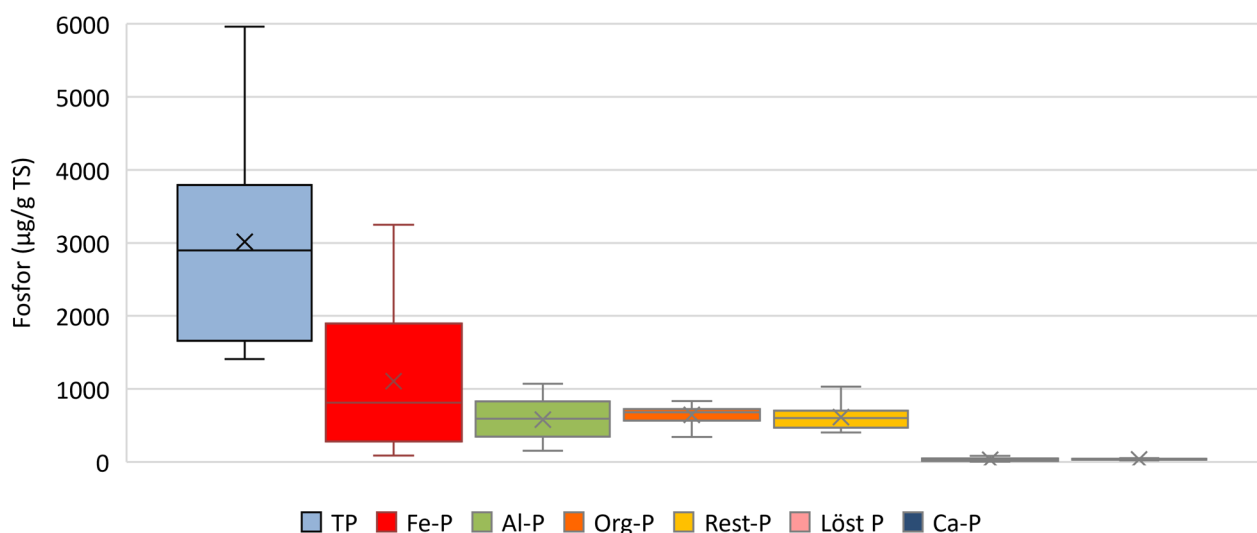


Figur 3 a och b. Vattenhalt och glödningsförlust (%) i ytsediment (0-2 cm) från 13 sjölokaler i Västerbottens län år 2020. Figuren visar första och tredje kvartilen av data där medianvärdet är gränsen mellan de två boxarna och medelvärdet markeras med "X". Felstaplarna visar min- och maxvärde. Punkter visar avvikande värden (outliers).

Ytsedimentens fosforhalter

En översikt över ytsedimentens totalfosforhalt och fördelning på analyserade fraktioner visas nedan (Figur 4). Av de analyserade fraktionerna räknas den fosfor som är bunden till järn, aluminium och kalcium som oorganiskt bunden, liksom den fosfor som föreligger i löst form. Övriga två fraktioner (Org-P, Rest-P) räknas som organiskt bunden fosfor. Som läckagebenägen betraktas den fosfor som är bunden till järn eller organiskt material, samt den lösta fosfor. Dessa fraktioner visas nedan med röd-orangemarkerade boxar (Figur 4).

Totalfosforhalten (TP) uppvisar en stor spridning och låg i intervallet 1400-6000 µg/g TS. Mycket höga halter (>4000 µg/g TS) noterades för Bjurselet, Trehörningen och nordöstra Norsjön. De höga totalfosforhalterna hänger till stora delar samman med höga halter järnbunden fosfor.



Figur 4. Fosforhalter (µg/g TS) i ytsediment (0-2 cm) från 13 sjölokaler i Västerbottens län år 2020. Boxarna visar första och tredje kvartilen av data där medianvärdet är gränsen mellan de två boxarna och medelvärde markeras med "X". Felstaplarna visar min- och maxvärde. TP anger totalfosforhalt. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen visas med röd-orangemarkerade boxar och återfinns i fraktionerna järnbunden fosfor (Fe-P), organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P) samt löst fosfor (Löst P). Aluminiumbunden (Al-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert.

Läckagebenägna fosforformer

Järnbunden fosfor (Fe-P) uppvisar precis som totalhalterna en stor spridning och delvis mycket höga halter (Figur 4, ovan). Halterna låg i intervallet 100-3200 µg/g TS med de allra högsta i Bjurselet, nordöstra Norsjön och Trehörningen. Utmärkande för denna fosforfraktion är att den är redoxkänslig vilket innebär att frisättning till vattenmassan kan väntas

framförallt i situationer av syrgasbrist eftersom järn då förlorar sin fosforbindande förmåga.

Organiskt bunden fosfor (Org-P, Res-P) uppvisade en måttlig variation och uppmättes i måttligt höga halter (340-830 µg Org-P/g TS, 400-1030 µg Res-P/g TS) (Figur 4, ovan). Högst var halterna i Fäbodträsket och Bjurselet som också höll de högsta halterna organiskt material. Frisättning av organiskt bunden fosfor är kopplad till mineralisering av sedimenten. Frisättningen är ofta störst under sommaren då den bakteriella aktiviteten ökar i det förhållandevis varma bottenvattnet och nedbrytningstakten i sedimenten ökar. Delar av fosforfraktionen ligger bunden till mer svårnedbrytbart organiskt material och kommer med tiden att begravas i sedimentet. Normalt sett utgör den läckagebenägna andelen ungefär en tredjedel av den totala organiskt bundna fosforhalten i näringsrika sjöars sediment.

Löst fosfor (Löst P) förekommer normalt sett i betydligt lägre halter än övriga fraktioner och är därför mindre intressanta i sammanhanget. Halterna i undersökta sjöar var att betrakta som låga till måttligt höga (4-90 µg/g TS). I de fall halterna var något högre - främst i Bjurselet, nordöstra Norsjön och Trehörningen - ser detta ut att bero på att den järnbundna fosforn håller höga halter. Den löst bundna fosforn står i jämvikt med den järnbundna som vid halter över cirka 1000 µg P/g TS "spiller över" på den lösta fraktionen. Det indikerar vidare att den järnbundna fosforn närmar sig mättnad trots syresatta förhållanden.

Stabilt bundna fosforformer

Resterande fosforfraktioner, den aluminiumbundna och kalciumbundna, kan betraktas som i stort sett inerta och stabilt fastlagda i sedimenten.

Aluminiumbundna fosfor (Al-P) uppmättes i intervallet 150-1070 µg/g TS med de högsta halterna i Nörd-Lidsträsket, södra Norsjön och Bjurselet. Utmärkande är de generellt högre halterna jämfört med de typiskt låga halterna i sjösediment i södra Sveriges lågland.

Kalciumbundna fosfor (Ca-P) höll tvärtom genomgående mycket låga halter (20-50 µg/g TS) jämfört med sedimenten från södra Sveriges jordbrukslandskap. Förklaringen till skillnaden är densamma som för den höga vattenhalten i sedimenten; frånvaron av gammal havsbotten i avrinningsområdet.

Indikationer på fosforläckage

Fosfors haltförändring i sedimentkärnorna, från ytsediment (0-2 cm) till det något djupare skikt som analyserats (4-6 cm), ger en indikation på om och i vilken utsträckning fosfor frisatts från botten. En tydligt minskad halt tyder på ett betydande fosforläckage från sediment till vattenmassa, i synnerhet om ursprungshalterna var höga. En sammanställning av haltförändringen sett till totalfosfor och de läckagebenägna fraktionerna järnbunden och organiskt bunden fosfor visas nedan (Tabell 2).

Fosforhalternas förändring indikerar en betydande fosforfrisättning för sex av de undersökta sjölokalerna. Mest omfattande tycks fosforläckaget vara för nordöstra Norsjön och Trehörningen där totalhalterna mer än halverats. Omfattande läckage indikeras även för Bjurselet, södra Norsjön och Avan. Indikationer på betydande frisättning finns även för Fäbodträsket, där minskningen i totalfosforhalt dock var betydligt mindre än för övriga fem utpekade sjöar (ca 25%).

Tabell 2. Minskning (%) i halt av totalfosfor, järnbunden fosfor och organiskt bunden fosfor från 0-2 till 4-6 cm sedimentskikt. Inom parentes anges minskningen i $\mu\text{g/gTS}$. Röda fält indikerar en omfattande haltminskning vilket tolkats som att det föreligger en betydande fosforfrisättning från sediment till vattenmassa. Gröna fält visar halter som ökat eller minskat i obetydlig utsträckning, det vill säga inte indikerar någon fosforfrisättning. För ofärgade fält bedöms läget osäkert.

Sjö/lokal	Totalfosfor	Järnbunden fosfor	Organiskt bunden fosfor
Nörd-Lidsträsket	15% (500)	30% (356)	-4% (-46)
Sör-Lidsträsket	15% (533)	14% (231)	13% (162)
Fäbodträsket	26% (760)	30% (246)	31% (491)
Kalvträsket	3% (45)	-5% (-12)	13% (143)
Bjurselet	38% (2288)	50% (1621)	46% (800)
Norsjön nordöstra	72% (3479)	84% (2191)	58% (767)
Norsjön södra	36% (1296)	68% (635)	34% (561)
Labträsket	-1% (-22)	2% (1)	4% (47)
Inre Ljusvattnet	-3% (-43)	-28% (-87)	6% (53)
Trehörningen	54% (2176)	77% (1670)	27% (311)
Avan	36% (838)	62% (343)	37% (436)
Broträsket, norra	11% (180)	38% (74)	7% (80)
Broträsket, södra	0% (2)	8% (32)	3% (32)

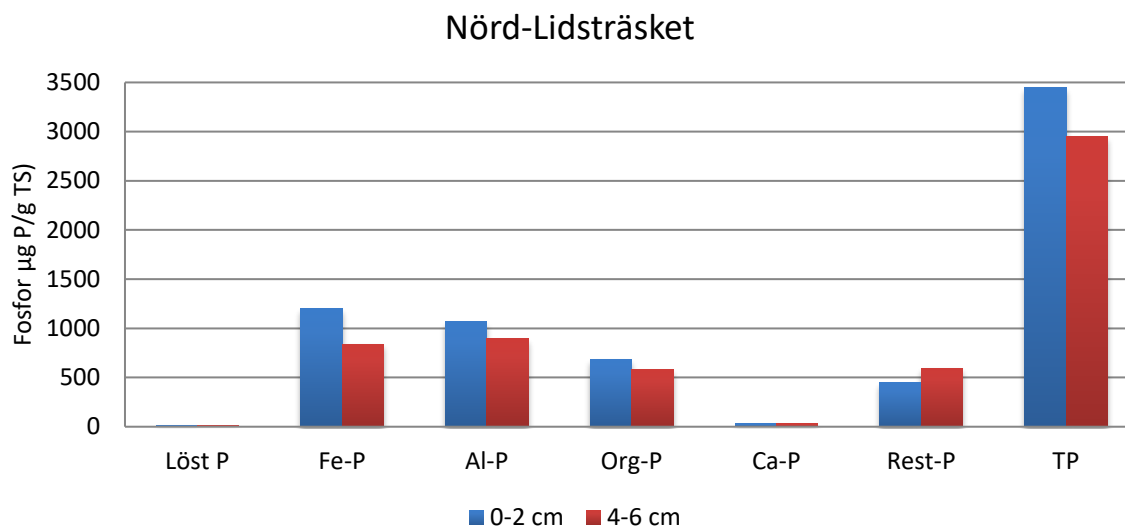
För fem av de sex sjölokaler där frisättningen bedöms vara betydande uppvisade den järnbundna fraktionen den mest omfattande haltminskningen (50-84%). I Fäbodträsket låg minskningen i järnbunden och organiskt bunden fosfor på samma nivå (30%). Ursprungshalterna av järnbunden och organiskt bunden fosfor är avgörande för i hur stor utsträckning fraktionernas haltminskning bidrar till den totala haltminskningen. Om halten av järnbunden fosfor är hög kommer även en mindre omfattande minskning av denna fraktion få stor betydelse för minskningen i totalhalten, och vice versa. För Bjurselet utgjordes

exempelvis den totala haltminskningen (38%; 2290 µg/g TS) till 71 procent av en haltminskning i järnbunden fosfor (50%; 1620 µg/g TS). För Trehörningen, Bjurselet och nordöstra Norsjön där halterna av järnbunden fosfor var mycket höga bidrog denna fosforfraktion i allra störst utsträckning (ca 60-75%) till den totala minskningen. I Avan och Fäbodträsket där järnbunden fosfor utgjorde en mindre andel av totalhalten stod de organiska fraktionerna för huvuddelen av minskningen (ca 50-65%). I södra Norsjön bidrog den järnbundna och organiskt bundna fosfor i ungefär lika delar till minskningen över tid (43-49%).

Nörd-Lidsträsket

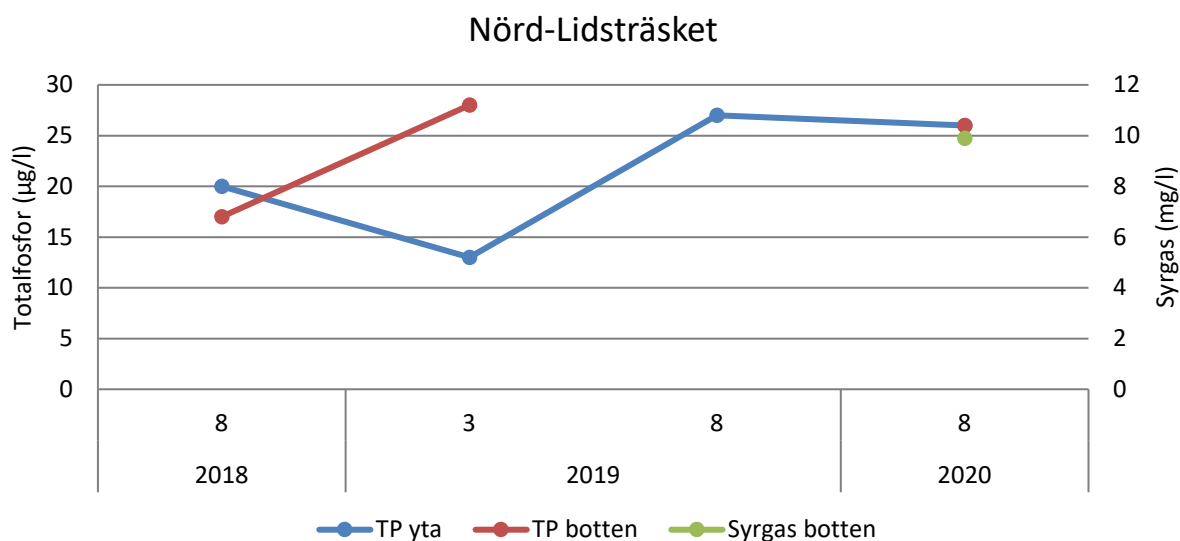
Sedimentprov från Nörd-Lidsträsket togs i slutet av maj på 12,5 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet låg över genomsnittet och hade avklingat något i det något djupare skikt som analyserades (Figur 5). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Fosfor bundet till järn och organiskt material uppmättes på nivåer kring snittet. För den förstnämnda fraktionen var halterna tydligt lägre på större sedimentdjup, och för den andra något högre. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Aluminumbunden fosfor noterades i den högsta halten av undersökta sjöar. Kalciumbunden fosfor uppmättes i halter kring undersökningens låga genomsnitt.

Resultaten tyder på en mycket begränsad frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, motsvarande en minskning kring 15 procent sett till totalhalt. Haltminskningen av fosfor bundet till järn låg något högre, kring 30 procent. Den organiskt bundna fosfor hade totalt sett ökat något i det djupare skiktet.



Figur 5. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Nörd-Lidsträsket, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (AL-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från 4 mättillfällen år 2018-2020 (Figur 6). Data visar på låga till måttligt höga halter (ca 15-25 µg/l) som uppvisar relativt stora skillnader mellan mättillfällena. Mätdata för syrgas finns endast för augusti 2020 och visar på goda syrgasförhållanden.



Figur 6. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvatten och syrgashalt (mg/l) i bottenvatten, Nörd-Lidsträsket 2018-2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Dataunderlaget är i sammanhanget alltför knapphändigt för tolkningar, samt för beräkning av läckagehastighet. Haltökningen i ytvattnet från mars till augusti 2019 kan vara en effekt av att mer fosforrikt bottenvatten blandats upp i ytvattnet, men kan också vara en följd av extern tillförsel.

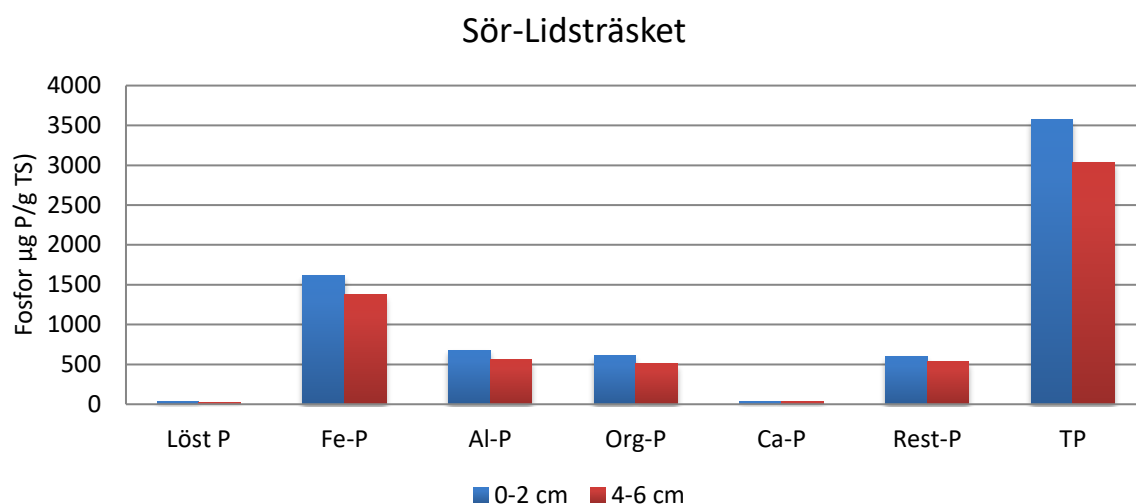
Slutsats: Varken sedimentundersökning eller vattenkvalitetsdata tyder på någon betydande intern fosforbelastning för Nörd-Lidsträsket. Sedimentdata indikerar en viss frisättning av järnbunden fosfor, framförallt i samband med syrgasbrist.

Rekommendation: Fortsatt övervakning av vattenkvalitet rekommenderas i syfte att följa utvecklingen och ge ökad förståelse för hur sjön fungerar.

Sör-Lidsträsket

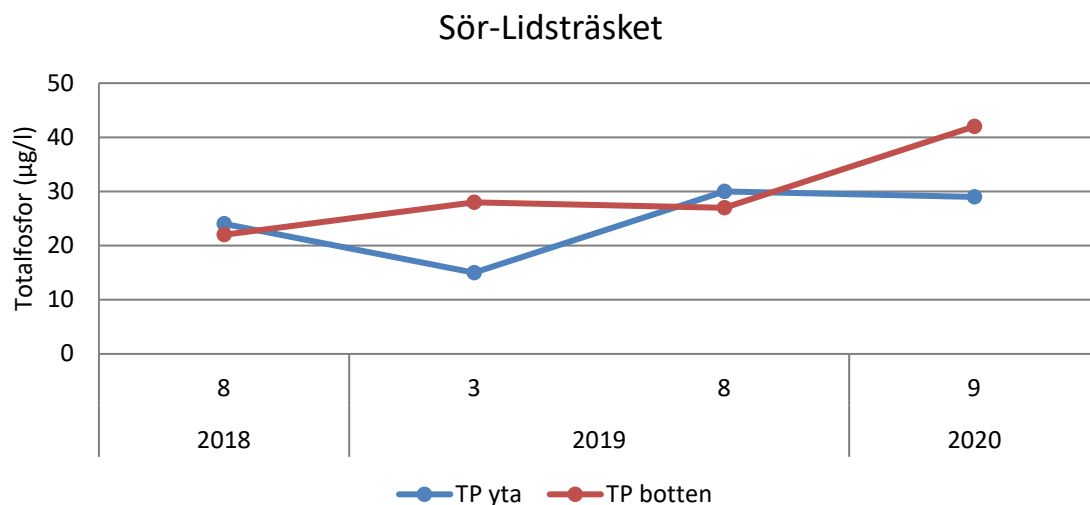
Sedimentprov från Sör-Lidsträsket togs i slutet av maj på 10,2 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet låg över genomsnittet och hade avklingat något i det något djupare skikt som analyserades (Figur 7). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Fosfor bundet till järn och organiskt noterades i halter över genomsnittet respektive kring snittet, och i båda fall i något lägre halt på större sedimentdjup. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Dessa fraktioner noterades i halter över eller kring snittet.

Resultaten tyder på en mycket begränsad frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, motsvarande en minskning kring 15 procent sett till totalhalt. Haltninskningen av fosfor bundet till järn och organiskt material låg på samma nivå.



Figur 7. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Sör-Lidsträsket, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (Al-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från 4 mättillfällen år 2018-2020 (Figur 8). Data visar på låga till måttligt höga halter (ca 15-40 µg/l) som uppvisar relativt stora skillnader mellan mättillfällena. Mätdata för syrgas saknas.



Figur 8. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvatten, Sör-Lidsträsket 2018-2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Dataunderlaget är i sammanhanget alltför knapphändigt för tolkningar, samt för beräkning av läckagehastighet. Hattökningen i ytvattnet från mars till augusti 2019 kan vara en effekt av att fosforrikt bottenvatten blandats upp i ytvattnet, men kan också vara en följd av extern tillförsel eller möjligen en effekt av vattenståndsreglering.

Slutsats: Varken sedimentundersökning eller vattenkvalitetsdata tyder på någon betydande intern fosforbelastning för Sör-Lidsträsket.

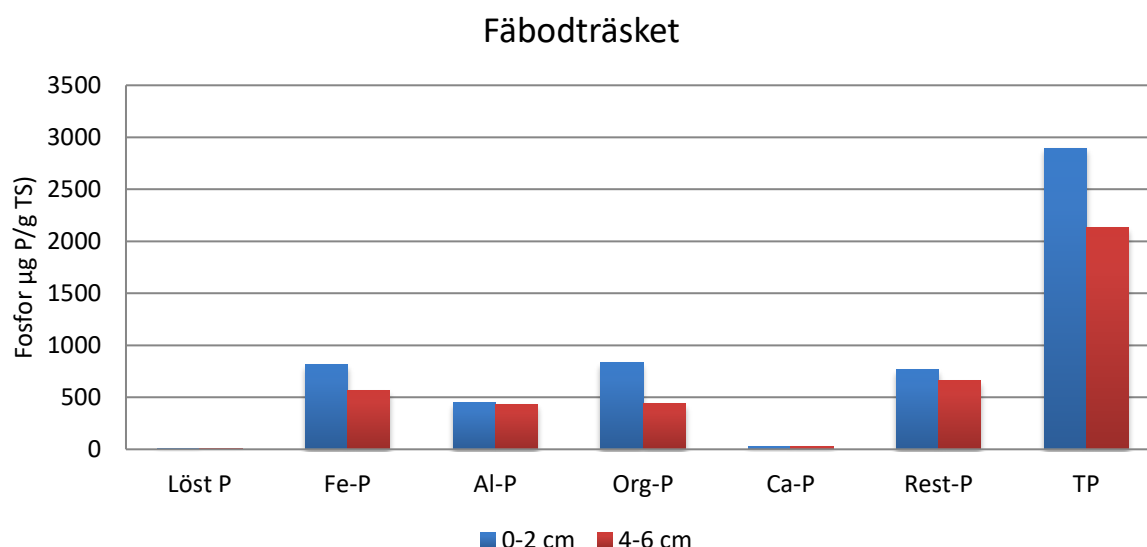
Rekommendation: Fortsatt övervakning av vattenkvalitet rekommenderas i syfte att följa utvecklingen och ge ökad förståelse för hur sjön fungerar.

Fäbodträsket

Sedimentprov från Fäbodträsket togs i slutet av maj på 4,5 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet låg kring genomsnittet för undersökta sjöar och uppvisade en tydlig minskning i det något djupare skikt som analyserades (Figur 9). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Järnbunden och organiskt bunden fosfor förekom i måttligt höga halter som minskat tydligt på större sedimentdjup. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas

som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Dessa fraktioner uppmättes i relativt låga halter.

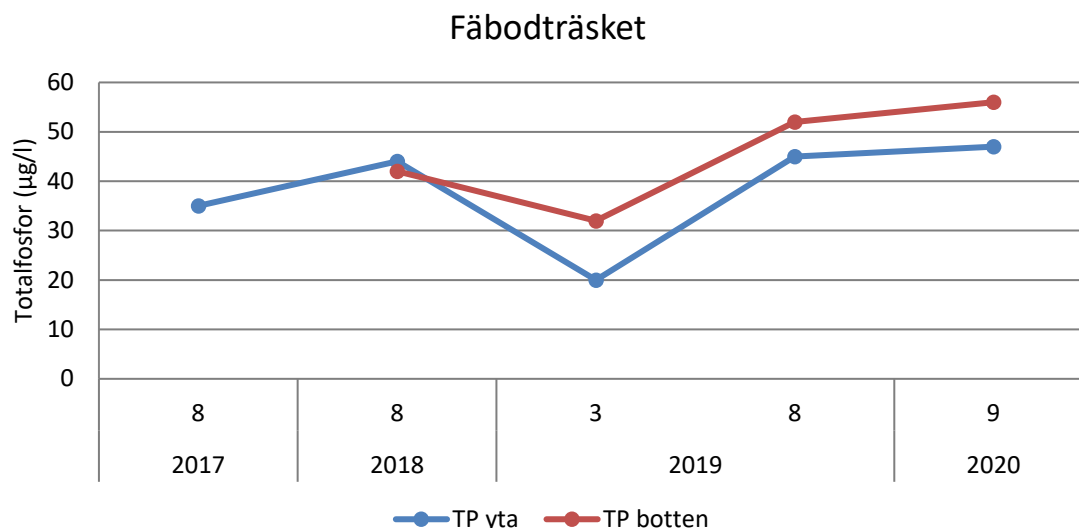
Resultaten indikerar en viss frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, motsvarande en minskning av cirka 25 procent sett till totalhalt. En något större minskning (ca 30%) ses för fosfor bundet till järn och organiskt material.



Figur 9. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Fäbodträsket, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (AL-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå för enstaka tillfällen åren 2017 till 2020 (Figur 10). Fosforhalterna i yt- och bottenvattnet samvarierar tydligt, vilket indikerar att den grunda sjön regelbundet omblandas. Dataunderlaget är knapphändigt men visar på betydande variationer i ytvattnets fosforhalter (ca 20-45 µg/l). Den allra lägsta halten noterades vid det enda tillfälle då sjön undersökts vintertid.

Resultaten indikerar en viss frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa under sommaren. Det knapphändiga dataunderlaget gör bedömningen osäker. Att halterna tycks högre under den varma säsongen kan vara ett tecken på att fosfor frisätts i samband med nedbrytning av organiskt material då den bakteriella aktiviteten ökar i det förhållandevis varma bottenvattnet. Om sjön drabbas av syrebrist sker sannolikt frisättning även av järnbunden fosfor. Den högsta läckagehastigheten, blygsamma 0,14 mg P/m², dygn, beräknades baserat på haltökningen från mars till augusti år 2019.



Figur 10. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvatten, Fäbodträsket 2017-2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Slutsats: Sedimentundersökningen och vattenkvalitetsdata tyder på en förhöjd intern fosforbelastning för Fäbodträsket. Läckaget tycks kunna leda till en fördubbling av fosforhalterna i sjöns vattenmassa. De ökande halter som ses från mars till augusti kan också vara en följd av extern fosforpåverkan. Bedömningen är osäker till följd av att tillgången till vattenkvalitetsdata är mycket begränsad. Fosforfrisättningen tycks främst kopplad till nedbrytning av organiskt material under sommaren, men läckage är också troligt i samband med syrgasbrist.

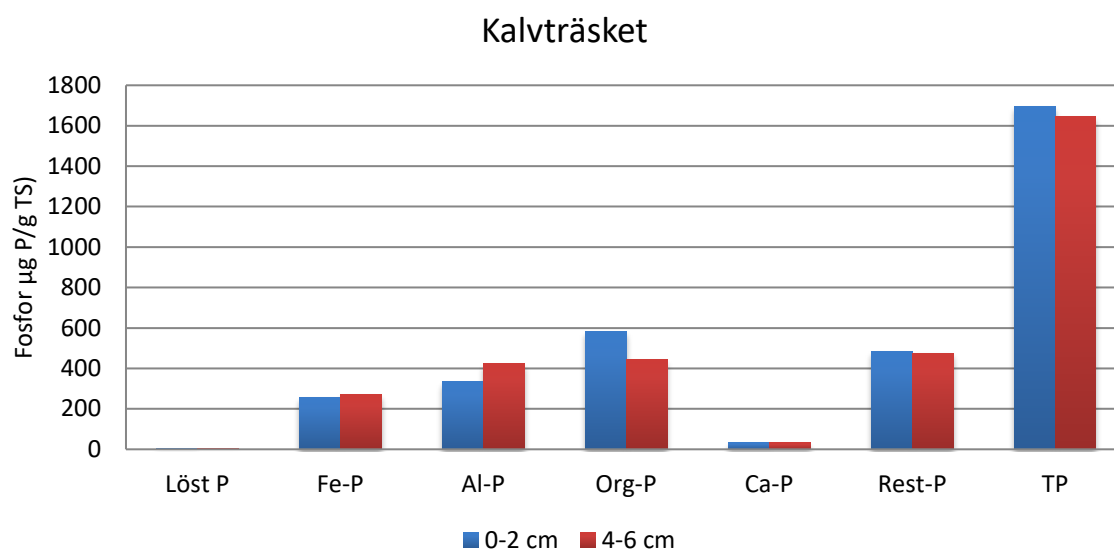
Rekommendation: Fortsatt och utökad övervakning av vattenkvalitet rekommenderas i första hand för att ge en ökad förståelse för hur sjön fungerar. Därefter rekommenderas vid behov en utökad sedimentundersökning.

Kalvträsket

Sedimentprov från Kalvträsket togs i slutet av maj på 5,5 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet var bland de lägsta i undersökningen och hade avklingat obetydligt i det något djupare skikt som analyserades (Figur 11). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Fosfor bundet till järn uppmättes i låga halter som var något högre på större sedimentdjup. Organiskt bunden fosfor förekom i halter något under genomsnittet. Halterna uppvisade en liten minskning till det djupare liggande skiktet. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P)

kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Dessa fosforformer uppmättes i tämligen låga halter.

Resultaten tyder på en mycket begränsad frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, motsvarande en minskning av enstaka procent sett till totalhalt. Haltminskningen av organiskt bunden fosfor var större och låg på drygt 10 procent.

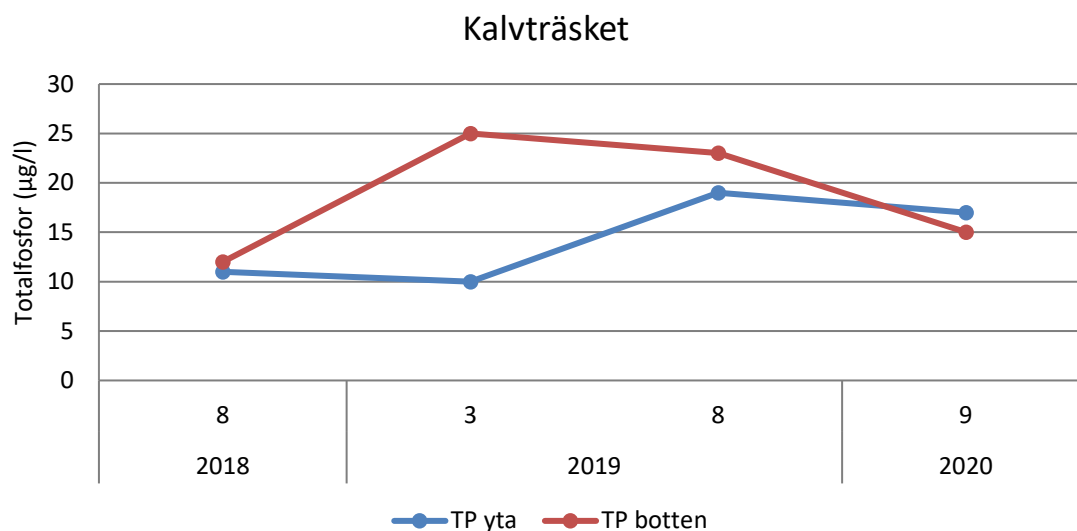


Figur 11. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Kalvträsket, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (AL-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från enstaka mättillfällen år 2018, 2019 och 2020 (Figur 12). Fosforhalterna var överlag relativt låga (10-25 µg/l) och uppvisade stora skillnader mellan några av de få mättillfällena. Vid provtagningen i augusti 2018 låg både yt- och bottenhalt på samma låga nivå (10 µg/l). Året därpå var halten i bottenvattnet tydligt förhöjd (25 µg/l) i mars. I augusti låg halterna vid både yta och botten på ungefär samma relativt sett höga nivå (ca 20 µg/l). Vid nästa provtagning, september 2020, var halterna något lägre (15 µg/l).

Resultaten visar på relativt låga fosforhalter i både yt- och bottenvatten, men tyder på att det tidvis sker en frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa. Data indikerar att frisättning skett under vintern, och då sannolikt i samband med syrgasbrist och läckage av järnbunden fosfor, även om mätdata saknas för att styrka detta. Haltökningen i ytvattnet från mars till augusti är troligen främst en effekt av att fosforrikt bottenvatten förts upp till ytan vid omblandning. Det är också möjligt att effekten delvis kan kopplas till läckage av organiskt bunden fosfor som frisatts i samband med hög nedbrytningsaktivitet under den varma årstiden. En haltökning till följd av extern fosfortillförsel är också tänkbar, främst under vårens högflödesperiod, vad gäller diffusa källor. Bedömningen är

osäker eftersom data saknas för vår och försommar. Dataunderlaget bedömdes vara alltför knapphändigt för beräkning av läckagehastigheter.



Figur 12. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvatten, Kalvträsket 2018, 2019 och 2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Slutsats: Vattenkvalitetsdata tyder på att den interna fosforbelastningen är förhöjd och påverkar fosforhalterna i Kalvträskets vattenmassa. Dataunderlaget är alltför knapphändigt för att möjliggöra säkrare bedömningar, men läckaget tycks främst ske under vinterperioden och sannolikt genom frisättning av järnbunden fosfor i samband med dåliga syrgasförhållanden. Förhöjt läckage är även tänkbart genom nedbrytning av organiskt material under sommaren. Slutsatserna styrks inte av sedimentundersökningen som indikerar obetydliga läckage. Att så är fallet kan förklaras av att provtagning gjordes i slutet av maj då järnbunden fosfor åter kunnat fastläggas till sedimenten, tack vare syresättning i samband med omblandning och/eller utsedimentation av växtplankton. Förklaringen kan också vara att inga djupare sedimentskikt analyserats.

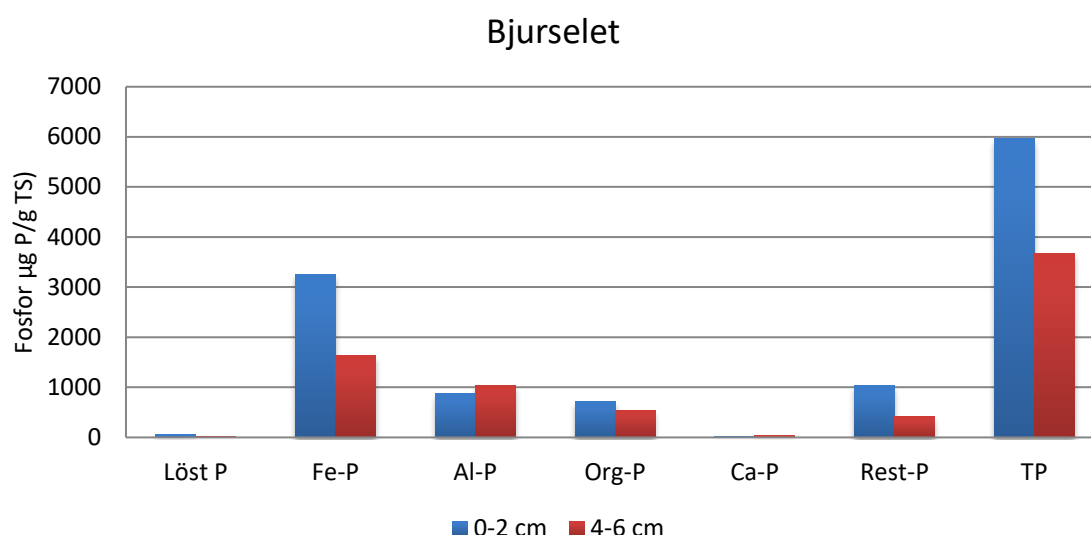
Rekommendation: Fortsatt och utökad övervakning av vattenkvalitet rekommenderas i första hand för att ge en ökad förståelse för hur sjön fungerar. Därefter rekommenderas vid behov en utökad sedimentundersökning.

Bjurselet

Sedimentprov från Bjurselet togs i slutet av maj på 10 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet var mycket höga och hade avklingat tydligt i det något djupare skikt som analyserades (Figur 13). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten

löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Fosfor bundet till järn och organiskt material förekom i mycket höga respektive höga halter som minskat till ungefär hälften på större sedimentdjup. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Aluminiumbunden fosfor uppmättes i relativt hög halt. Halten kalciumbunden fosfor var mycket låg.

Resultaten indikerar en betydande frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, motsvarande en minskning av nära 40 procent sett till totalhalt. Haltminskningen av fosfor bundet till järn och organiskt material låg kring 50 procent. Järnbunden fosfor förekom i högst halter och stod för det största bidraget till den interna fosforbelastningen. Utmärkande för denna fosforfraktion är att den är redoxkänslig, och att läckage kan väntas framförallt i situationer av syrgasbrist eftersom järn då förlorar sin fosforbindande förmåga.

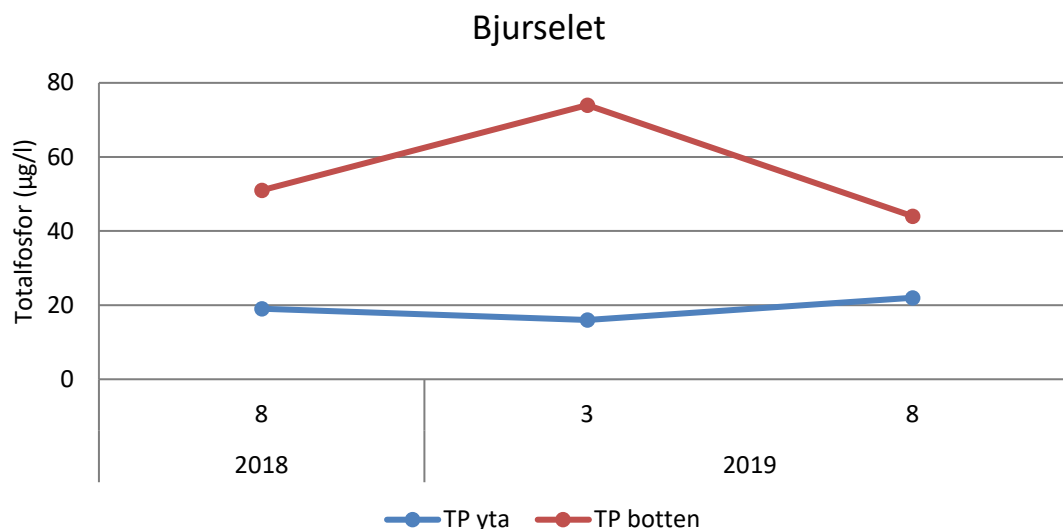


Figur 13. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Bjurselet, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (Al-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från sammantaget 3 mätillfällen år 2018-2019 (Figur 14). Fosforhalterna i bottenvattnet låg på en måttligt hög nivå (ca 50 µg/l) vid de båda provtagningarna i augusti. I mars 2018 var halten tydligt förhöjd, men inte särskilt hög (ca 75 µg/l). Ytvattenhalten låg vid samtliga tillfällen kring 20 µg/l. Mätdata saknas för syrgas.

Resultaten indikerar viss frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, i synnerhet under vintern, och då sannolikt i samband med syrgasbrist, även om mätdata saknas för att styrka detta. Under sådana förhållanden förlorar järn sin fosforbindande förmåga, och fosfor kan frisättas från sediment till vattenmassa. Den knapphändiga mätdata som finns att tillgå kan inte påvisa att frisättningen haft någon påverkan på

fosforhalten i ytvattnet. Eftersom de högsta bottenvattenhalterna uppmättes i mätperiodens början (2019) kan ingen (positiv) läckagehastighet beräknas.



Figur 14. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvatten, Bjurselet 2018-2019. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Slutsats: Sedimentundersökningen tyder på att den interna fosforbelastningen är kraftigt förhöjd. Bjurselets sediment uppvisade de allra högsta totalfosforhalterna av samtliga undersökta sjöar. Sjön hade också de allra högsta halterna av järnbunden fosfor vilket innebär att omfattande fosforläckage riskeras, framförallt i samband med syrgasbrist. Den knapphändiga vattenkvalitetsdata som finns att tillgå visar på måttligt förhöjda fosforhalter vid botten, men kan inte påvisa att frisättningen haft någon påverkan på fosforhalten i ytvattnet.

Rekommendation: Fortsatt och utökad övervakning av vattenkvalitet rekommenderas, liksom vidare sedimentstudier. Undersökningarna syftar till att ge underlag för att skatta den interna belastningens storlek och, vid behov, för åtgärdsplanering i syfte att minska fosforläckaget från sedimenten.

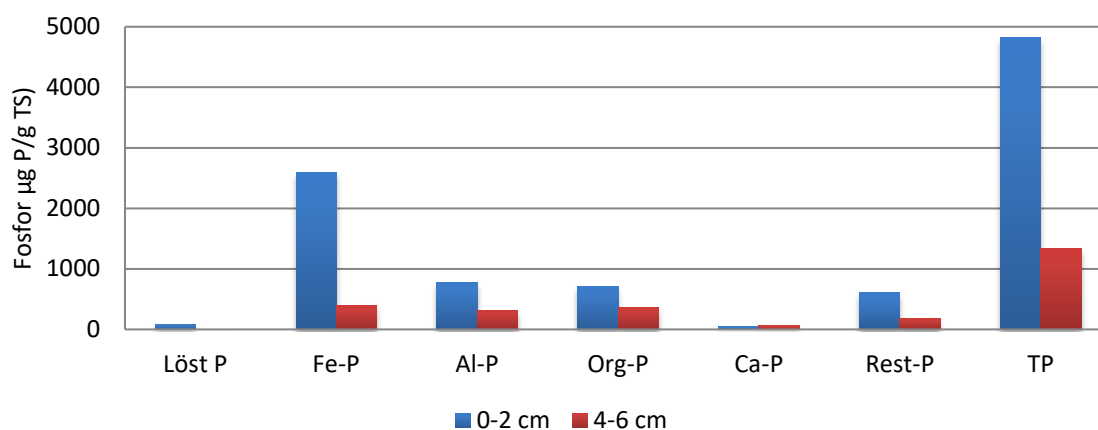
Norsjön, nordöstra

Sedimentprov från Norsjöns nordöstra bassäng togs i slutet av maj på 16 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet var mycket höga och hade avklingat drastiskt till det något djupare skikt som analyserades (Figur 15). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Järnbunden fosfor uppmättes i mycket höga halter som minskat än mer kraftigt än

totalhalten till det djupare skiktet. Organiskt bunden fosfor förekom i halter över genomsnittet och hade minskat tydligt till större sedimentdjup. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Aluminiumbunden fosfor uppmättes i relativt hög halt. Halten kalciumbunden fosfor var mycket låg.

Resultaten indikerar en mycket omfattande frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, motsvarande en minskning av drygt 70 procent sett till totalhalt. Haltminskningen av fosfor bundet till järn låg på hela 85 procent, och organiskt material kring 60 procent. Järnbunden fosfor förekom i högst halter och stod för det största bidraget till den interna fosforbelastningen. Utmärkande för denna fosforfraktion är att den är redoxkänslig, och att läckage kan väntas framförallt i situationer av syrgasbrist eftersom järn då förlorar sin fosforbindande förmåga.

Norsjön, nordöstra

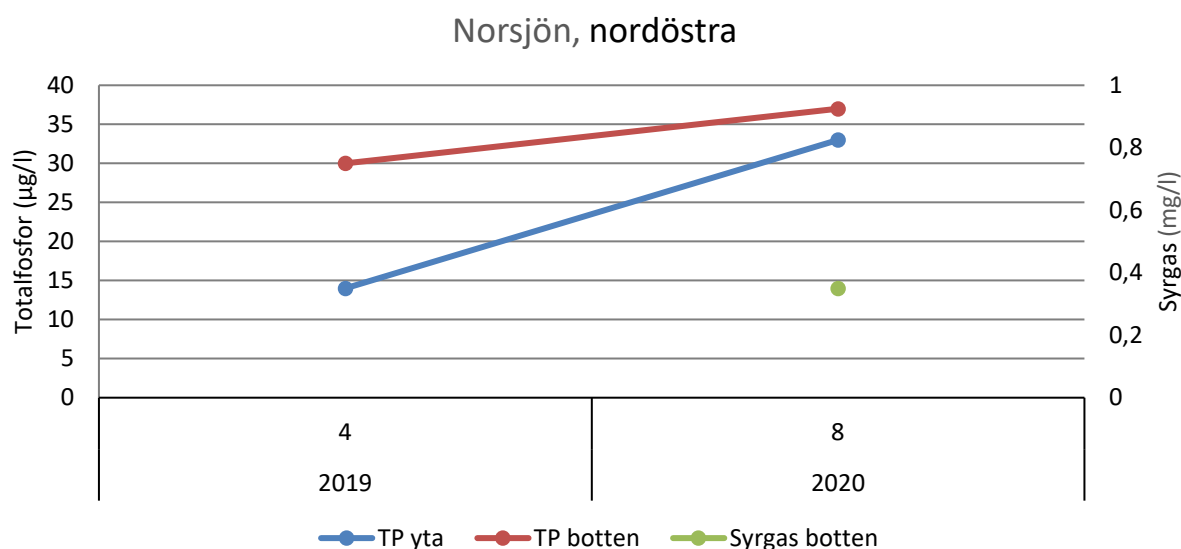


Figur 15. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Norsjön, nordöstra, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (Al-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Att även aluminiumbunden fosfor – som normalt betraktas som inert - uppmättes i hela 60 procent lägre halt i det djupare skiktet tyder på någon form av förändring i sedimenterande material. I de fall ett avloppsreningsverk fäller med aluminiumbaserade flockmedel kan bräddningar ge upphov till förhöjda halter av aluminiumbunden fosfor i de sedimentskikt som utgjorde sedimentytan vid bräddningstillfället.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från endast 2 mättillfällen år 2019 och 2020 (Figur 16). Data visar på låga till måttligt höga halter som uppvisar stora skillnader mellan mättillfällena. I april 2019 var ytvattenhalten låg (ca 15 µg/l) och fosforhalten i bottenvattnet förhöjd, om än inte särskilt hög (30 µg/l). Mätdata för syrgas finns endast för augusti och visar på svår syrgasbrist.

Resultaten indikerar viss frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa under vintern, och då sannolikt i samband med syrgasbrist, även om mätdata saknas för att styrka detta. Under sådana förhållanden förlorar järn sin fosforbindande förmåga, och fosfor kan frisättas från sediment till vattenmassa. Dataunderlaget är alltför knapphändigt för vidare tolkningar, samt för beräkning av läckagehastighet.



Figur 16. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvatten, Norsjön, nordöstra 2019 och 2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Slutsats: Sedimentundersökningen tyder på att den interna fosforbelastningen är mycket kraftigt förhöjd. Sedimentdata uppvisade de näst högsta totalfosforhalterna av samtliga undersökta sjöar. Sjöns nordöstra del hade också de näst högsta halterna av järnbunden fosfor vilket innebär att omfattande fosforläckage riskeras, framförallt i samband med syrgasbrist. Den knapphändiga mätdata som finns att tillgå vad gäller vattenkvalitetsdata visar på måttligt förhöjda halter vid botten, men kan inte påvisa att frisättningen haft någon påverkan på fosforhalten i ytvattnet.

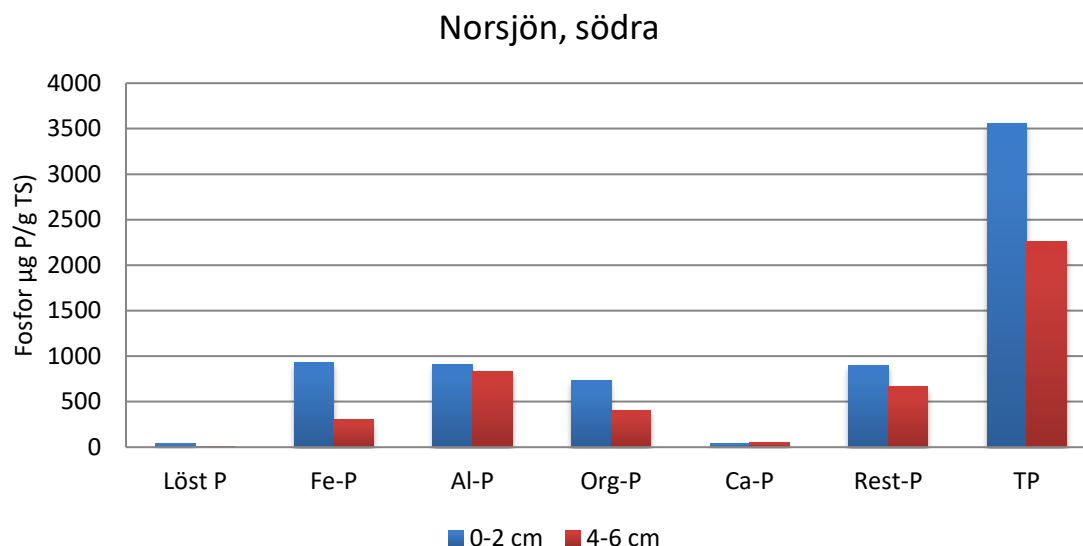
Rekommendation: Fortsatt och utökad övervakning av vattenkvalitet rekommenderas, liksom en utökad sedimentundersökning. Undersökningarna syftar till att ge underlag för att skatta den interna belastningens storlek och, vid behov, för åtgärdsplanering i syfte att minska fosforläckaget från sedimenten.

Norsjön, södra

Sedimentprov från Norsjöns södra bassäng togs i slutet av maj på 10,5 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet låg över genomsnittet och

var tydligt lägre i det något djupare skikt som analyserades (Figur 17). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Järnbunden och organiskt bunden fosfor uppmättes i halter strax över undersökningens medelvärden och i tydligt lägre halter på större sedimentdjup, i synnerhet vad gäller den järnbundna fraktionen. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Aluminiumbunden fosfor uppmättes i relativt hög halt. Halten kalciumbunden fosfor var mycket låg.

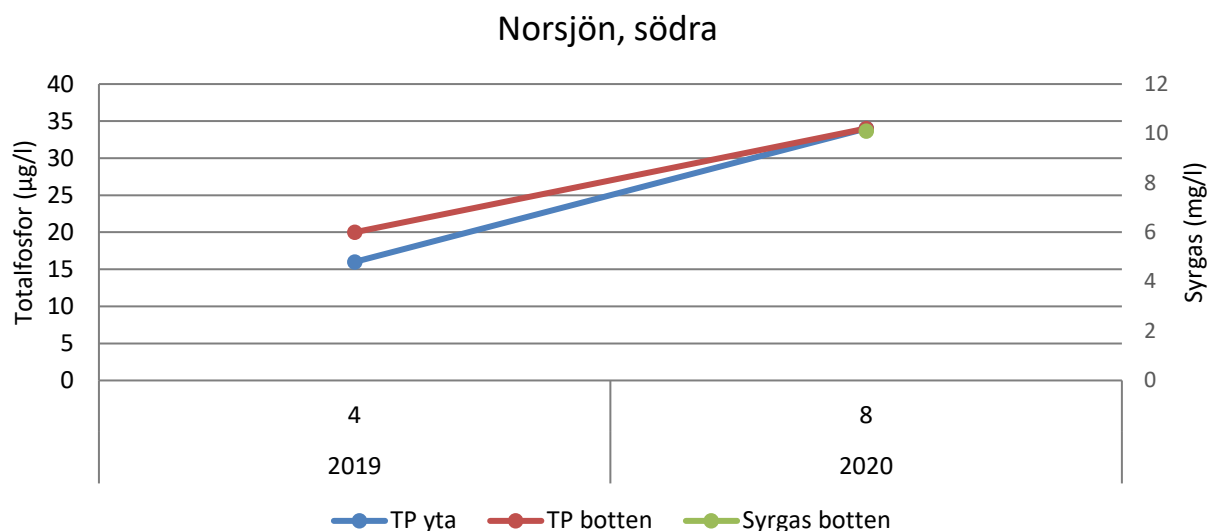
Resultaten indikerar en betydande frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, motsvarande en minskning kring 35 procent sett till totalhalt. Haltminskningen av organiskt bunden fosfor låg på samma nivå, medan järnbunden fosfor minskat betydligt kraftigare, kring 70 procent. Utmärkande för denna fosforfraktion är att den är redoxkänslig, och att läckage kan väntas framförallt i situationer av syrgasbrist eftersom järn då förlorar sin fosforbindande förmåga.



Figur 17. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Norsjön, södra, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (Al-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns endast att tillgå från 2 mätillfällen år 2019 och 2020 (Figur 18). Data visar på låga till måttligt höga halter som uppvisar stora skillnader mellan mätillfällena. I april 2019 låg både yt- och bottenhalt på en förhållandevis låg nivå (ca 15-20 µg/l). I augusti 2020 låg halterna tydligt högre, men var att betrakta som måttligt höga (ca 35 µg/l). Mätdata för syrgas finns endast för augusti och visar på goda syrgasförhållanden.

Dataunderlaget är i sammanhanget alltför knapphändigt för tolkningar, samt för beräkning av läckagehastighet.



Figur 18. Totalfosforhalt ($\mu\text{g/l}$) i yt- och bottenvatten, Norsjön, södra 2019 och 2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Slutsats: Sedimentundersökningen tyder på att den interna fosforbelastningen är kraftigt förhöjd. Sedimentdata uppvisade höga totalfosforhalter och höga halter av järnbunden fosfor. Det senare innebär att omfattande fosforläckage riskeras, framförallt i samband med syrgasbrist. Den knapphändiga mätdata som finns att tillgå vad gäller vattenkvalitetsdata är inte tillräckligt för tolkningar av påverkan genom internbelastning.

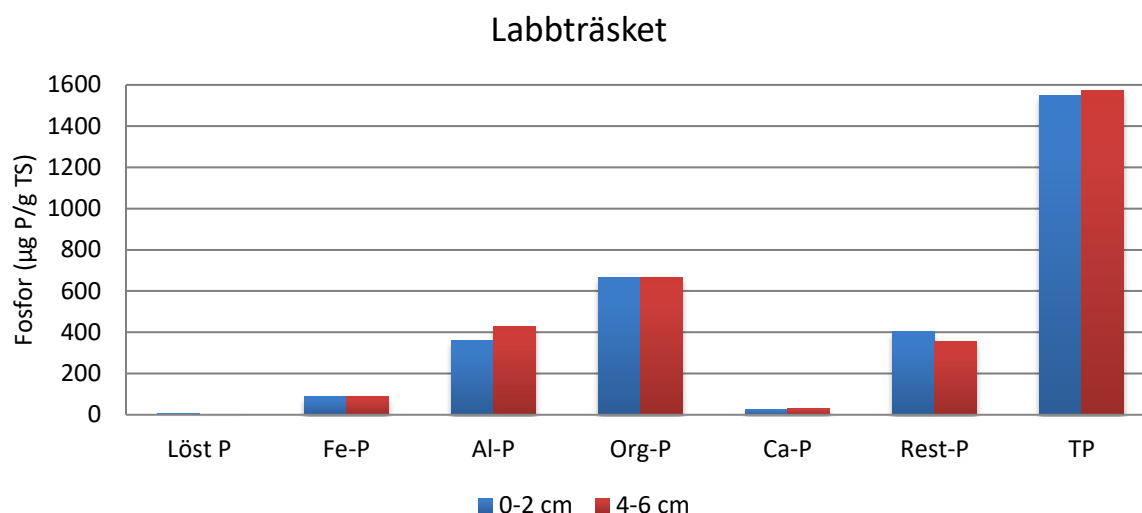
Rekommendation: Fortsatt och utökad övervakning av vattenkvalitet rekommenderas, liksom en utökad sedimentundersökning. Undersökningarna syftar till att ge underlag för att skatta den interna belastningens storlek och, vid behov, för åtgärdsplanering i syfte att minska fosforläckaget från sedimenten.

Labbräsket

Sedimentprov från Labbräsket togs i slutet av maj på 6 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet var bland de lägsta av samtliga undersökta sjöar och uppvisade något högre halter i det något djupare skikt som analyserades (Figur 19). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Järnbunden fosfor uppmättes i mycket låga halter och var de allra lägsta i undersökningen. Halten var i princip densamma i båda skikten. Fosfor bunden till organiskt material låg på

halter kring genomsnittet eller något därunder och var i stort sett oförändrad i det djupare skiktet. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Dessa fosforformer uppmättes i halter under genomsnittet.

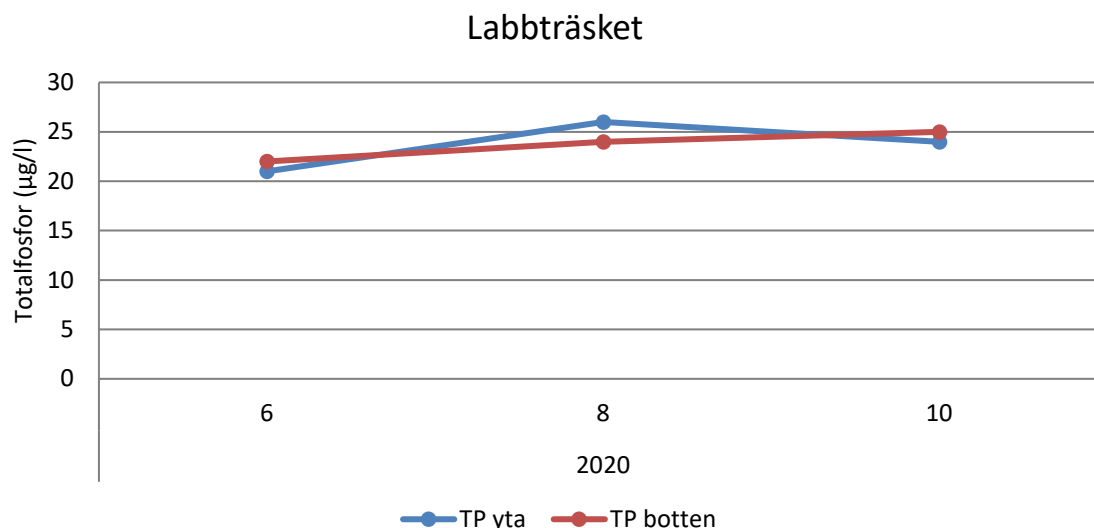
Resultaten kan inte påvisa någon frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, utan indikerar tvärtom en något ökad fastläggning, sett till totalhalt. En viss minskning (ca 2-4%) ses för fosfor bundet till järn och organiskt material.



Figur 19. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Labbträsket, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (Al-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från 3 mättillfällen år 2020 (Figur 20). Fosforhalterna låg stabilt på en måttligt hög nivå (20-25 µg/l) i både yt- och bottenvatten.

Resultaten pekar inte på annat än obetydlig frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa.



Figur 20. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvatten, Labbträsket 2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

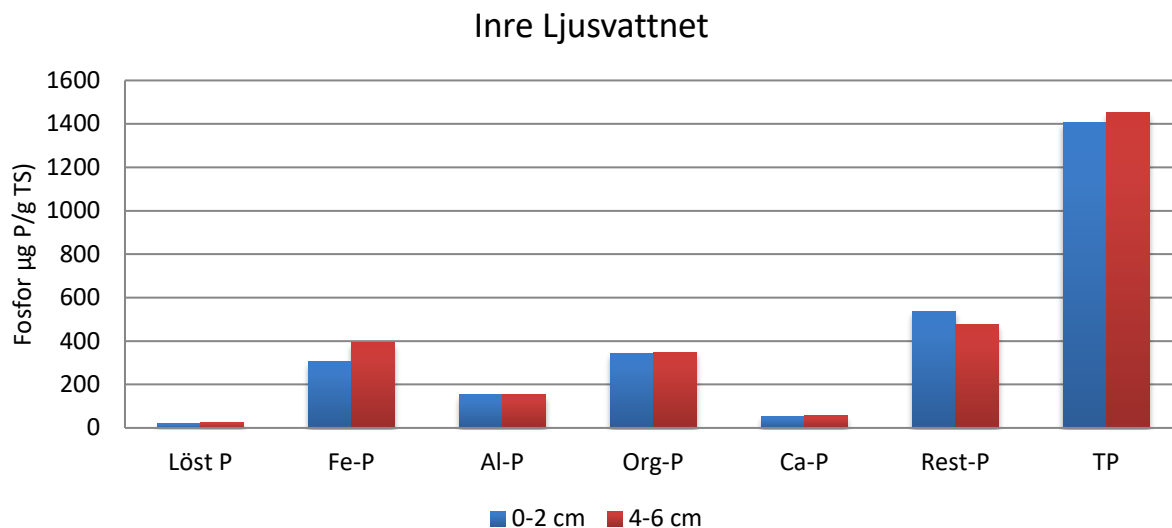
Slutsats: Varken sedimentundersökning eller vattenkvalitetsdata tyder på någon betydande intern fosforbelastning för Labbträsket. Sjöns sediment hade de lägsta halterna av järnbunden fosfor vilket innebär att risken för omfattande fosforläckage är mycket liten i samband med syrgasbrist. En förhöjd frisättning av fosfor från bottenarna är dock tänkbart under sommaren i samband med nedbrytning av organiskt material.

Rekommendation: Fortsatt övervakning av sjöns vattenkvalitet i syfte att följa dess utveckling.

Inre Ljusvattnet

Sedimentprov från Inre Ljusvattnet togs i slutet av maj på 3,6 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet var de lägsta av samtliga undersökta sjöar och uppvisade något högre halter i det något djupare skikt som analyserades (Figur 21). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Järnbunden fosfor låg något lägre än snittet och uppvisade i likhet med totalhalten högre nivåer i det djupare skiktet. Fosfor bunden till organiskt material förekom i de lägsta halter som uppmätts i undersökningen, och minskade obetydligt på större sedimentdjup. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Dessa fraktioner uppmättes i mycket låga halter.

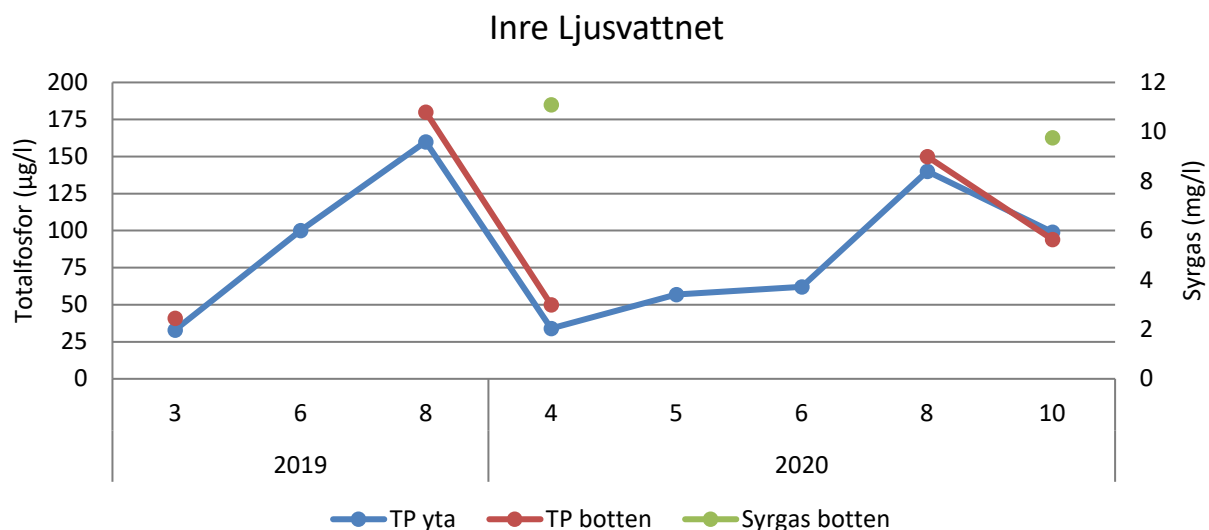
Resultaten kan inte påvisa någon frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, utan indikerar tvärtom ökad fastläggning. En viss minskning (ca 5%) ses för fosfor bundet till organiskt material.



Figur 21. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Inre Ljusvattnet, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (Al-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från 3-5 mättillfällen år 2019 och 2020 varav sammantaget 5 tillfällen även omfattar bottenvattnet (Figur 22). Fosforhalterna i yt- och bottenvattnet samvarierar tydligt, vilket indikerar att den grunda sjön regelbundet omblandas. Halterna uppvisar extremt kraftiga variationer med de lägsta värdena (ca 30 µg/l) under våren och cirka 5 gånger så höga halter (140-160 µg/l) i augusti. Syrgashalter finns endast att tillgå för två mättillfällen (april, okt 2020) och visar på goda syrgasförhållanden.

Resultaten indikerar en betydande frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa under sommaren. Att halterna stegras från vår till högsommar tyder på att fosfor frisätts främst i samband med nedbrytning av organiskt material då den bakteriella aktiviteten ökar i det förhållandevis varma bottenvattnet. Om sjön skulle drabbas av syrebrist sker sannolikt frisättning även av järnbunden fosfor. Baserat på haltökningen i bottenvattnet från vår till sommar 2019 och 2020 beräknades läckagehastigheten till 0,8-0,9 mg P/m², dygn.



Figur 22. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvatten och syrgashalt (mg/l) i bottenvatten, Inre Ljusvattnet 2019-2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

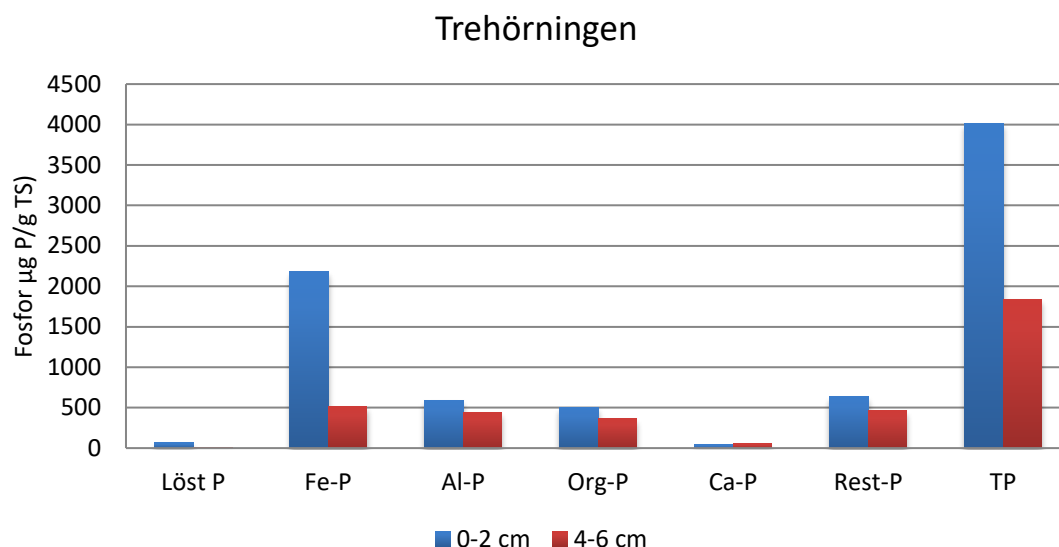
Slutsats: Vattenkvalitetsdata tyder på att den interna fosforbelastningen är förhöjd och i mycket hög utsträckning påverkar fosforhalterna i Inre Ljusvattnets vattenmassa. Av allt att döma är fosforfrisättningen främst kopplad till nedbrytning av organiskt material under sommaren. Slutsatsen styrks inte av sedimentundersökningen. Att så är fallet kan förklaras av att inga djupare sedimentskikt analyserats, samt i viss mån av att provtagning ägde rum under våren då fosfor ännu låg bundet till organiskt material.

Rekommendation: Fortsatt övervakning av vattenkvalitet rekommenderas i syfte att ge underlag för att skatta den interna belastningens storlek.

Trehörningen

Sedimentprov från Trehörningen togs i slutet av maj på 16,6 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet var höga och hade avklingat kraftigt i det något djupare skikt som analyserades (Figur 23). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Järnbunden fosfor förekom i relativt höga halter som minskat mycket tydligt på större sedimentdjup. Organiskt bunden fosfor noterades i halter kring genomsnittet eller något under, och var tydligt lägre i det djupare skiktet. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Dessa fraktioner uppmättes i halter kring genomsnittet för undersökningen.

Resultaten indikerar en betydande frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, motsvarande en minskning av drygt 50 procent sett till totalhalt. Störst var haltningsminskningen (nära 80%) för den järnbundna fosfor. Utmärkande för denna fosforfraktion är att den är redoxkänslig, något som innebär att järn förlorar sin fosforbindande förmåga i situationer då det råder syrgasbrist. Den organiskt bundna fosfor uppvisade en mindre omfattande minskning (ca 25%).

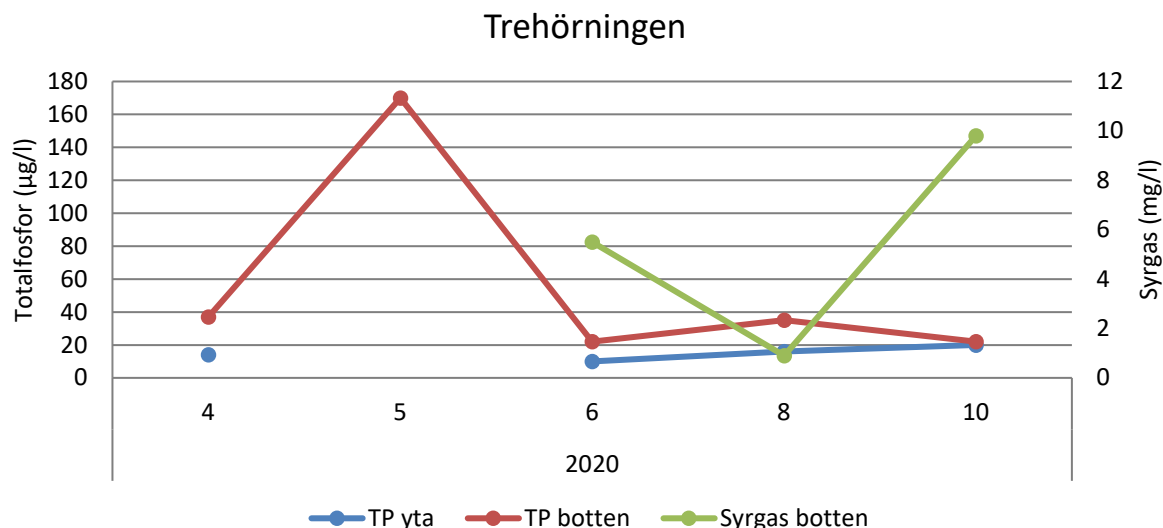


Figur 23. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Trehörningen, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (AL-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från 5 mätillfällen år 2020 (Figur 24). Fosforhalterna i bottenvattnet var måttligt höga (ca 40 µg/l) vid den första provtagningen i april och hade mer än tredubblats (170 µg/l) till maj, något som rimligen kan kopplas till läckage från sedimenten (Figur 2). Tyvärr saknas mätdata för ytvatten från det senare tillfället, och det kan inte uteslutas att de höga halterna delvis är en följd av extern fosfortillförsel. Till juni hade fosforhalten i bottenvattnet minskat kraftigt (ca 20 µg/l) och låg därefter kring ungefär samma nivå. Ytvattenhalterna var genomgående låga och någorlunda stabila (ca 10-20 µg/l) även om en förhöjning sågs i augusti och oktober. Syrgashalter finns endast att tillgå för de sista tre mätillfällena. I augusti låg halterna nära noll. Goda syrgasförhållanden rådde i juni och oktober, detta till följd av att sjön omblandats.

Resultaten indikerar en betydande frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa under våren och då sannolikt i samband med syrgasbrist, även om mätdata saknas för att styrka detta. Under sådana förhållanden förlorar järn sin fosforbindande förmåga, och fosfor kan frisättas från sediment till vattenmassa. Den kraftigt minskade halten från maj till juni är troligen som en effekt av utsedimentation av växtplankton och/eller järn-

fosforutfällning i samband med syresättning av bottenarna vid omblandning. Belägg saknas för att den interna fosforbelastningen skulle ha påverkat fosforhalterna i ytvattnet. Baserat på haltökningen i bottenvattnet från april till maj beräknades läckagehastigheten till cirka 4 mg P/m², dygn.



Figur 24. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvatten samt syrgashalt (mg/l) i bottenvatten, Trehörningen 2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Slutsats: Sedimentundersökning och vattenkvalitetsdata tyder på att den interna fosforbelastningen är förhöjd och i mycket hög utsträckning påverkar fosforhalterna i åtminstone bottenvattnet. Mätdata saknas för att belägga att även ytvattenhalterna påverkats, men det ter sig sannolikt.

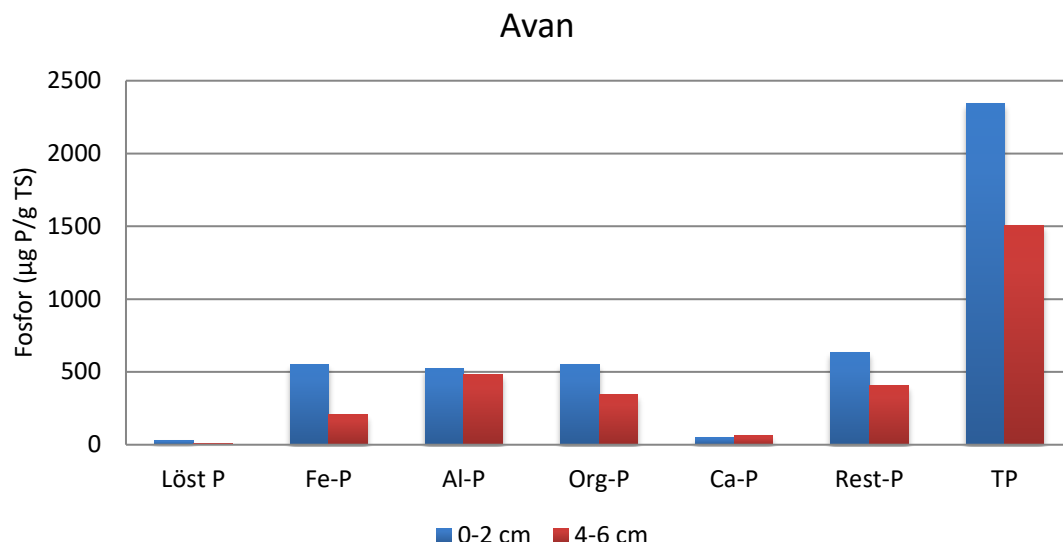
Rekommendation: Fortsatt och utökad övervakning av vattenkvalitet rekommenderas, liksom en utökad sedimentundersökning. Undersökningarna syftar till att ge underlag för att skatta den interna belastningens storlek och, vid behov, för åtgärdsplanering i syfte att minska fosforläckaget från sedimenten.

Avan

Sedimentprov från Avan togs i slutet av maj på 7,5 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet var måttligt höga och hade avklingat tydligt i det något djupare skikt som analyserades (Figur 25). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Järnbunden och organiskt bunden fosfor förekom i måttligt höga halter som minskat tydligt på större sedimentdjup. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller

kalций (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Dessa fraktioner uppmättes i relativt låga halter.

Resultaten indikerar en betydande frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, motsvarande en minskning av cirka 35 procent sett till totalhalt. Motsvarande minskning (ca 35%) ses för den organiskt bundna fosfor. Störst var haltnedgången (ca 60%) för den järnbundna fosfor. Utmärkande för denna fosforfraktion är att den är redoxkänslig, något som innebär att järn förlorar sin fosforbindande förmåga i situationer då det råder syrgasbrist.



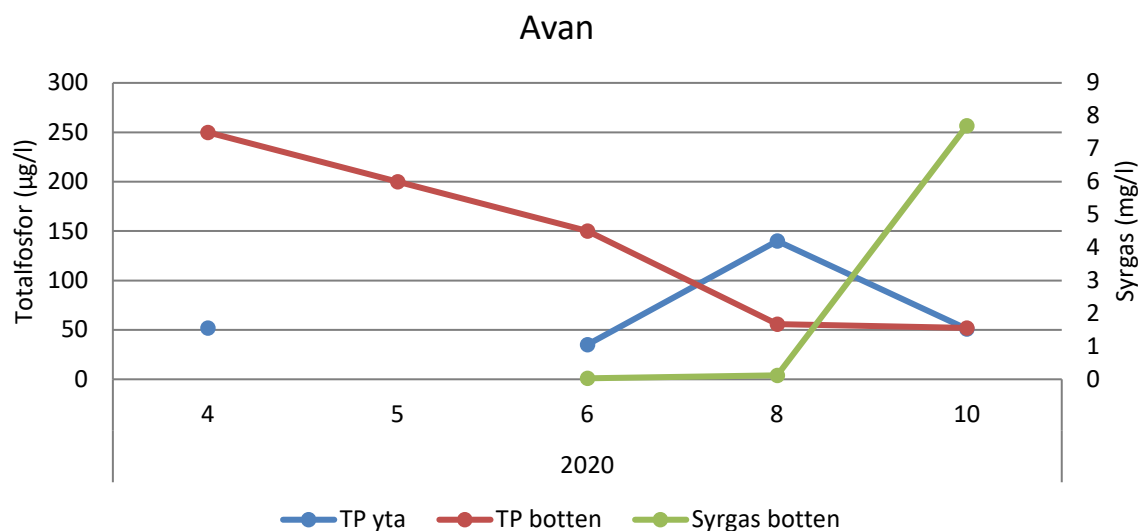
Figur 25. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Avan, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (AL-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från 5 mätillfällen år 2020.

Fosforhalterna i bottenvattnet var mycket höga (ca 250 µg/l) vid den första provtagningen i april och avtog successivt till augusti då de utgjorde en femtedel av ursprungshalten (Figur 26). Halten var i princip oförändrad i oktober. Ytvattenhalten i april var relativt hög (ca 50 µg/l) och låg kvar på ungefär samma nivå i juni. Mätdata för ytvatten saknas för maj och det är därför inte möjligt att avgöra om de avtagande halterna i bottenvattnet då medförde förhöjda halter i ytskiktet. Eftersom halten var i princip oförändrad i juni verkar det mindre troligt att så skulle varit fallet. Till augusti hade halten nära tredubblats och var extremt hög (150 µg/l). Syrgashalter finns endast att tillgå för de sista tre mätillfallen. I juni och augusti låg halterna nära noll. Goda syrgasförhållanden rådde i oktober, detta till följd av att sjön omblandats.

Resultaten indikerar en betydande frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, i synnerhet under vintern, och då sannolikt i samband med syrgasbrist, även om mätdata saknas för att styrka detta. Under sådana

förhållanden förlorar järn sin fosforbindande förmåga, och fosfor kan frisättas från sediment till vattenmassa. Den mycket kraftigt ökande fosforhalten i ytvattnet under sommarens lågflödesperiod då den externa tillförseln normalt sett är låg, och sambandet med minskande fosforhalter i bottenvattnet ger ytterligare belägg för att den interna fosforbelastningen i betydande utsträckning påverkar fosforhalterna i Avans vattenmassa. Eftersom de högsta bottenvattenhalterna uppmättes i mätperiodens början kan ingen (positiv) läckagehastighet beräknas.



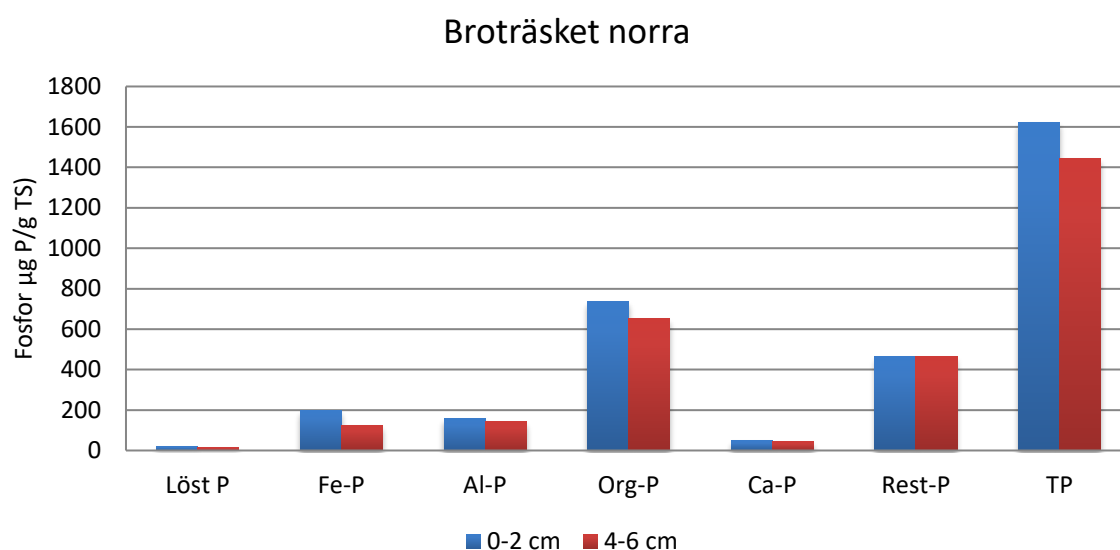
Figur 26. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvattnet samt syrgashalt (mg/l) i bottenvattnet, Avan 2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Slutsats: Sedimentundersökning och vattenkvalitetsdata tyder på att den interna fosforbelastningen är förhöjd och i mycket hög utsträckning påverkar fosforhalterna i Avans vattenmassa. Vid sedimentprovtagningen i slutet av maj hade fosforhalterna i bottenvattnet minskat kraftigt från den högsta halt som uppmättes i april. Det är troligtvis en effekt av att delar av den fosfor som frisätts under vintern återförs till sedimenten, sannolikt genom utsedimentation av plankton alternativt i samband med omblandning, syresättning av bottenarna och järn-fosforutfällning från bottenvattnet.

Rekommendation: Fortsatt och utökad övervakning av vattenkvalitet rekommenderas, liksom en utökad sedimentundersökning. Undersökningarna syftar till att ge underlag för att skatta den interna belastningens storlek och, vid behov, för åtgärdsplanering i syfte att minska fosforläckaget från sedimenten.

Broträsket norra

Sedimentprov från Broträskets norra del togs i slutet av maj på 2,3 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet var bland de lägsta i undersökningen och hade avklingat obetydligt i det något djupare skikt som analyserades (Figur 27). Läckagebenägen fosfor återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Fosfor bundet till järn uppmättes i låga halter som minskat tydligt till större sedimentdjup. Organiskt bunden fosfor förekom i halter något över genomsnittet. Minskningen till det djupare liggande skiktet var mycket begränsad. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Dessa fosforformer uppmättes i mycket låga halter.



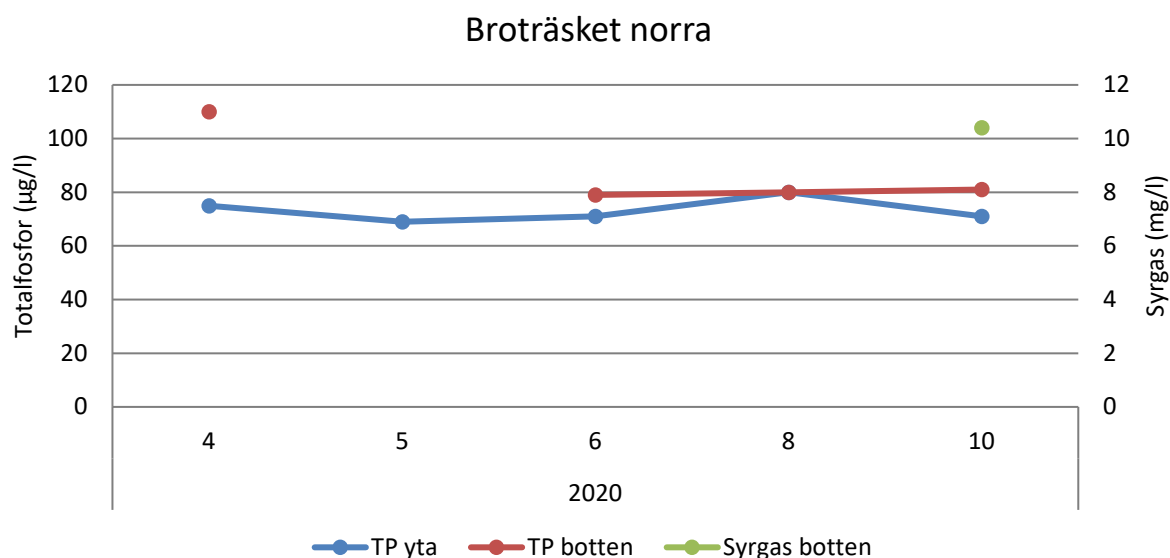
Figur 27. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Broträsket norra, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (AL-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Resultaten ovan tyder på en mycket begränsad frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa, motsvarande en minskning kring 10 procent sett till totalhalt. Haltminskningen av fosfor bundet till järn var större och låg nära 40 procent. Eftersom järnbunden fosfor förekom i mycket låga halter resulterade minskningen inte i någon betydande intern fosforbelastning.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från 5 mätillfällen år 2020, se nedan (Figur 28). Fosforhalterna i bottenvattnet var relativt höga (ca 110 µg/l) vid den första provtagningen i april och låg något lägre (ca 80 µg/l) vid övriga mätillfällen (jun, aug, okt) (Figur 2). Ytvattenhalterna låg genomgående på en hög och stabil nivå (ca 70-80 µg/l). Syrgashalter finns

endast att tillgå för oktober då goda syrgasförhållanden rådde vid bottenarna.

Resultaten visar på höga fosforhalter i både yt- och bottenvatten, men pekar inte på någon betydande frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa. Data indikerar att viss frisättning skett under vintern, och då sannolikt i samband med syrgasbrist, även om mätdata saknas för att styrka detta. Eftersom de högsta bottenvattenhalterna uppmättes i mätperiodens början kan ingen (positiv) läckagehastighet beräknas.



Figur 28. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvatten och syrgashalt (mg/l) i bottenvatten, Broträsket norra 2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Slutsats: Varken sedimentundersökning eller vattenkvalitetsdata tyder på någon betydande intern fosforbelastning för den norra delen av Broträsket. Sjön hade de näst lägsta halterna av järnbunden fosfor vilket innebär att risken för omfattande fosforläckage troligen är liten, även i samband med syrgasbrist.

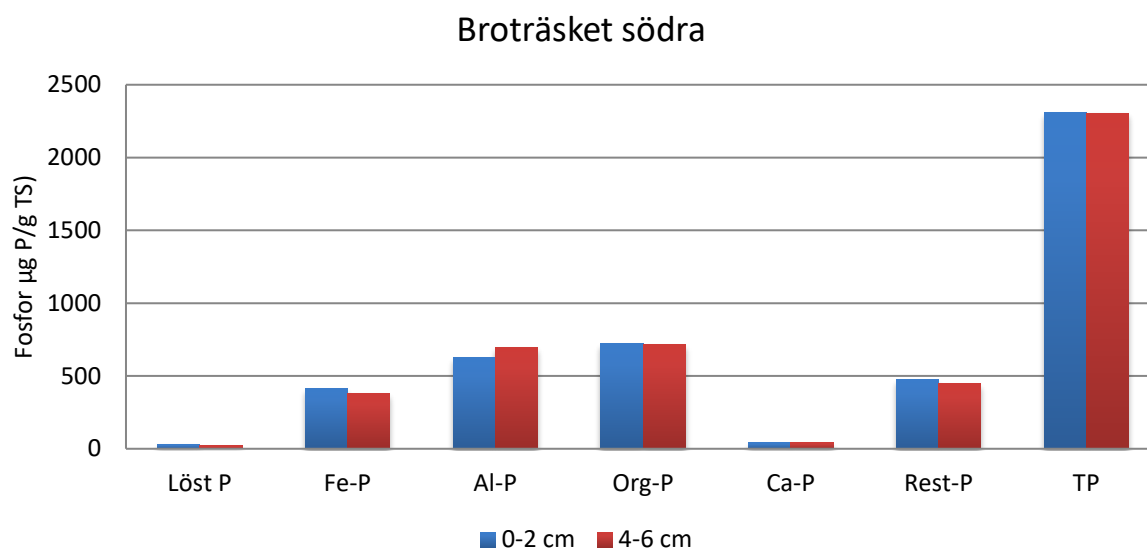
Rekommendation: Fortsatt övervakning av sjöns vattenkvalitet och utredning av den externa fosforbelastningens storlek och källfördelning rekommenderas i syfte att följa upp och åtgärda de mycket höga fosforhalterna i vattenmassan.

Broträsket södra

Sedimentprov från Broträskets södra del togs i slutet av maj på 7,4 meters djup. Totalfosforhalterna i ytsedimentet låg kring genomsnittet för undersökta sjöar och uppvisade ingen minskning i det något djupare skikt som analyserades (Figur 29). Läckagebenägen fosfor återfinns i

fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Halten löst fosfor var mycket låg och i sammanhanget försumbar. Fosfor bundet till järn uppmättes i tämligen låga halter som minskat obetydligt till större sedimentdjup. Organiskt bunden fosfor förekom i halter kring genomsnittet och uppvisade en obetydlig minskning till det djupare liggande skiktet. Fosfor bunden till aluminium (Al-P) eller kalcium (Ca-P) kan betraktas som i stort sett inert och stabilt fastlagd i sedimenten. Även dessa fosforformer uppmättes i halter kring genomsnittet.

Resultaten visar inte annat än en försumbar frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa. Ingen internbelastning kan spåras via totalhalten eller den organiskt bundna fosfor som var i princip oförändrad i det något djupare sedimentskikt som analyserades. Haltminskningen av järnbunden fosfor var mycket begränsad (<10%).

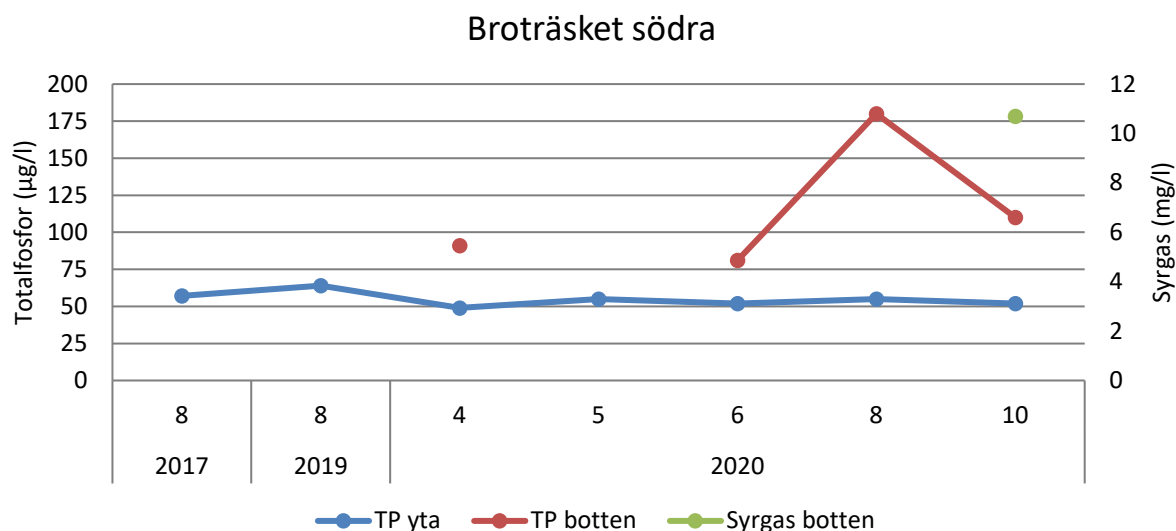


Figur 29. Fosforhalter (µg/g TS) sedimentprover från Broträsket södra, maj 2020. Fosfor som kan betraktas som läckagebenägen återfinns i fraktionerna löst (Löst P), järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden fosfor (Org-P, huvuddelen av Rest-P). Aluminiumbunden (Al-P) och kalciumbunden (Ca-P) fosfor kan betraktas som i stort sett inert. TP anger totalfosforhalt.

Vattenkvalitetsdata finns att tillgå från augusti 2018 och 2019, samt för 5 mätillfällen år 2020 (Figur 30). Mätdata för bottenvatten finns endast för 4 tillfällen 2020. Fosforhalterna i bottenvattnet var relativt höga (ca 90 µg/l) vid den första provtagningen i april 2020 och något lägre (ca 80 µg/l) i juni. Till augusti hade halterna ökat mycket kraftigt (180 µg/l), och i oktober sågs en tydlig minskning även om halten ännu var att betrakta som hög (110 µg/l). Ytvattenhalterna låg genomgående på en relativt hög och någorlunda stabil nivå (ca 50-65 µg/l). Syrgashalter finns endast att tillgå för oktober då goda syrgasförhållanden rådde vid bottarna.

Resultaten indikerar en betydande frisättning av fosfor från sediment till vattenmassa under sommaren. Det är rimligt att anta att fosforläckaget

främst är kopplat till nedbrytning av organiskt material under den säsong då den bakteriella aktiviteten ökar i det förhållandevis varma bottenvattnet. Om sjön drabbas av syrebrist sker sannolikt frisättning även av järnbunden fosfor, men eftersom denna fraktion uppmättes i tämligen låga halter är det av mindre betydelse. Baserat på haltökningen från juni till augusti beräknades den högsta läckagehastigheten till 1,4 mg P/m², dygn.



Figur 30. Totalfosforhalt (µg/l) i yt- och bottenvattnen och syrgashalt (mg/l) i bottenvattnen, Broträsket södra 2017, 2019 och 2020. Provtagningsmånad visas med siffra (1-12).

Slutsats: Vattenkvalitetsdata tyder på en betydande intern fosforbelastning för den södra delen av Broträsket. Av allt att döma är fosforfrisättningen främst kopplat till nedbrytning av organiskt material under sommaren. Slutsatsen styrks inte av sedimentundersökningen. Att så är fallet kan förklaras av att inga djupare sedimentskikt analyserats, samt i viss mån av att provtagning ägde rum under våren då fosfor ännu låg buden till organiskt material.

Rekommendation: Fortsatt övervakning av vattenkvalitet rekommenderas i syfte att ge underlag för att skatta den interna belastningens storlek.

Sammanfattande diskussion

För 5 av de 11 undersökta sjöarna indikerade sedimentundersökningen en betydande internbelastning. I sedimentprofilerna från Norsjön, Trehörningen, Bjurselet och Avan, klingade fosforhalterna av tydligt vilket tolkades som att fosforläckaget från sediment till vattenmassa var betydande. Halterna avtog med större sedimentdjup även i Fäbodträsket, om än i något mindre utsträckning. I övriga sedimentprofiler uteblev minskningen av sedimentfosfor eller så var den begränsad, vilket tolkades som att internbelastningen var begränsad.

I Trehörningen, Bjurselet och nordöstra Norsjön bidrog i första hand järnbunden fosfor till den interna belastningen. I Avan och Fäbodträsket stod av allt att döma de organiska fraktionerna för huvuddelen av läckaget. I södra Norsjön bidrog den järnbundna och organiskt bundna fosfor i ungefär lika delar till fosforfrisättningen.

För 4 av de 5 sjöar där sedimentundersökningen indikerade en omfattande internbelastning kunde vattenkvalitetsdata styrka bedömningen. För Norsjön var det vattenkemiska dataunderlaget alltför knapphändigt för att utgöra underlag för denna typ av bedömning.

Vattenkemiska data pekade mot en betydande frisättning av fosfor från bottnarna även för Kalvträsket, Inre Ljusvattnet och södra Broträsket, något som inte framgick av fosforhalterna i sedimenten. Bedömningen baserades på haltökningar i yt- och/eller bottenvatten. Tänkbara förklaringar till att sedimentundersökningen inte pekade på någon betydande internbelastning för dessa sjöar kan vara att provtagning ägde rum under våren då fosfor till stora delar kan ligga bundet till organiskt material och/eller då järnbunden fosfor åter kunnat fastläggas till sedimenten till följd av syresättning i samband med omblandning. En förklaring kan också vara att inga djupare sedimentskikt analyserats, något som eventuellt hade visat en avklingning av fosforhalten.

Rekommendationer för fortsatta studier

Utökade sedimentundersökningar

För de sjöar där sedimentundersökningen indikerar en betydande fosforfrisättning rekommenderar vi utökade studier i syfte att ge underlag för bedömning av den totala mängden läckagebenägen fosfor, och, vid behov, för att planera och budgetera åtgärder i syfte att minska fosforläckaget från sedimenten. Bedömningar av förbättringsbehov och lämpliga åtgärder bör göras mot kunskap om den totala fosforbelastningen till respektive sjö. Åtgärder som syftar till att reducera fosforbelastningen från sjöarnas sediment är normalt sett motiverade först i ett läge då den externa belastningen säkert ligger på nivå som är acceptabel sett i relation till miljö kvalitetsnormer och miljömål.

Sjöar som kan ses som prioriterade för fortsatta sedimentstudier är Trehörningen, Bjurselet och Avan där både sedimentundersökning och vattenkvalitetsdata indikerar en betydande internbelastning. Även Norsjön kan ses som prioriterad eftersom sedimentundersökningen visade på höga fosforhalter och en betydande frisättning. För övriga sjöar kan det vara rimligt att bedöma behovet av vidare sedimentstudier mot bakgrund av en förbättrad kunskap om sjöarnas vattenkvalitet, se avsnittet nedan, och externa fosforbelastning.

För att åstadkomma säkra bedömningar av mängden läckagebenägen fosfor krävs underlag i form av data för ett större antal kärnor, fler sedimentskikt (6-8) samt till ett större sedimentdjup (ca 30 cm). Hänsyn bör tas till utbredningen av ackumulationsbottenområden och om syrebrist uppstår i delar av dessa områden. Ett sådant underlag täcker in variationen över sjön samt gör det möjligt att följa hur fosforhalterna avklingar med ökad sedimentdjup och på så vis åstadkomma en säkrare bedömning av bakgrundshalten. Denna halt i sin tur ligger till grund för bedömningar av hur stor del av fosforförrådet som med tiden kommer att frisättas till vattenmassan, det vill säga hur stora mängder som kan betraktas som rörliga. Provtagning bör undvikas under de perioder då det finns risk att betydande delar av sedimentfosfor har frisatts till vattenmassan, vanligen i slutet av eventuella skiktperioder (senvinter och sensommar).

Vattenkvalitetsundersökningar

Fortsatta vattenkvalitetsundersökningar är generellt önskvärt. Undersökningarna kan planeras med olika upplägg beroende på om syftet är att exempelvis möjliggöra statusklassificering, följa utvecklingen över

tid, undersöka internbelastningens omfattning och/eller effekter av den externa belastningens betydelse. I denna utredning som syftar till preliminära bedömningar av risken för förhöjda fosforläckage från sjöarnas sediment lämnas förslag till undersökningar som främst syftar till kvantifiering av denna fosforkälla.

Huvuddelen av de 11 sjöar som ingår i utredningen kan ses som intressanta för undersökningar av den interna belastningens omfattning. Vilka sjöar som prioriteras för övervakning bör avgöras med kunskap om den externa belastningssituationen och med hänsyn till det strategiska vattenvårdsarbetet i stort. Allra mest angeläget är kanske utökade undersökningar i Avan och Trehörningen som tidvis uppvisar mycket höga fosforhalter i vattenmassan och där även sedimentundersökningen pekar på betydande internbelastning. Höga fosforhalter i vattenmassan motiverar utökad provtagning också i södra Broträsket och Inre Ljusvattnet. Även Bjurselet och Norsjön bör ses som prioriterade, dels eftersom sedimentundersökningen visade på mycket höga fosforhalter och en omfattande internbelastning, dels eftersom kunskapen om sjöns vattenkvalitet tycks mycket begränsad.

Riktlinjer för utformning av övervakningsprogram för sjöar som kan misstänkas ha förhöjd internbelastning presenteras i en rapport från Havs- och Vattenmyndigheten med olika upplägg för djupa respektive grunda sjöar (Huser m.fl. 2020). Om de program som där föreslås inte är möjliga att genomföra kan de skalas ned till en minsta omfattning enligt nedan:

För djupa sjöar som normalt sett omblandas vår och höst kan vattenkvalitetsundersökningar fokusera till slutet av skiktningssperioderna, det vill säga perioden innan islossning samt till perioden innan höstcirkulation (mitten-slutet augusti). En syrgasprofil avslöjar syrgassituationen och om ett antal vattenprover tas i en profil från yta till botten kan ackumulationen av löst fosfor (och ammonium) i bottenvattnet användas för att kvantifiera läckaget.

För grunda sjöar som omblandas flera gånger per år kommer den fosfor som frisätts till bottenvattnet att spädas ut i hela vattenmassan. För att påvisa och kvantifiera den interna belastningen rekommenderar vi minst månadsvis provtagning av yt- och bottenvatten från början till slutet av vinterns och sommarens skiktningssperioder. För den senare skiktningssperioden innebär det provtagning från vår/försommar (april-maj) till början av hösten (augusti-september), och för vinterns provtagning från isläggning till strax innan islossning.

Det är önskvärt att provtagning kan pågå ett par år så att mellanårsvariationer kan inkluderas.

Referenser

Carey, C. & E. Rydin. 2011. Lake trophic status can be determined by the depth distribution of sediment phosphorus. *Limnol. Oceanogr.*, 56(6): 2051–2063.

Huser, B., M. Malmaeus & E. Witter. 2020. Riktlinjer för övervakningsprogram för sjöar som kan ha förhöjd internbelastning. Havs- och Vattenmyndigheten.

Nürnberg, G. K. 1988. Prediction of phosphorus release rates from total and reductant-soluble phosphorus in anoxic lake sediments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 453-462.

Psenner, R., Boström, B., Dinka, M., Pettersson, K., Pucsko, R. & M. Sager. 1988. Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediments. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 30: 98-109.

Rydin, R. 2000. Potentially mobile phosphorus in Lake Erken sediment. *Wat. Res.* Vol. 34, No. 7, pp. 2037-2042.

Bilaga 1. Resultat av sedimentundersökning

Värden anges som rådata och inte avrundat enligt Erkenlaboratoriets riktlinjer. Resultat avser torrsubstans (TS), glödningsförlust (GF) och fosforhalter (P) med uppdelning på fraktioner och totalhalt (TP).

Sjö/lokal	Skikt (cm)	TS (%)	GF (%)	NH4Cl-P (µg/g TS)	BD-P (µg/g TS)	NaOH-P (µg/g TS)	NaOH org-P (µg/g TS)	HCl-P (µg/g TS)	Rest-P (µg/g TS)	TP (µg/g TS)
Nörd-Lidsträsket	0-2	4	29	18	1197	1071	682	30	448	3446
Nörd-Lidsträsket	4-6	6	28	7	841	892	580	30	596	2945
Sör-Lidsträsket	0-2	4	25	39	1610	679	608	32	601	3568
Sör-Lidsträsket	4-6	6	25	16	1379	560	512	34	534	3035
Fäbodträsket	0-2	3	42	12	813	452	832	23	765	2897
Fäbodträsket	4-6	6	45	3	567	435	442	25	664	2136
Kalvträsket	0-2	6	24	6	257	333	583	34	482	1693
Kalvträsket	4-6	10	23	1	269	425	445	32	476	1648
Bjurselet	0-2	2	44	55	3248	880	723	21	1032	5958
Bjurselet	4-6	5	34	18	1626	1033	543	39	411	3670
Norsjön, NO	0-2	3	28	86	2594	776	706	42	612	4815
Norsjön, NO	4-6	8	22	6	403	317	367	61	184	1337
Norsjön, S	0-2	4	26	36	936	912	728	40	903	3554
Norsjön, S	4-6	11	20	5	301	829	404	54	666	2258
Labbträsket	0-2	4	29	4	88	361	664	28	405	1550
Labbträsket	4-6	7	28	4	87	428	666	32	356	1573
Inre Ljusvattnet	0-2	8	17	20	305	152	343	53	534	1408
Inre Ljusvattnet	4-6	12	16	26	392	153	349	55	475	1451
Trehörningen	0-2	4	22	66	2179	593	498	41	639	4017
Trehörningen	4-6	10	17	12	509	439	365	54	461	1841
Avan	0-2	6	20	31	550	526	550	52	633	2341
Avan	4-6	18	12	6	207	484	342	60	404	1504
Broträsket, N	0-2	4	33	21	197	157	736	47	464	1623
Broträsket, N	4-6	6	32	17	123	141	654	43	466	1443
Broträsket, S	0-2	5	27	32	414	624	720	43	474	2307
Broträsket, S	4-6	9	26	19	382	696	717	44	445	2305