

ÅRSSKRIFT 2020



- Årsskrift 2020

Titel	Årsskrift 2020
Rapport nummer	146
Författare	Se kapitel
Kontakt	vatternvardsforbundet@lansstyrelsen.se
Webbplats	www.vattern.org
ISSN	1102-3791
Upplaga	Digital publicering
Omslagsbild	Zena Holloway, Below

© Vätternvårdsförbundet 2021

Förord

Vätternvårdsförbundets roll och uppdrag är att samordna miljöövervakning för Vättern, med syfte att bedöma hela Vätterns kemiska och biologiska tillstånd och utveckling, jämföra med mål, upptäcka miljöproblem och följa åtgärder.

Den löpande miljöövervakningen som redovisas här utgör grunden i vår kunskap om Vättern. Många av dessa undersökningar har gjorts i decennier och alla genomförs av ”de som kan” och följer standarder inom svensk miljöövervakning.

Ny kunskap om miljöproblem tillkommer hela tiden och Vätternvårdsförbundet följer ständigt forskningen och utvecklingen. När nya problem och frågeställningar dyker upp tillkommer nya undersökningar, nya ämnen att mäta och nya metoder att använda.

Den löpande miljöövervakningen kompletteras då med specialundersökningar som vid behov kan övergå till att bli en del av den löpande miljöövervakningen. Ett exempel är PFAS som från och med 2021 ingår i den löpande miljöövervakningen i Vättern och kommer då mätas flera gånger per år i Vättern, vissa tillflöden och Motala ström.

Under 2020 fortsatte en stor studie om organiska mikroföroreningar, mikroplast i sediment, och miljögifter analyserades i ytterligare fiskarter. Dessa undersökningar görs i samverkan med forskningsinstitut, de andra svenska stora sjöar och medlemmar i förbundet.

Många är engagerade i Vätterns tillstånd och många undrar just hur det går för Vättern. Vätternvårdsförbundet jobbar med att göra information mer tillgänglig för *alla* intresserade. 2021 lanseras en ny kunskapsplattform Vätternliv.se som förhoppningsvis bidrar till att fler kan ta del av kunskapsunderlaget som finns.

Dessutom publiceras fortsatt alla resultat i förbundets rapportserie, på hemsidan vattern.org eller som rådata via de så kallade nationella datavärdar – och blir även så tillgänglig för alla som forskar med, jobbar för, engagerar sig i eller är intresserade av Vättern.

Många olika aktörer deltar och bidrar aktivt och/eller genom finansieringen till dessa undersökningar: Medlemmar i förbundet, Havs- och Vattenmyndigheten, Länsstyrelser, frivilliga och fiskeföreningar med flera. **Stort tack** till alla!

Friederike Ermold
Sakkunnig vatten
Vätternvårdsförbundet

Malin Setzer
Sakkunnig Fiske
Vätternvårdsförbundet

Måns Lindell
Särskilt sakkunnig
Vätternvårdsförbundet

Innehållsförteckning

Klimat och vattenstånd	7
Vattenkvalitet i Vättern	12
Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp	23
Ämnestransport och arealspecifik förlust.....	40
Växtplankton	51
Djurplankton	55
Bottenfauna	61
Makrofyter	68
Vätterns pelagiska fiskbestånd	74
Inventering av sjöfåglar på fågelskär i Vättern 2020	87
Nederbördskemiska undersökningar av försurande och övergödande ämnen på Visingsö	105
Nederbördskemisk undersökning av tungmetaller på Visingsö	118
Publiceringar under 2020	130

Klimat och vattenstånd

Ann-Charlotte Norborg Carlsson, SYNLAB

Sammanfattning

År 2019 var årsnederbörden över Vättern (Visingsö) 505 mm, vilket bara var 2% mer än medelvärdet för perioden 1990-2018. Det föll mer nederbörd än normalt i främst mars och maj samt oktober till och med december. Övriga månader var nederbördsmängderna mindre än vanligt, vilket var särskilt tydligt i februari.

Medelvattenståndet i Vätterns utlopp var 88,28 meter över havet år 2019, vilket var 22 cm lägre än medelvärdet för perioden 1967-2018, och det fjärde lägsta vattenståndet i tidsserien. Medelvattenståndet var lägre än långtidsmedelvärdet samtliga månader under året.

Årsmedelvattenföringen i Vätterns utlopp var 18 m³/s år 2019, vilket var drygt 50% lägre än medelvärdet för perioden 1960-2018 (39 m³/s). Jämfört med medelvärdena för perioden 1960-2018 var månadsmedelvattenföringen år 2019 lägre samtliga månader under året. I mars var vattenföringen till och med lägre än minimumvärdena under 1960-2018.

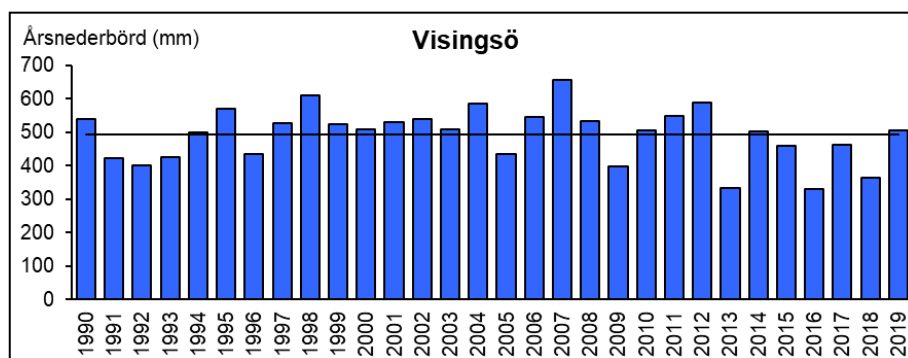
År 2019 var medeltemperaturen på Visingsö 1,9 °C högre än normalvärdet för perioden 1961-1990 (8,5 jämfört med 6,6 °C). Samtliga månader var mildare än vanligt. I början av augusti låg temperatursprångskiktet vid Edesvarna på 11-15 meters djup, och hade i början av september sjunkit till 14-17 meter. Vid Jungfrun förekom inte något egentligt språngskikt vid någon av provtagningarna i april till och med september. Det syns en svag ökning av årsmedeltemperaturen vid vattenintag på 5 meters djup och 2019 års värde var ett av de fyra högsta. Ökningen är statistiskt säker för större delen av perioden 1955-2019.



Figur 1. Vy mot Visingsö från Gyllene Uttern i Gränna (foto: SYNLAB).

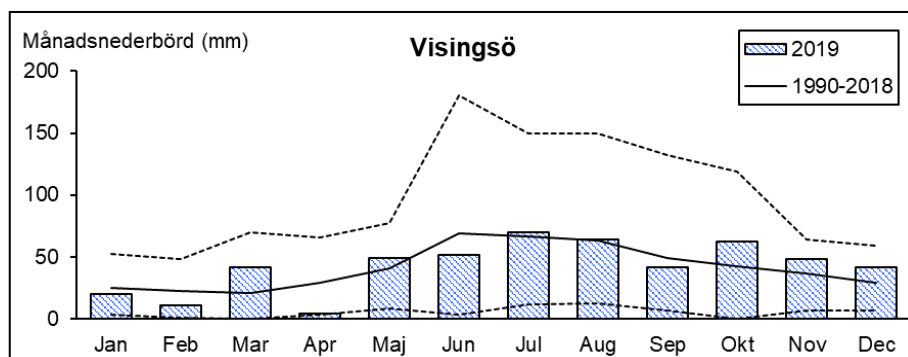
Nederbörd

År 2019 var den totala nederbördsmängden 505 mm vid SMHI:s väderstation på Visingsö (8405). Detta var 12 mm (2%) mer än medelvärdet för perioden 1990-2018 (figur 2).



Figur 2. Årsnederbörd vid SMHI:s väderstation på Visingsö för åren 1990-2019 (staplar) samt medelvärde för perioden 1990-2018 (heldragen linje). För åren 1990-2007 avser värdena station 8406 och för åren därefter station 8405.

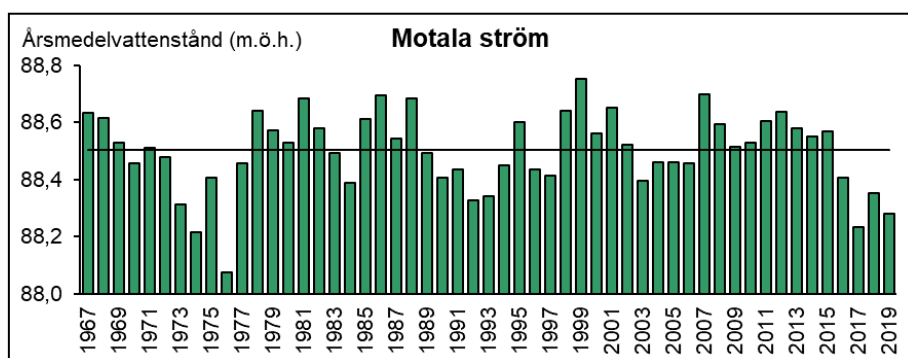
Jämfört med månadsmedelvärden för perioden 1990-2018 föll det mer nederbörd i främst mars 2019 (+100%), men även i maj (+21%) samt oktober till och med december (+47, +32 respektive +44 %, figur 3). Övriga månader var nederbördsmängderna mindre än vanligt, vilket var särskilt tydligt i februari (-42%) och april (-87%), figur 3).



Figur 3. Månadsnederbörd vid SMHI:s väderstation på Visingsö år 2019 (staplar) samt månadsmedelvärden för perioden 1990-2018 (heldragen linje). Streckade linjer avser minimum- respektive maximumvärden för åren 1990-2018. För åren 1990-2007 avser värdena station 8406 och för åren därefter station 8405.

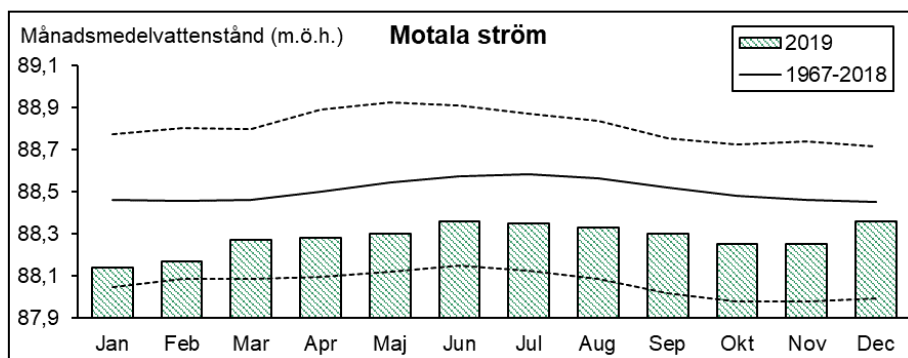
Vattenstånd

Sedan år 1858 görs dagliga mätningar av vattenståndet i Vätterns utlopp vid Motala. År 2019 var medelvattenståndet i Vätterns utlopp (SMHI:s station 154 i Motala ström) 88,28 meter över havet, vilket var 22 centimeter lägre än medelvärdet för perioden 1967-2018, och det fjärde lägsta medelvattenståndet i tidsserien med startår 1967 (figur 4). Det allra lägsta medelvattenståndet (88,07 m.ö.h.) under perioden noterades år 1976 och det högsta (88,75 m.ö.h.) år 1999. Variationen under åren 1967-2019 var således nästan sju decimeter.



Figur 4. Årsmedelvattenstånd i Vätterns utlopp vid Motala ström (SMHI:s station 154) för åren 1967-2019 (staplar) samt medelvärde för perioden 1967-2018 (heldragen linje).

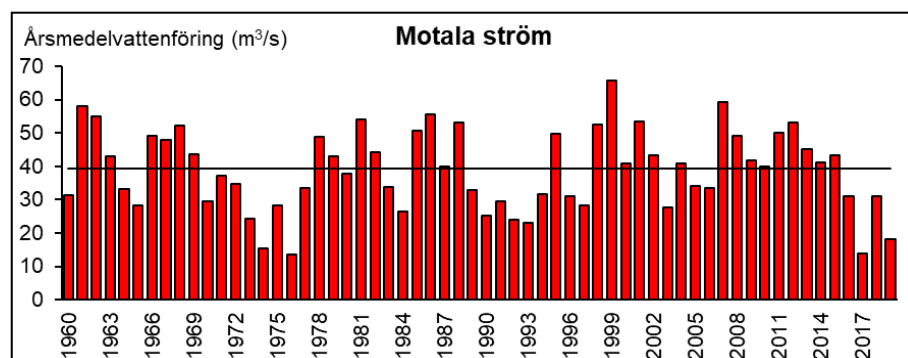
Jämfört med månadsmedelvärden under åren 1967-2018 var medelvattenståndet år 2019 lägre än dessa samtliga månader (figur 5). Skillnaden jämfört med medelvattenståndet var störst i januari och minst i december. De ovanligt låga vattenståndet kan inte kopplas till mindre nederbördsmängder än normalt (figur 3), men även vindförhållanden har betydelse för vattenståndets förändringar i Vättern.



Figur 5. Månadsmedelvattenstånd i Vätterns utlopp vid Motala ström (SMHI:s station 154) år 2019 (staplar) samt månadsmedelvärden för perioden 1967-2018 (heldragen linje). Streckade linjer avser minimum- respektive maximumvärden för åren 1967-2018.

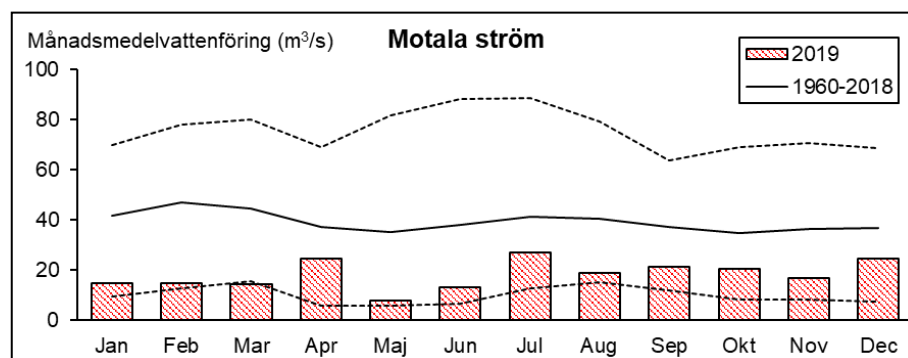
Vattenföring

Årsmedelvattenföringen i Vätterns utlopp (SMHI-station 1950) var $18 \text{ m}^3/\text{s}$ år 2019, vilket var knappt 50% av medelvärdet för perioden 1960-2018 på $39 \text{ m}^3/\text{s}$ (figur 6). Under perioden 1960-2019 följde utvecklingen för årsmedelvattenföringen (figur 6) och årsmedelvattenståndet (figur 4) varandra väl. I likhet med vattenståndet noterades den lägsta årsmedelvattenföringen ($14 \text{ m}^3/\text{s}$) år 1976 och den högsta ($66 \text{ m}^3/\text{s}$) år 1999.



Figur 6. Årsmedelvattenföring i Vätterns utlopp vid Motala ström (SMHI:s station 1950) för åren 1960-2019 (staplar) samt medelvärde för perioden 1960-2018 (heldragen linje).

Jämfört med medelvärden för perioden 1960-2018 var månadsmedelvattenföringen år 2019 lägre samtliga månader under året (figur 7). I mars var vattenföringen till och med lägre än minimumvärdena under 1960-2018. Medelvattenföringen varierade mellan $7,85 \text{ m}^3/\text{s}$ i maj och $27,2 \text{ m}^3/\text{s}$ i juli (figur 7). Att vattenföringen (och vattenståndet) var lägre än vanligt kan inte kopplas till mindre nederbördsmängder än normalt (figur 3) utan måste ha andra orsaker.

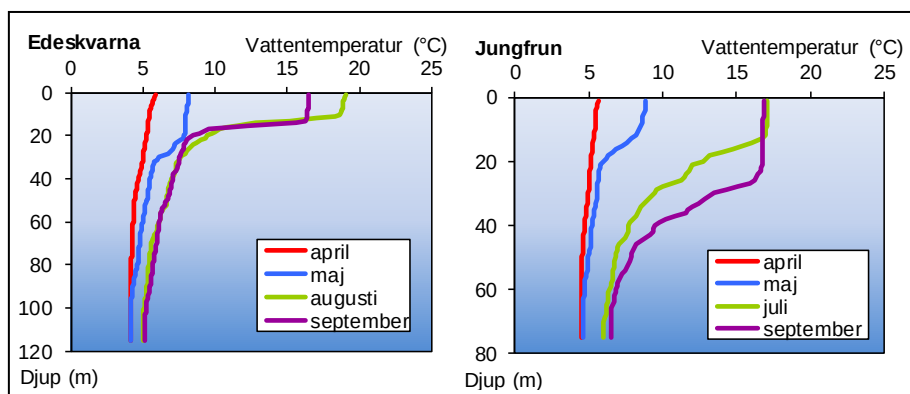


Figur 7. Månadsmedelvattenföring i Vätterns utlopp vid Motala ström (SMHI:s station 1950) år 2019 (staplar) samt månadsmedelvärden för perioden 1960-2018 (heldragen linje). Streckade linjer avser minimum- respektive maximumvärden för åren 1960-2018.

Temperatur

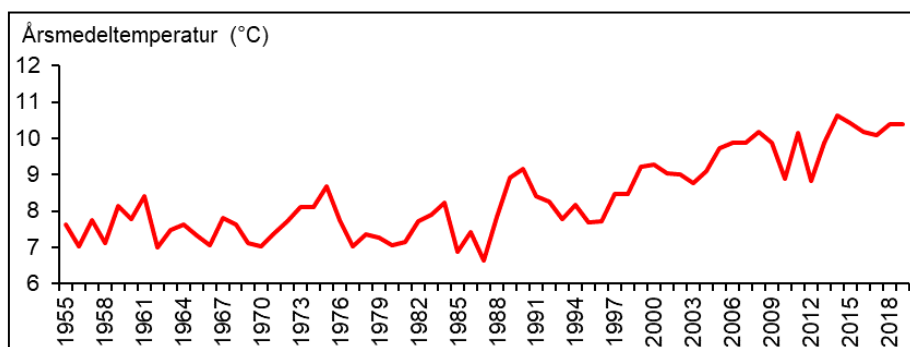
År 2019 var medeltemperaturen vid SMHI:s väderstation på Visingsö (8405) $8,5 \text{ }^\circ\text{C}$, vilket var $1,9 \text{ }^\circ\text{C}$ varmare än normalvärdet för perioden 1961-1990. Alla månader var mildare än vanligt, men särskilt februari, mars och april samt december med $3\text{-}5 \text{ }^\circ\text{C}$ högre medeltemperatur än

normalt. I slutet av april var temperaturen bara 1-2 °C högre på en meters djup jämfört med 115 (Edeskvärna) respektive 75 (Jungfrun) meters djup (figur 8), varför vattenmassan cirkulerade. I slutet av maj hade det ytliga vattnet börjat värmas upp, men något temperatursprångskikt (per definition ska temperaturen skilja mer än en grad per meter) fanns inte. I början av augusti respektive slutet av juli låg språngskiktet vid Edeskvärna på 11-15 m, medan det inte förekom något språngskikt vid Jungfrun. Vid provtagningen i början av september hade språngskiktet sjunkit till 14-17 m vid Edeskvärna, men inget språngskikt fanns vid Jungfrun (figur 8).



Figur 8. Temperaturprofiler vid stationerna Edeskvärna (1) och Jungfrun (2) år 2019.

Vid råvattenintagen till Motala, Vadstena respektive Råsnäs vattenverk, har det gjorts dagliga mätningar av vattentemperaturen. Under den dryga 60-årsperioden 1955-2019 syns en svagt ökande årsmedeltemperatur och jämfört med 2019 års värde (10,4 °C) har temperaturen bara varit högre åren 2014 och 2015 (figur 9). Det högsta medelvärdet (10,6 °C) noterades år 2014. Ökningen var statistiskt signifikant, oftast på trestjärnig nivå ($p < 0,001$), hela perioden 1955-2019 till och med 2006-2019.



Figur 9. Årsmedeltemperatur vid råvattenintagen till Motala (1955-01-01--1997-12-31), Vadstena (1998-01-01--1999-06-24), Råsnäs (1999-06-25--2012-12-31) och Vadstena (2013-01-01--2019-12-31) vattenverk (fem meters djup).

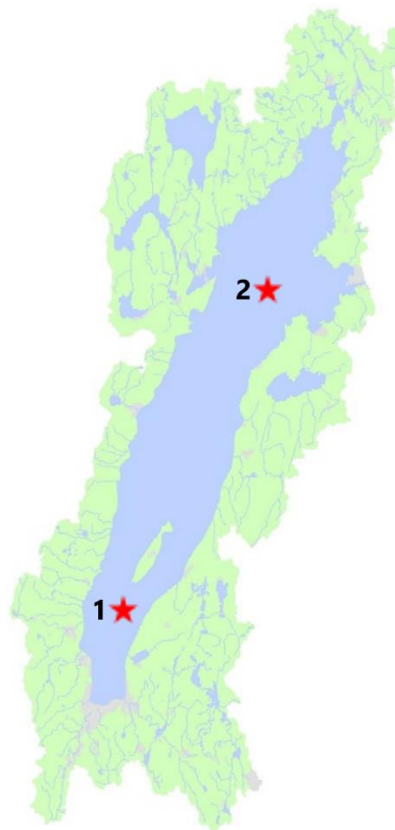
Vattenkvalitet i Vättern

Ann-Charlotte Norborg Carlsson, SYNLAB

Sammanfattning

Generellt var vattenkvaliteten i Vättern mycket bra år 2019 med mycket låga eller låga halter av näringsämnet fosfor, klorofyll (mätt på algmängden), organiskt material (t.ex. humus och alger) och metaller. Vattnet bedömdes som syrerikt och var ej eller obetydligt färgat och ej eller obetydligt grumligt samt hade ett mycket stort siktdjup. pH-värdet påvisade nära neutrala förhållanden och buffertkapaciteten klassades som mycket god. Den enda variabel som förekom i något förhöjda halter var kväve, där halterna bedömdes som måttligt höga till höga. Statusklassning av "Näringsämnen", "Siktdjup", "Syrgas" och "Klorofyll" gav hög status för både sjöns södra (Edesvarna) och norra (Jungfrun) del.

Från 1970-talets slut till 1990-talets början minskade fosforhalterna medan kvävehalterna ökade, vilket gav ökat kväveöverskott. Under 1990-talets senare del minskade kvävehalterna svagt. Av okänd anledning uppvisar vattenfärgen (mätt som absorbans) en långsiktigt minskande trend, vilket avspeglas i ökande siktdjup, som dock alltid varit mycket stort. Halterna av organiskt material och klorofyll var stabilt mycket låga respektive låga.



Figur 1. De två stationerna vid Edesvarna (1) och Jungfrun (2) i Vättern.

Inledning

På uppdrag av Vätternvårdsförbundet utförde SYNLAB i samarbete med Medins Havs- och Vattenkonsulter AB 2019 års fysikalisk-kemiska vattenundersökningar vid två stationer i Vättern (figur 1). Vid Edeskvärna i sjöns södra del påbörjades undersökningarna år 1966 medan stationen vid Jungfrun i sjöns norra del tillkom år 1978.

Metodik

2

Provtagningen utfördes av personal från Medins Havs- och Vattenkonsulter AB 30 april, 27-28 maj, 23 juli (Jungfrun), 8 augusti (Edeskvärna) och 3-4 september 2019. Vattenproverna togs med en Limnoshämtare kopplad till vinsch eller handlina. Vattentemperatur, syrgashalt och -mättnad samt siktdjup mättes i fält medan flertalet övriga analyser utfördes vid SYNLAB:s laboratorium i Linköping (ackrediteringsnummer 1006). Kvicksilver analyserades vid IVL Svenska Miljöinstitutet AB i Göteborg.

Resultaten från 2019 års undersökningar utvärderades i enlighet med Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999, rapport 4913). Dessutom gjordes statusklassningar av kvalitetsfaktorerna "Näringsämnen i sjöar", "Siktdjup i sjöar" och "Syrgas i sjöar och vattendrag" samt parametern "Klorofyll" under kvalitetsfaktorn "Växtplankton i sjöar" för treårs-perioden 2017-2019 i enlighet med Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25). Värden från 0,5 och 10 meters provtagningsdjup användes, fransett för syre där bedömningen avser resultat från en meter över botten. Jämförelse gjordes även med bedömningsgrunder för "särskilda förorenande ämnen" (ammoniak, arsenik, koppar, krom och zink) samt gränsvärden för "prioriterade ämnen" (bly, kadmium, kvicksilver och nickel) i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25). Enligt föreskrifterna ska vattenprover för analys av nämnda metaller filtreras genom ett 0,45 µm filter, vilket inte görs i det aktuella projektet. För koppar, zink, bly och nickel beräknades biotillgängliga halter utifrån värden för pH, DOC (löst organiskt kol) och kalcium med hjälp av "Bio-met Bioavailability Tool" (version 5.0). I det aktuella projektet analyseras bara TOC (totalt organiskt kol), varför denna variabel användes istället för DOC.

För studier av tidsserier hämtades data för Edeskvärna och Jungfrun från Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala (www.slu.se/vatten-miljo), som är datavärd. För flertalet analysvariabler beräknades min-, medel- och maxvärden för prover tagna på 0-10 meters djup för respektive år. För variablerna fosfor, kväve, klorofyll, organiskt material (analyserat som TOC) och vattenfärg (mätt som absorbans vid 420 nm med 5 cm kyvett i filtrerat vatten) användes resultat från perioden april till och med september varje år. För kväve/fosfor-kvot utvärderades resultat från juni till och med september respektive år i enlighet med vad som anges i Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999). Tidsserierna utvärderades statistiskt med Mann-Kendall-test.

I tidsserierna för fosfor gjordes en korrektion på $-1,2 \mu\text{g/l}$ för alla värden under perioden maj 1991 till och med maj 1996 på grund av ett systematiskt fel vid SLU:s laboratorium (Måns Lindell, muntligen). Analys av Kjeldahlkväve utfördes till och med år 2003. Analys av totalkväve (persulfatmetoden) påbörjades i juli 1987. För perioden från tidsseriernas startår till och med år 2003 beräknades därför totalkvävehalten som summan av halten Kjeldahlkväve (organiskt kväve+ammoniumkväve) och nitrit-+nitratkvävehalten. För perioden juli 1987 till och med år 2003 beräknades förhållandet mellan totalkvävehalten beräknad som summan av Kjeldahlkväve och nitrit-+nitratkväve och de parallella analyserna av totalkväve (persulfatmetoden) som en faktor (1,06 för både Edeskvärna och Jungfrun). För åren 2004-2019 beräknades totalkvävehalten som totalkvävehalten (persulfatmetoden) multiplicerad med denna faktor. Ett fåtal värden för fosfor och kväve bedömdes inte vara representativa (så kallade outliers). Dessa värden sattes inom parentes och ingår därmed inte i beräkningar och utvärdering i denna rapport. Inget av dessa värden var från år 2019. Halten organiskt material analyserades som permanganattal (KMnO_4) till och med år 1995. Under perioden 1996 till och med 2000 gjordes parallella analyser av permanganattal och totalt organiskt kol (TOC). Sedan år 2001 analyseras endast TOC. Permanganattalet dividerat med 3,95 ger halten COD_{Mn} som ungefär motsvarar TOC-halten. För att få en bättre överensstämmelse beräknades förhållandet mellan TOC och COD_{Mn} under perioden 1996-2000 som en faktor (1,48 för Edeskvärna och 1,52 för Jungfrun). För åren före 1996 beräknades TOC-halten som halten COD_{Mn} multiplicerad med denna faktor.

Resultat och diskussion

TILLSTÅNDSBEDÖMNING OCH STATUSKLASSNING

Generellt var vattenkvaliteten i Vättern mycket bra år 2019 (tabell 1). Halterna av näringsämnet fosfor, liksom klorofyllhalterna (ett grovt mått på algmängden), bedömdes som låga. Halterna av syreförbrukande organiskt material (t.ex. humus och alger) var mycket låga och syrehalterna påvisade syrerikt tillstånd. De små mängderna humus och alger medförde att vattnet bedömdes som ej eller obetydligt färgat och ej eller obetydligt grumligt med ett mycket stort siktdjup. Vattnets pH-värde påvisade nära neutrala förhållanden och buffertkapaciteten var mycket god. Halterna av flertalet analyserade metaller var mycket låga. Dock klassades samtliga kopparhalter som låga.



Figur 2. Solnedgång över Visingsö sedd från Gränna hamn (foto: SYNLAB).

Den enda variabel som förekom i något förhöjda halter var kväve, där halterna ofta var höga (tabell 1). Orsaken till de höga kvävehalterna är sannolikt att andelen sjöyta inom avrinningsområdet är stor (35% enligt SMHI:s Vattenwebb), varför en stor kvävekälla är nedfall från luften direkt på sjöytan. Dessutom sker stor tillförsel av kväve från jordbruksmark runt sjön. Höga kvävehalter kombinerat med låga fosforhalter gav kväveöverskott. Kväveöverskott innebär mycket liten risk för blomning av potentiellt giftbildande cyanobakterier (blågrönalger), vilket även undersökningarna av växtplankton bekräftade.

Statusklassning av kvalitetsfaktorerna ”Näringsämnen i sjöar”, ”Siktdjup i sjöar” och ”Syrgas i sjöar och vattendrag” samt parametern ”Klorofyll” under kvalitetsfaktorn ”Växtplankton i sjöar” gav överlag hög status vid både Edeskvärna och Jungfrun (tabell 1).

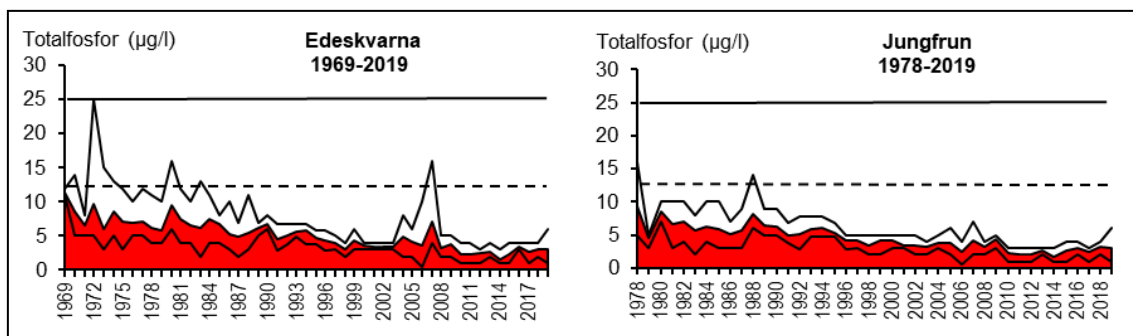
År 2019 överskred varken ammoniak (omräknat från ammoniumkväve), arsenik, koppar, krom och zink eller bly, kadmium, kvicksilver och nickel bedömningsgrunder eller gränsvärden i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25).

Tabell 1. Lägsta och högsta värde för olika analysvariabler vid 2019 års undersökning av fysikalisk-kemisk vattenkvalitet vid de båda stationerna i Vättern (Edeskvarna och Jungfrun) samt tillstånds- respektive statusklassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999) och Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25)

Analysvariabel	Min- och maxvärde 2019	Tillståndsklass 2019	Statusklass 2017-2019
Totalfosfor, µg/l	<2 - 6	Låga halter	Hög
Totalkväve, µg/l	530 - 670	Måttligt höga – höga halter	
Kväve/fosfor-kvot	96 - 310	Kväveöverskott	
Klorofyll, µg/l	<1,0 – 2,8	Låga – (måttligt höga) halter	Hög
Organiskt material (TOC), mg/l	2,0 – 2,3	Mycket låga halter	
Syrehalt, mg/l (1 m över botten)	10,7 – 12,8	Syrerikt tillstånd	Hög
Färg (abs. filtr. 420 nm/5 cm)	<0,002 - 0,014	Ej eller obetydligt färgat vatten	
Turbiditet, FNU	0,21 – 0,44	Ej eller obetydligt grumligt vatten	
Siktdjup, m	9,0 – 17,5	Mycket stort siktdjup	Hög
Alkalinitet, mekv/l	0,54 - 0,61	Mycket god buffertkapacitet	
pH-värde	7,7 - 7,9	Nära neutralt	
Koppar, µg/l	0,52 – 0,76	Låga halter	
Zink, µg/l	1,2 – 1,7	Mycket låga halter	
Kadmium, µg/l	0,003 – 0,004	Mycket låga halter	
Bly, µg/l	<0,006 - 0,091	Mycket låga halter	
Krom, µg/l	0,047 - 0,078	Mycket låga halter	
Nickel, µg/l	0,45 – 0,48	Mycket låga halter	
Arsenik, µg/l	0,14 - 0,15	Mycket låga halter	

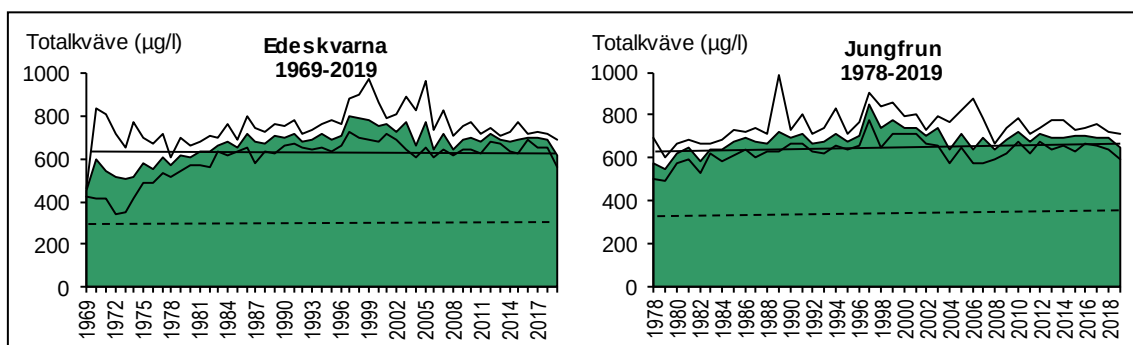
NÄRINGSÄMNINGEN

Mellan åren 1969 och 2019 uppvisade årsmedelhalterna av fosfor en minskande trend vid Edeskvarna, vilket även gällde Jungfrun 1978-2019 (figur 4). Samtliga medelhalter var låga. Vid båda stationerna låg 2019 års halter på samma nivå som under den senaste tioårsperioden, men maxhalterna var något högre. Vid Edeskvarna var minskningen statistiskt signifikant på trestjärnig nivå ($p < 0,001$) under hela perioden 1969-2019 till och med 1993-2019, men under åren 1994-2019 till och med 2000-2019 bara på två- ($p < 0,01$) eller enstjärnig ($p < 0,05$) nivå. Vid Jungfrun var minskningen statistiskt signifikant på trestjärnig ($p < 0,001$) nivå under perioden 1978-2019 till och med 1995-2019, men under åren 1996-2019 till och med 2000-2019 bara på två- ($p < 0,01$) eller enstjärnig ($p < 0,05$) nivå. Minskande fosforhalter kan bland annat bero på uppförande av reningsverk, minskad glesbygdsbefolkning, bättre standard på enskilda avlopp och omställning av jordbruk.



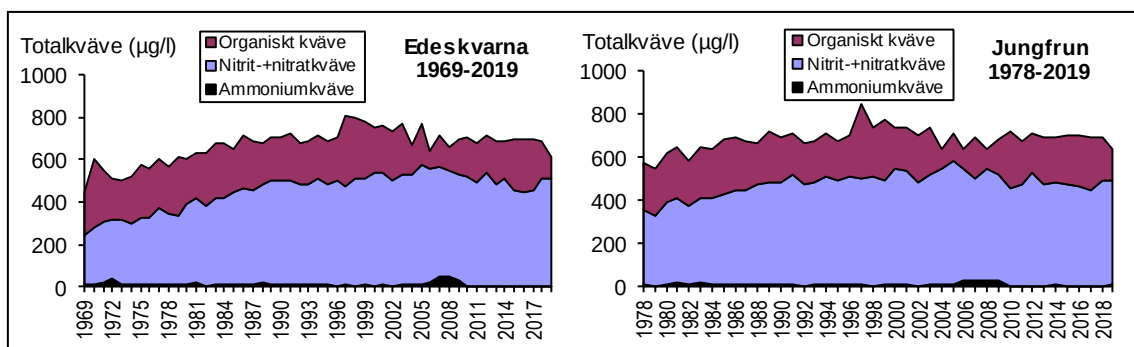
Figur 3. Årsmedelhalter av totalfosfor (röd yta) med min- och maxvärden (linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1969-2019) och Jungfrun (1978-2019). Streckad linje anger gränsen mellan låga och måttligt höga halter enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999). Över heldragen linje är halterna höga.

Vid Edeskvärna ökade årsmedelhalterna av kväve tydligt från måttligt höga halter under 1970-talet till huvudsakligen höga halter därefter (figur 5). Dock klassades 2019 års halt som måttligt hög för första gången sedan 1980. Ökningen var statistiskt signifikant på trestjärnig nivå ($p < 0,001$) under perioden 1969-2019 till och med 1973-2019, men efter 1977 finns ingen säkerställd ökning ens på enstjärnig nivå ($p < 0,05$). Under perioden 1993-2019 till och med 1999-2019 minskade emellertid kvävehalterna med statistisk signifikans på en- ($p < 0,05$) eller tvåstjärnig ($p < 0,01$) nivå. Vid Jungfrun bedömdes kvävehalterna oftast som höga under perioden 1978-2019 (figur 5). Mellan åren 1978-2019 finns en statistiskt säker ökning på enstjärnig ($p < 0,05$) nivå. Åren 1994-2019 till och med 1999-2019 minskade däremot kvävehalterna med en- ($p < 0,05$) eller tvåstjärnig ($p < 0,01$) signifikans.



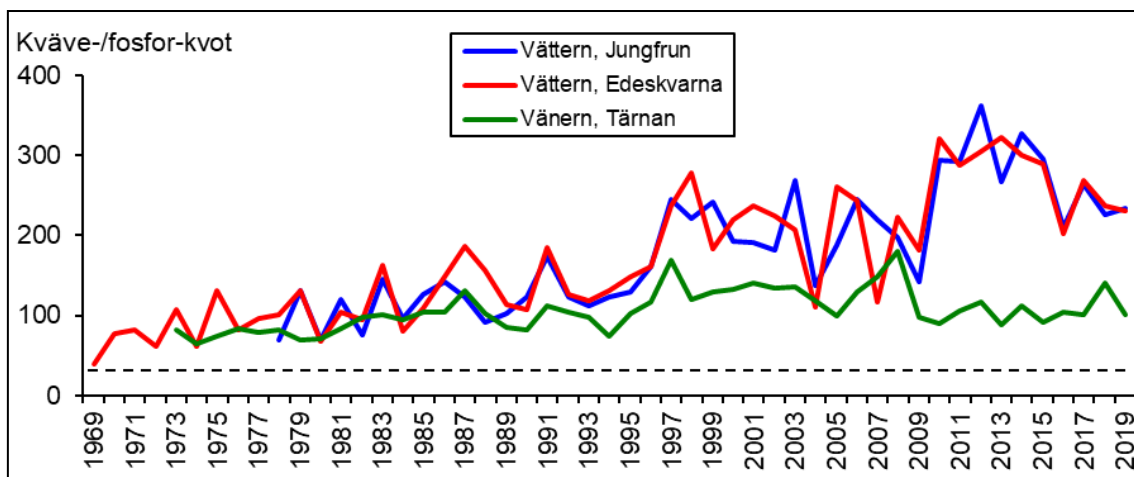
Figur 4. Årsmedelhalter av totalkväve (grön yta) med min- och maxvärden (linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1969-2019) och Jungfrun (1978-2019). Streckad linje anger gränsen mellan låga och måttligt höga halter enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999). Över heldragen linje är halterna höga.

Kvävet fördelas på olika fraktioner, ammoniumkväve, nitrit-+nitratkväve och organiskt kväve, framgår av figur 6. Dominerande fraktion var nitrit-+nitratkväve. Vid både Edeskvärna och Jungfrun ökade denna andel tydligt till och med år 2005, men uppvisar därefter en huvudsakligen minskande tendens. Halten ammoniumkväve, som under vissa betingelser kan omvandlas till ammoniak, som också är skadligt för fisk, var hela tiden mycket låg.



Figur 5. Årsmedelhalter av kväve och fördelning på olika kvävefraktioner, ammoniumkväve, nitrit- + nitratkväve och organiskt kväve, vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1969-2019) och Jungfrun (1978-2019).

Division av halterna av kväve och fosfor ger kväve-/fosfor-kvoten, vilken säger något om risken för blomning av potentiellt giftbildande blågrönalger. Vid stationerna i Vättern var medelkvoten undantagslöst avsevärt högre än 30, vilket även gällde Tärnan i Vänern (figur 7). Detta innebär mycket liten risk för giftalgblooming. Beroende på minskande medelhalter av fosfor och ökande, eller huvudsakligen stabila, kvävehalter uppvisar kvoten en ökande trend. Ökningen är mycket större för Vättern än för Vänern, där medelhalterna av kväve uppvisar en tydligare nedåtgående trend sedan 1990-talets slut.

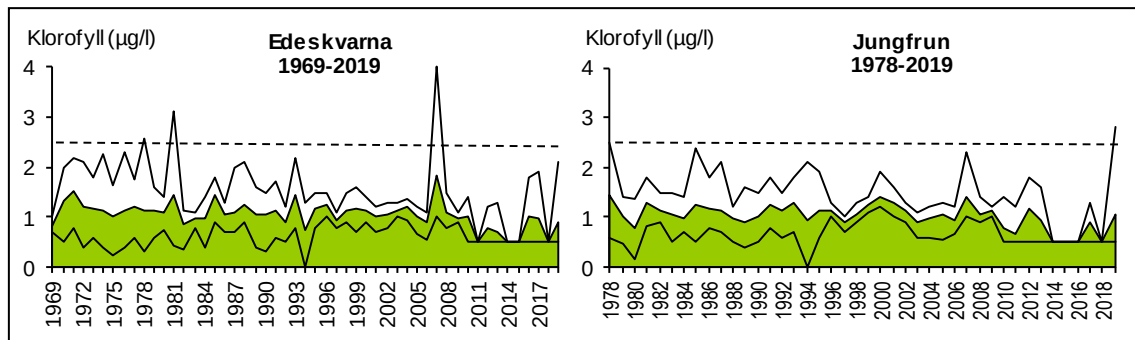


Figur 6. Kväve/fosfor-kvot (årsmedelvärden för juni t.o.m. september) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1969-2019) och Jungfrun (1978-2019) samt stationen Tärnan i Vänern (1973-2019). Streckad linje anger gränsen mellan kväve-fosfor-balans och kväveöverskott enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

KLOROFYLL

Klorofyll ger ett grovt mått på algmängden (främst växtplankton). Vid båda stationerna i Vättern bedömdes samtliga årsmedelhalter som låga och endast vid några enstaka provtagningar vid Edeskvärna samt i maj 2019

vid Jungfrun var halterna måttligt höga (figur 8). Vid Edeskvärna var medelhalterna under perioden 2011-2019 bland de lägsta i tidsserien, medan de vid Jungfrun främst var lägre åren 2014-2018. De låga klorofyllhalterna står i överensstämmelse med de låga fosforhalterna, eftersom fosfor är det begränsande ämnet för biologisk produktion i Vättern. För både Edeskvärna och Jungfrun finns en statistiskt säkerställd minskande trend



på främst tvåstjärnig ($p < 0,01$) nivå under hela perioden 1969-2019 till och med 2004-2019 respektive 1978-2019 till och med 2001-2019.

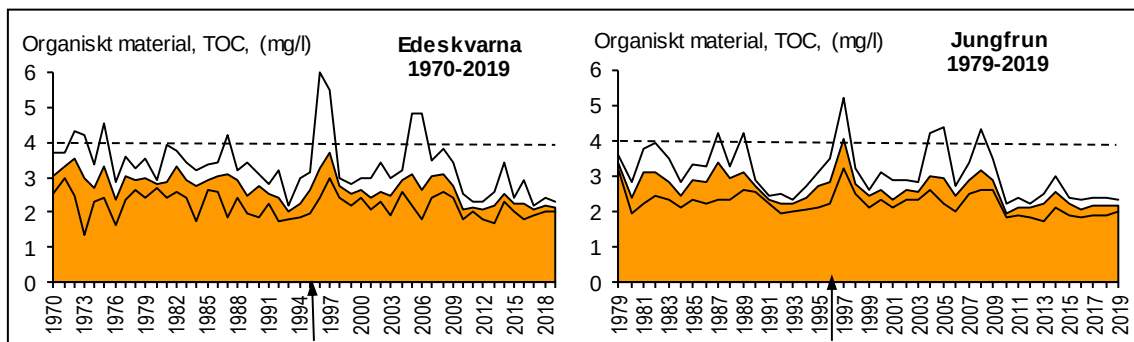
Figur 7. Årsmedelhalter av klorofyll (ljusgrön yta) med min- och maxvärden (linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1969-2019) och Jungfrun (1978-2019). Streckad linje anger gränsen mellan låga och måttligt höga klorofyllhalter enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).



Figur 8. Håv för kvalitativ provtagning av växtplankton (foto: SYNLAB).

ORGANISKT MATERIAL OCH SYRE

Det organiska materialet har sitt ursprung antingen i sjön, till exempel alger, eller från omgivande mark, främst humus. I näringsfattiga sjöar som Vättern är det främst humus som bidrar till halten av organiskt material. Vid nedbrytning av det organiska materialet förbrukas syre. Det finns flera analysvariabler som mäter halten av organiskt material. I vatten från sjöar och vattendrag är det numera vanligast med analys av TOC (totalt organiskt kol). Tidigare analyserades COD_{Mn} (kemisk syreförbrukning) eller KMnO_4 (permanganattal). Permanganattalet dividerat med 3,95 är lika med COD_{Mn} . Vid de båda stationerna i Vättern var årsmedelhalterna av organiskt material mycket låga (figur 10) under hela perioden 1970-2019 (Edeskvärna) respektive 1979-2019 (Jungfrun). Vid båda stationerna var medelhalterna åren 2010-2019 några av de lägsta i tidsserierna, fränsett 2014 års halter som var aningen högre. För Edeskvärna finns en statistiskt signifikant minskande trend på varierande tre- ($p < 0,001$), två- ($p < 0,01$) och enstjärnig ($p < 0,05$) nivå under hela perioden 1970-2019 till och med 1988-2019 samt på två- och enstjärnig nivå 1993-2019 till och med 2005-2019. Också för Jungfrun finns en minskande trend på varierande tre-, två- och enstjärnig nivå för flertalet år under perioden 1979-2019 till och med 2004-2019. Syretillgången räcker väl till för nedbrytningen av de mycket låga halterna av organiskt material och syretillståndet i bottenvattnet bedömdes som syrerikt vid alla mätningar.



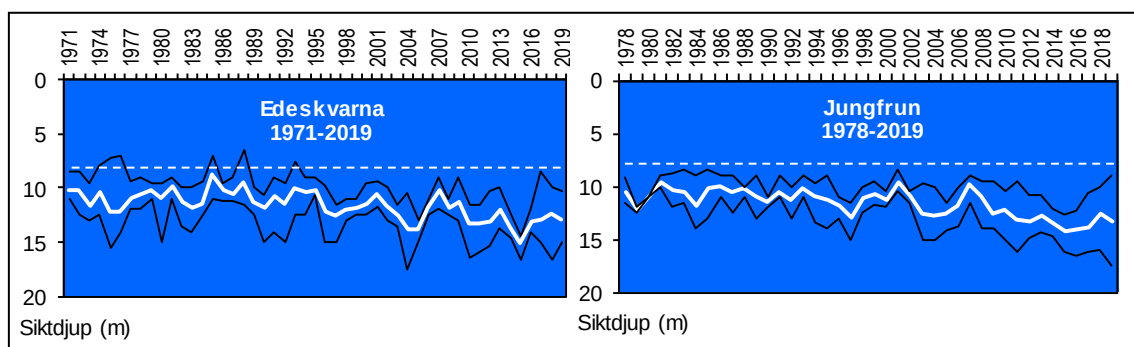
Figur 9. Årsmedelhalter för organiskt material, analyserat som TOC, (orange yta) med min- och maxvärden (linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1970-2019) och Jungfrun (1979-2019). Streckad linje anger gräns mellan mycket låga och låga halter enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999). Pil anger byte av analysmetod från KMnO_4 till TOC.



Figur 10. Provtagning av vatten för analys av syre enligt Winklermetoden (foto: SYNLAB).

LJUSFÖRHÅLLANDEN

Ljusförhållandena påverkar livsbetingelserna för många organismer, både direkt och indirekt. Ljusförhållanden kan mätas med variablerna siktdjup, grumlighet/turbiditet och färgtal/absorbans. Nedan redovisas förhållandena i Vättern avseende siktdjup och absorbans. Siktdjupet visar hur ljusets nedträngning i vattnet sammantaget påverkas av vattenfärg och grumlighet. I Vättern klassades siktdjupet som mycket stort (figur 13) vid nästan samtliga provtagningar under perioden 1971-2019 (Edeskvärna) och 1978-2019 (Jungfrun). De enda undantagen var vid fem tillfällen vid Edeskvärna under åren 1975-1993, då siktdjupet var stort (figur 13). Det syns inga tydliga variationer i siktdjup mellan årstider. Vid Edeskvärna uppvisade siktdjupet en ökande trend med statistisk signifikans på främst trestjärnig ($p < 0,001$) nivå under hela perioden 1971-2019 till och med 1994-2019. Vid Jungfrun var ökningen också statistiskt säkerställd på främst trestjärnig nivå under hela perioden 1978-2019 till och med 2008-2019. Det ökande siktdjupet kan delvis förklaras av minskande färgtal/absorbans (se nästa stycke).

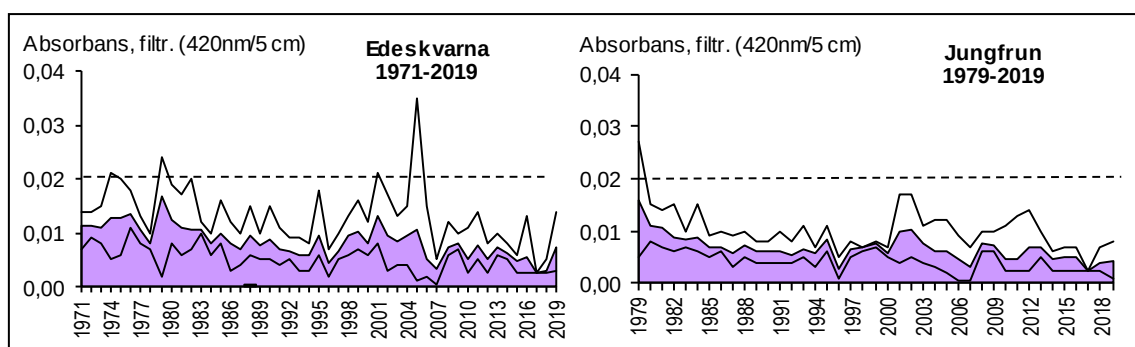


Figur 11. Årsmedelvärden för siktdjup (vit linje) med min- och maxvärden (svarta linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1971-2019) och Jungfrun (1978-2019). Streckad linje anger gräns mellan stort och mycket stort siktdjup enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).



Figur 12. Mätning av siktdjup med siktskiva och vattenkikare (foto: SYNLAB).

Färgtalet avspeglar vattnets innehåll av humus och järn. Färgtalet bestäms visuellt i en färgkomparator eller mäts som absorbans i en spektrofotometer. I Vättern tillämpas numera endast metoden med mätning av absorbans (filtrerat vatten, 420 nm våglängd, 5 cm kyvett). Årsmedelvärdena för absorbans påvisade ej eller obetydligt färgat vatten (figur 15) under hela perioden 1971-2019 (Edeskvärna) och 1979-2019 (Jungfrun). Vid både Edeskvärna och Jungfrun var 2019 års medelvärden något lägre än medelvärdet för respektive tidsserie (figur 15). Vättern är en stor och djup sjö med mycket lång omsättningstid (cirka 60 år), vilket ger goda förutsättningar för självrening av humusämnen genom nedbrytning och sedimentation. Absorbansen uppvisar en långsiktigt tydligt minskande trend vid både Edeskvärna och Jungfrun (figur 15), men denna var statistiskt säkerställd på trestjärnig ($p < 0,001$) nivå endast mellan åren 1971-2019 till och med 1982-2019 samt 1998-2019 till och med 1999-2019 vid Edeskvärna och 1979-2019 till och med 1981-2019 vid Jungfrun. Den minskande absorbansen kan delvis förklara det ökande siktdjupet (se stycket ovan). Orsak till den minskande absorbansen är inte känd.



Figur 13. Årsmedelvärden för absorbans (lila yta) med min- och maxvärden (linjer) vid stationerna i Vättern vid Edeskvärna (1971-2019) och Jungfrun (1979-2019). Streckad linje anger gräns mellan ej eller obetydligt och svagt färgat vatten enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).



Figur 14. Vattenprovtagning med Ruttnerhämtare (foto: SYNLAB).

Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp

Ann-Charlotte Norborg Carlsson, SYNLAB

Sammanfattning

År 2019 uppmättes extremt hög respektive mycket hög medelhalt av näringsämnet fosfor i de starkt jordbrukspåverkade vattendragen Ålebäcken och Lillån (Bankeryd). Tidigare år förekom ofta mycket höga fosforhalter även i Malmabäcken och Röttleån. I Ålebäcken och Lillån klassades även näringsstatusen (2017-2019) som otillfredsställande, medan den var måttlig i Malmabäcken och Röttleån (liksom i Huskvarnaån och Hjoån). Ålebäcken och Lillån var de enda stationerna med extremt höga medelhalter av kväve år 2019.

Mycket höga kvävehalter förekom i Mjölnaån, Röttleån, Munksjöns utlopp, Malmabäcken, Orrnäsaån, Hjoån och Huskvarnaån. I Lillån, Munksjöns utlopp och Huskvarnaån bidrar utsläpp från reningsverk i Bankeryd, Jönköping (Simsholmen) respektive Huskvarna till främst haltförhöjning av kväve. Avloppsvatten från reningsverk innehåller ofta höga halter av ammoniumkväve. Ammonium kan omvandlas till ammoniak, som båda är giftiga för fisk och dessutom syreförbrukande. Halterna av ammoniakkväve överskred gränsen för god status i Lillån, Mjölnaån och Ålebäcken, både som årsmedelvärde och maximalt enskilt värde.

Trots främst måttligt höga till höga halter av syreförbrukande organiskt material (analyserat som TOC) förekom ingen syrebrist år 2019. Som lägst noterades svagt syretillstånd i Lillån samt måttligt syrerikt tillstånd i Orrnäsaån, Domneån och Ålebäcken, medan det var syrerikt i övrigt. Syrgasstatusen (2017-2019) bedömdes som hög utom i Orrnäsaån, Huskvarnaån och Domneån, där den var god, och i Lillån, som erhöll måttlig syrgasstatus.



Figur 1. Domneån nära utloppet i Vättern (foto: SYNLAB).

Medelhalterna av metaller var oftast mycket låga eller låga år 2019. I Kärrafjärdens utlopp uppmättes dock höga medelhalter av bly och zink till följd av verksamheten vid Zinkgruvan. Även i Alsens utlopp förekom strax över gränsen till måttligt hög medelhalt av zink och tillfälligt måttligt höga blyhalter. I Malmabäcken noterades måttligt hög medelhalt av koppar samt tillfälligt måttligt hög zinkhalt. Årsmedelvärde för zink (biotillgänglig halt) överskred gränsen för god status i Kärrafjärdens utlopp.

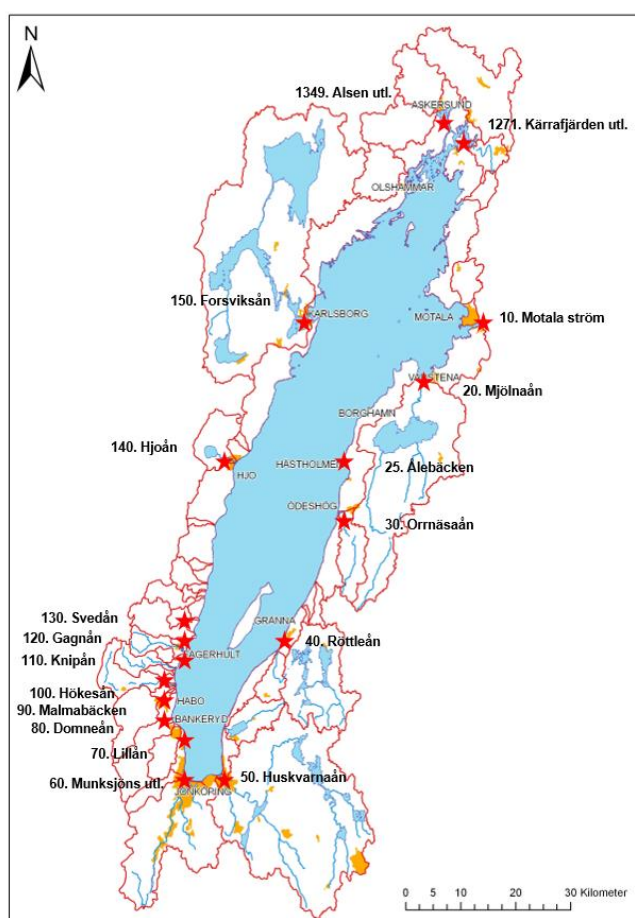
Vid studier av tidsserier för 2000-talet var den statistiskt mest signifikanta trenden för organiskt material (TOC) minskande årsmedelhalter i Röttleån och Hjoån (från måttligt höga till på gränsen mellan låga och måttligt höga halter respektive från höga till måttligt höga halter). Även Vätterns utlopp, Motala ström, uppvisade minskade TOC-halter (inom klassen mycket låga halter), liksom Kärrafjärdens utlopp (från måttligt höga till låga halter). Den enda statistiskt säkra ökande trenden gällde Mjölneån (från måttligt hög till hög halt).

Statistiskt signifikant minskande trender för årsmedelhalter av fosfor under 2000-talet gällde Malmabäcken, Röttleån, Mjölneån, Kärrafjärdens utlopp och Ålebäcken. I Malmabäcken minskade fosforhalterna från extremt höga till höga, i Röttleån och Mjölneån från mycket höga till höga och i Kärrafjärdens utlopp från måttligt höga till låga, medan de i Ålebäcken bedömdes som fortsatt extremt höga. Vid nämnda provplatser var 2019 års fosforhalt den lägsta eller bland de lägsta under 2000-talet. De statistiskt mest säkra ökande trenderna förekom i Munksjöns utlopp, Hökesån och Hjoån, där fosforhalterna var höga vid 2000-talets början och slut, men minskade till måttligt höga däremellan.

De mest signifikanta minskande trenderna för totalkväve under 2000-talet noterades för utloppen av Kärrafjärden och Alsen, där kvävehalterna minskade från höga till måttligt höga respektive från höga till på gränsen mellan höga och måttligt höga. Trenderna mot ökande kvävehalter var tydligast i Hjoån, Lillån (Bankeryd) och Orrnäsaån, där de var mycket höga eller höga i början och slutet av 2000-talet, men höga eller måttligt höga däremellan. I Lillån, Orrnäsaån, Röttleån och Hjoån var 2019 års kvävehalter 2000-talets högsta. För tio av 15 stationer där ammoniumkväve analyserats fanns signifikant minskande medelhalter av ammoniumkväve under 2000-talet, men tydligast i Hökesån och Knipån. Minskande ammoniumkvävehalter kan bl.a. bero på minskade utsläpp från reningsverk eller minskad gödselanvändning. I Hökesån var medelhalterna av ammoniumkväve höga i början av 2000-talet, men minskade därefter drastiskt till låga eller mycket låga p.g.a. att utsläppspunkten för Habo reningsverk flyttades till en våtmark med avrinning till Vättern. I Knipån, liksom vid flertalet övriga provplatser, var medelhalterna av ammoniumkväve mycket låga eller låga under hela 2000-talet. Måttligt höga medelhalter förekom främst i Huskvarnaån, Mjölneån och Ålebäcken. I Munksjöns utlopp klassades medelhalterna av ammoniumkväve oftast som höga, men 2019 års halt var låg och den lägsta noterade under 2000-talet. I Munksjöns utlopp och

Huskvarnaån bidrar utsläpp från reningsverk till förhöjda ammoniumkvävehalter, medan det i Mjölnaån och Ålebäcken främst gäller gödseltillskott.

De statistiskt mest säkra minskande trenderna avseende metaller under 2000-talet gäller Malmabäcken (kadmium, koppar och nickel), Kärrafjärdens utlopp (koppar och krom), Motala ström (arsenik och zink), Lillån (koppar), Huskvarnaån (arsenik), Forsviksån (krom) och Alsens utlopp (krom). I Malmabäcken minskade årsmedelhalten av koppar från hög till måttligt hög, medan halterna av kadmium och nickel hela tiden klassades som låga. I Kärrafjärdens utlopp var kopparhalten alltid låg, medan kromhalten minskade från låg till mycket låg. I Motala ström var halterna av arsenik och zink oftast mycket låga. Kopparhalten i Lillån minskade från måttligt hög till låg, medan arsenikhalten i Huskvarnaån samt kromhalterna i Forsviksån och Alsens utlopp bedömdes som låga eller mycket låga under hela 2000-talet. I fem fall var 2019 års medelhalter de lägsta noterade under 2000-talet. Ökande halter syntes främst för nickel i Huskvarnaån samt utloppen av Kärrafjärden och Vättern vid Motala ström, men medelhalterna var som mest låga. De högsta metallhalter noterades i Kärrafjärdens utlopp, där halterna av zink och bly oftast varit höga beroende på nuvarande och tidigare verksamhet vid Zinkgruvan Mining.



Figur 2. De 17 stationerna i tillflöden till Vättern samt stationen i utloppet vid Motala ström. Koordinater (enligt RT 90 2.5 gon V) återfinns i tabell 1.

Inledning

På uppdrag av Vätternvårdsförbundet utförde SYNLAB i samarbete med Medins Havs- och Vattenkonsulter AB 2019 års fysikalisk-kemiska vattenundersökningar vid 17 stationer i tillflöden till Vättern samt vid en station i utloppet, Motala ström (figur 2). Vid utloppet samt hälften av stationerna i tillflöden påbörjades undersökningarna redan år 1966/1967 och har pågått sedan dess. Vid stationerna i Orrnäsaån, Hökesån och Hjoån gjordes dock ingen provtagning under perioden 1979-1985. Tidsserierna för övriga stationer har oftast startår 1986 eller 1996, medan en station (Ålebäcken) började undersökas så sent som 2000.

Metodik

Vid utloppet och flertalet provplatser i tillflödena togs vattenprover av personal från Länsstyrelsen i Jönköpings län. I Lillån (Bankeryd) och Malmabäcken utfördes provtagningen av provtagare från Calluna AB, medan proverna från utloppen av Alsen och Kärrafjärden togs av provtagare från Medins Havs- och Vattenkonsulter AB. Vattentemperatur, syrgashalt och -mättnad mättes i fält med elektrod, medan övriga analyser huvudsakligen utfördes vid SYNLAB. Kvicksilver analyserades vid IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Prover från Lillån och Malmabäcken analyserades vid Eurofins AB, medan analys av prover från referensvattendragen Svedån och Domneån gjordes vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).

För tidsseriestudier hämtades data från Institutionen för vatten och miljö, SLU, som är datavärd (www.slu.se/vatten-miljo). För organiskt material (analyserat som TOC), totalfosfor, totalkväve och kvävefraktioner (ammoniumkväve, nitrit- och nitratkväve samt organiskt kväve) beräknades årsvisa min-, medel- och maxvärden som sammanställdes i diagram för varje station. För stationer där metaller analyserats, beräknades min-, medel- och maxvärden för arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink. Statistisk analys av tidsserier gjordes med Mann-Kendall-test.

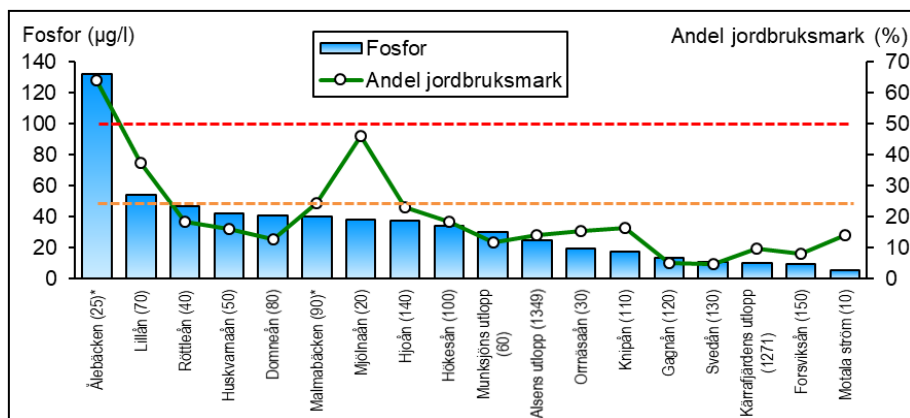
Resultaten från 2019 års undersökning utvärderades i enlighet med Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999). Dessutom gjordes statusklassning av kvalitetsfaktorerna ”Näringsämnen i vattendrag” och ”Syrgas i sjöar och vattendrag” för treårsperioden 2017-2019 i enlighet med Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25). Fosfor och kväve i vattendrag klassas enligt bedömningsgrunderna från 1999 utifrån så kallade arealspecifika förluster (se kapitlet ”Ämnestransporter och arealspecifika förluster”), men för överskådlighetens skull bedöms nedan även halter. Bedömning av halterna av metallerna arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink gjordes även i enlighet med Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25). För bly, koppar, nickel och zink beräknades biotillgängliga halter via ”Bio-met

Bioavailability Tool” (version 5.0). Vid beräkningarna, som här avser ofiltrerade prov, sattes DOC lika med TOC och bakgrundshalter av zink och arsenik sattes till 2 respektive 0,2 µg/l, vilket var 2019 års medelhalt i Vätterns utlopp vid Motala ström.

Resultat och diskussion

TILLSTÅNDSBEDÖMNING OCH STATUSKLASSNING 2019

År 2019 uppmättes extremt hög medelhalt av näringsämnet fosfor i Ålebäcken (figur 3), vilket var fallet även åren 2010-2018. Ålebäcken avvattnar jordbruksområden söder om Tåkern. I Ålebäckens avrinningsområde är andelen jordbruksmark troligen 60-70% (området finns inte som egen vattenförekomst i SMHI:s Vattenwebb). Mycket hög årsmedelhalt av fosfor noterades åren 2019 och 2018 endast i Lillån vid Bankeryd (figur 3), vilket tidigare år ofta även gällt Malmabäcken och Röttleån. Även dessa vattendrag är kraftigt påverkade av jordbruk. Lillåns avrinningsområde omfattar 37% jordbruksmark och Lillån tillförs även avloppsvatten från reningsverket i Bankeryd. Flera tidigare år har även Mjölneån (46% jordbruksmark) haft mycket höga årsmedelhalter av fosfor, men för treårsperioden 2017-2019 klassades de som höga. I flertalet övriga vattendrag uppmättes höga eller måttligt höga medelhalter av fosfor år 2019. I Svedån (nationellt referensvattendrag), Kärrafjärdens utlopp, Forsviksån och Vätterns utlopp, Motala ström, klassades emellertid fosforhalterna som låga (figur 3). Detta förklaras av att både Svedån och Kärrafjärdens utlopp har relativt små andelar jordbruksmark i avrinningsområdet (5 respektive 10%). Svedån har dessutom ovanligt stor andel skogsmark (88%).



Figur 3. Årsmedelhalter för fosfor samt andel jordbruksmark i respektive avrinningsområde vid 17 stationer i tillflöden till Vättern samt stationen i utloppet vid Motala ström år 2019 sorterade efter minskande fosforhalt. Orange, streckad linje anger gränsen mellan höga och mycket höga fosforhalter. Röd, streckad linje markerar övergången till extremt höga fosforhalter. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999). Asterix (*) anger att avrinningsområdet inte finns som egen vattenförekomst i SMHI:s Vattenwebb, varför uppgift om andel jordbruksmark avser ett något större område.

I Motala ström har vattnet passerat Vättern, där lång uppehållstid (ca 60 år) ger goda möjligheter till "självrening" av fosfor genom sedimentation och nedbrytning. Samma resonemang kan gälla för Forsviksån, som har den klart största andelen sjö i avrinningsområdet (21%) av de undersökta tillflödena, eftersom vattnet passerar sjön Viken. I Mjölnaån med den näst största andelen jordbruksmark av tillflödena (46%), var fosforhalten förvånansvärt låg (figur 3), vilket åtminstone delvis kan förklaras av den relativt stora andelen sjö (11%).

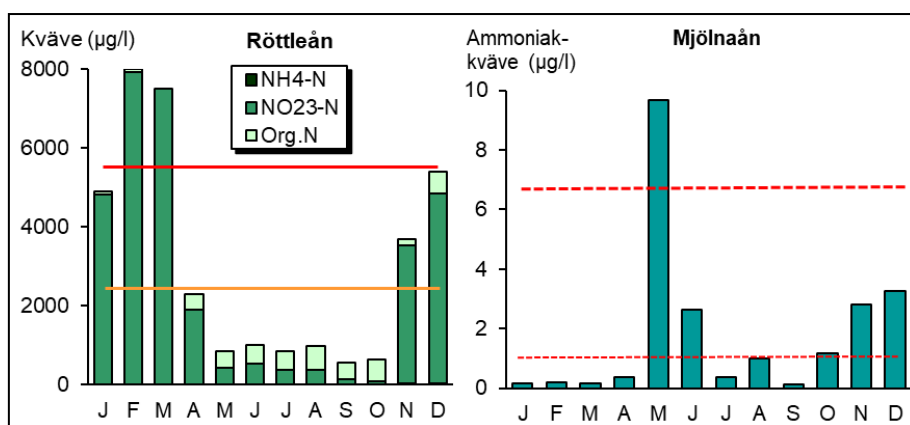
Statusklassning av kvalitetsfaktorn "Näringsämnen i vattendrag" för treårsperioden 2017-2019 gav hög status för Mjölnaån, Ornäsaån, Gagnån, Svedån, Forsviksån och utloppen ur Alsen och Kärrafjärden samt Vätterns utlopp, Motala ström (tabell 1). God näringsstatus noterades för Munksjöns utlopp, Domneån, Hökesån och Knipån. Röttleån, Huskvarnaån, Malmabäcken och Hjoån hade måttlig näringsstatus. De kraftigt jordbrukspåverkade vattendragen, Ålebäcken och Lillån (Bankeryd), bedömdes ha otillfredsställande näringsstatus (tabell 1). Jämfört med närmast föregående treårsperiod (2016-2018) var statusen en klass bättre i Röttleån och Malmabäcken (från otillfredsställande till måttlig) samt Gagnån (från god till hög). Ingen av provplatserna fick försämrade näringsstatus.

Tabell 1. Klassning av kvalitetsfaktorerna "Näringsämnen i vattendrag" och "Syrgas i sjöar och vattendrag" i enlighet med Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25) för 17 stationer i tillflöden till Vättern samt en station i utloppet vid Motala ström (treårsmedelvärde 2017-2019, för syrgas medel av årslägsta halter). Koordinater är angivna i RT90, 2,5 gon V. Inom parentes står näringsstatus utan hänsyn till andelen jordbruksmark i de fall denna ändrats jämfört med statusen beräknad utan hänsyn till andelen jordbruksmark

Provtagningsplats	X-koord.	X-koord.	Näringsstatus	Syrestatus
20. Mjölnaån	6479170	1444800	Hög (måttlig)	Hög
25. Ålebäcken	6463350	1431840	Otillfredsställande (dålig)*	Hög
30. Ornäsaån	6456250	1431050	Hög	God
40. Röttleån	6430920	1418750	Måttlig (otillfredsställande)	Hög
50. Huskvarnaån	6408810	1408420	Måttlig	God
60. Munksjöns utlopp	6407500	1402300	God	Hög
70. Lillån	6417320	1400960	Otillfredsställande	Måttlig
80. Domneån	6418270	1399900	God	God
90. Malmabäcken	6422600	1400400	Måttlig*	Hög
100. Hökesån	6422600	1398760	God	Hög
110. Knipån	6425170	1398950	God	Hög
120. Gagnån	6431670	1401190	Hög	Hög
130. Svedån	6434510	1401750	Hög	Hög
140. Hjoån	6465460	1411000	Måttlig (otillfredsställande)	Hög
150. Forsviksån	6495900	1420250	Hög	Hög
1349. Alsens utlopp	6525900	1450050	Hög (måttlig)	Hög
1271. Kärrafjärdens utl.	6524700	1451700	Hög	Hög
10. Motala ström	6490320	1455630	Hög	Hög

* Uppgift om andelen jordbruksmark avser ett något större område, varför statusklassningen är osäker.

Liksom närmast föregående år var Ålebäcken och Lillån (Bankeryd) de enda stationerna med extremt höga medelhalter av kväve år 2019. Förutom jordbruk påverkas Lillån av utsläpp från Bankeryds reningsverk. Mycket höga medelhalter av kväve förekom i Mjölnaån, Röttleån, Munksjöns utlopp, Malmabäcken, Orrnäsaån, Hjoån och Huskvarnaån. Ålebäcken och Lillån hade även extremt hög respektive mycket hög medelhalt av fosfor främst p.g.a. jordbrukspåverkan (figur 3). Med undantag av Orrnäsaån hade alla provplatser med mycket höga kvävehalter även höga fosforhalter. Till de mycket höga kvävehalterna i Munksjöns utlopp bidrar utsläpp från det kommunala reningsverket i Jönköping. Övriga vattendrag med mycket höga kvävehalter, Mjölnaån, Röttleån, Malmabäcken, Orrnäsaån, Hjoån och Huskvarnaån, påverkas förutom av jordbruk av dagvatten i främst de nedre delarna, och Huskvarnaån även av utsläpp från Huskvarna reningsverk. Övriga stationer hade höga eller måttligt höga kvävehalter. I de mest jordbrukspåverkade vattendragen fanns en tydlig säsongvariation med lägre halter av främst nitrat- och nitritkväve under sommarhalvåret p.g.a. större upptag i vegetation (se exemplet Röttleån i figur 4). Även gödselspridning kan ge förhöjda halter under vår och höst.

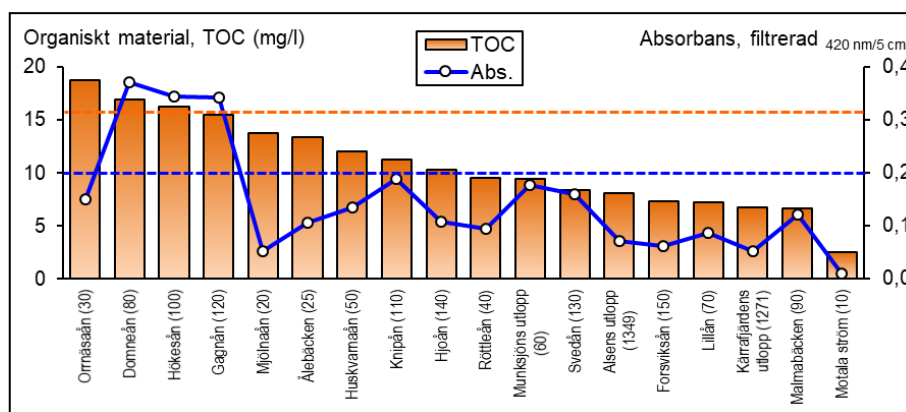


Figur 4. Tunn röd prickad linje anger gränsen för god status som årsmedelvärde och tjock röd prickad linje utgör gränsen för god status som maximalt enskilt värde enligt Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25).

Avloppsvatten från reningsverk innehåller ofta höga halter av ammoniumkväve. Enligt "Bedömningsgrunder för svenska ytvatten" (Statens Naturvårdsverk, Publikationer 1969:1) är gränsvärdet för känsliga fiskar, t.ex. öring, 200 µg/l och för fisk i allmänhet, t.ex. abborre och gädda, 1500 µg/l. År 2019 noterades halter över 1500 µg/l endast i Lillån, som påverkas av reningsverket i Bankeryd. Halter över 200 µg/l förekom år 2019 i Mjölnaån (november och december) och Ålebäcken (januari, februari, oktober, november och december) samt i Huskvarnaån nedströms Huskvarna reningsverk (juni och augusti) och Munksjöns utlopp nedströms Simsholmens reningsverk (februari, mars, april, september, oktober och november). I jordbruksbygd kan även gödsling ge förhöjda halter av ammoniumkväve, vilket troligen Mjölnaån och Ålebäcken är exempel på. I Hjoån och Forsviksaån, vilka är särskilt intressanta ur fiskesynpunkt, uppmättes inga halter över 200 µg/l. Ammonium kan under vissa betingelser omvandlas till ammoniak. Både ammonium och ammoniak är giftigt för fisk och

dessutom syreförbrukande. Vid bedömning av ammoniakkväve i enlighet med Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25) överskreds gränsen för god status både som årsmedelvärde (1 µg/l) och maximalt enskilt värde (6,8 µg/l) i Lillån vid Bankeryd (årsmedelvärde: 24 µg/l, maximalt enskilt värde: 7,5-57 µg/l), Mjölnaån (årsmedelvärde: 1,8 µg/l, maximalt enskilt värde: 9,7 µg/l, figur 4) och Ålebäcken (årsmedelvärde: 1,7 µg/l, maximalt enskilt värde: 7,7 µg/l).

Halten av organiskt material analyseras här som TOC (totalt organiskt kol). I vattendrag utgörs det organiska materialet främst av humus som härrör från nedbrytningsprocesser i omgivande mark. Under år 2019 var TOC-halterna allra högst i Orrnäsaån, Domneån och Hökesån, där medelhalterna bedömdes som mycket höga (figur 5). Domneån är det av vattendragen med den största andelen sankmark i avrinningsområdet (14% enligt SMHI:s Vattenwebb), vilket även förklarar det starkt färgade vattnet vid denna provplats (figur 5). Däremot har Orrnäsaån och Hökesån bara en respektive två procent sankmark i avrinningsområdet, varför förklaringen till de mycket höga halterna av organiskt material i dessa vattendrag måste vara en annan. I Gagnån, Mjölnaån och Ålebäcken uppmättes höga medelhalter av TOC (figur 5). Med ett undantag uppmättes måttligt höga eller låga halter av organiskt material i samtliga övriga vattendrag. I Vätterns utlopp, Motala ström, var alla TOC-halter under året mycket låga beroende på ”självrening” genom sedimentation och nedbrytning i Vättern med dess cirka 60 år långa uppehållstid. Vid nedbrytning av organiskt material åtgår syre, men år 2019 påvisades ingen syrebrist. Som lägst noterades svagt syretillstånd i Lillån (Bankeryd) i juli och augusti. I Orrnäsaån, Domneån och Ålebäcken rådde måttligt syrerikt tillstånd, medan det var syrerikt i övrigt. Statusklassning av kvalitetsfaktorn ”Syrgas i sjöar och vattendrag” för treårsperioden 2017-2019 gav hög status för alla provplatser utom fyra (tabell 1). Orrnäsaån, Huskvarnaån och Domneån fick god syrgasstatus, medan den bedömdes som måttlig för Lillån.

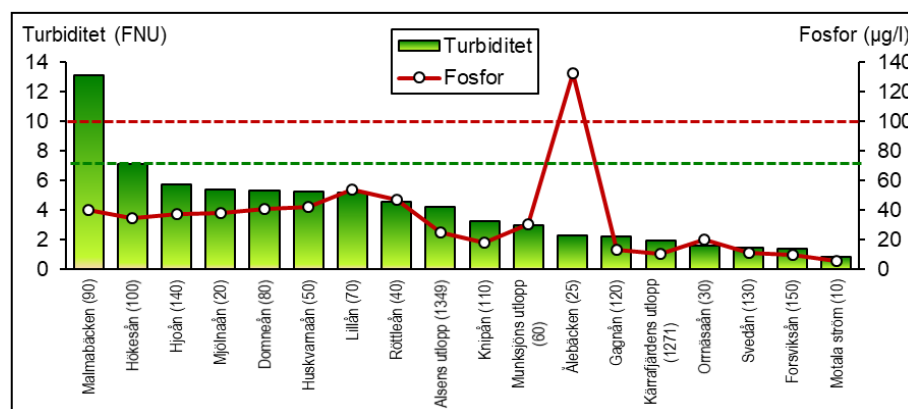


Figur 5. Årsmedelvärden för halter av organiskt material (analyserat som TOC) samt vattenfärg (mätt som absorbans) vid 17 stationer i tillflöden till Vättern samt stationen i utloppet vid Motala ström år 2019 sorterade efter minskande TOC-halt. Orange, streckad linje anger gränsen mellan höga och mycket höga halter av organiskt material. Blå, streckad linje markerar övergången mellan betydligt och starkt färgat vatten. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999).

Som medianvärde för år 2019 hade alla stationer mycket god buffertkapacitet (motståndskraft mot försurning, analyserad som alkalinitet) och pH-värdena påvisade nära neutralt vatten. I Svedån noterades tillfälligt mycket svag buffertkapacitet och surt vatten i februari. Kalkning sker i de övre delarna av några avrinningsområden på främst Vätterns västra sida.

Ljusförhållanden påverkar livsbetingelserna direkt för många organismer. Förekomsten av löst och partikulärt material påverkar också den biologiska tillgängligheten av till exempel metaller. Ljusförhållanden kan mätas med flera olika metoder. Färgtal är främst ett mått på vattnets innehåll av humus och järn. Vattenfärg har historiskt oftast mätts visuellt i en så kallad färgkomparator, men mäts numera oftast som absorbans i en fotometer vid 420 nm våglängd i en 5 cm kyvett på filtrerat vatten, eftersom den metoden har större precision. Starkt färgat vatten förekom i Domneån (figur 5), vilket står i överensstämmelse med att andelen sankmark i Domneåns avrinningsområde är jämförelsevis hög (14% enligt SMHI:s Vattenwebb). Även i Hökesån och Gagnån klassades emellertid vattnet som starkt färgat (figur 5), trots att andelarna sankmark i dessa avrinningsområden bara är cirka två procent. Gemensamt för dessa avrinningsområden är stor andel skogsmark (70-90%) och liten andel sjöar (cirka 1%), vilket ger stor tillförsel av humusämnen och dåliga förutsättningar för ”självrening” genom sedimentation och nedbrytning. Med ett undantag hade alla övriga provplatser betydligt eller måttligt färgat vatten. I Vätterns utlopp, Motala ström, bedömdes vattnet som ej eller obetydligt färgat (figur 5).

Turbiditeten, eller grumligheten, är ett mått på vattnets innehåll av partiklar. I rinnande naturvatten orsakas grumlingen främst av oorganiska partiklar, till exempel lera, där den största källan är erosion. I sjöar är det oftast organiska partiklar, till exempel alger, som bidrar till grumligheten. Turbiditeten mäts som ljusspridning i en turbidimeter. Starkt grumligt vatten noterades endast i Malmabäcken och Hökesån (figur 6). Det syns ett visst samband såtillvida att stationer med mindre grumligt vatten har lägre fosforhalter (figur 6), vilket påvisar att grumlingen till stor del orsakas av erosion från jordbruksmark (figur 3). Några provplatser, främst Malmabäcken, var dock grumligare än förväntat i relation till fosforhalten (figur 6). Tvärtom var vattnet i Ålebäcken endast måttligt grumligt trots extremt hög fosforhalt (figur 6), eventuellt beroende på utsläpp från enskilda avlopp. Med ett undantag hade samtliga övriga stationer betydligt eller måttligt grumligt vatten. I Vätterns utlopp, Motala ström, klassades vattnet som svagt grumligt främst p.g.a. ”självrening” genom sedimentation i Vättern.



Figur 6. Årsmedelvärden för turbiditet samt fosforhalter vid 17 stationer i tillflöden till Vättern samt stationen i utloppet vid Motala ström år 2019 sorterade efter minskande turbiditet. Grön, streckad linje anger gränsen mellan betydligt och starkt grumligt vatten. Brun streckad linje markerar övergången mellan mycket höga och extremt höga fosforhalter. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999).

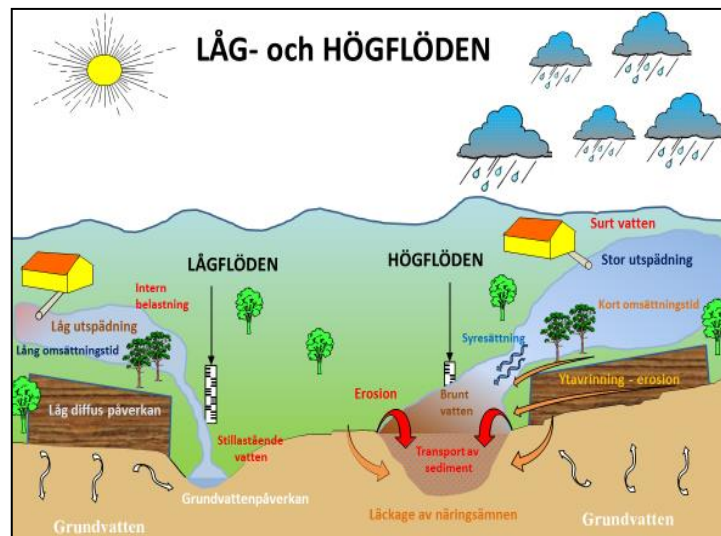
Metaller undersöks vid knappt hälften av stationerna. År 2019 var medelhalterna av arsenik, kadmium, krom och nickel mycket låga eller låga vid samtliga stationer vid bedömning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999). I Kärrafjärdens utlopp uppmättes emellertid höga medelhalter av bly och zink, vilket torde bero på nuvarande och tidigare verksamhet vid Zinkgruvan Mining AB i Askersunds kommun. I gruvan, som öppnades 1857, bryts zink, bly, koppar och silver. Även i Alsens utlopp förekom strax över gränsen till måttligt hög medelhalt av zink och tillfälligt måttligt höga blyhalter. I Malmabäcken noterades måttligt hög medelhalt av koppar samt tillfälligt måttligt hög zinkhalt.

Vid bedömning av metaller enligt Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25) överskred årsmedelvärdet för zink i Kärrafjärdens utlopp gränsen för god status (25 µg/l jämfört med gränsvärdet 5,5 µg/l, biotillgänglig halt). Medelhalterna av arsenik, kadmium, krom och kvicksilver överskred inte gränsen för god status vid någon station. Medelhalterna av bly, koppar och nickel överskred inte heller gränsen för god status (biotillgänglig halt) vid någon station. Det ska dock beaktas att bedömning enligt HVMFS 2019:25 avser lösta metallfraktion, d.v.s. halt efter filtrering genom ett 0,45 µm filter. Aktuella prov är ofiltrerade, och avser totalhalter, varför metallhalterna kan ha överskattats.



Figur 7. Vattenprovtagning med käpphämtare modell "Spindeln" där provflaskan fästs i cylindern med hjälp av gummistroppar (foto: SYNLAB).

TEMA

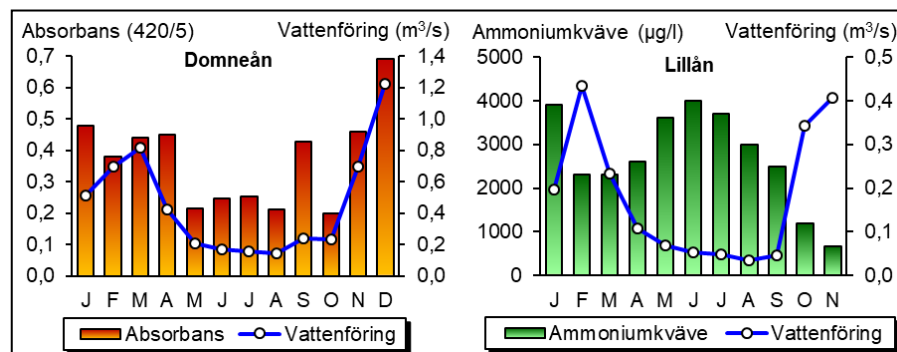


HÖGA FLÖDEN

Vid höga flöden/hög vattenförling blir utspädningen av utsläpp från punktkällor, som t.ex. kommunala avloppsreningsverk, större. Höga flöden ger även kortare omsättningstid, d.v.s. den tid det tar att helt byta ut vattnet i en sjö. Kortare omsättningstid och högre vattenstånd i sjöar samt högre vattenförling i rinnande vatten ökar förutsättningarna för god syretillgång. Mycket nederbörd ger stor ytavrinning, och därmed ökad erosion, från omgivande mark till vattnet (diffus markläckage). Vid högre vattenförling i vattendragen ökar även erosionen/sedimenttransporten i dessa. Erosion från omgivande mark och botten-sediment ger ett näringsrikare och grumligare vatten. Dessutom är vattnet ofta brunare på grund av större tillförsel av organiskt material (främst brunfärgade humusämnen) från omgivande land (se exemplet Domneån i diagrammet nedan).

LÅGA FLÖDEN

Låga flöden ger mindre utspädning av utsläpp från punktkällor (se exemplet Lillån i diagrammet nedan). Låga flöden ger även längre omsättningstid i sjöar. Längre omsättningstid och lägre vattenstånd i sjöar ökar risken för syrebrist, och därmed internbelastning, d.v.s. läckage av näringsämnet fosfor, som vid god syretillgång är bundet till järn i sedimentet. Låg vattenförling i vattendrag ökar risken för stillastående vatten, vilket leder till sämre syretillstånd. Vid liten nederbörd och ytavrinning minskar även läckaget av bl.a. näringsämnen och organiskt material (diffus påverkan) från omgivande mark till vattnet. Vid låg vattenförling blir även andelen grundvatten större i vattendragen, vilket syns som låg vattentemperatur och klart vatten med låg halt av organiskt material samt ofta förhöjda värden för alkalinitet (bufferförmåga) och konduktivitet (salthalt).



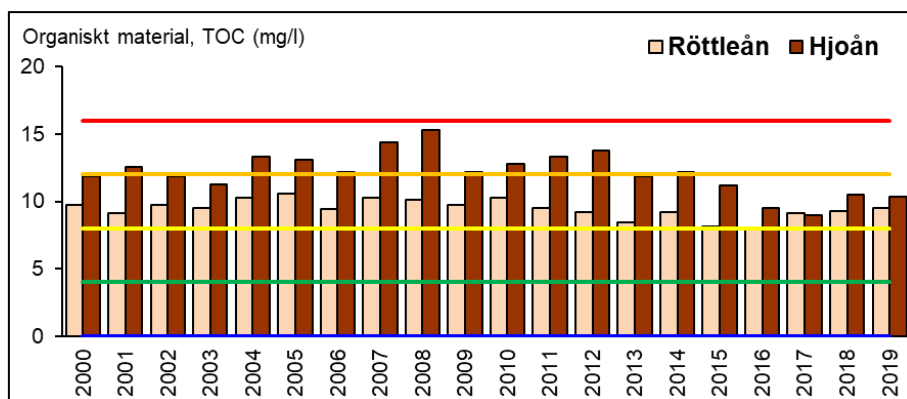
Vänster diagram: vattenfärg (mätt som absorbans i ofiltrerade prov vid 420 nm i 5 cm kyvett) och vattenförling i Domneån (station 80) år 2019. Höger diagram: halter av ammoniumkväve och vattenförling i Lillån nedströms Bankeryds reningsverk (station 70) år 2019.

TIDSSERIER OCH TRENDER

Tidsserierna för organiskt material (analyserat som TOC), totalfosfor, to-talkväve, ammoniumkväve och metaller (årsmedelhalter) utvärderades statistiskt med Mann-Kendall-test, varvid statistiskt signifikanta trender på en- ($p < 0,05$), två- ($p < 0,01$) och trestjärnig ($p < 0,001$) nivå under 2000-talet erhöles.

För organiskt material (främst humus från omgivande mark) finns signifikant minskande trender för 12 provplatser. Tydligast var detta i Röttleån och Hjoån (figur 8), där minskningen var på två- eller enstjärnig nivå under hela perioden 2000-2019 till och med 2009-2019 respektive 2001-2019 till och med 2012-2019, då medelhalterna av TOC minskade från måttligt höga till på gränsen mellan låga och måttligt höga respektive från höga till måttligt höga halter (figur 8). Också i Vätterns utlopp, Motala ström, minskade TOC-halterna på oftast tvåstjärnig nivå åren 2000-2019 till och med 2007-2019 inom klassen mycket låga halter. Statistiskt säkra trender mot minskande TOC-halter på tvåstjärnig nivå för mer än enstaka år finns även för Kärrafjärdens utlopp (från måttligt höga till låga halter). I Ålebäcken, Orrnäsaån, Huskvarnaån, Malmabäcken, Knipån, Gagnån, Forsviksaån och Alsens utlopp minskade TOC-halterna på oftast enstjärnig nivå ett eller flera år under 2000-talet.

Den enda statistiskt säkerställda trenden mot ökande TOC-halter förekom i Mjölnaån åren 2010-2019 till och med 2012-2019, då medelhalterna ökade från måttligt höga till höga, på enstjärnig nivå.

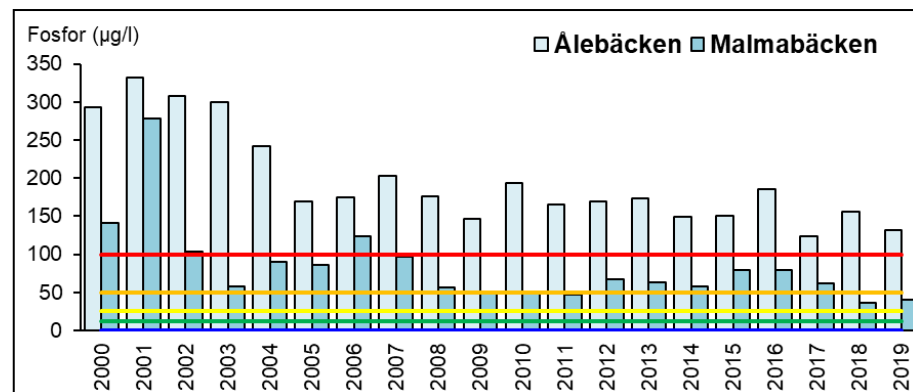


Figur 8. Årsmedelhalter av organiskt material (analyserat som TOC) i Röttleån (station 40) och Hjoån (station 140) under 2000-talet. Över blå linje är halten mycket låg, över grön linje låg, över gul linje måttligt hög, över orange linje hög och över röd linje mycket hög. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

I främst Ålebäcken (figur 9), Röttleån och Malmabäcken (figur 9), som är några av de mest jordbrukspåverkade av tillflödena, är fosformedelhalterna signifikant minskande under 2000-talet. Signifikansen är starkast i Ålebäcken och Röttleån, där den för vissa år var minskande till och med på trestjärnig nivå, medan minskningen i Malmabäcken som mest var tvåstjärnig. Även i Kärrafjärdens utlopp minskade fosforhalterna på tvåstjärnig nivå under hela perioden 2003-2019 till och med 2009-2019. För de

fyra nämnda stationerna samt Mjölnaån finns även fosforhalter med enstjärnigt minskande signifikans för vissa år. I Malmabäcken (figur 9) minskade fosforhalterna från extremt höga till höga, i Röttleån och Mjölnaån från mycket höga till höga och i Kärrafjärdens utlopp från måttliga höga till låga, medan de i Ålebäcken (figur 9) bedömdes som fortsatt extremt höga. Vid samtliga fem provplatser var 2019 års fosformedelhalt den allra lägsta eller bland de lägsta under 2000-talet.

För fem provplatser, Huskvarnaån, Munksjöns utlopp, Hökesån och Hjoån samt Vätterns utlopp, Motala ström, finns statistiskt signifikant ökande trender för fosfor under 2000-talet på varierande tre-, två- och enstjärnig nivå. Ökning med tre- och/eller tvåstjärnig signifikans förekom bara i Munksjöns utlopp, Hökesån och Hjoån. Vid dessa provplatser var fosformedelhalterna höga vid 2000-talets början, men minskade till måttligt höga vid 2000-talets mitt, för att därefter åter öka till höga halter. I Vätterns utlopp, Motala ström, var fosforhalterna låga under hela 2000-talet.

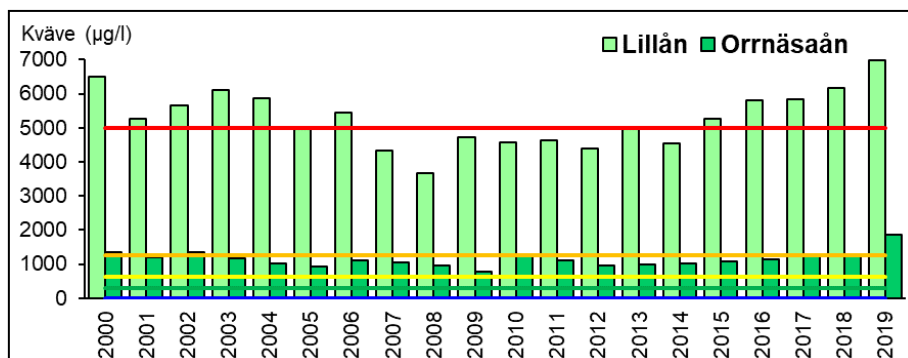


Figur 9. Årsmedelhalter av fosfor i Ålebäcken (station 25) och Malmabäcken (station 90) på 2000-talet. Över blå linje är halten låg, över grön linje måttligt hög, över gul linje hög, över orange linje mycket hög och över röd linje extremt hög, Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

För totalkväve finns statistiskt signifikant minskande trender under 2000-talet på oftast en- eller tvåstjärnig nivå för fem stationer. Minskande medelhalter av kväve på tvåstjärnig nivå förekom i utloppen av Kärrafjärden och Alsen, där halterna minskade från höga till måttligt höga respektive från höga till på gränsen mellan höga och måttligt höga. Övriga tre provplatser med minskande trender på enstjärnig nivå var Malmabäcken, Svedån och Forsviksån. I Hökesån halverades kvävehalterna mellan åren 2003 och 2004 beroende på att utsläppspunkten för det kommunala reningsverket i Habo flyttades till en våtmark med avrinning direkt till Vättern.

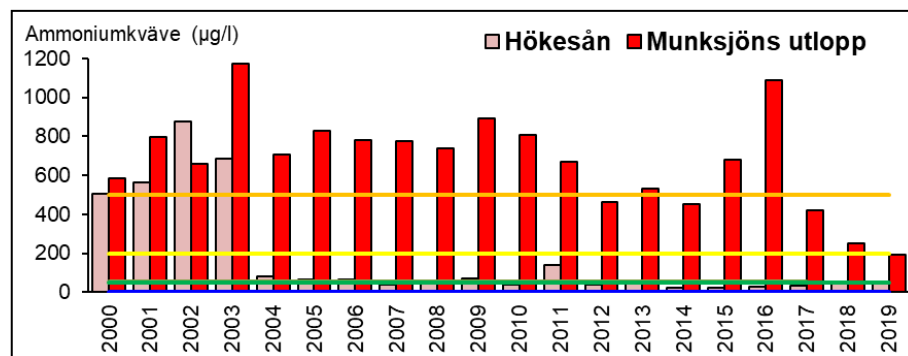
Statistiskt säkra ökande kvävehalter noterades för åtta stationer, men tydligast i Hjoån, där ökningen var trestjärnigt signifikant för sex år vid 2000-talets mitt. Ökning av kvävehalterna på trestjärnig nivå förekom även i Lillån (Bankeryd) för åren 2007-2019, 2011-2019 och 2012-2019 samt Orrnäsaån 2012-2019 (figur 10). I Hjoån var kvävehalterna mycket

höga vid tidsseriens början och slut, men höga däremellan, vilket följde mönstret för fosfor. Övriga fyra stationer med ökande trender på två- eller oftast enstjärnig nivå var Röttleån, Huskvarnaån, Hökesån, Knipån och Gagnån. I Lillån och Orrnäsaån (figur 10) samt Röttleån och Hjoån var 2019 års kvävedelhalter 2000-talets högsta.



Figur 10. Årsmedelhalter av kväve i Lillån (station 70) och Orrnäsaån (station 30) under 2000-talet. Över blå linje är halten låg, över grön linje måttligt hög, över gul linje hög, över orange linje mycket hög och över röd linje extremt hög, Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).

För tio av de 15 stationer där ammoniumkväve analyseras finns statistiskt signifikant minskande trender under 2000-talet på en-, två- eller trestjärnig nivå. Den enda stationen med minskande halter av ammoniumkväve på trestjärnig nivå var Knipån (2003-2019). I Hökesån klassades medelhalterna av ammoniumkväve som höga åren 2000-2003, men minskade därefter drastiskt till låga eller mycket låga halter (figur 11) på grund av att utsläppspunkten för Habo reningsverk flyttades till en våtmark med avrinning direkt till Vättern. I Knipån, liksom vid flertalet övriga provplatser, var medelhalterna av ammoniumkväve mycket låga eller låga under hela 2000-talet. I Huskvarnaån och Mjölnaån bedömdes emellertid medelhalterna ibland som måttligt höga och enstaka år till och med som höga. Även i Ålebäcken bedömdes halterna av ammoniumkväve ofta som måttligt höga. I Munksjöns utlopp klassades medelhalterna av ammoniumkväve oftast som höga, men 2019 års halt var låg och den lägsta noterade under 2000-talet (figur 11). I Munksjöns utlopp och Huskvarnaån bidrar utsläpp från reningsverk till förhöjda ammoniumkvävehalter, medan det i Mjölnaån och Ålebäcken troligen främst handlar om tillskott från gödsel. De enda stationerna med statistiskt signifikant ökande halter av ammoniumkväve är Orrnäsaån (2010-2019 och 2014-2019) Domneån (2014-2019) och Hökesån (2014-2019 och 2015-2019) samt utloppen ur Alsen (2012-2019 t.o.m. 2014-2019) och Vättern (2010-2019 t.o.m. 2013-2019), men bara på en- eller tvåstjärnig nivå, och samtliga medelhalter var mycket låga till låga.



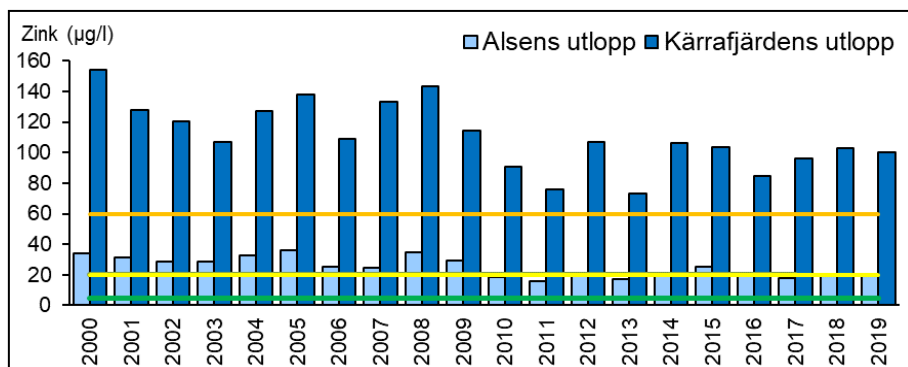
Figur 11. Årsmedelhalter av ammoniumkväve i Hökesån (station 100) och Munksjöns utlopp (station 60) under 2000-talet. Över blå linje är halten mycket låg, över grön linje låg, över gul linje måttligt hög och över orange linje hög. Bedömningar enligt KM Lab (skrivelse 2000-02-14).

För tungmetaller, som analyseras i sju av tillflödena samt Vätterns utlopp, Motala ström, finns många signifikant minskande trender för årsmedelhalter av metaller under 2000-talet på en-, två- eller trestjärnig nivå. På trestjärnig nivå gäller det emellertid bara arsenik i Huskvarnaån, kadmium, koppar och nickel i Malmabäcken, krom i Forsviksån, krom i Alsens utlopp, koppar och krom i Kärrafjärdens utlopp, arsenik och zink i Vätterns utlopp, Motala ström, samt koppar i Lillån (Bankeryd). Vid samtliga åtta provplatser är det även flera metaller som minskat på två- och enstjärnig nivå. I Huskvarnaån gäller detta arsenik, bly och krom, i Munksjöns utlopp arsenik, krom och zink, i Lillån arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, nickel och zink, i Malmabäcken arsenik, kadmium, koppar, krom, nickel och zink samt i Forsviksån arsenik, bly, kadmium, krom och nickel. Minskande halter på två- och enstjärnig nivå förekommer även i utloppen av Alsen (arsenik, koppar, krom, nickel och zink, figur 12) och Kärrafjärden (arsenik, kadmium, koppar, krom och zink, figur 12) samt Vättern vid Motala ström (arsenik, koppar, krom och zink). I fem fall var 2019 års medelhalter de lägsta noterade under 2000-talet. Det gällde arsenik i Huskvarnaån och Munksjöns utlopp, koppar i utloppen av Alsen och Kärrafjärden samt krom i Forsviksån.

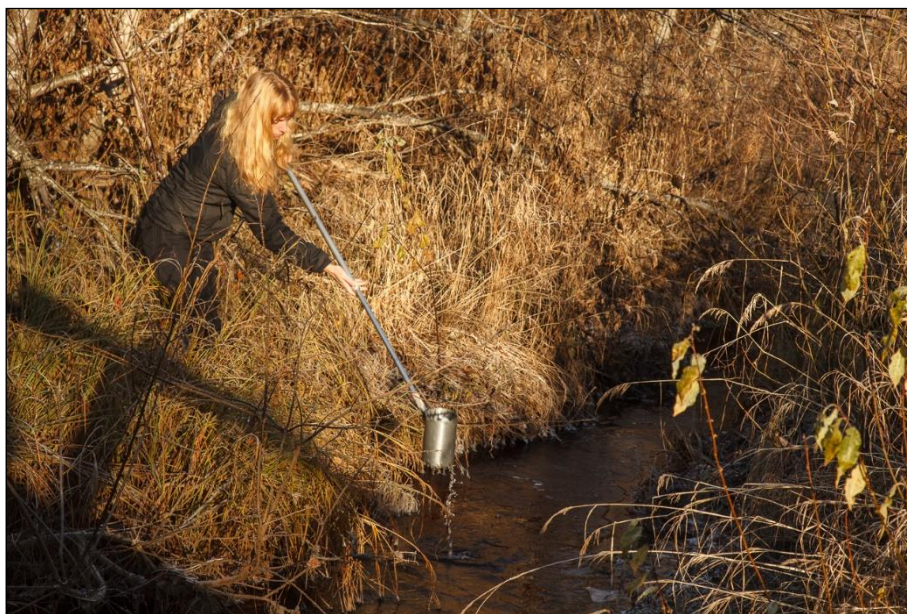
Ökande halter med tvåstjärnig signifikans finns bara för nickel i Huskvarnaån samt utloppen av Kärrafjärden och Vättern vid Motala ström. Ökande halter på enstjärnig nivå förekommer för nickel och kadmium i Munksjöns utlopp, kadmium i Huskvarnaån och Alsens utlopp samt bly i Malmabäcken och Vätterns utlopp, Motala ström.

Vid flertalet stationer var årsmedelhalterna av metaller mycket låga eller låga under hela 2000-talet. I Malmabäcken minskade kopparhalterna från höga till måttligt höga, och halterna av bly och zink från måttligt höga till låga. I Lillån (Bankeryd) minskade medelhalterna av bly, koppar och nickel från måttligt höga till låga. Orsaker till minskande metallhalter i Malmabäcken och Lillån kan till exempel vara minskad tillförsel från ytbehandlingsindustri och dagvatten. I Kärrafjärdens utlopp var zinkhalterna minskande, dock höga, under hela 2000-talet (figur 12). Vid samma provplats var blyhalterna oftast höga. Förhöjda halter av zink och bly i Kärrafjärdens utlopp beror på nuvarande och tidigare verksamhet vid Zinkgruvan

Mining AB i Askersunds kommun. I Alsens utlopp var blyhalterna under hela 2000-talet på gränsen mellan låga och måttligt höga, medan zinkhalterna minskade från måttligt höga till på gränsen mellan måttligt höga och låga (figur 12). I Alsens utlopp kan minskande metallhalter eventuellt bero på minskat tillskott från reningsverk och dagvatten.



Figur 12. Årsmedelhalter av zink i utloppen av Alsen (station 1349) och Kärrafjärden (station 1271) under 2000-talet. Över grön linje är halten låg, över gul linje måttligt hög och över orange linje hög. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999).



Figur 13. Vattenprovtagning med teleskophämtare modell "Spindeln" (foto: SYNLAB).

Ämnestransport och arealspecifik förlust

Ann-Charlotte Norborg Carlsson, SYNLAB

Sammanfattning

År 2019 stod Huskvarnaån, Munksjöns utlopp, Forsviksån och Mjölnaån för tillsammans 65% av den beräknade fosfortransporten, 64% av kvävetransporten och 61% av transporten av organiskt material (analyserat som TOC) till Vättern. Transporterna följer ofta vattenföringen väl med större mängder under år med högt flöde. För flera tillflöden och utflödet noterades de största transporterna höglödesåren 1995, 1998 och 2007. Jämfört med långtidsmedelvärden var 2019 års transporter, liksom åren 2016, 2017 och 2018, oftast avsevärt under de normala beroende på relativt låg vattenföring. Skillnaderna var störst för Mjölnaån, Huskvarnaån, Munksjöns utlopp, Forsviksån, och Kärrafjärdens utlopp, där transporterna av både fosfor, kväve och TOC var cirka 25-50% mindre än vanligt. I Lillån (Bankeryd) var transporterna av fosfor och TOC 40% respektive 25% mindre än normalt. I Munksjöns utlopp var 2019 års transporter av både fosfor, kväve och TOC de minsta under hela perioden 1996-2019 och i Forsviksån var 2019 års fosfortransport den minsta i tidsserien. I Vätterns utlopp (Motala ström) var 2019 års transporter av både fosfor, kväve och TOC cirka 60% mindre än vanligt och den andra eller tredje minsta sedan 1990. Däremot var 2019 års kvävetransporter i Hökesån, Knipån och Lillån, samt i Hökesån även TOC, cirka 10-20% större jämfört med långtidsmedelvärden. I främst Lillån, Svedån och Vätterns utlopp (Motala ström) minskade fosfortransporterna under 1990-2019 medan vattenföringen var oförändrad eller ökade svagt, vilket kan tolkas som minskad belastning från punktkällor. I Huskvarnaån och Svedån minskade kvävetransporterna medan flödet var tämligen stabilt eller svagt ökande.



Figur 1. Hökesån vid Habo (foto: SYNLAB).

För Lillån och Munksjöns utlopp bedömdes 2019 års arealspecifika förluster (ämnestransporter per avrinningsområdesyta) som höga för kväve och måttligt höga för fosfor. Både Lillån och Munksjön är kraftigt belastade av näringsämnen (främst kväve) från kommunala reningsverk i Bankeryd respektive centrala Jönköping. Lillåns avrinningsområde omfattar dessutom en stor andel jordbruksmark (37%) och saknar sjöar som kan fungera som ”klarningsbassänger”. Även Hökesån, Huskvarnaån, Knipån, Mjölnaån och Alsens utlopp hade höga kväveförluster, men mycket låga (Mjölnaån) eller låga fosforförluster. För Kärrafjärdens utlopp och Svedån klassades kväveförlusterna som låga, medan fosforförlusterna var mycket låga. Mycket låga förluster av både fosfor och kväve förekom endast i Forsviksån och Vätterns utlopp (Motala ström), vilket beror på att båda dessa avrinningsområden har stora andelar sjö- och vattendragsyta (21 respektive 35%). Under 2000-talet finns tvåstjärnigt statistiskt signifikanta trender gällande minskande fosforförluster för Huskvarnaån, Kärrafjärdens utlopp och Vätterns utlopp (Motala ström) samt minskande kväveförlust för Kärrafjärdens utlopp. Förutom för de tre nämnda vattendragen finns svagare trender på enstjärnig nivå för minskande förluster av fosfor och/eller kväve för Mjölnaån, Munksjöns utlopp, Knipån, Forsviksån, Svedån, Lillån och Alsens utlopp. I samtliga fall kan minskande förluster under 2000-talet kopplas till minskande flöde (minskat markläckage).

Inledning

På uppdrag av Vätternvårdsförbundet utförde SYNLAB 2019 års fysikalisk-kemiska vattenundersökningar vid 17 stationer i tillflöden till Vättern samt vid en station i utloppet vid Motala ström (se figur och text i kapitlet ”Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp”). Utifrån uppgifter om vattenföring och halter av fosfor, kväve och organiskt material (analyserat som TOC) samt arealuppgifter beräknades ämnestransporter och arealspecifika förluster.

Metodik

Uppgifter om markanvändning inhämtades via SMHI:s Vattenwebb (<http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>, SVAR-version 2016_3) för de vattenförekomster som bäst motsvarade respektive provpunkt. Ålebäcken och Malmabäcken finns inte som egna områden, varför inga uppgifter kunde erhållas.

För flertalet tillflöden till Vättern hämtades uppgifter om vattenföring för perioden 2004-2019 som modellberäknade data från SMHI:s Vattenwebb (<http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>, HYPE-version 5_10_2). I tidigare versioner fanns värden från och med år 1999 respektive 1990 och för åren 1990-2003 användes dessa. För tillflödena användes årsmedelvärden (total stationskorrigerad vattenföring). För Ålebäcken och Malmabäcken saknas uppgifter. I utloppet, Motala ström, finns en vattenföringsstation (nr 1950) med ännu äldre data, varför uppgifter sammanställdes för åren 1960-2019. För denna station användes även månadsmedelvärden. Även i

Svedån vid Sved finns en vattenföringsstation (nr 2359), varför dessa data användes istället för modellerade data. För vissa tillflöden finns även flöden framtagna inom den samordnade recipientkontrollen i ”Norra Vättern” (Alsen och Kärrafjärden) och ”Södra Vättern” (Huskvarnaån, Munksjöns utlopp, Lillån, Hökesån och Knipån). Dessa flöden skiljer sig ibland från SMHI:s data, bland annat därför att kända uppgifter om flödestillskott från till exempel reningsverk lagts till. Dessa tidsserier sträcker sig inte så långt tillbaka som 1990, men fick ändå företräde framför HYPE-data, eftersom de är mer sanna och har använts vid publicerade transportberäkningar i recipientkontrollen.

Utifrån dygnsmedelvattenföring för respektive tillflöde (oftast vid mynningen i Vättern) samt för utloppet, Motala ström, vilka hämtades från SMHI:s Vattenwebb (adress, se ovan), och halter vid respektive provpunkt, beräknades transporter av fosfor, kväve och organiskt material (analyserat som TOC). Vid beräkningen multiplicerades interpolerade halter med aktuell dygnsmedelvattenföring och summerades till en årstransport. På detta sätt erhöles värden för åren 1990-2019 för Mjölnaån, Forsviksån, Svedån och Motala ström. För Huskvarnaån, Munksjöns utlopp, Lillån, Hökesån och Knipån användes samma transportvärden som framkommit inom den samordnade recipientkontrollen för ”Södra Vättern” (ALcontrol AB och för åren 2015-2019 Calluna AB) med varierande startår (1992, 1996 eller 2003). För utloppen av Alsen och Kärrafjärden erhöles transportvärden från den samordnade recipientkontrollen i ”Norra Vättern” (Medins Havs- och Vattenkonsulter AB) med startår 1994, 1995 eller 2000. Samtliga transportvärden från den samordnade recipientkontrollen är beräknade utifrån halter och månadsmedelvattenföring. I Svedån och Forsviksån ligger provpunkterna ett stycke uppströms mynningen i Vättern. Transporterna vid dessa båda provpunkter räknades därför upp med arealkorrigeringsfaktorerna 1,114 respektive 1,080 för att representera mynningen i Vättern.

För ovan nämnda vattendrag med tidsserier för transporter, beräknades den arealspecifika förlusten av fosfor respektive kväve som årstransporten dividerad med avrinningsområdets yta (kg/ha, år), både som ett medelvärde för treårsperioden 2017-2019 och för varje enskilt år i tidsserierna. Arealförlusterna bedömdes i enlighet med Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999). Tidsserierna utvärderades statistiskt med Mann-Kendall-test.

Resultat och diskussion

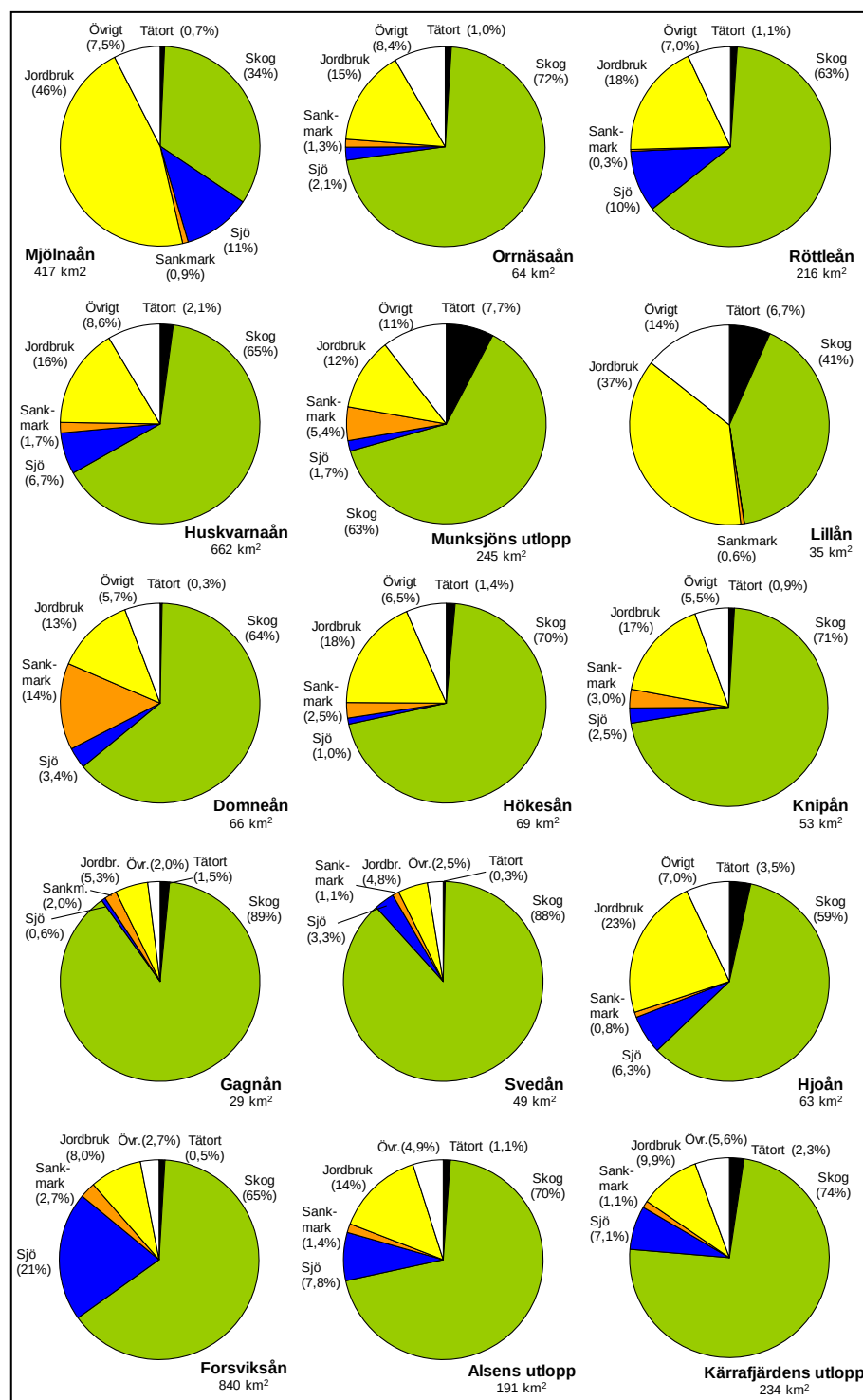
MARKANVÄNDNING

Markanvändningen i avrinningsområdena för 15 av de 17 undersökta tillflödena till Vättern framgår av figur 2. I 14 områden är dominerande markslag skog, som varierar mellan 41% i Lillån (Bankeryd) och knappt 90% i Gagnån och Svedån. I Mjölnaån dominerar jordbruksmarken (46%). Jordbruksmark utgör en stor andel även i flertalet övriga avrinningsområden. Avrinningsområden med mindre än 10% jordbruksmark är Gagnån och Svedån (5%) samt Forsviksån (8%) och Kärrafjärdens utlopp (10%). Beroende på påverkan av erosion och gödsling är markläckaget av näringsämnen större från jordbruksmark än från skogsmark, varför halterna av fosfor och kväve i intilliggande vattendrag oftast är förhållandevis högre. Även värdena för turbiditet (grumlighet) och alkalinitet (motståndskraft mot försurning) är oftast högre i vattenområden i jordbruksbygd. Ytterligare en faktor av stor betydelse för vattenkvaliteten är andelen sjöar i avrinningsområdet. Detta eftersom sjöar fungerar som naturliga ”klarningsbassänger” där partiklar av organiskt (humus, alger) eller oorganiskt (mineralpartiklar) material kan sedimentera och/eller nedbrytning ske. Sjöprocenten är klart störst i Forsviksåns avrinningsområde (21%, figur 2), där sjöarna Unden och Viken utgör en stor del av området. Därefter följer Mjölnaån och Röttleån med 11 respektive 10% sjö. I Mjölnaåns avrinningsområde ligger sjön Tåkern och i Röttleåns avrinningsområde finns sjöarna Ören och Bunn. Följande åtta avrinningsområden har en sjöprocent mindre än fyra procent: Orrnäsaån, Munksjöns utlopp, Lillån, Domneån, Hökesån, Knipån, Gagnån och Svedån.

Sämst vattenkvalitet kan följaktligen förväntas i tillflöden med stor andel jordbruksmark och liten andel sjöar, vilket stämmer bäst in på Lillån. Tvärtom kan bäst vattenkvalitet förväntas i tillflöden med liten andel jordbruksmark och stor andel sjöar, vilket stämmer bäst in på Forsviksån. (Se kapitlet ”Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp”).

Vatten som avrinner från sankmark är mycket humöst. Andelen sankmark är störst i Domneåns avrinningsområde (14%, figur 2). Domneån hade också mycket riktigt 2019 års högsta medelvärde för färgtal (mätt som absorbans, se kapitlet ”Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp”).

Andelen tätort är störst i Munksjöns utlopp (8%, figur 2). Tätorter kan påverka vattenkvaliteten negativt genom tillförsel av främst näringsämnen och syreförbrukande organiskt material, men även till exempel metaller och olja från industrier och reningsverk samt dagvatten. I Munksjöns utlopp syntes påverkan från främst det kommunala reningsverket i Jönköping som förhöjda halter av ammoniumkväve (se kapitlet ”Vattenkvalitet i Vätterns tillflöden och utlopp”).

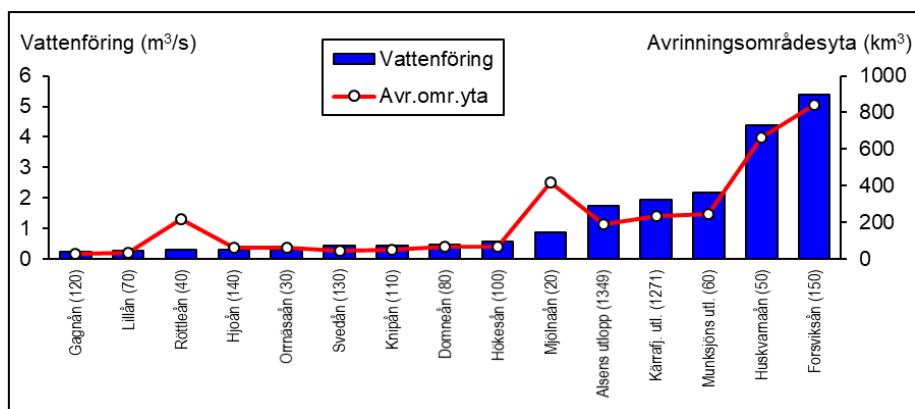


Figur 2. Procentuell fördelning av markslag för 15 av 17 undersökta tillflöden till Vättern. För Ålebäcken och Malmabäcken fanns inga uppgifter att tillgå på SMHI:s Vattenwebb (<http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>).

VATTENFÖRING

Vattenföringen har stor betydelse för vattenorganismernas livsmiljö. Vid litet vattenflöde ökar konkurrensen om utrymmet eftersom arealen vattenyta minskar. Vidare ökar risken för syrebrist. Litet vattenflöde ger dessutom ökad påverkan från eventuella punktkällor som en koncentrations-effekt. Vid större vattenflöden ökar risken för bortspolning av organismer, medan vattenkvaliteten kan vara bättre. Vattenföringen påverkar transporter av till exempel näringsämnena fosfor och kväve samt syreförbrukande organiskt material, eftersom vattenföring multiplicerad med halter ger transporterad mängd av olika ämnen till Vättern.

Vattenföringen i 15 av de undersökta tillflödenas mynning i Vättern varierade mellan 0,24 m³/s (Gagnån) och 5,4 m³/s (Forsviksån) som årsmedelvärde 2019 (figur 3). Medelavrinnningen ut ur Vättern vid Motala ström var 18 m³/s. I flertalet vattendrag var vattenföringen högst i början (februari och mars) eller slutet (november och december) av året och lägst under sen vår, sommar och tidig höst (maj t.o.m. september). Inte så förvånande fanns ett tydligt samband mellan årsmedelvattenföring och respektive tillflödes avrinningsområdesyta (figur 3). I Röttleån och Mjölneån var flödet anmärkningsvärt litet i förhållande till respektive avrinningsområdes storlek, troligen beroende på reglering för produktion av elkraft (figur 3).



Figur 3. Medelvattenföring år 2019 samt avrinningsområdets yta för 15 av 17 undersökta tillflöden till Vättern. För Ålebäcken och Malmabäcken fanns inga uppgifter att tillgå på SMHI:s VattenWeb.

År 2019 var medelvattenföringen i samtliga 15 tillflöden 1-54% lägre än medelvärden för perioden 1990-2018. Vattenföringen var särskilt mycket lägre i Mjölneån (50%) och Munksjöns utlopp (54%) samt Huskvarnaån (30%), Domneån (28%) och Hjoån (26%), där den bara varit lägre två till fem år tidigare. I Munksjöns utlopp var 2019 års vattenföring den lägsta i tidsserien. Också i Vätterns utlopp (Motala ström) var 2019 års medelvattenföring avsevärt lägre (53%) jämfört med medelvärdet för perioden 1990-2018. Orsaken till de jämförelsevis låga flödena kan åtminstone delvis vara relativt lite nederbörd i januari, februari, april, juni och september (se kapitlet "Klimat och vattenstånd"). I Mjölneån kan även reglerings-

förhållanden ha bidragit. I flertalet tillflöden förekom den högsta vattenföringen åren 1995, 1998, 2007 och 2012. I de nordligaste tillflödena, utloppen ur Alsen och Kärrafjärden, noterades dock den allra högsta vattenföringen år 2000. I Lillån (Bankeryd) och Knipån uppmättes den högsta vattenföringen år 2011. År med särskilt låga medelvattenföringar var 1996, 2003, 2005, 2009 och 2013 samt 2016-2019. I flera tillflöden (Mjölnaån, Orrnäsaån, Gagnån, Svedån, Hjoån och Forsviksån samt utloppen ur Alsen och Kärrafjärden) förekom ovanligt låga vattenföringar även under perioden 1990-1993.

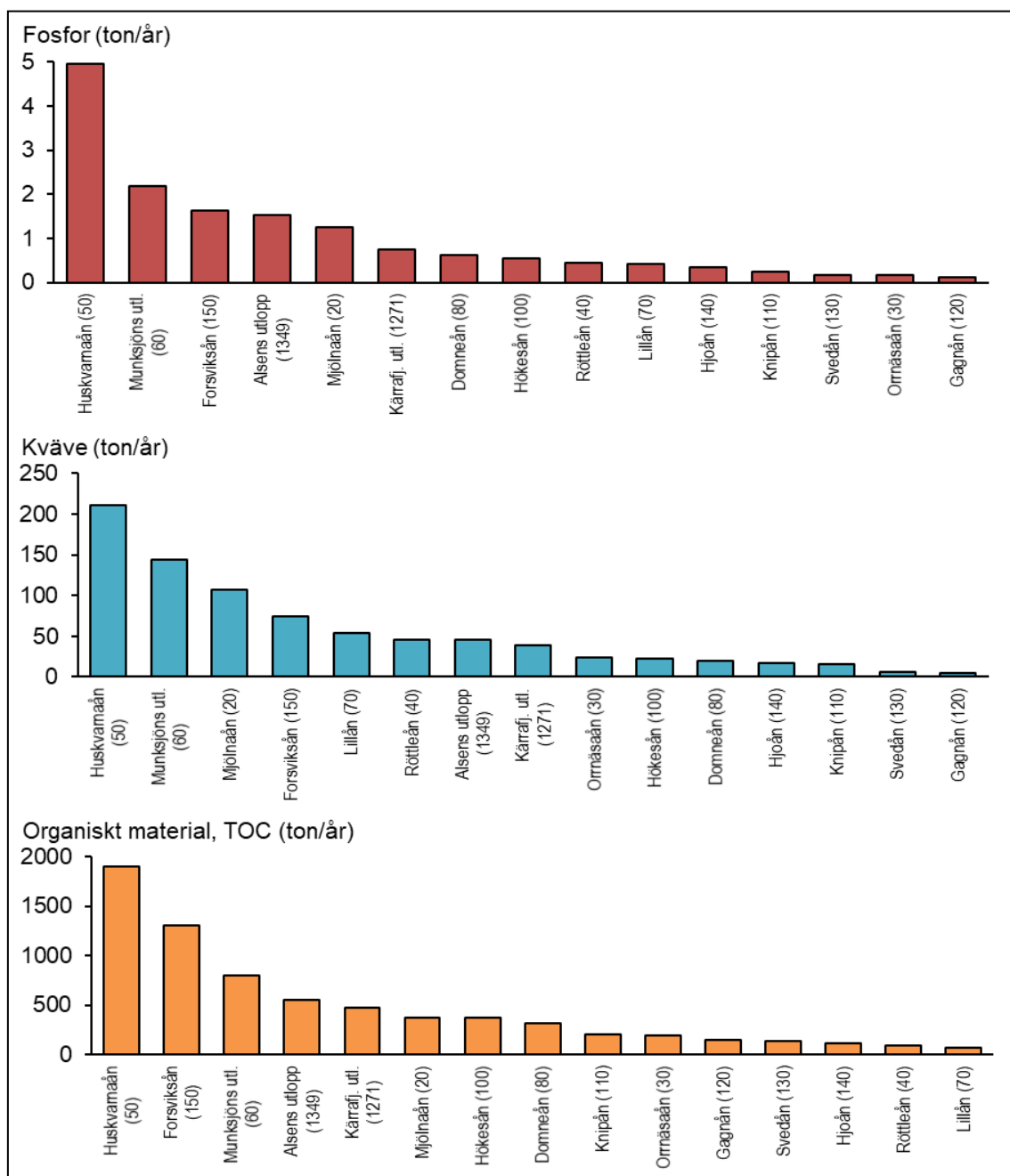
ÄMNESTRANSPORT

Ämnestransporterna för år 2019 av näringsämnen fosfor och kväve samt syreförbrukande organiskt material (analyserat som TOC) redovisas i tabell 1 och figur 4. Fosfortransporten var klart störst i Huskvarnaån (32%), följt av Munksjöns utlopp (14%), Forsviksån (11%), Alsens utlopp (10%)

Tabell 1. Ämnestransporter av fosfor, kväve och organiskt material (analyserat som TOC) år 2019 för 15 av 17 undersökta tillflöden till Vättern samt utloppet Motala ström. Nederst anges transporter till de fyra vattenförekomsterna i Vättern. För Ålebäcken och Malmabäcken kunde inga beräkningar göras, eftersom inga uppgifter om vattenföring fanns att tillgå på SMHI:s Vattenwebb)

Provtagningsplats	Fosfor (ton/år)	Kväve (ton/år)	TOC (ton/år)
<u>Tillflöden</u>			
20. Mjölnaån	1,24	107	373
25. Ålebäcken	-	-	-
30. Orrnäsaån	0,153	24,3	195
40. Röttleån	0,439	46,2	93,0
50. Huskvarnaån	4,96	211	1895
60. Munksjöns utlopp	2,18	144	800
70. Lillån	0,420	53,5	65,5
80. Domneån	0,621	19,4	319
90. Malmabäcken	-	-	-
100. Hökesån	0,540	23,1	372
110. Knipån	0,240	15,0	205
120. Gagnån	0,108	4,92	149
130. Svedån	0,155	6,10	140
140. Hjoån	0,331	17,3	113
150. Forsviksån	1,63	74,2	1302
1349. Alsens utlopp	1,52	45,3	550
1271. Kärrafjärdens ut.	0,734	39,1	471
Summa	15,3	830	7041
<u>Utlopp</u>			
10. Motala ström	2,96	364	1454
<u>Vattenförekomster</u>			
Alsen	1,52	45,3	550
Kärrafjärden	0,734	39,1	471
Duvfjärden (Alsen+Kärrafjärden)	2,25	84,4	1021
Storvättern	13,0	746	6020

och Mjölnaån (8%). Tillsammans stod dessa fem tillflöden för 75% av den beräknade fosfortransporten till Vättern. Även kvävetransporten dominerades av fyra av ovan nämnda tillflöden, Huskvarnaån (25%), Munksjöns utlopp (17%), Mjölnaån (13%) och Forsviksån (9%), medan Alsens utlopp ersattes med Lillån (6%). Dessa fem tillflöden bidrog tillsammans med 71% av kvävet till Vättern.

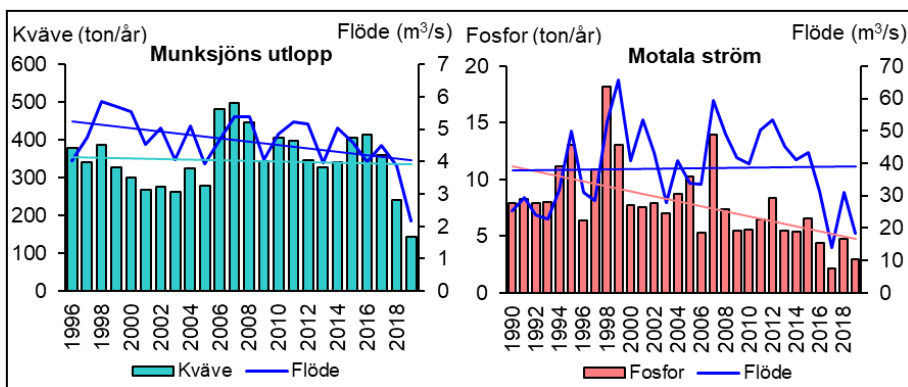


Figur 4. Ämnestransporter av fosfor, kväve och organiskt material (analyserat som TOC) år 2019 för 15 av 17 undersökta tillflöden till Vättern sorterade i storleksordning. För Ålebäcken och Mal-mabäcken kunde inga beräkningar göras, eftersom inga uppgifter om vattenföring fanns att tillgå på SMHI:s Vattenwebb.

Samma vattendrag som för fosfor, Huskvarnaån (27%), Forsviksån (18%), Munksjöns utlopp (11%) Alsens utlopp (8%) och Mjölnaån (5%), stod även för 69%, och tillsammans med Kärrafjärdens utlopp (7%) för 76%, av transporten av organiskt material. Gagnån, Svedån, Knipån var de tillflöden som bidrog med de minsta näringsämnestransporterna (för fosfor även Orrnäsaån), medan Lillån, Röttleån, Hjoån och Svedån stod för de minsta transporterna av organiskt material (<2 % vardera).

I ett längre tidsperspektiv har transporterna av både fosfor, kväve och organiskt material (analyserat som TOC) följt vattenföringen väl med större transporter under år med högre medelvattenföring, vilket har sin förklaring i större markläckage vid ökad nederbörd och avrinning. I flera tillflöden och utflödet (figur 5) noterades således de största transporterna åren 1995, 1998 och 2007. Vid utloppen ur Alsen och Kärrafjärden förekom emellertid de största transporterna år 2000 samt i Hökesån, Knipån och Lillån oftast år 2011.

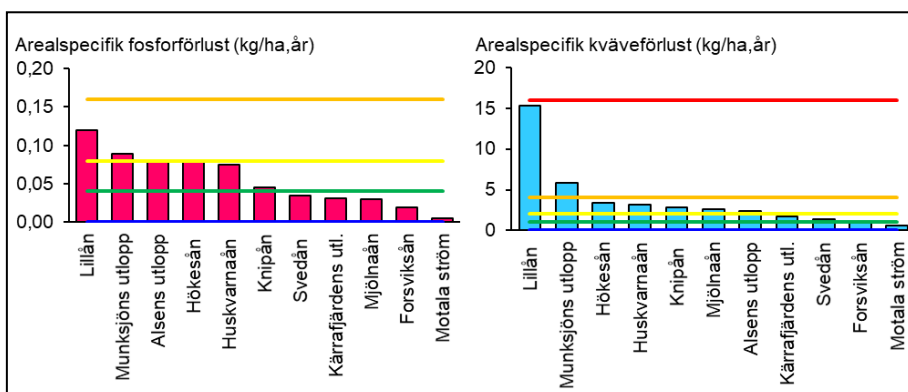
Jämfört med långtidsmedelvärden (oftast från början eller mitten av 1990-talet t.o.m. 2018) var 2019 års transporter, liksom åren 2016, 2017 och 2018, oftast avsevärt under de normala. För fosfor var skillnaderna störst i Mjölnaån (-54%), Munksjöns utlopp (-47%), Forsviksån (-42%), Lillån (-40%), Kärrafjärdens utlopp (-35%) och Huskvarnaån (-33%). För kväve var skillnaderna störst i Munksjöns utlopp (-59%, figur 5), Huskvarnaån (-35%), Mjölnaån (-33%) och Forsviksån (-33%). Däremot var 2019 års kvävetransporter i Knipån (+18%), Lillån (+13%) och Hökesån (+9%) större jämfört med långtidsmedelvärdet. För organiskt material (analyserat som TOC) var transporterna med ett undantag mindre än vanligt i samtliga tillflöden med den största avvikelsen i Mjölnaån (-50%) samt utloppen ur Munksjön (-44%) och Kärrafjärden (-36%). I Hökesån var 2019 års transport av TOC däremot 15% större än normalt. I Munksjöns utlopp var 2019 års transporter av både fosfor, kväve (figur 5) och TOC mindre än under hela perioden 1996-2018 och i Forsviksån var 2019 års fosfortransport den minsta i tidsserien. Även i Mjölnaån (fosfor), Huskvarnaån (fosfor och kväve), Knipån (fosfor), Forsviksån (kväve), Lillån (fosfor) och Kärrafjärdens utlopp (TOC) var 2019 års transporter bland de två till fyra minsta i respektive tidsserie. I Vätterns utlopp (Motala ström) var 2019 års transport av både fosfor (figur 5), kväve och TOC cirka 60% mindre än vanligt och den andra eller tredje minsta sedan 1990. I främst Lillån, Svedån och Motala ström (figur 5) minskade fosfortransporterna under den knappa 30-årsperioden, medan vattenföringen var oförändrad eller ökade svagt, vilket kan tolkas som minskad belastning från punktkällor. I Huskvarnaån och Svedån minskade kvävetransporterna medan flödet var tämligen stabilt eller svagt ökande.



Figur 5. Årstransporter av näringsämnet kväve i Munksjöns utlopp (station 60) och Vätterns utlopp vid Motala ström (station 10) samt årsmedelvattenföring åren 1996-2019 respektive 1990-2019. Linjer avser linjär regression.

AREALSPECIFIK FÖRLUST

För Lillån (Bankeryd) och Munksjöns utlopp bedömdes 2019 års arealspecifika förluster (ämnestransporter per avrinningsområdesyta) som måttligt höga för fosfor och höga för kväve (figur 6). Både Lillån och Munksjön är kraftigt belastade av näringsämnen (främst kväve) från kommunala reningsverk i Bankeryd respektive centrala Jönköping (Simsholmen). Lillåns avrinningsområde omfattar dessutom en stor andel jordbruksmark (37%) och saknar sjöar (figur 2) som kan fungera som ”klarningsbassänger”. Även Hökesån, Huskvarnaån, Knipån, Mjölnaån och Alsens utlopp hade höga kväveförluster, men mycket låga (Mjölnaån) eller låga fosforförluster (figur 6). För Kärrafjärdens utlopp och Svedån klassades kväveförlusterna som låga, medan fosforförlusterna var mycket låga. Mycket låga förluster av både fosfor och kväve förekom endast i Forsviksån och Vätterns utlopp (Motala ström), vilket beror på att båda dessa avrinningsområden har stora andelar sjö- och vattendragsyta (21 respektive 35%).



Figur 6. Areal specifika förluster av fosfor respektive kväve år 2019 för 10 av 17 undersökta tillflöden till Vättern samt Vätterns utlopp vid Motala ström. Över blå linje är förlusterna mycket låga, över grön linje låga, över gul linje måttligt höga, över orange linje höga och över röd linje mycket höga. Bedömningar enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Rapport 4913, 1999).

Vid utvärdering av tidsserier för arealspecifika förluster under 2000-talet finns bara statistiskt säkra trender på tvåstjärnig nivå ($p < 0,01$) för tre stationer. Det gäller minskande fosforförluster för Huskvarnaån (2006-

2019), Kärrafjärdens utlopp (2000-2019, 2004-2019, 2006-2019 och 2007-2019) och Vätterns utlopp vid Motala ström (2000-2019 t.o.m. 2004-2019 samt 2007-2019) samt minskande kväveförlust för Kärrafjärdens utlopp (2000-2019). För dessa platser finns även enstjärnigt signifikanta trender ($p < 0,05$) mot minskande förluster av både kväve och fosfor för flera år. Övriga stationer med minskande förluster på enstjärnig nivå för enstaka år är: Mjölnaån (fosfor), Munksjöns utlopp (kväve), Knipån (fosfor), Forsviksån (fosfor och kväve), Svedån (kväve), Lillån (fosfor) och Alsens utlopp (fosfor och kväve). I samtliga fall kan minskande förluster under 2000-talet kopplas till minskande flöde (minskat markläckage). Det finns inga säkra trender mot ökande förluster.

Växtplankton

Ingrid Hårding, Medins Havs och Vattenkonsulter AB

Sammanfattning

Resultaten från 2019 års undersökningar av växtplankton i Vättern visade på hög näringsstatus för både Edeskvarna och Jungfrun. Biomassan var mycket liten under hela säsongen och mängden guldalger som indikerar oligotrofi (näringsfattigdom) var relativt stor, främst i maj.

Inledning

Växtplanktonsamhället i Vättern har följts i fyrtio år. Genom att analysera artsammansättning, arters relativa förekomst samt biovolym flera gånger årligen bevakas tillståndet och eventuella förändringar. Växtplanktonsamhällen förändras tydligt vid ändringar i till exempel näringsbelastning, betningstryck, vattentemperatur, ljusförhållanden och försurningspåverkan. Även för att förstå förändringar i andra delar av näringsväven är kunskap om primärproducenternas utveckling viktig.

Provtagnings- och analysmetoder

Provtagning av växtplankton i Vättern utförs fyra gånger om året under perioden april till september. År 2019 utfördes provtagningarna 30 april, 27-28 maj, 23 juli, 8 och 21 augusti och 3-4 september. Provtagningen av växtplankton sker på samma stationer som vattenkemiproverna tas (tabell 1).

Tabell 1. Stationer för undersökning av växtplankton i Vättern (koordinater i RT 90, 2.5 gon V)

Nr	Station	Koordinater (x-y)	Maxdjup (m)	Provtagningsnivåer (m)
1	Edeskvarna	6424370-1406420	115	0-24 (blandprov)
2	Jungfrun	6486950-1434130	75	0-24 (blandprov)

Kvantitativa prov tas med en rörhämtare från varje tvåmetersintervall ned till 24 m (0–2, 2–4 m och så vidare) och samlas till ett blandprov. Ur blandprovet tas ett delprov för analys. Vid varje provpunkt tas dessutom ett kvalitativt prov från 0–24 meters djup genom vertikal håvning. Håvens masktäthet är 25 µm. Samtliga prov konserveras med Lugols lösning.

Artbestämning, räkning och mätning av växtplankton görs med hjälp av ett omvänt faskontrastmikroskop enligt så kallad Utermöhl-teknik (Utermöhl 1958) i enlighet med SS-EN 15204 (SIS 2006), ”Handledningen för miljöövervakning” (Havs och vattenmyndigheten 2016) och standarden SS-EN 16695:2015. Sedimenterad volym för 2019 års prover var mellan

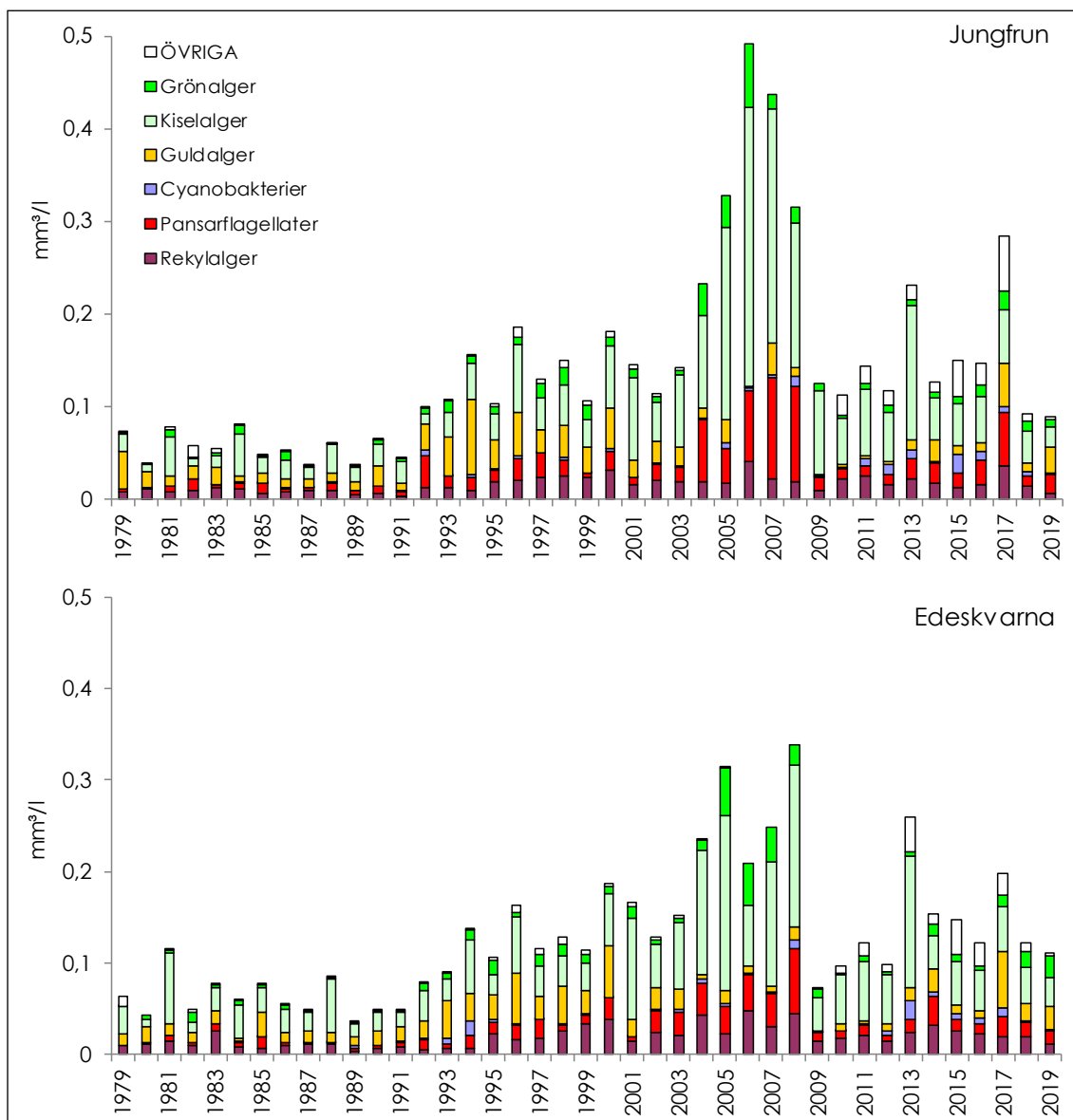
10 och 50 ml. Statusklassningen utfördes enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (Havs och vattenmyndigheten 2013 respektive 2019). Provtagningsmetodik och nödvändig utrustning för kvantitativ och kvalitativ provtagning av växtplankton finns utförligt beskriven i ”Handledning för miljöövervakning”, undersökningstyp: ”Växtplankton i sjöar” (<https://www.havochvatten.se/>).

Resultat och diskussion

Nedan följer en sammanfattande redovisning av resultaten från 2019 års provtagning. Fullständiga artlistor återfinns på hemsidan för Institutionen för vatten och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet, SLU (<http://www.slu.se/vatten-miljo>), som är datavärd.

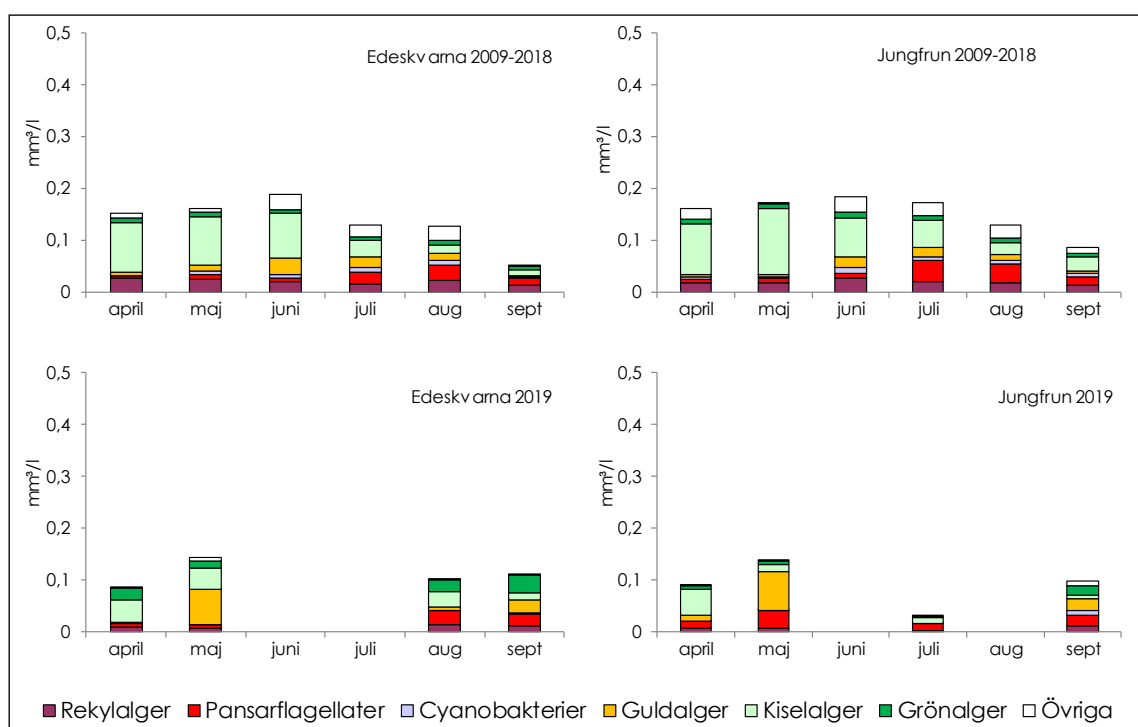
Vätterns växtplanktonsamhälle är typiskt för näringsfattiga sjöar. Det visar sig genom att biovolymerna är låga, att indikatorerna på oligotrofi (näringsfattigdom) är många och att cyanobakterier (blågrönalger) utgör inte någon större del av biomassan. Antalet arter är vanligtvis mellan 40 och 50 i juli-augusti och artsammansättningen domineras av kiselalger, guldalger, rekylalger och pansarflagellater (figur 1). Resultaten från år 2019 överensstämmer med detta. Den totala biovolymen av växtplankton var mycket liten vid både Edeskvarna och Jungfrun (figur 2). Den största biovolymen noterades i maj, då biomassan var 0,14 mg/l vid både Edeskvarna och Jungfrun, vilket alltså är en mycket liten biomassa. Den största andelen kiselalger påträffades vid aprilprovtagningen (figur 2). Mängden kiselalger i april var ändå liten, vilket visar att Vättern är näringsfattig. Artantalet var högst i septemberprovet från Edeskvarna, då 53 taxa påträffades. Arter som indikerar oligotrofi (näringsfattigdom) var vanligt förekommande under året, främst olika guldalger. Det noterades mycket låga biomassor av potentiellt giftbildande cyanobakterier (blågrönalger) vid 2019 års provtagningar.

Enligt tidsserien kan man möjligen se en ökning av växtplanktonbiomassan i Vättern (figur 1), men det finns flera osäkerhetskällor. Framförallt att analysmetodiken fram till år 1991 var annorlunda och innebar att bara de dominerande arterna analyserades. Totalbiomassan var således egentligen lite högre dessa år än vad figuren visar. Under efterföljande år ska samma metodik ha använts, av tre olika laboratorier. Om en ökning av biomassan faktiskt skett skulle det till exempel kunna vara en effekt av ändrad vattentemperatur, förändringar i näringsämneshalterna eller kväve-/fosfor-kvoten. Växtplanktonbiomassan i Vättern har dock varit mycket liten under hela undersökningsperioden och ingen större förändring har skett. Växtplanktonbiomassan i en klar sjö i södra Sverige räknas som mycket liten om den är under 0,5 mg/l, och som liten upp till 1 mg/l. Det är dock viktigt att fortsätta följa Vätterns planktonsamhälle för att se om det förändras.



Figur 1. Säsongsmedelvärden för växtplanktonbiovolym uppdelade på viktiga grupper vid stationerna Edeskvärna och Jungfrun i Vättern åren 1979-2019. Analysmetodiken åren 1979-1991 innebar att man bara analyserade dominerande arter, varför biomassen dessa år förmodligen var något högre än diagrammet visar. Åren 1979-2003 gjordes analyserna vid SLU, 2004-2009 vid Pelagia Miljökonsult AB och 2010-2019 vid Medins Havs- och vattenkonsulter AB.

Klassificeringen av en sjös näringsstatus med avseende på växtplanktonsamhället ska göras på ett juli- eller augustiprov. Enligt tidigare bedömningsgrunder (Havs- och vattenmyndigheten 2013) beräknas statusen genom en sammanvägning av följande parametrar: totalbiomassa av växtplankton, andel cyanobakterier (blågrönalger) och trofiskt planktonindex (TPI). Från och med i år redovisas även näringsstatus enligt de senaste bedömningsgrunderna (Havs- och vattenmyndigheten 2019). Enligt dessa beräknas statusen genom en sammanvägning av: totalbiomassa av växtplankton och planktontrofiskt index (PTI).



Figur 2. Biovolym av växtplankton vid 2019 års provtagningar samt månadsmedelvärdet för perioden 2008-2018 för stationerna Edeskvärna och Jungfrun i Vättern. Värdena avser prov tagna på 0-24 meters djup.

Enligt både de äldre och nyare bedömningsgrunderna sker klassningen av näringsstatus i en femgradig skala: hög status, god status, måttlig status, otillfredsställande status och dålig status. Medelvärden från tre års provtagningar bör användas för klassificeringen, när sådana data finns tillgängliga. Sammanvägd status enligt de äldre bedömningsgrunderna beräknades därför utifrån medelvärden för total biovolym, andel cyanobakterier (blågrönalger) och trofiskt planktonindex (TPI) för treårsperioden 2017-2019. I tabell 2 visas värden för nämnda parametrar och sammanvägd status för Edeskvärna respektive Jungfrun. Årets augustiprov för Edeskvärna och juliprov för Jungfrun användes för klassificeringen. De olika delkriterierna gav ett samstämmigt resultat och båda stationerna fick hög sammanvägd status enligt både de äldre och nyare bedömningsgrunderna.

Tabell 2. Sammanvägd näringsstatus och ingående parametrars värden, baserat på juli/augusti-värden från undersökningar av växtplankton vid stationerna Edeskvärna och Jungfrun i Vättern. Treårsmedel avser åren 2017-2019

Station	Totalbiomassa (mg/l) 3-års medelvärde	Klassning enligt HVFMS 2013:19 (3 årsvärden)			Klassning enl. HVMFS 2019:25 (2 årsvärden)	
		Andel cyanobakterier (%)	Trofiskt planktonindex (TPI)	Sammanvägd status	Plankton-trofiskt index (PTI)	Sammanvägd näringsstatus
Edeskvärna	0,115	1,71	-1,19	Hög	0,210	Hög
Jungfrun	0,129	6,29	-0,94	Hög	-0,146	Hög

Djurplankton

Ingrid Hårding, Medins Havs och Vattenkonsulter AB

Sammanfattning

Under år 2019 var mängden djurplankton i Vättern fortsatt liten, vilket tyder på ett näringsfattigt tillstånd. Vanliga arter var hjuldjuren *Polyarthra vulgaris* och *Kellicottia longispina* samt hinnkräftor från släktet *Daphnia*. Även hoppkräftorna *Eudiaptomus gracilis*, *Thermocyclops oithonoides* (figur 1) samt glacialrelikterna *Eurytemora lacustris*, *Heterocope appendiculata* och *Limnocalanus macrurus* var vanligt förekommande. Arter som indikerar näringsfattigdom dominerade artsammansättningen.



Figur 1. Hoppkräftan *Thermocyclops oithonoides* är vanligt förekommande i Vättern. Foto: Medins Havs och Vattenkonsulter AB ©.

Inledning

Övervakningen av djurplankton omfattar hoppkräftor, hinnkräftor och hjuldjur. Av dessa är framförallt hinn- och hoppkräftor viktig föda för pelagisk fisk (pelagisk innebär att den lever i den fria vattenmassan) medan hjuldjur kan vara viktig föda för nykläckta yngel av flera fiskarter. Vissa storvuxna arter av hinnkräftor är rolevande och kan ibland konkurrera med planktonätande fisk om födan, samtidigt som de själva utgör begärliga byten för fisk. Därför är mängden djurplankton avgörande för både sportfisket och det kommersiella fisket. Djurplankton har även andra viktiga funktioner. Eftersom många djurplanktonarter lever på att filtrera växtplankton och partiklar ur vattnet, bidrar de till exempel till att upprätthålla Vätterns klara vatten, till glädje för friluftslivet och dricksvattenkonsumenter.

Djurplankton vandrar i djupled över dygnet och befinner sig i en komplicerad näringsväv. De påverkas bland annat både av mängden växtplankton och av mängden planktonätande fisk. Djurplankton är därför inte den organismgrupp som först påverkas av miljöförändringar. När det väl inträffar tydliga förändringar i djurplanktonsamhället brukar det å andra sidan vara en konsekvens av någon betydande miljöpåverkan. Förändringar bland djurplankton kan till exempel indikera förändringar både i växtplankton- och fisksamhället. Övervakning av djurplankton är således viktig för att kunna förstå bakgrunden till andra biologiska förändringar i Vättern.

Vissa arter av djurplankton har även ett särskilt bevarandevärde på grund av sin intressanta biologi, historia eller sin ovanlighet. Det gäller till exempel relikthoppkräftan *Limnocalanus macrurus*, som är en av Vätterns glacialrelikter (istidsrelikter).

Provtagnings- och analysmetoder

Djurplanktonproven togs 23 juli, 8 och 21 augusti och 3-4 september på tre djupnivåer: 0–10 meter, 10–20 meter och 20–40 meter. För provtagning av hinn- och hoppkräftor användes en WP 2-håv med stängningsmekanism (Hydrobios, diameter: 57 cm, maskvidd: 100 µm) som drogs vertikalt genom det aktuella provtagningskiktet. Hjuldjur provtogs med vattenhämtare, modell Limnos, från tre djup inom respektive provtagningskikt (0,5, 5 och 10 meter; 10, 15 och 20 meter respektive 20, 30 och 40 meter) och de tre proven från varje skikt slogs samman och filtrerades genom ett 25 µm såll. Djurplanktonproven konserverades med neutral Lugols lösning.

Analysen utfördes med hjälp av ett inverterat mikroskop vid 25–400 gångers förstoring. Cirka 100 rotatorier (hulldjur) och cirka 200 kräftdjur från varje prov räknades och artbestämdes. Större arter, som *Limnocalanus* och *Leptodora*, räknades i en större del av provet eller i hela provet om det var möjligt. Metoderna för provtagning och analys följde ”Handledning för miljöövervakning”, undersökningstyp: ”Djurplankton i sjöar” (Havs- och vattenmyndigheten 2016) och provtagningsprogrammet för Vättern.

Resultat och diskussion

ARTFÖREKOMST

Nedan följer en sammanfattande redovisning av resultaten från 2019 års provtagning. Fullständiga artlistor återfinns hos datavärden SLU, på hemsidan för Institutionen för vatten och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet (<http://www.slu.se/vatten-miljo>).

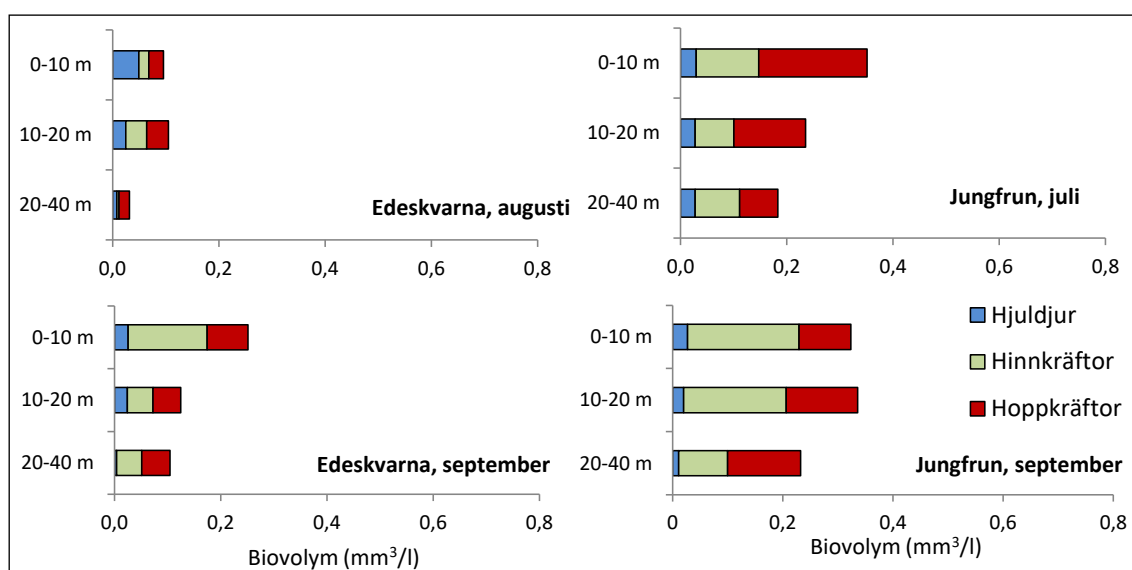
Djurplanktonsamhället i Vättern är artfattigt. Sammantaget i proven hittades totalt cirka 17 arter av kräftdjur och cirka 15 arter av hulldjur. Vätterns djurplanktonsamhälle är relativt stabilt vad gäller artförekomst och 2019

års artsammansättning liknar tidigare års. Bland indikatorerna överväger arter som föredrar näringsfattiga förhållanden. De dominerande arterna bland hinnkräftorna var *Daphnia* spp och *Bosmina longispina* och bland hoppkräftorna *Thermocyclops oithonoides* (figur 1) och *Eudiaptomus gracilis*. Bland hjuldjuren dominerade arterna *Polyarthra vulgaris* och *Kellicottia longispina*.

Tätheten av hjuldjur är mycket liten i Vättern. Det kan dels vara en effekt av den rikliga förekomsten av stora hinn- och hoppkräftor, dels en effekt av den låga biomassan av växtplankton. Både bland hinn- och hoppkräftorna förekommer arter som är känsliga för intensivt predationstryck från fisk. Det gäller till exempel *Daphnia galeata*, *Holopedium gibberum* och *Limnocalanus macrurus*.

UTBREDNINGSMÖNSTER

Figur 2 ger en sammanfattande bild av djurplanktonsamhället och dess djupfördelning vid 2019 års undersökning. Den största biovolymen påträffades oftast i de övre vattenskikten. Individtätheten av hjuldjur var mycket liten vid alla provtagningar, som mest 214 individer per liter i ytvattnet vid Edeskvärna i augusti, vilket tyder på näringsfattiga förhållanden.



Figur 2. Biovolymen av djurplankton fördelad på hoppkräftor, hinnkräftor och hjuldjur från de tre provtagningsnivåerna vid stationerna Edeskvärna och Jungfrun i Vättern år 2019.

Enskilda arter hade specifika utbredningsmönster. Ett exempel är den relativt stora glacialrelikten *Heterocope*, som vid 2019 års provtagning påträffades i störst antal vid Jungfrun i september, och i ökande antal i allt djupare vatten. *Heterocope* och *Limnocalanus* brukar oftast påträffas mer rikligt i djupare vatten, där de kan gömma sig från fiskpredation under dagtid och vattnet är svalare. Den betydligt mindre arten, *Eudiaptomus gracilis*, har ofta en motsatt utbredning, med lägst tätheter på 20–40 meters djup, vilket var tydligt vid Jungfrun i juli. Den arten löper troligen mindre risk att bli

upptäckt och uppäten av fisk, varför den kan uppehålla sig i ytligare vatten på dagen.

Den rovlevande hinnkräftan, *Leptodora kindti*, påträffades år 2019 vid tre av fyra provtagningar. Arten är en aktiv simmare och lever av att äta andra djurplankton. Den är storvuxen och ett begärligt byte för fisk, men skyddas i viss mån av att den är transparent. Även en annan rovlevande hinnkräfta, *Bythotrephes longimanus* (figur 3), påträffades vid Edeskvarna år 2019.

Olika djurplanktonarters utbredningsmönster kan ha konsekvenser för transporten av näring mellan olika vattennivåer, särskilt om de äter på vissa djup och utsöndrar näring på andra djup. Även fiskars aktivitet påverkas av djurplanktons utbredning och vandringsbeteenden. Pelagisk fisk som nors och siklöja äter i de skikt där eftertraktade djurplankton uppehåller sig, vilket i sin tur förväntas locka dit rovfiskar.

FÖRÄNDRINGAR I DJURPLANKTONSAMHÄLLET

Jämförbara data över djurplanktonmängder i Vättern finns tillgängliga från år 1978 för stationen vid Jungfrun och från år 1996 för stationen vid Edeskvarna. Enligt den längre tidsserien är det framförallt två förändringar som har inträffat (figur 4):

1. Mängden hjuldjur var mindre efter mitten av 1990-talet med den lägsta rapporterade tätheten år 2009. Under åren därefter har tätheten åter varit större.
2. Hinnkräftorna rapporterades vara mer vanligt förekommande under 2000-talets början och antalet var under en följd av år konsekvent större än genomsnittet för perioden. Åren 2009–2019 var tätheten åter igen mindre.

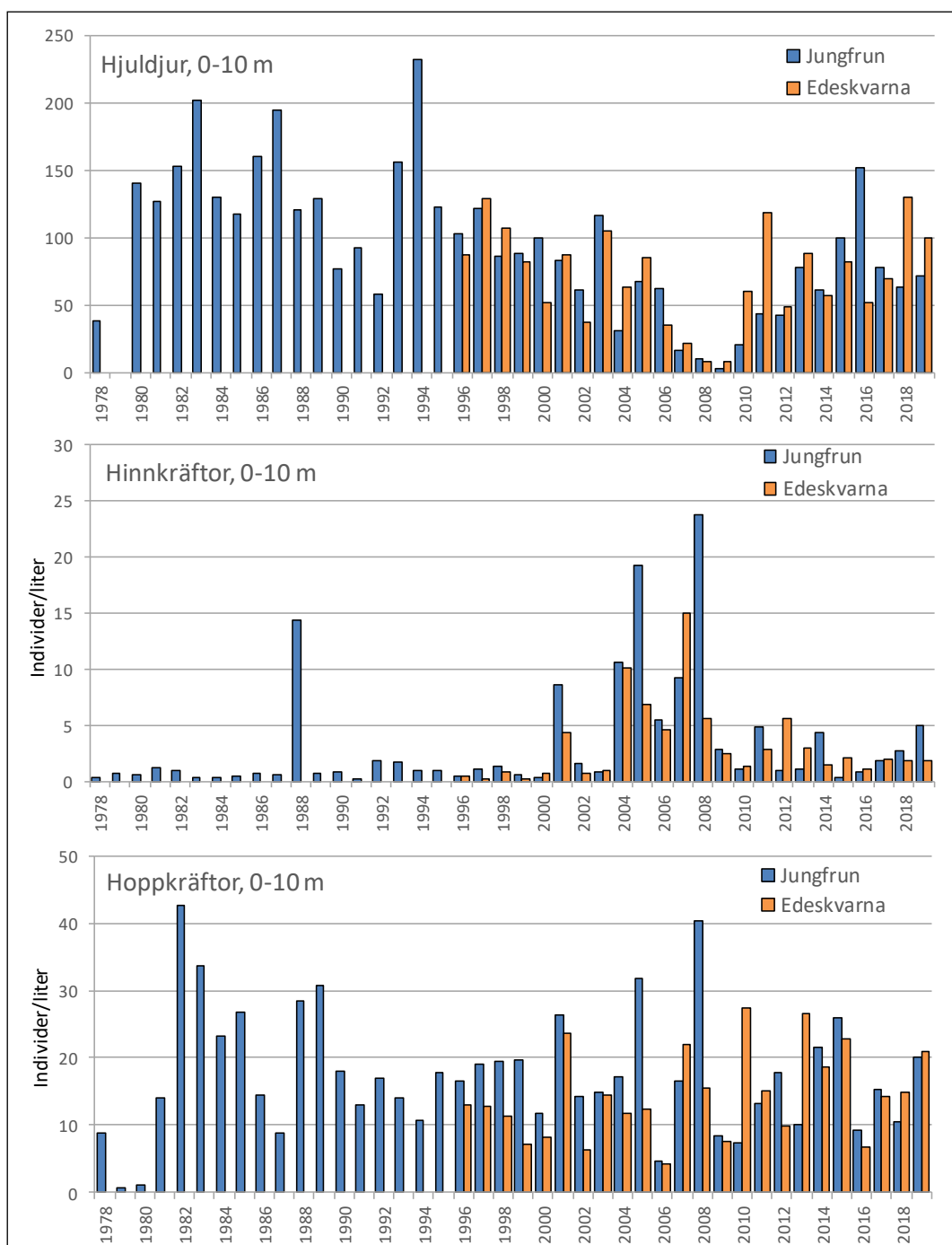
Tidsserien för Edeskvarna är kortare och det är svårare att se tydliga förändringar, men samma tendenser som vid Jungfrun kan anas. Den totala mängden hoppkräftor har troligen inte förändrats nämnvärt vid någon av stationerna, men tolkningen försvåras av att variationen mellan åren är relativt stor.

De arter av hinnkräftor som förekommit rikligt det senaste decenniet är *Bosmina longispina*, *Daphnia cristata* och *Daphnia galeata*. Dessa arter är omtyckt föda för pelagisk fisk. En orsak till hinnkräftornas ökning under 2000-talets början skulle således kunna ha varit förändringar i täthet, åldersstruktur eller beteenden hos de fiskpopulationer som framförallt reglerar dessa hinnkräftors mängd ute i det fria vattnet (siklöja och nors). Samtidigt kan mängden hjuldjur påverkas negativt av hinnkräftornas aktivitet. Dels konkurrerar filtrerande hinnkräftor som *Bosmina* och *Daphnia* om födan med många hjuldjur, dels kan åtminstone *Daphnia* filtrera i sig en del hjuldjur.

De eventuella förändringarna i djurplanktonsamhället under det senaste decenniet skulle således ha kunnat orsakats av förändringar i fisksamhället. Det finns dock även andra faktorer som påverkar mängderna av hjuldjur samt av hinnkräftorna *Bosmina* och *Daphnia*. Dit hör till exempel mängden stora, rolevande djurplankton och tillgången på växtplankton.



Figur 3. Den rolevande hinnkräftan *Bythotrephes longimanus* med sitt långa stjärtspröt. *Bythotrephes* utgör viktig föda för pelagisk fisk, men lever själv av andra djurplankton och konkurrerar då med planktonätande fisk.



Figur 4. Utvecklingen av mängden hjuldjur, hinnkräftor och hoppkräftor i det ytligaste vattenskiktet (0-10 m) vid stationerna Jungfrun och Edeskvärna i Vättern. Staplarna avser augustivärden för perioden 1979-1995 och för åren 2012-2013. För övriga år avser staplarna medelvärde för två prover per år (juli och augusti/september). Åren 1978-2003 gjordes analyserna vid SLU, 2004-2009 vid Pelagia Miljökonsult AB och 2010-2019 vid Medins Havs- och vattenkonsulter AB.

Bottenfauna

Mikaela Sandgathe, Medins Havs och Vattenkonsulter AB

Sammanfattning

Bottenfaunan dominerades liksom tidigare år av vitmärlor och glattmaskar. Vid samtliga stationer utom Stora Aspön tyder en trendanalys på att andelen fåborstmaskar har minskat medan andelen vitmärlor har ökat, vilket skulle kunna indikera en minskad eutrofiering (övergödning).

Provtagning vid dessa djupa stationer är emellertid relativt komplicerad, och har utförts av olika konsulter genom åren. Trots förhållandevis stabila miljöförhållanden på djupbotten har variationen i individtäthet mellan åren varit stor. Detta gör trendanalysen osäker. Stora mängder vitmärlor kan med sin omfattande bioturbation (mekanisk störning av botten vid exempelvis födosök) ibland påverka övrig bottenfauna negativt. Det har emellertid inte gått att påvisa något sådant samband mellan djurgruppernas förändringar.

Samtliga beräknade index visade på hög vattenkvalitet för alla tre provtagningsstationerna, och statusen bedömdes som hög med avseende på eutrofiering (övergödning).

Provtagnings- och analysmetoder

Provtagningen utfördes 23-25 september 2019. Sedan år 2004 tas fem prov per station med van Veen-hämtare (total area cirka 0,5 m², cirka 0,1 m² per hugg, figur 1). Dessförinnan togs tio prover per station med Ekman-huggare (total area 0,25 m², 0,025 m² per hugg, figur 1) fram till och med år 2003. En större provyta leder normalt sett till att fler arter hittas, men brukar inte påverka skattningarna av täthet.



Figur 1. Bottenfaunaprovtagning.

Resultat

Bottenfaunasamhällena på stationerna i Vättern är likartade över åren. Artantalen är normalt måttligt höga till höga (tabell 1) samtidigt som flera intressanta och för Vättern typiska arter förekommer. Dels förekommer oftast flera mycket näringsämneskänsliga fjädermygglarver, vilket medför mycket höga värden på BQI-index. Dessutom förekommer oftast flera syrekrävande och näringsämneskänsliga arter av fåborstmaskar, vilket medför mycket höga värden även på indexet PTI. Båda dessa index uppvisar i Vättern värden som närmar sig sina maximala gränser (figur 4), och som är bland de högsta uppmätta i Sverige.

Tabell 1. Antal taxa/arter, individtäthet och statusklassning för stationerna i Vättern år 2019

Provyta	Provdjup (m)	Totalantal taxa	Medelantal taxa	Individtäthet (Individer/m ²)	Ekologisk status (HVM:s kriterier)
3. Vättern, Visingsö SV	110	11 (högt)	8	2 236 (högt)	Hög
4. Vättern, Omberg	100	11 (högt)	8	2 916 (högt)	Hög
5. Vättern, St Aspön SO	90	11 (högt)	8	1 974 (måttligt högt)	Hög

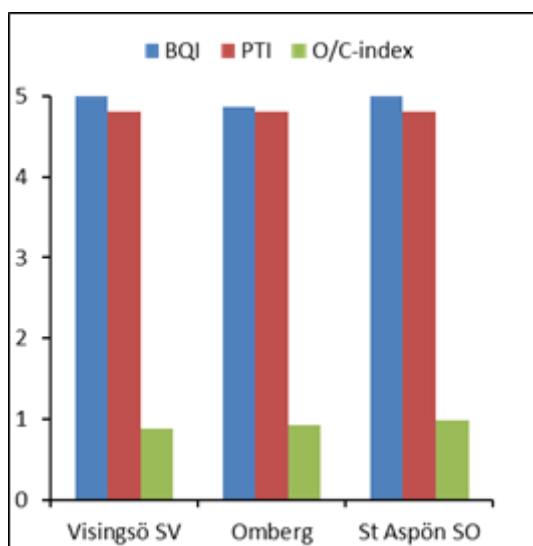
Vid årets undersökning påträffades två olika arter av glacialrelikter på stationerna. Vitmärlan, *Monoporeia affinis*, förekom i höga tätheter vid samtliga stationer. Enstaka individer av märlkräftan, *Pallasea quadrispinosa*, påträffades på stationen vid Omberg, men brukar även påträffas vid Stora Aspön. Vid tidigare undersökningar har även skorv, *Saduria entomon* (figur 2), påträffats vid Stora Aspön, och ibland vid Omberg. Vid Stora Aspön har tidigare år även pungräkan, *Mysis relicta*, påträffats. Beteckningen glacialrelikter, eller istidsrelikter, syftar på de organismer som levde i det forna ishavet, och som sedan "blev kvar" i sjöarna vid landhöjningen då inlandsisen drog sig tillbaka för cirka 9000 år sedan. Deras naturliga utbredning inskränker sig därför till sjöar och vattendrag under högsta kustlinjen. Istidsrelikterna är känsliga för både låga syrgashalter och låga pH-värden.

På samtliga tre stationer påträffades dessutom den nationellt ovanliga fåborstmasken *Tasserkidrilus acapillatus*. Denna art har tidigare endast återfunnits längre österut i stora, näringsfattiga sjöar som exempelvis Bajkalsjön, Tajmyrsjön och Kaspiska havet. Arten har sannolikt funnits i Vättern även tidigare, men inte identifierats förrän vid 2010 års undersökning, då den även blev en ny art för Sverige.



Figur 2. Skorv, *Saduria entomon*.

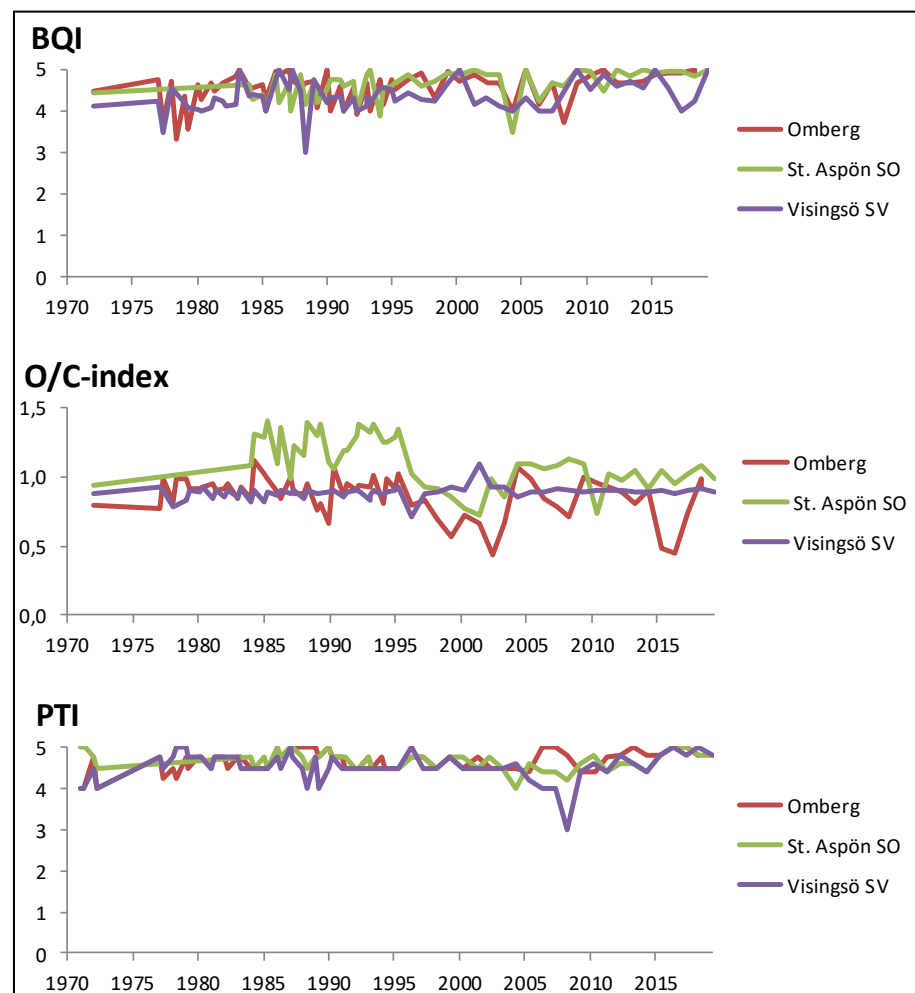
BQI (Benthic Quality Index), O/C-index och PTI (Profundalt Trofi-Index) beräknades för samtliga stationer. Indexen (beskrivna i Wiederholm 1999, HVMFS 2013:19 och Liungman & Ericsson 2006) används normalt för klassning av status och tillstånd med hjälp av profundalfauna (profundal betyder djupbotten). BQI bygger på förekomsten av indikatorarter bland fjädermyggor och kan anta värden från 0 till 5. PTI är ett multimetriskt index (består av flera delindex) och kan anta värden från 1 till 5. För BQI och PTI gäller att högre värden indikerar en mer näringsfattig miljö. O/C-index beräknas som ett djupkompenserat förhållande mellan maskar och sedimentlevande fjädermyggor och kan anta värden från 0 och uppåt. För O/C-index gäller att högre värden indikerar större belastning av näringsämnen. Samtliga stationer uppvisade indexvärden som tydligt visar på näringsfattiga förhållanden och liten eller obetydlig påverkan från näringsämnen/organiskt material (figur 3). Därmed bedömdes samtliga stationer ha en hög status med avseende på övergödning.



Figur 3. Värden på föroreningsindex för bottenfaunastationerna i Vättern år 2019.



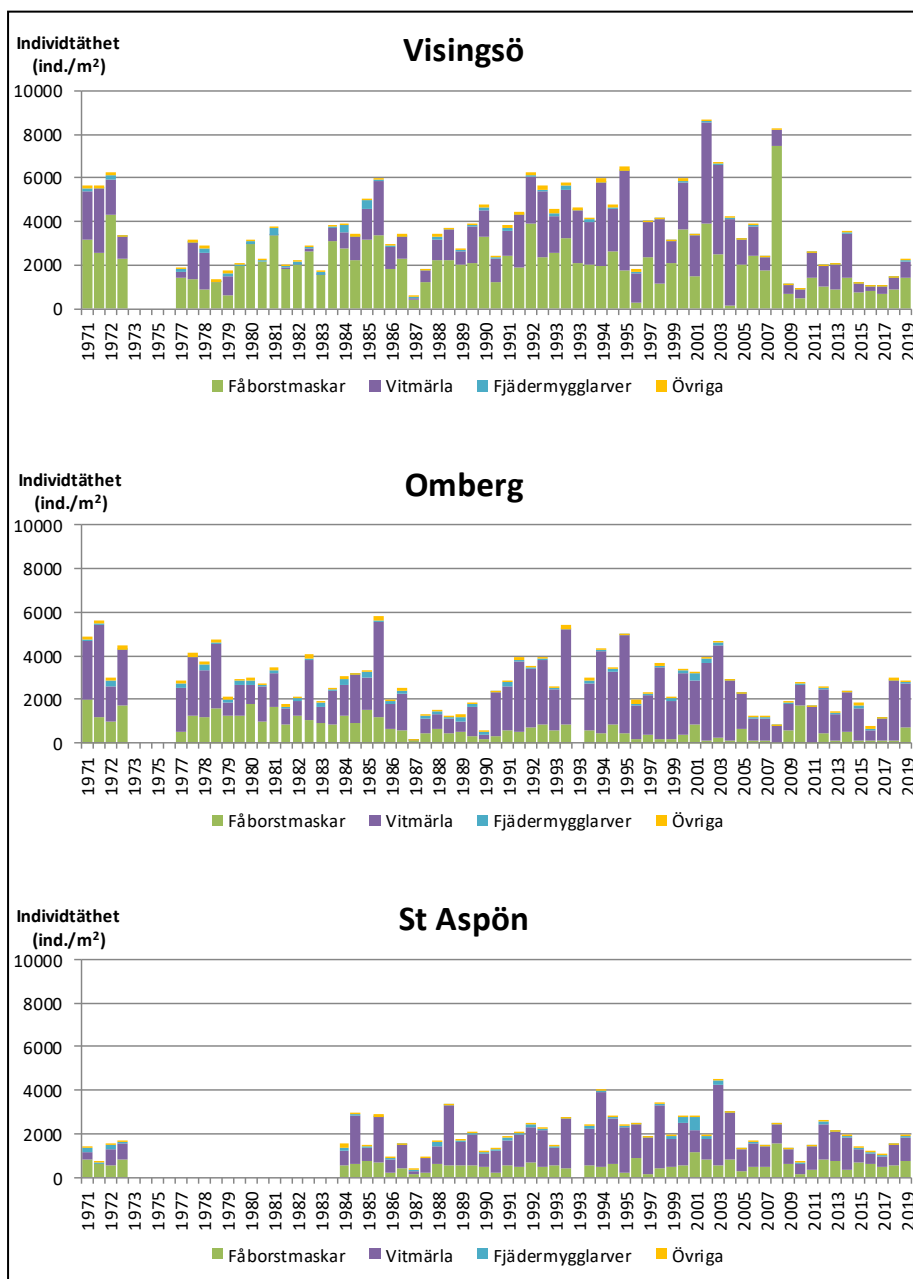
Figur 4. På väg ut till provpunkten vid Stora Aspön en vindstilla dag.



Figur 5. Värden för BQI, O/C-index och PTI vid provtagningar på stationerna i Vättern i augusti 1971–2019. För BQI har alla noll-värden tagits bort, det vill säga då inga indikatorarter påträffats. Skillnader i taxonomisk upplösning och kvalitet har dessutom medfört att värdena för PTI kan vara marginellt missvisande fram till och med år 2010.

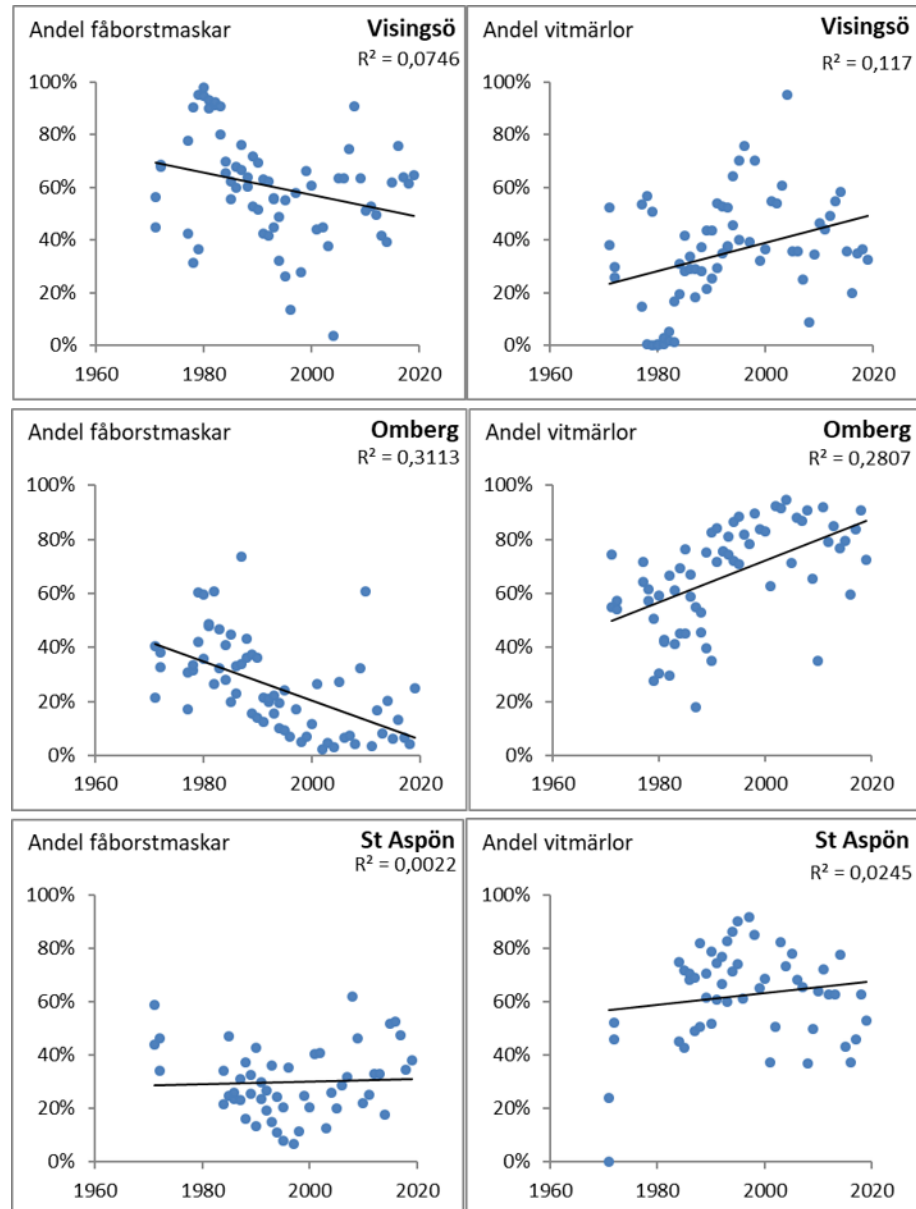
På uppdrag av Vätternvårdsförbundet har Medins Havs och Vattenkon-sulter AB räknat fram historiska värden på BQI, O/C-index och PTI. Resultaten visar att förhållandena varit stabila på stationerna samt att BQI indikerat hög status ($BQI > 2,01$) under hela undersökningsperioden (figur 5).

Individtätheterna har för samtliga djurgrupper varierat betydligt under åren på alla stationer (figur 6). Några tydliga trender eller förändringar i vattenkvalitet har inte gått att identifiera.



Figur 6. Individtäthet för de fyra vanligaste bottenfaunagrupperna vid provtagningar i augusti 1971- 2019 på stationerna i Vättern.

Vid en analys av andelen fåborstmaskar (*Oligochaeta*) och vitmärlor (*Monoporeia affinis*) kan en svag trend skönjas mot minskande andel fåborstmaskar och ökande andel vitmärlor, framförallt vid Omberg (figur 7). Spridningen av data är dock stor och det har inte gått att visa att dessa grupperns förändringar är korrelerade till varandra.



Figur 7. Andel fåborstmaskar och vitmärlor i förhållande till totalantalet djur på stationerna i Vättern åren 1971-2019. Den svarta linjen är en linjär regressionslinje. R-kvadratvärdet finns uppe till höger i varje diagram.

Referenser

ArtDatabanken 2015. Rödlistade arter i Sverige 2015. ArtDatabanken SLU, Uppsala.

Havs- och vattenmyndigheten 2013. Havs- och vattenmyndighetens författningssamling. Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten, HVMFS 2013:19.

Liungman, M. & Ericsson, U. 2006. Profundalt Trofi-Index (PTI) och EutrofiEffekt-Index (EEI) för bedömning av tillstånd samt för påverkansklassning av mjukbottenfauna i sjöar. Medins Biologi AB.

Vätternvårdsförbundet och Kommittén för Vätterns vattenvård. Samtliga tidigare årsskrifter.

Wiederholm, T. (Ed.) 1999a. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, sjöar och vattendrag. Naturvårdsverket, rapport 4913.

Wiederholm, T. (Ed.) 1999b. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, sjöar och vattendrag. Bakgrundsrapport, biologiska parametrar. Naturvårdsverket, rapport 4921.

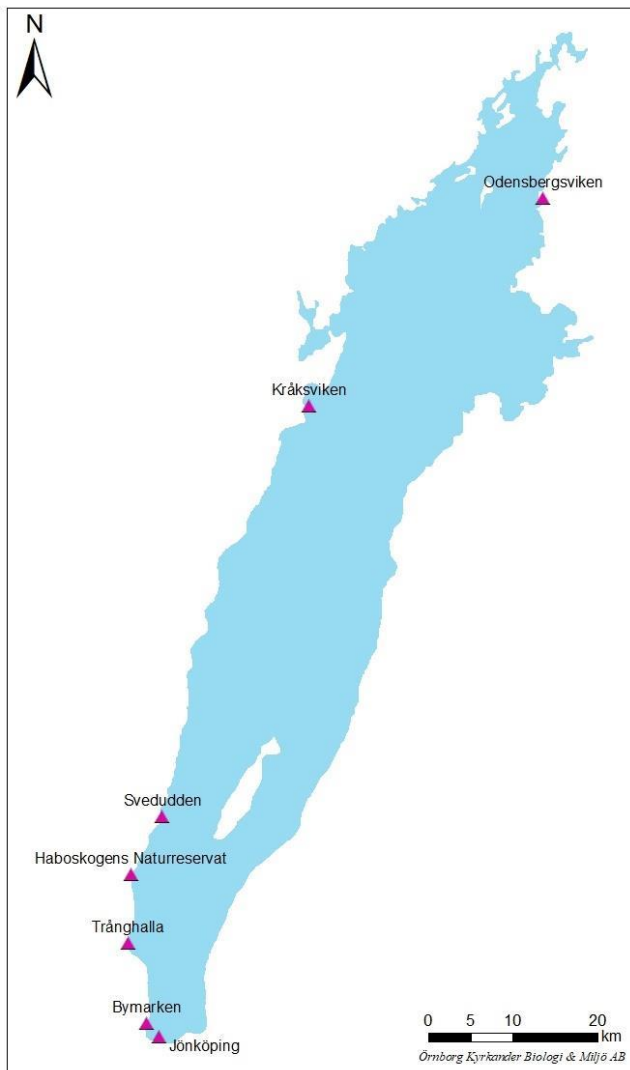
Makrofyter

Tina Kyrkander, Örnborg Kyrkander Biologi & Miljö AB

Hittills har drygt 20 delområden i Vättern valts ut, som anses varar lämpliga för miljöövervakning avseende makrofyter och inventeras enligt den standardiserade makrofyтинventering som råder sedan 2011 (Kyrkander och Örnborg 2018). Målet är ett trettiotal lokaler lämpliga för miljöövervakning och återinventeringar sker med 6 års intervall enligt ett rullande schema. Den metodik som tillämpas vid makrofyтинventeringar i Vättern följer i huvudsak Havs- & Vattenmyndighetens undersökningstyp ”Makrofyter i sjöar 2015-06-26” (Havs- och Vattenmyndigheten 2015). Noterade fynd innefattar såväl kärlväxter som kransalger och vattenlevande mossor, enligt riktlinjer för den tillämpade undersökningstypen.

Sju delområden i Vättern har inventerats under sommaren 2020 med avseende på makrofyter. De områden som inventerats är Bymarken, Haboskogens naturreservat, Jönköping, Kråksviken, Odensbergsviken, Svedudden och Trånghalla. Bymarken och Trånghalla har inventerats sedan tidigare (år 2014) och Kråksviken inventeras årligen.

Tre av de fyra nyinventerade lokalerna behålls som delområden medan delområde Jönköping utgår. Orsaken till detta är att vegetationen förekom tämligen sparsamt i detta område. Nedan beskrivs de nya miljöövervakningslokalerna mer i detalj.



Figur 1. Karta över Vättern med de sju undersökningslokalerna som inventerades 2020.

Haboskogens naturreservat

Haboskogens naturreservat ligger i Habo kommun i Västra Götalands län och inventerades 18 augusti 2020. Omgivningen består av ett naturreservat med höga erosionsbranter. I allmänhet kan den antropogena påverkan på området anses vara begränsad.

Viken är mycket exponerad, detta gör att makrofytter har svårt att etableras på botten. Trots branta stränder är litoralzonen flack. Sandbotten dominerar men inslag av sten och block förekommer, där vegetation får chans att etableras.

Dominerande arter i undervattensvegetationen är kransalgerna skörsträfse (*Chara globularis*) och papillsträfsse (*Chara virgata*). Andra påträffade arter är bland annat kärlväxterna hårslinga (*Myriophyllum alterniflorum*) och gräsnate (*Potamogeton gramineus*).

Lokalen behålls som delområde lämplig för miljöövervakning avseende makrofyter men transektantalet minskads ned till 6 transekter.



Figur 2. Haboskogens naturreservat 2020

Jönköping

Delområdet Jönköping ligger i Jönköpings län och inventerades 20 augusti 2020. Lokalen ligger utanför Jönköpings stad och omgivningen är bebyggelse och infrastruktur. På vissa platser kan dock den antropogena påverkan på området anses vara begränsad. Detta gäller dock inte områden som hamnar, pirar och där material lagts ut i form av stenkross.

Viken är mycket exponerad med stor vågpåverkan på strand. Detta gör att makrofyter har svårt att etableras på botten, varför förekomsten av vegetation inte kan ses börja förrän längre ut på cirka 1 meter djup. Området är tämligen långgrund.

Dominerande arter i undervattensvegetationen är kransalgerna skörsträfs (*Chara globularis*) och papillsträfs (*Chara virgata*). Andra påträffade arter är kärlväxterna hårslinga (*Myriophyllum alterniflorum*) samt ålnate (*Potamogeton perfoliatus*). Två av åtta transekter hade ingen förekomst av makrofyter alls.

Lokalen kommer att utgå som miljöövervakningslokal för Vättern på grund av bristande artförekomst. Lokalen ligger också mycket nära delområdet Bymarken.



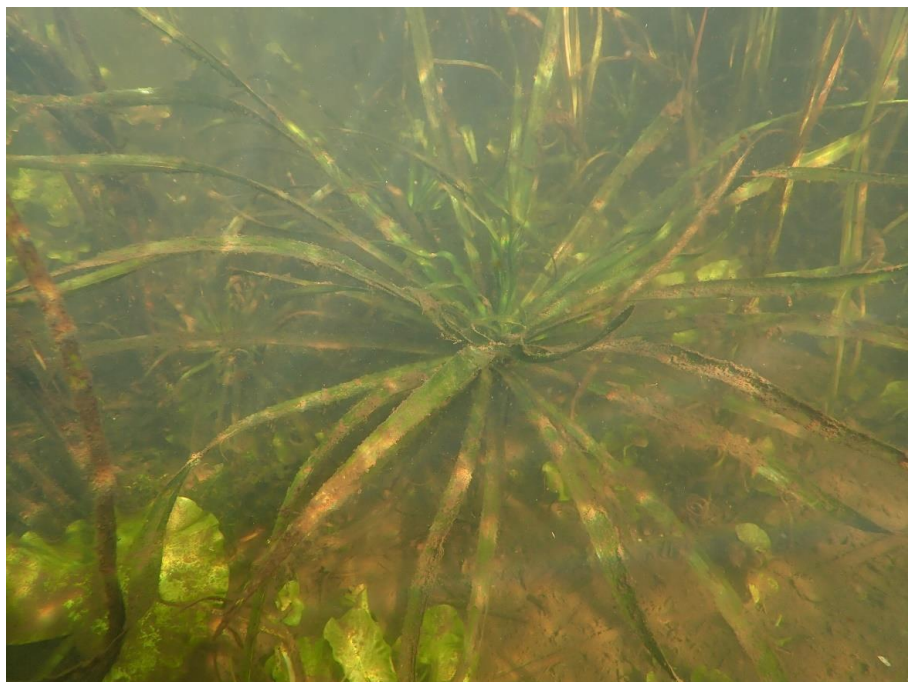
Figur 3. Jönköping 2020

Odensbergsviken

Odensbergsviken ligger i Motala kommun i Östergötlands län och inventerades 27 augusti 2020. Omgivningen bestod framförallt av småbåts- hamnar men också av skog. I allmänhet kan den antropogena påverkan på området anses vara stor.

Viken är mycket skyddad men exponeringen ökar kraftigt längre ut ur viken, artsammansättningen ändras därför mycket mellan transekterna. Igenväxning av övervattensvegetation kan beskrivas som allmän till stor. Området karaktäriseras av övergödning och mycket inbäddning förekommer.

Dominerande arter i undervattensvegetationen är hårslinga (*Myriophyllum alterniflorum*) och trubbnate (*Potamogeton obtusifolius*). Andra påträffade arter är bland annat igelknopp (*Sparganium sp.*), glans-/mattslinka (*Nitella flexilis/opaca*) samt vattenaloe (*Stratiotes aloides*). På vissa platser fanns massförekomst av den invasiva främmande arten vattenpest (*Elodea canadensis*).



Figur 4. Odensbergsviken 2020

Svedudden

Svedudden ligger i Habo kommun i Jönköpings län och inventerades 17 augusti 2020. Omgivningen domineras framförallt av sandstrand samt höga erosionsbranter. Det finns även en sandindustri på udden. Överlag anses den antropogena påverkan i området som allmän.

Viken är allmän till mycket exponerad och vattendjupet ganska brant. Förekomsten av vegetation börjar inte förrän längre ut där sandbotten övergår i stenbotten. En viss förekomst av inbäddning och påväxtalger förekommer, i övrigt klart vatten.

Dominerande arter i undervattensvegetationen är kransalgerna skörs-träfse (*Chara globularis*) och papillsträfsse (*Chara virgata*). Andra påträffade arter är hårslinga (*Myriophyllum alterniflorum*) och glans-/mattslinke (*Nitella flexilis/opaca*) samt ålnate (*Potamogeton perfoliatus*).



Figur 5. Svedudden 2020

Referenser

Havs- och Vattenmyndigheten (2015). Undersökningstyp: Makrofyter i sjöar. Version 3:0, 2015-06-26.
Kyrkander, T. och J. Örnborg (2018). Makrofyter i Vättern 2015-2017. Jönköping, Länsstyrelsen i Jönköpings län.

Vätterns pelagiska fiskbestånd

Thomas Axenrot, Sötvattenslaboratoriet, Institutionen för Akvatiska resurser, Sveriges Lantbruksuniversitet.

Sammanfattning

Den totala fisktätheten i öppet vatten (pelagialen) var 2019 3 288 fiskar per hektar vilket var strax under medianvärdet för referensperioden (2010-19). Biomassan ökade kraftigt 2018 med ca 10 kg till 28 kg per hektar (medelvärde de senaste sex åren 18 kg per hektar). Huvuddelen av ökningen för 2018 bestod av siklöja och röding. För 2019 noterades 15 kg per hektar, dvs. en återgång omkring medelvärde för senare år.

Minskningen berodde till största delen på en mindre mängd siklöja. Andelen småfisk (<80 mm) som hornsimpa, storspigg och årsyngel av nors var fortsatt hög (ca 80 %), dvs. till antal bestod beståndet vid undersökningen (september) till största delen av små bytesfiskar.

Nors har haft måttlig till god årlig rekrytering under en längre tid, och beståndet av nors (ettåringar och äldre) har legat kring medianvärdet för referensperioden (2010-2019).

Beståndet av siklöja (ett år eller äldre) återhämtade sig 2013 efter flera svaga år och fortsatte 2014-18 att ligga över medelvärde för referensperioden (2010-19). För 2018 noterades den största tätheten av siklöja sedan 2003-04. År 2019 minskade beståndet till medianvärde för referensperioden (2010-19). En måttligt god rekrytering till siklöjebeståndet noterades 2016 över hela sjön utom den sydligaste delen (söder om Visingsö) och 2018 noterades den starkaste årsklassen sedan 2004. Åren 2017 och 2019 noterades däremot ingen rekrytering för siklöja.

Sik visade en signifikant ökning över den senaste tioårsperioden, vilket överensstämmer med resultaten från provfisken med nät över samma tid.

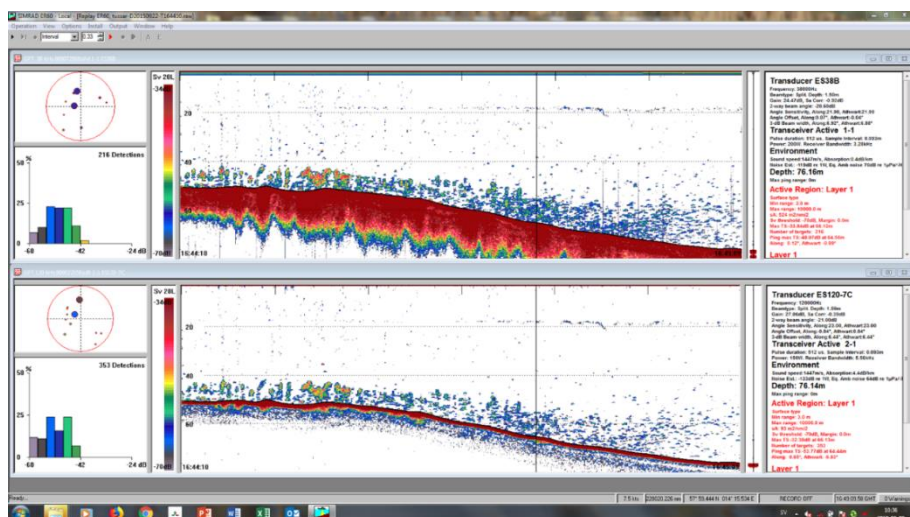
Det pelagiska fisksamhället – viktigast i sjön

Vättern är djup med mestadels branta stränder, små skärgårdsområden och bara mindre till- respektive avrinnande vatten. Vattnets uppehållstid är omkring 60 år.

Detta medför att det öppna vattnet - pelagialen - dominerar sjöns biologiska produktion. Om man undantar det nu ekonomiskt dominerande fisket på signalkräfta har det pelagiska fisksamhället varit det mest betydelsefulla, med fisket på siklöja, sik, röding och lax (utsättning). Med pelagiska fiskar avses de som huvudsakligen uppehåller sig och jagar föda i öppet vatten. Till dessa räknas även nors, storspigg och till viss del även

öring. Arter som gers, hornsimp, lake och abborre är mer knutna till botten. Nors, siklöja och storspigg är viktiga bytesfiskar för rovfiskarna i sjön.

Andra viktiga födoresurser för flera fiskarter, bland annat ung röding, sik och lake, är vitmärta (*Monoporeia affinis*) och pungräka (*Mysis relicta*). Sistnämnda två arter lever också av vad som produceras eller har producerats pelagiskt. Vitmärklar lever bottennära och i sedimentet på stora djup medan pungräkor säsongvis, nattetid i skydd av mörkret, företar födovandringar från botten högt upp i vattenmassan för att konsumera växt- och djurplankton, samtidigt som de också är en födoresurs för fisk. Riktade undersökningar för att utveckla metodiken att kvantifiera pungräkor och stora djurplankton genomfördes i Vättern 2007 och 2011 (Vätternvårdsförbundets rapporter nr. 99 och 115; Axenrot m fl., 2009; Ragnarsson Stabo m fl., 2014). Resultaten visade att biomassan av dessa djurgrupper kan vara lika stor som mängden fisk.



Figur 1. Vättern i skymningen - under ytan. Stim börjar lösas upp och en del fiskar vågar lämna botten när mörkret faller. Hydroakustiska ekogram (38 och 120 kHz) från Vättern i september 2015.

Övervakningsmetod

De pelagiska fiskbestånden i Vättern övervakas årligen, med stöd från Havs- och Vattenmyndigheten och Vätternvårdsförbundet, med hjälp av ekolodning. Övervakningen utgör även en del av det nationella miljöövervakningsprogrammet. Undersökningarna påbörjades 1988 och har genomförts årligen sedan 1992.

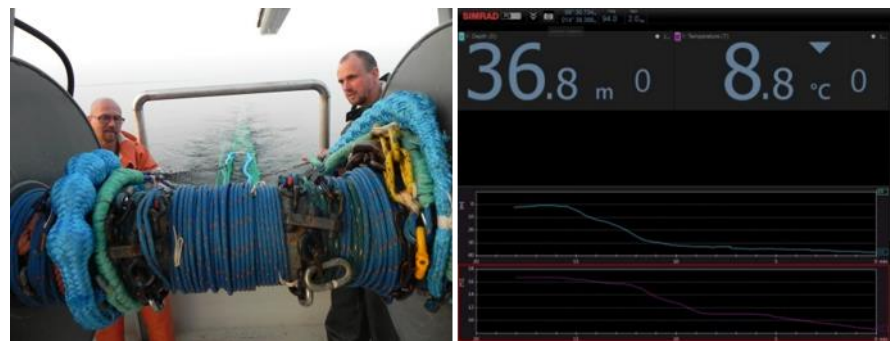
Undersökningarna utförs med vetenskapliga ekolod som samlar in hydroakustiska data längs 14 transekter tvärs över sjön. Från 2006 används ett nytt 120 kHz ekolod som kompletterades 2011 med ett 38 kHz ekolod (Simrad EK60 med ES120 7C och ES38B). Kombination av frekvenser (s.k. multifrekvens) förbättrar precisionen i fiskundersökningarna och ger möjlighet att studera andra organismer i ekosystemet, som t

ex. pungräkor och djurplankton (Axenrot m fl. 2009, Ragnarsson Stabo m fl. 2014).

Hydroakustiska data kompletteras med provtrålningar i alla delar av sjön på olika djup, dock inte bottentrålning. Trålningen ger information om art- och storlekssammansättning i de undersökta fiskbestånden. Provtrålningarna genomförs nattetid i september och är avsedda att fånga de vanligast förekommande fiskarna i öppet vatten. Fiskar som t.ex. fångar byten med hjälp av synen blir därför underrepresenterade vilket ger sämre precision i beståndsskattningen. Årsyngel kan bli överrepresenterade vid denna tid på året, men används i huvudsak som ett relativt mått på rekryteringsframgång.

Från 2008 används forskningsfartyget U/F Asterix. Fortlöpande utveckling av tolkningen av hydroakustiska data sker genom kunskapsutbyte med forskare i Europa, Nordamerika och Internationella Havsforskningsrådet (ICES) samt i olika projekt. Undersökningarna följer den europeiska standarden för beståndsskattning av fisk med ekolodning i sötvatten som gäller sedan 2014 (CEN, 2014).

Det kommersiella fisket i havet förvaltas inom den gemensamma fiskeripolitiken, vilket bland annat innebär att det förvaltas med en målsättning om maximal hållbar avkastning (maximum sustainable yield, MSY) och regleras av fångstkvoter. Yrkesfisket i sötvatten förvaltas nationellt, vilket innebär att förvaltningsmål och uppföljning helt kan beslutas av nationella myndigheter. Det pågår projekt som syftar till att utveckla lämpliga indikatorer, modeller och förvaltningsmål för uppföljning av nationellt förvaltade bestånd (Östman m fl., 2016).

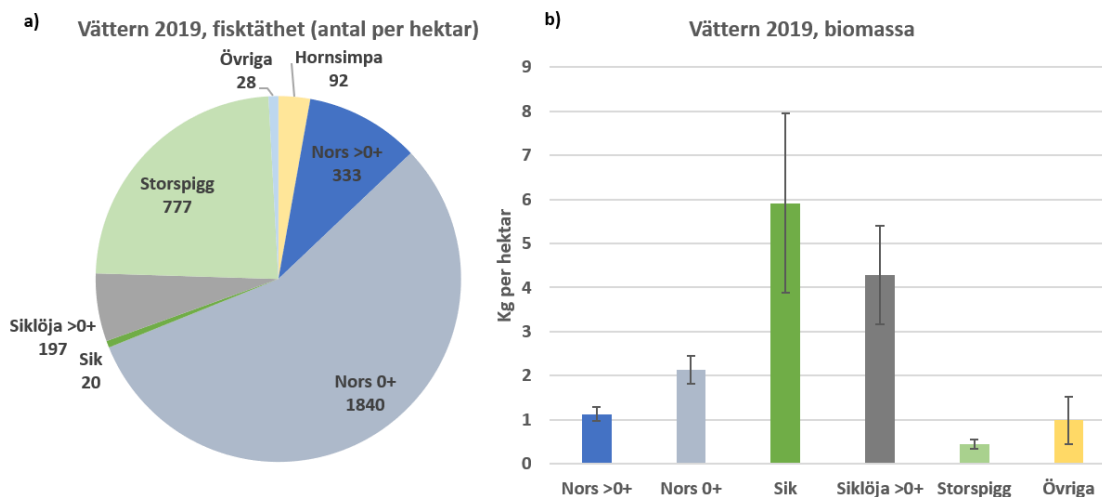


Figur 2. Trålragen tillför viktig information om art- och storlekssammansättning till ekolodsdata. Tråldjup och tråltemperatur följs i realtid under trålragen. Foto Thomas Axenrot.

Nors fortsatt vanligaste fisken i Vättern

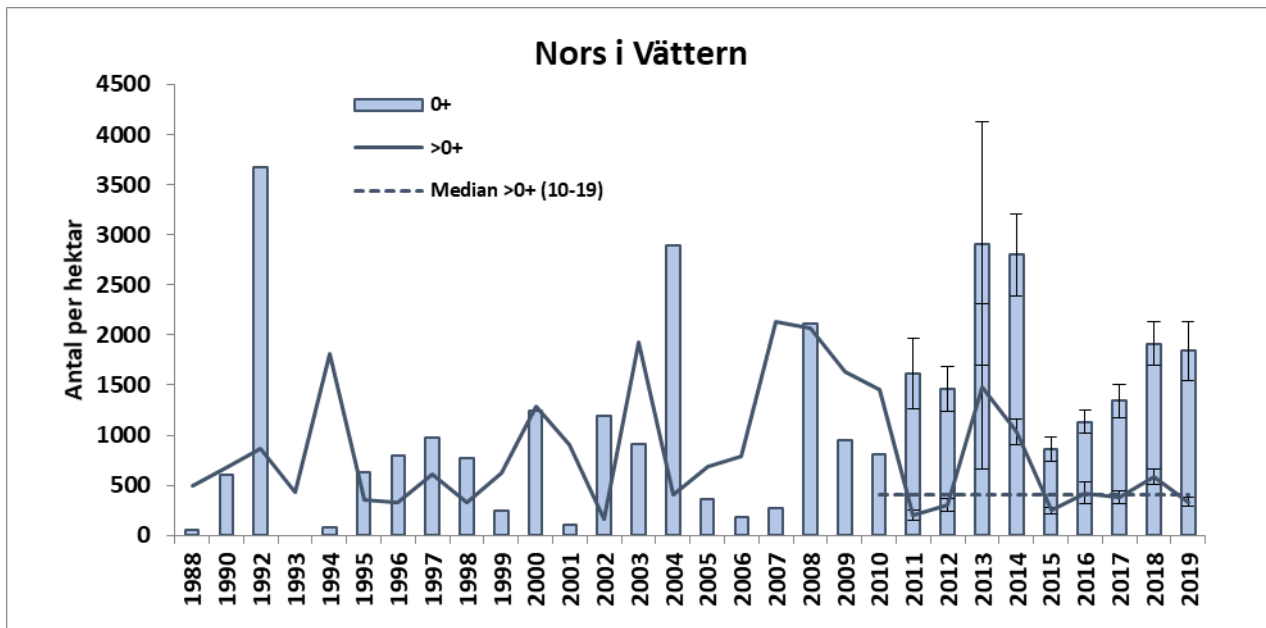
Nors fortsatte att vara den till antal vanligaste fisken i öppet vatten med 2 173 individer per hektar (ha) vilket motsvarade 66 % av antalet fiskar, varav 85 % årsungar (0+). Storspigg var näst vanligast med 24 %. Andelen nors av den totala fiskbiomassan var 22 % (Figur 3). Beståndet av 1-årig och äldre nors (>0+) har de senaste åren varierat svagt kring medianvärdet för hela referensperioden (2010-19) efter den kraftiga minskningen 2013-

15. Rekryteringen av nors (0+) var fortsatt god 2019 (Figur 4). Sett till antal fiskar utgjordes det pelagiska fisksamhället till 80 % av små bytesfiskar (<80 mm) som storspigg och årsyngel av nors, vilket motsvarade 17 % av den totala fiskbiomassan, (Figur 3).



Figur 3. a) Fisktäthet (antal per hektar) av respektive art i det pelagiska fisksamhället i Vättern 2019. **b)** Motsvarande för biomassa (kg per hektar). Fångst av större fiskar som sik, röding och lax visar stor variation mellan åren och kan enskilda år få stor påverkan på andelen av biomassan (se Figur 9).

Mängden nors har varierat över åren från cirka 400 till 4 500 individer per hektar. Stora avvikelser från medelvärdet förekommer framför allt vid enstaka år med höga tätheter och kan då oftast förklaras med ovanligt god rekrytering, dvs. stora mängder årsyngel. Nors och storspigg är eftertraktade bytesfiskar och flertalet blir inte så långlivade. Andelen årsyngel av nors varierar i trålfångsterna mellan sjöns olika delar och har som regel varit högre i de mellersta och norra delarna. En förklaring kan vara att förutsättningarna för tillväxt är mindre gynnsamma i den södra delen med färre grundområden och öar samt mindre näringsrikt och ofta kallare vatten.



Figur 4. Utveckling av norsbeståndet (ettåriga och äldre, >0+) och den årliga rekryteringen (0+) 1988-2019. Åren 1989 och 1991 genomfördes inga undersökningar. Felstaplar representerar 95 % konfidensintervall.

Siklöjebeståndet fortsatt starkt

Efter flera svaga år ökade beståndet av siklöja (>0+) 2013 till över medelvärdet för referensperioden (20010-19). En ny kraftig ökning noterades för 2018 tillsammans med en stark rekrytering. Beståndet minskade 2019 till medianvärde för de senaste tio åren och ingen rekrytering noterades (Figur 5).

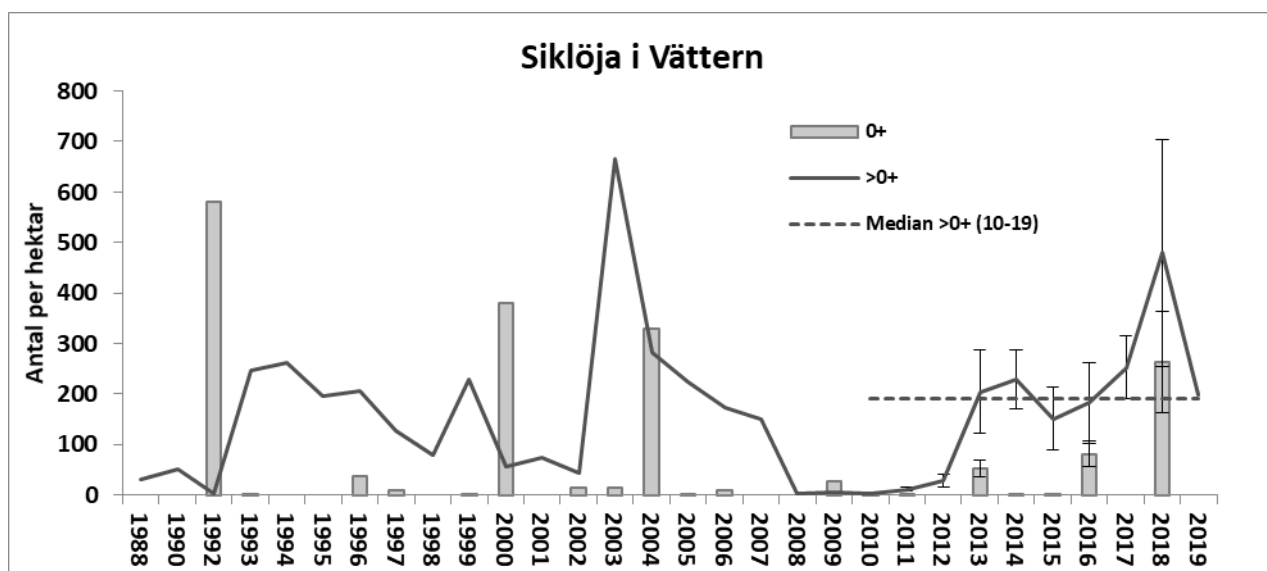
Siklöjan växer mycket snabbt som ung och enstaka individer kan vara 16 cm redan i september under sitt första levnadsår (medel 14 cm). Siklöja utgjorde 29 % av den totala biomassan, vilket var en minskning jämfört med 2017 och 2018 (Figur 3).

Beståndet av siklöja har uppvisat stor variation över åren (variationskoefficient ca 100 %) vilket berott på uppkomsten av starka årsklasser enstaka år. Dessa har oftast uppstått med flera års mellanrum med minskande bestånd under mellanliggande år och ett allt svagare bestånd ifall en ny stark rekrytering dröjer. Så minskade t.ex. den starka årsklassen 2004 under några år och beståndet var slutligen mycket svagt 2008-2012 med bara enstaka siklöjor per hektar till dess en ny stark årsklass uppkom (Figur 5).

År 2013, 2015 och 2016 noterades mer siklöja i den norra halvan av Vättern, och 2014 och 2017 huvudsakligen i den mellersta delen, från norr om Visingsö till söder om Rökne huvud. Söder om Visingsö noterades få siklöjor (>0+) 2013, 2015 och 2017 och inga alls 2014 och 2016. För

2018 noterades siklöja i relativt stor mängd från alla delar av Vättern vilket kanske kunde förklaras av att beståndet var större än på mycket länge och sikløjorna därför spreds över större områden. År 2019 noterades mest siklöja i höjd med Norrgrundet och i norra Vättern.

Andelen unga siklöjor (0+) varierar också mellan olika områden över åren. År 2012 fångades inga årsyngel av siklöja alls, men åren 2009-2011 fångades dessa nästan uteslutande i den norra delen av sjön. År 2013 fångades en stor del av årsynglen i den södra halvan av Vättern och 2014 och 2015 saknades årsyngel av siklöja i stort sett helt i hela Vättern. År 2016 noterades en ny, måttlig rekrytering som var starkast i den nordligaste delen av sjön, norr om Motalaviken. Söder om Visingsö fångades inga årsyngel av siklöja 2016. År 2017 och 2019 saknades årsyngel av siklöja, men för 2018 hade en stark årsklass noterats med årsyngel över hela sjön med de.



Figur 5. Utveckling av siklöjebeståndet (ettåriga och äldre, >0+) och den årliga rekryteringen (0+) 1988-2019. Åren 1989 och 1991 genomfördes inga undersökningar. Felstaplar representerar 95 % konfidensintervall.

Siklöja - rekryteringsframgång, kondition, konkurrens och klimat

Siklöjan leker på senhösten med kläckning av ynglen på våren medan norsens lek och kläckning av yngel sker på våren. Detta innebär att förutsättningarna på våren kan se olika ut för de två arternas yngel. Det är av största vikt för de nykläckta årsynglen att produktionen av lämpliga födoorganismer sker i rätt tid, vilket i sin tur beror på väder- och klimatförhållandena.

Siklöja är vår mest utpräglade djurplanktonätare och en av få fiskarter där alla åldersklasser och storlekar äter samma föda. Detta medför att siklöjan konkurrerar starkt om födan med sina egna artfränder oavsett ålder

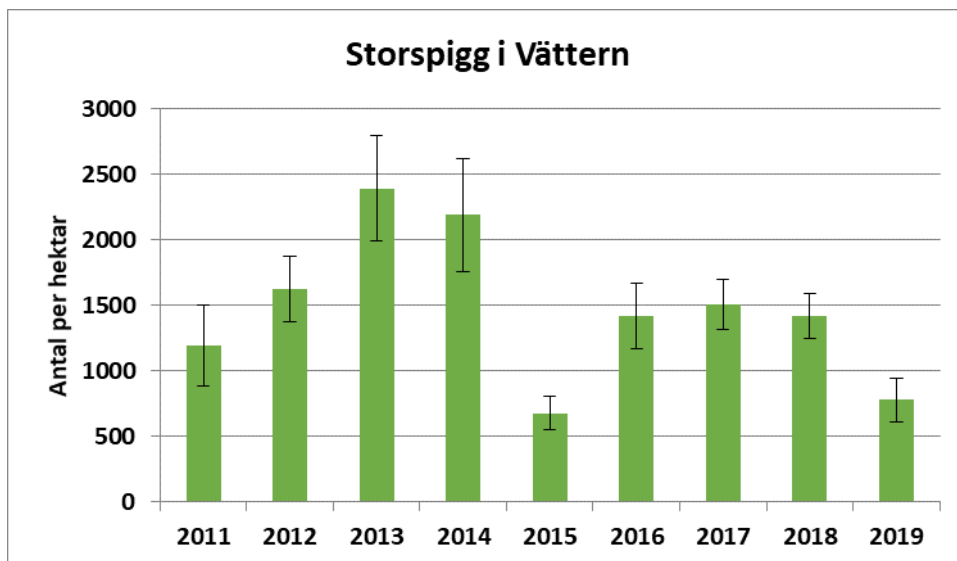
eller storlek. Det är känt att en stark årsklass kan hålla tillbaka förnyingen under flera år och att en ny stark årsklass uppstår först när den gamla starka årsklassen tunnats ut. Så utgjorde t.ex. den starka årsklassen 1992 fortfarande 1998-99 60 % av antalet vuxna siklöjor och en ny stark årsklass uppstod först år 2000 då den nya årsklassen utgjorde 87 % av alla siklöjor (Figur 5).

Riktigt starka årsklasser har bara uppstått 1992, 2000, 2004 samt 2018. Måttligt goda årsklasser noterades för 2013 och 2016. Klimatfaktors inverkan på uppkomsten av starka årsklasser hos siklöja har studerats (Nyberg m fl., 2001; Sandström m fl., 2014), men för siklöjan i Vättern kunde inga samband fastställas. Axenrot och Degerman (2016) har visat på ett möjligt samband där enskilda sikløjors kondition påverkas av tidigare lekar och födokonkurrens. Under perioder då sikløjorna hade låg konditionsfaktor uppstod inga nya starka årsklasser i Vättern. Först när den individuella fiskens kondition byggts upp över tid och den kunde lägga energiresurser på rom/mjölke, kunde andra faktorer – som t.ex. klimat – påverka uppkomsten av en ny stark årsklass. Att återta god kondition och bli lekmogen kan antas ta lång tid i en näringsfattig och lågproduktiv sjö som Vättern där siklöjan därtill måste konkurrera med artfränder, ung nors, storspigg och pungräkor om samma födoresurs (djurplankton).

Övriga arter

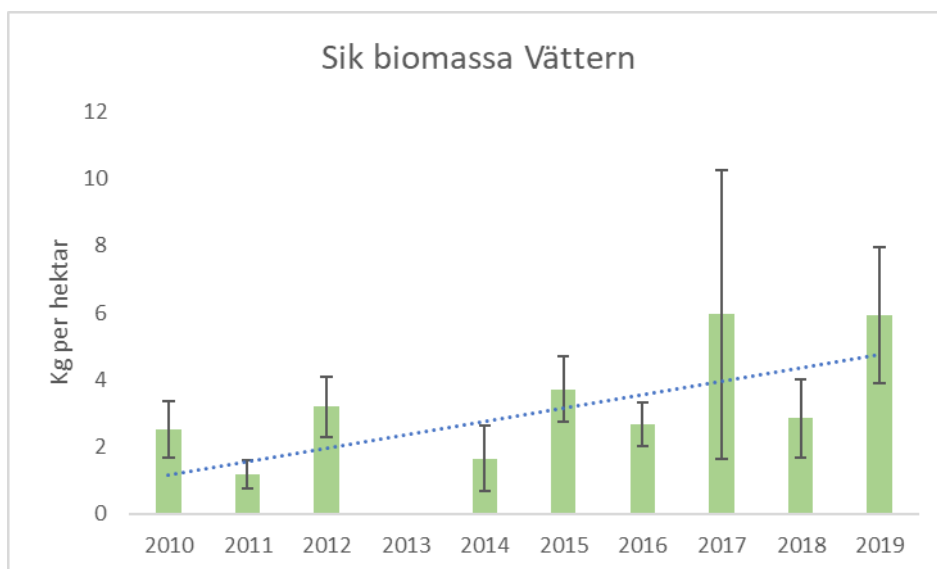
Utöver nors och siklöja fångades 2019 även sik, storspigg, hornsimp, lake, abborre, gers, röding och flodnejonöga vid provtrålningarna (Figur 3).

Storspigg var efter nors den till antal näst vanligaste fisken i öppet vatten (Figur 3 och 6). Arten uppehåller sig ofta nära ytan vilket gör att en stor del av individerna sannolikt inte registreras vid ekolodning då givaren/svängaren sitter monterad under båten (U/F Asterix) på 1,5 m djup och har en teknisk närgräns på ca 1,5 m (sammanlagt 3 m). Det mest ytliga tråldraget sker normalt på ca 5-10 m för att komplettera data från ekolodningen. Helt ytliga tråldrag (0-5 m) har genomförts för att ge en uppfattning om mängden storspigg. I dessa tråldrag utgjorde storspigg >80 % i gruppen liten fisk (<80 mm). I övrigt ingick årsyngel av nors. Nuvarande metodik är således inte anpassad för att få ett bra mått på mängden storspigg varför beräkningarna bör tolkas försiktigt. Det finns en önskan att i framtiden utveckla metodiken för bättre skattningar av storspiggsförekomster.



Figur 6. Mängden storspigg i Vättern (antal per hektar) för 2011-2019. Resultat beräknade på hydroakustiska undersökningar med provtrålning i september. Felstaplar representerar 95 % konfidensintervall. Provtagningsmetodiken är inte anpassad för storspigg och resultaten bör tolkas försiktigt.

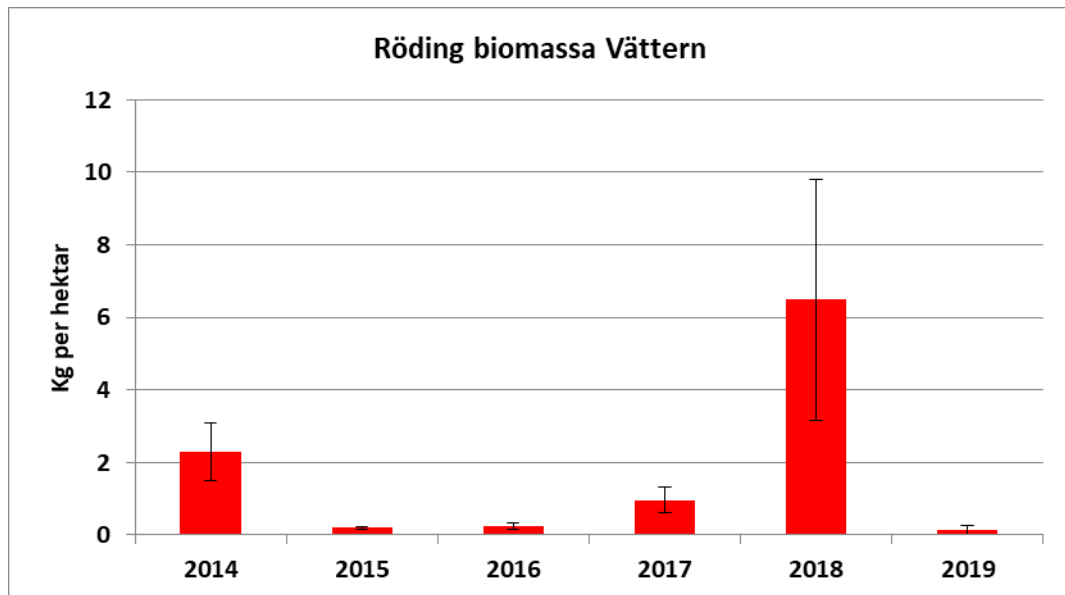
Sik har ökat i antal och biomassa vid de senaste provfiskerna med nät (se avsnitt om fisk och fångster). Resultaten från hydroakustik/trålning har visat stor variation mellan åren men resultaten de senaste tio åren visade sammantaget en möjligt ökande trend ($p=0,0511$; Figur 7).



Figur 7. Ökande trend för skattad biomassa av sik de senaste tio åren baserat på resultat från ekolodning och provtrålning i öppet vatten. Data insamlade nattetid under september. Provtagningsmetodiken är inte anpassad för sik varför resultaten bör tolkas försiktigt.

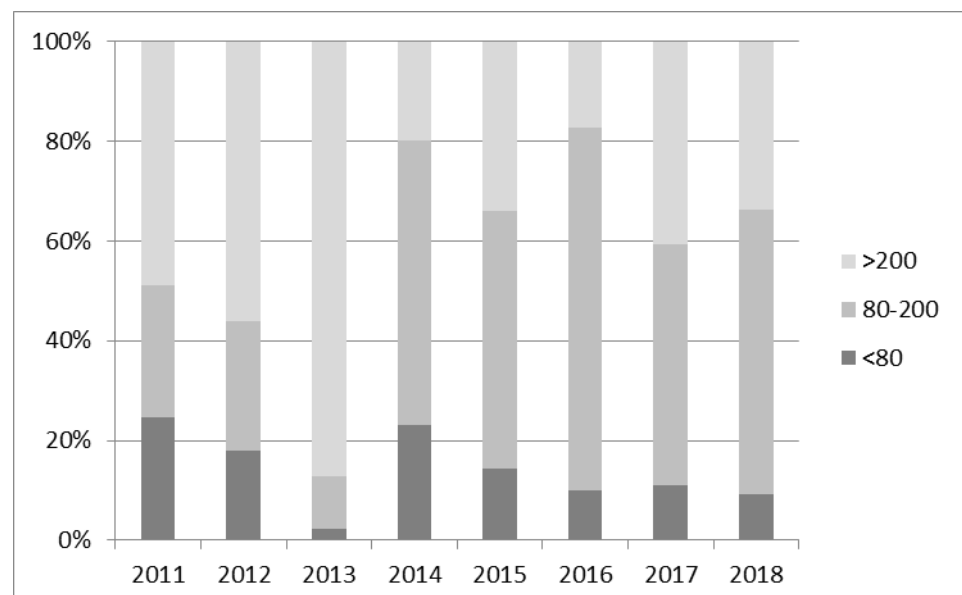
Större rovfiskar som jagar med hjälp av synen riskerar att bli underrepresenterade vid de nattliga undersökningarna. Dessa fiskar har även lätt att simma undan vid trålning. De förekommer i betydligt färre antal än t.ex. deras bytesfiskar vilket minskar sannolikheten att fångas vid de relativt

korta provtråldragen. Beståndsskattningen av dessa fiskar blir därför mer osäker (exempel röding Figur 8). Enstaka arter fångas inte alls, som t.ex. gädda.



Figur 8. Skattad biomassa av röding de senaste åren baserat på resultat från ekolodning och provtråldrag i öppet vatten. Data insamlade nattetid under september. Provtagningsmetodiken är inte anpassad för större, rörliga och dagaktiva rovfiskar varför resultaten bör tolkas försiktigt.

Andelen större fiskar (>200 mm) som beräknades per hektar för 2019 utgjorde 42 % av biomassan och bestod mest av sik. Biomassan av medelstor fisk (80-200 mm) utgjorde 41 %, huvudsakligen siklöja ettårig och äldre (>0+; Figur 3 och 9).

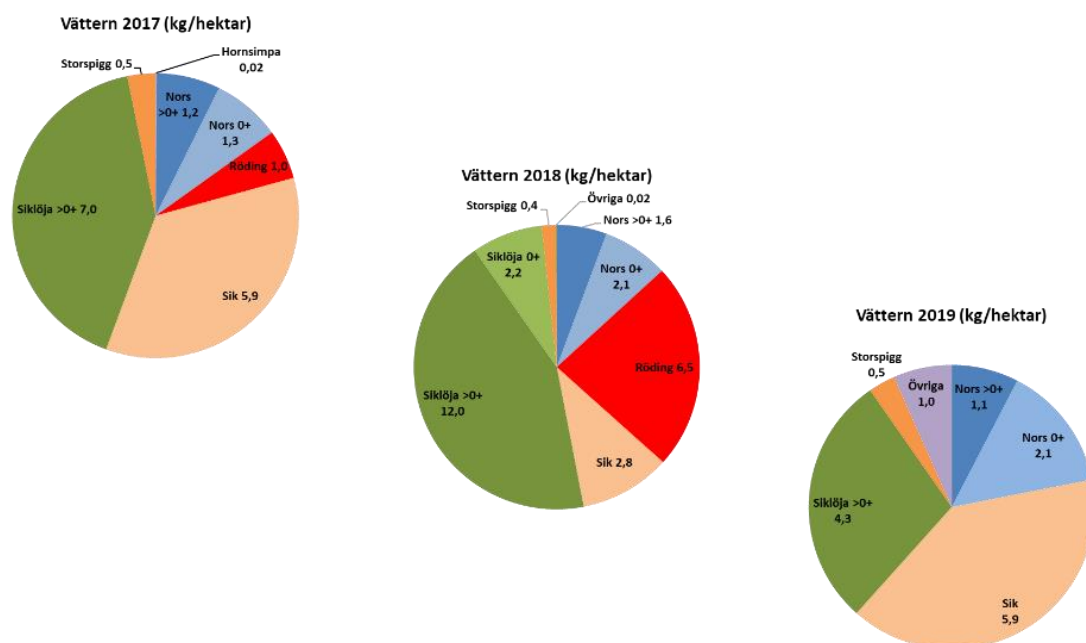


Figur 9. Den relativa fördelningen av biomassa för olika storleksgrupper av fisk i öppet vatten (2011-19). Längdgrupper i millimeter.

Fisktäthet och biomassa

Mängden fisk kan beräknas som antalet fiskar eller som biomassan av fisk. Båda måtten ger information som behövs för att bedöma beståndstatus och rekrytering för enskilda arter och för ekosystemet i sin helhet. Mindre fiskar, som t. ex nors, finns i allmänhet i stort antal. Hydroakustiska data och trålprover ger därför oftast en god bild av sådana fiskbestånd – med avseende på antal, storleksfördelning, vikt med mera.

Större fiskar är betydligt mindre vanliga, ofta mer rörliga och fångas därför mer sällan. Därtill varierar artspecifik fångstbarhet vid trålningen och ekostyrka (dvs. styrkan i det ljud som reflekteras från fisken tillbaka till ekolodet). Därför innehåller informationen om dessa större fiskar ett större mått av osäkerhet särskilt med avseende på biomassa då en stor fisk väger lika mycket som tusentals årsyngel (Figur 3). Denna osäkerhet är sannolikt en viktig orsak till att den beräknade genomsnittliga fiskbiomassan i öppet vatten i Vättern varierat över åren. Figur 10 visar biomassan av olika fiskarter i Vättern de senaste tre åren (2017-19).



Figur 10. Fördelning av biomassa (kg per hektar) av fisk i Vättern för 2017-19 baserat på ekolodning och trålning i september.

Diskussion

FÖDOTILLGÅNG

Djurplankton – basföda för siklöja och ung nors – har visat låga mängder under de senaste åren samt omfördelats mellan arter och mot mindre storlekar. Artsammansättningen indikerar näringsfattiga förhållanden (se tidigare Årsskrifter). Vättern har blivit alltmer näringsfattig (oligotrof) på

grund av förbättrad rening av avloppsvatten och gödslingsteknik i jordbruket. Halterna av näringsämnen har dock varit låga under lång tid. Stor konkurrens om begränsade födoresurser påverkar fiskarnas kondition negativt och minskar såväl antalet lekar under en livstid som lekframgången vid det enskilda lektillfället, dvs. antalet yngel som produceras och överlever.

KLIMAT

Klimatförändringar kan påverka bl.a. lekframgången, t.ex. om ynglens kläckning och tillväxt inte matchar tillgången på lämpliga djurplankton, men även tillväxt. Det verkar inte föreligga något enkelt samband i Vättern mellan klimat och lekframgång utan fler faktorer har betydelse och kan samverka (Sandström m.fl. 2014; Axenrot och Degerman, 2016).

BESTÅNDSUTVECKLING

Bestånden (>0+) av bytesfiskarna nors och siklöja minskade under flera år fram till 2013 (Figur 4 och 5).

I siklöjans fall kan vi anta att det behövdes 3-4 år efter den starka årsklassen 2004 för att återfå kondition och bli lekmogen och/eller att nya individer från den starka årsklassen (2004) vuxit upp och blivit könsmogna (2-3 års ålder; Axenrot och Degerman, 2016). En mindre stark årsklass noterades 2009, en något starkare 2013, en god årsklass 2016 samt en mycket stark årsklass 2018. År 2019 fångades inga årsyngel varför årsklassen från detta år bedöms varit mycket svag (Figur 5).

Nors hade normal till god rekrytering under 2008-12, men trots detta minskade beståndet av äldre fiskar (>0+) fram till 2013 (Figur 4) och på nytt 2015. Åren 2013-19 har rekryteringen varit god/mycket god och beståndsstorleken är kring medianvärdet för de senaste tio åren (Figur 5). Under motsvarande tid har olika undersökningar i Vättern visat att de naturliga bestånden av rovfisk – röding, öring, storvuxen sik, lake – haft en gynnsam utveckling (se avsnitt om fisk och fångster). Därutöver finns tillstånd att sätta ut 20 000 laxsmolt årligen (<https://www.sportfiskarna.se/Om-oss/Aktuellt/ArticleID/7517>). Studier av fritidsfisket omfattning har visat att det nu fångas mer röding än lax i sportfisket och att röding var mer eftertraktad som målart (Sundblad m fl., 2019).

En okänd faktor i sammanhanget är beståndet av bytesfisken storspigg som verkar vara relativt stabilt (Figur 6) men som samtidigt inte övervakas fullt tillfredsställande i dagsläget. Storspigg nyttjas som föda av såväl lax som röding.

FRAMTIDSSCENARIO?

Vätterns naturligt låga näringsstatus och produktivitet har varit stabil under lång tid och kan förmodas förbli så lång tid framöver. Klimatet antas långsamt bli varmare vilket på lång sikt kommer att påverka sjöns

ekosystem, från produktivitet till artsammansättning. En del av Vätterns naturligt förekommande fiskarter har över åren utsatts för olika typer av påfrestningar från mänskliga aktiviteter, som t.ex. vandringshinder, yrkes-, husbehovs- och sportfiske. Flera riktade förvaltningsinsatser har genomförts vilka sammantaget haft positiva effekter, som för t.ex. röding- och öringbestånden. Det är viktigt att förvaltningen av fiskresurserna även innefattar bestånden av bytesfisk som nors, siklöja och storspigg för balansen i ekosystemet. Dessa är nyckelarter – en ”motor” - som driver fisksamhället och reglerar ekosystemet i Vättern. Beståndsutvecklingen för nors och siklöja följs årligen och resultaten används och kan användas för att bedöma ekosystemets status, effekterna av riktade insatser, lämplig storlek på laxutsättningar samt för förvaltningen av fiskbestånd genom fiskeregler mm. För bättre förståelse av dynamiken mellan bytes- och rovfiskar behöver övervakningsmetodikerna förbättras med avseende på storspigg och analytiska metoder som kopplar ihop födovävarna behövs tas fram.

Referenser

- Axenrot, T., and Degerman, E. 2016. Year-class strength, fitness and recruitment cycles in vendace (*Coregonus albula*). Fisheries Research 173: 61-96.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2015.03.017>
- Axenrot, T., Ogonowski, M., Sandström, A., and Didrikas, T. 2009. Multifrequency discrimination of fish and mysids. – ICES Journal of Marine Science, 66: 1106–1110.
- [CEN] Comité Européen de Normalisation (European Committee for Standardization). 2014. Water quality – Guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods. EN 15910.
- Nyberg, P. Degerman, E., Bergstrand E., and Enderlein, O. 2001. Recruitment of pelagic fish in an unstable climate: studies in Sweden´s four largest lakes. AMBIO 30(8), 559-564.
- Rapport nr 99. 2009. Bedömning av pelagiska fiskbestånd i Årsskrift 2008. Vätternvårdsförbundets rapportserie. ISSN 1102-3791.
- Rapport nr 115. 2012. Glacialrelikter och makrozooplankton. I Vänern och Vättern 2011. Vätternvårdsförbundets rapportserie. ISSN 1102-3791.
- Ragnarsson Stabo, H., Vrede, T., Axenrot, T., and Sandström, A. 2014. Large zooplankton in Swedish large lakes. Aquatic Ecosystem Health and Security, 17(4): 374-381.
- Sandström, A., Ragnarsson Stabo, H., Axenrot, T., and Bergstrand, E. 2014. Has climate variability driven the trends and dynamics in recruitment of pelagic fish species in Swedish Lakes Vänern and Vättern in recent decades? Aquatic Ecosystem Health and Security, 17(4): 349-356.

Sundblad, G., Larsson, S., Wennerström, L., Linderfalk, R. och Halldén, A. 2019. Fritidsfiskets omfattning i Vättern 2017. Fångster av röding, lax och öring. Aqua reports 2019:7. SLU, Department of Aquatic Resources. ISBN: 978-91-576-9652-6.

Östman, Ö., Beier, U., Ragnarsson Stabo, H., Olsson, J., Svedäng, H., Sundelöf, A., Sandström, A. och Florin, A-B. 2016. Förvaltningsmål för nationellt förval-
tade fiskbestånd. Aqua reports 2016:10. SLU, Department of Aquatic Resources. ISBN: 978-91-576-9410-2.

Inventering av sjöfåglar på fågel-skar i Vättern 2020

Lars Gezelius

Bakgrund

2001 initierade Vätternvårdsförbundet ett övervakningsprogram för sjöfågel i Vättern. Kunskap om häckande sjöfåglar är viktigt som beslutsunderlag i olika frågor, för uppföljning av Vätterns status i Natura 2000 sammanhang och för att diskutera synpunkter från t.ex. friluftslivsintressen och fiskare. Vättern ingår i EU:s nätverk av skyddade områden och har pekats ut enligt art- och habitatdirektivet (SCI-område). Östergötlands del i Vättern har även pekats ut enligt fågeldirektivet (SPA-område). En uppdaterad och reviderad bevarandeplan för Natura 2000 området fastställdes 2018 av de Länsstyrelser som har del i sjön (Lindell 2018). Inventeringen av fåglar finansieras av Vätternvårdsförbundet tillsammans med de fyra länsstyrelserna som har del i sjön. Den första inventeringen gjordes 2002 och resultat har publicerats i Vätternvårdsförbundets årsskrifter, i Vår fågelvärld samt i Östergötlands läns Ornitologiska förenings tidskrift Vingspegeln (Gezelius 2005 och 2010). Efter 18 års inventeringar är nu tidsserien så lång att vi kan se trender i materialet. Bland äldre inventeringar av fåglar kan nämnas inventering av Motalabuktens öar 1990 (Elf 1990).

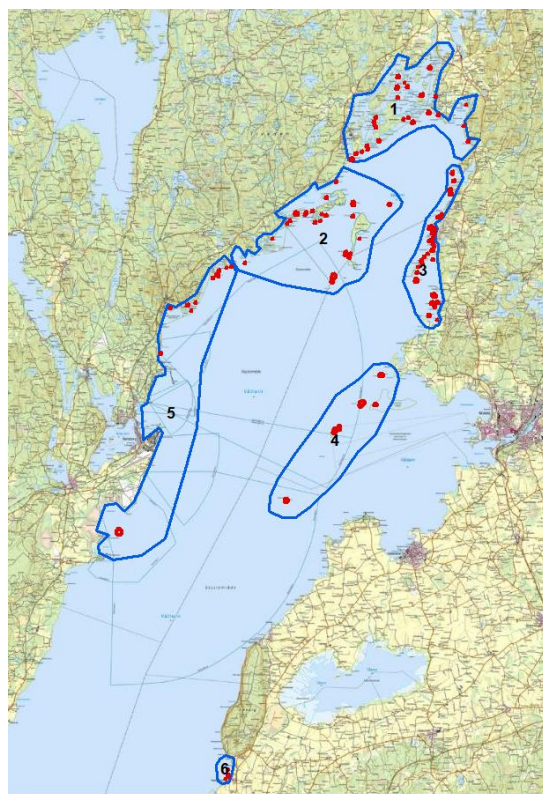
Inventeringen bygger på en i Vänern väl beprövad metodik som omfattar öar, i första hand av typen fågelskar, och ett utarbetat datahanteringssystem/rapportering (Landgren 2004). Numera är projektet en del i programmet ”Insjöfåglar”, som är ett gemensamt delprogram (GDP) mellan övervakningsprogrammen i Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren. Samarbetet ska bl.a. resultera i säkrare analyser av orsaker till förändringar i fågelpopulationer. Naturvårdsverket (2011) fastställde en handledning för undersökningstypen Fåglar på fågelskar i stora sjöar. En gemensam analys av data från inventeringarna i de stora sjöarna publicerades i Vår fågelvärld under 2015 (Pettersson, m.fl. 2015). Det gemensamma delprogrammet har utvärderats av Lunds Universitet (Green m.fl. 2019). Utvärderingen konstaterar bl.a. att det mesta när det gäller själva upplägget och fältarbetet inom GDP Insjöfåglar fungerar alldeles utmärkt och bör fortsätta på i stort samma sätt framöver. Det finns däremot en del brister när det gäller den datahantering som skett hittills och rekommenderar därför en översyn och samordning mellan ingående sjöar på det området. En sådan samordning bör ske inom ramarna för och i samarbete med den datavärd som programmet väljer att ansluta sig till.

Syfte

Syftet med inventeringen är dels att följa status och populationsförändringar hos Vätterns sjöfåglar som en del i det gemensamma delprogrammet ”Insjöfåglar” och dels att ge ett beslutsunderlag i olika ärenden, t.ex. naturvårdsplanering och miljökonsekvensbeskrivningar. Inventeringen ingår i den samordnade miljöövervakningen av Vättern och bekostas av länsstyrelserna. Vättern ingår i Natura 2000 och med anledning av det behöver bevarandestatusen hos bl.a. fåglar följas upp. I inventeringen ingår även att dokumentera eventuell förekomst av ”sjöfågeldöd”.

Metodik

I huvudsak användes den metodik som tagits fram för Vänern, den s.k. ”Kristinehamnsmodellen” (Landgren 2004). Inventeringen sker i sex delområden och en ansvarig inventerare utses för vart och ett av dessa. Det har i stort sett varit samma inventerare i de olika delområdena under samtliga år. Inventeringsgruppen träffas med ojämna mellanrum för att diskutera metodik och utbyta erfarenheter. Delområdenas geografi framgår av figur 1 och antal lokaler, inventerare och tidpunkt framgår av tabell 1. De flesta lokalerna som inventeras är öar av fågelskärstyp. Länsstyrelsen Östergötland är datavärd för insamlade uppgifter. Resultat, summeringar, trender m.m. kan tas fram för olika delområden, kommuner eller län.



Figur 1. De inventerade delområdenas avgränsning och nummer.

Tabell 1. Antal inventerade lokaler, inventerare och tidpunkt för inventeringen i de olika delområdena 2019.

Områdesnr	Delområde	Antal inventerade lokaler	Inventerare	Datum
1	Aspaskärgård	24	Ulf Allvin, Stefan Allvin	10-16 juni
2	Röknen	20	Ulf Allvin, Stefan Allvin	10-15 juni
3	Medevi	31	Gunnar Myrhede & Jan Eklund	14 juni
4	Motalaviken	6	Gunnar Myrhede & Jan Eklund	14 juni
5	Karlsborg	11	Sten Persson	17-19 juni
6	Hästholmen	5	Lars Gezelius	9 juni

Totalt inventerades 97 lokaler (öar/ögrupper) under perioden 9-19 juni 2020 (se tabell 1). Vid Erkerna, Kalv och Ottraholmen gjordes även ett besök i augusti/september för att räkna skarvbon. Merparten av lokalerna ligger i den örikare norra delen av sjön. Områdena besöktes med mindre öppna båtar vid ett tillfälle vid de datum som anges i tabellen. Antalet fåglar registrerades på utvalda öar av typen fågelskär som hyste häckande sjöfåglar, d.v.s. fåglar av grupperna lommar, doppingar, svanar, gäss, skarv, häger, änder, vadare, måsar och tärnor. Även rovfåglar registrerades på valda öar.

Antalet fåglar registreras på en särskild inventeringsblankett som tagits fram för inventeringen. På dessa noteras öarnas namn, besökstidpunkt, om ön ingår i fågelskyddsområde samt väderförhållanden (molnighet, vind och vindriktning samt ev. nederbörd). På lokalen anges totala antalet observerade fåglar av olika arter. Dessutom noteras om fåglarna var revirhävdande, om de ruvade, om det fanns kullar eller dunungar. För änder anges även könsfördelning. Inventeringen sker huvudsakligen genom att fåglarna räknas från båt. Endast i undantagsfall görs landstigning på öarna.



Skärv. FOTO: Ulf Allvin.

Resultat

Antal revirhävande individer och bedömt antal par på de totalt 97 lokaler som besöktes anges i tabell 2. Totalt inräknades 2011 individer exklusive skarvarna (boräkning). För jämförelse anges även medelantalen vid inventeringarna 2002 - 2019. Totalantalet individer är lägre än i fjol men över medelantalet för hela perioden. För de kolonihäckande arterna redovisas antalet revirhävande fåglar och ingen omräkning till antalet par har gjorts. Totalt inräknades 199 revirhävande måsfåglar på Vätterns fågelskär, vilket också är klart över medeltalet för perioden. I figur 2 visas de fyra vanligaste måsarternas populationstrender.

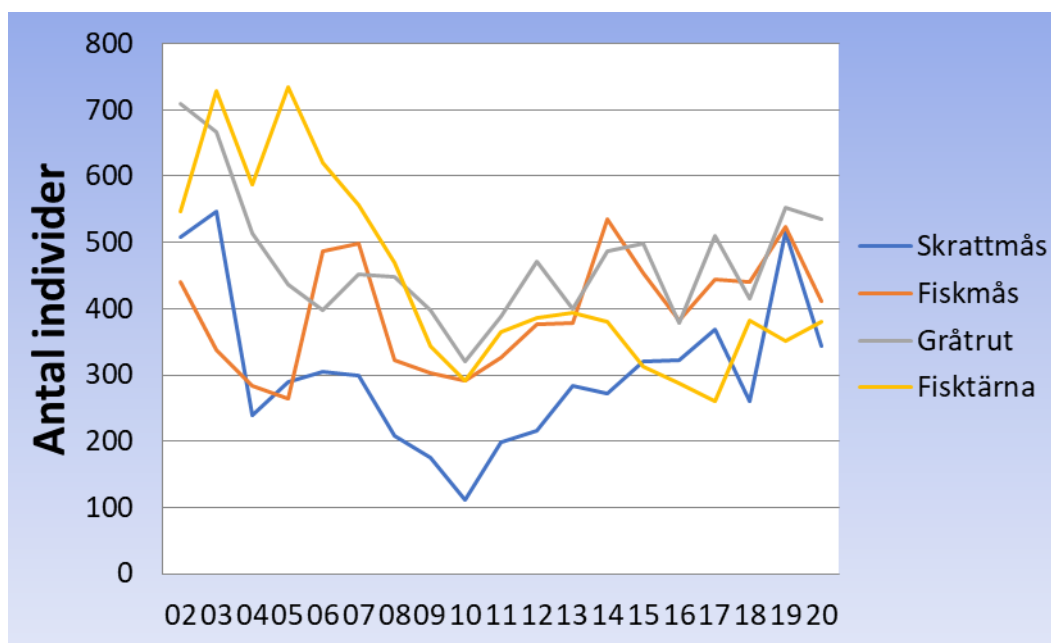
Tabell 2. Totalt antal registrerade individer samt bedömt antal par vid inventeringen 2020, samt medeltalen 2002-2019. För storskarv avser siffrorna antalet aktiva bon.

Art	Antal individer (2020)	Bedömt antal par (2020)	Antal individer (medel 2002-19)	Antal par (medel 2002-19)
Storlom	17	13	16,5	9,6
Skäggdopping	2	1	1,1	0,7
Storskarv		998		886
Häger				4,6
Knölsvan	8	5	4,9	2,7
Grågås	2	2	1,8	1,1
Kanadagås	12	7	15,6	8,7
Vitk gås	41	22	27,4	15,6
Gräsand	8	4	14,1	9,9
Snatterand	14	8	1,5	1,0
Vigg	19	10	8,4	5,9
Knipa	4	2	5,1	3,6
Ejder	14	7	9,0	4,3
Småskrake	124	71	88,4	59,2
Storskrake	15	14	16,9	12,5
Strandskata	12	7	18,2	11,2
Drillsnäppa	11	9	12,1	9,0
Roskarl	0		0,2	0,1
Skrattmås	344		302,3	
Fiskmås	412		393,8	
Dvärgmås	0		0,2	
Silltrut	0		0,5	
Gråtrut	538		469,0	
Havstrut	19		13,9	
Fisktärna	380		444,4	
Silvertärna	4		4,2	
Fiskgjuse	8	4	8,5	5,4
Lärkfalk	3	2	2,2	1,9
Summa	2011		1871	

GENERELLA TRENDER

Samtliga måsfåglar hade generellt en minskande trend mellan 2002 och 2010, därefter är den generella trenden ökande, dock med undantag för fisktärnan som ligger kvar på en relativt låg nivå. Värt att notera är årets höga antal av silvertärna samt häckningar av silltrut och dvärgmå.

Bland övriga arter har småskrake och strandskata minskande trender. Storskarven minskade rejält efter 2008 och har legat på nivåer en bit under toppen sedan dess men trenden är svagt ökande. Arter med stabila antal (med viss variation under åren) är storlom, storskrake, vitkindad gås, vigg, knölsvan, drillsnäppa och fiskgjuse.



Figur 2. Antalet revirhävande måsar och tärnor på Vätterns fågelskärs 2002-20.

STORSKARV

Totalt konstaterades 998 bon och trenden är något (svagt) ökande efter en bottennotering 2012. Toppnoteringen är från 2007 med 1279 par. Årets kolonier fanns på fem öar eller ögrupper; Jungfrun 20 bon, Erkerne 362 bon, Kalv 134 bon, Ottraholmen 32 och Sidön 450 bon. På Erkerne, i delområde 4 i naturreservatet Motalabuktens öar, häckade som mest drygt 700 par i början av 2000-talet och som lägst 180 par 2009. Samtliga bon var belägna i träd till en början. Nu är ungefär 25 % av bona i stående träd och 75% på marken eller på lågor. På Sidön, strax söder om Karlsborg, ökade kolonin till som mest 425 bon 2017. På Kalv, söder om St. Röknen, har kolonin legat relativt stabilt på 100-125 par åren 2010-2015 och därefter 66-89 bon. 2008 noterades drygt 300 par här. På Jungfrun, i Motalabuktens öars naturreservat, häckade 20 par. 2015-18 häckade här 25 till 80 par och 2002 noterades tio par.

För öarna Erkerna, Risan och Jungfrun samt Skärv och Kalv finns en tidsserie över antalet häckande par sedan 1994. Vi kan således få en bild över skarvens populationsutveckling i Vättern sedan dess (figur 3). Ökningen var kraftig, särskilt mellan 2001 och 2002 (95 %), men sedan skedde alltså en kraftig minskning 2009, men på senare år åter en ökning. På Erkerna kan kraftiga stormar 2007 och 2008 ha bidragit till minskningen där, då många bon och träd blåste ner.

I Vänern noterades 1632 bon och vilket innebär en ökning från föregående åren med antal strax under 1500 bon. Högsta nivå var 2006 då 3 139 par noterades (Rees 2020). I Mälaren har skarven inventerats sedan 2004 (från 2011 vart tredje år) i ett separat program. 2017 räknades totalt 3802 bon i 13 kolonier, vilket är rekord (Thuresson & Hedenbo 2019).



Figur 3. Antal funna bon av storskarv i Vättern 1994-2020. Kolonierna finns på öarna Erkerna i Motalabukten, på ön Kalv söder om St. Röknen, på Ottraholmen samt på Sidön vid Karlsborg. Data före 2002 från Länsstyrelsen Östergötland, opubl.



Ny skarvkoloni på Ottraholmen, där fåglarna är markhäckare. FOTO: Ulf Allvin.



Skarvbon på Ottraholmen. FOTO: Ulf Allvin.

GRÅTRUT (VU)

Detta år registrerades 538 revirhävande gråtrutar, vilket är en bra bit över medeltalet för inventeringsperioden. Toppåren var 2002-2003 med 710 resp. 666 individer. Bottennoteringen är 320 ex. 2010. Arten noterades på 19 lokaler. Under 2012-2019 fanns arten på 16-23 lokaler. Och under 2002-2004 fanns den på 22-23 lokaler. Det är ju stabila siffror och gråtruten är normalt sett trogen sina häckningslokaler. Enstaka par eller smärre grupper kan dock byta lokal mellan olika år. Den i särklass största kolonin är Jungfrun i område 4 med 250 ex. På Sidön, i område 5, är den tidigare stora kolonin med 85 fåglar 2007 och 175 fåglar 2002 numera blott på 11 ex. Andra större lokaler var Kalv (40) och Skärv (35) i delområde 2 och Stångskäret (34) i delområde 1, Sjöholmen (62) i delområde 3 och Erkerna (35) i delområde 4 och Hästholmen norra (30) i delområde 6. Inga döda eller sjuka trutar noterades under inventeringen.

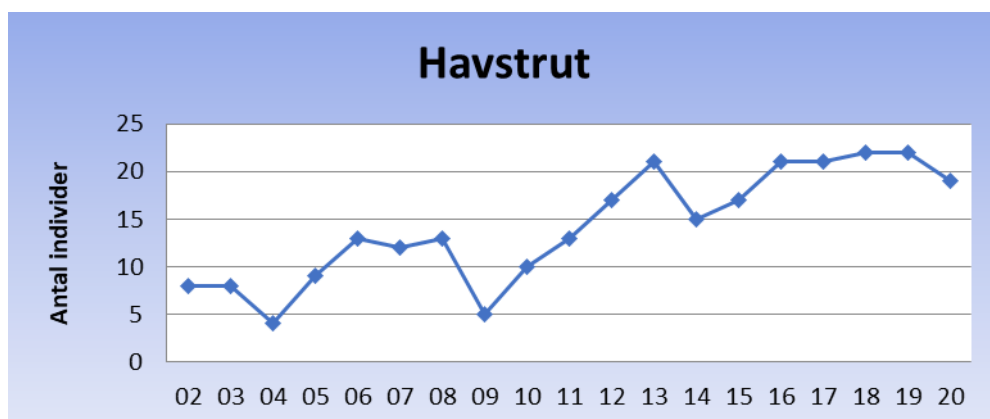
I både Vänern och Mälaren har arten mycket större antal gråtrutar, men även i dessa sjöar minskar bestånden. Gråtruten i Vänern haft en minskande trend under hela inventeringsperioden men de senaste åren har karakteriserats av större variation och omväxlande högre och lägre siffror. Resultatet för 2020 var 4055 individer, nästan ca 1 300 fåglar färre än 2019 som dock var den högsta noteringen sedan 2012 (Rees 2020). I Mälaren noterades 1329 revirhävande fåglar 2018 (Thuresson & Hedenbo 2019) och trenden är negativ. Totalt i Sverige har arten efter en kraftig ökning under 1990-talet minskat markant under 2000-talet (Ottosson m.fl. 2012).



Gråtrutar på Stångskäret. FOTO: Ulf Allvin.

HAVSTRUT (VU)

Havstruten är inte särskilt vanlig i Vättern. Under året noterades 19 revirhävande fåglar på tio platser. Medeltalet för åren 2002-19 är 14 ex. Beståndet är litet, men arten har en uppåtgående trend. Här råder stora skillnader i antal mellan Vänern och Vättern. I Vänern fanns 457 ex. 2020 (Rees 2020) och beståndet har en minskande trend. I Mälaren fanns 30 individer 2018, vilket är något över medel för perioden 2005-2018 (Thuresson & Hedenbo 2019).



Figur 4. Antal revirhävande havstrutar i Vättern 2002-20.



Havstrut. FOTO: Ulf Allvin.

SKRATTMÅS (NT)

I år konstaterades 344 revirhävande skrattmåsar på tio lokaler. Det innebär en klar minskning från fjolårets 516 som dock var näst högsta notering sedan starten. Nästan alla par fanns i tre större kolonier, Sidön, Stångsholmen och Forsholmen. Arten har en uppåtgående trend sedan bottenåret 2010. 2002-03 fanns drygt 500 ex. Kolonierna flyttar om en hel del mellan åren.

Årets största koloni fanns på Sidön med 170 ex., vilket är en tillbakagång från fjolårets 250 ex. och högsta antalet hittills på ön. Här började de första skrattmåsarerna häcka 2012, men var aldrig högre än 65 ex 2012-2016. På den i särklass största kolonin 2013 och 2014 (ca 100 ex.) Forsholmen (i delområde 3) var det 2015 bara fem ex. och har sedan 2016 saknas arten helt på detta fågelskärr. Årets återkomst med 35 ex. är därför glädjande. Den största kolonin 2004 och 2005 fanns på Hönsholmen (delområde 3), men efter dessa år har endast enstaka par häckat där fram till 2017-19 då 60, 30 resp. 60 ex. noterades här men i år endast sex ex. På Fjuk fanns Vätterns största koloni vid inventeringarna 2002-03 med 230-260 ex. Här har bara enstaka häckningar noterats sedan dess, t.ex. 22 ex. 2015 medan den saknats helt sedan 2016. I år noterades trots allt två ex. I år fanns 20 ex. på Erkerna. Här har en mindre koloni funnits sedan 2004. Största koloni 2016 fanns på Sjöholmen i delområde 3, med 80 fåglar men där saknades arten helt 2017-19. Följande kolonier är mer eller mindre nya: Kalv (delområde 2) med 15 ex. Där har tidigare endast enstaka par häckat 2017 samt 2006-07, Stångsholmen (delområde 3) med 90 ex (110 i fjol). Där har endast enstaka ex. häckat 2004-05. Jämfört med gråtruten är skrattmåsen mycket mer variabel mellan år och mellan olika lokaler.



Skrattmåsungar. FOTO: Ulf Allvin.

I Vänern noterades 5413 ex. 2020 (Rees 2020). Beståndet ligger fortfarande lågt och har en minskande trend. Som mest var det 8624 fåglar 2010. I Mälaren räknades 1861 fåglar 2018 (Thuresson & Hedenbo 2019), vilket innebär en ett knappt, men dock rekord sedan starten 2005.

FISKMÅS (NT)

412 revirhävande fiskmåsar registrerades, vilket är en klar minskning från fjolårets 523 som är den näst högsta summan sedan inventeringen startade 2002. Det är mer nära medeltalet medelantalet för 2002-2019 som är 394. Arten fanns på 53 lokaler, vilket är i närheten av antalen under föregående säsonger och det är därmed den mest spridda vitfågeln i sjön. De största kolonierna fanns vid Hästholmen (totalt 81 ex.), St. Tjuren (17 ex.), Fjuk (28 ex.), Sidön (30 ex.), och Vitskäret (21 ex.). Fiskmåsen har fluktuerat en del genom åren, men trenden över tid är stabil.

För fiskmåsbeståndet i Vänern var det en positiv trend under perioden 1994-2012, men 2013 skedde en minskning från 14081 ex. till 9024 ex. 2018. 2020 noterades 9003 ex. (Rees 2020). I Mälaren noterades 913 revirhävande fåglar 2018 och beståndet förefaller stabilt (Thuresson & Hedenbo 2019).

FISKTÄRNA

Fisktärnan var den klart vanligaste ”vitfågeln” i Vättern under 00-talet, men arten har en nedåtgående trend och ligger nu näst sist i gruppen. Årets antal slutade på 380 ex. fördelade på 23 lokaler, vilket är något fler lokaler än under fjolåret. Ser vi till de senaste fyra säsongerna är trenden trots allt stigande. Medelantalet för alla år är 444 ex.. Medelstorleken för kolonierna var 21 individer. Under toppåren 2003-2005 häckade arten på 30-talet lokaler. En hel del omflyttningar bland lokalerna sker mellan åren. Största koloni var i år Skärv med 60 ex. I fjol var det hela 120 ex. här, men dessförinnan var det under alla år endast en mindre koloni med 2 - 23 ex. Övriga större kolonier fanns på Sägareholmen (47 ex.), Sidön (40 ex.), Kalv (40 ex.) Forsholmen (25 ex.), Erkerna (33 ex.). På Kalv fanns 30 ex. 2019 och 60 ex 2018, men före det har bara enstaka par häckat tidigare (som mest 16 ex.). Jungfrun i delområde 4 har hyst 75 ex., men under åren 2014-20 fanns bara tärnor här under 2015 (40 ex.). St. Laxhalla i delområde 2 har hyst 80 ex., men här har bara funnits 0-7 ex. 2015-20. På Ottraholmen i delområde 2 fanns tidigare en stor koloni med som mest 75 ex., men där är kolonin nu borta sedan 2015.



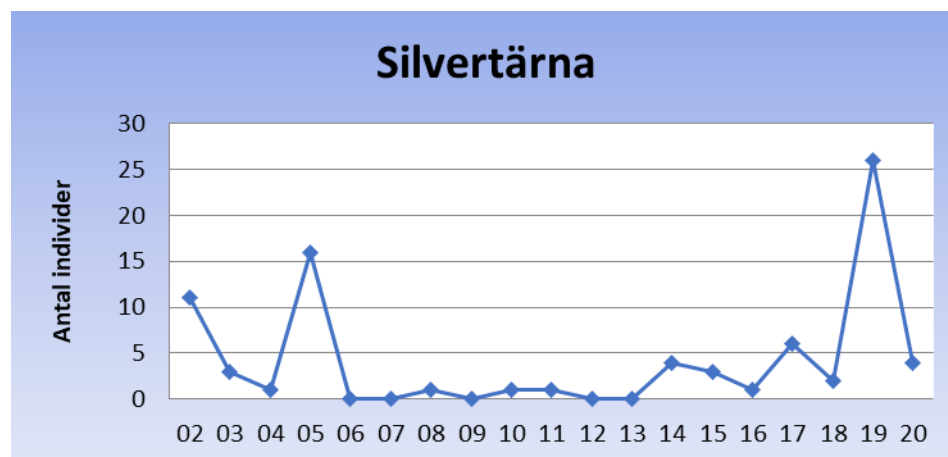
Skär vid Smedudden. FOTO: Ulf Allvin.

5984 revirhävande fisktärnor inräknades i Vänern 2020 (Rees 2020), vilket är den femte högsta siffran sedan 1994. I Mälaren räknades 2324 fåglar 2018, vilket var ett klart rekord (Thuresson & Hedenbo 2019). Enligt punktrutterna i Svensk häckfågeltaxering har fisktärnan långsiktigt haft ett stabilt bestånd om än med relativt stora hopp ett par år. Standardrutterna visar på en rejäl ökning under den senaste dryga tioårsperioden. Sistnämnda stämmer bäst med siffror från inventeringar i Vänern, samt längs våra kuster. I dessa områden har fisktärnan ökat kraftigt både i långt (30 år) och kort (10 år) perspektiv. Det samlade nationella beståndet bedöms ha ökat kraftigt under de senaste 30 åren (Ottvall, et al. 2008). Vättern är därmed ett undantag från denna bild.

Målsättningen för Vättern enligt förslaget till bevarandeplan enligt art- och habitatdirektivet (hela Vättern) respektive fågeldirektivet (del av sjön som ingår i Östergötlands län, SPA-området) är att det bör vara mellan 100 - 200 par som häckar årligen i eller i nära anslutning till sjön. Målsättningen inom SPA-området är att antalet bör överstiga 70 par. Statusen får ännu så länge bedömas som ”gynnsam” för hela Vättern även om trenden är vikande. För SPA-området (Östergötlands län) noterades 122 ex., d.v.s. även målet för SPA-området nås sålunda. Sannolikt finns ytterligare några solitära par i området som inte kommer med i denna inventering.

SILVERTÄRNA

Endast fyra ex. noterades på Erkerna. 2019 var ett toppår med hela 26 ex. som fanns på Stångsholmen (20) i delområde 3 och Skärv (6) i delområde 2, vilket var ett rekord för arten i Vättern. Toppnoteringarna dessförinnan är från 2002 och 2005 med elva resp. 16 ex. Sedan 2014 kan en viss närvaro av arten åter skönjas efter flera års frånvaro dessförinnan. I början av 00-talet var förekomsten något större. 2005 noterades 16 ex. fördelade på Jungfrun (10 ex.) och Tärnskäret (6 ex.).



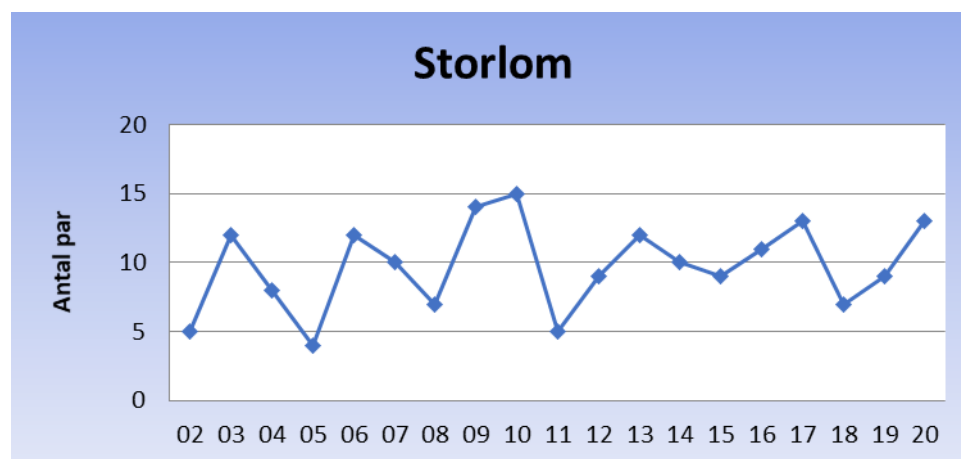
Figur 5. Antal revirhävande silvertärnor i Vättern 2002-20.

Målsättningen enligt förslag till bevarandeplan för Vättern (se förklaring ovan under fisktärna) bör vara 5-10 par som häckar årligen i eller i nära anknytning till sjön. Målsättningen inom SPA-området är att antalet bör vara minst fem par. Bevarandestatusen är således med årets notering ”måttlig”, men trenden är ”under förbättring”.

I Vänern noterades 960 individer (Rees 2020), vilket är en hög och stabil nivå. Arten är inte noterad i Mälaren (Thuresson & Hedenbo 2019).

STORLOM

Totalt noterades 17 storlommar på 13 lokaler och de bedöms som 13 par. Populationsnivån i inventeringsmaterialet är stabil. Eftersom denna inventering i första hand är inriktad på fågelskär och storlommen är relativt skygg, finns det fler par som inte kommer med vid denna inventering. Medelantalet par under 2002-2019 ligger på knappt tio par.



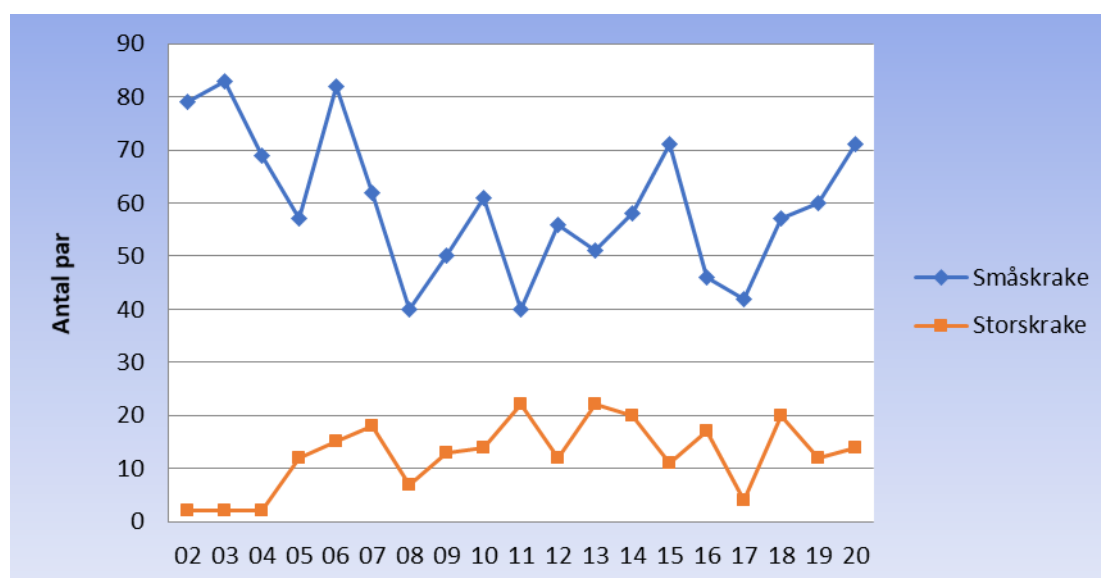
Figur 6. Bedömt antal par av storlom inom de inventerade lokalerna i Vättern 2002-20.

Målsättningen enligt förslag till bevarandeplan för Vättern (se förklaring ovan under fisktärna) för Vättern bör vara minst 20 par som häckar årligen i eller i nära anknytning till sjön, varav minst två par inom SPA-området. Enligt denna inventering skulle statusen bedömas som ”ej

gynnsam”, men eftersom mörkertalet troligen är stort finns trots allt skäl att bedöma statusen som ”gynnsam”. Populationsstorleken i denna inventering får betecknas som stabil, även om antalet par har fluktuerat. Under 2020 summerades till 54 revir av storlom på Vänerns fågelskär, vilket är nära medeltalet och nivån är stabil (Rees 2020). I Mälaren noteras inte arten årligen (Thuresson & Hedenbo 2019).

EJDER (EN)

Inlandshäckningar är generellt mycket ovanliga. Under 2020 noterades sju kullar vid Mellön och två ex. vid Åholmen i Motalabuktens naturreservat i delområde 4. Under 2019 noterades fem ungpåar på dessa lokaler. 2014 konstaterades den första häckningen då ett bofynd (4 ägg) gjordes på Åholmen, och sedan dess har arten häckat årligen i området med ett till sju par. I Vänern har något ex. noterats vissa år (Rees 2020) och i Mälaren är den noterad ett år (2013) (Thuresson & Hedenbo 2019).



Figur 7. Bedömt antal par av små- resp. storskrake inom de inventerade lokalerna i Vättern 2002-20.

SMÅSKRAKE

Arten har möjligen en svagt minskande trend sett över hela perioden. I år konstaterades 70 par. Arten har ökat under de senaste åren och ligger nu över medeltalet för hela perioden som är 59 par. I Vänern konstaterades 445 fåglar 2020, vilket är nära medeltalet (Rees 2020). I Mälaren räknades 49 ex. 2018, vilket är en hög siffra (Thuresson & Hedenbo 2019). Här har arten tidigare minskat, men på senare år har en återhämtning skett.

STORSKRAKE

Populationen ligger relativt stabilt på en tämligen låg nivå. Årets inventering slutade på 14 par på sju lokaler. I Vänern räknades 38 ex. 2020,

vilket är en relativt låg siffra (Rees 2020). I Mälaren räknades 26 ex. 2018, vilket också är relativt lågt (Thuresson & Hedenbo 2019)

VIGG

Viggen noteras som regel kring 5-10 par och fluktuationerna har varit stora. Det är relativt små antal totalt och slumpfaktorer vid besöken kan få stor betydelse. I år noterades liksom i fjol tio par på Erkerna. I Vänern noterades 39 ex. (Rees 2020), vilket är ett relativt högt antal. I Mälaren noterades 278 ex. 2018 (Thuresson & Hedenbo 2019) och trenden är svagt vikande.

VITKINDAD GÅS

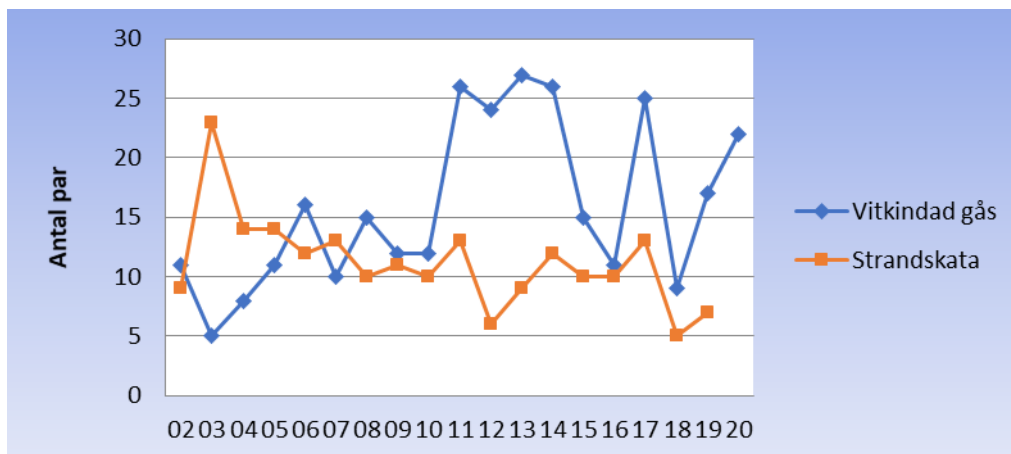
Den vitkindade gåsen har haft en ökande trend i Vättern, men på senare år har antalet par fluktuerat kraftigt. 22 par noterades i år varav åtta i Östergötlands län. Totalantalet är över medelantalet för perioden 2002-2019 som är drygt 15 par.

I Vänern räknades 107 ex., vilket är den näst högsta noteringen efter toppåret 2019 med hela 125 ex. (Rees 2020). I Mälaren räknades 58 individer 2018. Högsta notering där är 109 ex. (Thuresson & Hedenbo 2019).

Målsättningen enligt förslag till bevarandeplan för Vättern (se förklaring ovan under fisktärna) är att 25-50 par bör häcka årligen i eller i nära anknytning till sjön. Målsättningen för SPA-området (Östergötland) är att antalet bör överstiga tio par. Bevarandestatusen får nu bedömas som ”gynnsam” både vad gäller hela Vättern och SPA-området. Ytterligare par finns sannolikt i ej inventerade områden.

STRANDSKATA (NT)

Strandskatan har en minskande trend sett över hela perioden och årets notering på sju par på sex lokaler är den tredje lägst årssumman. Som mest har den noterats på 15 lokaler 2003. I Vänern har arten haft en ökande trend och 2020 noterades 88 revir, vilket är den näst högsta noteringen (Rees 2020). I Mälaren noterades 36 ex., vilket är ett relativt lågt antal (Thuresson & Hedenbo 2019).



Figur 8. Bedömt antal par av vitkindad gås resp. strandskata inom de inventerade lokalerna i Vättern 2002-20.

DRILLSNÄPPA (NT)

Drillsnäppan förekom med nio par på nio lokaler. Inventeringen av fågelskär är inte representativ för artens häckningsmiljö i Vättern, där den förekommer på många fler lokaler av typen skogsöar och klippstränder. Utvecklingen inom inventerade områden är stabil sett över hela perioden.

Målsättningen enligt förslag till bevarandeplan för Vättern är att finns minst 20 par, varav 16 par i SPA området och att arten inte minskar i antal. Statusen får betecknas som ”gynnsam” och trenden är stabil. I Vänern konstaterades 85 revir 2020 (Rees 2020) och långtidstrenden är positiv. I Mälaren summerades 71 individer (Länsstyrelsen Stockholm, obubl. data).

FISKGJUSE

Inventeringsmetoden är inte anpassad för inventering av fiskgjuse, men antalet aktiva bon/par registreras inom de områden som besöks. Under 2020 konstaterades bara fyra par och trenden är stabil. Fall av störningar har noterats samt några nedrasade bon.

Målsättningen enligt förslag till bevarandeplan för Vättern är att det häckar 5 – 10 par årligen i eller i nära anknytning till sjön, varav minst två par inom SPA-området. Målsättningen är uppfylld för hela Vättern och för SPA-området (Östgötadeln), med tanke på att flera par i Vättern förbises i denna inventering. Längs Ombergs vätternstrand häckar t.ex. omkring tio par. (egna obs.)

FÅTALIGA/ÖVRIGA ARTER

Inga särskilda noteringar av ovanligare sjöfågelarter gjordes. I norra delen har häckande havsörn noterats. Även pilgrimsfalk har häckat invid sjön med minst fem, kanske sex par.

SJUKDOMAR, PREDATION OCH STÖRNING

I inventeringen ingår att notera onormal så kallad "sjöfågeldöd" med särskild uppmärksamhet på gråtrut. Inga iakttagelser gjorts som tyder på någon onormal sjöfågeldöd har gjorts. I delområde 1 och 2 har många spår av mink noterats och det är sannolikt orsaken till att en del bra fågelskär är övergivna. En riktad jakt efter mink är önskvärd i vissa områden. Under året har fler störningar av fritidsbåtar/vattenskotrar noterats samt flera landstigningar och solbad i känsliga områden, bl.a. vid fiskgjusebon. Det är kanske en effekt av Covid-19 pandemin, då fler spenderat ledighet hemmavid.



Vattenskotrar "in action". FOTO: Ulf Allvin.

NATURA 2000 FÅGLARNA

Vättern ingår i det europeiska nätverket av skyddade områden, det s.k. Natura 2000. Hela Vättern är utpekad enligt det s.k. art- och habitatdirektivet, medan den del som ligger i Östergötlands län även är utpekad enligt fågeldirektivet. Bevarandeplanen för Vättern berör de särskilt utpekade arter och naturtyper som är upptagna såsom särskilt skyddsvärda inom EU. För varje art och naturtyp beskrivs den allmänna statusen, mål, hot, olika åtgärder som behövs, vilken uppföljning som utförs/behövs för att säkra och belägga bevarandestatusen. Genom åtgärder och målbeskrivningarna ska s.k. gynnsam bevarandestatus säkerställas och rapporteras till EU. Bevarandestatusen ska kontrolleras regelbundet via uppföljning. En reviderad bevarandeplan för Vättern har i år fastställts av de fyra länsstyrelser som har del i sjön (Vätternvårdsförbundet 2018).

I Vättern förekommer fyra fågelarter som tas upp direkt i direktivet; fisktärna, silvertärna, svarthakedopping och vitkindad gås, medan dessutom storlom, fiskgjuse och drillsnäppa anges såsom s.k. typiska arter för att följas upp fågeldirektivet. I tabell 3 anges bedömd status och trend för de inventerade Natura 2000-arterna.

Tabell 3. Natura 2000 arternas antal status och trender.

	Antal par 2020	Medel 2002-18	Mål (antal par)	Status	Trend
Vitkindad gås	22*	16	25-50	Gynnsam	Under förbättring
Storlom	13*	9,6	20	Gynnsam	Stabil
Fiskgjuse	4*	5,4	5-10	Gynnsam	Stabil
Fisktärna	190#	222#	100-200	Gynnsam	Under försämring
Silvertärna	2#	2#	5-10	Ej gynnsam	Under förbättring
Drillsnäppa	9*	9	>20	Gynnsam*	Stabil

*Populationen i Vättern är större än vad som omfattas i denna inventering, eftersom arten inte endast är knuten till fågelskär.

siffran anger antalet individer delat med 2. Antalet par är i realiteten något högre. Division med 1,7 kan ligga närmare sanningen eftersom båda individerna i paren inte är på plats hos samtliga par vid besöken.

En stor del av Vättern utgörs av habitatet 3130 (Oligo-mesotrofa sjöar med strandpryl, braxengräs eller annuell vegetation på exponerade stränder) enligt art- och habitatdirektivet. Bland de för detta habitat typiska fågelarterna som förekommer i Vättern är storlom, fiskgjuse, fisktärna, silvertärna och drillsnäppa utvalda. För dessa ska god bevarandestatus upprätthållas i Vättern och det finns mål för dem i bevarandeplanen för Vättern.

När det gäller bevarandeåtgärder kan det vara värt att göra en översyn av behovet av skydd och skötsel av fågelskären. Bland annat har framförts att öarna Kalv, Skärv och Orrskäret m.fl. bör ha någon form av formellt skydd som fågelskyddsområden. På flera skär finns behov av skötselåtgärder som vegetationsröjning för tärnor o måsar.

Tack!

Ett stort tack till de inventerare som genomfört inventeringen; Ulf Allvin, Stefan Allvin, Jan Eklund, Gunnar Myrhede och Sten Persson. Tack även till Friederike Ermold (Vätternvårdsförbundet) som hanterat det ekonomiska.

Referenser/Litteratur

Elf, A. 1990. Häckfågeltaxering på öarna i Motalabukten. Vingspegeln 19:150-156.

Gezelius, L. 2005. Inventering av häckande sjöfåglar på öar i Vättern 2002-2005. Vingspegeln 24:82-94.

Gezelius, L. 2010. Fåglar på Vätterns fågelskär 2002 – 2010. Vingspegeln 29:90-99

Green, M., Haas, F., Bakx, T. och Jönsson, A. 2019. Fåglar på fågelskär i de stora sjöarna – utvärdering av det gemensamma delprogrammet insjöfåglar. Rapport Lunds Universitet

Landgren, T. 2004. Metodbeskrivning för inventering av kolonihäckande sjöfåglar i Vänern. Vänerns vattenvårdsförbund. Rapport nr 28. 2004.

- Landgren, T. & Pettersson, T. 2008.** Sjöfåglar i Vänern, Vättern och Mälaren. Sötvatten – årsskrift från miljöövervakningen 2008: 2-5.
- Landgren, T & Pettersson, T. 2012.** Inventering av fåglar på fågelskär i stora sjöar. Förslag till samordnat miljöövervakningsprogram. Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. 2011.** *Fåglar på fågelskär i stora sjöar. Version 1:0, 2011-12-07*
https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarb/tet/vagledning/miljoovervakning/handledning/metoder/undersokningstyper/landskap/faglar_fagelskar_stora%20sjoar_20111207.pdf
- Pettersson, T, Landgren T och Gezelius, L. 2015.** Trender hos häckande fåglar på fågelskär i stora sjöar. Vår Fågelvärld 5:2015, ss 44-50.
- Rees, J. 2020.** Övervakning av fåglar på Vänerns fågelskär. Sammanfattning av inventeringsresultatet 2020. Stencil, (pdf) Vänerns vattenvårdsförbund.
- Thuresson, M & Hedenbo, P. 2019.** Fågelskär i Mälaren 2018. Länsstyrelsen Stockholm. Fakta 2019:4.
- Svenska Häckfågeltaxeringen 2016.** Resultat på hemsidan.
<http://www.zoo.ekol.lu.se/birdmonitoring>
- Holmqvist N., Lindström, Å., Nilsson, L., Svensson, M., Svensson, S. & Tjernberg, M. 2012.** Fåglarna i Sverige - antal och förekomst. SOF, Halmstad.
- Vätternvårdsförbundet 2018.** Bevarandeplan för Vättern. Rapport nr 129 från Vätternvårdsförbundet. Jönköping.

Nederbördskemiska undersökningar av försurande och övergödande ämnen på Visingsö

Gunilla Pihl Karlsson & Per Erik Karlsson, IVL Svenska Miljöinstitutet AB



Sammanfattning

På uppdrag av Vätternvårdsförbundet mäter IVL Svenska Miljöinstitutet sedan februari 1993 våtdepositionen av försurande och övergödande ämnen samt metaller över öppet fält på Visingsö på månadsbasis. Resultaten vad gäller våtdepositionen av metaller presenteras i en separat rapport. I denna rapport jämförs mätresultaten avseende försurande och övergödande ämnen på Visingsö även med motsvarande mätningar av nedfall över öppet fält vid åtta andra platser i södra och mellersta Sverige inom Krondroppsnetet.

Nederbördsmängderna i södra Sverige under 2019 var något lägre än medelvärdet för den totala mätperioden (1997-2019) vid samtliga här undersökta platser. Vid många mätplatser uppmättes höga nederbördsmängder fram till 2008 för att därefter minska. Dock var nederbördsmängden vid

Visingsö under 2019 (cirka 500 mm) den högsta som uppmätts sedan 2012, om man undantar 2017. Nederbördsmängderna under de senaste 23 åren har minskat statistiskt säkerställt på Visingsö, liksom vid ytterligare sex av de här jämförda mätplatserna. Endast vid Blåbärskullen (Värmland) och Hensbacka (Västra Götalands län) finns ingen statistiskt säkerställd förändring av nederbördsmängden sedan 1997.

Svavelnedfallet med nederbörden 2019 i södra och mellersta Sverige var generellt högre jämfört med både 2017 och 2018. På Visingsö var svavelnedfallet under året 1,1 kg per hektar. Torrdepositionen av svavel är inte inkluderat i dessa mätningar. Vid samtliga här jämförda mätplatser, inklusive Visingsö, har svavelnedfallet med nederbörden, exklusive havssalt, minskat signifikant med mellan 66 och 81 % under de senaste 23 åren. Den totala syrabelastningen från nederbörden, i form av vätejoner (H^+), var under 2019 låg på Visingsö.

Nedfallet av oorganiskt kväve (nitrat- och ammoniumkväve) med nederbörden under 2019 var även det högre jämfört med 2017 och 2018 vid Visingsö och på flertalet av de andra här jämförda mätplatserna. På Visingsö var kvävenedfallet med nederbörden 4,8 kg per hektar under 2019. Dock är inte torrdepositionen av kväve med i dessa mätningar, något som, vad gäller nedfall till skog, adderar en relativt stor mängd kväve till det totala kvävenedfallet. Det oorganiska kvävenedfallet i nederbörden har inte minskat statistiskt säkerställt på Visingsö sedan 1997. Däremot har det minskat vid sex av de övriga åtta mätplatserna under samma mätperiod (Blåbärskullen, Edeby (Södermanland), Hensbacka, Kvisterhult (Västmanland), Södra Averstad (Värmland) och Tagel (Kronoberg)), dock har det inte minskat vid Fagerhult (Jönköpings län) eller vid Höka (Östergötland).

Inom Krondroppsnätet har det totala nedfallet (summan av våt- och torrdeposition) av oorganiskt kväve till barrskog beräknats för det hydrologiska året (okt 2018-sept 2019). För barrskog på Visingsö beräknades kvävenedfallet till mellan 6 och 8 kg per hektar (2018/19), vilket är högre än den kritiska belastningsgränsen på 5 kg N per hektar. Den kritiska belastningsgränsen har även överskridits på Visingsö under många tidigare år. Detta innebär att vegetationen, både på Visingsö och i resten av Jönköpings län, sedan länge är påverkad av ett förhöjt kvävenedfall.

1. Inledning

Sedan februari 1993 mäter IVL Svenska Miljöinstitutet, på uppdrag av Vätternvårdsförbundet, våtdepositionen av bland annat försurande och övergödande ämnen i nederbörden över öppet fält på Visingsö. I denna rapport redovisas och analyseras resultaten av mätningarna av försurande ämnen sedan 1994, det första hela kalenderåret som det finns mätningar för, till och med kalenderåret 2019.

I rapporten visas både månadsvisa mätresultat samt årsvisa resultat från Visingsö. De årsvisa resultaten jämförs även med motsvarande mätningar av nedfall med nederbörden över öppet fält vid åtta andra platser i södra och mellersta Sverige; Blåbärskullen och Södra Averstad i Värmlands län, Fagerhult i Jönköpings län, Hensbacka i Västra Götalands län, Höka i Östergötlands län, Edeby i Södermanlands län, Kvisterhult i Västmanlands län samt Tagel i Kronobergs län. Samtliga dessa mätningar bedrivs inom Krondroppsnätet (www.krondroppsnatet.ivl.se) och mätplatsernas geografiska positioner visas i Figur 4.

2. Månadsvisa mätresultat vid Visingsö 2019

Nedfallet av försurande ämnen med nederbörden på månadsbasis under 2019 på Visingsö visas i Figur 1 och 2 tillsammans med månadsmedelvärden av nederbörden. Depositionen beräknas från den nederbördsmängd som uppmätts och från koncentrationer av olika ämnen i det insamlade provet. Storleken på den s.k. våtdepositionen beror på en kombination av nederbördsmängd och föroreningsgrad hos luftmassan som passerar över området. Oftast beror ett tillfälligt högt nedfall på en hög nederbördsmängd men det är inte alltid så. Sulfat (SO_4) och nitrat (NO_3) är i huvudsak långväga transporterade luftföroreningar, medan ammonium (NH_4) generellt har ett större inslag av påverkan från lokala emissioner, även om långdistanstransporterat ammoniumkväve även förekommer. Klorid visar inslag av havssalt i den passerande luftmassan.

Klart mest nederbörd under 2019 kom i oktober följt av juni och juli medan minst nederbörd kom i april, följt av februari och januari, Figur 1. Under 2019 var pH i nederbörden på Visingsö lägst i februari följt av november och december och högst i april följt av maj och augusti.

Svavelnedfallet var relativt lågt under 2019 men högre jämfört med de två närmast föregående åren. Klart högst svavelnedfall kom under juni följt av maj och lägst under januari och februari, Figur 1.

Kloridnedfallet på Visingsö var under 2019 högre än på flera närmast föregående år. Klart högst kloridnedfall uppmättes på Visingsö under juni 2019 följt av september, oktober och december. Orsaken till det höga kloridnedfallet i juni är ännu oklart. Övriga månader var kloridnedfallet lågt.

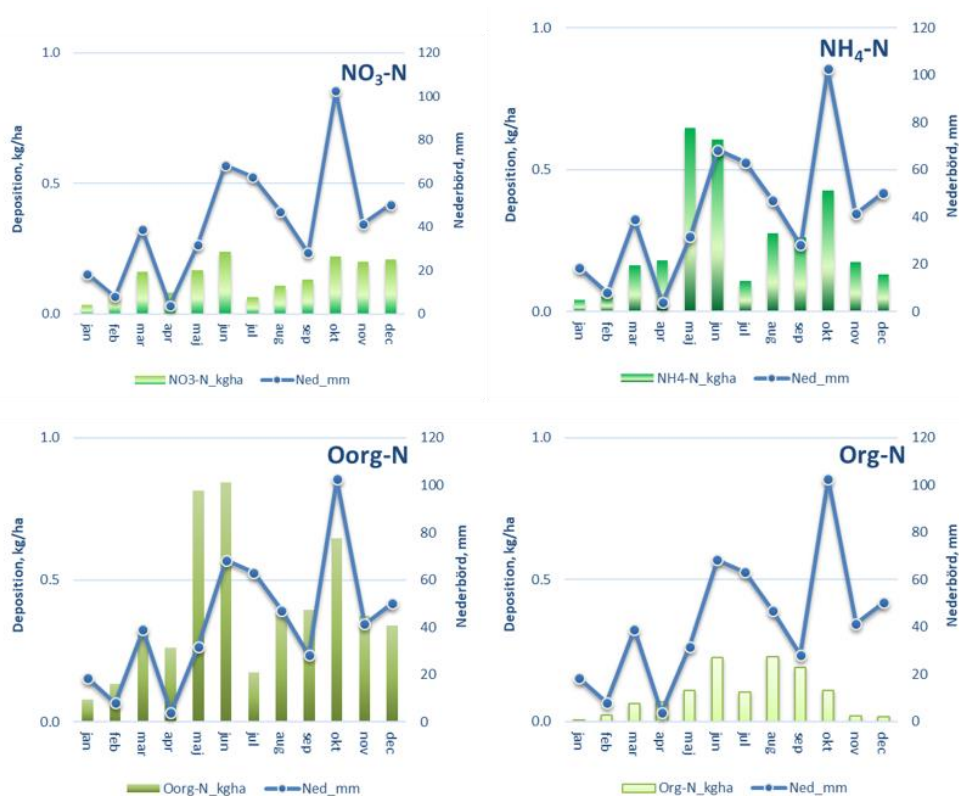
Även nedfallet av baskatjonerna kalcium och magnesium visas i Figur 1. Nedfallet av kalcium visade samma mönster som klorid med ett mycket högt nedfall under juni. Även magnesiumnedfallet var högst under juni men inte lika högt som för kalcium. Lägst nedfall av både kalcium och magnesium uppmättes i januari 2019. Även orsaken till det höga kalciumnedfallet i juni är ännu oklart. Eventuellt har provet kontaminerats av någon form av kalciumklorid något som får utredas vidare under 2020. Kalciumklorid används exempelvis som vägsalt.

Även fosfornedfallet var relativt lågt under 2019. Högst fosfornedfall inträffade under juni och maj följt av oktober, Figur 1.



Figur 1. Månadsvisa pH-värden samt nedfall av svavel (förutom havssaltsbidrag), klorid, kalcium, magnesium och fosfor från mätningarna över öppet fält på Visingsö under perioden januari till december 2019 (staplar). I varje figur visas även månadsvisa uppmätta värden för nederbörd (punkter).

Figur 2 visar det månadsvisa kvävenedfallet med nederbörden på Visingsö under 2019. Det oorganiska kvävenedfallet var högst under juni följt av maj och oktober. Det är främst nedfallet av ammonium som bidrar till högt kvävenedfall under maj och juni, medan nedfallet av nitrat var lite mer jämnt fördelat under året. Lågst kvävenedfall för alla komponenter skedde under januari 2019, Figur 2. När det gäller det organiska kvävenedfallet var det lågt under 2019 med högst nedfall under augusti, juni följt av september, Figur 2.

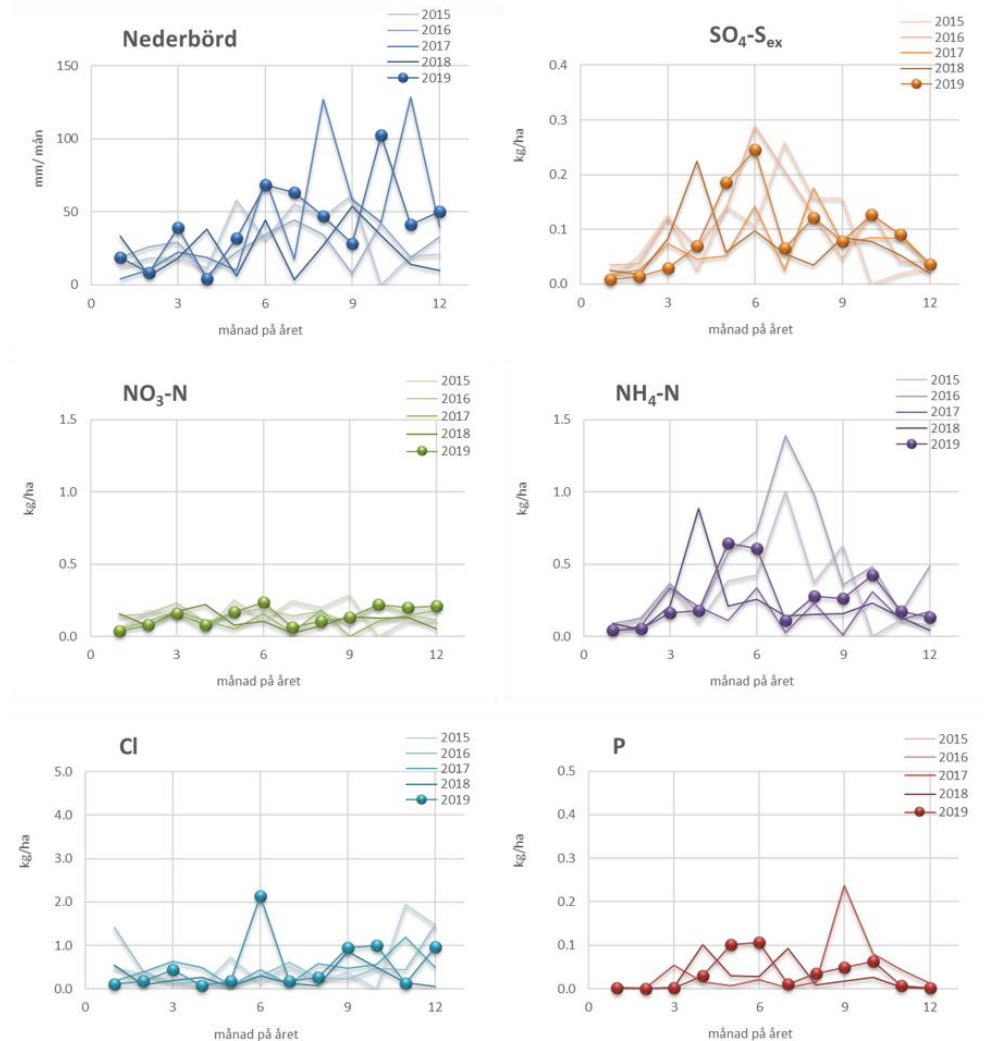


Figur 2. Månadsvis nedfall av nitrat-, ammonium-, organiskt och organiskt kväve från mätningarna över öppet fält på Visingsö under perioden januari till december 2019 (staplar). I varje figur visas även månadsvisa uppmätta värden för nederbörd (punkter).

3. Månadsvis jämförelse av mätresultat vid Visingsö med tidigare års mätningar

De fem senaste årens mätresultat på Visingsö visas i Figur 3. I figuren framgår att nederbördsmängden under flertalet månader var på en relativt normal nivå för de senaste åren. Lägst nederbörd föll under april månad följt av februari. När det gäller flertalet övriga parametrar var nedfallet under 2019 på en relativt normal nivå för de senaste fem årens mätningar, undantaget under maj och juni månad då nedfallet för flertalet parametrar var något högre än under de flesta av de tidigare åren. Sulfatdepositionen var relativt normal jämfört med tidigare år undantaget under maj och juni då nedfallet var högt, Figur 3. Även nitrat- och ammoniumnedfallet visade ett liknande mönster. I figuren framgår även att kloridnedfallet 2019 var på en relativt jämförbar nivå jämfört med tidigare år om man undantar juni månad, Figur 3. De högsta kloridnedfallen brukar inträffa under vintermånaderna och de lägsta under sommarmånaderna, men under 2019 uppmättes alltså högst kloridnedfall under juni, Figur 3. 2019 var tredje året som mätningar av fosfornedfall med nederbörden genomfördes varför det endast går att jämföra med 2017 och 2018 års mätningar. Dock syns i Figur 3 att fosfornedfallet generellt inte

varit speciellt högt under 2019 och att högst nedfall uppmättes under maj och juni på samma sätt som för många andra parametrar.



Figur 3. Månadsvisa nederbördsmängder (mm) samt nedfall (kg/ha/månad) av sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO₄-S_{ex}), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N), kloridjoner (Cl-) samt fosfor (P) från mätningarna i nederbörden över öppet fält på Visingsö under perioden januari 2015 till december 2019.

4. Jämförelse med omkringliggande platser för 2019 och tidigare års mätningar

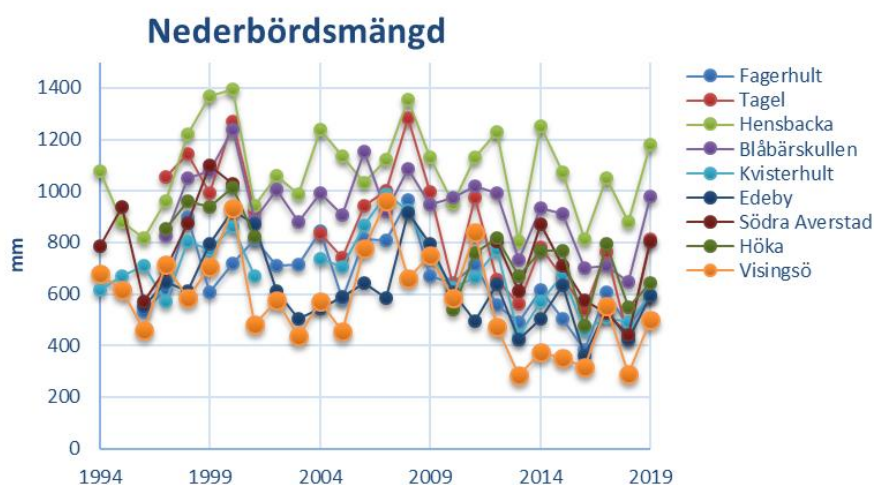
Årsvisa nederbördsmängder och nedfall av försurande ämnen på Visingsö visas tillsammans med motsvarande värden för åtta andra platser där nedfallsmätningar bedrivits över öppet fält inom Krondroppsnätet i figurerna 5 – 9 för perioden 1994-2019. Figur 4 visar var dessa mätplatser är belägna.



Figur 4. En karta över mätplatserna som jämförs i denna rapport: Visingsö, Blåbärskullen, Södra Averstad, Höka, Edeby, Fagerhult, Hensbacka, Kvisterhult samt Tagel.

En statistisk trendanalys har genomförts med Mann-Kendall - metodik för de senaste 23 åren, från 1997, det första år då det funnits mätningar vid samtliga jämförande mätplatser. Vid fyra av de nio mätplatserna har olika långa mätuppehåll skett men Mann-Kendall-analysen går att använda även om mätuppehåll finns. Mätningarna vid Södra Averstad i Värmland har haft längst mätuppehåll under perioden 1997-2019, d.v.s. 11 års mätningar saknas, medan Höka (Östergötland), Tagel (Kronoberg) och Kvisterhult (Västmanland) saknar vardera 8, 3 respektive 2 års mätningar under perioden. Vid alla övriga mätplatser finns 23 års kompletta mätserier.

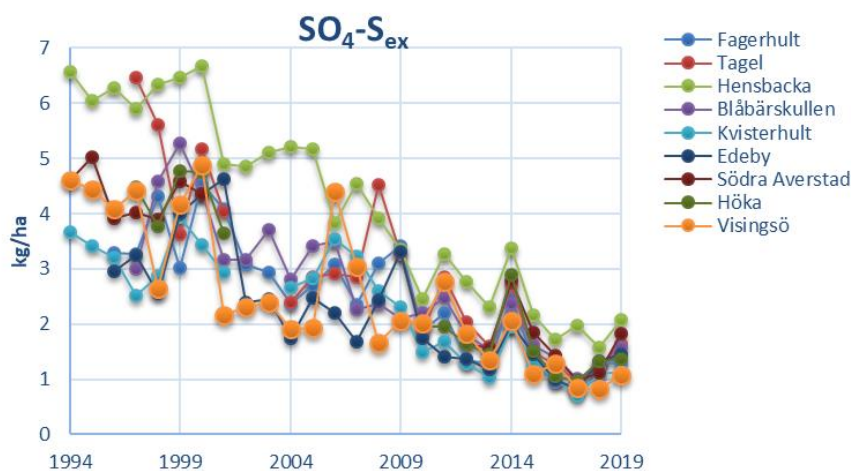
Under 2019 var nederbördsmängderna i södra Sverige något lägre än genomsnittet för den totala mätperioden vid samtliga platser, Figur 5. Vid många mätplatser uppmättes höga nederbördsmängder fram till 2008 för att efter det uppvisa lägre nederbördsmängder. Dock var medelnederbörden vid de olika mätplatserna under 2019 den högsta som uppmätts sedan 2012. Så även för Visingsö om man undantar 2017 som var ett regnigt år där.



Figur 5. Årsvis (kalenderår) nederbördsmängd (mm) 1994-2019 över öppet fält på Visingsö, vid Fagerhult, Tagel, Hensbacka, Blåbärskullen, Kvisterhult, Edeby, Södra Averstad och Höka. Lokalernas placering visas i Figur 4.

Under 2019 regnade det strax över 500 mm på Visingsö vilket man kan jämföra med 2018 då det endast regnade strax under 290 mm. Figur 5 visar att nederbördsmängderna ofta är låga på Visingsö i förhållande till andra platser i södra Sverige. Nederbördsmängderna har under 23-årsperioden (1997-2019) minskat statistiskt säkerställt vid sju av de nio mätplatserna däribland Visingsö (Edeby, Fagerhult, Höka, Kvisterhult, Södra Averstad och Tagel)).

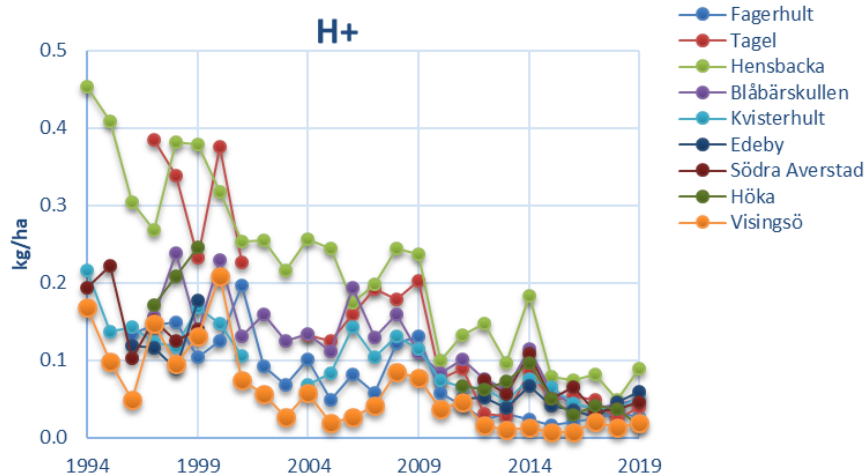
Vid samtliga platser i jämförelsen har svavelnedfallet med nederbörden, exklusive havssalt, minskat signifikant med mellan 66 till 81 % under de senaste 23 åren. Störst var minskningen vid Höka och lägst vid Visingsö. Efter 2014 års förhöjning av svavelnedfallet, som främst orsakades av vulkanutbrottet vid Holuhraun på Island under hösten 2014 (Hellsten m. fl., 2017), har svavelnedfallet påföljande år varit relativt låga. Under 2019 var dock svavelnedfallet vid många av mätplatserna högre än de närmast föregående åren, Figur 6. Generellt avtar svavelnedfallet i en gradient från sydvästra Sverige mot nordost, något som även syns i Figur 6, genom att högst svavelnedfall oftast uppmätts vid Hensbacka, vid den svenska västkusten, och lägst nedfall vid Kvisterhult, som ligger mer åt nordost. Generellt brukar svavelnedfallet vid Visingsö vara lågt, något som kan bero på dess läge mitt i Vättern. Värt att notera är att svavelnedfallet 2006 var högst på Visingsö, vilket möjligen kan förklaras med långväga transport av luftföroreningar från ryska skogsbränder (Karlsson m.fl., 2013). Svavelnedfallet vid Visingsö var i förhållande till övriga mätplatser även högt under 2011.



Figur 6. Årsvis (kalenderår) nedfall (kg/ha) av sulfatsvavel utan havssaltsbidrag ($\text{SO}_4\text{-S}_{\text{ex}}$) 1994-2019 med nederbörden över öppet fält på Visingsö, samt vid Fagerhult, Tagel, Hensbacka, Blåbärskullen, Kvisterhult, Edeby, Södra Averstad och Höka. Lokalernas positioner visas i Figur 4.

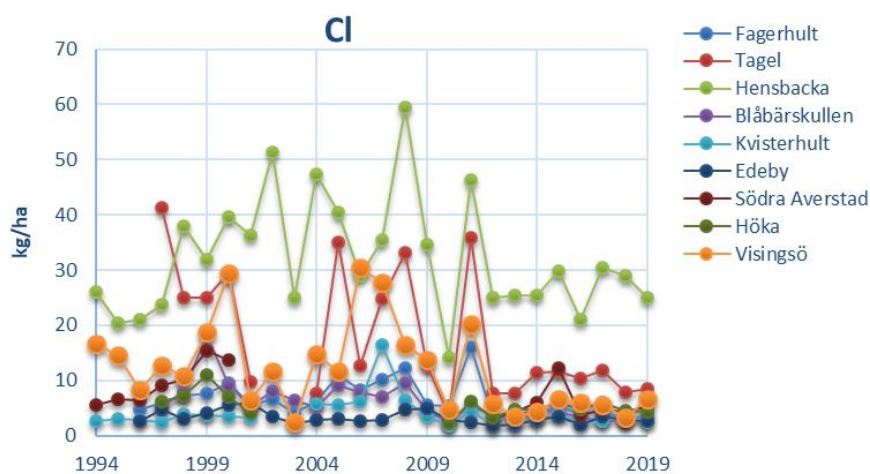
Den totala syrabelastningen från nederbörden i form av nedfall av vätejoner (H^+), var under 2019 relativt låg på mätstationerna, Figur 7. Högst nedfall av vätejoner uppmättes vid Hensbacka. Syrabelastningen har sedan 1997 minskat statistiskt säkerställt vid samtliga mätplatser i jämförelsen. Syrabelastningen på Visingsö har ofta varit lägst jämfört med övriga

här jämförda platser. Under 2019 var nedfallet av vätejoner dock lägst vid Höka, tätt följt av Visingsö (Figur 7).



Figur 7. Årvis (kalenderår) nedfall (kg/ha) av vätejoner (H^+) 1994-2019 med nederbörden över öppet fält på Visingsö, samt vid Fagerhult, Tagel, Hensbacka, Blåbärskullen, Kvisterhult, Edeby, Södra Averstad och Höka. Lokalernas positioner visas i Figur 4.

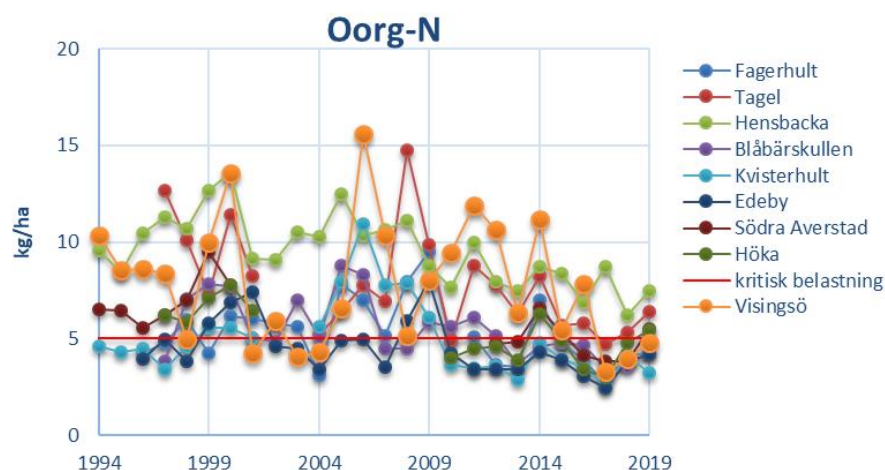
Visingsö har vissa år haft ett relativt högt påslag av havssalt, vilket indikeras via kloridnedfallet. Kloridnedfallet under 2019 var för samtliga mätplatser på en lägre nivå jämfört med ett medelvärde för mätperioden. Vanligtvis har kloridnedfallet varit högst vid Hensbacka vilket beror på dess kustnära läge. I Figur 8 syns att kloriddepositionen även under 2019 var klart högst vid Hensbacka följt av Tagel och Visingsö. Kloriddepositionen vid övriga mätplatser var relativt lika under 2019. Saltpåslag verkar på lång sikt gynnsamt för att motverka försurning. Episoder med mycket höga saltpåslag kan dock medföra att försurningen av markvattnet tillfälligt ökar under en kort tid. Under de senaste 23 åren har kloridnedfallet minskat statistiskt säkerställt vid Blåbärskullen, Edeby, Fagerhult och Tagel.



Figur 8. Årvis (kalenderår) nedfall (kg/ha) av kloridjoner (Cl^-) 1994-2019 med nederbörden över öppet fält på Visingsö, vid Fagerhult, Tagel, Hensbacka, Blåbärskullen, Kvisterhult, Edeby, Södra Averstad och Höka. Lokalernas positioner visas i Figur 4.

Nedfallet av oorganiskt kväve (summan av nitrat- och ammoniumkväve) i nederbörden var under 2019 högre jämfört med de närmast föregående åren. Vid flera mätplatser var nedfallet nära eller över den kritiska belastningsgränsen för barrskog på 5 kg/ha och år, Figur 9. Det högsta kvävenedfallet med nederbörden uppmättes vid Hensbacka med cirka 7,5 kg per hektar. Vid Höka och Södra Averstad var det 5,5 kg per hektar och vid Visingsö var det oorganiska kvävenedfallet med nederbörden 4,8 kg/ha under 2019. Dock är inte torrdepositionen av kväve med i dessa mätningar något som adderar en relativt stor mängd kväve vid beräkningen av det totala kvävenedfallet till barrskog, Figur 10B.

Sedan 1997 har det oorganiska kvävenedfallet i nederbörden minskat statistiskt säkerställt vid sex av de nio mätplatserna (Blåbärskullen, Edeby, Hensbacka, Kvisterhult, Södra Averstad och Tagel). Uppdelat på nitrat och ammonium har nitratnedfallet sedan 1997 minskat statistiskt säkerställt vid samtliga mätplatser medan ammoniumnedfallet endast minskat statistiskt säkerställt vid Edeby och Hensbacka (data visas ej).

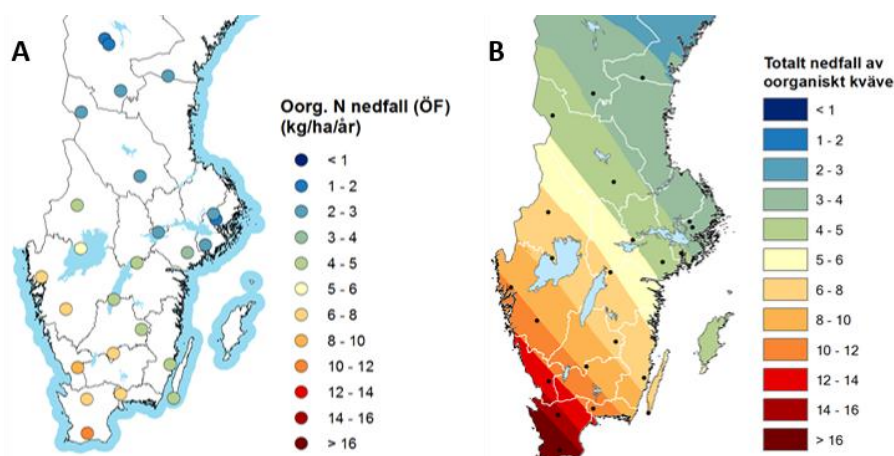


Figur 9. Årvis (kalenderår) nedfall (kg/ha) av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) 1994-2019 med nederbörden över öppet fält på Visingsö, vid Fagerhult, Tagel, Hensbacka, Blåbärskullen, Kvisterhult, Edeby, Södra Averstad och Höka. Lokalernas positioner visas i Figur 4. En röd horisontell linje indikerar den kritiska belastningen för nedfall av oorganiskt kväve till barrskog.

Nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden på öppet fält för det hydrologiska året 2018/19 visas för de södra delarna av landet i Figur 10A med karta från Krondroppsnetet (Pihl Karlsson m.fl., 2020). Gradienten från sydväst mot nordost framträder tydligt. Som högst i landet uppmättes ett oorganiskt kvävenedfall med nederbörden på öppet fält under 2018/19 på strax under 11 kg per hektar och år vid Stenshult i Skåne.

Vad gäller kvävenedfallet till skog bidrar förutom våtdepositionen med nederbörden, även den s.k. torrdepositionen, d.v.s. avsättningen av gaser och partiklar till alla ytor t.ex. trädens blad och barr. Torrdeposition mäts i dagsläget inte på Visingsö däremot mäts det vid Fagerhult, Hensbacka, Blåbärskullen och Edeby. I mätningarna av oorganiskt kvävenedfall, Figur 9 samt i kartan 10A, är därför inte torrdepositionen medräknad.

Torrdeposition kan dock beräknas med hjälp av en kombination av mätningar med strängprovtagare, öppet fält- och krondroppsmätningar vid andra stationer inom Krondroppsnätet. Resultaten från dessa mätningar, som gäller barrskog, har sedan interpolerats geografiskt (Karlsson m. fl., 2018). Om man inkluderar torrdepositionen, beräknades det totala oorganiska kvävenedfallet på Visingsö till barrskog under det hydrologiska året 2018/19 till mellan 6 och 8 kg/ha, Figur 10B. Detta är betydligt högre än de 4,1 kg/ha som uppmättes i nederbörden för samma period (under kalenderåret 2019 var nedfallet 4,8 kg/ha i nederbörden). Torrdepositionen till lövskog är inte lika hög som för barrskog. Det uppmätta kvävenedfallet med nederbörden utgör dock en underskattning av det totala kvävenedfallet även för lövskogen på Visingsö. Den totala nedfallet av oorganiskt kväve (torr- samt våtdeposition) visas för hela landet i kartan från Krondroppsnätet, Figur 10B. Som högst i landet beräknades det totala oorganiska kvävenedfallet under 2018/19 på strax under 21 kg per hektar och år vid Stenshult i Skåne län.



Figur 10. Nedfall av oorganiskt kväve (NO₃ + NH₄) under det hydrologiska året 2018/19. **A.** Uppmätt nedfall med nederbörden till öppet fält. **B.** En geografiskt interpolerad karta över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition). Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2018). Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

5. Metoder

Bulkdepositionen av försurande ämnen mäts över öppet fält genom månadsvis insamling och analys av nederbörd året runt. Bulkdepositionen består i huvudsak av våtdeposition, men det finns även ett litet inslag av torrdeposition till insamlaren. Mätningarna startade i februari 1993 i Säby och har sedan dess pågått utan avbrott. Mätningarna flyttades av praktiska skäl i januari 2002 tre km längre söderut till Kumlaby. I mars/april 2005 flyttades mätningarna dock tillbaka till Säby, ca 100 meter från den ursprungliga platsen (koordinater; x, 6439800; y, 1414660). Data mellan januari 2002 och mars/april 2005 (Kumlaby) härrör från en placering som inte var lika vindexponerad som den ursprungliga/nuvarande

placeringen. En mindre vindexponerad lokal minskar risken för störningar av provtagningen bland annat i samband med starka vindar.

Nederbörd insamlades fram till och med september 2011 med hjälp av en s.k. MISU-provtagare som finns beskriven i tidigare rapporter, se provutrustningen längst till vänster i bild nedan. Mätutrustningen var identisk med den som har använts inom Krondroppsnätet (Pihl Karlsson m.fl., 2020). Sedan oktober 2011 används en ny utrustning (WoF-provtagaren) för att samla in nederbörden, se längst till höger i bild nedan. Utrustningen för insamling av nederbörd på öppet fält är utvecklad av IVL och består av ett cirka 1,5 meter högt rör (diameter 20,3 cm) med en platsäck inuti röret, som sätts fast med hjälp av ett spännband samt en ”krona” som placeras överst. Mellan röret och kronan sitter ett nät som skall skydda provtagen nederbörd mot skräp sommartid. Röret står på en platta under mark samt är fixerad med hjälp av tre reglerbara vajrar. Den nya utrustningen används, förutom på Visingsö, även på samtliga mätstationer där nederbörd över öppet fält provtas inom Krondroppsnätet samt inom Luft- och nederbörds-kemiska nätet. Provbyten utförs sedan 2005 av Ingemar Zander som är bosatt på ön. Vid provbyte skickas insamlad nederbörd till IVL för analys av pH, alkalinitet, klorid, svavel samt kvävekomponenter.



Figur 11. Bild från Visingsö 26 augusti 2009. Den tidigare provtagningsutrustningen för försurande ämnen visas längst till vänster och den nya WoF-provtagaren längst till höger i bild.

Dygnsvisa mätningar avseende nederbördsmängd, administrerade av SMHI, bedrivs vid en plats ca 100 m från ovan beskrivna provtagningsplats för depositions-mätningarna. Dessa mätningar har flyttats på samma vis som depositions-mätningarna. SMHI:s provtagningsutrustning står dock i närheten av ett träd samt relativt nära ett hus, vilket gör att den är mindre vindexponerad än mätutrustningen som används i detta projekt.

6. Referenser

Hellsten, S., Gustafsson, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E. and Akselsson, C. 2017: Påverkan på nedfallet och luftkvaliten i Sverige av SO₂-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014-2015. IVL Rapport C 234.

Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Tømmervik, Lars R. Hole, Gunilla Pihl Karlsson, Tuija Ruoho-Airola, Wenche Aas, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Teis Nørgaard Mikkelsen, and Bengt Nihlgård. 2013. Biomass burning in eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia. *Environmental Pollution*, 176, 71–79.

Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C. 2018. Utveckling av en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog inom miljökvalitetsmålet Ingen övergödning. IVL Rapport C 286.

Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E., (2020), Tillståndet i skogsmiljön i Jönköpings län. Resultat från Krondroppsnätet till och med 2018/19. IVL Rapport C 533.

Nederbördskemisk undersökning av tungmetaller på Visingsö

Michelle Nerentorp & Gunilla Pibl Karlsson, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Sammanfattning

På uppdrag av Vätternvårdsförbundet mäter IVL Svenska Miljöinstitutet AB, sedan mars 1993, nederbördens innehåll av tungmetaller på Visingsö.

Mätningar under 2019 visade en tydlig säsongsvariation med förhöjda nedfall av alla mätta metaller mellan perioden maj-augusti jämfört med resten av året.

En trendanalys visade att nedfallet av zink och koppar på Visingsö ökat med i genomsnitt 6 respektive 5 % per år under perioden 1994 till 2019, dock med en minskning från 2018 till 2019. Nedfallet av bly på Visingsö under 1994 till 2019 har enligt trendanalysen minskat med ca 2 % per år. Även depositionen av arsenik och krom har minskat med 1,6 respektive 1,3% under samma period. Nickel och kadmium i nederbörd har, räknat över perioden 1994 till 2019, legat relativt stadigt.

Jämfört med på andra svenska mätstationer är depositionen av nickel och zink generellt högre på Visingsö (från 1994 respektive från 2005). Under den senaste åttaårsperioden har även krom- och kopparhalterna varit högre på Visingsö än vid de andra stationerna. Även nedfallet av bly och arsenik har de senaste 2–3 åren varit högst på Visingsö, detta trots att nederbördsmängden på Visingsö är relativt låg jämfört med på de andra svenska mätstationerna. Under 2012 erhöles förhöjt nedfall av krom, nickel och bly på Visingsö. Därefter har nedfallet stadigt minskat.

Halten av tungmetaller i nederbörd är generellt relativt låg i Sverige jämfört med i andra europeiska länder. Tidigare har det antagits att den höga depositionen av nickel och zink, men även vissa andra metaller, på Visingsö till övervägande del är en effekt av långväga transport, d.v.s. import från andra länder. Men det kan också bero på förekomster av dessa metaller i berggrunden på Visingsö. En analys med hjälp av *Enrichment Factors* antyder visserligen att de förhöjda depositionerna av bland annat zink på Visingsö kan vara en effekt av mänskliga aktiviteter och långväga transport. Dock motsägs detta av att depositionerna av dessa metaller uppvisar ett liknande mönster som för aluminium, järn och mangan, vars förekomst i luft och nederbörd förknippas med lokal erosion och suspension av partiklar till luft.

Inledning

Sedan mars 1993 har IVL Svenska Miljöinstitutet AB, på uppdrag av Vätternvårdsförbundet, mätt tungmetallhalter i nederbörd med metallprovtagare på Visingsö. Mätplatsen var först placerad i Säby men flyttades av praktiska skäl i januari 2002 till en mindre vindexponerad plats i Kumlaby, ca 3 km söder om den ursprungliga platsen. Mindre vindexponerade lokaler är gynnsamma ur provtagningssynpunkt eftersom nederbördsmängden kan underskattas vid stark vind.

Under mars/april 2005 flyttades mätplatsen tillbaka till sin nuvarande plats i Säby, ca 100 meter från den ursprungliga platsen (koordinater: x, 6439800; y, 1414660).

Resultat 2019 och jämförelser med tidigare mätningar

Månadsvis deposition av tungmetaller och nederbördsmängder på Visingsö under 2019 presenteras i Figur 1. Metalldepositionen varierar ofta med nederbördsmängden, vilket också Figur 1 visar, men metallhalterna beror också på varifrån luftmassorna kommer och hur förorenad luften är.

För samtliga metaller uppmättes högre deposition under sommarmånaderna maj-augusti, vilket också inföll med en period av mer nederbörd. I juni mättes det högsta nedfallet av kadmium, krom, bly och zink under 2019. I juli mättes högsta metalldepositionen av nickel och koppar och den högsta arsenikdepositionen uppmättes under augusti. Den förhöjda depositionen under januari av samtliga metaller låg på liknande värden som månaden innan (december 2018, se Visingsörapporten från 2018). I december 2019 var dock metalldepositionen lägre än under december 2018, se Figur 1 och Visingsörapporten 2018 (Nerentorp & Phil Karlsson, 2019).

Årsmedeldepositioner för metaller mätta på Visingsö under perioden 1993 – 2019 visas i Figur 2. Depositionen kan variera mycket mellan enskilda år och därför har 4-års glidande medelvärden beräknats för att kunna urskönja eventuella trender (blå prickade linjer i Figur 2). Dessa visar en fortsatt nedåtgående trend för arsenik, krom, och bly men också en brytning av de tidigare årens ökande trend av koppar och zink som år 2019 visar en nedåtgång. Nedåtgående trender av metalldeposition beror bland annat på den minskade användningen av dessa metaller i produkter, t.ex. tack vare förbudet mot användandet av bly i bensin.

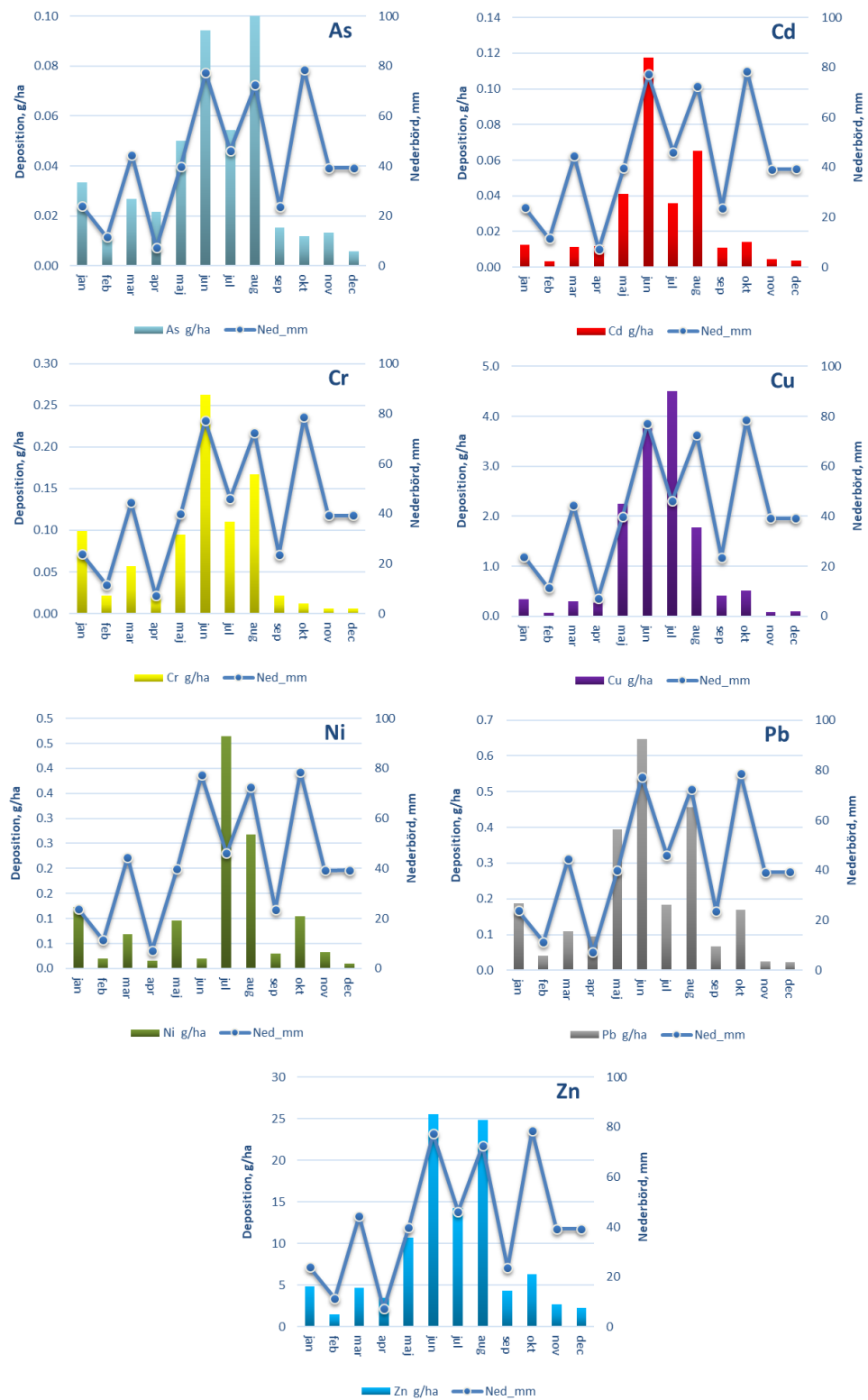
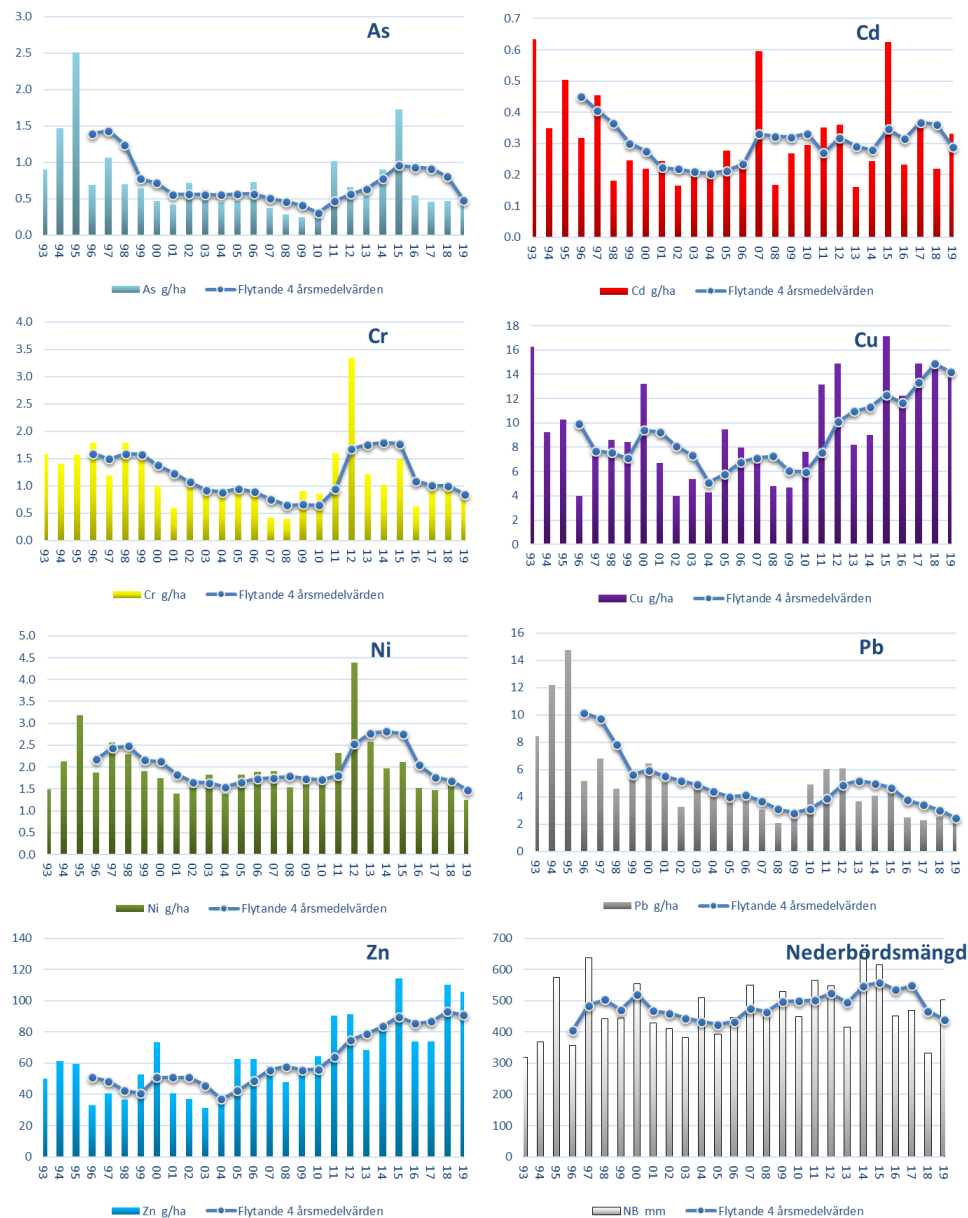


Figure 1. Monthly metal depositions (bars) and precipitation amounts (blue dotted lines) in Visingsö during 2019.

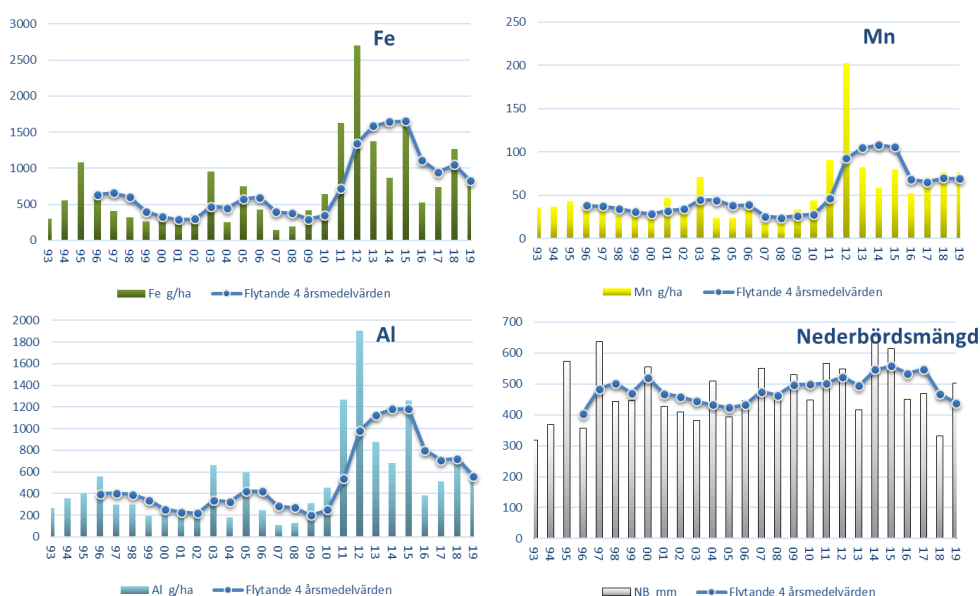


Figur 2. Årlig nederbördsdeposition till öppet fält av metallerna arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), nickel (Ni), bly (Pb), zink (Zn) och nederbördsmängd (NB) på Visingsö från 1993 till 2019. Blå prickade linjer visar glidande 4-årsmedelvärden. Depositionsvärden för 2003 härrör endast från mätningar under mars – december, varför de årsmedeldepositioner som visas i figuren troligtvis är något underskattade.

En trendanalys för åren 1994 till 2019 utfördes med Mann-Kendall-metodik för samtliga metaller. Analysen visar en statistisk signifikant ökning av nedfallet av zink och koppar under perioden 1994 till 2019 (+6 respektive +5 %) samt att nedfallet av bly, arsenik och krom har minskat under samma period (-2.4, -1.6, -1.3 %). Orsaken till ökningen av zink- och kopparnedfallet är ännu okänd, men påverkan från en eller flera

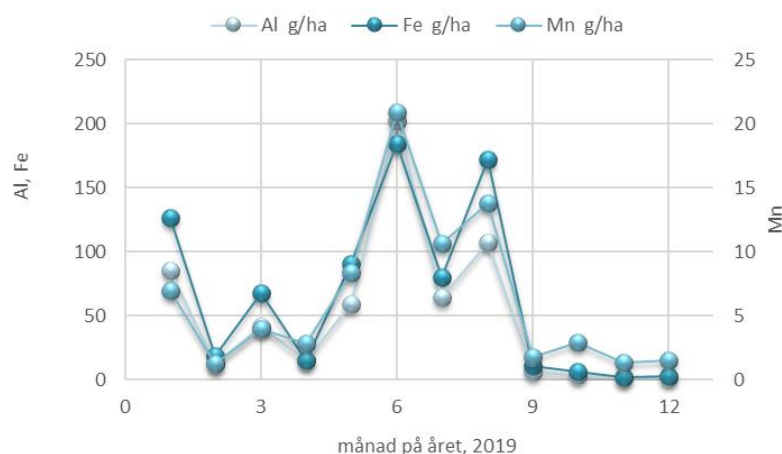
svenska källor avseende zink och koppar, samt även andra metaller kan inte uteslutas.

Även metallerna järn (Fe), mangan (Mn) och aluminium (Al) analyseras i nederbördsproverna. Dessa är intressanta att följa trots att de jämförelsevis utgör en mindre ekologisk risk jämfört med de tidigare nämnda metallerna. Årsmedeldepositionen för dessa metaller, samt årsnederbörds-mängderna för perioden 1993 - 2019 visas i Figur 3. Glidande 4-års medelvärden (blå prickade linjer) visar en nedåtgående trend för järn och aluminium och en fortsatt jämn nivå av mangan. Liksom för många av de övriga mätta metallerna (Figur 2) mättes de lägsta depositionerna av järn, mangan och aluminium under 2007–2008. Därefter ökade depositionen och uppnådde år 2012 de högsta värdena sedan mätningarna startades. Höga metalldepositioner under 2012 observerades även för andra mätta metaller, främst för nickel och krom (Figur 2).

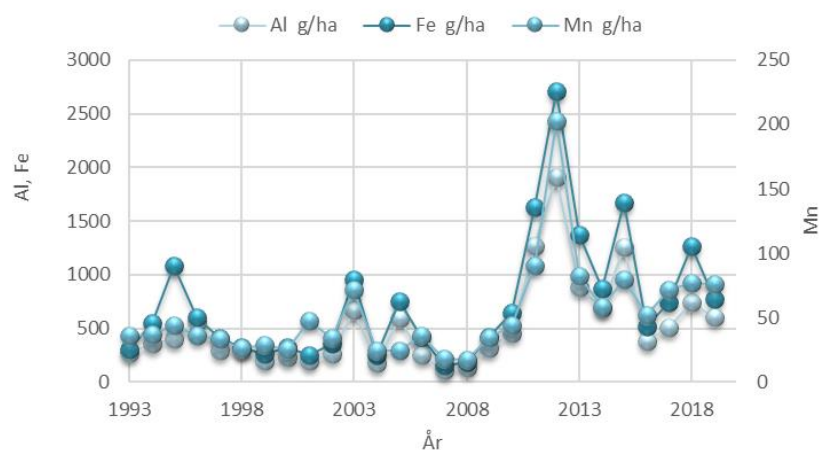


Figur 3. Årlig deposition med nederbörden till öppet fält av järn (Fe), mangan (Mn) och aluminium (Al) samt årsnederbörd på Visingsö under perioden 1993 - 2019. Blå prickade linjer visar glidande 4-årsmedelvärden. Data för 2003 härrör endast från mätningar under mars - december, varför de värden som visas i figuren troligtvis är något underskattade årsmedeldepositioner.

I Figur 4 jämförs månadsdepositionen av aluminium, järn och mangan på Visingsö under 2019. En ökad deposition uppmättes under juni och augusti. Årsvariationerna av dessa tre metaller från 1996–2019 visas i Figur 5. Årstids- och mellanårsvariationerna korrelerar väl mellan de tre metallerna, vilket troligtvis främst beror på att de emitteras från liknande källor. Möjligtvis rör det sig om lokal spridning av jordpartiklar via markerosion.



Figur 4. Variation i månadsdeposition med nederbörden till öppet fält av aluminium (Al), järn (Fe) och mangan (Mn) på Visingsö under 2019.



Figur 5. Årsdepositionen med nederbörden till öppet fält av aluminium (Al), järn (Fe) och mangan (Mn) under perioden 1993 - 2019.

En liknande jämförelse av månadsvariationer gjordes för kadmium, zink, koppar, nickel, bly och arsenik och visas i Figur 6. Mellan främst zink och kadmium och bly och arsenik finns slående likheter i månadsvariationerna, men även för nickel och koppar finns likheter.

Månadsvariationerna för zink, kadmium, bly och arsenik (Figur 6) påminner starkt om motsvarande mönster för aluminium, järn och mangan i Figur 4, vilket talar för ett gemensamt lokalt ursprung även för samtliga av dessa metaller. De relativa magnituderna skiljer sig dock åt, men mönstren är tämligen lika.

För att undersöka ursprunget av en mätt metall, för att avgöra om den härrör från en naturlig eller antropogen källa, kan man beräkna så kallade EF-värden (Enrichment Factors). Dessa beräknas utefter uppmätta metallhalter i deposition och halter i berggrund, jämfört med en

referensmetall, se förklaring i Kapitel 4. Tabell 1 visar beräknade EF-värden för de tungmetaller som mättes på Visingsö under 2019.

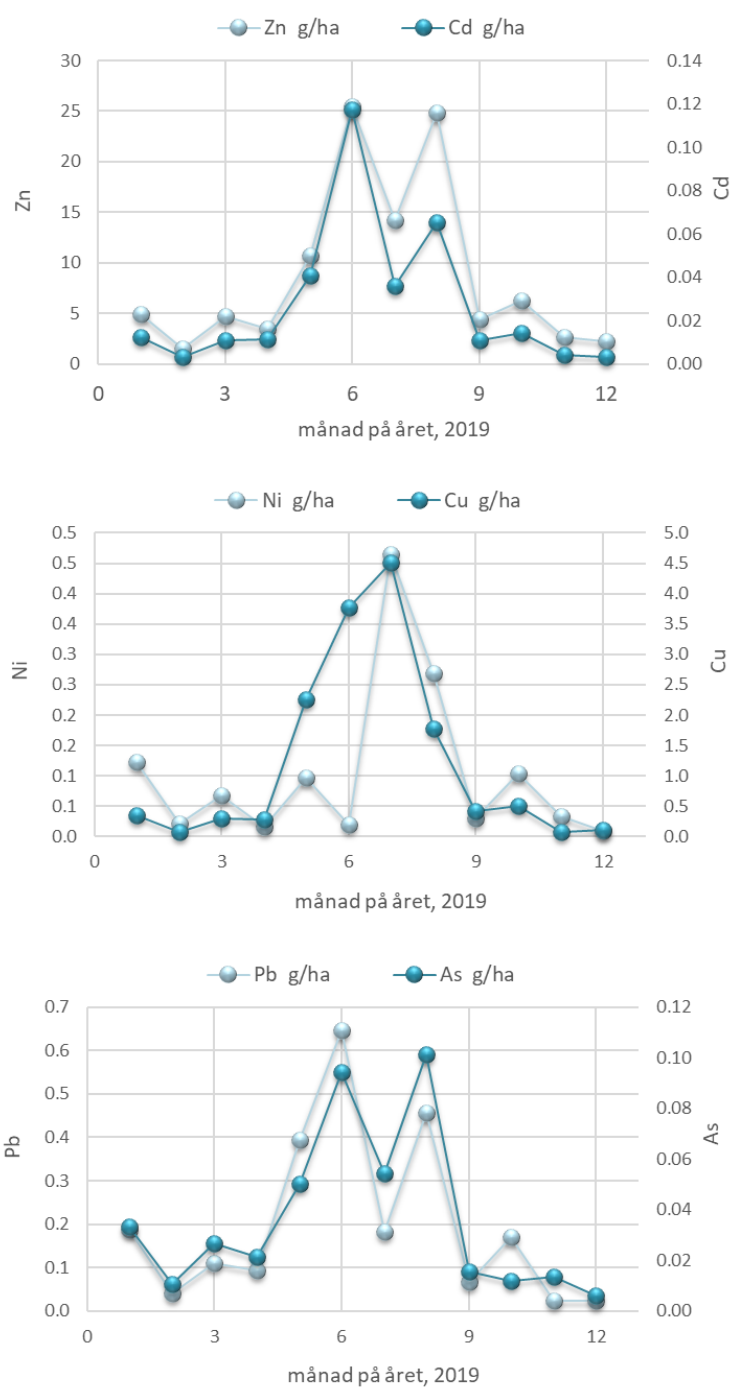
Tabell 1. Beräknade Enrichment Factors (EFs) för tungmetaller i nederbörd på Visingsö under 2019. För metodik, se Kapitel 4.

As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1	30	1	9	2	2	24

EF-värden större än 10 anses indikera utsläpp relaterade till mänsklig påverkan, vilket kan orsakas av emissioner från närbelägna eller avlägsna antropogena källor. EF-faktorerna i Tabell 1 visar att halterna av kadmium och zink (och möjligtvis koppar) skulle kunna vara förhöjda till följd av mänskliga utsläpp. Dock ska noteras att vid beräkning av EF-faktorer har, i avsaknad av referenshalter från Visingsö, medelvärden som gäller för berggrunden kring Vättern använts som referenshalter och kan därför vara missvisande för samtliga metaller.

Det är dock känt att koppar- och zinksulfider förekommer på Visingsö och det är därför tänkbart att dessa metaller har ett lokalt naturligt ursprung.

De höga halterna i nederbörd av metallerna kadmium, krom, koppar, nickel, och zink på Visingsö är dock fortfarande förbryllande. Kanske kan de avancerade statistiska metoder som föreslås av Reimann och Caritat (2005) appliceras för att vidare förstå dess ursprung.

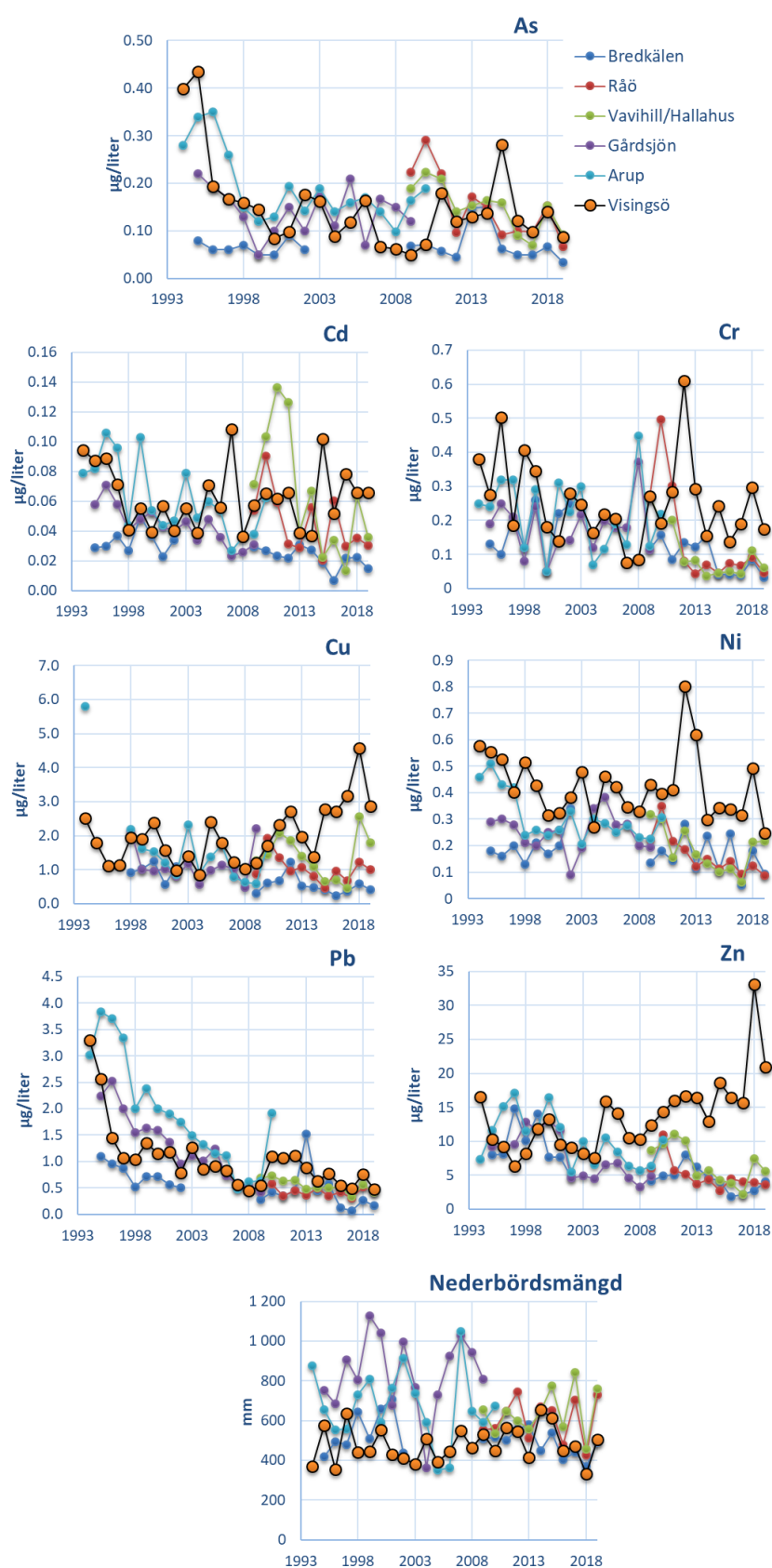


Figur 6. Jämförelser av månadsmedelvärden av deposition för kadmium och zink, nickel och koppar respektive bly och arsenik under 2019.

Jämförelse med övriga mätplatser i Sverige

I Figur 7 jämförs resultat från Visingsö med motsvarande mätresultat från andra svenska mätplatser där IVL (på uppdrag av Naturvårdsverket) utför mätningar inom den nationella miljöövervakningen: Arup och Vavihill/Hallahus i Skåne, Råö i Halland, Gårdsjön i Bohuslän och Bredkälén i Jämtland. Mätningarna i Bredkälén avslutades 2002 men återupptogs 2009. Mellan 2009 och 2015 ersattes Arup med Vavihill, belägen ca 45 km nordväst om Arup. Första januari 2016 ersattes Vavihill i sin tur med Hallahus, en mätplats ca 1 km norr om Vavihill. Mätningarna vid Gårdsjön, i det inre av Bohuslän, ersattes 2009 med mätningar vid Råö vilket är en kustnära mätstation i norra Halland, belägen ca 76 km söder om Gårdsjön. Insamling och analys av nederbördsprov på dessa platser är inte helt lik den som sker på Visingsö och kan därför inte direkt jämföras. Provtagningens utformning är något annorlunda då bland annat provtagarnas radie skiljer sig åt (nationella miljöövervakningens provtagare är mindre). På grund av misstänkt kontaminering redovisas inte resultatet för koppar från Arup, Gårdsjön och Bredkälén under perioden 1995 - 1997.

Med undantag för vissa år har de lägsta metallhalterna uppmätts i Bredkälén i Jämtland. Under många år har halterna på stationerna Gårdsjön, Råö, Arup och Vavihill/Hallahus varit inbördes lika och i samma storleksordning som de som uppmätts på Visingsö. För nickel och zink har halterna vanligen varit högre på Visingsö än vid de andra mätstationerna. Under senare år har samma sak även gällt för många av de övriga mätta metallerna. Varför zink- och nickelhalterna varit högre på Visingsö är inte klart, men en jämförelse av zinkhalterna på Visingsö, Gårdsjön och Arup uppvisar en viss samvariation under perioden 2005 till 2009. Ett liknande mönster kan även skönjas angående nickel och kan vara en effekt av storskalig påverkan, d.v.s. långväga transport. Varför halterna av kadmium, krom och koppar under senare år varit högre på Visingsö än vid de andra mätplatserna har dock inte kunnat förklaras.



Figur 7. Volymviktade årsmedelhalter av tungmetaller i nederbörd från Visingsö jämfört med på mätstationer inom den nationella övervakningen.

Metoder

Provtagningen på Visingsö sker på månadsbasis. Från början användes två olika provtagare under sommar- respektive vinterperioden. Sommarprovtagaren utgjordes av en tratt och en 2-liters dunk, medan en öppen 2-liters hink användes under vintern. Under vissa perioder förekom tidigare problem med indunstning av nederbörd i provtagaren, vilket kunde resultera i underskattade volymer och därigenom en överskattning av metallkoncentrationerna. Detta bör dock inte ha påverkat den beräknade depositionen nämnvärt. Sedan december 2001 används en s.k. Büchnertratt av polypropenplast och en 2-liters dunk för insamling av nederbörd såväl sommar som vinter. Med den här insamlingsmetoden minskas avdunstningen. Tratten har höga kanter och är därför lämpad för insamling av både regn och snö. Att utrustningen skiljer sig mellan mätningarna av metaller och mätningarna av försurande och övergödande ämnen medför att en skillnad i nederbördsmängd kan uppstå.

De årsmedelkoncentrationer av metaller i nederbörd som presenteras nedan är viktade med avseende på nederbörd enligt,

$$C_{\text{medel}} = \Sigma (D_{\text{prov}} \times C_{\text{prov}}) / \Sigma (D_{\text{prov}}) \quad (1),$$

där D_{prov} och C_{prov} är månadsprovets nederbördsmängd (mm) respektive metallkoncentration.

Provbyten har utförts av Ingemar Zander som är bosatt på Visingsö. Vid provbyte byts hela insamlaren och skickas till IVL i Göteborg för syralakning och analys. Efter två veckors syralakning av respektive prov analyseras de med avseende på tungmetaller med ICP-MS.

Berikningsfaktorer eller Enrichment Factors (EF) kan användas för att uppskatta betydelsen av antropogen påverkan av metallerhalter i luft och nederbörd utöver den som sker till följd av lokal erosion och suspension av partiklar. Förekomst av aluminium, järn och mangan i nederbörd anses till stor del bero på den lokala förekomsten av dessa metaller i jordskorpan och är endast till en mindre del en effekt av mänsklig påverkan.

$$EF = \frac{(C_x / C_{\text{ref}})_{\text{nederb.}}}{(C_x / C_{\text{ref}})_{\text{berggr.}}} \quad (2)$$

Enrichment Factors beräknas enligt ekvation (2), där $(C_x / C_{\text{ref}})_{\text{nederb.}}$ är koncentrationen av den undersökta metallen (C_x) i berggrunden dividerat med motsvarande halt av referensmetallen (Zoller m. fl., 1974; Reimann och Caritat, 2005). Vid beräkningarna som visas har järn använts som referens. Halterna av järn och de undersökta metallerna i jordskorpan har hämtats från SGU:s databaser, som finns att tillgå i Öppna data Markgeokemi, analysdata - grundämnen i morän, och utgörs av medelvärden av provplatser kring Vättern.

Referenser

Nerentorp, M., Phil Karlsson, G. 2019. Nederbördskemisk undersökning av tungmetaller på Visingsö 2018. På uppdrag av Vätternvårdsförbundet.

Reimann, C., de Caritat, P. 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment* 337 (2005) 91–107.

Zoller, W.H., Gladney, E.S. och Duce, R.A.. 1974. Atmospheric Concentrations and Sources of Trace Metals at the South Pole. *New Series*, Vol. 183, No. 4121 (Jan. 18, 1974), pp. 198-200.

SGU:s hemsida. Öppna data Markgeokemi, analysdata - grundämnen i morän
<https://www.sgu.se/produkter/geologiska-data/oppna-data/geokemi-oppna-data/markgeokemi-analysdata/>

Publiceringar under 2020

