



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för vatten och miljö

Effekter av klimatförändringar på växtplankton i subarktiska och alpina sjöar

*Effects of climate change on phytoplankton in subarctic and
alpine lakes*

Matilda Lundström

Examensarbete/Självständigt arbete • [15] hp

Biologi och miljövetenskap

Handledare: Tobias Vrede Tobias.Vrede@slu.se

Uppsala 2019

Effekter av klimatförändringar på växtplankton i subarktiska och alpina sjöar

Effects of climate change on phytoplankton in subarctic and alpine lakes

Matilda Lundström

Handledare: Tobias Vrede, SLU, Institutionen för vatten och miljö

Examinator: Maria Kahlert, SLU, institutionen för vatten och miljö

Omfattning: [15] hp

Nivå och fördjupning: Kandidatarbete

Kurstitel: Självständigt arbete i Miljövetenskap, G2

Kursansvarig institution: Institutionen för vatten och miljö

Kurskod: EX0896

Program/utbildning: Biologi och miljövetenskap

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2019

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Fosfor, Växtplanktonbiomassa, Diversitet, Oligotrofiering, Temperatur

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap (NJ)

Institutionen för vatten och miljö

Sammanfattning

Syftet med denna rapport var att utreda hur klimatförändringen påverkar svenska alpina och subarktiska sjöars ekosystem. Analyser av miljöövervakningsdata från 14 subarktiska och alpina trendsjöar har utförts för att besvara frågeställningarna: Hur har klimatet och vattenkemin i sjöarna förändrats och hur har detta påverkat växtplanktonsamhällets biomassa och diversitet? De klimatparametrar som analyserades var lufttemperatur och årsnederbördsmängd. Dataserier över detta hämtades från Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) från år 1993 till år 2017. Bland de vattenkemiska parametrarna lades fokus på vattnets pH-värde, total halt organiskt kol (TOC) och den totala halten fosfor i sjöarna. Vid analys av påverkan på växtplankton har den totala biovolymen, diversiteten samt förändring i biovolym hos de olika växtplanktonstammarna och klasserna undersökts. Dataserier för de vattenkemiska och de biologiska parametrarna hämtades från Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) från år 1993 till år 2018. Både trendanalyser med hjälp av Mann-Kendalltester och korrelationsanalyser utfördes sedan i programmen Excel och JMP.

Resultaten visar på en ökning i medeltemperatur men en oförändrad nederbördsmängd. Det visar också en negativ signifikant trend i totalfosfor och en ökning i pH. Trots den tydliga minskningen i totalfosfor syntes en ökning i biovolym växtplankton. Inga signifikanta trender hittades för varken TOC eller diversitet. Inga signifikanta korrelationer hittades mellan trender hos klimatparametrarna och de kemiska eller biologiska parametrarna. Det syntes dock antydning till att minskningen i totalfosfor var korrelerad med ökningen i temperatur. Ingen signifikant korrelation hittades heller mellan trender för de vattenkemiska parametrarna och de biologiska parametrarna. Sjön Pahajärvi avviker från de andra sjöarna med en positiv signifikant trend för totalfosforhalt och där syns även en positiv korrelation för trender i totalfosfor och biovolym. Studien kommer fram till att mer forskning bör göras på varför den totala halten fosfor i sjöarna sjunker, om detta har någon koppling till den ökande temperaturen, samt vad denna minskning i framtiden kan komma att innebära för ekosystemen i svenska subarktiska och alpina sjöar. Även den positiva trenden i totalfosfor i sjön Pahajärvi och eventuella mönster i nederbördstyp hade varit intressant att titta närmare på.

Nyckelord: Fosfor, Växtplanktonbiomassa, Diversitet, Oligotrofiering, Temperatur

Abstract

The aim of this report was to determine how the climate change affects the ecosystems in alpine and subarctic lakes in Sweden. This was done by analyzing data from environmental monitoring of 14 subarctic and alpine lakes that was part of the national time-series lake monitoring program. The research questions were: How has climate and the water chemical composition of the lakes changed and how has this affected biomass and biodiversity of the phytoplankton in the examined lakes? The climate variables analyzed were the annual average atmospheric temperature and the annual precipitation from year 1993 to 2017. Data were retrieved from the Swedish Metrological and Hydrological Institute (SMHI). For analyzes of the water chemical composition the pH-value, the total amount of organic carbon (TOC) and the total amount of phosphorous were examined. The biological variables used in this report were the total mass of phytoplankton, the biodiversity of the phytoplankton and changes in biovolumes of each phytoplankton class. The data for the variables of the water chemical composition and biology covers the years 1993-2018 and were retrieved from the Swedish University of Agriculture Science (SLU). Testing for trends and correlations were made in Excel and JMP.

The results show an increase in annual average temperature but no trends for annual precipitation was detected. A strong decrease was detected for amount of phosphorus along with an increase in pH. Despite the major decrease in phosphorus a significant increase of the biovolume of phytoplankton was seen. No significant trends were detected for TOC or biodiversity. No correlations between trends for the climate and the water chemical composition or the biomass and biodiversity of the phytoplankton was found. There was however an indication for a possible correlation between temperature and amount of phosphorus. Nor were there any correlations between trends for the water chemical composition and the biomass and biodiversity of the phytoplankton. Pahajärvi differ from the rest of the lakes with a positive trend for amount of phosphorus and a correlation with trends in phosphorus and biovolume phytoplankton. This study concludes that further research should be done to examine why there is a negative trend for phosphorus in lakes and what this decrease might mean to the ecosystems in the Swedish subarctic and alpine lakes in the future. It would also be interesting to look further in to Pahajärvi`s positive trend in phosphorus and to examine if any patterns can be seen for type of precipitation.

Keywords: Phosphorus, phytoplankton biomass, biodiversity, oligotrophication, temperature

Innehållsförteckning

Introduktion.....	8
Material och metod	10
Urval av sjöar	10
Data över klimat, vattenkemi & växtplankton	13
Trend- & korrelationsanalyser	14
Resultat	15
Klimat och vattenkemi	15
Växtplankton	21
Korrelationer mellan växtplanktonvariabler, klimat och vattenkemi.....	24
Diskussion.....	27
Diskussion kring resultat.....	27
Felkällor	29
Slutsatser	29
Referenser	31
Appendix 1.....	33

Introduktion

Klimatförändring är i dag ett mycket omdiskuterat ämne och att klimatet har förändrats och håller på att förändras på grund av antropogen aktivitet är inte längre en teori utan ett faktum (IPCC, 2018). Observationsdata visar en tydlig ökning i medeltemperatur i Sverige sedan 60-talet och enligt prognoser för framtida klimatförändringar är det sannolikt att ökningen kommer att fortsätta (SMHI, u.å. a). Detsamma gäller för nederbördsmängd där det också syns en ökning sedan år 1960 till i dag. Denna ökning förväntas precis som medeltemperaturen att fortsätta öka i framtiden (SMHI, u.å. a). Dessa förändringar i temperatur och nederbörd väcker frågan om vad varmare temperaturer och mer nederbörd har och i framtiden kan komma att ge för effekter på vår miljö och natur.

Ekosystemen i de nordligare delarna i norra hemisfären är särskilt intressanta att titta på när det gäller klimatförändringar. Detta då dessa ekosystem är beroende av kalla temperaturer för att behålla de nuvarande förhållanden som de arter som lever där är anpassade. (Bunn et al., 2007).

Klimatförändringar i nordliga regioner har kopplats till framförallt reducerad primärproduktion och minskad näring i sjövattnet (Creed et al., 2018). Det är främst fosforhalten i sjöarna som visar på en minskning och till följd av detta syns tecken på oligotrofering i sjöar. I samband med minskande fosfornivåer har också ökning av total halt organiskt kol (TOC) i sjöar setts som eventuell följd av det förändrade klimatet (Huser et al., 2018). Stigande temperaturer verkar även ha en påverkan på diversiteten bland växtplankton. Diversiteten verkar nämligen visa på en minskande trend som ett resultat av ökande temperaturer (Verbeek et al., 2018).

Syftet med denna analys av miljöövervakningsdata var att undersöka hur klimatet påverkar alpina och subarktiska sjöars ekosystem. Växtplankton utgör en stor del av primärproduktionen vilken hela ekosystemen i sjöarna bygger på och därför är det just effekter på växtplankton som undersökts. För att ta reda på detta utgicks det ifrån två frågeställningar.

- Hur har klimatet och vattenkemin i sjöarna förändrats?
- Hur har detta påverkat växtplanktonsamhällets biomassa och diversitet?

Avgränsningar har gjorts för att begränsa arbetets storlek och klimatdata har begränsats till lufttemperatur och nederbördsmängd. När det kommer till de vattenkemiska parametrarna har fokus lagts på vattnets pH, total halt organiskt kol (TOC) och den totala halten fosfor. Dessa parametrar har valts då dess värden har stor betydelse för de växtplankton som lever i sjöarna. Vid analys av påverkan på växtplankton har den totala biovolymen, diversiteten samt förändring i biovolym hos de olika växtplanktonstammarna och klasserna undersökts. Detta för att täcka så mycket som möjligt av eventuella förändringar i sammansättning och volym.

Växtplankton utgör en del av primärproduktionen i sjöar tillsammans med vattenlevande växter, bentiska mikroalger, fastsittande fotosyntetiserande mikrober samt kemosyntetiserande bakterier. Vid uppskattning och analys av primärproduktionen i sjöar är det dock vanligast att ta prover på växtplankton och därför används det vanligen som en indikator på hur primärproduktionen i sjön ser ut (Vincent & Laybourn-Parry, 2008).

TOC värden i sjöar kan tänkas påverkas av både temperatur och av nederbördsmängd. Varmare temperaturer leder till en ökad växtlighet vilket leder till mer organiskt kol som kan transporteras från omgivningen till sjön. Högre temperaturer gör också att marken är fryst i kortare perioder vilket tillgängliggör större halter organiskt kol. Förändringar i nederbördsmängd påverkar tillrinningen av organiskt kol men också utspädningen av det i sjövattnet (Köhler et al, 2009). Även återhämtning från försurning har kopplats till ökande halter TOC i sjöar (Huser et al, 2018).

En ökning i TOC i sjövattnet leder till att mer ljus fångas upp av det mörkare vattnet vilket orsakar ett varmare ytvatten. Mörkare vatten kan också leda till en reducering i primärproduktionen då mindre solljus når de fotosyntetiserande organismerna (Huser et al, 2018).

Fosfor är ett av de viktigaste näringsämnena i sjöar och krävs för att liv överhuvudtaget ska finnas där. På grund av detta kan fosfor ha en begränsande inverkan på primärproduktionen i sjöarna. Minskande mängd näringsämnen i vattnet leder till oligotrofiering av sjön och då sjunker vanligtvis även primärproduktionen. Ett överskott på fosfor kan istället orsaka eutrofiering av sjöar där primärproduktionen till följd av detta kan öka (Naturvårdsverket, 2002).

Klimatets inverkan på den totala halten fosfor i sjöar kan tänkas vara att en ökad temperatur leder till en ökad växtlighet i dess omgivning. En ökad växtlighet binder upp mer fosfor från marken och kan på så sätt orsaka lägre fosforvärden i vattnet. En högre temperatur och en ökad nederbördsmängd kan också göra att vittringen av mineral ökar och då tillgängliggör mer fosfor som sedan transporteras ut till sjöarna. Även återhämtning från försurning kan tänkas påverka totalfosfor och leda till en minskning (Huser et al, 2018).

Huvudanledningen till de klimatförändringar vi ser i dag är de ökande utsläppen av koldioxid. Mängden koldioxid i atmosfären har ökat och fortsätter att öka på grund av antropogena utsläpp. När koldioxiden sedan löses i vattnet bildas kolsyra vilket leder till sänkta pH-värden. Detta kan orsaka försurning av sjövattnet (Ekelund, N, 2012). Växtplankton är anpassade till specifika pH-värden och de påverkas negativt av förändring av detta. Lågt pH-värde i vattnet påverkar även upplösningen av ammoniumjoner samt lösligheten av metalljoner där det är främst aluminium det handlar om. Många av dessa metaller är mycket giftiga och kan orsaka stora problem för de vattenlevande organismerna (Lampert & Sommer, 1996).

Under industrialiseringen på 1900-talet i Europa orsakade utsläppen av framförallt svaveldioxid från förbränning av kol och olja en omfattande försurning av de svenska sjöarna (Havs och Vattenmyndigheten, 2014). I dag har utsläppen av svaveldioxid minskat avsevärt vilket har gett sjöarna möjlighet till att börja återhämta sig och återgå till ett något högre pH-värde. På grund av detta kan det vara svårt att identifiera om förändringar i naturen beror på återhämtning från försurning eller klimatpåverkan (Futter et al, 2014).

Klimatet kan alltså tänkas ha både en direkt påverkan på vattenkemin och växtplanktonen i sjöar men också en indirekt påverkan på växtplanktonens biomassa och diversitet genom förändring av vattenkemin.

Material och metod

Urval av sjöar

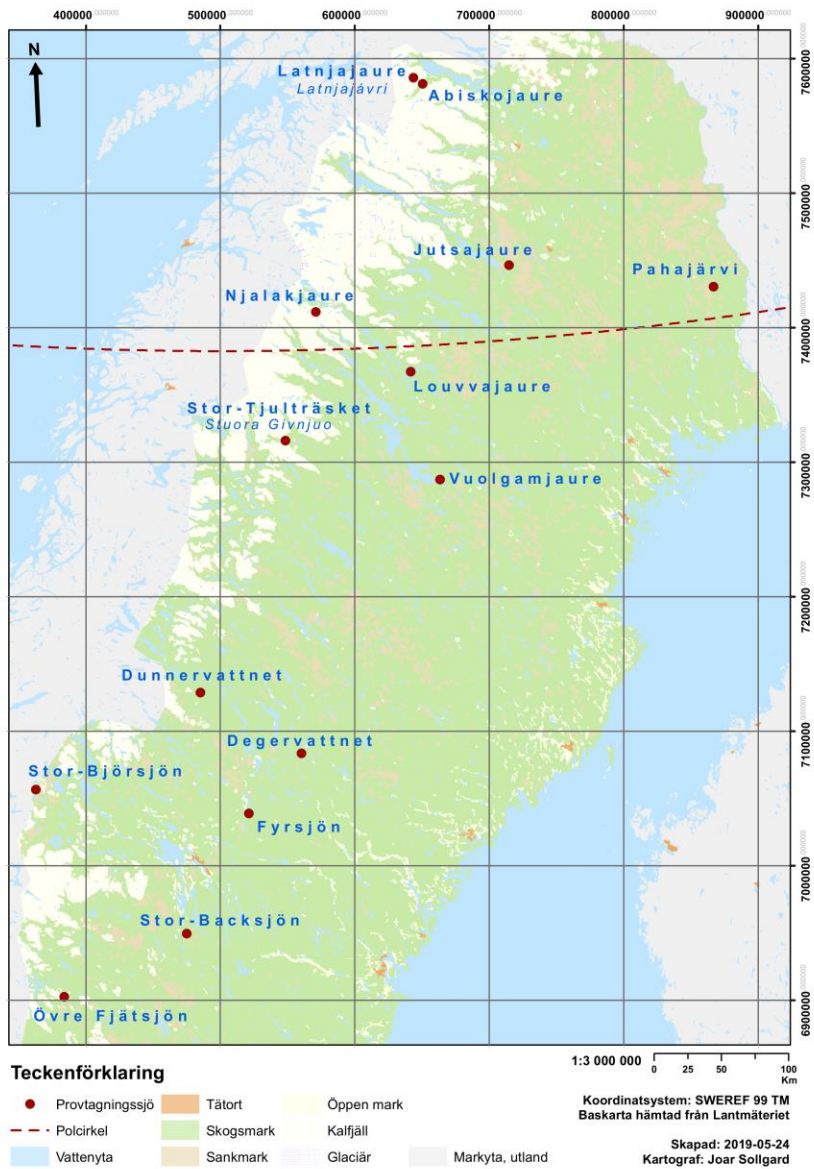
Miljöövervakningsdata för 14 olika sjöar hämtades ner och analyserades i denna studie. Dessa sjöar valdes ut på grund av sitt läge norr om polcirkeln, i fjällen eller i skogslandet nära fjällen (Figur 1, Tabell 1) samt efter längden på miljöövervakningsdatans tidsserier. Sveriges klimat delas enligt Köppens system in i två olika klimatzoner: hemiborealt klimat och subarktiskt klimat. Det är främst södra Sverige och kustområdena som tillhör den hemiboreala klimatzonen medan norra Sverige och delar av västra mellansverige har subarktiskt klimat (Peel et al, 2007). De utvalda sjöarna ligger alla i ett subarktiskt klimat och några av dessa är även klassificerade som alpina sjöar då de ligger över trädgränsen (Pérez and Sommaruga, 2006).

Alla sjöar som ingår i denna studie ingår även i Trendsjöprogrammet som är ett delprogram i Havs- och vattenmyndighetens programområde Sötvatten inom den nationella miljöövervakningen. Det finns 106 trendsjöar i Sverige och i dessa undersöks och analyseras kontinuerligt bland annat vattenkemi, bottenfauna och växtplankton. Sjöarna i Trendsjöprogrammet är alla utvalda efter att de är mellanstora sjöar med en area på mellan 0.02-52.6 km² som i stort sett är opåverkade av punktutsläpp och annan markanvändning än skogsbruk. Syftet med programmet är i dag att utgöra referensmaterial för alla typer av sjöar i Sverige (institutionen för vatten och miljö, 2016).

För klimatparametrarna är tidsserierna från år 1993–2017 och för de resterande parametrarna är tidsserierna från år 1993–2018. Dock varierar detta något från sjö till sjö och från parameter till parameter men dessa är de generella tidsserierna.

Flertalet sjöar har en area på mellan 0.3 km² – 2.8 km², men det finns även två betydligt större sjöar Stor-Tjulträsk på cirka 5 km² och Fyrsjön på cirka 13 km². Fyrsjön har även det största avrinningsområdet på cirka 2427 km². När det kommer till altitud ligger sjöarna på mellan 212 m ö h (Degervattnet) och 974 m ö h (Latnajaure) (Tabell1).

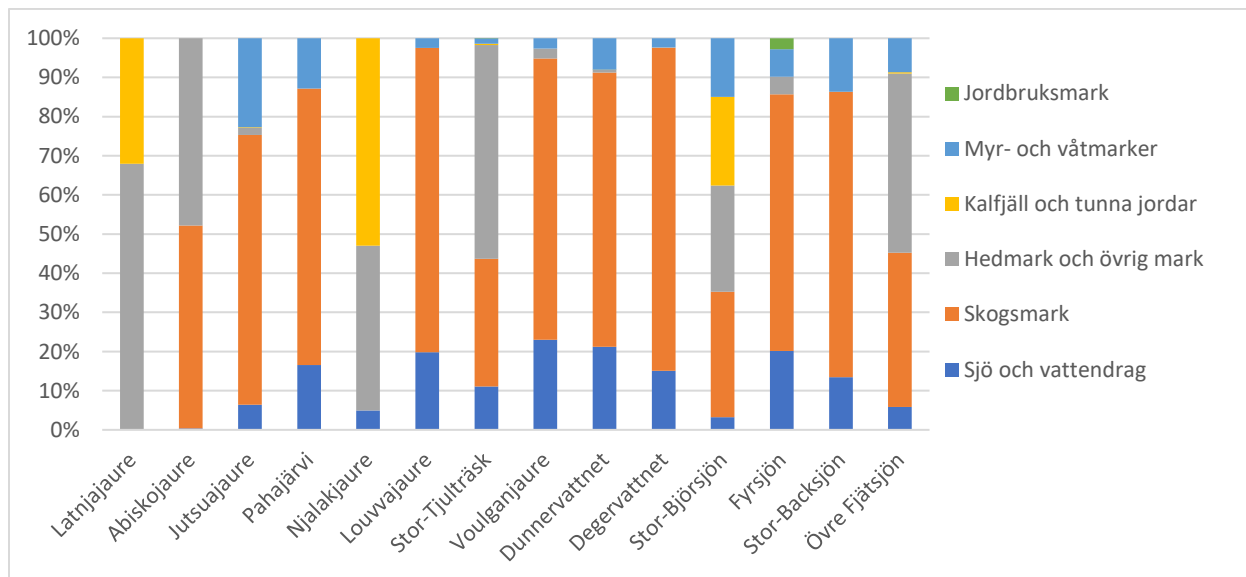
Markanvändningen i områdena runt sjöarna dominerades av skogsmark följt av sjö och vattendrag och hedmark och övrig mark. Vid Latnajaure och Njalakjaure finns dock ingen skogsmark utan dessa sjöar omges huvudsakligen av hedmark och övrig mark samt fjällhed och kalfjäll (Figur 2).



Figur 1. Karta över de 14 sjöarnas geografiska läge med polcirkeln utmärkt i rött.

Tabell 1. Sjöarnas EUID, totala area, avrinningsområdets area och sjöarnas altitud (Havs och vattenmyndigheten, u.å).

Sjö	EUID	Sjöns area	Avrinningsområdets area	Altitud
		km ²	km ²	m
Latnajaure	SE758677-161050	0.74	13.32	974
Abiskojaure	SE758208-161749	2.79	375.98	486
Jutsujaure	SE744629-167999	1.11	18.09	420
Pahajärvi	SE742829-183168	1.21	7.35	248
Njalakjaure	SE741357-153540	0.33	6.72	849
Louvvaure	SE736804-160569	0.82	4.16	458
Stor-Tjulträsk	SE731799-151196	5.25	274.55	538
Voulgamjaure	SE728744-162653	2.03	35.89	436
Dunnervattnet	SE713131-144608	2.67	101.20	445
Degervattnet	SE708512-152086	1.60	199.43	212
Stor-Björnsjön	SE706083-132287	0.43	22.85	566
Fyrsjön	SE704082-148125	13.19	2427.40	299
Stor-Backsjön	SE695220-143383	2.09	55.19	427
Övre Fjätsjön	SE690617-134197	0.91	44.70	746



Figur 2. Markanvändning i procent vid de 14 analyserade sjöarna (SMHI, u.å. b)

Data över klimat, vattenkemi & växtplankton

Klimatdata i form av årsmedelvärden över lufttemperatur och nederbördsmängd för områdena sjöarna ligger i hämtades från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) för åren 1993–2017. Denna data är griddad dygnsdata med 4 * 4 km horisontell upplösning, där medelvärdet anges (Luftweb, u.å.). Denna tidsperiod valdes då den stämde bäst överens med längden på dataserierna över vattenkemiska parametrar och växtplankton samt då ingen data för 2018 fanns.

Data över vattenkemiska parametrar och växtplankton hämtades från Miljödata-MVM från Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) för åren 1993–2018. Denna tidsperiod valdes då det var den längsta som fanns representerad bland majoriteten av sjöarna och en kortare tidsserie hade kunnat leda till att viktiga förändringar missades. Ingen data finns dock för varken pH, totalfosfor eller TOC hos sjön Dunnervattnet för åren 1993–1994 och inte heller hos sjön Louvvaure år 1995. Alla sjöarna har inte heller provtagits för växtplankton alla år under tidsperioden 1993–2018 (Appendix, Tabell A1). Vissa sjöar har provtagits oftare än andra och där fler mätvärden för samma år eller månad fanns användes medianvärdet (Miljödata MVM, 2019).

PH-värdena i SLU:s databas är framtagna genom att provtagning görs omgående på ett oluftat prov för att undvika inverkan av gasjämnvikter. Provet hålls i en separat fylld flaska som sätts i en provväxlare där provet överförs från botten genom ett termostatblad till en flödescell via en slangpump. I flödescellen finns sedan en fastsatt elektrod. Analysen görs vid 25 grader Celsius i kalibreringsområdet 5–7. Under åren 1993- i dag har tre olika mätinstrument använts (Vattenkemiska laboratoriet, 2017)

TOC värdena har mätts i mg/l och tagits fram genom att provet har letts över en het katalysator där det har förbränts till CO₂ och sedan kvantifierats. Oorganiskt kol har avlägsnats genom surgörning av provet och genom att driva bort den bildade kolsyran med CO₂ fri gas. Från 1993 till 2018 har tre olika mätinstrument använts (Vattenkemiska laboratoriet, 2018a).

Begreppet totalfosfor innefattar den totala halten fosfor i vattnet både som fosfat och som organiskt bunden. Vattnets totala fosforhalt har beräknats i µg/l och har från och med januari 2002 mätts med hjälp av Technicon autoanalyser 3 och vattenproverna har konserverats med H₂SO₄. 1993 till 2018 har två olika metoder använts. Det finns utöver instrumentbytena andra dokumenterade felkällor i dessa mätvärden. Mätvärdena från januari 1991 till juni 1996 visar ca 1,2 µg P/l för mycket på grund av ett absolutfel som orsakades av osäkerhet vid bestämning av nollnivån i samband med att ett äldre mätinstrument visade sig ha en instabil baslinje (Sonsten & Engblom, 2001).

Den nuvarande metoden för analys av växtplankton har sett likadan ut sedan januari 1992. Prover samlas in med hjälp av en båt med hjälp av rörhämtare inom ett område som ej är strandpåverkat och som helst ska ligga centralt i sjön. I Sjöar som är mindre än 1 km² samlas prover in från fem slumpvist utvalda punkter. Det kvantitativa provet konserveras sedan omedelbart med jodjodkalium. Sedan identifieras samt räknas och biomassbestäms de olika arterna genom att provet sedimenteras i en räknekammare och analyseras med ett omvänt

mikroskop. efter de har sedimenterats på botten (Havs och vattenmyndigheten, 2016). Då provtagningen för växtplankton främst görs kring augustimånad så utfördes alla analyser för växtplankton på data från månaderna juli, augusti och september (Miljödata MVM, 2019).

Växtplanktondiversiteten beräknades som Shannon index:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Där p_i är respektive taxons andel av totalbiovolymen i provet. Detta index valdes eftersom det är ett icke-parametriskt index som är mycket välkänt. I jämförelse till Simpson indexet som också är ett välkänt diversitetindex så är Shannon indexet mer känsligt för artrikedom (Magurran, A.E, 2003).

Trend- & korrelationsanalyser

Trendanalyser över tid för klimatdata, kemiska parametrar och biologiska parametrar utfördes med hjälp av Mann-Kendall tester i Excell. Detta för att se om det fanns några trender, var dessa eventuella trender fanns och om de var positiva eller negativa. Resultatet visas i form av ett P-värde och om detta värde är <0.05 så är det en signifikant trend. Även lutningen på trenden redovisas och tecknet framför denna visar åt vilket håll trenden utvecklas. En positiv trend betecknas alltså med ett plustecken och en negativ trend betecknas med ett minustecken (Miljöstatistik.se, u.å.).

Trendanalyser över tid gjordes på 9 av 14 provtagna växtplanktonstammar och klasser: Bacillariophyta (Kiselalger), Charophyta, Chlorophyta (Grönalger), Chrysophyceae (Guldalger), Crypophyta (Rekylalger), Cyanobacteria (Cyanobakterier), Dinophyceae (Dinoflagellater), Synurophycea och gruppen som här kallas för övriga (Dyntaxa, u.å.). Detta för att de andra grupperna som provtagits återfanns i för liten utsträckning för att göra analyser av någon betydande användning.

Korrelationsanalyser har utförts i JMP med syftet att utreda hur de olika parametrarna korrelerar med varandra och på så sett upptäcka eventuella påverkningar. Analyserna utfördes på parametrarnas trender och korrelationer redovisas i form av r-värden. Ett r-värde nära 1 visar på en tydlig positiv korrelation och ett r-värde nära -1 visar på en tydlig negativ korrelation (Zar, 1984).

Det visade sig att den avsevärt stigande fosforhalten i Pahjärvi hade en betydande inverkan på korrelationsanalyserna som berörde fosfor. Ytterligare korrelationsanalyser gjordes därför utan värdena från Pahjärvi för att få en tydligare bild av hur de andra sjöarna reagerar på den generella fosforminskningen.

Bonferroni correction utfördes på korrelationernas P-värden för att undvika masssignifikans som uppstår på grund av slump. Detta har gjorts genom att den kritiska gränsen 0.05 dividerats på antalet jämförelser som gjorts och på så sätt har en ny kritisk gräns erhållits. Sedan jämfördes korrelationernas P-värden med den nya kritiska gränsen för att för att avgöra vilka korrelationer som är statistiskt signifikanta (Waite, 2000).

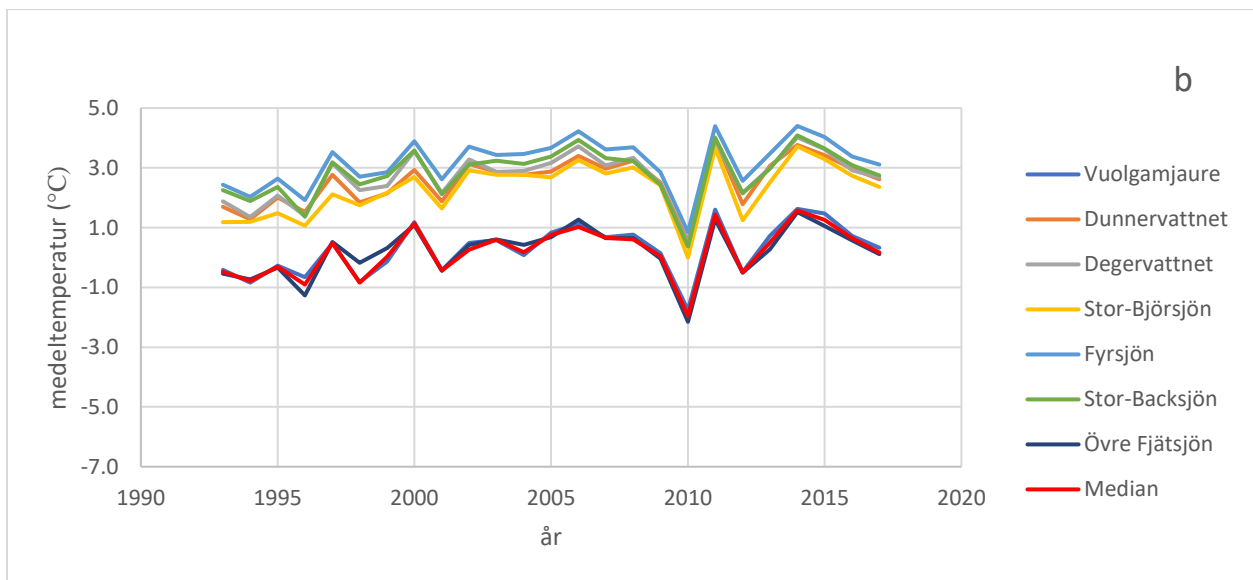
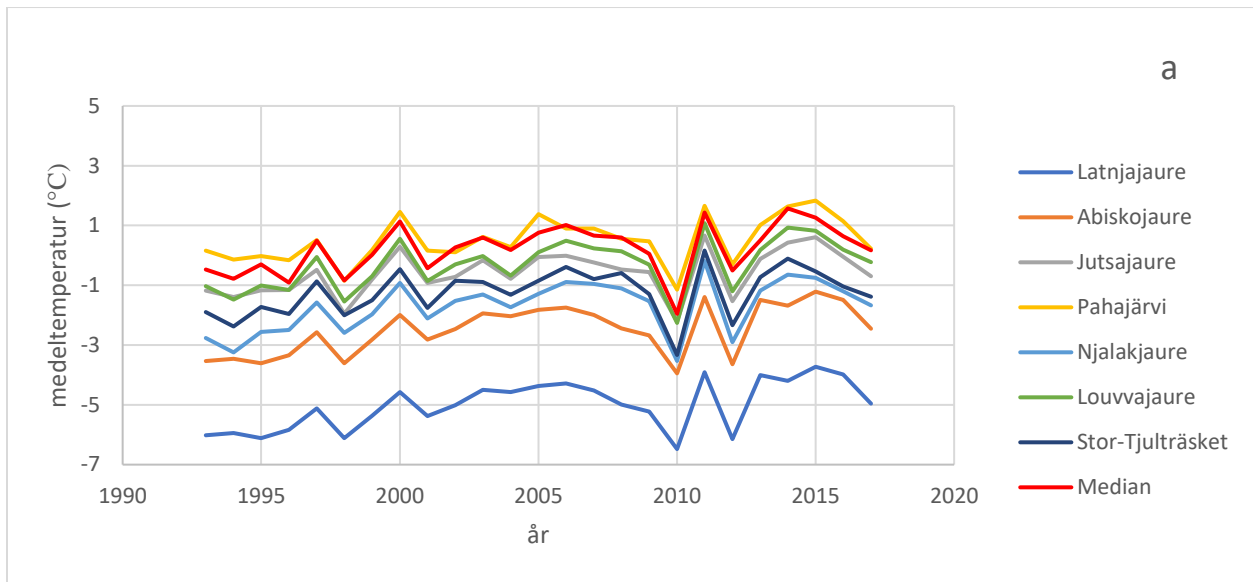
Resultat

Klimat och vattenkemi

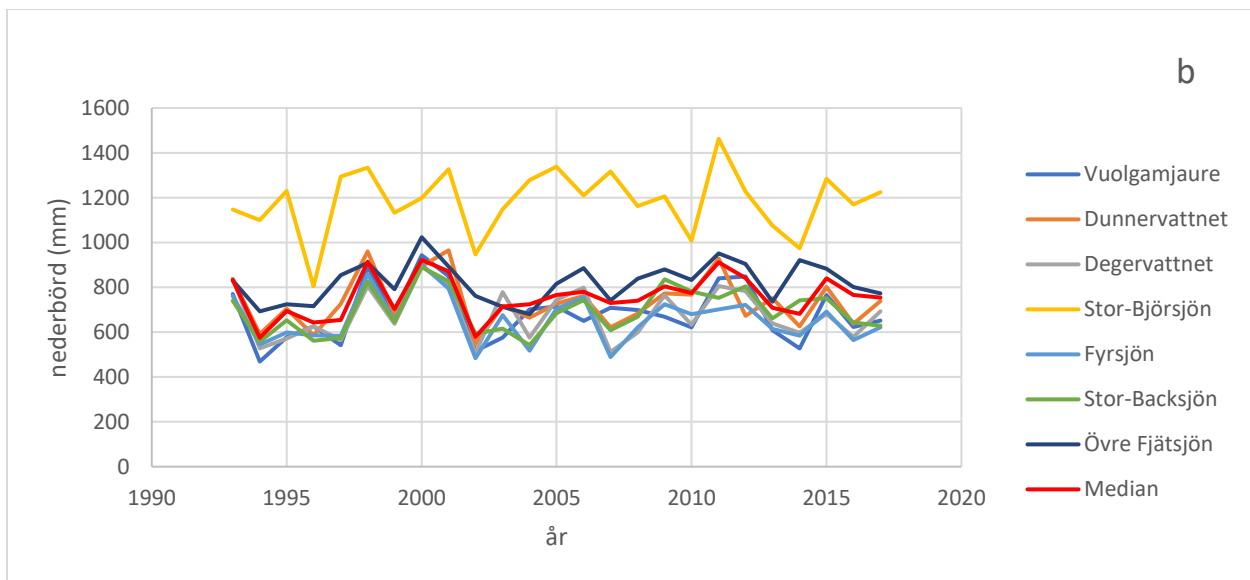
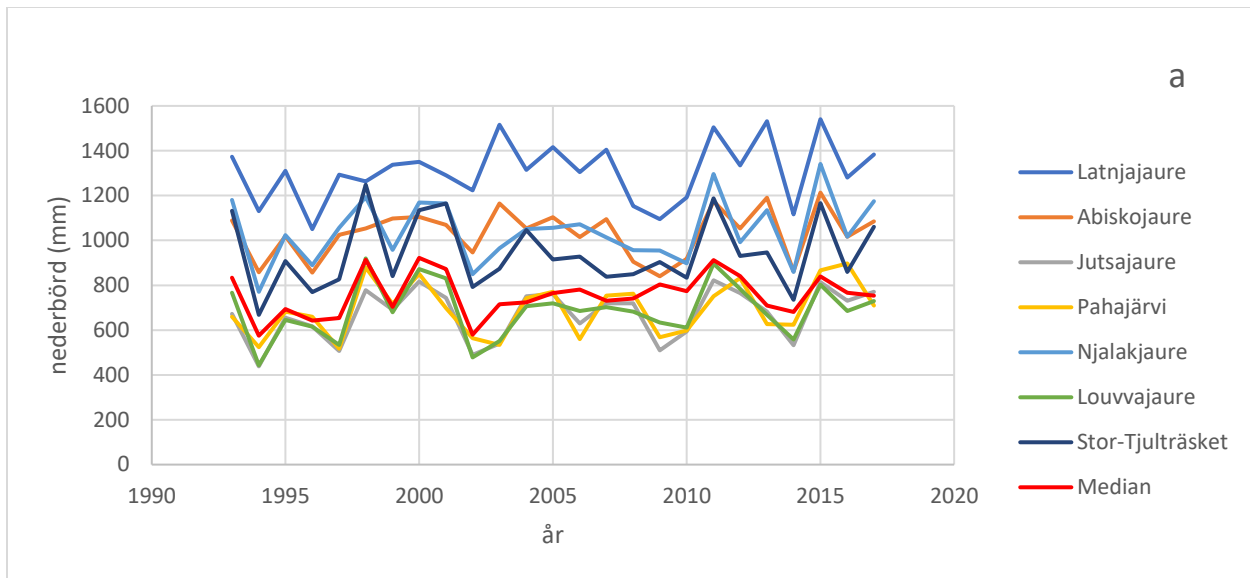
Årsmedeltemperaturer och nederbördsmängd varierar beroende på var sjöarna är belägna. Den sjön som låg i området med kallast årsmedeltemperatur var Latnajaure där temperaturen låg vid ett medelvärde runt -5°C och sjö med varmest omgivningstemperatur var Fyr sjön där temperaturen låg kring 3.3°C . Vid de 7 nordligast belägna sjöarna låg medeltemperaturen huvudsakligen under en plusgrad förutom vid Pahajärvi där temperaturen vissa år har legat närmare två grader (Figur 3a). Lufttemperaturen vid de i jämförelse mer sydligt belägna sjöarna låg istället för majoriteten av sjöarna över en plusgrad. Bara Vuolgamjaure och Övre Fjätsjön har en medeltemperatur under en plusgrad och vissa år ligger de under nollgradigt (Figur 3b).

Årsnederbörden låg mellan cirka 400 och 1600 mm/år för de sju mest nordligt belägna sjöarna (Figur 4a). I det mer sydligt belägna sjöarna var spannet något snävare och majoriteten hade en nederbördsmängd mellan 400 och 1000 mm/år. Stor-Björnsjön sticker dock ut markant här med en nederbördsmängd på upp till 1400 mm/år (Figur 4b).

Lufttemperaturen ökar signifikant vid alla sjöar förutom vid Stor-Backsjön där ingen trend hittats. Tydligast temperaturförändring syns hos de två mest nordligt belägna sjöarna Latnajaure och Abiskojaure. Där har temperaturen ökat med 1.05 respektive 1.08 grader från år 1996 till 2017. Det ser även ut som att de nordligare sjöarna uppvisar en något tydligare trend än de sydligare. Årsnederbörden uppvisar till skillnad från temperaturen ingen signifikant trend vid någon av sjöarna (Tabell 2).



Figur 3. Årsmedeltemperatur för år 1993–2017 med medianvärdet för alla sjöar i rött vid a) de 7 mer nordligt, och b) de mer sydligt belägna sjöarna.



Figur 4. Årsmedelnederbörd från år 1993–2017 med medianvärdet för alla sjöar i rött vid a) de 7 nordligast belägna sjöarna och b) de 7 mer sydligt belägna sjöarna.

Tabell 2. Resultat från trendanalys av årsmedeltemperaturen och årsnederbörden från år 1993–2017 vid alla sjöarna. Signifikanta trender är markerade i fetstil och medianlutningen för alla sjöar är markerad med kursiv stil och anges längst ner.

Sjö	Temperatur	Temperatur	Nederbörd	Nederbörd
	Lutning (°C år ⁻¹)	P-värde	Lutning (mm år ⁻¹)	P-värde
Latnajaure	0.076	0.002	4.2	0.3
Abiskojaure	0.075	0.003	3.1	0.4
Jutsajaure	0.054	0.008	4.6	0.1
Pahajärvi	0.047	0.020	5.9	0.1
Njalakjaure	0.074	0.006	2.8	0.7
Louvvajaure	0.067	0.007	2.8	0.5
Stor-Tjulträsket	0.047	0.030	2.3	0.4
Vuolgamjaure	0.062	0.010	1.1	0.9
Dunnervattnet	0.064	0.006	1.3	0.8
Degervattnet	0.055	0.020	0.1	0.9
Stor-Björnsjön	0.069	0.006	1.4	0.7
Fyrsjön	0.050	0.040	-1.5	0.7
Stor-Backsjön	0.040	0.060	3.1	0.3
Övre Fjätsjön	0.046	0.040	3.2	0.3
Alla	<i>0.059</i>	0.009	2.8	0.4

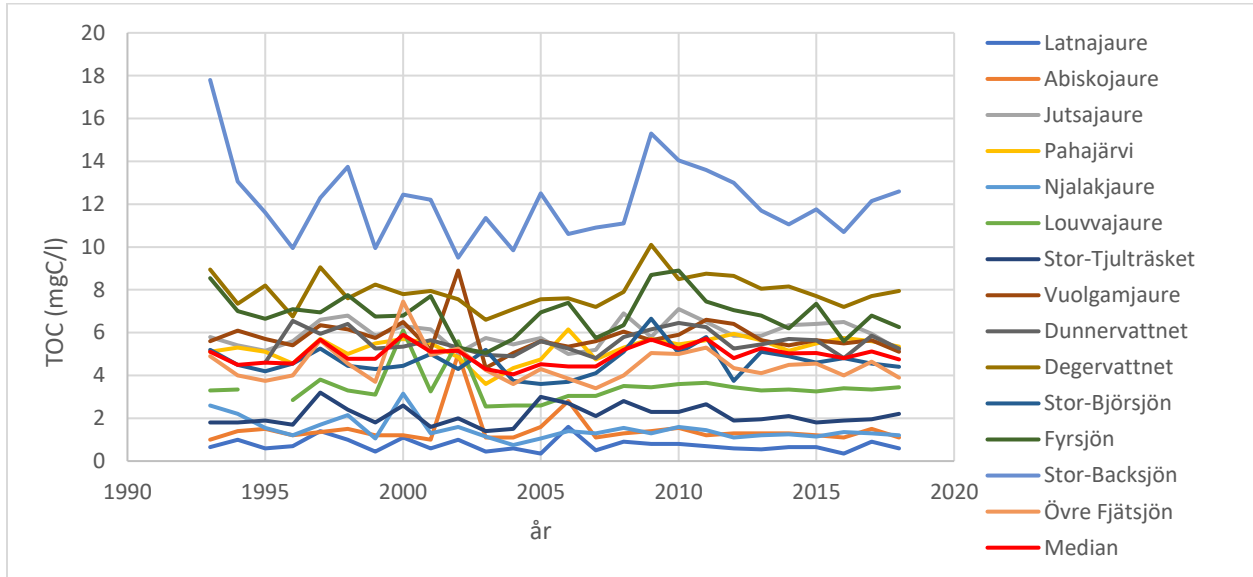
De flesta sjöarna har ett värde för TOC på mellan 0 och 10 mgC/l. Den enda sjön som avviker från detta är Stor-Backsjön som ligger på ett något högre värde mellan 13-18 mgC/l. TOC är oförändrat i alla sjöar utom i Njalakjaure som uppvisar en signifikant negativ trend (Figur 5, Tabell 3).

När det kommer till totalfosfor i sjöarna så ligger de flesta sjöar på en halt mellan 0–15 µg/l under hela tidsperioden. Några sjöar avviker dock och Stor-Backsjön har en topp på 21.5 µg/l vid år 1994. Samma sak gäller för Övre Fjätsjön som också har ett något högre värde 18 µg/l vid 1994. Den sjön som sticker ut mest är dock Pahajärvi som ökar i totalfosfor och år 2018 ligger på 19.4 µg/l. En tydlig negativ trend syns generellt i totalfosfor för alla sjöarna och den är tydligast i Latnajaure som minskar med 9 µg/l från 1993–2018. Ingen trend syns dock i det mest sydligt belägna sjöarna Stor-Backsjön och i Övre Fjätsjön. I Pahajärvi syns i motsats en signifikant positiv trend och här har totalfosfor ökat med 9.9 µg/l från år 1993–2018. Trenderna verkar ej vara betydande av sjöarnas geografiska läge mer än att de två mest sydligt belägna inte uppvisar någon trend.

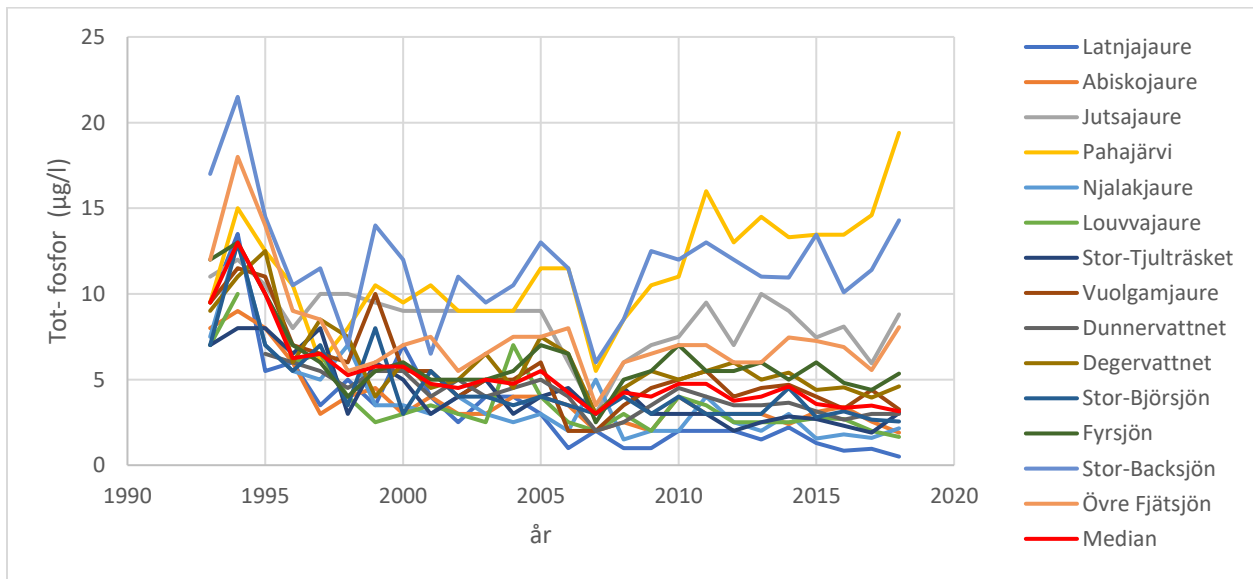
Det går dock att se att de tre sjöar som minskar mest i fosforhalt Latnajaure, Njalakjaure och Stor-Tjulträsket är omgivna av en mycket fjällhed och/eller kalfjäll och ingen eller mycket lite skogsmark (Figur 6, Tabell 3).

Sjöarnas pH värde håller sig på nivåer mellan 6.3 och 7.6 under hela tidsperioden vilket indikerar att de inte är markant sura. Fyrsjön uppvisar de högsta värdena och ligger mellan 7 och 7.6. De

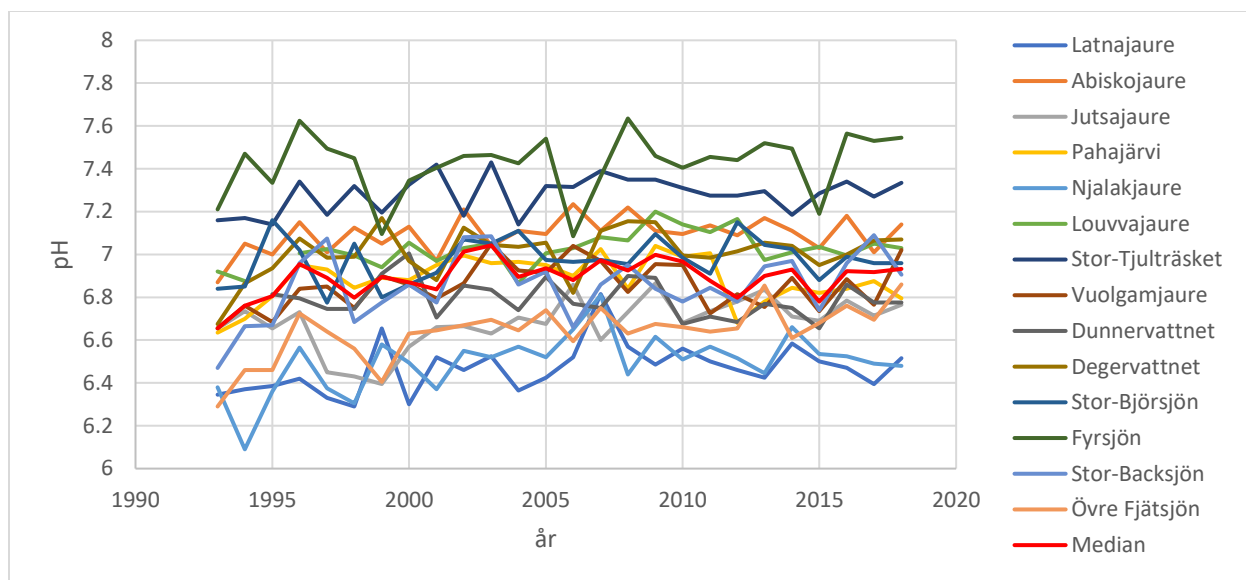
lägsta värdena hittas i Latnajaure och Njalakjaure som ligger på värden mellan 6.3–6.8 respektive 6–6.7. Sjöarna Jutsujaure, Louvvajaure, Stor-Backsjön och Övre Fjätsjön uppvisar positiva trender där Jutsujaure ökar mest (Figur 7, Tabell 3).



Figur 5. Årsmedianvärden för TOC för åren 1993–2018 med medianvärdet för alla sjöar i rött.



Figur 6. Årsmedianvärden för totalfosfor för åren 1993–2018 med medianvärdet för alla sjöar i rött.



Figur 7. Årsmedian-pH åren 1993–2018 med medianvärdet för alla sjöar i rött.

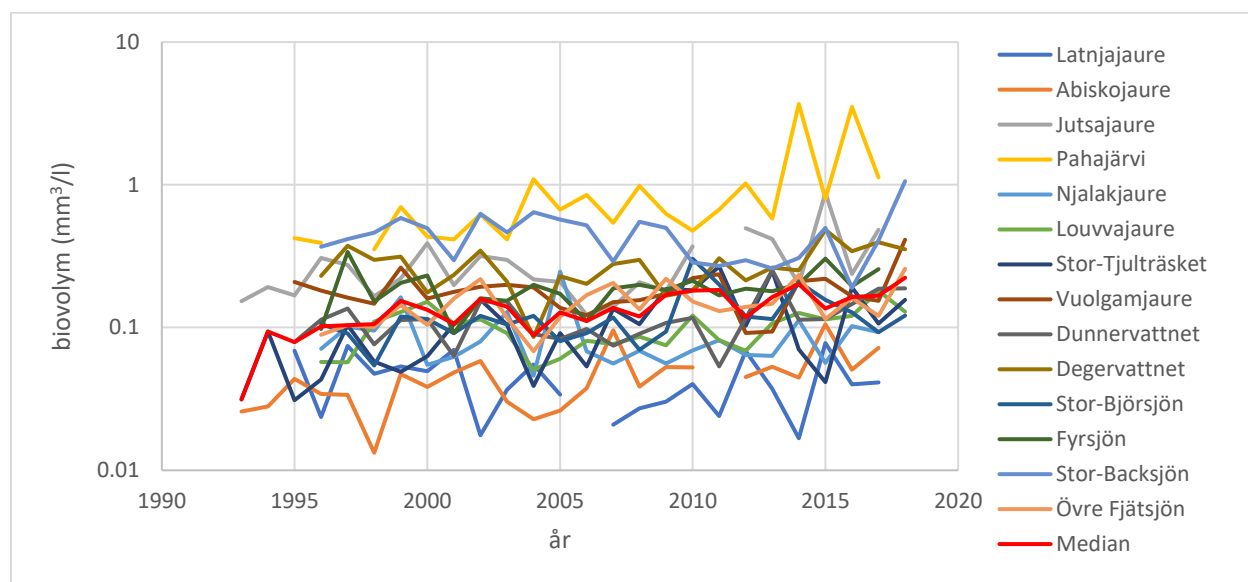
Tabell 3. Trendanalys av årsmedianvärden för pH, TOC och totalfosfor från år 1993–2018 för alla sjöarna. Signifikanta trender är markerade i fetstil och medianlutningen för alla sjöar är markerad med kursiv stil och anges längst ner.

Sjö	pH	pH	TOC	TOC	Tot-P	Tot-P
	Lutning (pH-enh år ⁻¹)	P-värde	Lutning (mgC l ⁻¹ år ⁻¹)	P-värde	Lutning (µg l ⁻¹ år ⁻¹)	P-värde
Latnajaure	0.005	0.050	-0.01	0.20	-0.231	0.00001
Abiskojaure	0.004	0.100	0.00	0.80	-0.124	0.0005
Jutsajaure	0.006	0.004	0.02	0.30	-0.143	0.002
Pahajärvi	0.001	0.800	0.02	0.10	0.217	0.005
Njalakjaure	0.006	0.100	-0.02	0.04	-0.200	0.00004
Louvvaure	0.005	0.020	0.01	0.50	-0.143	0.0007
Stor-Tjulträsket	0.003	0.400	0.01	0.60	-0.200	0.00003
Vuolgamjaure	0.005	0.200	-0.01	0.50	-0.185	0.00009
Dunnervattnet	-0.003	0.300	0.00	0.90	-0.133	0.00006
Degervattnet	0.004	0.100	0.01	0.80	-0.167	0.00300
Stor-Björnsjön	0.003	0.500	0.00	0.90	-0.147	0.00007
Fyrsjön	0.005	0.100	-0.02	0.40	-0.075	0.02
Stor-Backsjön	0.007	0.010	-0.01	0.90	-0.035	0.6
Övre Fjätsjön	0.010	0.005	0.00	0.90	-0.092	0.06
Alla	<i>0.005</i>	0.006	<i>0.00</i>	0.90	<i>-0.143</i>	0.00006

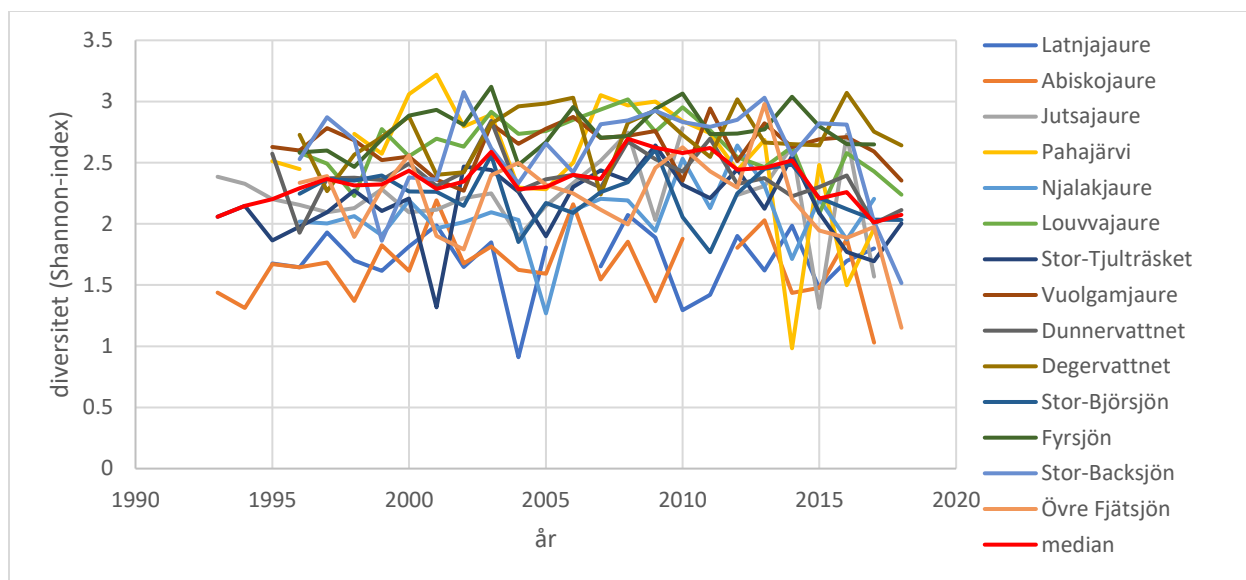
Växtplankton

Biovolymen ligger för de flesta sjöar på ett värde mellan 0–0.5 mm³. Jutsajaure och Stor-Backsjön ligger dock lite högre upp till 1.1 mm³. Pahajärvi sticker ut rejält här med två toppar år 2014 och 2018 på 3.7 respektive 3.5 mm³. En signifikant positiv trend syns generellt i biovolym. Denna trend återfinns i Abiskojaure, Pahajärvi, Stor-Tjulträsk, Dunnervattnet, Stor-Björnsjön och Övre Fjätsjön. Tydligast är trenden hos Pahajärvi som har ökat från 0.42 mm³ år 1995 då första mätningen gjordes till 1.13 mm³ år 2018 (Figur 8, Tabell 4).

När det kommer till diversitetindex ligger sjöarna i intervallet 0.9–3.2 och de verkar alla variera mycket från år till år. Det syns ingen signifikant trend i någon sjö (Figur 9, Tabell 4).



Figur 8. Medianvärden för biovolym för åren 1993–2018 i logaritmiskskala med medianvärdet för alla sjöar i rött.

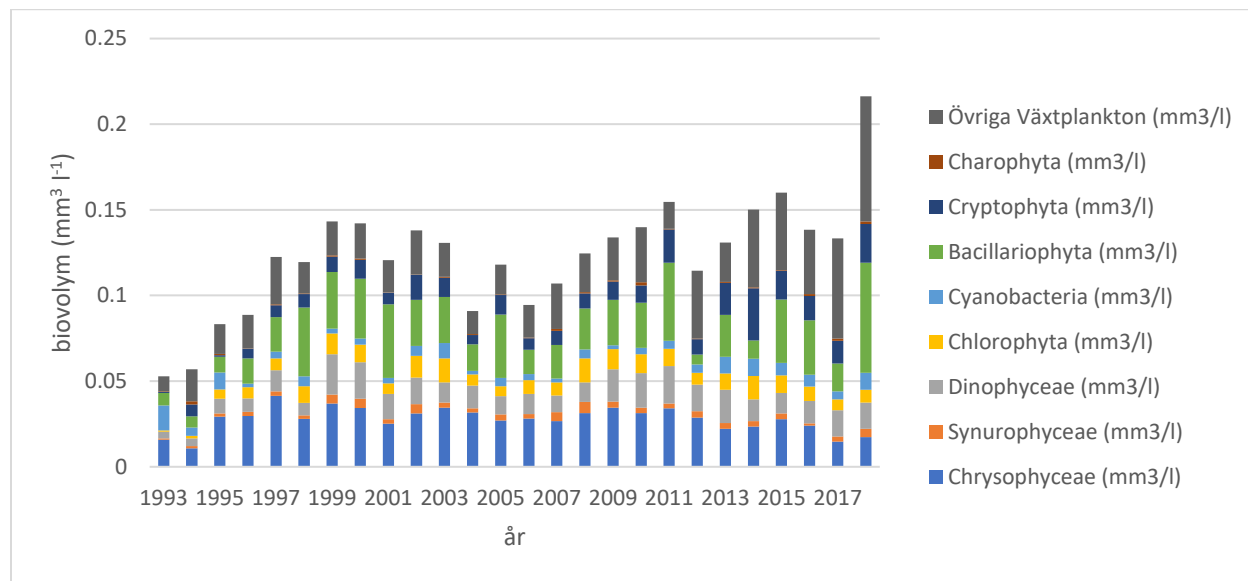


Figur 9. Medianvärden för diversitet för åren 1993–2018 med medianvärdet för alla sjöar i rött.

Tabell 4. Trendanalys av medianvärden för biovolym och diversitet från år 1993–2018 för alla sjöarna. Signifikanta trender är markerade i fetstil och medianlutningen är markerad med kursiv stil och anges längst ner.

Sjö	Biovolym		Diversitet	
	Lutning (mm ³ l ⁻¹ år ⁻¹)	P-värde	Lutning (index år ⁻¹)	P-värde
Latnajaure	-0.000670	0.400	-0.0003	1.0
Abiskojaure	0.001388	0.002	0.0043	0.7
Jutsajaure	0.005771	0.050	0.0054	0.7
Pahajärvi	0.028302	0.001	-0.0267	0.1
Njalakjaure	-0.000280	0.800	0.0096	0.1
Louvvajaure	0.001738	0.080	-0.0073	0.5
Stor-Tjulträsket	0.004593	0.004	0.0052	0.5
Vuolgamjaure	0.000161	1.000	0.0005	0.9
Dunnervattnet	0.002310	0.040	-0.0064	0.3
Degervattnet	0.004385	0.200	0.0082	0.4
Stor-Björnsjön	0.001504	0.030	-0.0094	0.1
Fyrsjön	0.002801	0.100	0.0084	0.2
Stor-backsjön	-0.006390	0.300	0.0067	0.7
Övre Fjätsjön	0.003089	0.020	-0.0131	0.3
Alla	<i>0.002024</i>	0.001	<i>0.0024</i>	0.9

När de kommer till de olika växtplanktonstamarna och klasserna så hittades signifikanta trender i biovolym för 6 av de 9 sjöarna som trendanalyser utfördes på. Det fanns positiva trender hos Charophyta, Cryptophyta, Cyanobacteria, Synurophyceae och gruppen som här kallas för övriga. Hos klassen Chrysophyceae syntes istället en negativ trend (Figur 10, Tabell 5).



Figur 10. Diagram över medianvärden för biovolym av växtplanktonklasser från år 1993–2018 för alla sjöarna.

Tabell 5. Trendanalys över medianvärden för biovolymen ($\text{mm}^3 \text{l}^{-1} \text{år}^{-1}$) av Charophyta, Chrysophyceae, Cryptophyta, Cyanobacteria, Synurophyceae och övriga växtplanktongrupper från år 1993–2018 för alla sjöarna. Signifikanta trender är markerade i fetstil och tomma rutor betyder att växtplanktonstammen eller klassen ej fanns där.

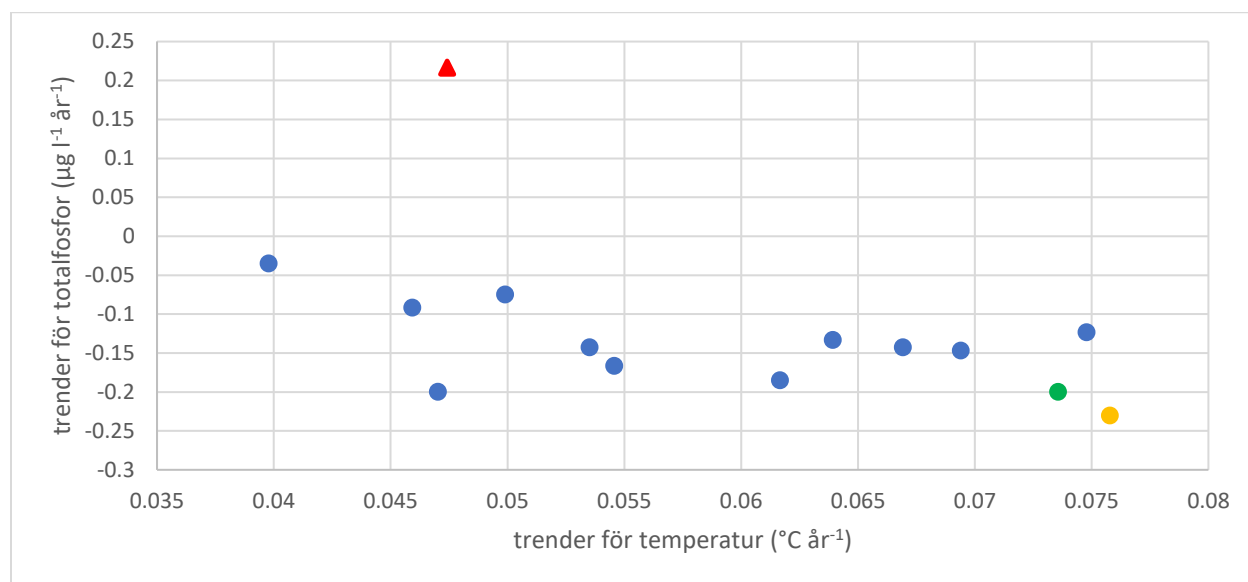
Sjö	Charophyta	Chrysophyceae	Cryptophyta	Cyanobacteria	Synurophyceae	Övriga
Latnajaure	-7E-05	-0.00065	-8E-06			0.000278
Abiskojaure	-2E-06	0.000504	3.38E-05		2.36E-05	0.000509
Jutsujaure	5.12E-05	-0.00119	0.000435	3.89E-05	5.82E-05	0.000506
Pahajärvi	0.000131	0.000232	0.001984	0.011044	1E-05	0.000265
Njalakjaure	9.17E-06	-0.00024	9.64E-05	4.67E-05	9.64E-06	0.000513
Louvvaure	-6.3E-06	0.000155	0.000303	4.73E-05	0.000106	0.000757
Stor-Tjulträsk	3.81E-06	0.000234	0.000988	-6.5E-05	1.3E-05	-0.00012
Voulgamjaure	2.66E-05	6.84E-05	0.000526	0.000106	7.83E-05	0.000469
Dunnervattnet	-3.8E-06	-0.00143	0.000425	0.000188	3.75E-05	0.002107
Degervattnet	2.5E-05	-0.00119	0.001567	0.000156	0.000254	0.001358
Stor-Björnsjön	1.09E-05	-0.00094	0.000507	2.71E-05	7E-05	0.001685
Fyrsjön	1.19E-05	-2.3E-05	0.000729	0.000231	7.78E-06	0.001034
Stor-backsjön	2.09E-05	-0.00152	0.000142	-0.00034	-2E-05	0.003418
Övre Fjätsjön	6.78E-06	-0.0022	0.000266	0.000108	-8E-05	0.002813

Korrelationer mellan växtplanktonvariabler, klimat och vattenkemi

Ingen korrelation mellan trender hittades varken mellan de vattenkemiska parametrarna eller klimatparametrarna. Ingen korrelation mellan trender hittades heller mellan de vattenkemiska parametrarna och klimatparametrarna (Tabell 6). Sjön Pahajärvi avviker markant från de andra sjöarna på grund av sin positiva trend för totalfosfor (figur 11). Därför görs korrelationsanalyser även utan denna sjön. Det syntes en antydning till negativ trend mellan lutningarna för totalfosfor och temperaturen om samma korrelationsanalys utfördes utan sjön Pahajärvi (Tabell 7).

Tabell 6. Korrelationer mellan trender för klimat- och vattenkemivariabler. Värdena i svart (övre högra delen) är r-värden och P-värden är rött (nedre vänstra delen). Den kritiska gränsen är beräknad till 0.01 för P-värdena.

	Temperatur	Nederbörd	pH	TOC	Tot-Fosfor
Temperatur	-	0.006	-0.221	-0.243	-0.510
Nederbörd	0.98	-	0.133	0.560	0.379
pH	0.45	0.65	-	-0.259	-0.146
TOC	0.40	0.04	0.37	-	0.416
Tot-Fosfor	0.062	0.18	0.62	0.14	-



Figur 11. Trender i totalfosfor mot trender i temperatur för alla sjöar med sjöarna Pahajärvi (röd triangel), Latnajaure (orange) och Njalakjaure (grön) speciellt markerade.

Tabell 7. Korrelationer mellan trender för klimat- och vattenkemivariabler. Denna korrelation är utan sjön Pahajärvi med r-värden i svart (övre högra delen) och P-värden i rött (nedre vänstra delen). Den kritiska gränsen är beräknad till 0.01 för P-värdena.

	Temperatur	Nederbörd	pH	TOC	Tot-Fosfor
Temperatur	-	0.1804	-0.3317	-0.1231	-0.5875
Nederbörd	0.5554	-	0.3580	0.3975	-0.1932
pH	0.2682	0.2298	-	-0.1261	0.2632
TOC	0.6888	0.1786	0.6815	-	-0.0939
Tot-Fosfor	0.0347	0.5272	0.3849	0.7602	-

Vid korrelationsanalyser på trender för de biologiska parametrarna med de vattenkemiska parametrarna hittades enbart en korrelation. Denna korrelation var mellan totalfosfor i sjöarna och biovolymen av växtplankton (Tabell 8). Denna korrelation finns dock inte om samma analys görs utan sjön Pahajärvi (Tabell 9).

Tabell 8. R-värden från korrelationsanalys av trender för de kemiska parametrarna med de biologiska. Den kritiska gränsen är beräknad till 0.025 för P-värdena.

	Biovolym	Diversitet index
pH	-0.3570	0.2494
TOC	0.6387	-0.5525
Tot-Fosfor	0.7603*	-0.6463
Temperatur	-0.2663	0.0996
Nederbörd	0.4272	-0.4651

*: P<0.025

Tabell 9. R-värden från korrelationsanalys av trender utan sjön Pahajärvi för de kemiska parametrarna med de biologiska. Den kritiska gränsen är beräknad till 0.025 för P-värdena.

	Biovolym	Diversitets index
pH	-0.2116	0.0510
TOC	0.4930	-0.3077
Tot-Fosfor	-0.2837	-0.0663
Temperatur	-0.0374	-0.1396
Nederbörd	-0.1669	-0.1583

*: P<0.025

Korrelationsanalyser på trender för växtplanktonstammar och klasser mot klimatparametrarna och de kemiska och biologiska parametrarna visar inte på några korrelationer för temperatur, nederbörd eller pH. En korrelation finns dock på trender för TOC och Chlorophyta och två korrelationer finns för totalfosfor med Charophyta och Cyanobacteria. Biovolymens lutning korrelerar med fem växtplanktonklasser och stammar: Charophyta, Chlorophyta, Cryptophyta,

Cyanobacteria och Dinophyceae. Diversiteten korrelerar med Cyanobacteria och Dinophyceae (Tabell 10). Om samma korrelationsanalys görs utan sjön Pahajärvi syns ej någon korrelation mellan totalfosfor och växtplanktonstammarna Charophyta och Cyanobacteria. Istället syns en positiv signifikant korrelation mellan totalfosfor och gruppen som här kallas för övriga växtplankton (Tabell 11)

Tabell 10. R-värden från korrelationsanalys på trender för växtplankton med de kemiska och biologiska parametrarna. Den kritiska gränsen är beräknad till 0.007 för P-värdena.

Växtplankton-klass	Temperatur	Nederbörd	pH	TOC	Tot-Fosfor	Bio-volym	Diversitet
Bacillariophyte	0.233	0.202	-0.297	0.412	-0.075	0.498	-0.244
Charophyta	-0.521	0.291	-0.161	0.541	0.802**	0.781*	-0.440
Chlorophyta	-0.116	0.241	-0.310	0.705*	0.483	0.839**	-0.681
Chrysophyceae	0.319	0.005	-0.288	-0.042	0.076	0.283	0.051
Cryptophyta	-0.469	-0.020	-0.381	0.524	0.574	0.795**	-0.366
Cyanobacteria	-0.262	0.499	-0.316	0.513	0.873**	0.935**	-0.716*
Dinophyceae	-0.094	0.328	-0.385	0.504	0.663	0.950**	-0.745*
Synurophyceae	0.182	-0.376	-0.272	0.260	-0.239	0.018	0.227
Övriga	-0.396	-0.180	0.252	-0.150	0.147	-0.377	-0.072

*: P<0.007, **: P<0.001

Tabell 11. R-värden från korrelationsanalys för alla sjöar utom Pahajärvi på trender för växtplankton med de kemiska och biologiska parametrarna. Den kritiska gränsen är beräknad till 0.007 för P-värdena

Växtplanktonklass	Tot-Fosfor (r-värde)	Tot-Fosfor (P-värde)
Bacillariophyte	-0.5096	0.0753
Charophyta	0.3895	0.1883
Chlorophyta	-0.2976	0.3233
Chrysophyceae	-0.3768	0.2044
Cryptophyta	-0.1122	0.7152
Cyanobacteria	-0.2176	0.4751
Dinophyceae	-0.4632	0.1109
Synurophyceae	-0.2906	0.3354
Övriga	0.7583	0.0027*

*: P<0.007

Diskussion

Diskussion kring resultat

De förändringar i klimat och vattenkemin som denna studiens resultat visar är en ökning i temperatur, en ökning i PH och en minskning av totalfosfor. Inga korrelationer mellan dessa förändringar syntes dock med dessa trender och växtplanktonens biovolym eller diversitet.

I resultaten som berör klimatets förändring har, som förväntat, positiva trender observerats i årsmedeltemperatur för majoriteten av de undersökta områdena. Detta stämmer överens med den senaste IPCC- rapporten som beskriver en global temperaturökning (IPCC, 2018). Rapporten visar på en ökning med 1.5°C i medeltemperatur sedan perioden före industrialiseringen år 1850-1900, vilket används som referens. De två mest nordligt belägna sjöarna i denna studie visar den högsta temperaturökningen som är på 1.05 °C, respektive 1.08 °C. Detta är något lägre än vad IPCC-rapporten säger men tidsperioden i denna studie är 93 år kortare och det geografiska läget har troligtvis en betydelse.

Till skillnad från SMHI:s sammanställning av nederbördsdata i hela Sverige för åren 1960–2017 (SMHI, u.å) syns i denna studie inga trender för nederbördsmängd. Det kan eventuellt bero på att nederbörden inte har ökat jämnt över landet och studien främst analyserar data från mellersta samt norra delar av Sverige. Det skulle också kunna bero på att studien täcker en för kort tidsperiod för att dessa trender ska kunna observeras.

Det kan även finnas förändringar i nederbördsmönster som denna analys ej har fått med vilket kan bero på att analysen utfördes på årsnederbörd och ej på månadsvärden samt att nederbördstypen snö eller regn inte studerades. Det skulle därför vara intressant att titta mer på nederbördsmönster och typ av nederbörd.

Vattenkemin i sjöarna visar på en förändring sedan 1993. Totalfosfor visar på en tydlig minskning och pH-värdet visar på en ökning. Inga trender hittades dock för TOC.

Den negativa trenden i totalfosfor i sjöarna syns i alla sjöar utom i Pahajärvi där halten istället stiger. Detta stämmer överens med Huser et al (2018) där 50% av undersökta sjöar uppvisade minskande trender i totalfosfor. Det stämmer även överens med Creed et al (2018) där resultatet visar på att klimatförändringarna leder till en minskad halt näringsämnen i sjövattnen.

Det finns i den här studiens resultat inte någon tydlig korrelation mellan minskade fosforhalter och trender i klimatet. Det går dock att se att de två mest alpina sjöarna Latnajaure och Njalakjaure minskar mest i totalfosfor och tillsammans med sjön Abiskojaure stiger tydligast i temperatur. I korrelationstester utan sjön Pahajärvi, syns en antydning till korrelation mellan den positiva trenden i temperatur och den negativa trenden i totalfosfor, dock är den inte signifikant efter Bonferroni korrektion. Det hade varit intressant att göra en större studie på fler sjöar och se om det faktiskt finns någon typ av samband mellan temperatur och totalfosfor. Detta för att se om klimatförändringen kan vara en del i orsaken till oligotrofering i subarktiska och alpina sjöar. Det finns kända fel i databaserna för fosforhalt fram till 1996 där mätvärdena visar 1.2 µg/l för högt men minskningen syns tydligt genom hela den undersökta tidsperioden (Sonesten &

Engblom, 2001). 1.2 µg/l för högt påverkar inte heller resultatet avsevärt då den sjö som minskat mest har minskat med 9 µg/l och medianminskningen ligger på en minskning på 6.35 µg/l.

Vad den avvikande positiva trenden i totalfosfor för sjön Pahjärvi kan bero på är svårt att förklara då det inte finns någon korrelation mellan varken trender i temperatur, nederbörd eller någon vattenkemiskparameter. Resultaten i Pahjärvi kan tänkas bero på faktorer som ej analyserats i denna studie.

Enbart sjön Njalakjaure uppvisade en trend i TOC vilket går emot Huser et al (2018) där de sin rapport ser en negativ korrelation mellan TOC och totalfosfor som förklaras av ändrad markemi till följd av återhämtning från försurning. Detta borde innebära en ökning i TOC precis som totalafosfor visar. Varför denna studiens resultat inte uppvisar en sådan trend eller korrelation skulle kunna antyda att det inte är samma mekanismer som är verksamma i de sjöar som analyserats i denna studie.

Trots att inga signifikanta trender i TOC hittades syntes en positiv korrelation mellan trender i TOC och trender för växtplanktonklassen Chlorophyta. Detta skulle kunna tänkas bero på att förhållanden i vattnet har blivit mer gynnsamma för denna stam.

Ökningen i pH var förväntad på grund av minskade utsläpp av svaveldioxid och den långsamma återhämtningen och detta stämmer överens med resultaten från Futter et al (2014). Det är dock svårt att säga om klimatförändringarna kan ha påverkat denna återhämtning i pH-värde. Anledningen till att inga korrelationer med den positiva trenden i pH och trender för de olika växtplanktonstammarna och klasserna hittades kan tänkas bero på att pH-värdet ligger runt ett neutralt värde under hela tidsperioden. Ingen av sjöarna blir markant basiska eller sura under den undersökta tidsperioden och därför klarar antagligen växtplanktonen som lever i sjöarna förändringarna bra.

Sjön Pahjärvis i jämförelse mycket höga halt av fosfor gör att korrelationstester där fosfor ingår som parameter visar på korrelationer som ej är representativa för de andra sjöarna. Resultaten från dessa korrelationstester visade nämligen på en positiv korrelation mellan trender i fosfor och trender biovolym trots att fosfor generellt sett minskar och biovolymen ökar. Detta resultat kan förklaras av att fosfor stiger i Pahjärvi till jämförelsevis höga nivåer samtidigt som biovolymen i sjön också stiger markant. Positiva korrelationer med trender i totalfosfor och växtplanktonstammarna Charophyta och Cyanobacteria syns också enbart i Pahjärvi.

Om Pahjärvi utesluts från korrelationenstesterna syns inte längre varken en positiv eller negativ korrelation mellan trender i totalfosfor och trender för biovolym och inte heller någon korrelation med trender i totalfosfor och växtplanktonstammarna Charophyta och Cyanobacteria. Istället ökar biovolymen generellt medan fosforhalten i sjöarna minskar. Ökningen i biovolym av växtplankton, trots minskningen i totalfosfor, går emot Verbeek et al (2018) som beskriver att en mindre mängd näringsämnen i vattnet leder till en mindre volym av växtplankton. En förklaring till detta skulle kunna tänkas vara att den minskande fosforhalten eller andra parametrar som ej undersökts i denna studie påverkar interaktioner i födöväven i ekosystemet på ett sådant sätt att betningstrycket på växtplankton minskar.

En annan korrelation som syns när Pahajärvi ej är med i analysen är att gruppen övriga växtplanktonklasser ökar med sjunkande fosforhalter. Detta skulle kunna förklaras med att växtplanktonklasserna som grupperats till övriga klasser trivs i näringsfattigt vatten eller att det finns tillräckligt med fosfor för dessa växtplankton att öka i massa och att de gör det på grund av andra parametrar.

Ingen trend hittades i någon sjö när det kommer till diversitet vilket indikerar att diversiteten ej har påverkats av klimatförändringarna eller utav förändringarna i pH och totalfosfor. Detta stämmer ej överens med Verbeek et al (2018) som kommer fram till att ökade temperaturer leder till en lägre diversitet. Växtplanktonklassen Chrysophyceae har dock minskat medan Charophyta, Cryptophyta, Cyanobacteria, Synurophyceae och gruppen som kallas för övriga plankton har ökat. Detta kan vara en indikation på framtida minskning i diversitet då vissa växtplanktongrupper ökar mer än andra medan vissa grupper minskar. De negativa korrelationerna mellan trender för diversitet och Cyanobacteria och Dinophyceae kan förklaras av att när en växtplanktonklass stiger avsevärt och representerar en större del av den totala biovolymen så minskar diversitetsindexets värde.

Felkällor

De luckor som finns i både vattenkemi- och växtplanktondata hos vissa sjöar kan göra att trendanalyserna i denna studie blir lite osäkra, framförallt i de tidigare åren. Luckorna kan nämligen göra så att vissa parametrar, främst data över växtplankton visar på en ökning vid åren 1995–1996 för att det inte är förrän här alla sjöarna finns representerade. Dessa osäkerheter skulle i så fall kunna påverka hur signifikanta de uppvisade trenderna är i början av den undersökta tidsperioden men inte att dessa trender finns. Detta då ökningen i temperatur, minskningen i totalfosfor, ökningen i pH och ökningen i biovolym syns i flera sjöar och under resten av den undersökta tidsperioden. Alla sjöarna provtogs inte heller lika ofta och för vissa sjöar har medianvärden använts då flera mätningar har gjorts under perioden som data användes ifrån till denna studie. Detta skulle kunna leda till skillnader i hur representera mätvärdena är för de olika sjöarna. Dessa skillnader skulle dock i sådana fall vara mera betydande vid analyser på sjöarna enskilt och ha en mindre påverkan på de generella trender som iakttagits.

Slutsatser

De slutsatser som kan dras från resultaten i denna analys är att mätvärden för årsmedeltemperaturen i Sverige visar på en ökning sedan 1993 men att inga trender syns i årsnederbörd för de undersökta sjöarna under tidsperioden 1993–2017. Inga signifikanta korrelationer syns mellan temperaturökningen och de kemiska eller biologiska vattenparametrarna. Det finns dock en antydning till korrelation mellan stigande temperatur och sjunkande totalfosfor, särskilt i de mest alpina sjöarna. Den totala fosforhalten i de undersökta sjöarna uppvisar en negativ trend. Ingen trend sågs i TOC men en stigning i pH-värde hittades. Minskningen av fosfor och ökningen i pH verkar dock inte ha en direkt påverkan på växtplanktonens biovolym och diversitet då inga korrelationer som styrker detta hittades. Biovolymen uppvisar en positiv trend trots minskningen i fosfor och diversiteten verkar opåverkad. Vidare forskning bör göras på varför den totala fosforhalten i sjöarna sjunker, om detta har någon koppling till den ökande temperaturen, samt vad denna minskning i framtiden

kan komma att innebära för ekosystemen i svenska subarktiska och alpina sjöar. Det hade även varit intressant att titta vidare på den positiva trenden i totalfosfor i sjön Pahajärvi samt att studera eventuella mönster i nederbördstyp.

Referenser

1. Andersson, B.I., 2002. *Återförsurning av sjöar*. Naturvårdsverket, Stockholm. Tillgänglig: <https://naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5249-7.pdf> [2019-06-01]
2. Bertills, U., Warfvinge, P., 2000. Naturens återhämtning från försurning. Naturvårdsverket, Stockholm. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/documents/publikationer/620-6074-0.pdf> [2019-06-01]
3. Bunn, A.G., Goetz, S.J., Kimball, J.S., Zhang, K., 2007. *Northern high-latitude ecosystems respond to climate change*. *Eos Trans. Am. Geophys. Union* 88, 333–335. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1029/2007EO340001> [2019-06-01]
4. Creed et al., 2018. *Global change-driven effects on dissolved organic matter composition: Implications for food webs of northern lakes*. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1111/gcb.14129> [2019-06-01]
5. Dyntaxa, u.å. Tillgänglig: <https://dyntaxa.se/> [2019-06-01]
6. Ekelund, N., 2012. *Hur påverkar klimatförändringar sjöar och hav?* Institutionen för Natur, Miljö, Samhälle, Malmö Högskola. Tillgänglig: <http://muep.mau.se/bitstream/handle/2043/14631/vatten2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [2019-06-01]
7. Futter, M.N., Valinia, S., Löfgren, S. et al. 2014. *Long-term trends in water chemistry of acid-sensitive Swedish lakes show slow recovery from historic acidification*. *AMBIO* 43(Suppl 1): 77. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0563-2> [2019-06-01]
8. Havs och Vattenmyndigheten, 2014. *Försurning av sjöar och vattendrag*. Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/miljopaverkan/forsurning-av-sjoar-och-vattendrag.html> [2019-06-01]
9. Havs och Vattenmyndigheten, 2016. *Växtplankton i sjöar*. Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/download/18.2a9deb63158cebbd2b44f36f/1481199261033/vaxtplanktonsjoar.pdf> [2019-06-01]
10. Huser, B.J., Futter, M.N., Wang, R., Fölster, J., 2018. *Persistent and widespread long-term phosphorus declines in Boreal lakes in Sweden*. *Science of The Total Environment* Volumes 613–614, s. 240-249. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717324105> [2019-06-01]
11. Institutionen för vatten och miljö, 2016, *Trendsjöar*. SLU. Tillgänglig: <https://www.slu.se/institutioner/vatten-miljo/miljoanalys/sjoar-och-vattendrag/trendsjoar/> [2019-06-01]
12. IPCC, 2018. Tillgänglig: <https://www.ipcc.ch/sr15/> [2019-06-01]
13. Köhler, S.J., Buffman, I., Seibert, J., Bishop, K. H., Ludon, H., 2009. *Dynamics of stream water TOC concentrations in a boreal headwater catchment: Controlling factors and implications for climate scenarios*. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.04.012> [2019-06-01]
14. Lampert, W., Sommer, U., 1997. *Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams*. Oxford university press. ISBN: 0-19-509592-8
15. Luftweb, u.å. *Klimatdata för miljöövervakning*. SMHI. Tillgänglig: <http://luftweb.smhi.se/> [2019-06-01]
16. Magurran, A.E., 2003. *Measuring Biological Diversity*. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-0-632-05633-0

17. Miljödata MVM, 2019. SLU. Tillgänglig: <https://miljodata.slu.se/mvm/> [2019-06-01]
18. Miljöstatistik.se, u.å. *Mann-Kendall test*. Tillgänglig: <http://www.miljostatistik.se/mannkendall.html> [2019-06-01]
19. Naturvårdsverket, 2010. *Växtplankton i sjöar*. Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/download/18.64f5b3211343cffddb280004877/V%C3%A4xtp plankton+i+sj%C3%B6ar.pdf> [2019-06-01]
20. Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., 2007. *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1633–1644. Tillgänglig: <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.html> [2019-06-01]
21. Pérez, M.T., Sommaruga, R., 2006. *Differential effect of algal- and soil-derived dissolved organic matter on alpine lake bacterial community composition and activity*. *Limnol. Oceanogr.* 51, 2527–2537. Tillgänglig: <https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.6.2527> [2019-06-01]
22. SMHI, u.å. a, *Sveriges framtida klimat*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarioer?area=swe&var=t&sc=rcp85&seas=ar&dnr=99&sp=sv&sx=0&sy=100> [2019-06-01]
23. SMHI, u.å. b, *Modelldata per område*. Tillgänglig: <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/> [2019-06-01]
24. Sonesten, L., Engblom, S., 2001. *Totalfosforanalyser vid institutionen för miljöanalys 1965–2000*. Institutionen för miljöanalys, SLU. Tillgänglig: <https://pub.epsilon.slu.se/12589/1/TotP.pdf> [2019-06-01]
25. Vattenkemiska laboratoriet, 2017. *pH-värde - vattnets surhet*. SLU. Tillgänglig: <https://www.slu.se/institutioner/vatten-miljo/laboratorier/vattenkemiska-laboratoriet/detaljerade-metodbeskrivningar/ph/> [2019-06-01]
26. Vattenkemiska laboratoriet, 2018. *Totalt organiskt kol, TOC*. SLU. Tillgänglig: <https://www.slu.se/institutioner/vatten-miljo/laboratorier/vattenkemiska-laboratoriet/detaljerade-metodbeskrivningar/toc/> [2019-06-01]
27. Verbeek, L., Gall, A., Striebel, M., 2018. *Warming and oligotrophication cause shifts in freshwater phytoplankton communities*. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1111/gcb.14337> [2019-06-01]
28. Vincent, W. F., Laybourn-Parry, J., 2008. *Limnology of Arctic and Antarctic Ecosystems*. Oxford university press. ISBN: 978-0-19-921389-4
29. Waite, S. 2000. *Statistical Ecology in Practice*. Pearson Education. ISBN: 0-582-2363-7 [2019-06-10]
30. Zar, J. H., 1984. *Biostatistical Analysis*. 2. Uppl. Prentice-Hall, ISBN: 0-13-077925-3 [2019-06-10]

Appendix 1

Sjö	Första år	År utan data
Latnajaure	1995	2006, 2018
Abiskojaure	1993	2011, 2018
Jutsajaure	1993	2011, 2018
Pahajärvi	1995	1997
Njalakjaure	1996	2018
Louvvaure	1996	
Stor-Tjulträsket	1993	
Vuolgamjaure	1995	
Dunnervattnet	1995	
Degervattnet	1996	
Stor-Björnsjön	1996	
Fyrsjön	1996	2018
Stor-Backsjön	1996	
Fjätsjön	1996	

Tabell A1. Luckor i växtplanktondata hos de olika sjöarna