



Länsstyrelserna



Klimatrelaterade förändringar i sjöar och vattendrag

En jämförelse mellan två perioder
(1995-2000 och 2009-2014)

- Klimatrelaterade
förändringar i sjöar och
vattendrag

En jämförelse mellan två perioder
(1995-2000 och 2009-2014)

Meddelande nr 2016:37 (Jönköpings län)
2016:59 (Västra Götalands län)

Meddelandenummer	2016:37 (Jönköpings län) 2016:59 (Västra Götalands län)
Kontaktpersoner	Maria Carlsson, Naturavdelningen, Länsstyrelsen i Jönköpings län Ragnar Lagergren, Vattenavdelningen, Länsstyrelsen i Västra Götalands län November , 2016
Författare	Johan Ahlgren, Marika Stenberg, Per Nyström och Kajsa Åbjörnsson Ekoll AB
Webbplats	www.lansstyrelsen.se/jonkoping
Fotografier	Gunnel Hedberg
ISSN	1101-9425
ISRN	LSTY-F-M—16/37--SE
Tryckt på	Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2016
Miljö och återvinning	Rapporten är tryckt på miljömärkt papper

© Länsstyrelsen i Jönköpings län 2016

Förord

Inom Länsstyrelsernas regionala miljöövervakning finns något som kallas gemensamma delprogram där flera län samarbetar med att samla in och utvärdera data med gemensamma metoder. Denna rapport är resultatet av två sådana program, Vattenkvalitet i sjöar och Vattenkvalitet i vattendrag. I dessa delprogram deltar länen med sina regionala data, men även data från nationell övervakning har använts. Totalt har 177 sjöar och 121 vattendragslokaler ingått i analysen. Rapportens huvudfokus har varit att sätta de förändringar som skett i sjöar och vattendrag i ljuset från de pågående klimatförändringarna. Vi har valt att fokusera på en jämförelse mellan två tidsperioder 1995-2000 och 2009-2014.

Arbetet har utförts av Ekoll AB med medel från Havs- och vattenmyndigheten. Vi vill också tacka alla som deltog på mötet i Göteborg i maj 2016 för värdefulla synpunkter på den blivande rapporten och ett särskilt tack till Lars Stibe på Länsstyrelsen i Halland för synpunkter även på det slutliga manuset.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	8
Inledning	10
Statistiska metoder	12
Urval av sjöar och vattendrag	12
Statistiska metoder	12
Statistiska modeller	15
Resultat och diskussion	17
Klimatvariabler	17
Kemisk-fysikaliska faktorer	18
Siktdjup, Absorbans, TOC och Järn	20
Närsalter	27
Sulfat, alkalinitet och pH	32
Biologiska faktorer	39
Slutsatser	48
Referenser	49
Bilaga 1, Samtliga sjöar och vattendrag	51
Bilaga 2, Beskrivande statistik från rmANOVA	61
Bilaga 3. Samtliga resultatfigurer	63

Sammanfattning

Miljöövervakningsprogrammen ger oss möjligheten att övervaka hur storskaliga förändringar, såsom klimatet och försurningen, påverkar våra sjöar och vattendrag. Det nationella sötvattensprogrammets delprogram ”Trendstationer sjöar” och ”Trendstationer vattendrag” kan tillsammans med regionala övervakningsprogram ge en övergripande bild av den nuvarande statusen samt fungera som ett verktyg för övervakning av potentiella förändringar i våra sötvattenssystem.

En faktor som kan framkalla stora förändringar är den pågående klimatförändringen, vilken bland annat innebär en högre medeltemperatur och förändrade vädersystem. Till exempel leder dessa förändringar till en förlängd växtsäsong och en snabbare nedbrytning av organiskt material i marken. Samtidigt kommer de kraftigare regnen att öka på vissa platser, vilket leder till att mer organiskt material sköljs ut i våra sjöar och vattendrag. Den ökade temperaturen förändrar också spelreglerna för de organismer som är anpassade för kallt vatten och det möjliggör att nya områden kan koloniserats av arter som är anpassade för varmare klimat.

Det finns även andra antropogena störningar som påverkar våra sjöar och vattendrag, till exempel utsläppen av svaveldioxid som låg bakom den kraftiga försurning av mark och vatten som man än idag ser konsekvenserna av. Utsläppen av svaveldioxid har sedan 80-talet minskat kraftigt och nu börjar man se en långsam återhämtning i vissa sjöar och vattendrag. För att förstå mer om hur dessa direkta och indirekta effekter av klimatförändringarna och försurningen påverkar våra svenska vatten har denna studie utvärderat tidsseriedata för perioderna 1995-2000 och 2009-2014 från svenska sjöar och vattendrag.

Samtliga sjöar och vattendrag i denna studie ingår i den nationella eller regionala miljöövervakningen och totalt har 177 sjöar och 121 vattendragslokaler inkluderats i analyserna. Generella förändringar mellan perioderna i vattenkemi och biologiska parametrar har studerats. Likaså om dessa förändringar skiljer sig åt beroende på sjöarnas och vattendragens storlek, vattenfärg och alkalinitet. Slutligen har även sjöarnas och vattendragens geografiska placering baserat på de så kallade ekoregionerna inkluderats i utvärderingen.

De kemisk-fysikaliska parametrar från sjöarna och vattendragen som har undersökts är lufttemperatur, absorbans, TOC (totalt organiskt kol), järn, sulfat, totalkväve, totalfosfor samt pH och alkalinitet. Förändringar avseende växtplankton har studerats med hjälp av parametrarna total biovolym (mm^3/l), trofiskt planktonindex (TPI), antalet växtplanktonarter och andelen cyanobakterier. För bottenfauna har förändringar av kvoten Oligochaeta/Chironomidae analyserats.

Resultaten visar att siktdjupet i de undersökta sjöarna minskar mellan perioderna. Denna minskning i siktdjup kan kopplas till den ökning av TOC, absorbans och järn som sker parallellt. För vattendragen sker en liknande utveckling med en generell ökning i absorbans, TOC och järn. Dessa förändringar har dels en direkt koppling till klimatförändringarna genom en förlängd växtsäsong och dels en koppling till ökad nedbrytning vilket leder till mer tillgängligt organiskt material. Vidare så kan förändringar i nederbörden påverka hur

mycket av detta organiska material som spolas ut i vattensystemen. Dessutom så spelar den minskade sulfatdepositionen en stor roll i den ökande vattenfärgen och i förlängningen siktdjupet genom kemiska förändringar i jordlagren som leder till att mer material blir tillgängligt och kan sköljas ut i vattnet. Den minskade mängden sulfat i sjöarna och vattendragen är den tydligaste förändringen i datamaterialet och kan direkt kopplas till en minskad sulfatdeposition, men inte till klimatförändringarna. Denna minskning syns även i pH och alkaliniteten som båda generellt ökar mellan perioderna. Förändringen för pH och alkalinitet är dock inte lika tydlig som för sulfat. Även om trenderna är desamma i vattendragen som för sjöarna är förändringen dock inte lika tydlig i vattendragen. Orsaken är de fysiska skillnaderna mellan vattendrag och sjöar, där vattendragen ser mycket kraftigare variationer i flöde inom och mellan år och därmed också i de undersökta variablerna.

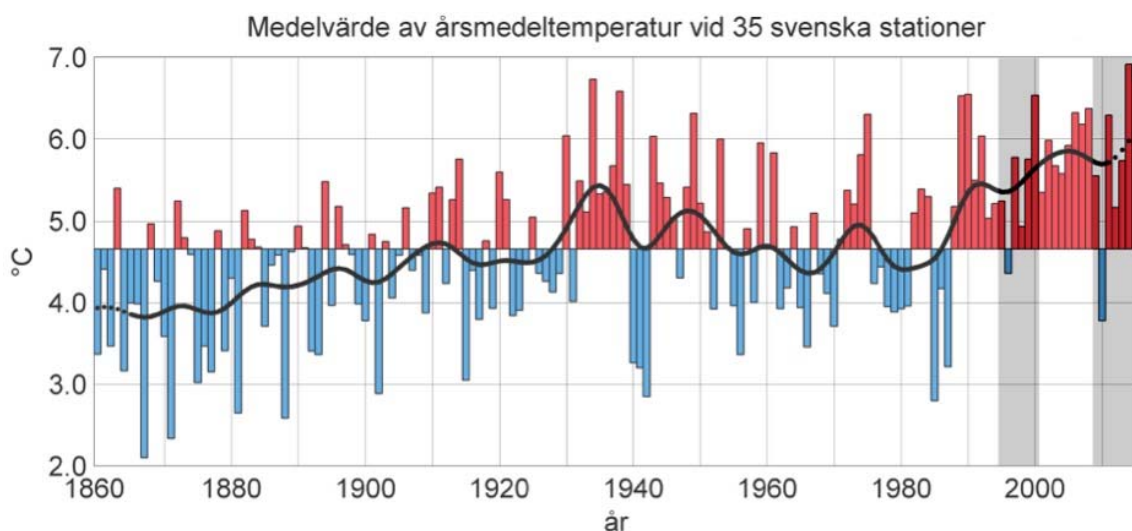
För sjöarnas närsalter sker också signifikanta förändringar mellan perioderna, kväve minskar generellt, medan fosfor minskar eller ökar beroende på vilken sjötyp man tittar på. För vattendragen sker inte några generella förändringar i fosfor mellan de undersökta perioderna, däremot så minskar kväve generellt även i vattendragen. Kväveminskningen kan delvis härledas direkt till den minskning i atmosfärisk deposition som skett under perioden, men åtgärder inom skogs- och jordbruket för att minska kväve- och fosforläckaget påverkar antagligen också förändringen av närsaltskoncentrationerna. Här kan en mer lokal utvärdering där man även inkluderar olika kväveminskande åtgärder samt markanvändning i analyserna, ge en bättre förståelse för vad som drivit förändringen i näringssalter.

Bland de biologiska variabler som har kunnat undersökas så ökar antalet växtplanktonarter generellt i sjöarna mellan perioderna, vilket kan vara en respons på den minskade försurningen. Vidare så ökar det trofiska planktonindexet mellan perioderna, vilket indikerar att sjöarna blivit näringsrikare. En möjlig förklaring kan också vara den ökade mängden TOC och därmed en tillförsel av mer organiskt bundna närsalter. Det är dock så att även om det sker en ökning i trofiska planktonindex så visar det fortfarande inte på att det finns några kraftiga övergödningssproblem i de undersökta sjöarna. Vidare har andelen cyanobakterier och den totala biovolymen växtplankton inte förändrats generellt under perioden. För bottenfaunan undersöktes Oligochaeta/Chironomidae-kvoten, som ökar generellt vid övergödning för att syrgashalten blir låg och/eller den organiska belastningen hög på sjöbotten. För kvoten sker inga generella förändringar, dock sker det förändringar när sjöarna delas upp i sjötyp. Det är svårt att hitta någon generell förklaring till dessa förändringar, men lokala och mer ingående analyser kan möjligen hitta förklaringar till dessa förändringar i O/C kvoten. Det saknas mycket biologiska provtagningar i det datamaterial som låg till grund för denna studie, för vattenkemin finns det till exempel ca 170 sjöar, men för biologin endast ca 50 sjöar som kan inkluderas i utvärderingen. Med tanke på de stora förändringar som sker i vattenfärg och sulfatkoncentrationer så skulle övergripande analyser av både bottenfauna och växtplankton vara av stor betydelse för miljöövervakningen av våra sjöar och vattendrag.

Sammanfattningsvis har klimatförändringarna i form av temperaturökningar och förändrade nederbördsmonster påverkat våra sjöar och vattendrag under perioden 1995-2014. Men även andra faktorer, såsom den minskande sulfatdepositionen, påverkar våra sjöar och vattendrag. Dels direkt genom högre pH och alkalinitet, men framför allt indirekt genom förändringar i exporten av TOC och järn. I förlängningen ökar denna export brunifieringen och tillgången på kol och närsalter för djur och växter.

Inledning

För att kunna övervaka hur stora miljöförändringar som klimatet och försurningen orsakar i våra sjöar och vattendrag har det upprättats olika miljöövervakningsprogram. Det nationella sötvattensprogrammet har funnits i olika former sedan 1960-talet, men många sjöar och vattendrag har tillkommit vid revideringarna 1984, 1995, 1997 och 2007 då delprogrammen Trendsjöar och Trendvattendrag startades. Idag består Trendsjöarna främst av mellanstora sjöar (area 0,02 - 52,6 km²) utan någon kraftig påverkan från punktutsläpp samt annan markanvändning än skogsbruk. Trendvattendragen varierar däremot i både storlek och påverkan, så till skillnad från Trendsjöarna finns här i tillägg till de opåverkade vattendragen, vattendrag som påverkas av t.ex. jordbruk och/eller vattenreglering. Sjöarna provtas i regel fyra gånger per år medan vattendragen provtas varje månad. De regionala övervakningsprogrammen har ibland andra kriterier för sjöarnas och vattendragens storlek, påverkan och provtagningsfrekvens. Delprogrammen Trendsjöar och Trendvattendrag ger tillsammans med regionala övervakningsprogrammen en övergripande bild av både den historiska såväl som den nutida statusen för våra sötvattenssystem. Därför är dessa tidsserier utmärkta för att bedöma påverkan från, till exempel försurningen. I den information som samlats in finns även svaren på många av de frågor som ställts kring hur systemen förändrats i takt med att klimatet förändrats (Figur 1). Förutom de svar man kan få från vattenproverna ingår även provtagning av metaller, påväxtalger, makrofyter, växtplankton, bottenfauna och fisk i många av de övervakade systemen. Detta gör att man kan studera hur vattenkemin har förändrats över tid, men det möjliggör även att undersöka hur det i sin tur påverkat de organismer som lever i sjöarna och vattendragen. Samtliga sjöar och vattendrag i denna studie ingår i den nationella eller regionala miljöövervakningen, och totalt har 177 sjöar och 121 vattendrag inkluderats i analyserna (Tabell A1 & A2).



Figur 1. Staplarna visar om årsmedeltemperaturen varit högre (röda) eller lägre (blå) än medelvärdet för perioden 1961-1990. De två grå fälten till höger beskriver perioderna som analyserats i denna rapport. Originalfigur från SMHI.se.

De pågående klimatförändringarna härleds direkt till de mänskliga utsläppen av växthusgaser och dessa förändringar innebär bland annat en global temperaturökning samt förändrade vädersystem (IPCC 2013). Temperaturökningen leder i sin tur till att exempelvis växtsäsongen förlängs, och de förändrade vädersystemen innebär att man i vissa delar av landet, främst de norra och västra, kommer få fler och kraftigare översvämningar samtidigt som längre perioder av torka drabbar främst de sydöstra delarna (Sjökvist et al. 2013). Kraftiga skyfall kan leda till överbelastade avloppsnät, med risk för att orenat vatten släpps ut, men även att förorenade områden översvämmas vilket riskerar leda till ett ökat läckage från dessa områden. Den ökade avrinningen kan ge en ökad transport av näringsämnen och humusämnen, och därmed en ökad brunifiering (ökad vattenfärg) av våra sjöar och vattendrag (Granéli 2012). När det gäller brunifieringen av de svenska vattnen är det inte enbart klimatförändringarna som påverkar, även den minskade försurningen leder till en ökad vattenfärg genom att mer humus och järn kan frigöras ur markerna (Maloney et al. 2005, Erlandsson et al. 2008). Med följderna att i tillägg till en höjd temperatur och förändrade vädermönster är den minskade graden av försurning den mest påtagliga konsekvensen för våra svenska sjöar och vattendrag under den undersökta perioden. Sammantaget riskerar detta leda till ett mer färgat vatten, mer humus och närsalter vilket leder till en ökad risk för till exempel en större andel cyanobakterier. Även om brunifieringen upplevs som en försämring av vattenkvaliteten, skall man komma ihåg att det främst handlar om en återhämtning från försurningen och därmed en återgång till den vattenfärg sjöarna och vattendragen hade innan försurningen tog fart (Cunningham et al. 2011).

Indirekt kan alltså det varmare och brunare vattnet påverka de organismer som lever i våra sjöar och vattendrag. Sjöar i norra Sverige kommer få längre isfria perioder vilket förlänger växtsäsongen för till exempel växtplankton. Samtidigt som kallvattenarter får problem så kan andra arter vandra längre norrut och därmed förändra artsammansättningen i många sjöar och vattendrag. En annan förändring man kan vänta sig är att vissa invasiva arter nu får gynnsammare förhållande och kan etablera sig effektivare. Den ökande vattenfärgen kan gynna organismer som algen gubbslem (Rengefors et al. 2012) medan fiskar som jagar med hjälp av synen som till exempel gäddor får svårare att hitta föda (Jönsson et al. 2012).

Denna utvärdering syftar till att analysera om det skett några förändringar i sjöar och vattendrag mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014 och om dessa eventuella förändringar kan kopplas till direkta eller indirekta effekter av klimatförändringarna och/eller en minskad försurning. Vidare undersöks om det finns några skillnader i hur vattendragen och sjöarna påverkats baserat på deras geografiska placering i landet samt vattentypsklassning, alltså sjöarnas och vattendragens storlek, vattenfärg och alkalinitet.

Statistiska metoder

Urval av sjöar och vattendrag

Dataunderlaget till denna studie är beställt av uppdragsgivarna hos Länsstyrelsen i Västra Götalands län och Jönköpings län. Det har beställts utdrag från den nationella miljöövervakningen, men Länsstyrelserna runt om i landet har även fått lägga till sjöar och vattendrag från deras regionala övervakningsprogram. Därefter har ansvariga på Länsstyrelsen i Västra Götalands län och Jönköpings län gjort ett urval baserat på lokalernas lämplighet. Som ett sista steg gjordes ett urval baserat på de statistiska krav som ställdes, t.ex. krävdes det att sjöarna och vattendragen hade minst tre provtagningar per undersökt tidsperiod (se metoder nedan). Denna urvalsprocess har visat på en del brister i hanteringen av informationen i övervakningsprogrammen. All information har inte gjorts tillgänglig, vilket leder till att denna studie gått miste om viss information, främst biologiska provtagningar från en del sjöar och vattendrag. Ett annat problem är att strukturen på databaserna för de regionala och nationella övervakningsprogrammen är olika, vilket medför en del arbete innan t.ex. Trendsjöar kan jämföras med sjöar från den regionala miljöövervakningen.

Statistiska metoder

Syftet med undersökningen var att genom statistiska analyser avgöra om det i de svenska sjöar och vattendrag som ingår i miljöövervakningen skett några generella förändringar i kemisk-fysikaliska och biologiska faktorer mellan två tidsperioder (period 1: åren 1995-2000, period 2: åren 2009-2014). Det finns så klart fördelar med trendanalyser som inkluderar hela tidsperioden 1995-2014, men vi har här istället valt att titta på förändring mellan två perioder, bland annat på grund av enkelheten i presentationen som en sådan analys medför. Trendanalyser har också utförts för att försäkra att inga felaktiga slutsatser dras, men för enkelhetens skull så presenteras dessa inte. För några av lokalerna finns figurer för hela tidsperioden med de två tidsperioderna markerade.

Tabell 1. Beskrivning av de variabler som ingår i sjötypsindelningen.

Djup (medel)	Djup (max)	Yta	Vattenfärg	Kalk
>4 m (D)	>5 m (D)	>10 km ² (L)	>50 mg Pt/l (Y)	>1,0 mekv alk (Y)
</4 m (S)	</5 m (S)	</10 km ² (S)	</50 mg Pt/l (N)	<1.0 mekv alk (N)

Tabell 2. Beskrivning av sjötyperna samt hur många sjöar som analyserats i varje kategori.

Karaktärer	Beteckning	Antal
djup sjö, inte brunfärgad, kalkfattig	SDSNN	63
djup sjö, brunfärgad, kalkfattig	SDSYN	59
grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig	SSSNN	14
grund sjö, brunfärgad, kalkfattig	SSSYN	12
grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik	SSSNY	31

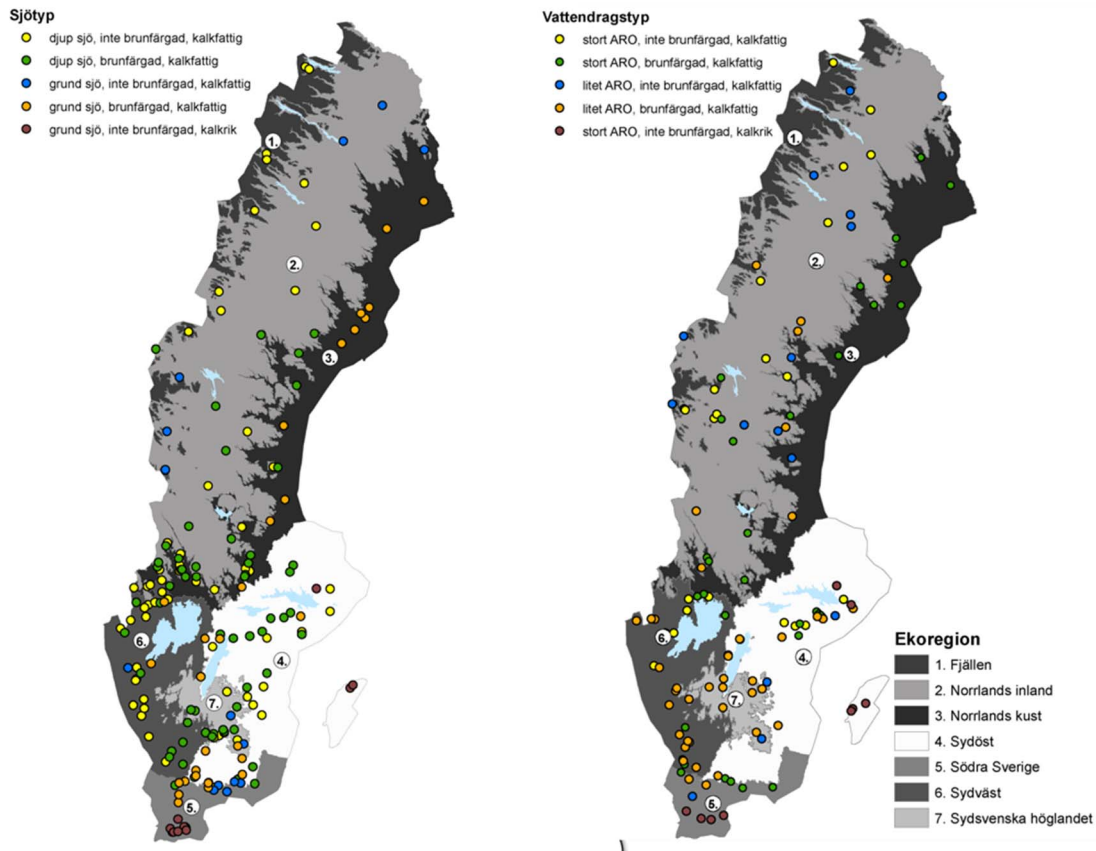
I tillägg till de två tidsperioderna undersöktes om ett antal relevanta vattenkaraktärer kunde förklara eventuella förändringar för sjöarna (fem sjötyper indelade efter djup, brunfärgning och om de var kalkrika eller ej, Tabell 1 och 2) och vattendragen (fem vattendragstyper indelade efter storlek på avrinningsområdet, brunfärgning och om de var kalkrika eller ej, Tabell 3 och 4).

Tabell 3. Beskrivning av de variabler som ingår i vattendragstypsindelningen.

Avrinningsområde	Vattenfärg	Kalk
>100 km ² (L)	>50 mg Pt/l (Y)	>1,0 mekv alk. (Y)
</100 km ² (S)	</50 mg Pt/l (N)	</1.0 mekv alk. (N)

Tabell 4. Beskrivning av vattendragstyperna samt hur många vattendrag som analyserats i varje kategori.

Karaktärer	Beteckning	Antal
stort ARO, inte brunfärgad, kalkfattig	VLNN	23
stort ARO, brunfärgad, kalkfattig	VLYN	32
litet ARO, inte brunfärgad, kalkfattig	VSNN	15
litet ARO, brunfärgad, kalkfattig	VSYN	46
stort ARO, inte brunfärgad, kalkrik	VLNY	9



Figur 2. Till vänster, sjötypernas fördelning på ekoregionerna och till höger, vattendragstypernas fördelning på ekoregionerna i Sverige. Vidare var syftet att utvärdera om dessa förändringar var desamma för sjöar och vattendrag belägna i olika delar av landet (de så kallade ekoregionerna 1-7, Figur 2).

För de sjöar som ingick i analyserna undersöktes nio kemisk-fysikaliska variabler (Tabell 5), fyra växtplanktonvariabler och för bottenfauna undersöktes en variabel (Tabell 6).

I vattendragen analyserades också nio kemiska-fysikaliska variabler. De variabler som analyserades i olika vattendragstyper finns beskrivna i Tabell 7.

Tabell 5. De fysikaliska-kemiska variabler som analyserades samt hur många sjöar som ingick i varje analys.

Fysikaliska – kemiska variabler	Antal sjöar
Siktdjup	166
absorbans	172
TOC	172
järn	156
Tot-N	177
Tot-P	177
SO ₄	177
Alk	173
pH	177

Tabell 6. De biologiska variabler som analyserades samt hur många sjöar som ingick i varje analys.

Biologiska variabler	Antal Sjöar
Växtplankton	
total biovolym (mm ³ /l)	57
Trofiskt planktonindex (TPI)	47
Antalet växtplanktonarter	57
Andelen cyanobakterier	41
Bottenfauna	
kvot oligochaeta/chironominae	66

För nästan samtliga sjöar och vattendrag finns komplett information om de kemiska och fysikaliska variablerna, men för många av de biologiska saknas det information, och därför har inte växtplankton och bottenfauna kunnat utvärderas för alla sjöar och vattendrag. Anledningarna till att det saknas information är flera. Dels ingår inte alla dessa tidskrävande analyser i alla de regionala övervakningsprogrammen och som nämnts ovan så har inte all information gjorts tillgänglig av ansvariga länsstyrelser och leverantören av informationen till denna studie har missat en del information som finns tillgänglig.

Tabell 7. De fysikaliska-kemiska variabler som analyserade för vattendrag samt vilka variabler som är analyserade för de olika vattendragstyperna (x=analyserats, 0=ej analyserat pga. bristande underlag).

Vattendragstyp	Variabler								
	Abs	TOC	järn	SO ₄	Tot-N	Tot-P	pH	Alk	Flöde
stort ARO, inte brunfärgad, kalkfattig	x	x	x	x	x	x	x	x	x
stort ARO, brunfärgad, kalkfattig	x	x	x	x	x	x	x	x	x
litet ARO, inte brunfärgad, kalkfattig	x	0	x	x	x	x	x	0	x
litet ARO, brunfärgad, kalkfattig	x	x	x	x	x	x	x	x	x
stort ARO, inte brunfärgad, kalkrik	0	0	0	0	x	0	x	0	0

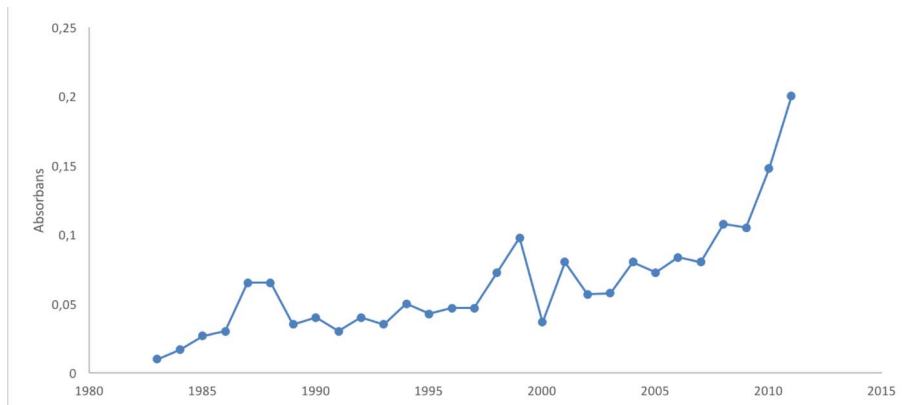
Statistiska modeller

Flera olika typer av statistiska tester användes och eftersom information saknas för vissa sjöar och vattendrag finns inte alla kombinationer av de olika sjö- och vattendragstyperna i tillräckligt antal i de olika ekoregionerna. Därför analyserades förändringarna i periodmedelvärden för de olika provtagningslokalerna separat för ekoregion och sjö- samt vattendragstyp.

För att testa om det finns generella förändringar över tiden för enskilda variabler för olika sjö- och vattendragstyper respektive ekoregioner, användes en analys med repeterad mätning (rmANOVA) för varje enskild variabel var för sig. Denna analys svarar på frågan om förändringen över tiden för enskilda variabler var desamma för olika sjö- och vattendragstyper respektive ekoregioner, till exempel om pH-värdet ökade i en viss sjötyp medan pH var oförändrat eller minskade i en annan. För att sedan ta reda på exakt vilka av de undersökta sjö- och vattendragstyperna eller ekoregionerna som förändrats, användes ett parat t-test där perioderna jämfördes för varje enskild sjö/vattendrag. Detta test gjordes för samtliga variabler, alla sjö- och vattendragstyper samt ekoregioner. Eftersom effekter av klimatförändringarna är i huvudfokus, har samma modeller även använts för att undersöka om lufttemperaturen (årsmedelvärde) vid sjöarna och flödet (årsmedelvärde) i vattendragen förändrats mellan perioderna.

Många av de undersökta sjöarna och vattendragen har förändrats under perioden, några på ett sådant vis att typindelningen (sjötyp och vattendragstyp) teoretisk har förändrats, det vill säga att några sjöar och vattendrag nu kan klassas om. Till exempel så har absorptionsen i Lilla Öresjön ökat så mycket att den inte längre bör klassas som "ej humös" (Figur 3). I

analyserna har den bedömda status sjöarna och vattendrag hade fått vid den första perioden (1995-2000) använts.



Figur 3. Lilla Öresjön har fått en ökad absorbans mellan perioderna och bör därmed byta sjökategori från ej humös till humös sjö, de två grå staplarna till höger beskriver perioderna som studerades i denna rapport.

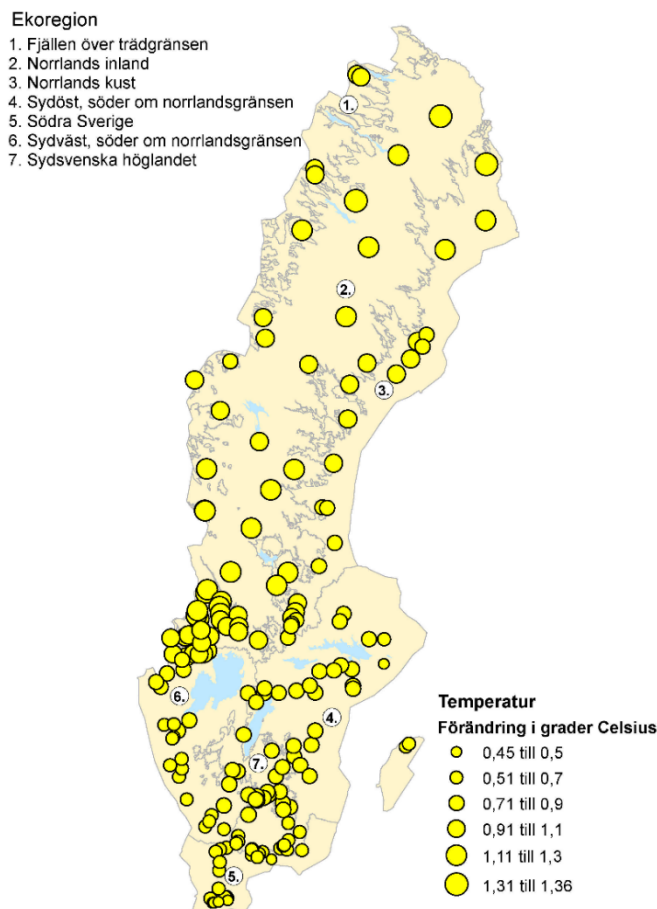
I den löpande resultattextern redovisas inte statistiska beräkningar (finns i Bilaga 2). Däremot är beskrivningarna av resultaten i text och tabeller baserade på om de är statistiskt signifikanta eller inte. De översiktsskador som beskriver förändringen i till exempel procent är baserade på medelvärden för respektive period och tar inte hänsyn till om förändringen är signifikant eller ej, utan visar all förändring.

För att uppfylla kraven om variabelernas normalfördelning och lika varians för de statistiska analyserna transformerades data enligt gängse praxis. Samtliga analyser genomfördes i programmet SPSS version 23 samt Excel version 15, båda för Macintosh.

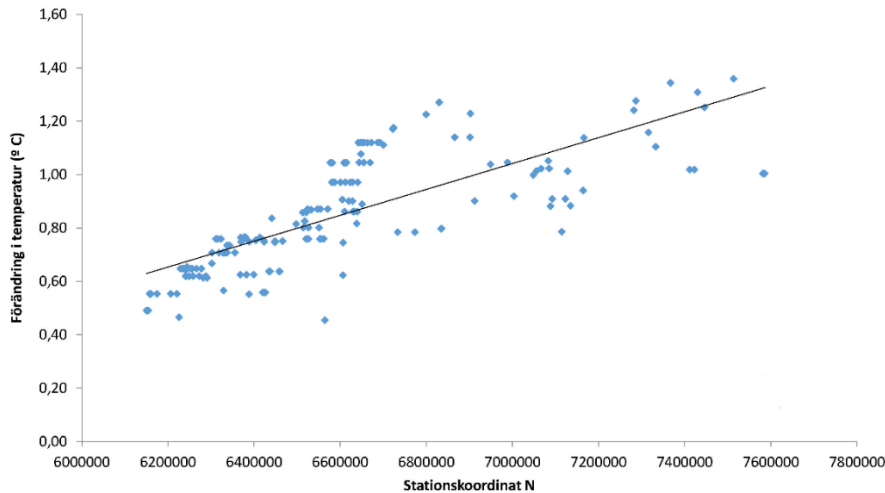
Resultat och diskussion

Klimatvariabler

Denna undersökning fokuserar inte på att undersöka förändringar i de faktiska klimatvariablerna, utan de fungerar endast som en förklaring till de förändringar man ser i vattensystemens kemi och biologi som beskrivs nedan. I spåren av mänsklighetens användande av fossila bränslen så har den globala temperaturen ökat och antas att fortsätta att öka (IPCC 2013). För den undersökta perioden har årsmedelvärdena för lufttemperaturen ökat vid samtliga undersökta sjöar (Figur 4), dessutom sker en större gradvis ökning ju längre norrut sjön ligger (Figur 5). Resultatet är helt i linje med de stora klimatförändringarna och det som klimatmodellerna beräknar skall fortsätta ske i framtiden. Dock kan man ej helt tillskriva denna ökning till klimatförändringarna, dels för att det i sammanhanget handlar om korta perioder (sex år) samt att det endast skiljer nio år mellan perioderna. Vid så här korta tidsperioder är det sannolikt att normala vädersvängningar också bidragit till den stora ökningen i temperatur. Till exempel så var det kallt under slutet på 1990-talet på grund av det storskaliga väderfenomenet NAO (nordatlantiska oscillationen), Figur 1.



Figur 4. Temperaturförändringen i årsmedelvärden (grader Celsius) för lufttemperaturen vid våra undersökta sjöar.



Figur 5. Förändringen i lufttemperatur i relation till sjöarnas placering längst N koordinaterna.

En annan parameter som påverkas av klimatförändringarna är flödet i vattendragen. Nederbörden förväntas öka och med ökad nederbörd kommer kraftigare flöden. Man förväntas se en ökning av översvämningar i de västra delarna av landet, medan till exempel de sydöstra delarna kan få en minskad risk för översvämningar. I denna studie har årsmedelvärdena i flöde för vattendragen jämförts mellan perioderna och det visar på en liten men generell minskning på $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$. Precis som med temperaturen är det svårt att dra några slutsatser från detta på grund av den korta tidsperioden som studerats. Vid kommande, mer flödesfokuserade studier, kan en längre tidsperiod samt andra, mer lämpliga flödesvariabler så som max- och minflöden vara av mer intresse än just årsmedelvärdena.

Kemisk-fysikaliska faktorer

Sjöar

I sjöarna har flera av variablerna förändrats signifikant mellan perioderna och det sker en generell ökning av absorbans, TOC, järn, pH och alkaliniteten och en minskning av siktdjup och sulfat (Tabell A3, bilaga 2). Även koncentration av närsalterna förändras, totalkväve minskar generellt medan fosfor visar på en generell ökning.

Tabell 8. Övergripande resultat för förändringen i olika sjötyper mellan perioderna baserat på de parade t-testen. Förändringar som var signifikanta ($p < 0.05$) visas med - för negativa och + för positiva förändringar, ns betyder icke signifikant, medan ns(+/-) betyder att där finns en tendens ($p < 0.1$).

Sjötyp	Siktdjup	Abs.	TOC	Järn	Tot-N	Tot-P	SO ₄	Alk	pH
djup sjö, inte brunfärgad, kalkfattig	-	+	+	+	-	-	-	+	+
djup sjö, brunfärgad, kalkfattig	-	+	+	+	-	ns	-	+	ns
grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig	-	ns	+	ns (+)	ns (-)	ns	-	+	+
grund sjö, brunfärgad, kalkfattig	-	+	+	+	ns	+	-	ns (+)	ns
grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik	+	ns	+	ns	ns (-)	+	-	ns	ns

De parade t-testen visar sedan mera i detalj hur de olika sjötyperna förändrats mellan perioderna och de övergripande trenderna i siktdjup, absorptions, TOC, järn, totalkväve, totalfosfor, sulfat, alkalinitet och pH för samtliga sjötyper och ekoregioner presenteras i tabeller (Tabell 8 och 9) och diskuteras i detalj nedan.

Tabell 9. Övergripande resultat för förändringen i sjöarna baserat på deras geografiska placering i ekoregionerna. Förändringar som var signifikanta mellan perioderna baserat på de parade t-testen ($p < 0.05$) visas med - för negativa och + för positiva förändringar, ns betyder icke signifikant och ns(+/-) betyder att där fanns en tendens ($p < 0.1$).

Ekoregion	Siktdjup	Abs	TOC	Järn	Tot-N	Tot-P	SO ₄	Alk	pH
1. Fjällen över trädgränsen	lågt n	lågt n	lågt n	lågt n	lågt n	lågt n	ns	lågt n	lågt n
2. Norrlands inland	-	+	+	+	-	-	-	+	+
3. Norrlands kust	-	+	+	+	ns	ns	-	ns (+)	ns
4. Sydöst, söder om norrlandsgränsen	-	+	+	+	ns	ns	-	+	ns
5. Södra Sverige	ns	ns	+	ns	-	+	-	ns	ns
6. Sydväst, söder om norrlandsgränsen	-	+	+	+	-	ns	-	+	+
7. Sydsvenska höglandet	-	+	+	+	-	ns	-	ns	ns

Vattendrag

Vattendragen har förändrats på ett liknande sett som sjöarna, med en generell ökning av absorptions, TOC, järn, pH och alkaliniteten och en minskning av sulfat och flöde mellan perioderna (Tabell A4). På grund av den stora variationen i flöde, och därmed också i de undersökta variablerna, så blir förändringen dock inte lika tydlig som i de undersökta sjöarna.

Tabell 10. Övergripande resultat för förändringen i olika vattendragstyper mellan perioderna baserat på de parade t-testen. Förändringar som var signifikanta ($p < 0.05$) visas med - för negativa och + för positiva förändringar, ns betyder icke signifikant, medan ns(+/-) betyder att där finns en tendens ($p < 0.1$).

Vattendragstyp	Abs	TOC	järn	SO ₄	Tot-N	Tot-P	pH	Alk	Flöde
stort ARO, inte brunfärgad, kalkfattig	+	+	ns	ns	-	ns	ns	+	-
stort ARO, brunfärgad, kalkfattig	+	+	+	-	-	ns	ns	+	-
litet ARO, inte brunfärgad, kalkfattig	ns	ns	ns	-	-	ns	ns	+	-
litet ARO, brunfärgad, kalkfattig	+	+	ns	-	-	+	+	+	-
stort ARO, inte brunfärgad, kalkrik	ns	+	lågt n	-	-	ns	+	+	lågt n

Resultaten från de parade t-testen visar i mer detalj hur siktdjup, absorptions, TOC, Järn, totalkväve, totalfosfor, sulfat, alkalinitet och pH förändras för samtliga vattendragstyper och ekoregioner (Tabell 10 respektive 11).

Tabell 11. Övergripande resultat för förändring i vattendrag i olika ekoregioner mellan perioderna baserat på parade t-test. Förändringar som var signifikanta ($p < 0.05$) visas med - för negativa och + för positiva förändringar, ns betyder icke signifikant. ns(+/-) betyder att där fanns en tendens ($p < 0.1$).

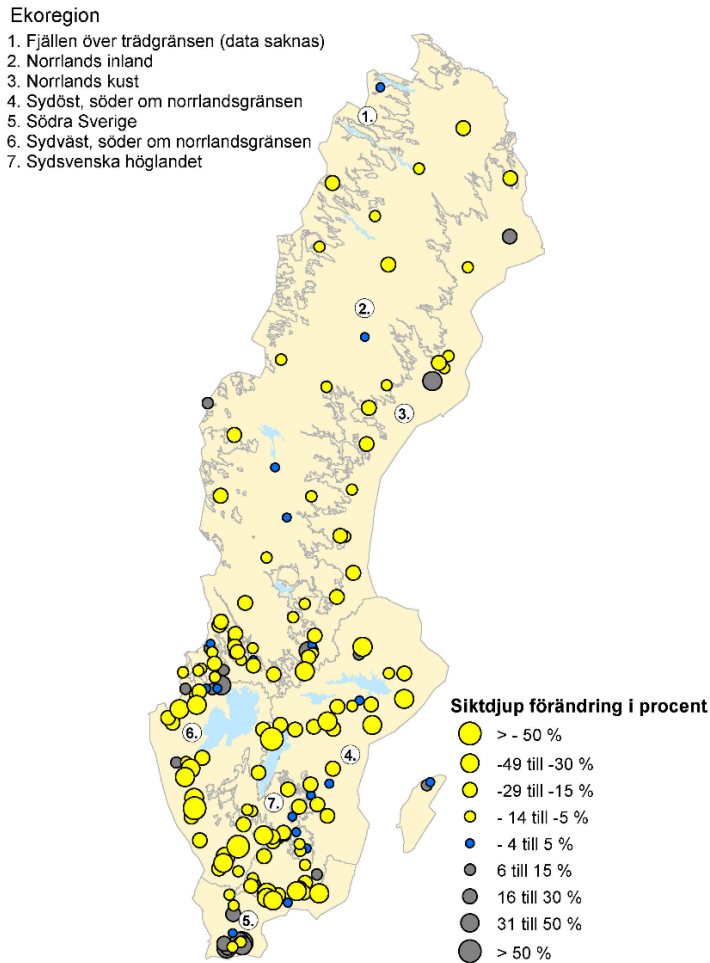
Ekoregion vattendrag	Abs	TOC	järn	SO ₄	Tot-N	Tot-P	pH	Alk	Flöde
1. Fjällen över trädgränsen	lågt n	lågt n	lågt n	lågt n	lågt n	lågt n	lågt n	lågt n	lågt n
2. Norrlands inland	ns	+	ns	ns	-	-	ns	ns	-
3. Norrlands kust	+	+	+	-	-	-	ns	+	-
4. Sydöst, söder om norrlandsgränsen	+	+	+	-	ns	+	ns	ns	-
5. Södra Sverige	+	+	ns	-	-	ns	ns	+	lågt n
6. Sydväst, söder om norrlandsgränsen	+	+	ns	-	-	ns	+	+	-
7. Sydsvenska höglandet	+	+	+	-	-	ns	+	+	lågt n

Siktdjup, Absorbans, TOC och Järn

Både klimatförändringarna och en återhämtning från försurning kan öka koncentrationen av TOC och järn genom att mer organiskt material och järn kan frigöras och spolats ut i vattendrag och sjöar. Detta påverkar direkt vattenfärgen genom en ökad brunifiering vilket syns i analyserna för absorbans, men även i det faktiska siktdjupet i sjöarna.

Siktdjup

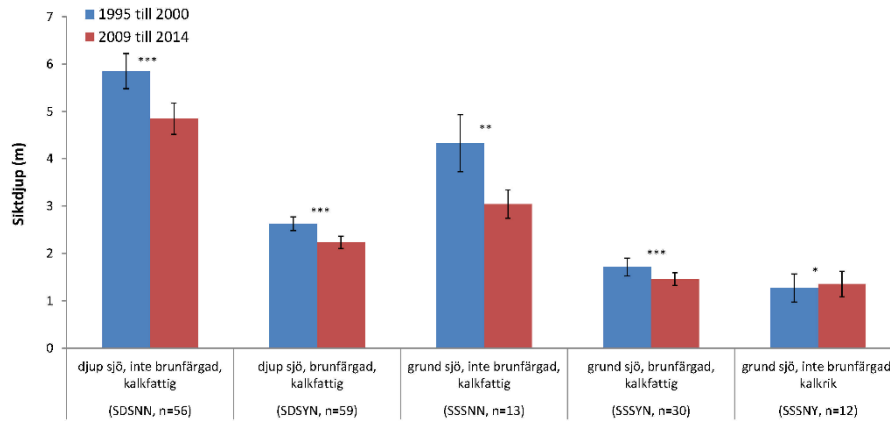
För att beskriva klarheten/grumligheten av ett vatten används det så kallade siktdjupet. Siktdjup bestäms genom att mäta till vilket djup det mänskliga ögat kan uppfatta en vit skiva (secchiskiva) som sänkts ned från ytan. Siktdjupet påverkas negativt av alger, mineraliska partiklar och organiskt material och av praktiska skäl används inte denna metod i vattendrag. Siktdjupet minskar i de undersökta sjöarna mellan de två tidsperioderna, och totalt visar 87% av de testade sjöarna ett minskat siktdjup på 5% eller mer (Figur 6).



Figur 6. Förändring i siktdjup (%) för de undersökta sjöarna mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

Siktdjup i sjöar fördelat på sjötyper och ekoregioner

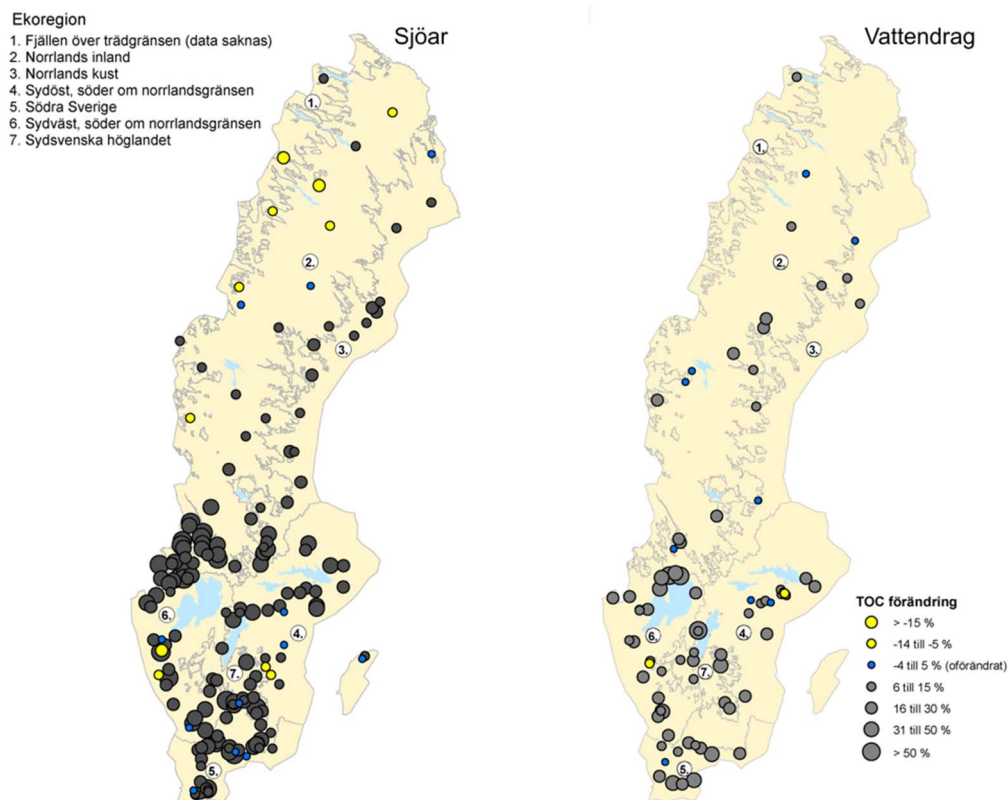
För en sjötyp ("grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik") är trenden ökat siktdjup, vilket är motsatt jämfört med den generella trenden för alla sjöar. (Figur 7). Dessa sjöar finns framförallt i södra Sverige och här är det snarare partiklar (växtplankton och lerpartiklar) än lösta ämnen som styr siktdjupet. Samtliga av dessa sjöar har också ett litet siktdjup och små förbättringar leder därför till stora procentuella förändringar. Så även om dessa sjöar förändrats signifikant är det inte lika självklart att så här små förändringar i siktdjup har några större biologiska konsekvenser. Däremot ser man i de kalkfattiga sjöarna, som tidigare haft ett stort siktdjup, en mer betydande försämring av siktdjupet (Figur 7). Förändringar av denna grad kan ha konsekvenser för utbredningen av undervattensväxter och organismer som är beroende av sin syn vid till exempel födosök. Förutom i ekoregion 5 (södra Sverige) minskar siktdjupet även i samtliga testade ekoregioner (Tabell 9), i södra Sverige finns många sjöar som ökar i siktdjup och den samlade bilden blir då att det inte sker någon generell förändring i denna ekoregion.



Figur 7. Förändring i siktdjup för de olika sjötyperna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

TOC

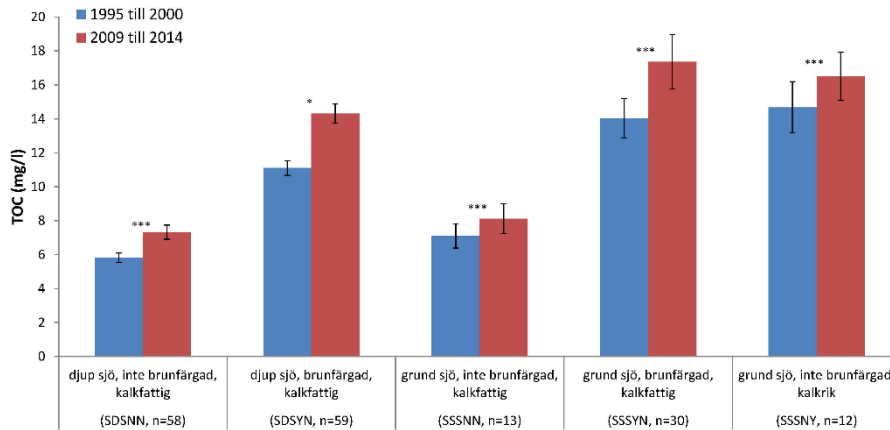
Koncentrationen av totalt organiskt kol (TOC) används för att beskriva mängden humusämnen i vattnet. Förutom att påverka vattenfärgen så innehåller humusämnena närsalter och syror vilket kan bidra till övergödning samt försurning av vattnet. För koncentrationen av TOC sker en generell ökning och i 86% av sjöarna ökar TOC med 6% eller mer (Figur 8). TOC har även ökat i vattendragen. Procentuellt är det 57% av vattendragen som visar på en ökning av TOC på 6% eller mer mellan perioderna (Figur 8). Denna kraftiga ökning av TOC bidrar till en ökning av vattenfärgen, men även av närsalter och organiska syror.



Figur 8. Förändring i TOC (%) för de undersökta sjöarna (vänster) och vattendragen (höger) mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

Toc i sjöar fördelat på sjötyper och ekoregioner

Ökningen av TOC sker i samtliga sjötyper (Figur 9) och ekoregioner som analyserats. Koncentrationen TOC klassificeras så att under 8 mg/l anses låg (eller mycket låg <4), mellan 8-12 mg/l som måttligt hög, mellan 12-16 som hög och över 16 mg/l som mycket hög (Wiederholm 1999). I flera av de undersökta sjöarna har TOC ökat så kraftigt att de fått en högre klass (Figur 9).



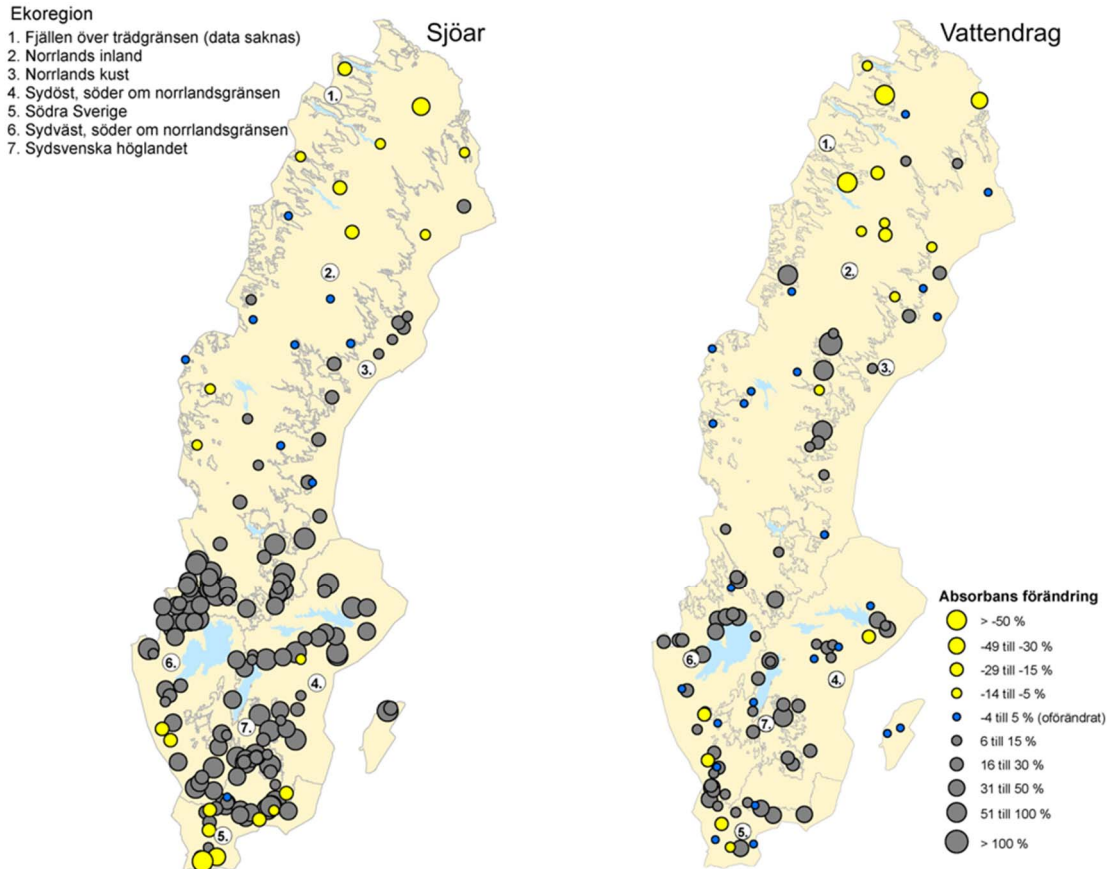
Figur 9. Förändring i koncentrationen av totalt organiskt kol (TOC) för de olika sjötyperna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

Toc i vattendrag fördelat på vattendragstyper och ekoregioner

Alla testade vattendragstyperna har förändrats på ett liknande sätt som sjöarna och visar på en signifikant ökning av TOC mellan perioderna (inte ”litet ARO, inte brunfärgad, kalkfattig”, men här är endast två vattendrag testade) (Tabell 10). Även alla testade ekoregioner (2-7) visar på en ökad TOC-koncentration mellan perioderna (Tabell 11).

Absorbans

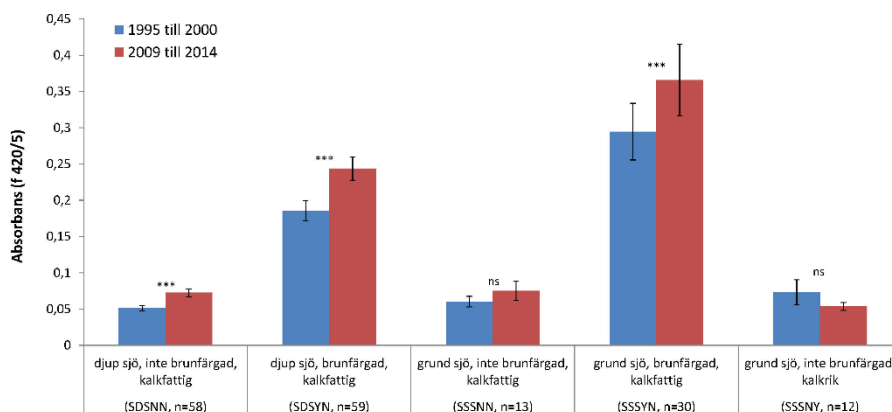
Som ett mått på vattenfärg används vattnets absorbans vid en specifik våglängd, ju högre absorbans desto mörkare vatten. Absorbansen ökar generellt mellan perioderna och av sjöarna är det 79% som ökar med 6% eller mer (Figur 10). Absorbansen har även ökat generellt i vattendragen och procentuellt ökar absorbansen med 6% eller mer i 57% av de undersökta vattendragen (Figur 10). Absorbansen påverkas precis som siktdjupet på ett direkt sätt av ökade TOC- och järnkonzentrationer och därför kan man anse att den ökade absorbansen delvis är ett resultat av klimatförändringarna, men främst ett resultat av den minskade försurningen.



Figur 10. Den procentuella förändringen i absorbans för de undersökta sjöarna (vänster) och vattendragen (höger mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014).

Absorbansen i sjöar fördelat på sjötyper och ekoregioner

Som nämnts ovan sker en generell ökning av absorbans mellan perioderna, men för de icke brunfärgade sjöarna är förändringen inte lika tydlig (Figur 11). De grunda icke brunfärgade sjöarna visar inte på någon signifikant förändring, medan djupa icke brunfärgade gör det.

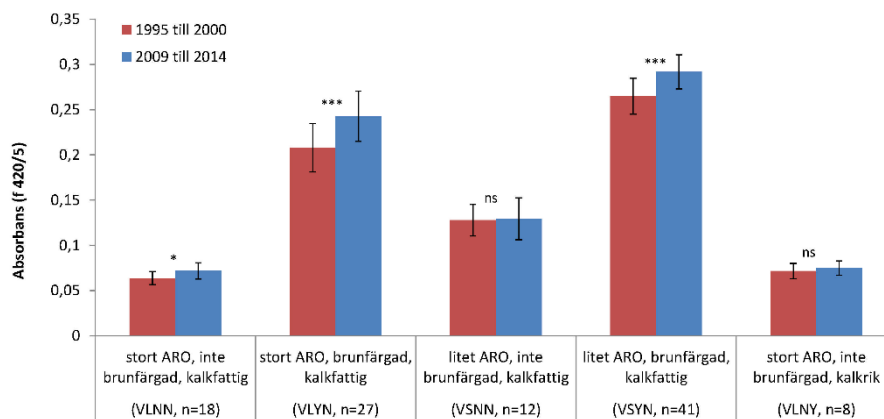


Figur 11. Absorbans i de olika sjötyperna för de två tidsperioderna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baseras på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

Just dessa djupa, inte brunfärgade och kalkfattiga sjöar är kanske de där förändringen kan leda till biologiska förändringar, då de går från svagt färgat vatten till ett måttligt färgat vatten (Naturvårdsverket 1990, Wiederholm 1999). De brunfärgade sjöarna ser dock en påtagligt större ökning i absorbans, men med tanke på att dessa vatten i många fall redan är starkt färgade är inte säkert att detta i alla fall är av biologisk signifikans.

Absorbansen i vattendrag fördelat på vattendragstyper och ekoregioner

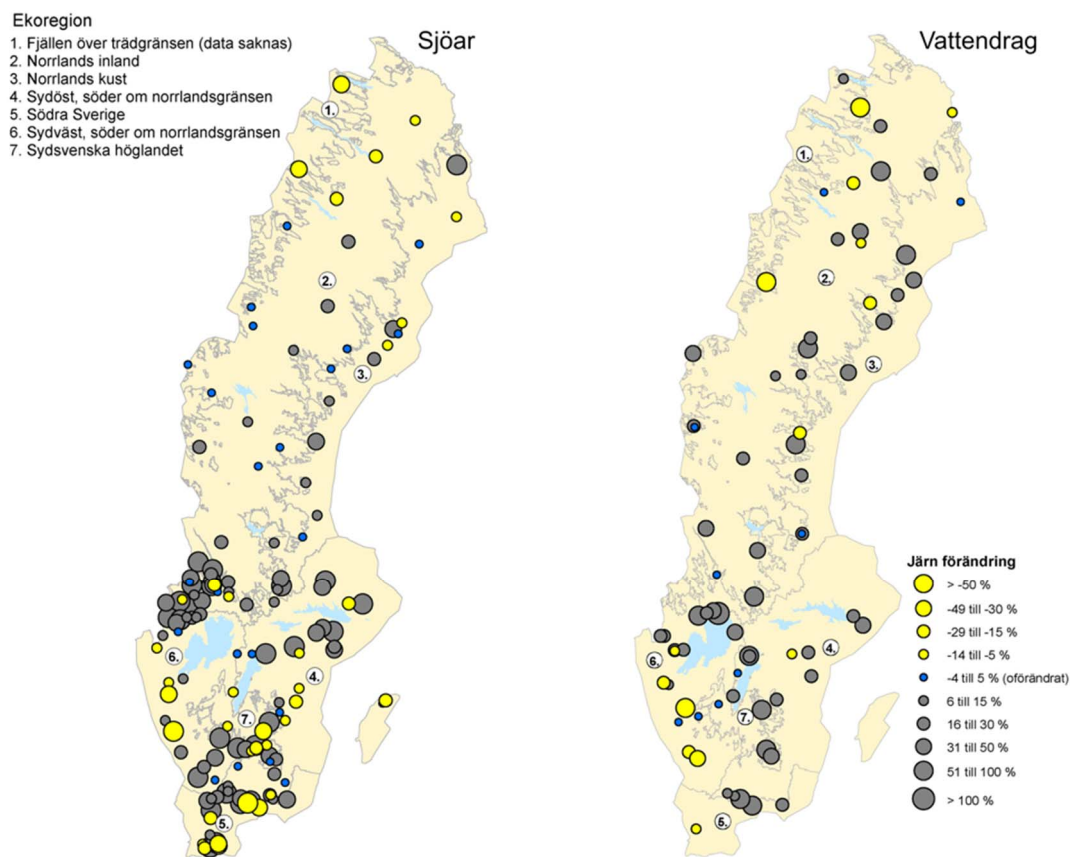
I vattendragstyperna ”stort ARO, inte brunfärgad, kalkfattig”, ”stort ARO, brunfärgad, kalkfattig” och ”litet ARO, brunfärgad, kalkfattig” har absorbansen ökat mellan perioderna (Figur 12). Bland de testade ekoregionerna har absorbansen ökat signifikant i ekoregion 3-7, medan ekoregion 2 inte visar på någon signifikant skillnad mellan perioderna (Tabell 11). Det finns inga generella förklaringar till varför inte alla vattendragstyper samt ekoregion 2 förändrats signifikant. Dataunderlaget visar att det finns både kraftiga ökningar och minskningar i dessa kategorier, men också vattendrag som inte förändras alls mellan perioderna.



Figur 12. Absorbans i de olika vattendragstyperna för de två perioderna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baseras på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

Järn

Förutom att vara ett nödvändigt grundämne för levande organismer så påverkar järnkonzentrationen vattenfärgen, och extremt höga koncentrationer kan tyda på syrefattiga miljöer. Mellan de två perioderna sker en ökning av järn med 6% eller mer i 61% av sjöarna och i 69% av vattendragen (Figur 13).



Figur 13. Procentuell förändring i järn för de undersökta sjöarna (vänster) och vattendragen (höger) mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

Järn i sjöar fördelat på sjötyper och ekoregioner

När man studerar de olika sjötyperna och ekoregionerna mer i detalj, så har järn ökat i samma sjötyper som visar en ökning i absorptionsen, och de som har förblivit oförändrade är också desamma (Tabell 8 och 9). Det är endast grunda och ej brunfärgade sjöar samt ekoregion 5 som inte visar på några signifikanta skillnader, alltså delvis samma sjöar som även fått ett förbättrat siktdjup (Figur 7). Ökningen av järn kan indirekt kopplas till klimatförändringarna eftersom de ger mer syrefattiga jordar vilket leder till att järn lättare kan sköljas ut i vattendragen och sjöarna (Weyhenmeyer et al. 2014).

Järn i vattendrag fördelat på vattendragstyper och ekoregioner

När det gäller vattendragen är det endast en vattendragstyp (stort ARO, brunfärgad, kalkfattig) som visar en signifikant ökad järnkoncentration. För ekoregionerna sker signifikanta öknings i ekoregionerna 3, 4 och 7, medan 2, 5 och 6 inte visar på någon signifikant förändring. Anledningen till att man här inte ser en större ökning i vattendragen är antagligen för att vattendragen också har betydligt högre variation relaterat till variationer i flödet.

Sammanfattning Siktdjup, Absorbans, TOC och järn

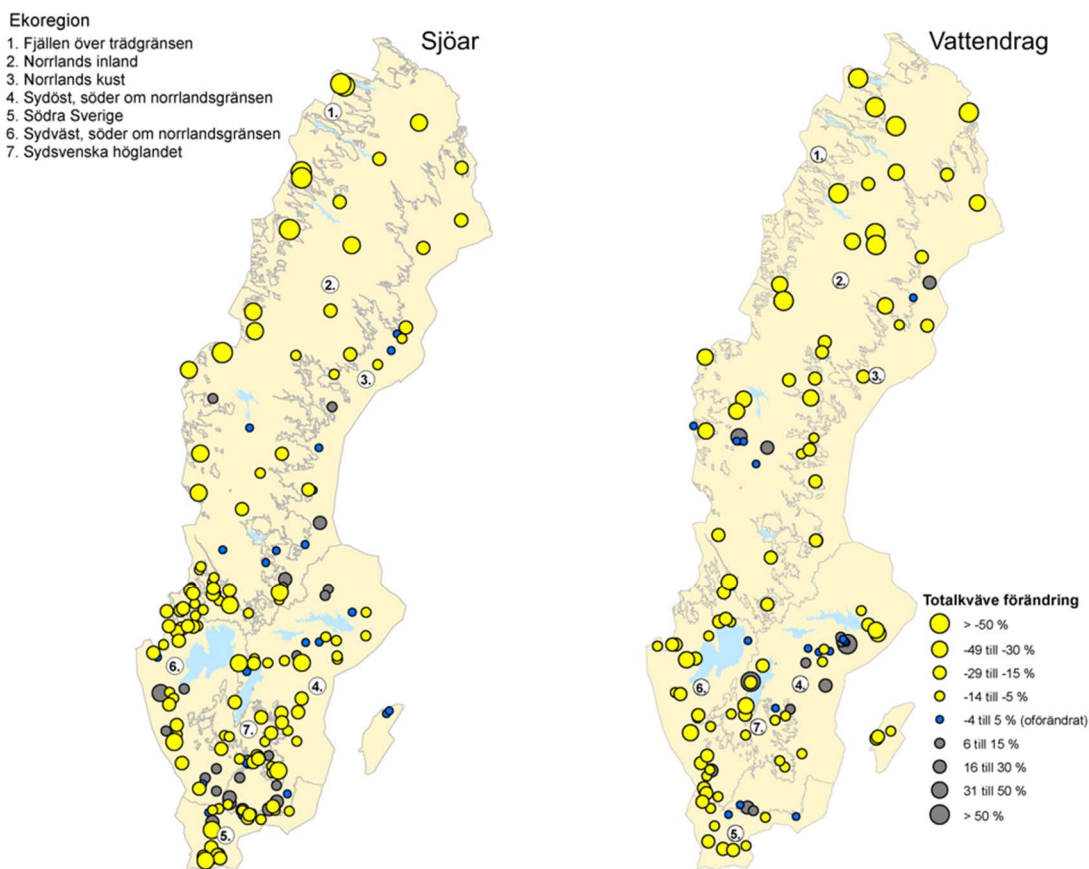
Samtidigt som siktdjupet minskar generellt i sjöarna så ökar de variabler som har en negativ effekt på siktdjupet, så som absorptions, TOC och järn. Här spelar den minskade sulfatdepo-

sitionen en stor roll i den ökande vattenfärgen och i förlängningen siktdjupet genom kemiska förändringar i jordlagren som leder till att mer material blir tillgängligt och kan sköljas ut i vattnet, mer om detta nedan. Den ökade mängden TOC kan också kopplas direkt till klimatförändringarna genom att växterna i avrinningsområdet växer snabbare, effektivare nedbrytning av organiskt material i marken (Boisvenue and Running 2006), växtsäsongen blir längre samt en kortare period med frusen mark vilket därmed gör att mer organiskt material spolas ut i våra vattensystem. Även frekventare och kraftigare regn påverkar vattenfärgen genom att det sköljs ut mer humusämnen i våra sjöar och vattendrag (Hongve et al. 2004). Hur sjöarna i sin tur påverkas beror bland annat på omsättningstid och sjöns storlek, där generellt långa omsättningstider och stora sjöar ser en mindre ökning av humusämnen eftersom ämnena där kan brytas ner nästa lika fort som de tillförs (Weyhenmeyer et al. 2012). Intressant är att sjöarna och vattendragen i Jämtlands Län inte förändras i samma utsträckning som övriga delar av landet, en bild som bekräftas av ansvariga i Jämtlands län. Orsaken till den uteblivna förändringen i Jämtland är fortfarande okänd, men något man lokalt kommer titta närmre på.

Närsalter

Koncentrationerna av närsalterna fosfor och kväve påverkas mycket av markanvändningen i avrinningsområdet. Därför är åtgärder avseende markanvändningens läckage väsentliga, tex inom skogs- och jordbruket (Hansen et al 2013). Samtidigt kan kväveminskningar i vissa fall härledas direkt till den minskning i atmosfärisk deposition som skett under de senaste åren.

Totalkväve



Figur 14. Förändring i kväve (% Tot-N) mellan perioderna för de undersökta sjöarna (vänster) och vattendragen (höger) mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

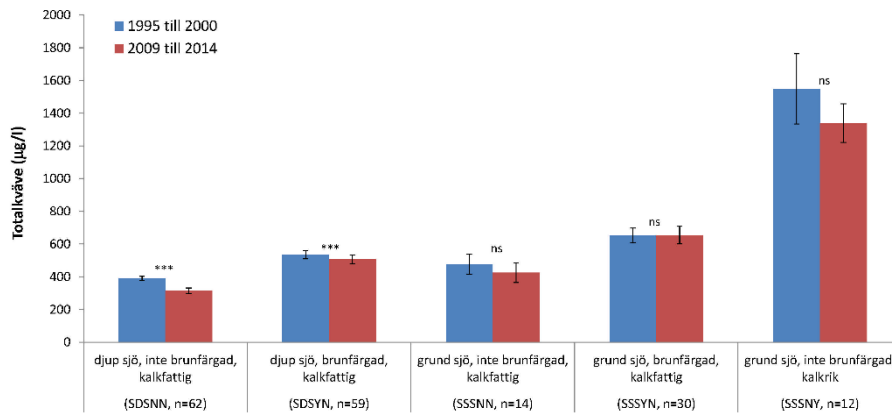
Koncentrationen av totalkväve minskar generellt mellan perioderna i både sjöar och vattendrag.

Procentuellt sker en minskning med 5% eller mer i 84% av sjöarna och för 89% av de testade vattendragen (Figur 14). Minskningen av kväve kan delvis bero på minskningen i atmosfärisk N-deposition som skett i delar av landet under perioden 1990-2009 (Hansen et al 2013), men lokala åtgärder har en betydelse för hur totalkvävehalten förändras. Analysmetoden av totalkväve ändrades 2007 vilket är mitt i period två. Metoderna Tot-NPs och Tot-N_TNb är inte direkt jämförbara då Tot-NPs till exempel överskattar N vid låga koncentrationer. Detta ska dock inte vara ett problem för alla lokaler, så detta har analyserats ändå. Man bör dock ha i åtanke, framför allt vid lägre halter, att man möjligen kan få en falsk signifikant minskning av totalkväve. För övergångsperioden (2007) när båda metoderna användes har ett medelvärde för de två metoderna räknats ut.

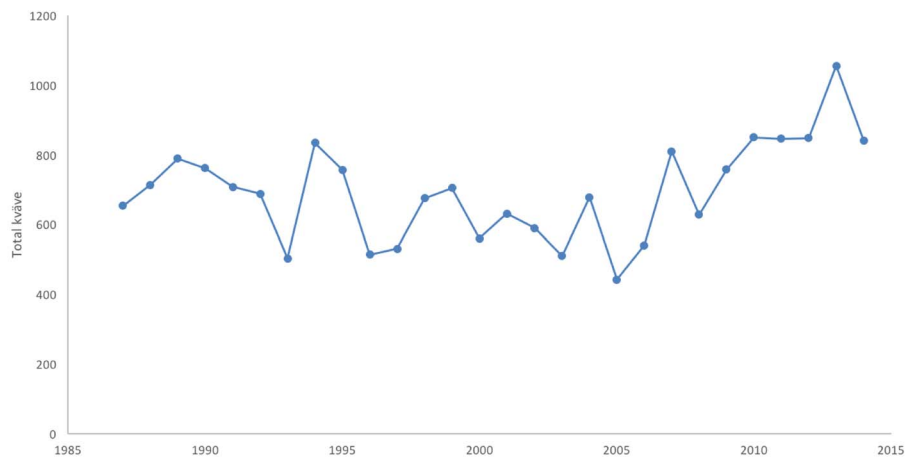
Totalkväve i sjöar fördelat på sjötyper och ekoregioner

Även om kväve minskar generellt så minskar det inte signifikant i sjötyperna ”grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig”, ”grund sjö, brunfärgad, kalkfattig” och ”grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik” eller i ekoregionerna 3 och 4 (Figur 15). Koncentrationen av kväve är högst

i de grunda, inte brunfärgade och kalkrika sjöarna som dominerar ekoregion 5 (södra Sverige). Inte alla sjöar visar på minskningar i kvävekoncentrationen, t.ex. så ökar den för Överrudssjön i Värmlands län (Figur 16).



Figur 15. Totalkväve i de olika sjötyperna för de två tidsperioderna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



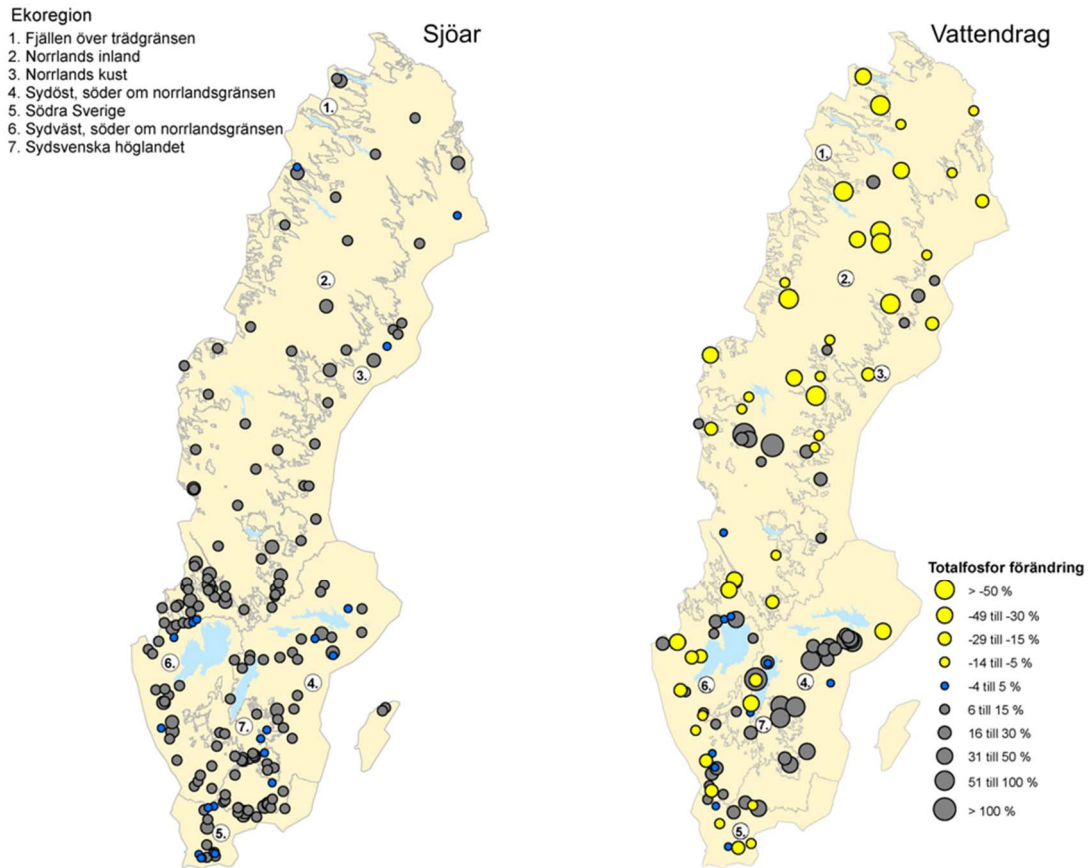
Figur 16. Överrudssjön är en av de sjöar som uppvisat kraftigast ökning av totalkväve mellan perioderna, de två grå staplarna beskriver perioderna som studerades i denna rapport.

Totalkväve i vattendrag fördelat på vattendragstyper och ekoregioner

Samtliga vattendragstyper och alla ekoregioner utom region 4 visar på en signifikant minskning av koncentrationen av totalkväve.

Totalfosfor

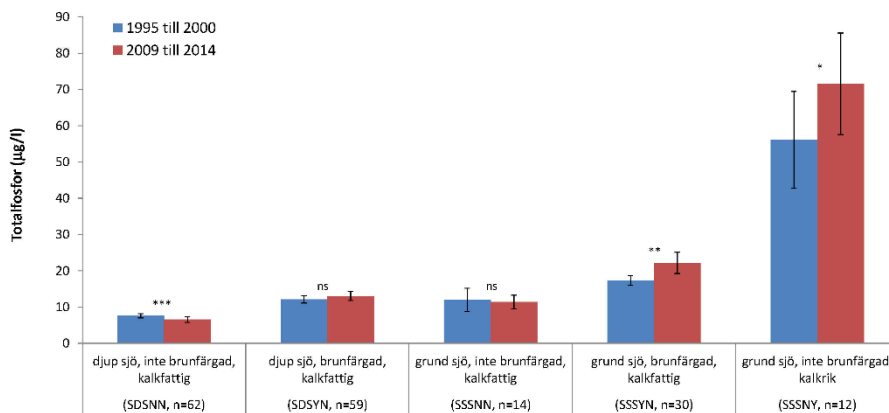
Koncentrationen av totalfosfor ökar med 6% eller mer i 84% av sjöarna och i 47% av vattendragen (Figur 17).



Figur 17. Förändring i fosfor (% Tot-P) mellan perioderna för sjöar (vänster) och vattendrag (höger) mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

Totalfosfor i sjöar fördelat på sjötyper och ekoregioner

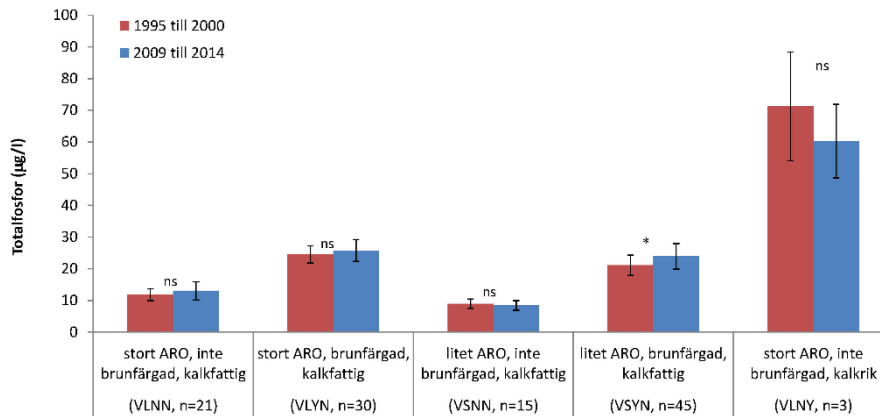
Totalfosfor ökar i ekoregion södra Sverige (5) och minskar marginellt i Norrlands inland (2) medan övriga regioner förblir oförändrade (Tabell 9). För de sjötyper som redan har höga eller mycket höga halter ("grund, brunfärgad och kalkfattig" samt "grund, inte brunfärgad och kalkrik sjö") sker en signifikant ökning (Tabell 8 och Figur 18). Samtidigt sker en signifikant minskning i "djupa, inte brunfärgad och kalkfattiga sjöar". Minskningen är liten i absoluta tal och sker från en redan låg nivå (< 12,5 µg/l).



Figur 18. Totalfosfor i de olika sjötyperna för de två tidsperioderna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

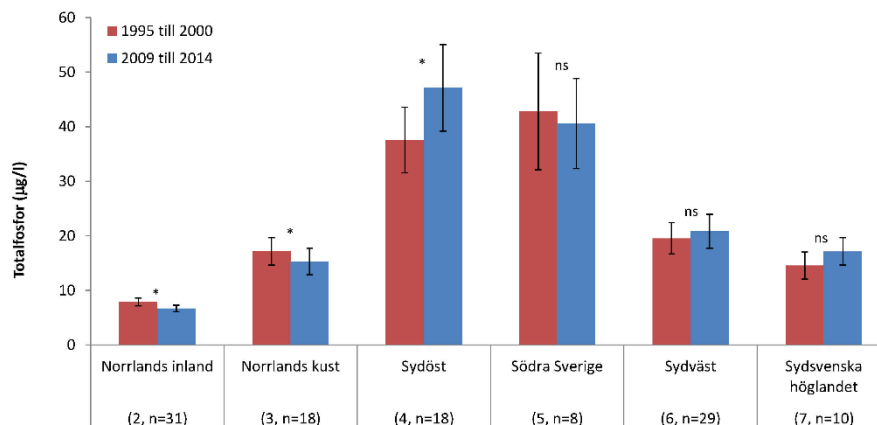
Totalfosfor i vattendrag fördelat på vattendragstyper och ekoregioner

Totalfosfor ökade signifikant i vattendragstypen ”litet ARO, brunfärgad, kalkfattig”. Denna ökning är relativt liten och har rimligtvis ingen signifikant biologisk betydelse. Övriga typer visade inte på några signifikanta skillnader (Figur 19).



Figur 19. Totalfosfor i de olika vattendragstyperna för de två perioderna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

Även ekoregion 4 visar på en ökad koncentration av totalfosfor, medan ekoregionerna 2 och 3 faktiskt har fått lägre koncentrationer av totalfosfor mellan perioderna (Figur 20).



Figur 20. Totalfosfor i vattendragen fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

Sammanfattning totalfosfor och totalkväve

Det sker en generell minskning av totalkväve mellan perioderna, medan fosfor både minskar och ökar beroende på vilken sjötyp man tittar på. För vattendragen sker inte några generella förändringar i fosfor mellan de undersökta perioderna, däremot så minskar kväve generellt även i vattendragen. Förändringen av halterna av de två närsalterna fosfor och kväve varierar kraftigt mellan olika sjöar och vattendrag. Om man tittar på de stora faktorer som har en mer övergripande påverkan så är det atmosfäriskt kvävenedfall och en ökad mängd organiskt bundna närsalter. De senaste årens nedgång i mängden kvävenedfall leder till att totalkvävet i våra vatten minskar. Den ökade mängden organiskt material (TOC) i

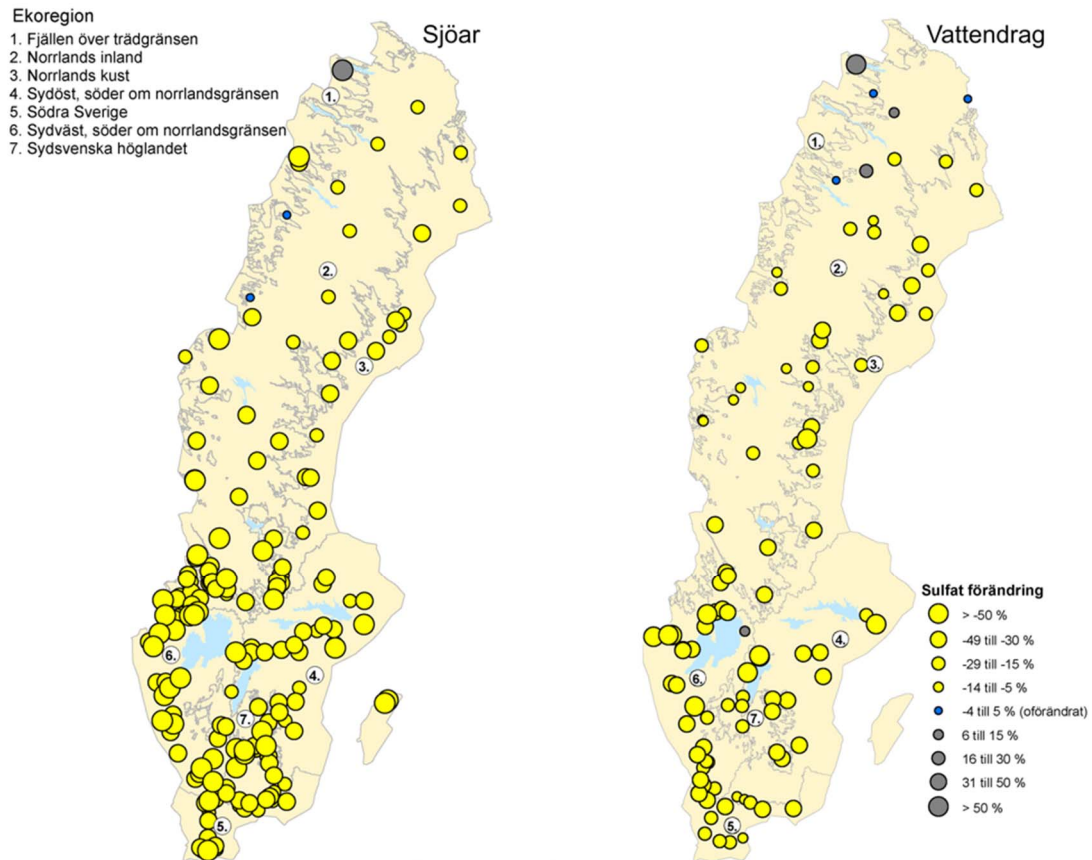
vattnet leder istället till att halterna av totalfosfor och totalkväve ökar. Samtidigt kan klimatteffekter, som förlängd växtsäsong med en förhöjd ackumulation av närsalter i biomassa och marken, påverka koncentrationerna i vattnet negativt (Lucas et al. 2016).

Även om kväveminskningen delvis kan härledas direkt till den minskning i atmosfärisk deposition som skett under perioden, så spelar lokala åtgärder i skogs- och jordbruket för att minska kväve- och fosforläckaget troligtvis en större roll. Till exempel så kan åtgärder inom jordbruk och skogsbruk (kantzoner, minskad dikning med mera) ha positiva effekter på läckaget till vattendragen och sjöarna (Ranalli and Macalady 2010). Även jordmånens sammansättning påverkar mängden närsalter som läcker till vattendragen och sjöarna, exempelvis har lerrika jordarter mer fosforläckage (ytavrinning) än jordarter med mindre lera (Stibe 2015). Sammantaget gör alla dessa faktorer att det är svårt att dra några generella slutsatser om hur halterna av närsalter förändrats nationellt. Lokala utvärderingar där man inkluderar både olika kväve- och fosforminskande åtgärder samt markanvändning, kan ge en klarare bild av vad som drivit förändringen i näringssaltskoncentrationerna.

Sulfat, alkalinitet och pH

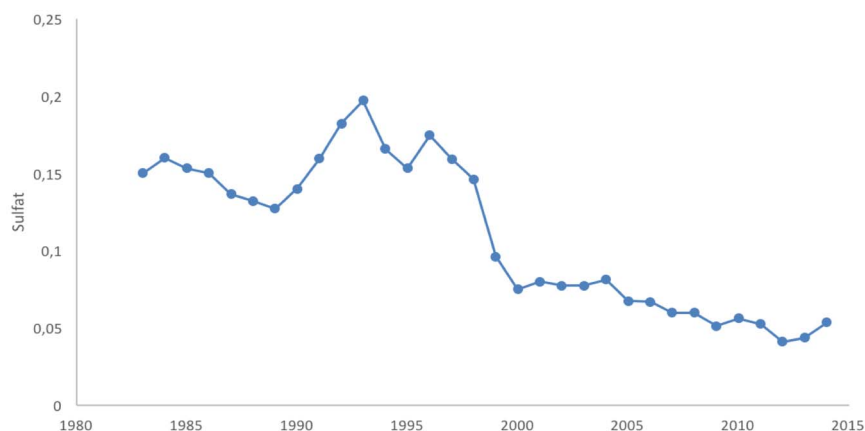
Förbränningen av till exempel olja och kol orsakade utsläppen av de svaveldioxider som var starten på det vanligaste miljöproblemet för många svenska sjöar och vattendrag (Naturvårdsverket 2002). Försurningen började uppmärksammas på 1960-talet, men det dröjde innan man insåg vilka negativa effekter det skulle få för vattenlevande organismer (Almer et al. 1978, Muniz et al. 1984). Denna ökning i koncentrationen av sulfat påverkade buffringsförmågan (alkaliniteten) och i förlängningen pH-värdet i sjöarna och vattendragen. Hur påverkat ett vatten blir beror på nedfallets storlek och markens känslighet. Många delar av Sverige har tunna jordlager och berggrunden består till exempel av svårvittrad gnejs som är dålig på att neutralisera det sura nedfallet. Andra delar, som sydöstra Sverige, har kalkrik berggrund där det sura nedfallet kan neutraliseras betydligt bättre. Sedan i mitten på 80-talet så har utsläppen av svaveldioxid minskat kraftigt och naturen har nu sakta börjat återhämta sig i vissa delar av landet.

Sulfat



Figur 21. Förändring i sulfat (% SO₄) för sjöarna (vänster) och vattendragen (höger) mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

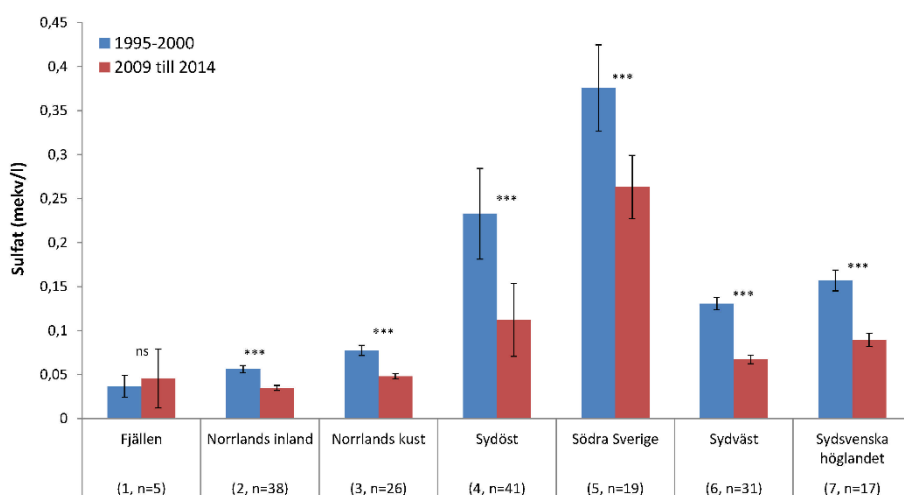
En positiv utveckling är att sulfat (SO₄) minskar mellan perioderna och denna minskning är sannolikt en direkt följd av den minskade S-depositionen (Wilander 2008). Totalt sker en minskning på 5% eller mer i 98% av sjöarna och 96% av vattendragen (Figur 21). En av de sjöar som uppvisat kraftigast minskning är Rotehogstjärnen i Västra Götalands län (Figur 22).



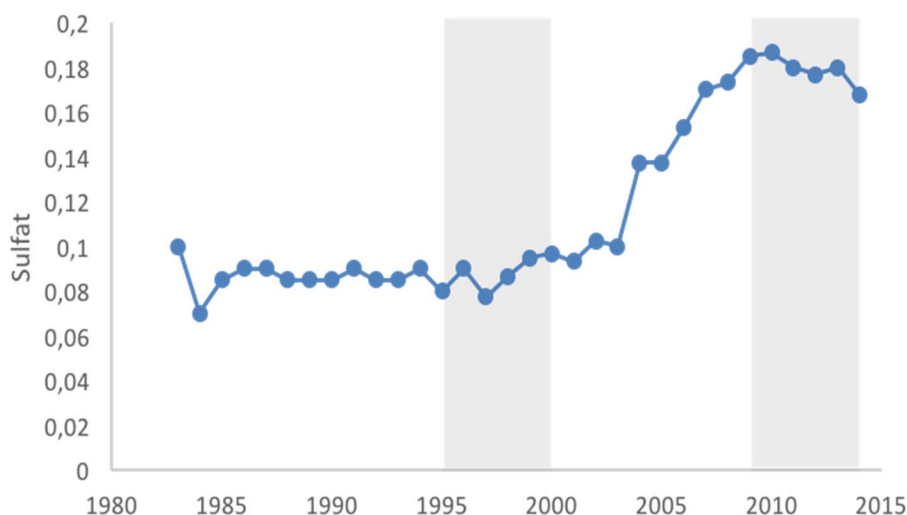
Figur 22. Rotehogstjärnen är en av de sjöar som uppvisat kraftigast minskning av sulfat mellan perioderna, de två grå staplarna beskriver perioderna som studerades i denna rapport.

Sulfat i sjöar fördelat på sjötyper och ekoregioner

Denna minskning i sulfat sker i alla testade sjötyper och ekoregioner, med undantag för ekoregion 1 (fjällen över trädgränsen) där studien endast har fem sjöar. I fyra av dem ser man samma trend med stora minskningar, medan en sjö (Latnjajaure) avviker och visar en ökning på 100% (Figur 23 och A4). Denna sjö syns också tydligt längst upp på kartan (Figur 21) och beskrivs i mer detalj i figur 24, men anledningen till denna kraftiga ökning får denna utvärdering lämna därhän.



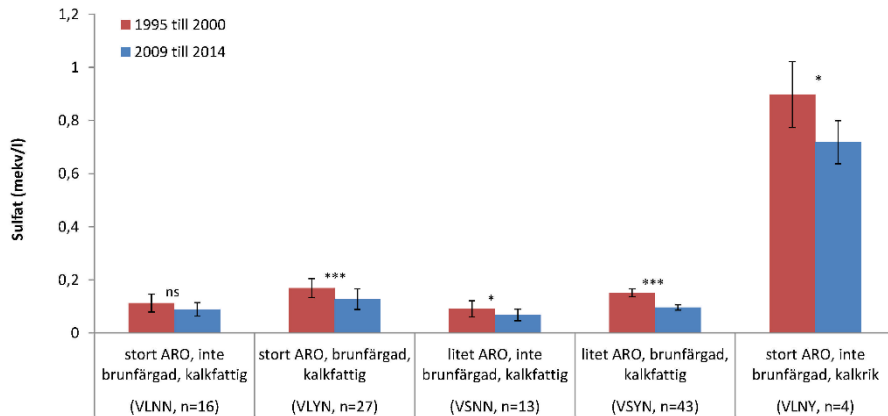
Figur 23. Sulfat (SO₄) i sjöar från de olika ekoregionerna för de två tidsperioderna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1 SE (standardfel).



Figur 24. Latnjajaure är en av de få sjöar som uppvisat en kraftig ökning av sulfat mellan perioderna, de två grå staplarna beskriver perioderna som studerades i denna rapport.

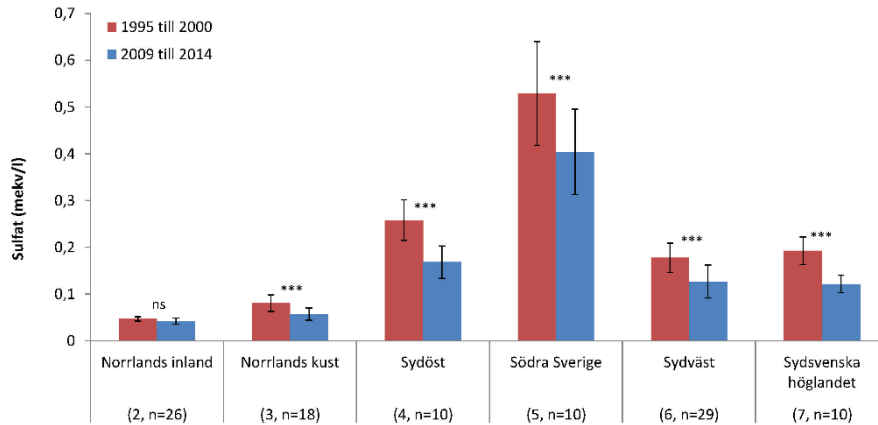
Sulfat i vattendrag fördelat på vattendragstyper och ekoregioner

Vattendragstypen ”stort ARO, inte brunfärgad, kalkfattig” visade inte på någon signifikant förändring, däremot har alla övriga typer fått signifikant lägre sulfatkoncentrationer mellan perioderna (Figur 25).



Figur 25. Sulfat förändringen för vattendragstyperna för de två perioderna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde ± 1 SE (standardfel).

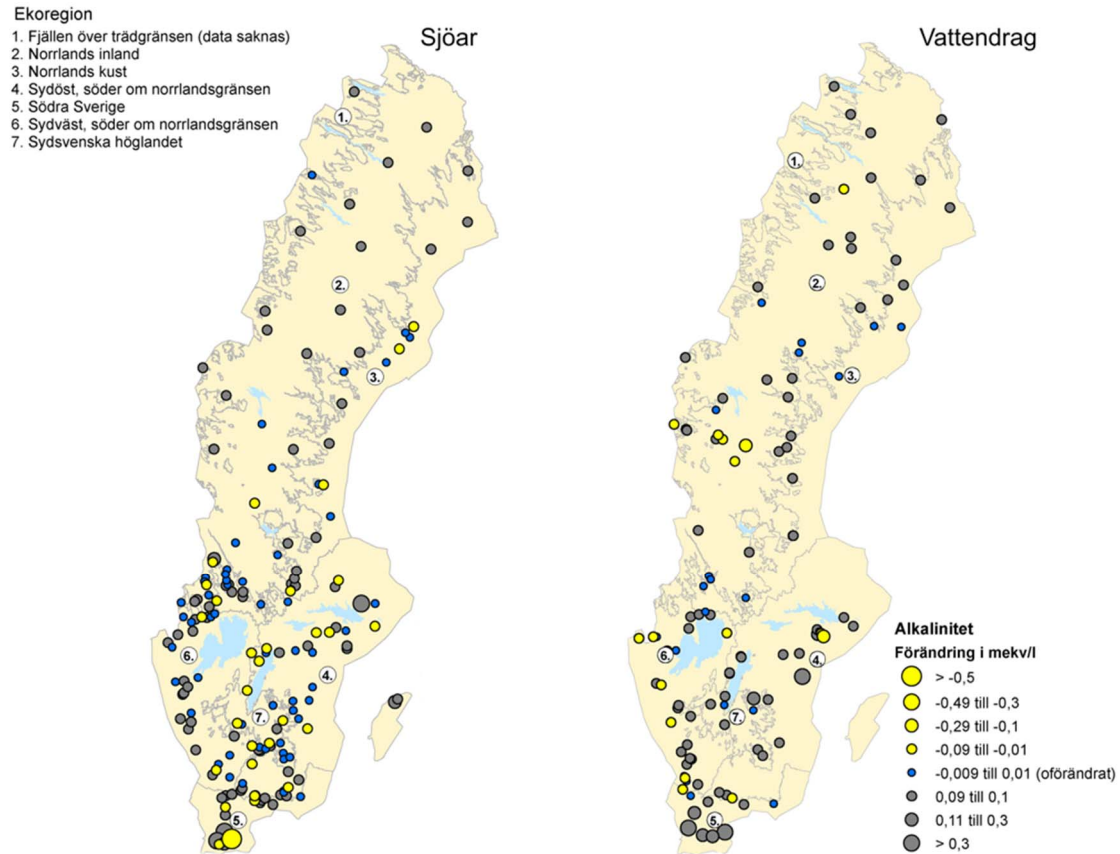
Ekoregion (2) är den enda testade ekoregionen som inte visar på några signifikanta minskningar i sulfat, regionen hade dock redan låga värden (Figur 26).



Figur 26. Sulfat förändringen för vattendragen i de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde ± 1 SE (standardfel).

Alkalinitet

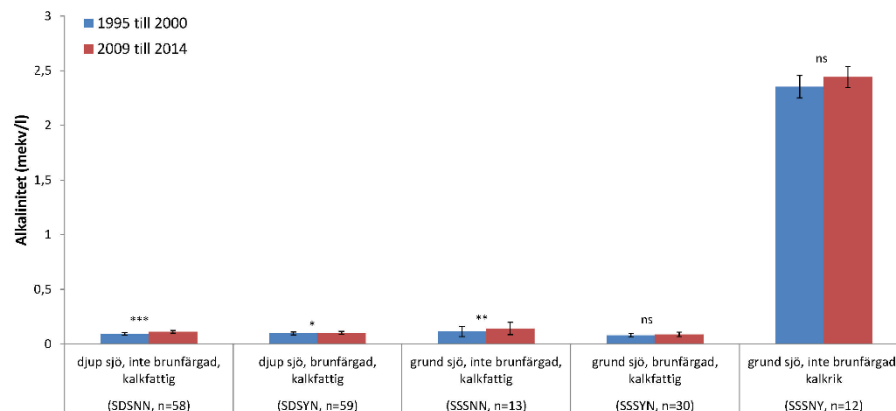
Vattnets förmåga att buffra mot försurning mäts genom alkalinitet, ju högre alkalinitet desto bättre buffringsförmåga har vattnet. Alkaniteten visar på en generell ökning mellan perioderna, en ökning som kan härledas till den minskning som skett i sulfatkoncentrationen. Förändringarna är dock små och procentuellt är det endast 5% av sjöarna som visar på en ökning på 0,09 mekv/l eller mer, samma trend gäller för vattendragen där endast 7% visar på en ökning på 0,09 mekv/l eller mer (Figur 27).



Figur 27. Procentuell förändring i sulfat för sjöarna (vänster) och vattendragen (höger) mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

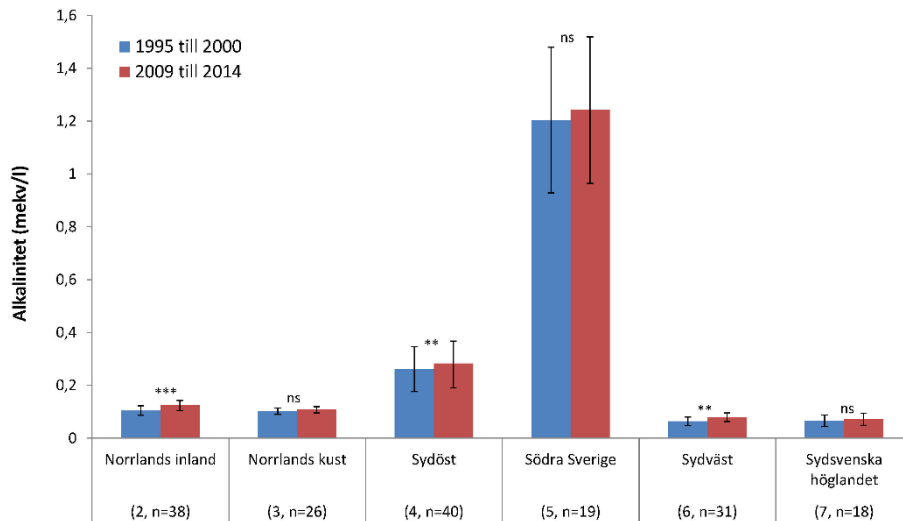
Alkalinitet i sjöar fördelat på sjötyper och ekoregioner

För sjötyperna sker ökningen i de kalkfattiga sjötyperna (endast en tendens för ”grund sjö, brunfärgad, kalkfattig”), medan den kalkrika sjötypen ”grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik” inte visar på några signifikanta förändringar i alkalinitet (Figur 28). Figuren visar även att för dessa kalkfattiga sjötyper är förändringen liten och möjligen inte av någon biologisk signifikans.



Figur 28. Alkalinitet i de olika sjötyperna för de två tidsperioderna, signifikans baseras på de parade t-testen. , signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1 SE (standardfel).

På den geografiska skalan sker en ökning av alkaliniteten i ekoregionerna Norrlands inland (2), Sydöst, söder om norrlandsgränsen (4) och Sydväst, söder om norrlandsgränsen (6) (Figur 29).



Figur 29. Alkalinitet i sjöar från de olika ekoregionerna för de två tidsperioderna, , signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

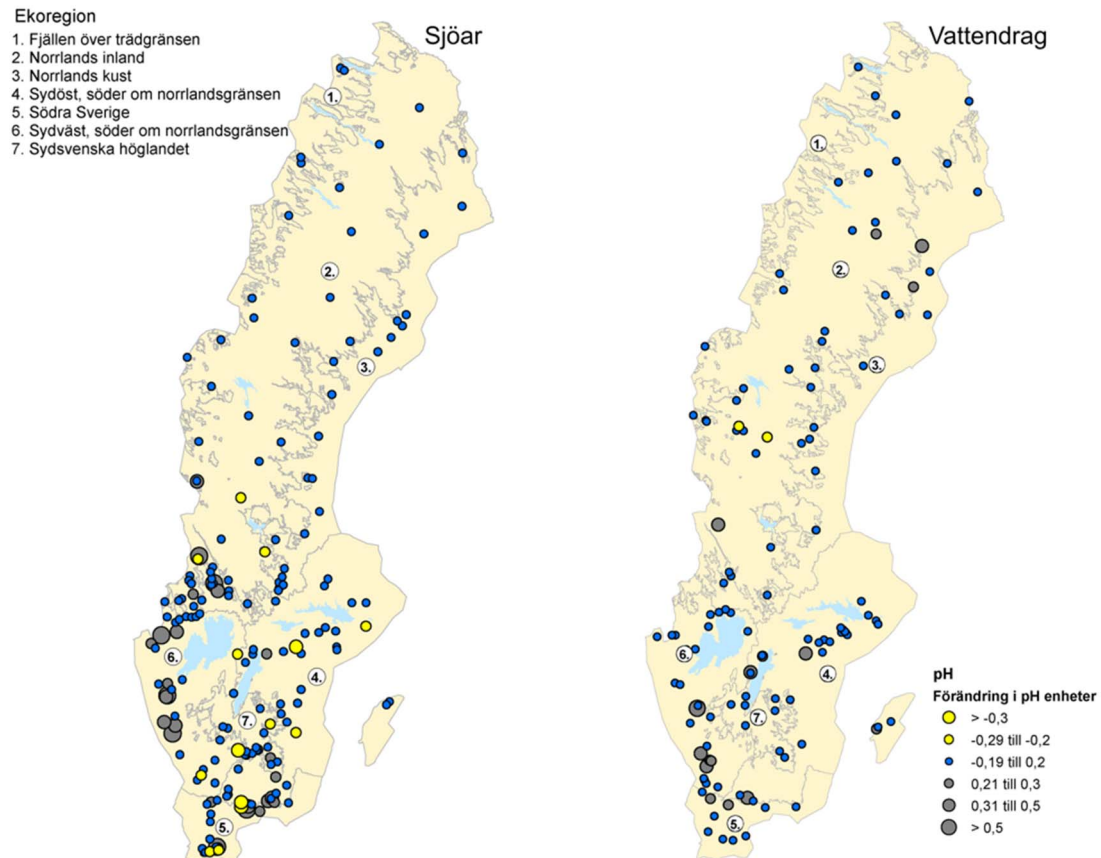
Alkalinitet i vattendrag fördelat på vattendragstyper och ekoregioner

Även om förändring är liten så ökar alkaliniteten signifikant i samtliga vattendragstyper (Tabell 10).

Alkaliniteten ökar i ekoregionerna 3 och 5-7, medan det inte sker någon signifikant förändring i 2 och 4.

pH

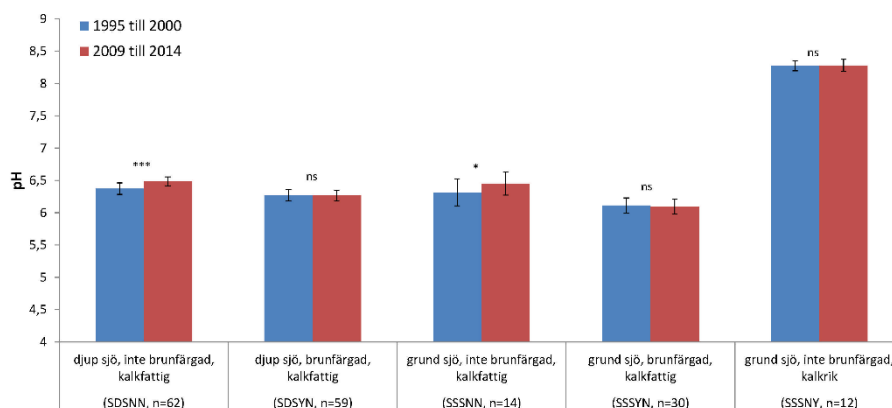
Det sker en generell ökning av pH mellan perioderna, men även här är förändringen relativt liten och endast 14% av sjöarna och 13% av vattendragen visar på en ökning med 0,21 pH enheter eller mer (Figur 30). De största ökningarna har skett i det hårdast försurningsdrabbade området i Västsverige.



Figur 30. Procentuell förändring i pH för sjöarna (vänster) och vattendragen (höger) mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

pH i sjöar fördelat på sjötyper och ekoregioner

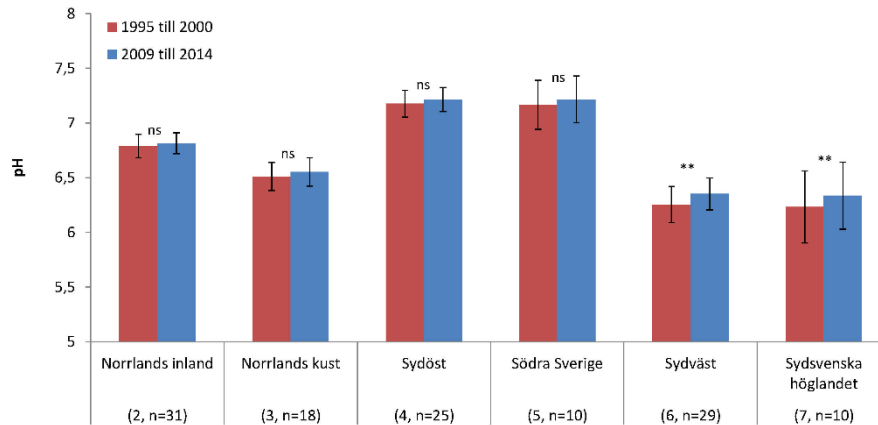
För pH sker också en ökning i sjöar som är kalkfattiga, men endast om de inte är brunfärgade ("djup sjö, inte brunfärgad, kalkfattig" och "grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig") (Figur 31). Detta hänger delvis ihop med att i sjöar med mycket humusämnen bromsas återhämtningen från försurningen. För ekoregionerna sker en ökning av pH i Norrlands inland (2) och Sydväst, söder om norrlandsgränsen (6).



Figur 31. pH i de olika sjötyperna för de två tidsperioderna, signifikans baseras på de parade t-testen, signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde ± 1 SE (standardfel).

pH i vattendrag fördelat på vattendragstyper och ekoregioner

Vattendragstyperna skiljer sig åt i hur pH förändrats mellan perioderna. För typerna ”stort ARO, inte brunfärgad, kalkfattig”, ”stort ARO, brunfärgad, kalkfattig” och ”litet ARO, inte brunfärgad, kalkfattig” har det inte skett någon signifikant förändring. Däremot har typerna ”litet ARO, brunfärgad, kalkfattig” och ”stort ARO, brunfärgad, kalkrik” ökat signifikant. Av de testade ekoregionerna är det ekoregion 6 och 7 som visar på en signifikant ökning mellan perioderna (Figur 32).



Figur 32. pH i vattendragen fördelat på ekoregionerna och perioderna. , signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

Sammanfattning sulfat, alkalinitet och pH

Minskningen av sulfathalterna i sjöar och vattendrag är den tydligaste förändringen i data-materialet och kan direkt kopplas till en minskad sulfatdeposition. Förändringen i sulfat-koncentrationen återspeglas till viss del även i pH och alkaliniteten som båda ökar mellan perioderna. Trenderna är desamma i vattendragen som för sjöarna, men på grund av de kraftiga variationer i flöde som finns både inom och mellan år, så är förändringen dock inte lika tydlig i vattendragen. Som visats ovan spelar den minskade sulfatdepositionen en stor roll i den ökande brunifieringen samt den ökande koncentrationen av organiskt bundna närsalter. Detta på grund av de indirekta kemiska förändringar i jordlagren som leder till att mer organiskt material kan sköljas ut i vattnet. Nedan ser man också att den minskade försurningen haft positiv effekt på till exempel växtplankton, där artantalet ökat i vissa sjöar.

Biologiska faktorer

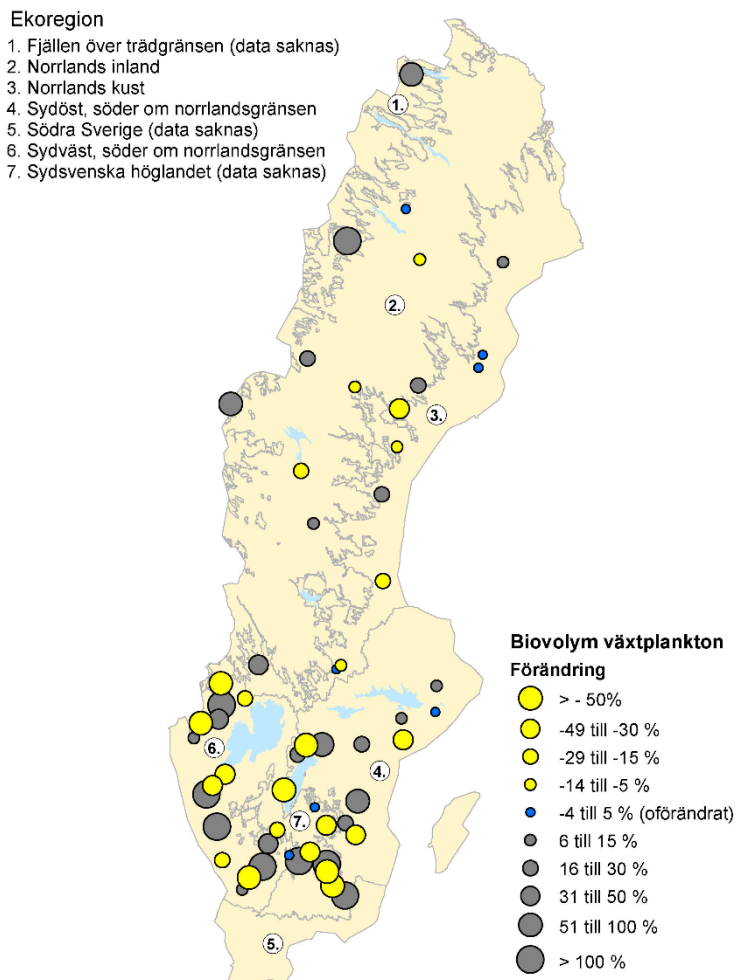
För de organismer som lever i våra sjöar och vattendrag kan förändringar i klimatet och försurningspåverkan leda till stora förändringar. En förhöjd temperatur kan gynna vissa arter medan andra arter missgynnas. På samma sätt kan den minskade försurningen förändra förutsättningarna för vilka organismer som kan leva i vattnet. Även de indirekta effekterna av klimatförändringarna och en minskad försurning, som till exempel brunifieringen, kan påverka organismerna. Till exempel så trivs den icke-önskvärda algen gubbslem bra i sjöar med brunt vatten.

På grund av brister i datamaterialet har studien endast tittat på ett fåtal växtplanktonparametrar samt kvoten mellan de bottenlevande Oligochaeta och Chironomidae. För vattenkemin finns det ca 170 sjöar men för biologin endast ca 50, vilket gör att inte alla fem sjötyper som finns representerade i analyserna för vattenkemin finns med i dessa analyser, utan endast tre stycken.

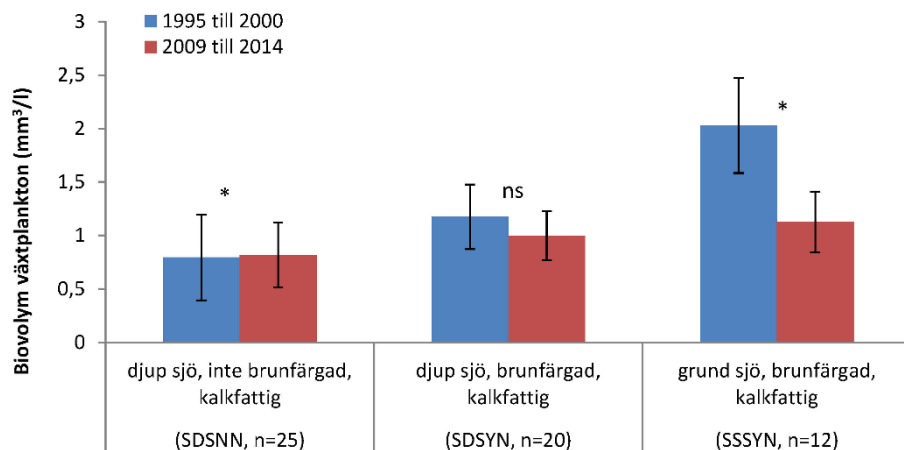
Växtplankton

Total biovolym

För växtplankton har den totala biovolymen från augustiprovtagningarna inte förändrats generellt, men i 57% av sjöarna har den totala biovolymen minskat med 5% eller mer (Figur 33). De parade t-testen visar att biovolymen ökat i sjötyp ”djup sjö, inte brunfärgad, kalkfattig” och minskat i ”grund sjö, brunfärgad, kalkfattig” (Figur 34).



Figur 33. Förändring i biovolym växtplankton i de undersökta sjöarna mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

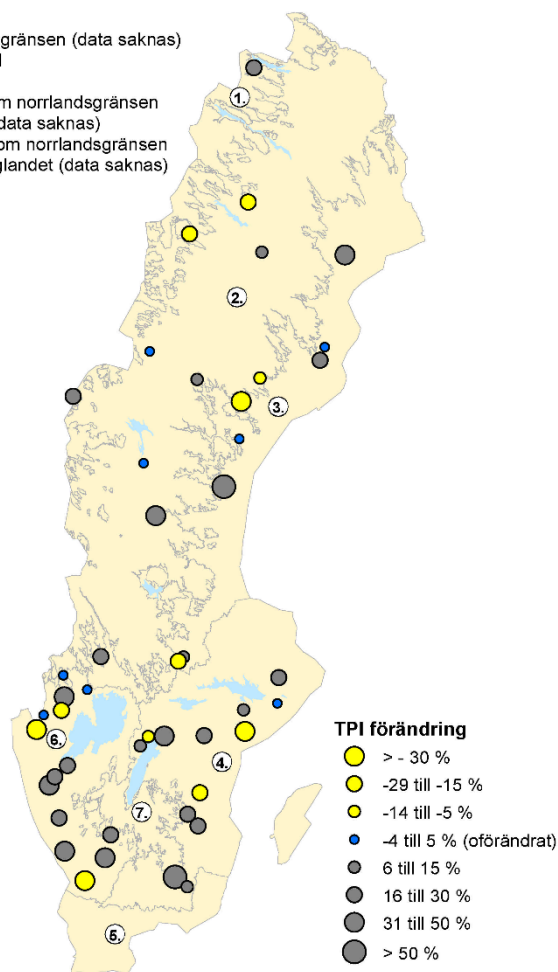


Figur 34. Biovolym växtplankton i de olika sjötyperna för de två tidsperioderna, , signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

Trofiskt planktonindex (tpi)

Ekoregion

1. Fjällen över trädgränsen (data saknas)
2. Norrlands inland
3. Norrlands kust
4. Sydöst, söder om norrlandsgränsen
5. Södra Sverige (data saknas)
6. Sydväst, söder om norrlandsgränsen
7. Sydsvenska höglandet (data saknas)

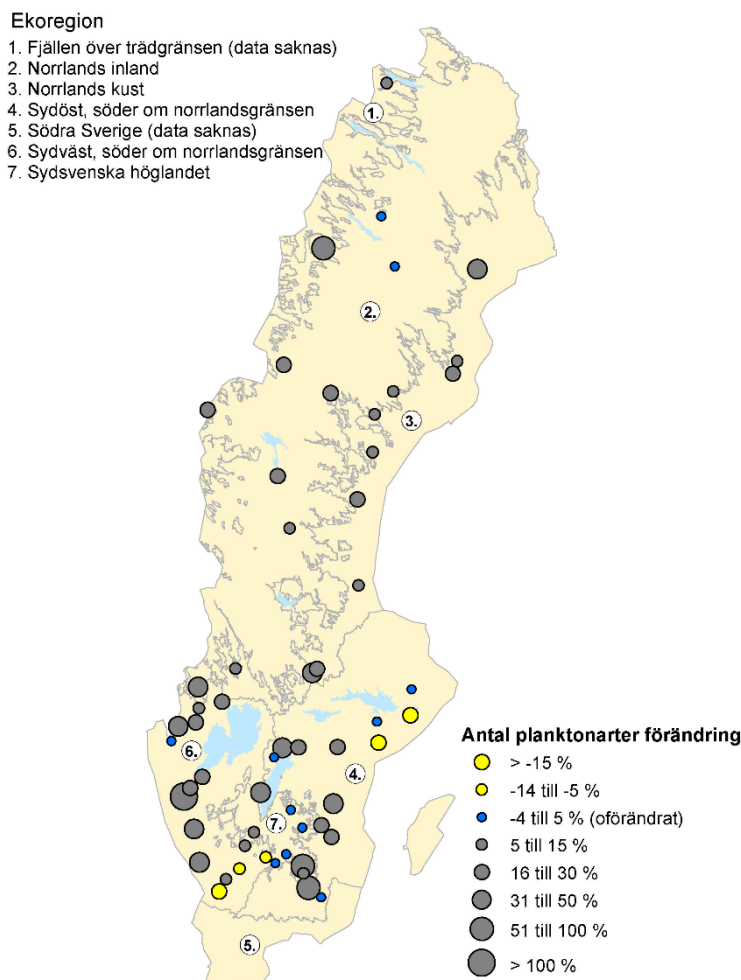


Figur 35. Förändring i det trofiska planktonindexet (TPI) för de undersökta sjöarna mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

Det trofiska planktonindexet (TPI) baseras på att växtplanktonarter har tilldelats ett indexrelaterat till deras förekomst längs en totalfosforgradient. Arter som är typiska i eutrofa (näringsrika) sjöar får höga indextal (max 3) och arter som är vanliga i oligotrofa (näringsfattiga) sjöar får låga indextal (min -3). Analysen visar att TPI från augustimätningarna generellt ökar mellan perioderna och i 60% av sjöarna ökar TPI med 6% eller mer (Figur 35). Det finns inga geografiska mönster bland de testade ekoregionerna, men där finns skillnader mellan sjötyper. I sjötyperna ”djup sjö, inte brunfärgad, kalkfattig” och ”grund sjö, brunfärgad, kalkfattig” ökar TPI, medan det inte finns någon signifikant förändring i ”djup sjö, brunfärgad, kalkfattig”. Teoretiskt kan detta indikera att två sjötyper skulle ha blivit mer eutrofa, men totalfosfor och totalkväve visar inte på några tydliga samband för dessa sjötyper. Även om TPI ökar så är värdena fortfarande låga och indikerar inte att det finns något övergödningssproblem i de undersökta sjöarna.

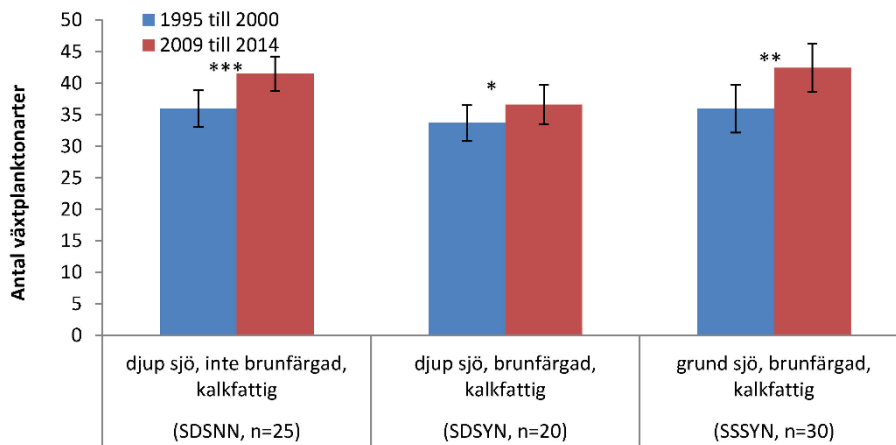
Antalet växtplanktonarter

Eftersom antalet arter minskar drastiskt vid låga pH kan antalet växtplanktonarter fungera som en indikator för försurning. Antalet växtplanktonarter har ökat mellan perioderna, i 70% av sjöarna har antalet arter ökat med 6% eller mer (Figur 36).



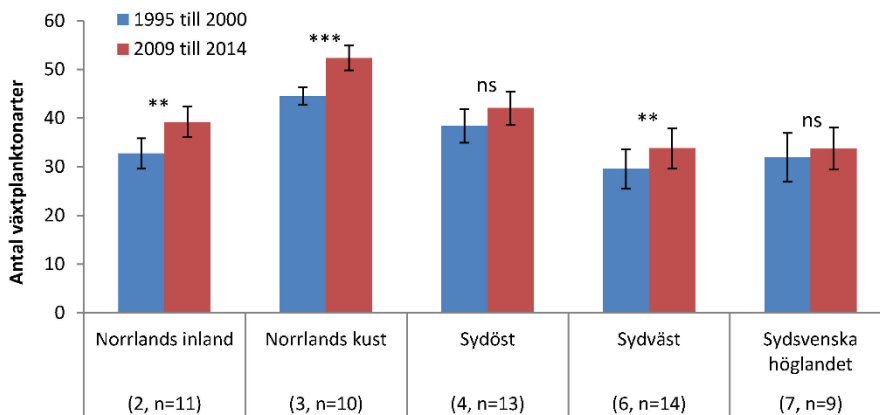
Figur 36. Förändring i antal planktonarter mellan perioderna för de undersökta sjöarna mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

Samtliga testade sjötyper, som alla var kalkfattiga, visar på en ökning i antalet växtplanktonarter (Figur 37). En positiv utveckling som kan vara en respons på den minskning av sulfat som sker under perioden.



Figur 37. Antal växtplanktonarter i sjöar från de olika sjötyperna för de två tidsperioderna, , signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

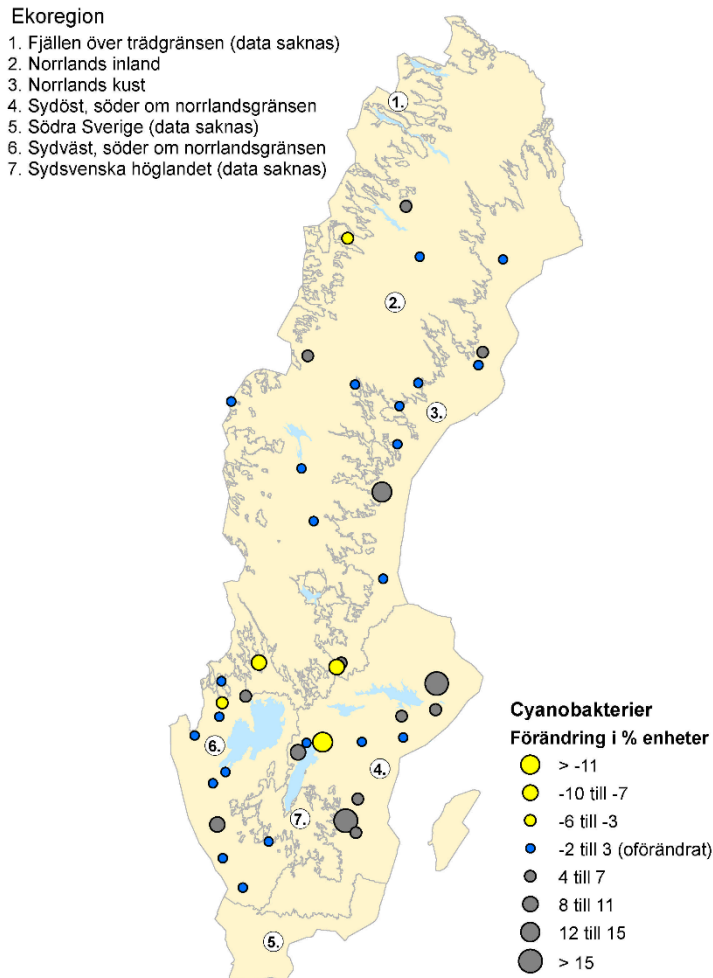
I ekoregionerna (2) Norrlands inland, (3) Norrlands kust och (6) Sydväst, söder om norrlandsgränsen har antalet arter ökat mellan perioderna. Det sker en liknande förändring för ekoregion (4) Sydöst, söder om norrlandsgränsen medan (7) Sydsvenska höglandet inte visar på någon förändring i antalet växtplanktonarter (Figur 38).



Figur 38. Antal växtplanktonarter i sjöar från de olika ekoregionerna för de två tidsperioderna, , signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

Andelen cyanobakterier

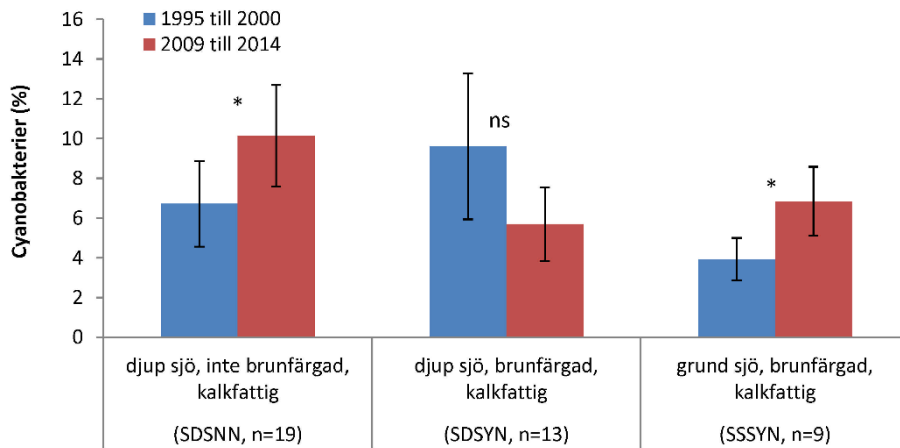
Cyanobakterier kan med sina gifter skapa stora problem för bland annat badande och dricksvattenförsörjning och deras andel (%) av växtplanktonsamhället används för att beskriva status i vattentäkter, rekreations- och friluftsområden. Klimatförändringar kan leda till en miljö som gynnar cyanobakterierna (Paerl et al. 2011). Andelen cyanobakterier har inte ökat generellt (Figur 39), men i de parade t-testen syns att vissa sjötyper och ekoregioner har fått en signifikant ökad andel cyanobakterier mellan perioderna.



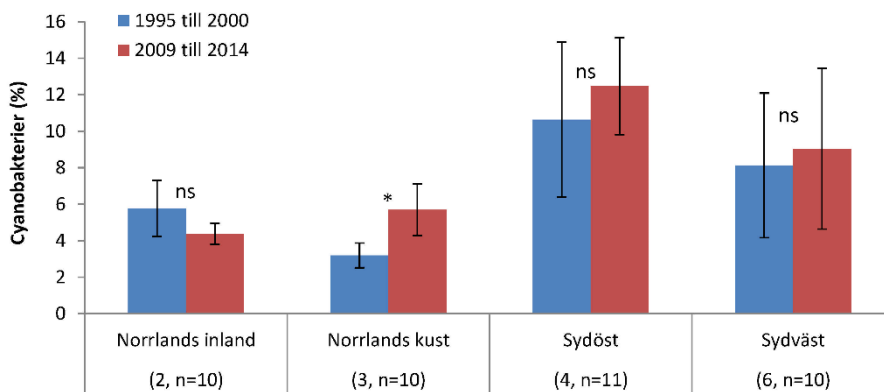
Figur 39. Förändring i andelen cyanobakterier mellan perioderna för de undersökta sjöarna mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

Sjötyperna ”djup sjö, inte brunfärgad, kalkfattig” och ”grund sjö, brunfärgad, kalkfattig” har fått en signifikant ökning av cyanobakterier mellan perioderna, medan ”djup sjö, brunfärgad, kalkfattig” inte visar på någon förändring (Figur 40). Ekoregion Norrlands kust (3) visar på en ökning medan Norrlands inland (2), Sydöst, söder om norrlandsgränsen (4) och Sydväst, söder om norrlandsgränsen (6) inte förändrats signifikant (Figur 41).

Anledningarna till denna ökning i andelen cyanobakterier kan vara många, till exempel gynnas vissa av dessa arter av den ökande temperaturen och av den ökade mängden organiskt bundet fosfor och kväve, men även av en minskad förorening.



Figur 40. Andelen cyanobakterier i olika sjötyper för de två tidsperioderna, , signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

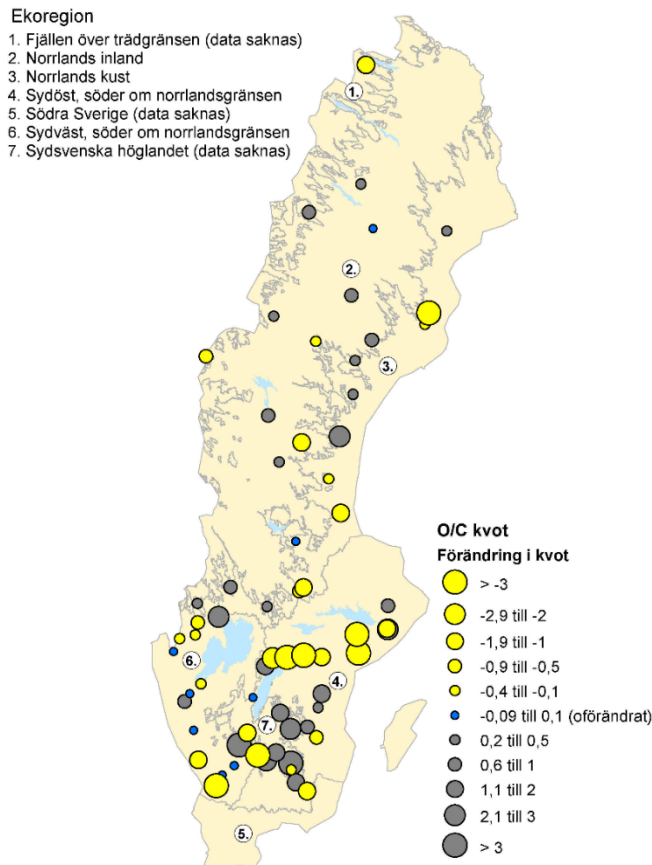


Figur 41. Andelen cyanobakterier i sjöar från de olika ekoregionerna för de två tidsperioderna, , signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

Bottenfauna

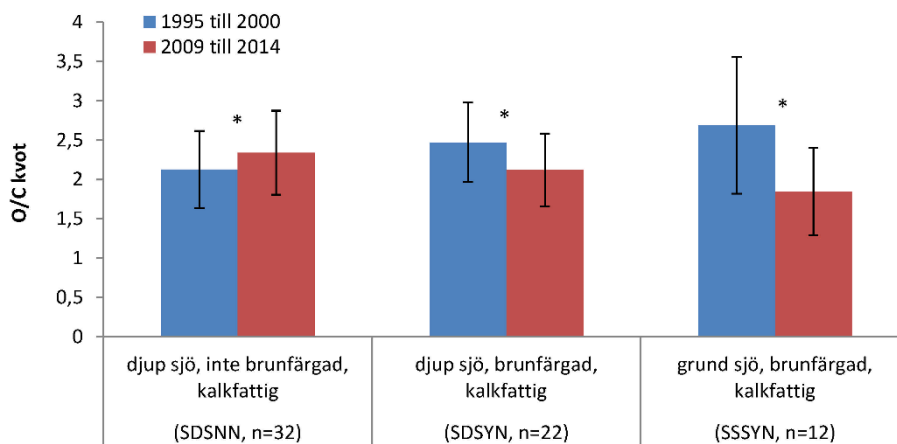
Kvoten oligochaeta/chironomidae

Generellt kan man säga att kvoten mellan Oligochaeta /Chironomidae på djupbottnar i sjöarna ökar vid övergödning för att syrgashalten blir låg och/eller den organiska belastningen hög på botten. I sjöarna har det inte skett några generella förändringar i O/C kvoten (Figur 42).

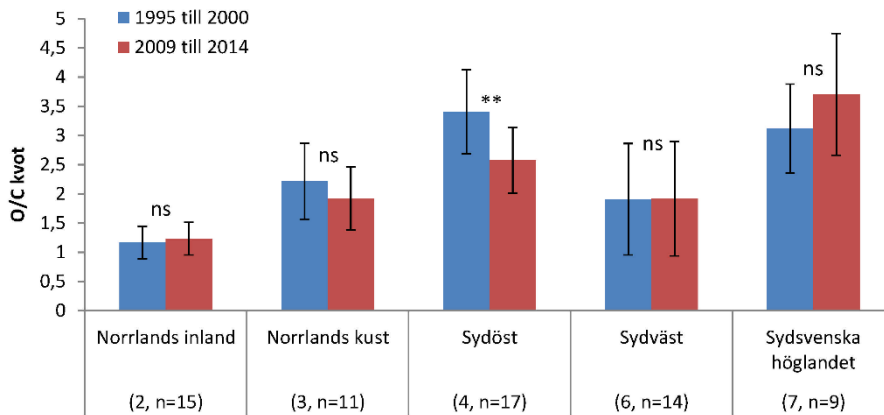


Figur 42. Förändring i kvoten Oligochaeta /Chironomidae mellan perioderna för de undersökta sjöarna mellan perioderna 1995-2000 och 2009-2014.

Det sker dock en förändring för samtliga testade sjötyper och ekoregion 4 enligt de parade t-testen (Figur 43 och 44). För ekoregion 4 samt de brunfärgade och kalkfattiga sjöarna minskar kvoten, vilket skulle kunna tyda på mindre problem med syrefattiga bottnar i sjöarna. För sjötypen ”djup sjö, inte brunfärgad, kalkfattig” ökar däremot kvoten, men det finns inget i vattenkemin som kan förklara denna ökning, då denna sjötyp har en minskning i både totalkväve och totalfosfor. Överlag kan man säga att kvoten är låg för samtliga sjö och ekoregioner vilket tyder på att det inte finns något utbrett problem med syrebrist i de undersökta sjöarna där proverna tagits.



Figur 43. Kvoten Oligochaeta /Chironomidae i de olika sjötyperna för de två tidsperioderna, , signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



Figur 44. Kvoten Oligochaeta /Chironomidae i sjöar från de olika ekoregionerna för de två tidsperioderna, , signifikans (ns, *, **, ***) anges baserat på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

Sammanfattning biologiska faktorer

Det saknas många provtagningar i datamaterialet för utvärderingen av de biologiska faktorerna, till exempel finns det bara ca 50 sjöar där biologin kan utvärderas, jämfört med vattenkemin där det finns ca 170 sjöar. För de biologiska variabler som har kunnat undersökas, ser man att antalet växtplanktonarter generellt ökat mellan perioderna, vilket kan vara en respons på den minskade försurningen. Även det trofiska planktonindexet ökar mellan perioderna, vilket teoretiskt indikerar på en ökad övergödning. Detta kan möjligen förklaras med den ökade mängden TOC och därmed mer organiskt bundna närsalter. Det är dock så att även om det sker en ökning i trofiskt planktonindex visar det fortfarande inte på att det finns några kraftiga övergödningssproblem i de undersökta sjöarna. För andelen cyanobakterier och den totala biovolymen växtplankton sker ingen generell förändring mellan perioderna. En växtplanktonart som inte producerar gifter, men som med sitt slem skapar andra obehag är *Gonyostomum semen* (gubbslem), den gynnas när temperaturen stiger och de trivs bra i bruna vatten och därför kan det vara intressant att titta närmre på denna art i kommande studier (Rengefors et al. 2012).

Någon generell förklaring till förändringarna i Oligochaeta /Chironomidae-kvoten finns inte, men det kan vara värt att titta på dessa förändringar lokalt med mer ingående analyser. Med tanke på de stora förändringar som sker i vattenkemin så är det av stort intresse för kommande rapporter att titta närmare på bottenfauna och växtplankton. Rapporten "Effekter av kalkning på fisk i rinnande vatten" (HaV 2015) hittade inga tecken på att fisken i de försurade men ej kalkade vattendragen skulle ha återhämtat sig nu när mängden sulfat minskat. Däremot är det rimligtvis så att bottenfaunan och växtplankton svarar snabbare på en återhämtning från försurningen. Därför skulle övergripande analyser av i synnerhet de arter som är känsliga för låga pH-värden samt temperaturförändringar vara av stor betydelse för förståelsen av förändringar i våra sjöar och vattendrag.

Slutsatser

Sammantaget kan man säga att klimatförändringarna påverkar de svenska sjöarna och vattendragen främst genom en ökad temperatur och förändrade vädermönster. Temperaturökningen leder till snabbare tillväxt och nedbrytning vilket ger mer humusämnen, men också syrefattiga jordar som gör järn mer tillgängligt. I kombination med en ökad nederbörd ger detta höjda koncentrationer av TOC och järn i vattendragen och sjöarna. Detta i sin tur har indirekta effekter med en ökad brunifiering och därmed ett minskande siktdjup i många sjöar. Vidare leder den ökade mängden organiskt material till att mängden organiskt bunden fosfor och kväve delvis ökar. Detta leder inte alltid till en ökad koncentration i vattendragen och sjöarna eftersom det under perioden också gjorts stora minskningar i utsläpp av näringsämnen, med minskad kvävedeposition och åtgärder i skogs- och jordbruket för att minska läckaget av närsalter.

En annan viktig faktor som dock inte har direkt med klimatförändringen att göra, är den minskade sulfat-depositionen. Mängden TOC och järn som sköljs ut i vattensystemen ökar och att detta kan kopplas till minskande sulfatkoncentrationer. De minskade sulfatkoncentrationerna påverkar också i viss del alkaliniteten och pH vilket i sin tur har positiva effekter på de flesta organismer. Till exempel så ökar antalet växtplanktonarter, antagligen en indirekt effekt av de minskade sulfat-koncentrationerna. Havs och Vattenmyndighetens studie (HaV 2015) visar än så länge inte på några tecken på återhämtning hos vattendragens fiskar, men det skulle vara värdefullt med en närmare studie av bottenfauna och växtplankton. Möjligen har flera av de försurningskänsliga arter som tidigare slagits ut, nu återkoloniserat några av de vattendrag som visar på ökande pH-värde och alkalinitet (Lingdell and Engblom 2009).

Klimatmodellerna indikerar att man kommer få en fortsatt temperaturökning och en förändrad nederbörd, där vissa delar av landet blir torrare, medan andra får mer nederbörd. Detta i kombination med den fortsatta återhämtningen från försurningen indikerar att det kommer ske en fortsatt ökning av TOC, järn och pH i en del sjöar och vattendrag. Det är också troligt att vi kommer se en fortsatt förändring av artsammansättningen, då kallvatensarter missgynnas allt mer och brunifieringen ökar. Slutligen så visar denna studie hur kraftfull och viktig miljöövervakningen är när det kommer till att upptäcka förändringar i sjöar och vattendrag, men också på vilka brister som finns i materialet. Detta gäller inte minst det biologiska underlaget. Inom den regionala övervakningen finns det möjligheter att utveckla undersökningarna genom att inkludera fler biologiska variabler, samt mer detaljer om markanvändning och lokal påverkan.

Referenser

- Almer, B., et al. (1978). "Sulfur pollution and the aquatic ecosystem." *Sulfur in the Environment*, part **2**: 271-311.
- Boisvenue, C. and S. W. Running (2006). "Impacts of climate change on natural forest productivity - evidence since the middle of the 20th century." *Glob. Change Biol* **12**(5): 862-882.
- Cunningham, L., et al. (2011). "Paleoecological evidence of major declines in total organic carbon concentrations since the nineteenth century in four northern boreal lakes." *Journal of Paleolimnology* **45**(4): 507-518.
- Erlandsson, M., et al. (2008). "Thirty-five years of synchrony in the organic matter concentrations of Swedish rivers explained by variation in flow and sulphate." *Glob. Change Biol* **14**(5): 1191-1198.
- Granéli, W. (2012). Brownification of Lakes. In *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. L. H. Bengtsson, R.; Fairbridge, R., Eds. Springer Science:: 117-119.
- HaV (2015). "Effekter av kalkning på fisk i rinnande vatten." rapport 2015:23.
- Hongve, D., et al. (2004). "Increased colour and organic acid concentrations in Norwegian forest lakes and drinking water - a result of increased precipitation?" *Aquat. Sci.* **66**(2): 231-238.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*.
- Jönsson, M., et al. (2012). "Prey-type-dependent foraging of young-of-the-year fish in turbid and humic environments." *Ecology of Freshwater Fish* **21**(3): 461-468.
- Lingdell, P. and E. Engblom (2009). "Vad säger bottenfaunan." Utvärdering av bottenfaunaundersökningar inom kalkningsverksamheten. Naturvårdsverket rapport **5634**: 205.
- Lucas, R. W., et al. (2016). "Long-term declines in stream and river inorganic nitrogen (N) export correspond to forest change." *Ecological Applications* **26**(2): 545-556.
- Maloney, K. O., et al. (2005). "The role of iron and dissolved organic carbon in the absorption of ultraviolet radiation in humic lake water." *Biogeochemistry* **75**(3): 393-407.
- Muniz, I., et al. (1984). "Relationship between fish populations and pH for lakes in Southernmost Norway." *Water, Air, and Soil Pollution* **23**(1): 97-113.
- Naturvårdsverket (1990). "Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag." *Allmänna Råd* **90:4**.
- Naturvårdsverket (2002). "Kalkning av sjöar och vattendrag." *Handbok 2002:1*.

- Paerl, H. W., et al. (2011). "Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change." *Science of the Total Environment* **409**(10): 1739-1745.
- Ranalli, A. J. and D. L. Macalady (2010). "The importance of the riparian zone and in-stream processes in nitrate attenuation in undisturbed and agricultural watersheds—a review of the scientific literature." *Journal of Hydrology* **389**(3): 406-415.
- Rengefors, K., et al. (2012). "Temperature as a driver for the expansion of the microalga *Gonyostomum semen* in Swedish lakes." *Harmful algae* **18**: 65-73.
- Sjökvist, E., et al. (2013). "Klimatscenarier för Sverige." SMHI.
- Stibe, L. (2015). "Vattenkemiska undersökningar i Hallandsåarna 1972-2014." Länsstyrelsen Hallands Län **2015:14**.
- Weyhenmeyer, G. A., et al. (2012). "Selective decay of terrestrial organic carbon during transport from land to sea." *Glob. Change Biol* **18**(1): 349-355.
- Weyhenmeyer, G. A., et al. (2014). "Browning of boreal freshwaters coupled to carbon-iron interactions along the aquatic continuum." *Plos One* **9**(2): e88104.
- Wiederholm, T. (1999). "Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, sjöar och vattendrag." Naturvårdsverket, rapport **4913**(10).
- Wilander, A. (2008). "Förändringar i sulfatbelastning och sulfatkoncentrationer i IKEU-sjöar och vattendrag—ett underlag för anpassad kalkning." Institutionen för miljöövervakning, SLU.

Bilaga 1, Samtliga sjöar och vattendrag

Tabell A 1. Samtliga sjöar som ingått i analyserna med deras programfyllhörighet, geografiska placering och sjötypsklassning

Stationsnamn	Län	Ekoreg	Nat/Reg	Sjötyp	Sjötyp
Abiskojaure	Norrbottnens län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Allgjuttern	Kalmar län	4	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Alsjön	Västra Götalands län	6	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Alstern	Värmlands län	3	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Bergträsket	Norrbottnens län	3	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Billingen	Värmlands län	6	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Bjännsjön	Västerbottens län	3	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Björken	Södermanlands län	4	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Björklången	Värmlands län	2	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Björnklammen	Värmlands län	6	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Bleklången	Östergötlands län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Bodasjön	Västra Götalands län	6	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Bosjön	Värmlands län	2	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Botungen	Värmlands län	6	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Brunnsjön	Kalmar län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Brännträsket	Norrbottnens län	3	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Bysjön	Värmlands län	6	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Båtkåjaure	Norrbottnens län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Bäen	Skåne län	5	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Bästeträsk	Gotlands län	4	Nat	SSSNY	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Böringesjön	Skåne län	5	Reg	SSSNY	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Bösjön	Dalarnas län	2	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Dagam	Västmanlands län	3	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Dagstorpsjön	Skåne län	5	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Degervattnet	Jämtlands län	3	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Djupa Holmsjön	Södermanlands län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Dunnervattnet	Jämtlands län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Ejgdesjön	Västra Götalands län	6	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Ekholmssjön	Uppsala län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig

Förändringar i sjöar och vattendrag

Stationsnamn	Län	Ekoreg	Nat/Reg	Sjötyp	Sjötyp
Ellestadssjön	Skåne län	5	Reg	SSSNY	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Fagertårn	Örebro län	4	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Farstusjön	Kronobergs län	4	Reg	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Fersjön	Blekinge län	4	Reg	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Fiolen	Kronobergs län	7	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Fisjön	Västra Götalands län	6	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Fjärasjö	Jönköpings län	7	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Fräcksjön	Västra Götalands län	6	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Fysingen	Stockholms län	4	Nat	SSSNY	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Fåglasjön	Skåne län	5	Reg	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Försjön	Jönköpings län	7	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Gipsjön	Dalarnas län	2	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Glimmingen	Östergötlands län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Gosjön	Gävleborgs län	3	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Granvattnet	Västra Götalands län	6	Nat	SSSN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Grissjön	Östergötlands län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Gröcken	Värmlands län	2	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Gyltigesjön	Hallands län	6	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Gyslättsjön	Kronobergs län	7	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Gölasjön	Kronobergs län	4	Reg	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Hagasjön	Jönköpings län	6	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Harasjön	Hallands län	6	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Havgårdssjön	Skåne län	5	Nat	SSSNY	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Hjärtsjön	Kronobergs län	7	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Hojagöl	Kronobergs län	7	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Holmeshultasjön	Jönköpings län	7	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Horsan	Gotlands län	4	Nat	SSSNY	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Hultasjön	Blekinge län	4	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Humsjön	Västra Götalands län	4	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Hällsjön	Dalarnas län	3	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Hällvattnet	Västernorrlands län	3	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Härsvatten	Västra Götalands län	6	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Hökesjön	Kalmar län	4	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Jutsajaure	Norrbottnens län	2	Nat	SSSN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Kallsjön	Gävleborgs län	3	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Klintsjön	Kronobergs län	7	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig

Klimatrelaterade förändringar i sjöar och vattendrag

Stationsnamn	Län	Ekoreg	Nat/Reg	Sjötyp	Sjötyp
Kranesjön	Skåne län	5	Nat	SSSNY	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Krutejaure	Jämtlands län	1	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Kämgöl	Kronobergs län	7	Reg	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Latnajaure	Norrbottnens län	1	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Liasjön	Skåne län	4	Reg	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Lien	Västmanlands län	3	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Lill-En	Värmlands län	2	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Lill-Jangen	Värmlands län	2	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Lilla Öresjön	Västra Götalands län	6	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Lillesjö	Skåne län	5	Nat	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Lillsjön	Södermanlands län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Limmingsjön	Örebro län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Louvvojaure	Norrbottnens län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Långsjön	Örebro län	4	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Långsjön	Gävleborgs län	2	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Lärkesholms-sjön	Skåne län	5	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Mossgöl	Blekinge län	4	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Mossjön	Jönköpings län	7	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Mäsen	Dalarnas län	3	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Mögesjön	Värmlands län	3	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Njalakjaure	Norrbottnens län	1	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Norra Örsjön	Värmlands län	6	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Pahajärvi	Norrbottnens län	2	Nat	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Rattsjön	Värmlands län	2	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Remmarsjön	Västernorrlands län	3	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Rinnen	Värmlands län	3	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Rotehogstjärnen	Västra Götalands län	6	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Rundbosjön	Södermanlands län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
S Kroksjön	Skåne län	5	Reg	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Sandsjön	Värmlands län	6	Reg	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Sangen	Jämtlands län	2	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Sidensjön	Västerbottens län	3	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Siggeforasjön	Uppsala län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Skårdalsvattnet	Värmlands län	6	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Skäravattnet	Skåne län	5	Reg	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig

Förändringar i sjöar och vattendrag

Stationsnamn	Län	Ekoreg	Nat/Reg	Sjötyp	Sjötyp
Skäravattnet	Blekinge län	4	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Skärgölen	Kalmar län	4	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Skärgölen	Östergötlands län	4	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Skärilen	Kronobergs län	7	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Skärsjön	Hallands län	6	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Snogeholms- sjön	Skåne län	5	Reg	SSSNY	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Spjutsjön	Dalarnas län	3	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
St Skärsjön	Hallands län	6	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
St. Lummersjön	Västra Götalands län	7	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Stavsjön	Kronobergs län	6	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Stengårdshul- tasjön	Jönköpings län	7	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Stensjön	Jämtlands län	2	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Stensjön	Gävleborgs län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Stensjön	Stockholms län	4	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Stor-Arasjön	Västerbottens län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Stor-Backsjön	Jämtlands län	2	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Stor-Björnsjön	Jämtlands län	2	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Stor-En	Värmlands län	2	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Stor-Hässlingen	Värmlands län	3	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Stor-Tjulträsket	Västerbottens län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Stora Envättern	Stockholms län	4	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Stora Galten	Västra Götalands län	6	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Stora Gryten	Östergötlands län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Stora Härsjön	Västra Götalands län	6	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Stora Skärsjön	Kronobergs län	7	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Stora Trestick- lan	Västra Götalands län	6	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Stora Örsjön	Värmlands län	2	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Storasjö	Kronobergs län	7	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Svaneholms- sjön	Skåne län	5	Reg	SSSNY	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Svanshalssjön	Skåne län	4	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Svartesjön	Hallands län	6	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Svartsjön	Västra Götalands län	6	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Svartvattnet	Västerbottens län	3	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Svinarydsjön	Blekinge län	5	Nat	SSSN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig

Stationsnamn	Län	Ekoreg	Nat/Reg	Sjötyp	Sjötyp
Sännen	Blekinge län	4	Nat	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Sövdeborgs-sjön	Skåne län	5	Reg	SSSNN	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Sövdesjön	Skåne län	5	Reg	SSSNN	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Tomeshultagö-len	Kalmar län	4	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Torrårdsvatt-net	Västra Götalands län	6	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Trehörningen	Värmlands län	2	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Tryssjön	Dalarnas län	2	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Tvällen	Värmlands län	2	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Tvärningen	Gävleborgs län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Tångerdasjön	Jönköpings län	7	Nat	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Täftesträsket	Västerbottens län	3	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Tängersjö	Kalmar län	4	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Tärnan	Stockholms län	4	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Ulvsjön	Värmlands län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
V Skälsjön	Västmanlands län	3	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
V. Rännö-bodsjön	Västernorrlands län	3	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Valasjön	Västernorrlands län	3	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Valkeajärvi	Norrbottnens län	2	Nat	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Vitavatten	Blekinge län	5	Reg	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Vitavatten	Blekinge län	4	Reg	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Vittsjön	Skåne län	4	Reg	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Vrången	Kronobergs län	7	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Vuolgamjaure	Norrbottnens län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Vågsjön	Värmlands län	3	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Värsjön	Skåne län	4	Reg	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Västra Helgtjärnen	Jämtlands län	2	Reg	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Västra Solsjön	Västra Götalands län	6	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Yddingen	Skåne län	5	Reg	SSSNN	d grund sjö, inte brunfärgad, kalkrik
Älgarydssjön	Jönköpings län	7	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Älgsjön	Södermanlands län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Ämten	Värmlands län	2	Reg	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig
Ämten	Örebro län	3	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Ö Särnamannasjön	Dalarnas län	1	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Ö. Särnamannasjön	Dalarnas län	1	Reg	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Ögerträsket	Västerbottens län	3	Nat	SSSYN	e grund sjö, brunfärgad, kalkfattig
Örsjön	Östergötlands län	4	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig

Förändringar i sjöar och vattendrag

Stationsnamn	Län	Ekoreg	Nat/Reg	Sjötyp	Sjötyp
Örsjön	Blekinge län	5	Nat	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Örvattnet	Värmlands län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Översjön	Värmlands län	2	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Överudssjön	Värmlands län	6	Nat	SDSN N	a grund sjö med djuphåla, inte brunfärgad, kalkfattig
Övre Fjätsjön	Jämtlands län	2	Nat	SSSNN	c grund sjö, inte brunfärgad, kalkfattig
Övre Skärsjön	Västmanlands län	2	Nat	SDSYN	b grund sjö med djuphåla, brunfärgad, kalkfattig

Tabell A 2. Samtliga vattendragslokaler som ingått i analyserna med deras geografiska placering och vattendragstypsklassning

Stationsnamn	Län	Ekoreg	Nat/Reg	Typ	Vattendragstyp
Abiskojokk	Norrbottens län	2	Nat	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Akkarjåkkå	Norrbottens län	2	Nat	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Alep Uttjajåkkå	Norrbottens län	2	Nat	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Alsterälven Alster	Värmlands län	6	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Ammerån Skyttmon	Jämtlands län	2	Nat	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Arån Arälund	Jämtlands län	2	Nat	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Bastuån	Jämtlands län	2	Nat	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Bergmyrbäcken	Norrbottens län	2	Nat	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Bjurbäcken	Västerbottens län	3	Nat	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Björkeredsbäcken	Hallands län	6	Nat	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Bjömbäckån	Gävleborgs län	3	Nat	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Blackstabro	Södermanlands län	4	Reg	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Bokvarn	Södermanlands län	4	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Bordsjöbäcken	Jönköpings län	7	Reg	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Bratteforsån	Västra Götalands län	6	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Bråtängsbäcken	Västra Götalands län	6	Nat	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Bulsjöån	Östergötlands län	7	Nat	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Byälven Säfte V	Värmlands län	6	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Börumsbäcken	Östergötlands län	4	Reg	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Dammån	Kronobergs län	7	Nat	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Djupån	Östergötlands län	4	Reg	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Domneån	Jönköpings län	7	Nat	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Drivån	Skåne län	4	Reg	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Ejgstån	Västra Götalands län	6	Nat	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Fagerhultbäcken	Västra Götalands län	6	Reg	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Fiskonbäcken	Västerbottens län	6	Nat	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Fitunaån	Stockholms län	2	Reg	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Fyllebro	Hallands län	6	Reg	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Färgeån	Hallands län	6	Nat	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Gnyltån	Jönköpings län	7	Nat	VSNN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig

Förändringar i sjöar och vattendrag

Stationsnamn	Län	Ekoreg	Nat/Reg	Typ	Vattendragstyp
Gothemsån Hörsne	Gotlands län	4	Reg	VLNY	b stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Gärebäcken	Västra Götalands län	6	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Gärån	Västra Götalands län	6	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Hedeviken	Jämtlands län	2	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Hoan	Jämtlands län	2	Reg	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Husbyån	Stockholms län	4	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Hångelån	Gävleborgs län	2	Reg	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Häradsbäcken	Jönköpings län	7	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Härån (Storån)	Gävleborgs län	3	Nat	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Höjdebäcken	Västerbottens län	2	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Hörtingeån-Rökeå	Skåne län	5	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Immeln utlopp	Skåne län	5	Reg	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Indalsälven Hammarstrand	Jämtlands län	3	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Kila	Södermanlands län	4	Nat	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Killingi	Norrbottens län	2	Nat	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Klarälven Almar	Värmlands län	6	Reg	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Klarälven Edsforsen	Värmlands län	3	Nat	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Klarälven Norra Råda	Värmlands län	3	Reg	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Klingavälsån	Skåne län	5	Nat	VLNY	b stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Kringlan	Örebro län	3	Nat	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Kukkasjärvi	Norrbottens län	3	Nat	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Kvarnebäcken	Västra Götalands län	6	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Kvarnån	Västernorrlands län	3	Nat	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Kärmsjöbäcken	Västernorrlands län	2	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Kävlingeån Högsmölla	Skåne län	5	Nat	VLNY	b stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Laxtjärnsbäcken	Norrbottens län	2	Nat	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Liffedarve	Gotlands län	4	Nat	VLNY	b stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Lifsingeån	Södermanlands län	4	Reg	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Lill-Fämtan	Dalarnas län	2	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Lilltjärnsbäcken	Jämtlands län	2	Nat	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Lillån (Oskarsström)	Hallands län	6	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig

Klimatrelaterade förändringar i sjöar och vattendrag

Stationsnamn	Län	Ekoreg	Nat/Reg	Typ	Vattendragstyp
Lillån-Bosgårdsån	Hallands län	6	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Lindåsabäcken	Västra Götalands län	6	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Ljusnan Funäsdalen	Jämtlands län	2	Nat	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Ljusnan, Ljusnedal	Jämtlands län	2	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Ljusnan, Sveg	Jämtlands län	2	Reg	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Lommabäcken	Västra Götalands län	7	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Lyckebyån	Blekinge län	5	Nat	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Långhalsen, Ålspånga	Södermanlands län	4	Reg	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Mansån	Värmlands län	2	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Mesjön	Västerbottens län	2	Nat	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Morån	Kalmar län	4	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Muddusälven	Norrbottens län	2	Nat	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Mölnboån, bron vid Sjögård	Stockholms län	4	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Mörrumsån Mörrum	Blekinge län	4	Nat	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Norrhultsbäcken	Kronobergs län	7	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Norsälven Norsbron	Värmlands län	6	Reg	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Ostvik	Västerbottens län	3	Nat	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Oxundaån Rosendal	Stockholms län	4	Reg	VLNN	b stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Pinnarpsbäcken	Östergötlands län	4	Reg	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Pipbäcken Nedre	Hallands län	6	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Rickleån Robertsfors	Västerbottens län	3	Nat	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Ringsmobäcken	Västra Götalands län	6	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Rokån	Norrbottens län	3	Reg	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Rönneb. Simontorp	Skåne län	4	Reg	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Sigtunaån	Södermanlands län	4	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Skellefte älv Slagnös	Norrbottens län	2	Nat	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Skärån, Skäralid	Skåne län	5	Nat	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Sollumsån	Västra Götalands län	6	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Stensån Malen	Skåne län	5	Reg	VLNN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Stockholm Centralbron	Stockholms län	4	Nat	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Stommeäcken	Västra Götalands län	6	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig

Förändringar i sjöar och vattendrag

Stationsnamn	Län	Ekoreg	Nat/Reg	Typ	Vattendragstyp
Stormyrbäcken	Västernorrlands län	2	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Storsjöns utlopp	Södermanlands län	4	Reg	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Svartberget	Västerbottens län	3	Nat	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Svedån Sved	Jönköpings län	7	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Sågebäcken	Västra Götalands län	6	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Sörjabäcken (Lillån)	Gävleborgs län	3	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Teåkersälven	Västra Götalands län	6	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Tolångaån Tolånga	Skåne län	5	Nat	VLNY	b stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Trollbäcken	Skåne län	5	Nat	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Trönninge	Hallands län	6	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Tyresån	Stockholms län	4	Reg	VLNY	b stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Tännån	Jämtlands län	2	Reg	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Tönnersa	Hallands län	6	Reg	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Upperudsälv	Västra Götalands län	6	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
V. Dalälven Mockfjärd	Dalarnas län	2	Nat	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Vemån	Jämtlands län	2	Reg	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Verkaån, Haväng	Skåne län	5	Nat	VLNY	b stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Viepsajäkkå	Norrbottens län	2	Nat	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Vindelälven-Maltbrännan	Västerbottens län	3	Nat	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Viskansbäcken	Västernorrlands län	3	Nat	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Visman Nybble	Värmlands län	6	Reg	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Väla å SO Holmby	Södermanlands län	4	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Västergarnsån	Gotlands län	4	Reg	VLNY	b stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Västersel	Västernorrlands län	3	Nat	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Yl. Kihlankijoki	Norrbottens län	2	Reg	VSNN	d litet avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Åkfors	Södermanlands län	4	Reg	VLNN	a stort avrinningsområde, inte brunfärgad, kalkfattig
Åvaån	Stockholms län	4	Reg	VSYN	e litet avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Ätran Skåpanäs	Västra Götalands län	6	Reg	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig
Övre Lansjärv	Norrbottens län	3	Reg	VLYN	c stort avrinningsområde, brunfärgad, kalkfattig

Bilaga 2, Beskrivande statistik från rmANOVA

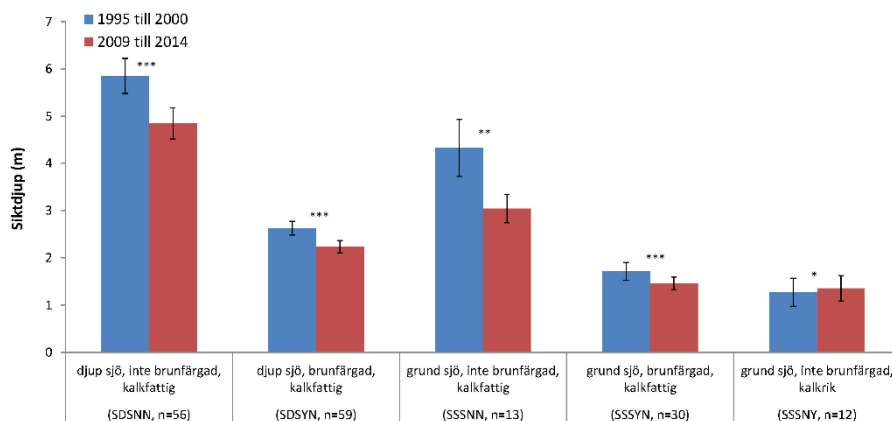
Tabell A 3. Resultat från rmANOVA för sjöarna, med antal, f-värden samt p-värden

Variabel	Faktor	n	f	p-värde
Siktdjup	period	166	68,06	<0,0001
	period*ekoregion		3,58	0,004
	period*sjötyp		7,22	<0,0001
Absorbans	period	172	131,96	<0,0001
	period*ekoregion		6,72	<0,0001
	period*sjötyp		8,93	<0,0001
TOC	period	172	166,78	<0,0001
	period*ekoregion		1,25	0,288
	period*sjötyp		2,26	0,064
Järn	period	156	22,42	<0,0001
	period*ekoregion		0,49	0,782
	period*sjötyp		2,86	0,026
Totalkväve	period	177	40,34	<0,0001
	period*ekoregion		58,92	<0,0001
	period*sjötyp		9,71	<0,0001
Totalfosfor	period	177	5,13	0,025
	period*ekoregion		12,92	<0,0001
	period*sjötyp		12,92	<0,0001
Sulfat	period	177	410,27	<0,0001
	period*ekoregion		5,18	<0,0001
	period*sjötyp		1,12	0,349
pH	period	177	5,95	0,016
	period*ekoregion		2,62	0,026
	period*sjötyp		4,08	0,004
Alkalinitet	period	173	22,52	<0,0001
	period*ekoregion		1,42	0,220
	period*sjötyp		2,02	0,095
Biovolym växtplankton (mm ³ /l)	period	57	0,74	0,395
	period*ekoregion		0,52	0,724
	period*sjötyp		5,38	0,007
Trofiskt plankton index (TPI)	period	47	9,62	0,003
	period*ekoregion		0,48	0,701
	period*sjötyp		2,82	0,071
Antal växtplankton arter	period	57	36,33	<0,0001
	period*ekoregion		0,42	0,795
	period*sjötyp		2,17	0,124
Andel cyanobakterier	period	41	1,52	0,226
	period*ekoregion		0,636	0,597
	period*sjötyp		2,931	0,065
Kvoten O/C	period	66	1,20	0,277
	period*ekoregion		1,32	0,273
	period*sjötyp		1,60	0,211

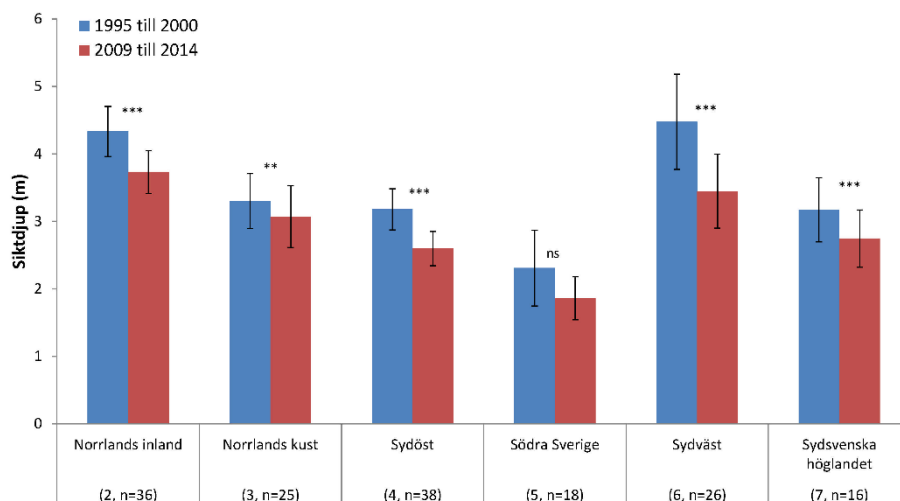
Tabell A 4. Resultat från rmANOVA för vattendragen, med antal, f-värden samt p-värden

Variabel	Faktor	n	f	p-värde
Absorbans	period	95	5,73	0,019
	period*ekoregion		4,03	0,005
	period*vattendragstyp		5,184	0,002
TOC	period	63	38,13	<0,0001
	period*ekoregion		3,58	0,019
	period*vattendragstyp		1,36	0,265
Järn	period	64	8,124	0,006
	period*ekoregion		0,463	0,709
	period*vattendragstyp		2,94	0,040
Totalkväve	period	123	77,62	<0,0001
	period*ekoregion		7,95	<0,0001
	period*vattendragstyp		3,93	0,005
Totalfosfor	period	106	0,934	0,336
	period*ekoregion		5,274	0,001
	period*vattendragstyp		1,736	0,164
Sulfat	period	93	139,17	<0,0001
	period*ekoregion		6,81	<0,0001
	period*vattendragstyp		7,60	<0,0001
pH	period	123	13,824	<0,0001
	period*ekoregion		1,291	0,273
	period*vattendragstyp		6,97	<0,0001
Alkalinitet	period	90	11,57	0,001
	period*ekoregion		2,18	0,096
	period*vattendragstyp		1,45	0,234
Flöde (årsmedelvärde)	period	87	39,275	<0,0001
	period*ekoregion		2,43	0,071
	period*vattendragstyp		2,32	0,081

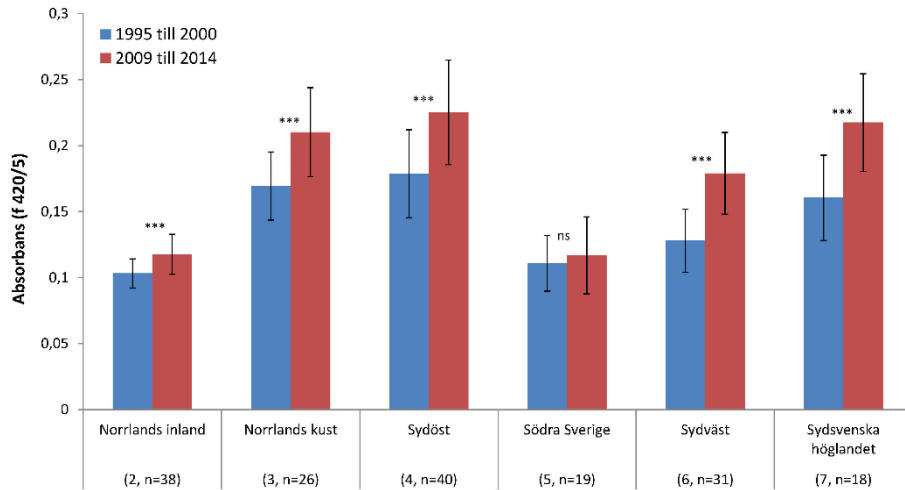
Bilaga 3. Samtliga resultatfigurer



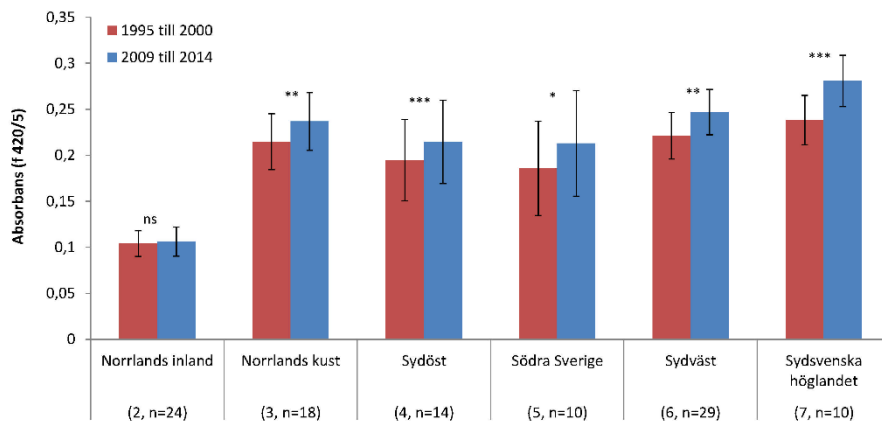
Figur A 1. Förändring i siktdjup för de olika sjötyperna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1 SE (standardfel).



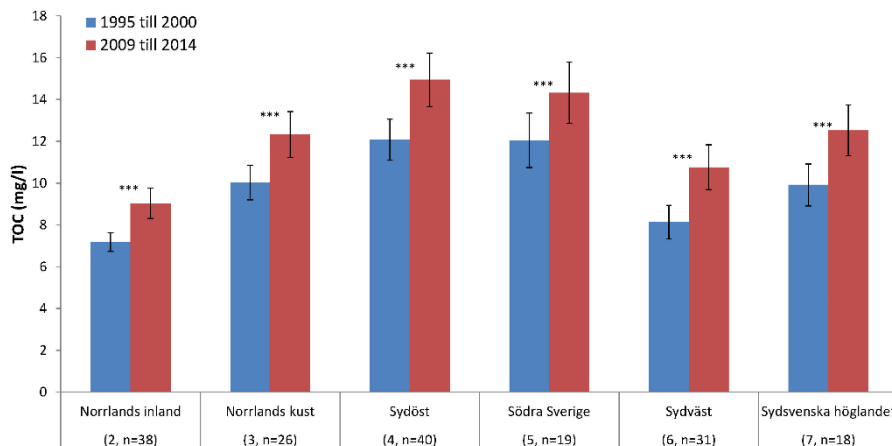
Figur A 2. Sjöarnas förändring i siktdjup fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1 SE (standardfel).



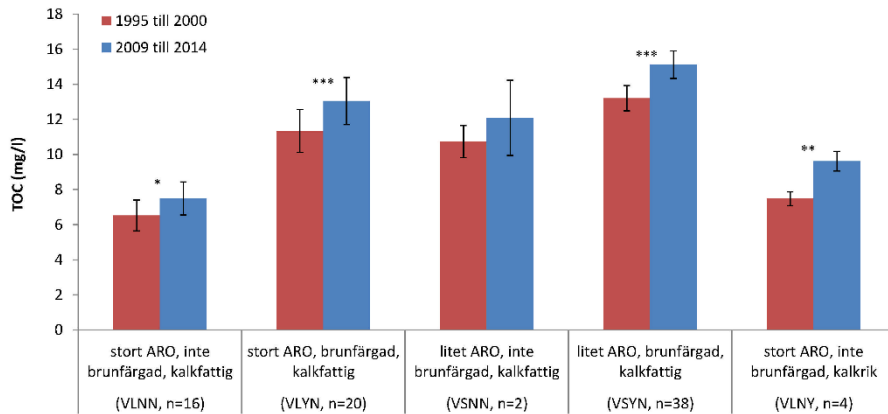
Figur A 3. Sjöarnas förändring i absorbans fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde ±1SE (standardfel).



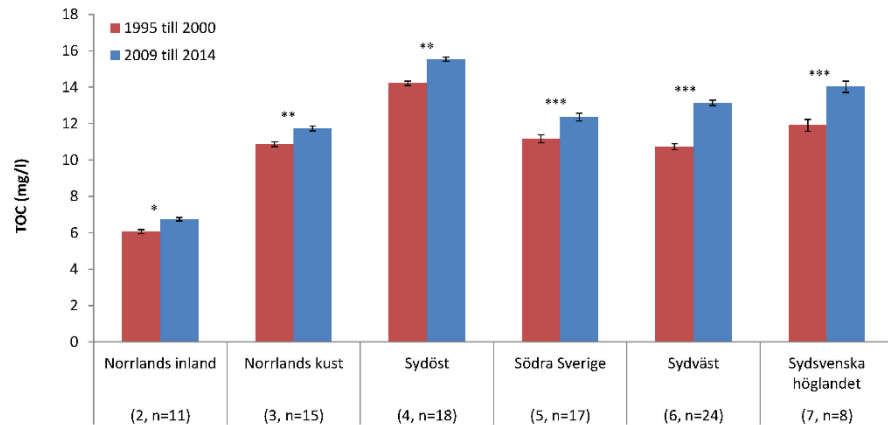
Figur A 4. Vattendragens förändring i absorbans fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde ±1SE (standardfel).



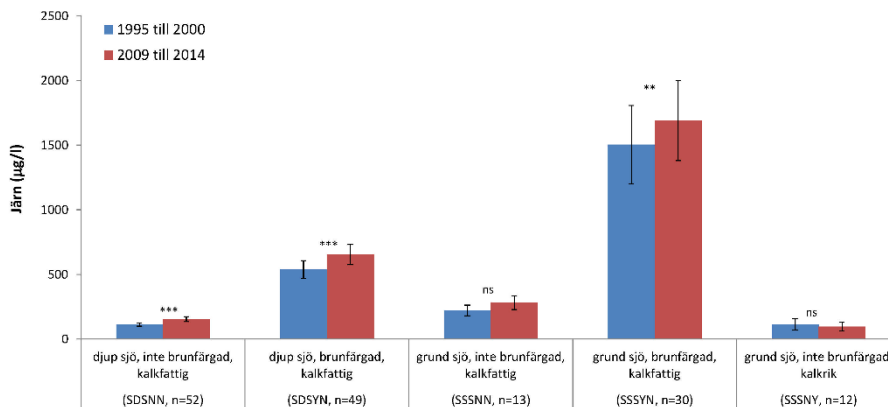
Figur A 5. Sjöarnas förändring i TOC fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde ±1SE (standardfel).



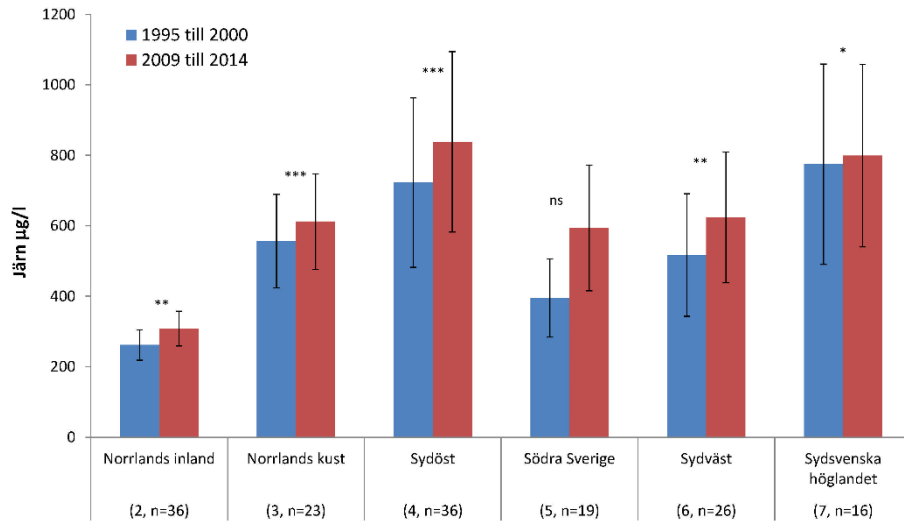
Figur A 6. Vattendragstypernas förändring i absorptions, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



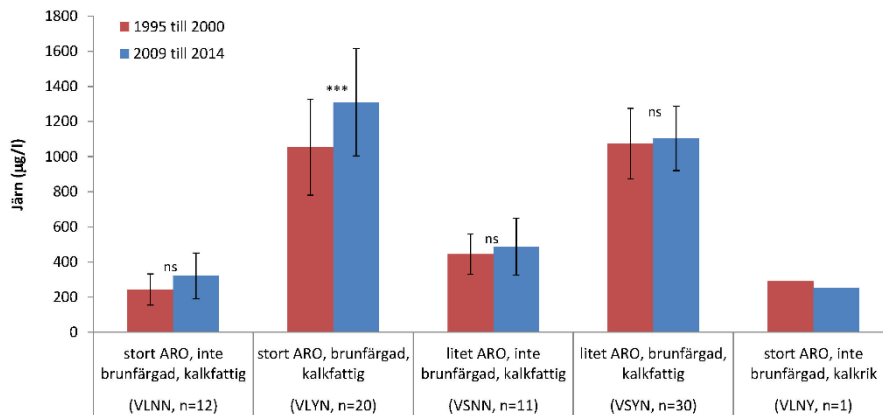
Figur A 7. Vattendragens förändring i TOC fördelat på de olika ecoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



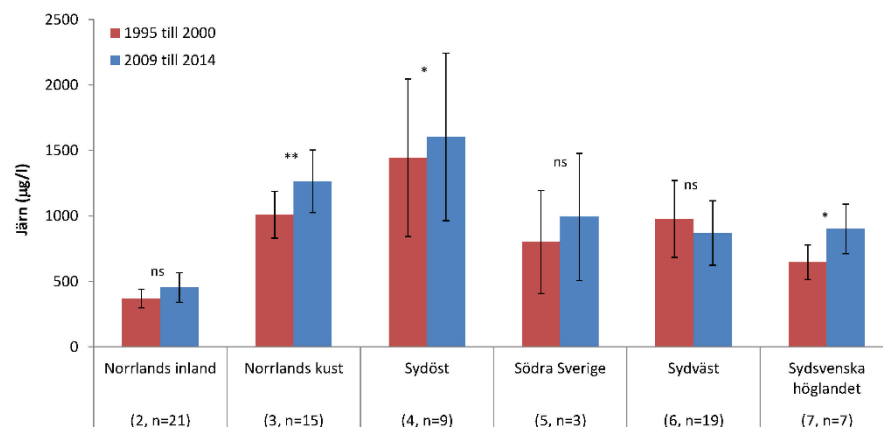
Figur A 8. Järn i de olika sjötyperna för de två tidsperioderna, signifikans (ns, *, **, ***) baseras på de parade t-testen. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



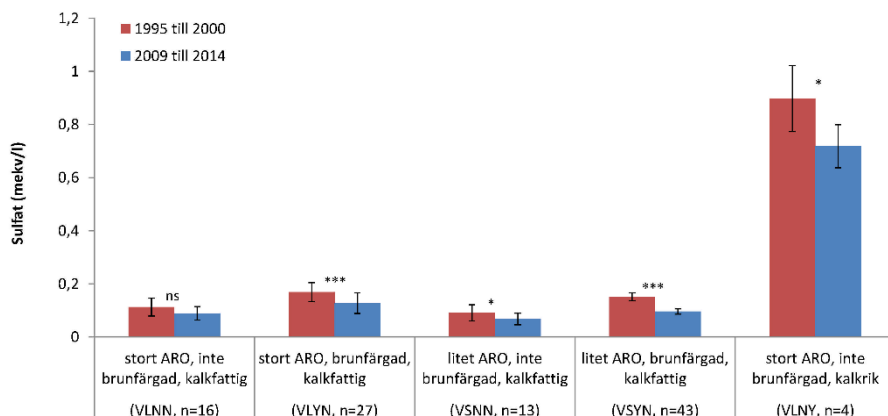
Figur A 9. Sjöarnas förändring i järn fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



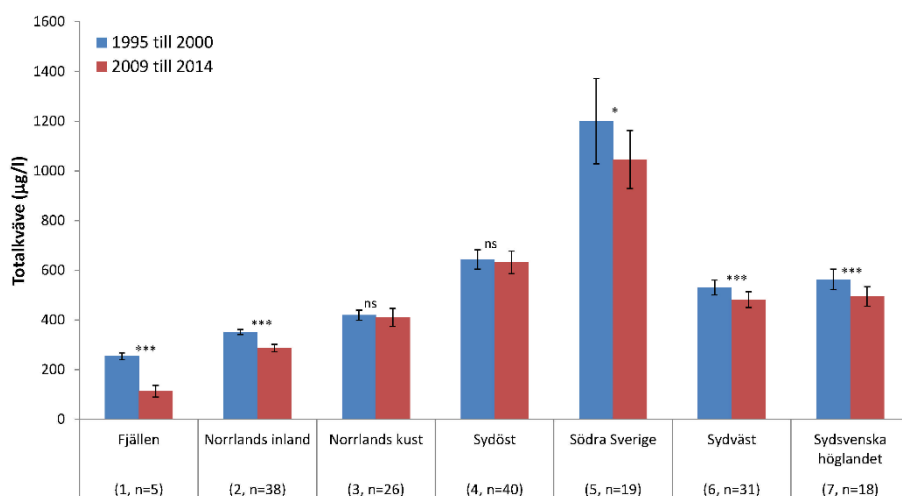
Figur A 10. Vattendragstypernas förändring i järn, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



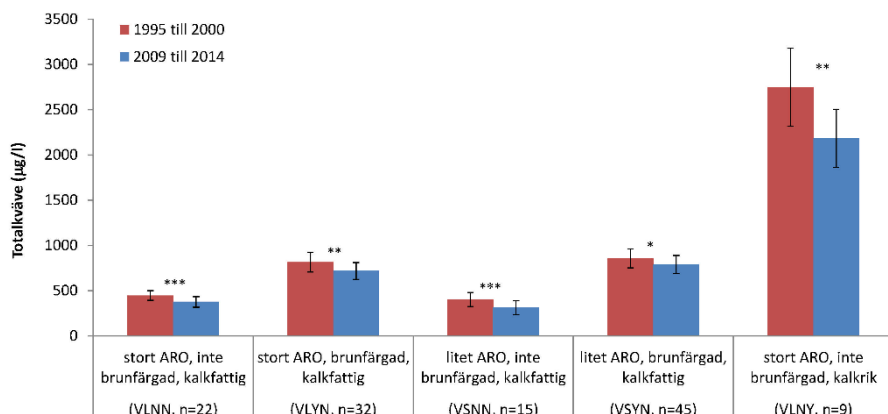
Figur A 11. Vattendragens förändring i järn fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test.



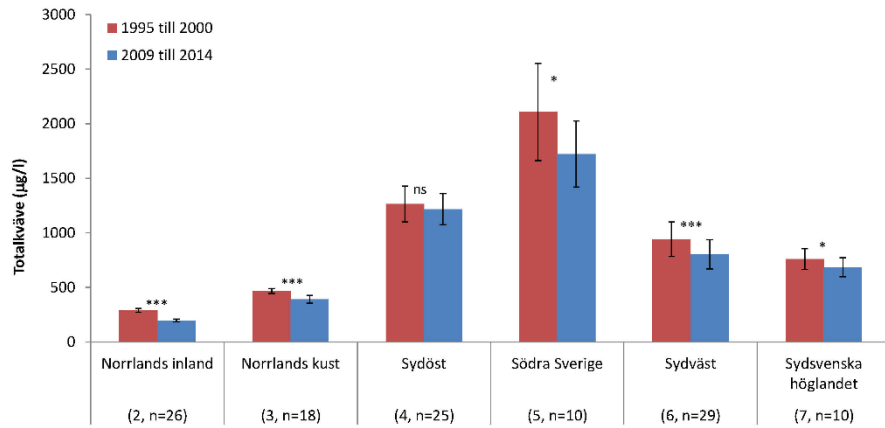
Figur A 12. Vattendragstypernas förändring i sulfat, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test.



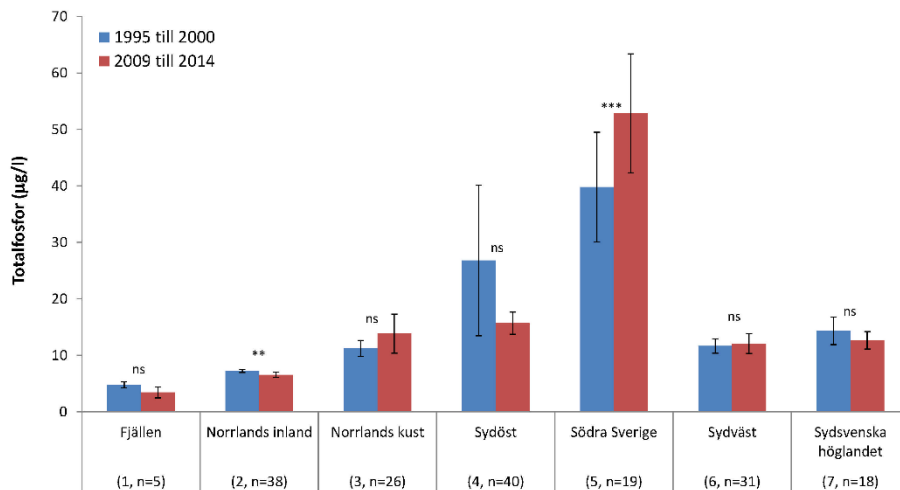
Figur A 13. Sjöarnas förändring i totalkväve fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test.



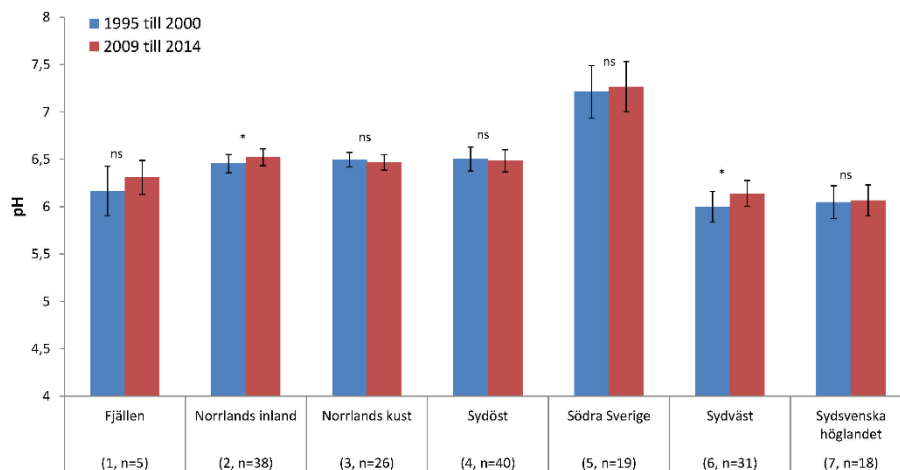
Figur A 14. Vattendragstypernas förändring i totalkväve, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



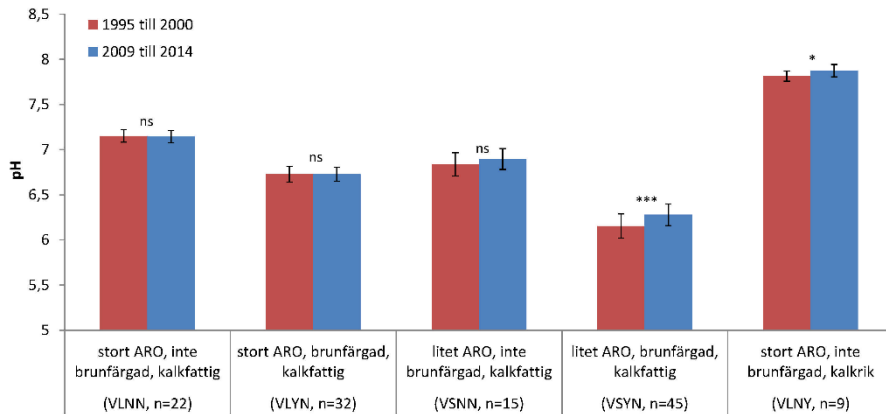
Figur A 15. Vattendragens förändring i totalkväve fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



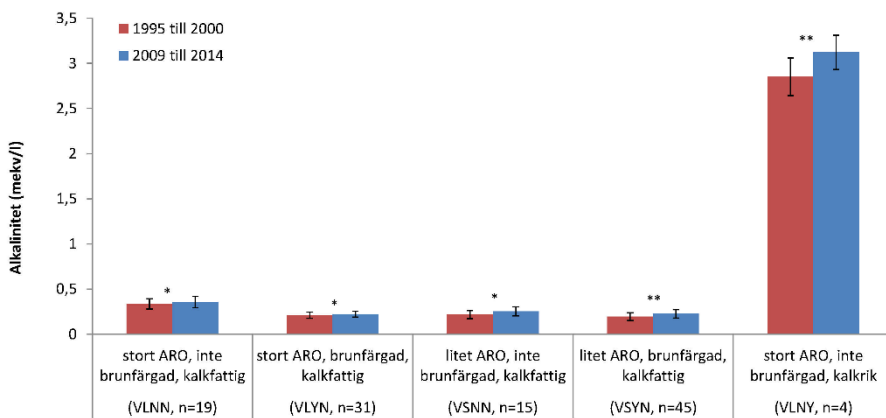
Figur A 16. Sjöarnas förändring i totalfosfor fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



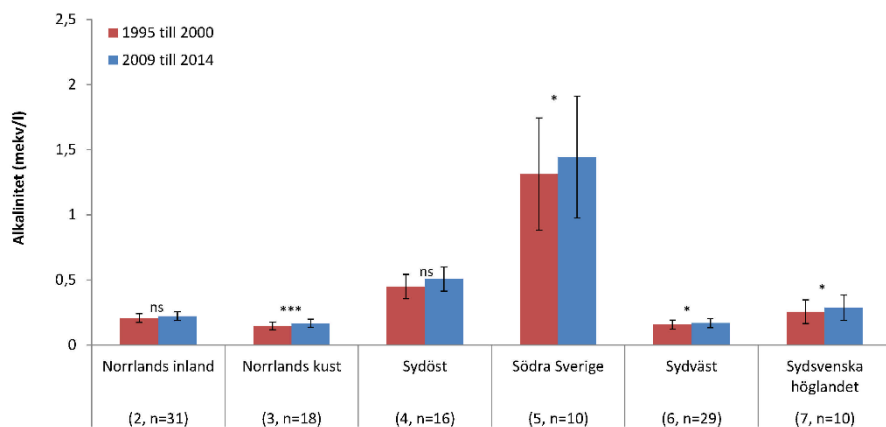
Figur A 17. Sjöarnas förändring i pH fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



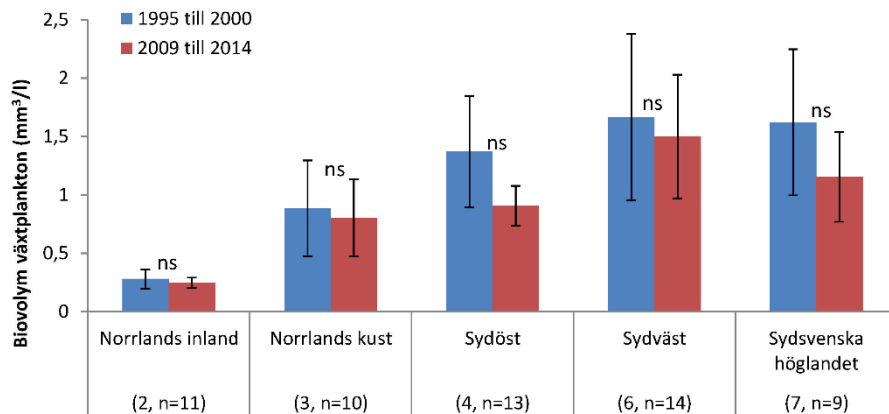
Figur A 18. Vattendragstypernas förändring i pH, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



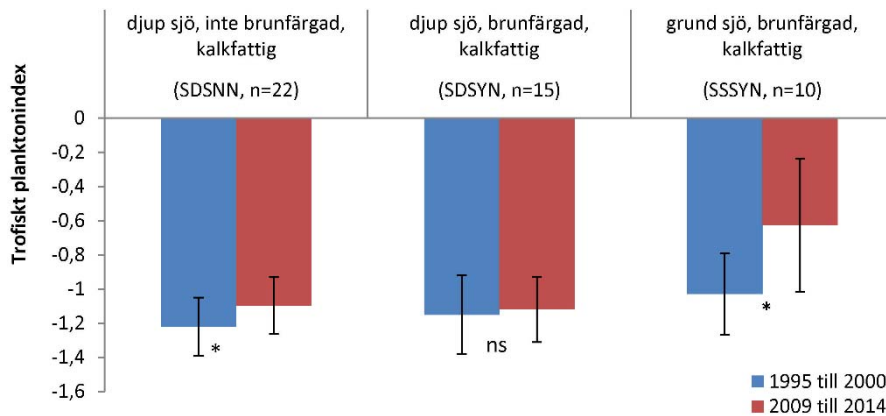
Figur A 19. Vattendragstypernas förändring i alkalinitet, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



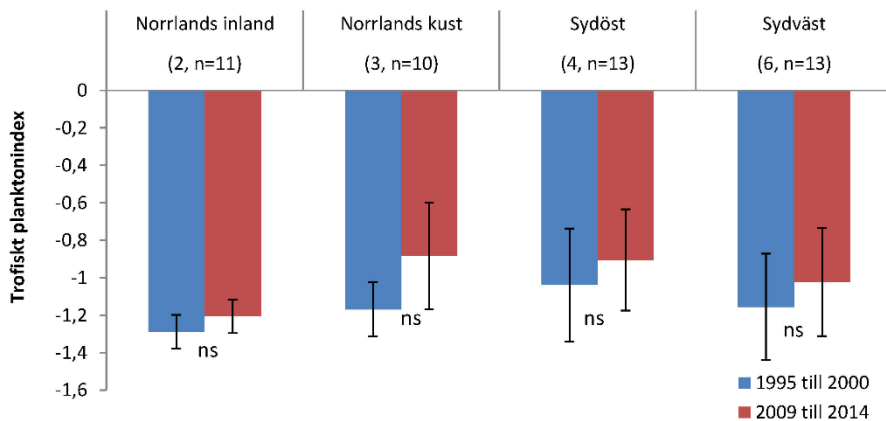
Figur A 20. Vattendragens förändring i alkalinitet fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



Figur A 21. Sjöarnas förändring i den totala biovolymen växtplankton fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



Figur A 22. Sjöarnas förändring i det trofiska planktonindex (TPI) fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).



Figur A 23. Sjöarnas förändring i trofiska planktonindex (TPI) fördelat på de olika ekoregionerna, signifikans (ns, *, **, ***) baserat på parade t-test. Staplarna anger medelvärde $\pm$ 1SE (standardfel).

