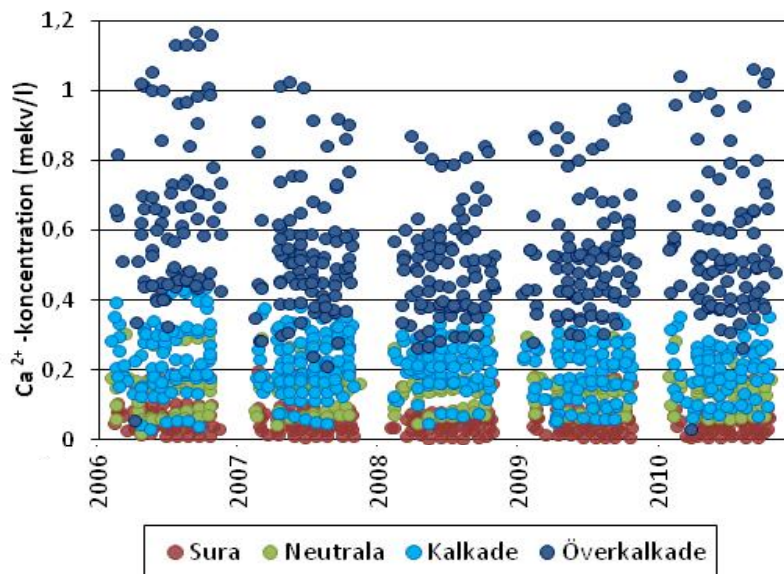


IKEUs överkalkningsprogram 2006-2010

Vilka effekter på biota ser man i
överkalkade sjöar?



Stina Drakare, Gunnar
Persson, David Angeler och
Kerstin Holmgren

Institutionen för vatten och miljö, SLU
Box 7050
750 07 Uppsala
Tel. 018 – 67 31 10
<http://www.slu.se/vatten-miljo>

Omslagsillustration/omslagsfoto: Stina Drakare

Tryck: Institutionen för vatten och miljö, SLU
Uppsala, 5 september 2012

Innehåll

INNEHÅLL	4
SAMMANFATTNING	5
SUMMARY	7
SYFTET MED STUDIEN	9
METODER	10
RESULTAT	14
Hur skiljer sig överkalkade sjöar kemiskt?	14
Skillnader i biota	17
Hur skiljer sig växtplankton i överkalkade sjöar jämfört med andra sjögrupperna (sura, neutrala, kalkade sjöar)?	17
Hur skiljer sig djurplankton i överkalkade sjöar jämfört med andra sjögrupper?	23
Skiljer sig profundalfaunans samhällsstruktur i överkalkade sjöar jämfört med den i andra sjögrupper?	27
Hur skiljer sig bottenfaunans samhällsstruktur i litoralen (M42) i överkalkade sjöar?	30
Hur skiljer sig fisksamhällets struktur i de överkalkade sjöarna?	34
SLUTSATSER	37
REFERENSER	38
APPENDIX	39
Fördelning av olika växtplanktongrupper taxa	40
Fördelning av olika djurplanktongrupper taxa	52
Förekomst av bottenfauna utmed pH- och $[Ca^{2+}]$ - gradienten	54

Sammanfattning

IKEUs provtagningsprogram i överkalkade sjöar pågick mellan 2006 och 2010. Vi har nu sammanställt biologiska data från dessa sjöar och jämfört dem med motsvarande data från IKEUs mer normalt kalkade sjöar samt sura och neutrala referenssjöar. Neutrala referenssjöar har använts som mått på en sjös idealsamhälle, det ekosystem man vill uppnå med kalkning. Organismer har analyserats på både detaljerad taxanivå samt indelat i funktionella grupper där så var möjligt. Särskilt har multivariata statistiska metoder använts för att jämföra hur samhällsstrukturen ser ut inom och mellan de olika sjögrupperna.

Vattenkemiskt sett hade överkalkade sjöarna tydligt högre pH och Ca^{2+} -koncentration än de andra sjöarna. Överkalkade sjöar hade i medeltal pH 7,3 och $[\text{Ca}^{2+}]$ på 0,55 mekv/l medan neutrala referenssjöarna för en jämförelse karaktäriseras av pH på i medeltal 6,6 och $[\text{Ca}^{2+}]$ på 0,15 mekv/l.

För växtplankton visar analyserna att artantalet med överkalkning ligger på den nivå man har i neutrala sjöar, dvs. ca 40 taxa. Analyserna visar dock att både överkalkning och mer normal kalkning, ger ett annorlunda växtplanktonsamhälle än i neutrala sjöar. Växtplanktonsamhället i överkalkade sjöar liknar mer det i naturliga hårdvattenssjöar. Överkalkning är alltså en alltför kraftfull åtgärd för att uppnå mål-växtplanktonsamhället.

För djurplankton är det stort överlapp i samhällsstruktur mellan överkalkade, kalkade och referenssjöar (både neutrala och sura). Det är endast den sura Lillesjö som har ett riktigt avvikande djurplanktonsamhälle, och den är både fisklös och har höga halter av aluminium, två faktorer som vi vet påverkar djurplanktonsamhällen. Överkalkning av sjöar har alltså inte några större negativa effekter på djurplanktonsamhället.

För bottenfaunan i profundalen är det ännu mindre effekter av överkalkning. Bottenfaunan är redan likartad i sura och neutrala referenssjöar och är inte heller annorlunda i de två grupperna med kalkade sjöar. För litoral bottenfauna är det svårare att göra en bedömning eftersom det använts två olika metoder vilket minskar sjöurvalet. Sura och kalkade sjöar har störst variation i samhällsstruktur och det går dessutom att urskilja vissa regionala skillnader som att höglänta sjöar oavsett behandling liknar varandra i bottenfaunasammansättning. Neutrala och överkalkade sjöar har mycket mindre variation inom respektive grupp och de är dessutom mycket överlappande med varandra, vilket tyder på att överkalkning inte är något problem för litoral bottenfauna. Men eftersom den neutrala gruppen endast representeras av två sjöar, mot normalt åtta, är det ett osäkert resultat.

Fisksamhället i överkalkade sjöar är inte lika de neutrala sjöarna i varken artantal, biomassa eller struktur, och för artantal går de inte att skilja från de sura sjöarna.

Detta kan delvis bero på att de överkalkade sjöarna generellt sett är små och ligger inom ett biogeografiskt område där mört och abborre dominerar, vilket inte gäller alla sjöar i studien. Det går därför inte att säga att överkalkning är negativt för fisk-samhällets struktur med detta material.

De överkalkade sjöarna utmärkte sig inte vad gäller funktionella grupper för någon av de studerade organismerna. Relativt grova mått på funktion användes och ingen av dessa funktioner minskade eller ökade drastiskt vid överkalkning.

Ett appendix ingår i rapporten med information om lägsta och högsta pH respektive $[Ca^{2+}]$ som olika taxa av växtplankton, djurplankton och bottenfauna påträffades vid i studien. I appendix framgår tydligt att vissa grupper har många taxa som är känsliga för surt pH t.ex. cyanobakterier, kiselalger och grönalger; iglar, tvåvingar och blötdjur. Andra taxa återfinns främst vid neutralt pH och låga till måttliga $[Ca^{2+}]$, kännetecknande för mjukvattenssjöar med neutralt pH. Det går också att skilja ut taxa som framförallt finns vid högt pH och höga $[Ca^{2+}]$, det är dessa som inte är naturligt förekommande i mjukvattenssjöar sjöar som kalkas. Sådana arter kan man hålla utkik efter och när dessa börjar återfinnas i artlistorna är det dags att dra ner på kalkdoserna.

Slutsatsen från denna utvärdering är att som helhet är det inga större negativa effekter med överkalkning i de sjöar som undersökts i studien. Det är främst växtplanktonsamhället som påverkas negativt av överkalkning. Där får man ett växtplanktonsamhälle som påminner mer om det i hårdvattenssjöar vilket främst innebär risk för att potentiellt giftiga cyanobakterietaxa börjar förekomma.

Summary

Sampling of overlimed lakes within the IKEU programme has been carried out between 2006 and 2010, providing us with the opportunity to assess the effects of "extreme" liming on community structure and function in these lakes. In this study, we compared the structural and functional community attributes of phytoplankton, zooplankton, profundal and littoral invertebrates and fish in overlimed, limed, and circumneutral and acidic reference lakes. Circumneutral reference lakes provide a benchmark against which desired management outcomes can be assessed. Communities have been analysed using univariate and multivariate statistics. Also, physical and chemical variables have been compared.

Regarding abiotic lake conditions, overlimed lakes had clearly higher pH and Ca^{2+} concentrations compared to the other lake types. Overlimed lakes had an average pH of 7.3 and $[\text{Ca}^{2+}]$ of 0.55 mekv/l compared to circumneutral lakes with pH 6.6 and $[\text{Ca}^{2+}]$ 0,15 mekv/l.

The community analyses showed that phytoplankton shared similar taxon richness in overlimed and circumneutral lakes (approximately 40 taxa); however, overall community structure in overlimed lakes deviated clearly from circumneutral lakes. Phytoplankton communities in overlimed lakes are similar to those found in natural hardwater lakes, highlighting that overliming is too strong an intervention for reaching otherwise desired management goals (communities of circumneutral reference lakes).

Zooplankton assemblages overlapped between all lake types. Distinct zooplankton communities were found only in acidic Lake Lillesjö, which is fishless and has high concentrations of aluminium; these factors likely have an overriding effect on zooplankton in this lake. We conclude that overliming does otherwise not have a major impact on zooplankton.

Effects of overliming were even less evident in profundal invertebrates, which share similar community structure and functional attributes across lake types. An assessment of overliming effects on littoral invertebrates is more difficult, complicated by different sampling methods used between lake types, resulting in a small, and perhaps unrepresentative, sampling size for straightforward analyses. Our conclusions that acidic and limed lakes have high variability in community composition, influenced by regional differences that may mask liming effects, need to be regarded with care.

Fish communities in overlimed lakes differ from circumneutral lakes regarding taxon richness, biomass and multivariate community structure; instead, overlimed lakes share similar species richness with acidic lakes. This can be attributed to the small size of overlimed lakes and their biogeographical location in regions where

perch and roach dominate. It is therefore difficult to discern biogeographical patterns from overliming effects on fish with our data set.

Despite differences in community structure between lake types, functional attributes were similar across lake types and communities. Relative coarse measures of functional attributes were used, which were likely insensitive to trace overliming effects.

An appendix is presented about pH and $[Ca^{2+}]$ ranges in which taxa of phytoplankton, zooplankton and invertebrates were found. It is clear from these results that some taxonomic groups contain species that are acid sensitive (cyanobacteria, diatoms green algae; worms, diptera, and molluscs). Other taxa are found particularly under circumneutral conditions and low $[Ca^{2+}]$ that characterise softwater lakes. Finally, some taxa were found under conditions of high pH and $[Ca^{2+}]$, which do not occur in natural (unlimed) softwater lakes. These species can serve as an early warning signal of unnatural conditions in limed lakes, suggesting reducing liming doses to the lakes.

In conclusion, our results show that overliming has no major, overall negative effect on community structure in the lakes studied here. Only phytoplankton in overlimed lakes clearly deviated from the other lake types, attaining structural attributes that remind of hardwater lakes in which the potential of potentially toxic cyanobacteria to develop is a concern.

Syftet med studien

Potentiella kemiska och biologiska förändringar vid över dosering av kalk i sjöar har tidigare belysts av Persson et al. (2007) inför en revidering av Naturvårdsverkets handbok för kalkning. Direkta studier av effekter av överdosering av kalk i sjöar startades inom IKEU 2006 för att undersöka eventuella följder av att medvetet kalka med en hög kalkdos. Överkalkningsprogrammet omfattar 10 sjöar. De valdes i första hand ut bland rena åtgärdssjöar med hög alkalinitet, i andra hand bland kombinerade åtgärds- och målsjöar. Eftersom överdoserade sjöar ofta är små och används för att utjämna kalktillförsel till nedströms liggande målobjekt är alla sjöar relativt små. Syftet med att använda denna kalkningsstrategi är att kalkningen ska ge effekter nedströms i vattensystemet.

För att få en bild av eventuella effekter på livet i sjön som beror av höga kalkdoser, höga kalkhalter, högt pH och alkalinitet genomfördes provtagning av vattenkemi, plankton och bottenjur i sjöarna under åren 2006-2010. För att komplettera undersökningarna med data om fisksamhället genomfördes ett standardiserat provfiske i fem sjöar år 2009 och i resterande fem sjöar år 2010.

I denna utvärdering jämförs de överkalkade sjöarnas biota med den i övriga grupper av sjöar som ingår i IKEU: sura och neutrala referenssjöar och kalkade sjöar. Frågorna vi ställde var:

1. Vilka strukturella och funktionella effekter ses i sjöar som överdose-
ras med kalk?
2. Kan biologiskt önskvärda halter av kalk rekommenderas i sjöar som
ska användas som utjämnande kalkningsmagasin?

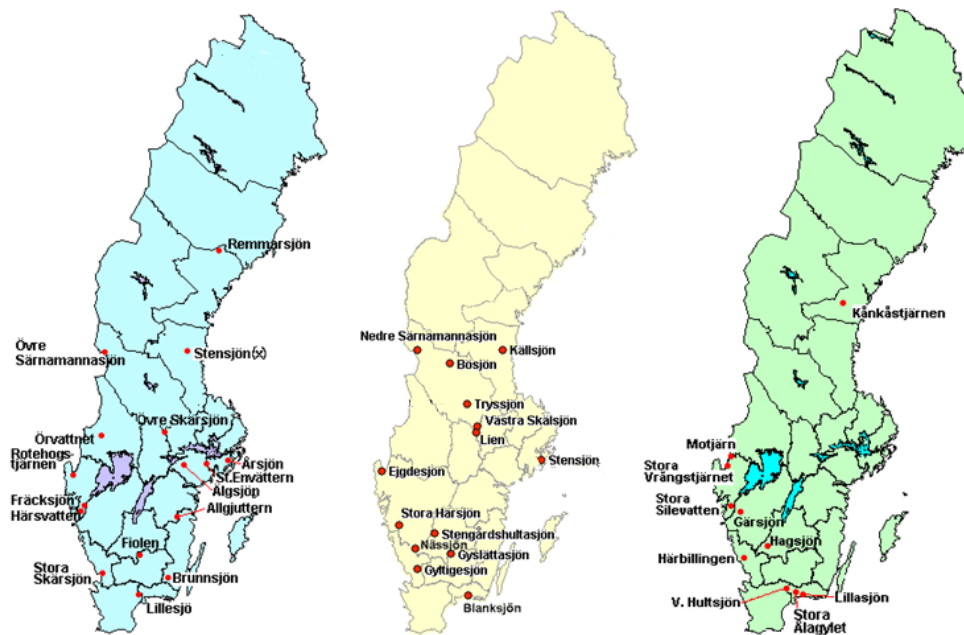
Metoder

Data från 2006-2010 användes i denna undersökning. Sjöarna grupperades i fyra grupper: sura referens, neutrala referens, kalkade och överkalkade sjöar (Tabell 1, Figur Karta). Till gruppen överkalkade sjöar har vi lagt till Blanksjön och Stora Härsjön som normalt räknas till gruppen kalkade sjöar. Blanksjön hade mycket högre $[Ca^{2+}]$, 0,5-0,8 mekv/l, än de andra kalkade sjöarna som varierade mellan 0,1 och 0,4 mekv/l. Även Stora Härsjön hade relativt hög $[Ca^{2+}]$ och pH runt 7,5. Vi lät Övre Särnamansjön klassas som en sur sjö i stället för neutral. Detta då pH i denna sjö varierade mellan 5,5 och 6, som de sura sjöarna i studien gör, medan de neutrala sjöarna snarare varierar mellan 6 och 7. Sjöarna har därför grupperats något annorlunda än vad de gör i IKEUs mätprogram. Som miljövariabler användes de surhets och kalkningsrelaterade variablerna pH, alkalinitet och $[Ca^{2+}]$. Miljövariabeldata laddades ner från databasen på Institutionen för vatten och miljö, SLU (<http://www.slu.se/vatten-miljo>).

Tabell 1. Fördelning av sjöar i olika grupper samt information om omfattning av biologisk provtagning. Reducerad provtagning anges med bokstäver enligt: ⁰ saknar helt provtagning 2010, ^B ingen M42-provtagning av littoral bottenfauna, samt ^F bara ett eller två provfisker under 2006-2010. Länsförkortningar som används är X för Gävleborgs län och AB för Stockholms län.

Sura referens-sjöar	Neutrala referenssjöar	Kalkade sjöar	Överkalkade sjöar
Brunnsjön ^B	Allgjuttern ^B	Bösjön	Blanksjön
Härsvatten ^F	Fiolen ^B	Ejgdesjön	Gärsjön ^F
Lillesjö ^F	Fräcksjön	Gyltigesjön ⁰	Hagsjön ^F
Rotehogstjärnen ^B	Remmarsjön ^B	Gyslättsjön	Härbillingen ^F
Årsjön	Stora Envättern ^B	Källsjön	Kånkåtjärnen ^F
Örvattnet	Stora Skärsjön ^B	Lien ⁰	Lillasjön ^F
Övre Skärsjön ^B	Stensjön, X-län ^B	Nedre Särnamansjön	Motjärn ^F
Övre Särnamansjön	Älgsjön	Nässjön	Stora Härsjön
		Stengårdshultasjön	Stora Vrångtjärnet ^F
		Stensjön, AB-län	Stora Silevatten ^F
		Tryssjön	Stora Ålagylet ^F
		Västra Skälsjön	Västra Hultasjön ^F

Det har tidigare diskuterats om sjöarna är jämförbara eller om de är för olika i avseende på parametrar som latitud, altitud, sjöyta, maxdjup, vattenfärg eller näringsnivå (t.ex. Holmgren 2009). Utbredningen av fiskarter begränsas starkt av klimat. På hög latitud och altitud är röding naturligt den enda fiskarten. På lägre altitud tillkommer först fler kallvattensarter och sedan arter med bredare temperaturtolerans och i söder tillkommer utpräglade varmvattensarter. Varm- och kallvattensarter kan förekomma tillsammans i stora och djupa sjöar, förutsatt att de har ett kallt och väl syresatt hypolimnion hela sommarhalvåret. De sjöar som definitivt saknar biogeografiska motsvarigheter i grupperna av neutrala och överkalkade sjöar är Övre Särnamansjön, Nedre Särnamansjön och Bösjön.



Figur Karta. Kartan till vänster visar var referenssjöarna ligger, både sura och neutrala. Mittenkartan visar de sjöar som är kalkade och provtas inom IKEU. Den högra kartan visar de sjöar som ingått i studien som överkalkade sjöar. I denna studie valde vi att klassa Stora Hårsjön och Blanksjön som överkalkade sjöar då deras pH och $[Ca^{2+}]$ bättre stämde överens med gruppen överkalkade sjöar. Kartorna är hämtade från IKEUs webbsida (<http://www.slu.se/sv/centrumbildningar-och-projekt/ikeu/>).

Sjöarnas ytor varierar från 3,8 till 489 ha. Flest stora sjöar hittar man i grupperna neutrala och kalkade sjöar, medan de minsta hittas i grupperna sura och överkalkade. Men eftersom variationen är så stor inom varje grupp är det ändå inte några statistiskt säkerställda skillnader i sjöstorlek mellan grupperna (Tuker-Kramers HSD test $p > 0,05$). Vattnets färg och/eller näringsnivå har också betydelse för förovningskänslighet och biota. Vattnets färg och näringsnivå testades med de kemiska data som finns för tidsperioden, mätt som koncentrationen av totalt organiskt kol och totalfosfor (TOC och TotP, se resultatdelen). Vi bedömer att sjögrupperna i dessa avseenden är tillräckligt lika för att kunna användas för att studera skillnader i biota som beror av kalkning och överkalkning.

De biologiska parametrar som användes var växtplankton, djurplankton, bottenfauna och fisk. Växtplankton provtogs 4-7 ggr per år (april, maj, juli, augusti eller april – oktober). Djurplankton provtogs 4 ggr per år i juni-september. Växt- och djurplankton bestämdes kvantitativt (artsammansättning och biomassa) genom analys av jodkonserverade prover enligt svensk standard (SS-EN 15204:2006 för växtplankton och SS-EN 15110:2006 för djurplankton) på Institutionen för vatten och miljö, SLU. Bottenfauna från strandzonen i sjöarna togs på två olika sätt. De sjöar som ingår i nationella miljöövervakningen provtogs med hjälp av så kallat sparkprov med håv (sjöar markerade med ^B i tabell 1), medan de sjöar som bekostats av IKEU provtogs med M42-metoden. Bottenfauna i profundalen provtogs

med Ekmanhämtare. Profundal och sparklitoralprover bestämdes enligt svensk standard (Svensk standard SS 02 81 90 och SS_EN 27828, utg. 1) på Institutionen för vatten och miljö medan M42-litoralprover analyserades på Institutionen för tillämpad miljövetenskap, Stockholms universitet. Sparklitoralproverna utgick senare ur analysen då endast sjöar ur sjögrupperna sura och neutrala sjöar provtagits på detta sätt varför ingen jämförelse med överkalkade sjöar kunde göras. All bottenfauna provtogs en gång per år, oftast i september. Fisksamhällena provtogs i juli eller augusti, med Nordiska översiktsnät enligt svensk standard (SS-EN 14757:2005), vilket innebär stratifiering av bottensatta nät i olika djupzoner, med fler nät i större och djupare sjöar. Varje nät låg i sjön ca 12 timmar, inkluderande både skymning och gryning. Fångsten registrerades för varje enskilt nät, dels som antal individer och biomassa per fiskart och dels längden på varje fisk. För de vanligaste fiskarterna togs också stickprov för åldersbestämning, men i denna rapport behandlas varken längd- eller åldersbaserade resultat. Ett relativt mått på biomassa beräknades för varje fiskart, uttryckt som fångst per nätnatt. För att försöka öka jämförbarheten av sjöar med olika djup inkluderades endast fångster i nät satta på 0-3 m djup, det vill säga i det vanligen relativt varmare vattnet ovanför språngskiktet. Fiskanalyser gjordes på Sötvattenslaboratoriet, Institutionen för Akvatiska Resurser, SLU (tidigare Fiskeriverket).

Växtplankton delades in i de funktionella grupperna autotrofa icke flagellater (främst cyanobakterier och kiselalger), autotrofa flagellater, mixotrofa flagellater, heterotrofa flagellater enligt Jansson et al. (1996). Växtplankton som inte har flageller kan inte reglera sig i höjddled så snabbt som flagellater (t.ex. dinoflagellater) som ofta dygnsvandrar för att vara i solbelyst ytvatten på dagtid och i näringsrikare bottenvattnen nattetid. Autotrofa, eller fotoautotrofa, växtplankton förlitar sig på fotosyntes för sitt energiintag. Mixotrofa arter kan dessutom tillgodogöra sig energi och näringsämnen genom att äta bakterier eller löst organiskt kol. De fungerar alltså delvis som djur. Det finns även rent heterotrofa växtplanktonarter som har valt bort fotosyntes som energikälla. Djurplankton delades in i de funktionella grupperna filtrerare, predatorer, suction feeders och parasiter (Morgan 1980, Gliwicz 1969 a, b). Djurplankton som är filtrerare livnär sig främst på växtplankton men även detritus, bakterier och mindre djur som ciliater ingår och skiljer sig mellan arter beroende på selektionsförmåga och storleksintersintervall. Predatorer är större djurplanktonarter som griper sitt byte. Suction feeders och parasiter är endast ett fåtal arter som specialiserat sig på att t.ex. suga ut rotatorieägg eller större växtplankton. Bottenfaunan delades in i grupperna herbivorer, detrivorer, planktivorer och predatorer. Dessa i sin tur är hopslagningar av mer detaljerade funktionella grupper och grundar sig på Moog (1995) som grundkälla för olika arters ekologi. Fiskarna delades inte in i funktionella grupper, men resultaten diskuterades i relation till artberoende temperaturtolerans.

Både univariat och multivariat statistik användes för att analysera skillnader i struktur och funktionella variabler mellan grupper av sjöar. Som mått på organism-samhällets struktur användes biomassa eller antal (N), richness (S), evenness (Pie-

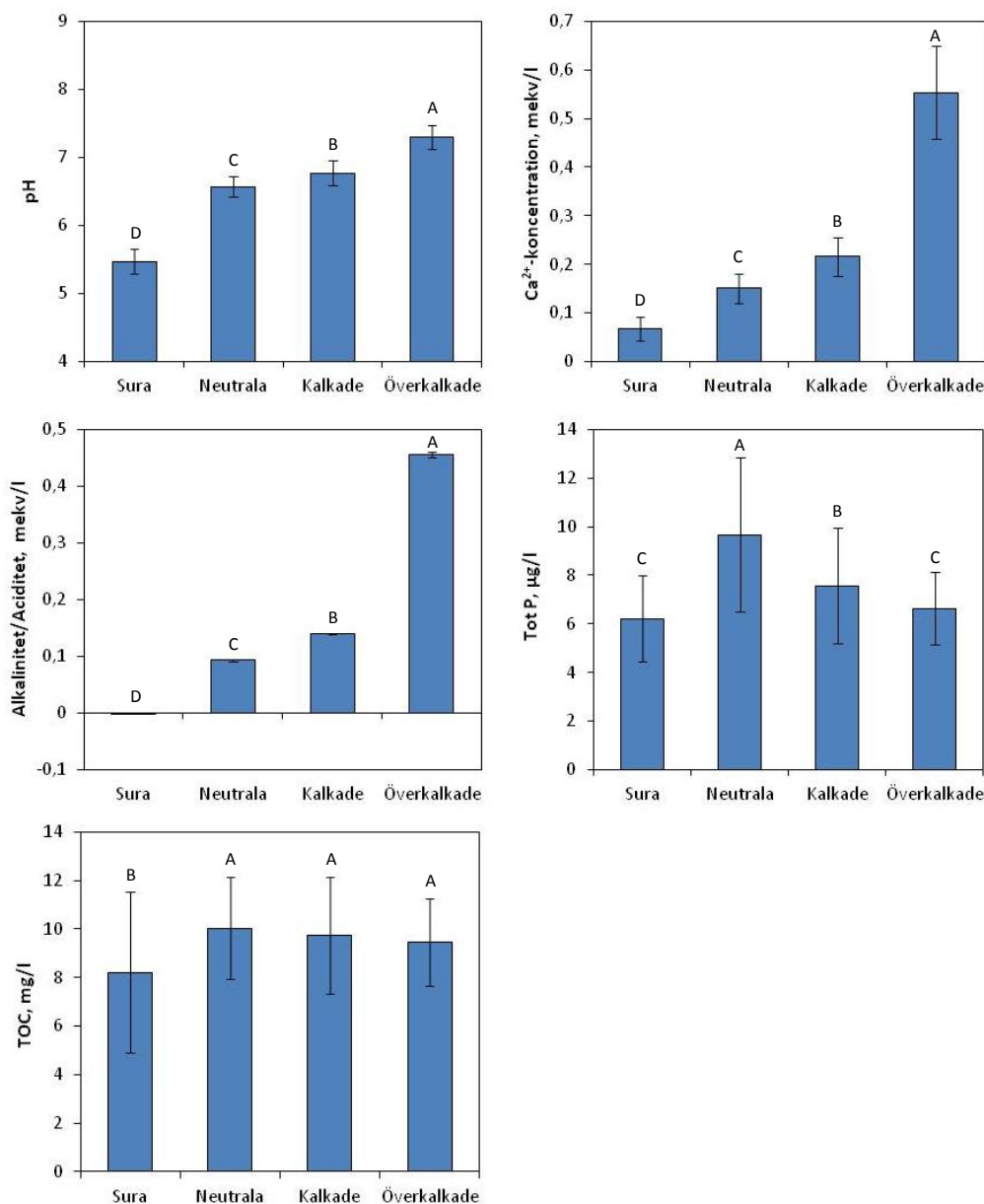
lou's evenness, J') och Shannon-Wiener index (H'). Dessa mått beräknades i analysprogrammet PRIMERv6 (PRIMER_E Ltd, Plymouth, UK). Skillnader mellan grupper av sjöar testades med Toker-Kramers HSD i statistikprogrammet JMP 10 (SAS Institute inc., Cary, NC, USA). Även kemiska variablers skillnader mellan sjögrupperna testades på detta sätt.

För att få ett visuellt mått på hur samhällsstrukturen ser ut i sjöarna och hur de skiljer sig mellan sjöar eller grupper av sjöar gjordes NMDS-diagram, där avståndet (Bray-Curtis similarity) mellan olika prover ger ett mått på hur lika de är. NMDS står för non-metric multidimensional scaling och är en statistisk metod att analysera skillnader i samhällsstruktur mellan prover (Clarke 1993). Metoden tar hänsyn både till vilka taxa som finns och saknas i varje prov samt deras antal eller biomassa. Provtagningspunkter som ligger nära varandra i ett NMDS-diagram har likartad samhällsstruktur. I NMDS-diagram presenteras stressvärden som är metodens mått på anpassning till en fördelning (goodness-of-fit). Stressvärdet ska vara så lågt som möjligt, helst under 0,2. Tredimensionella NMDS-diagram visar ofta lägre stressvärden än tvådimensionella. Ett sådant diagram gör sig dock bäst på datorskärmen där det kan roteras och beaktas från flera håll. Vi har därför valt att i resultatdelen endast visa de tvådimensionella även om de i vissa fall visar ett stressvärde som är i högsta laget, dvs. över 0,20. Skillnader i samhällsstruktur mellan de fyra sjögrupperna testades med ANOSIM (Analysis of Similarity, Clarke 1993). ANOSIM är en icke-parametrisk analog till ANOVA och använder R-statistik för att testa skillnader mellan grupper där $R=0$ betyder inga skillnader och $R=1$ totalt olika samhällsstruktur. ANOSIM användes som ett komplement till NMDS-analyserna. Både NMDS- och ANOSIM-analyserna gjordes i analysprogrammet PRIMERv6 (PRIMER_E Ltd, Plymouth, UK). De olika organismgrupperna indelades taxonomiskt på samma sätt som vid identifikationsanalysen, dvs. så detaljerat som möjligt för varje taxon. I bottenfaunaprover tagna med M42 metoden fanns det i vissa prov även djurplankton och fisk identifierade. Dessa organismer ströks ur de statistiska analyserna för bottenfauna då provtagningsmetoden inte är optimerad för dem och de därför skulle ge ett missvisande resultat. Biomassor alternativt antal för varje taxa kvadratrottransformerades innan analysen. I diagrammen färgkodades provtagningspunkter sedan på olika sätt för att få en bild av hur lika eller olika samhällsstrukturen var för de olika organismgrupperna mellan olika grupper av sjöar.

Resultat

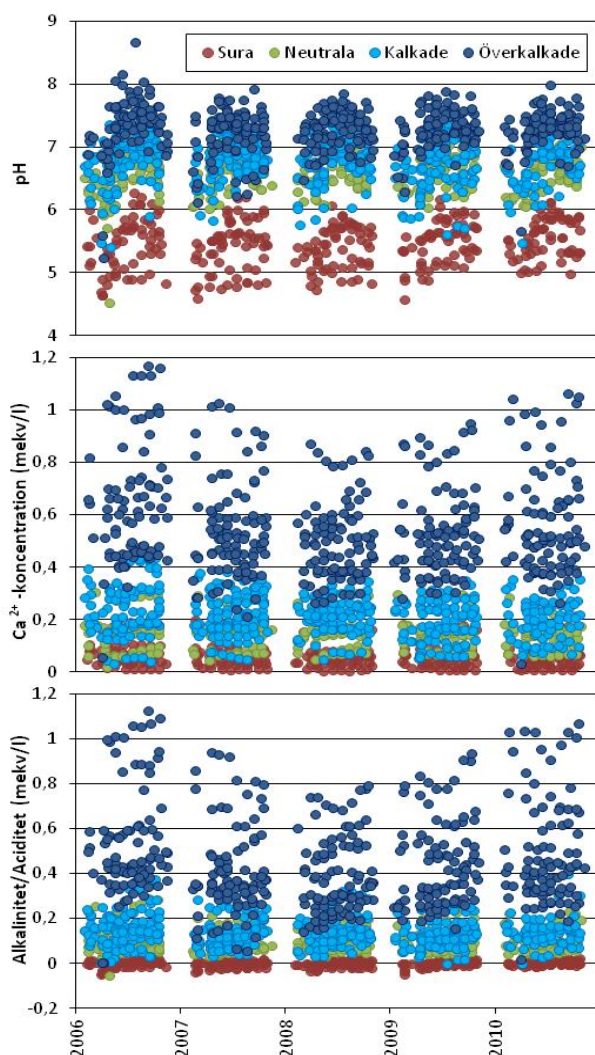
Hur skiljer sig överkalkade sjöar kemiskt?

Det var tydliga skillnader mellan sjögrupperna för de surhetsrelaterade kemivariablerna pH, Ca^{2+} -koncentration och alkalinitet (Figur 1). Det lägsta pH-värdet som uppmättes i ytvattenprover under testperioden var 4,52 i den neutrala (!) referensen Stensjön, X-län och som högst 8,67 i den överkalkade Gärsjön.



Figur 1. Kemiska förhållandena i de sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöarna i studien karaktäriserat som pH, $[\text{Ca}^{2+}]$, alkalinitet, totalfosfor och totalt organiskt kol (TOC) baserat på ca 1500 prov. Olika bokstäver över staplarna visar vilka nivåer som är signifikant skilda från varandra (Tuker-Kramers HSD test), vilket även indikeras av standardavvikelsen.

Sjöarna i gruppen sura sjöar hade i medeltal pH 5,5, $[Ca^{2+}]$ 0,07 mekv/l och alkalinitet -0,002 mekv/l. De neutrala sjöarna karakteriseras av pH 6,6, $[Ca^{2+}]$ 0,15 mekv/l och alkalinitet 0,09 mekv/l. Kalkade sjöar hade i medeltal pH 6,8, $[Ca^{2+}]$ 0,22 mekv/l och alkaliniteten 0,14 mekv/l. I de överkalkade sjöarna var pH 7,3, $[Ca^{2+}]$ 0,55 mekv/l och alkaliniteten 0,46 mekv/l. De sura och överkalkade sjöarna utmärker sig mest i dessa parametrar, medan neutrala och kalkade sjöar ofta har överlappande värden, något man kan se i figur 2, där samtliga pH, $[Ca^{2+}]$ och alkalinitetsvärden för ytvattnet är utritade utefter studiens tidsskala. Där kan man också se att surstötter inträffade i samtliga sjögrupper vid något tillfälle. För andra parametrar kan nämnas att sura sjöar hade lägst TOC, ett mått på sjöns humushalt något som delvis kan bero på att humus fälls ut vid låga pH, medan de andra hade något högre värden som inte skilde sig från varandra (Figur 1). Neutrala sjöar var



Figur 2. Samtliga värden (feb-nov) för pH, $[Ca^{2+}]$ och alkalinitet i ytvattenprover (0,2-0,5 m djup) indelat på sjögrupperna sura (8 sjöar), neutrala (8 sjöar), kalkade (12 sjöar) och överkalkade (12 sjöar) sjöar.

näringsrikast medan sura och överkalkade sjöar var näringsfattigast mätt som totalfosfor. Det ska påpekas att ingen av studiens sjöar är särskilt näringsrika relativt sett. Vid riksinventeringen år 2005 var medianvärdet för halten av totalfosfor i svenska sjöar ca 12 µg P/l, vilket motsvarar näringsfattiga förhållanden (Wilander & Fölster 2007). Väldigt få värden i denna studie kommer över 12 µg P/l.

Överkalkade sjöar har alltså tydligt högre värden i pH, alkalinitet och Ca²⁺-koncentration än alla andra sjögrupper. Resten av rapporten går ut på att studera hur dessa kemiska skillnader eventuellt påverkar organismerna som lever i sjön.

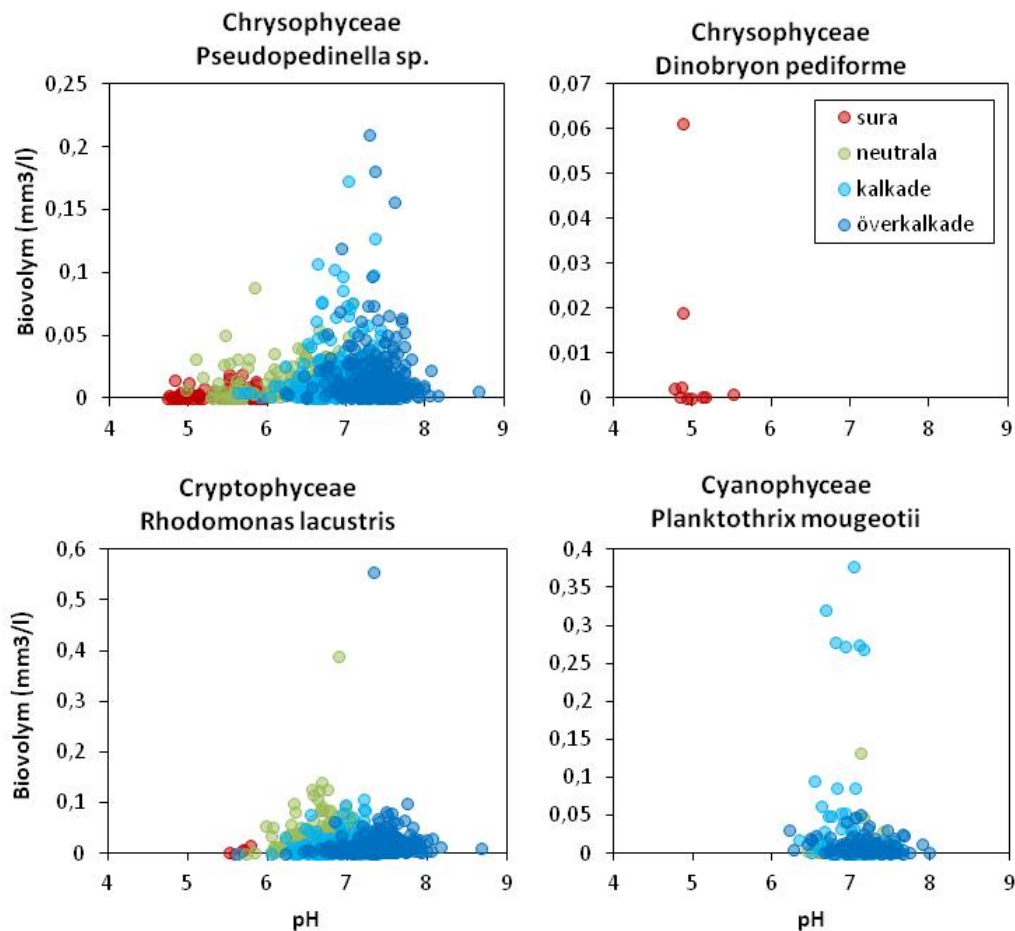
Skillnader i biota

Hur skiljer sig växtplankton i överkalkade sjöar jämfört med andra sjögrupperna (sura, neutrala, kalkade sjöar)?

Man vet sedan tidigare att antalet arter av växtplankton minskar med ökad surhet, särskilt försvinner många arter av grönalger, kiselalger och cyanobakterier (Geelen & Leuven 1986). Vid $\text{pH} < 5.0$ kan det finnas så få arter som 10 st, och den största minskningen blir oftast i intervallet 5-6 (Almer et al. 1974). Denna minskning i växtplanktons artantal med ökad surhet används som index för surhet i de bedömningsgrunder som finns framtagna för att bedöma sjöars status (Naturvårdsverket 2007). Minst 40 taxa bör man hitta i neutrala sjöar och mindre än 20 taxa indikerar extremt sura förhållanden, $\text{pH} < 5$ enligt de svenska bedömningsgrunderna (observera att sjöar över trädgränsen har andra gränsvärden). I denna studie varierade pH mellan 4,7 och 8,7, $[\text{Ca}^{2+}]$ mellan 0,005-1,17 mekv/l och alkaliniteten mellan -0,03 och 1,13 mekv/l vid de tillfällena växtplanktonprover togs. Sexton växtplanktontaxa återfanns över stora intervall i pH , $[\text{Ca}^{2+}]$ och alk. Av dessa var det 12 taxa som återfanns över hela pH -gradienten, sju som återfanns utefter hela $[\text{Ca}^{2+}]$ -gradienten och 13 taxa utefter hela alkalinitetsgradienten (Tabell 2, samt figurer i appendix).

Tabell 2. Växtplanktontaxa vanliga utefter i stort sett hela gradienten av surhetsrelaterade variabler: pH , $[\text{Ca}^{2+}]$ eller alkalinitet. X indikerar taxa som återfanns i hela gradienten.

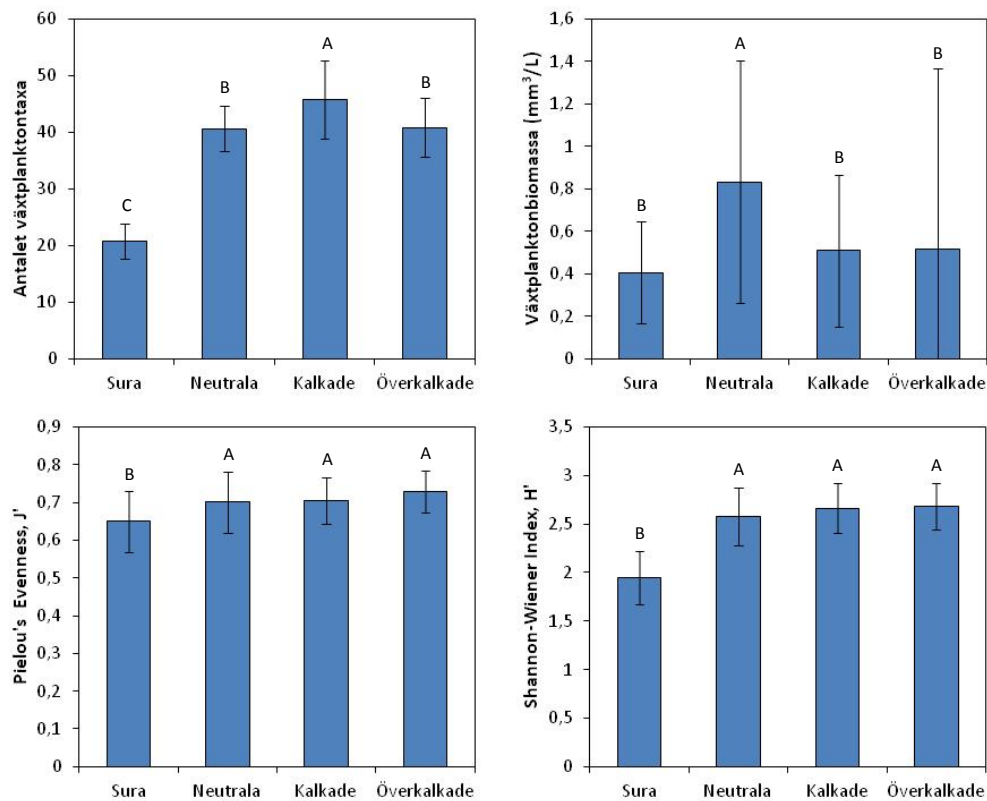
Växtplanktontaxa	pH	Ca	Alk
Chrysophyceae	monader $< 3 \mu\text{m}$	x	x
	monader $3-5 \mu\text{m}$	x	x
	monader $5-7 \mu\text{m}$	x	x
	monader $7-10 \mu\text{m}$	x	x
	Monosigales	x	
	<i>Pseudopedinella</i> sp.	x	x
	<i>Mallomonas</i> sp.	x	
	<i>Spiniferomonas</i> sp.		
Cryptophyceae	<i>Dinobryon crenulatum</i>		x
	<i>Cryptomonas</i> sp. $20-40 \mu\text{m}$	x	x
Chlorophyceae	Chlorococcales	x	x
	<i>Chlamydomonas</i> sp. $< 5 \mu\text{m}$	x	
	<i>Chlamydomonas</i> sp. $5-10 \mu\text{m}$	x	x
	<i>Oocystis</i> sp.	x	
Dinophyceae	<i>Gymnodinium</i> sp. $10-14 \mu\text{m}$	x	x
	<i>Peridinium inconspicuum</i>		x



Figur 3. Exempel på växtplankton som återfinns vid olika pH-intervall; *Pseudopedinella* sp, hela intervallet; *Dinobryon pediforme*, endast sura sjöar, *Rhodomonas lacustris*, neutralt pH både kalkade och okalkade sjöar; och *Planktothrix mougeotii* pH 6-8 främst kalkade sjöar.

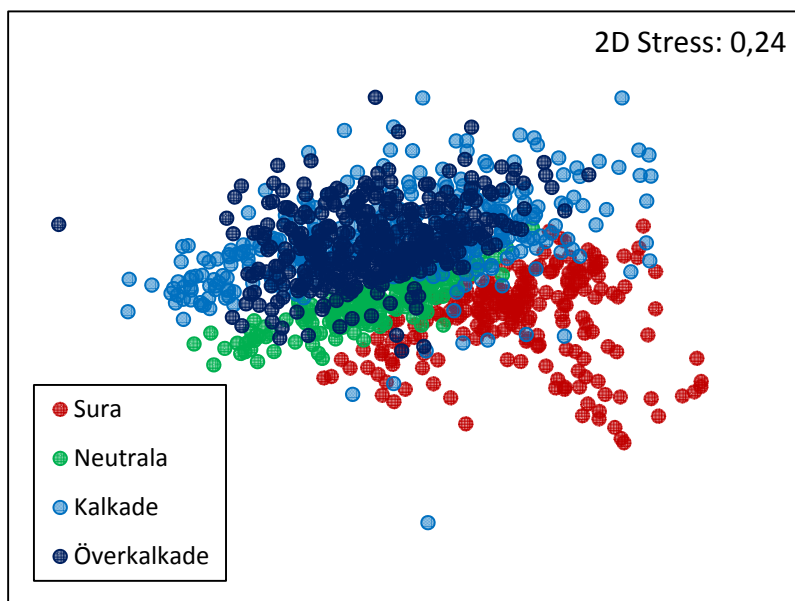
Dessa taxa får betraktas som relativt okänsliga för ändringar i surhetsrelaterade parametrar även om man kan se att biomassan ofta ökar med pH upp till en viss nivå t.ex. för *Pseudopedinella* sp. (Figur 3). Det ska påpekas att för flera av dessa taxa sker identifieringen inte ner på artnivå, vilket gör att det inom en grupp, t.ex. monader, sannolikt kan förekomma olika arter utefter pH gradienten.

Antalet växtplanktontaxa är lägst i de sura sjöarna, här finns i medeltal 21 taxa (Figur 4). Antalet taxa är högst i kalkade sjöar (46 taxa) medan både neutrala och överkalkade sjöar har lägre antal (41 taxa i båda). Skillnaderna mellan dessa tre indelningar är signifikant. När det gäller biomassan är den signifikant högre i neutrala sjöar (0,83 mm/L) än i de tre andra sjögrupperna där biomassans medelvärden är ungefär hälften så stora (Figur 4). För båda parametrarna Evenness (J') och Shannon-Wiener index (H') var värdena lägre i gruppen sura sjöar jämfört med de andra.



Figur 4. Växtplanktons samhällsstruktur i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar uttryckt som antalet taxa, biomassa, Evenness och Shannon-Wiener index baserat på 1087 prov. Olika bokstäver över staplarna visar vilka nivåer som är signifikant skilda från varandra (Tuker-Kramers HSD test), vilket även indikeras av standardavvikelsen.

Med multivariata metoder ser man ännu tydligare skillnader mellan sjögrupperna (Figur 5). Skillnaderna i växtplanktons samhällsstruktur mellan de fyra sjögrupperna är signifikant i alla kombinationer men ändå ofta överlappande vilket man kan se på att R-värdena i det flesta fall är låga (R=0, inga skillnader, R=1 totalt olika växtplanktonstruktur, Tabell 3). Sura sjöar har en samhällsstruktur som tydligt grupperar sig i en del av diagrammet medan neutrala sjöar ligger som ett band mellan de sura och kalkade sjöarna (båda kalkgrupperna). Kalkade och överkalkade sjöar har en växtplanktonsamhällsstruktur som är mycket överlappande, med skillnaden att de överkalkade sjöarna har mindre variation inom gruppen.

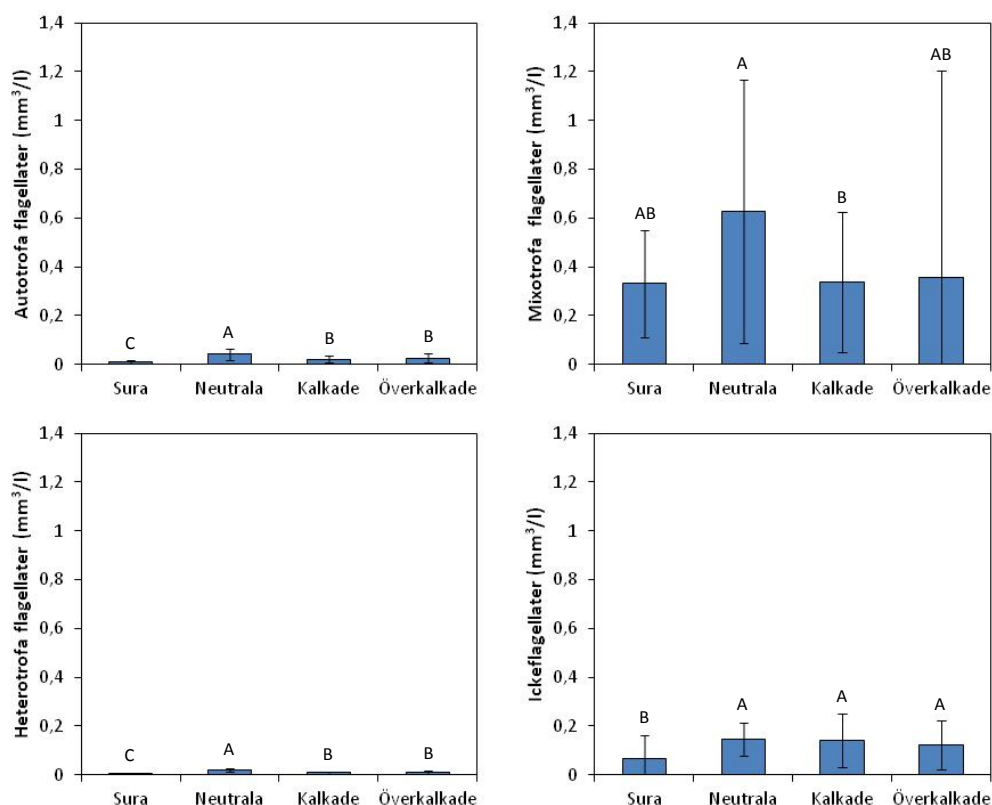


Figur 5. NMDS-diagram som visar hur samhällsstrukturen för växtplankton skiljer sig åt mellan olika grupper av sjöar under tillväxtsäsongen. Avståndet mellan punkter i diagrammet ger ett mått på hur lika samhällsstrukturen är i enskilda prover (kort avstånd = likartad samhällsstruktur). 3D stress 0,18.

Tabell 3. ANOSIM analys av växtplanktonsamhället i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar.

Sjögrupp	R	p
Sura vs Neutrala	0,447	0,001
Sura vs Kalkade	0,366	0,001
Sura vs Överkalkade	0,599	0,001
Neutrala vs Kalkade	0,160	0,001
Neutrala vs Överkalkade	0,215	0,001
Kalkade vs Överkalkade	0,142	0,001
Totalt	0,295	0,001

Växtplankton delades också in i de funktionella grupperna autotrofa (44 taxa), mixotrofa (139 taxa) och heterotrofa (30 taxa) flagellater samt icke-flagellater (355 taxa). Mixotrofa flagellater och icke-flagellater dominerade växtplanktonbiomassan i alla sjöar (Figur 6) och även om det finns en del skillnader mellan sjögrupperna kan man inte se att överkalkade sjöar utmärker sig.



Figur 6. Växtplanktons samhällsstruktur i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar uttryckt i de funktionella grupperna autotrofa, mixotrofa och heterotrofa flagellater samt ickeflagellater baserat på 1087 prov. Olika bokstäver över staplarna visar vilka nivåer som är signifikant skilda från varandra (Tuker-Kramers test), vilket även indikeras av standardavvikelsen.

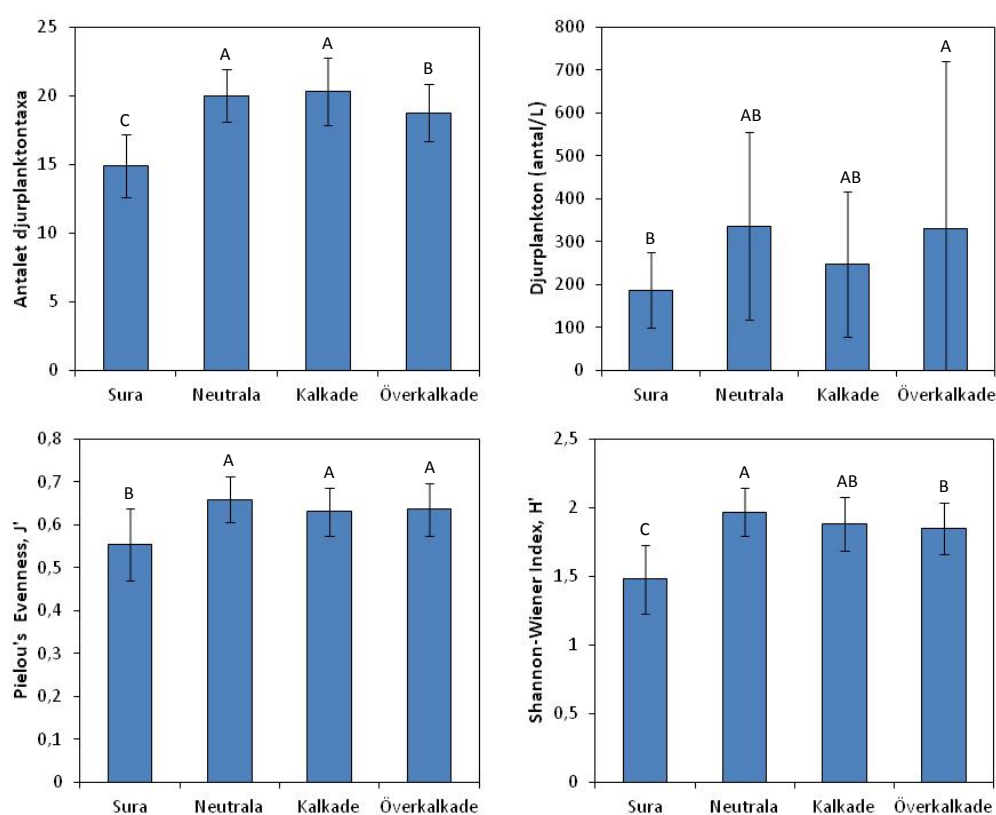
I kanadensiska sjöar (Experimental Lakes Area) med neutralt pH som surhetsmanipulerats återgår artantalet och artsammansättningen långsamt till sitt ursprungliga efter några år, tydligt kopplat till att pH utan kalkning återgick till ursprungsnivån (Findlay 2003), vilket visar att växtplankton återhämtar sig relativt snabbt. Denna studie visar tvärtom inte någon återhämtning av växtplanktonsamhället i kalkade sjöar när pH är liknande det i neutrala sjöar. Kalkade och överkalkade sjöar har visserligen över 40 taxa men artsammansättningen är annorlunda än i de neutrala sjöarna. Detta beror med största sannolikhet på att växtplanktonsamhällets struktur inte bara påverkas av pH utan också av Ca^{2+} -koncentration och alkaliniteten som blir högre av både kalkning och överkalkning. I appendix finns figurer över hur påträffade växtplanktontaxa från denna studie fördelar sig utefter gradienten i pH och $[\text{Ca}^{2+}]$. Där kan man se t.ex. vilka arter som tillkommer vid högre pH och $[\text{Ca}^{2+}]$. Fyra arter hittades t.ex. endast vid $[\text{Ca}^{2+}]$ över 0,6 mekv/l, *Dinobryon sertularia* v. *protuberans*, *Trachelomonas similis*, *Phacus purum* och *Oocystis solitaria*. Om man letar i SLUs databaser efter dessa i andra sjöar får man träffa i kalcium- och näringsrika slättlandssjöar som Krankesjön och Hornborgasjön (*O. solitaria*) eller N. Yngern (Nykvarn, *D. sertularia* v. *protuberans*) och Östersjön (Kolbäck-såns ARO, *T. similis*). Dessa arter skulle med största sannolikhet inte påträffas i

sjöarna vid måttligare kalkning. Nitiosex växtplanktontaxa återfanns endast i ett prov och för dessa är förstås toleransintervallet för de surhetsrelaterade parametrarna mycket snävt och skulle behöva kompletteras med ett ännu större urval av sjöar. Dessa har trots allt tagits med i appendix över förekomst utmed pH och $[Ca^{2+}]$ -gradienten, för att man ska kunna se vid vilka förhållanden de hittades.

Om syftet med kalkningen (båda typerna) hade varit att åstadkomma ett växtplanktonsamhälle som det i de neutrala sjöarna skulle målet endast ha uppnåtts i ett fåtal fall och inte alls med avseende på biomassa. Men oftast är ju syftet ett annat. Sjöar kalkas oftast med målet att rädda större organismer som fisk och musslor. Överkalkning sker ofta för att rädda dessa typer av organismer i nerströms liggande vattendrag. För växtplankton är ändå kalkningen nästan alltid för kraftfull. Endast vid ett fåtal tillfällen liknar samhällsstrukturen den i neutrala sjöar. Antalet växtplanktontaxa blir högre med kalkning, vilket tyder på att kalkgillande arter tillkommer, utan att arter försvinner, medan så möjligtvis är fallet i de överkalkade sjöarna som ligger på samma nivå antalsmässigt som de neutrala sjöarna (Figur 4) utan att de liknar varandra mer i samhällsstruktur (Figur 5). I diagrammet ser man även att det finns några punkter som trots kalkning vid vissa tillfällen har ett växtplanktonsamhälle liknande de för sura sjöar. Hit hör t.ex. Tryssjön och Gyltigesjön. Flera av punkter tillhör också Nedre Särnmannasjön som delvis bevattnas av den surare Övre Särnmannasjön och som dessutom ligger så höglänt att den har stor sannolikhet att ha ett artfattigt växtplanktonsamhälle, naturligt liknande det i sura sjöar. Det syns ändå tydligt i en analys som denna att kalkade sjöar oftast får en helt egen växtplanktonsamhällsstruktur som inte liknar den i vare sig sura eller neutrala sjöar, samt att variationen är lägre i överkalkade sjöar.

Hur skiljer sig djurplankton i överkalkade sjöar jämfört med andra sjögrupper?

Antalet djurplanktontaxa är lägst i de sura sjöarna, här finns i medeltal 15 taxa (Figur 7). Antalet taxa är högst i neutrala och kalkade sjöar (20 taxa) och något lägre i överkalkade sjöar. Djurplanktons individtäthet (antal per liter) varierade mycket och endast skillnaden mellan sura och överkalkade sjöar var signifikant, med lägst individtäthet i sura sjöar och högst i överkalkade (Figur 7). För parame-tern evenness utskiljer sig endast sura sjöar som har lägre J' än de andra tre sjögrupperna. Även för Shannon-Wiener index ligger sura sjöar lägst men där finns även skillnader mellan de övriga sjögrupperna med högst värde för neutrala sjöar.



Figur 7. Djurplanktons samhällsstruktur i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar uttryckt som antalet taxa, individtäthet, Evenness och Shannon-Wiener index baserat på 773 prov. Olika bokstäver över staplarna visar vilka nivåer som är signifikant skilda från varandra (Tukey-Kramers HSD test), vilket även indikeras av standardavvikelsen.

Taxa med små kemiska miljötoleranser och som är mindre vanligt förekommande utpekas ibland som indikator-taxa. Rätt valda kan dessa användas för karaktärisering av miljöer t.ex. vad avser vattnets pH och elektrolythalt eller hårdhet. Här är syftet att jämföra och ev. förbättra befintliga indikatorer utgående från de data som överkalkningsexperimentet kan ge. I detta sammanhang är framför allt Bruno Berzins indikatorarter för ”alkalina” taxa och Birger Pejlers indikatorer för ”kalkrika

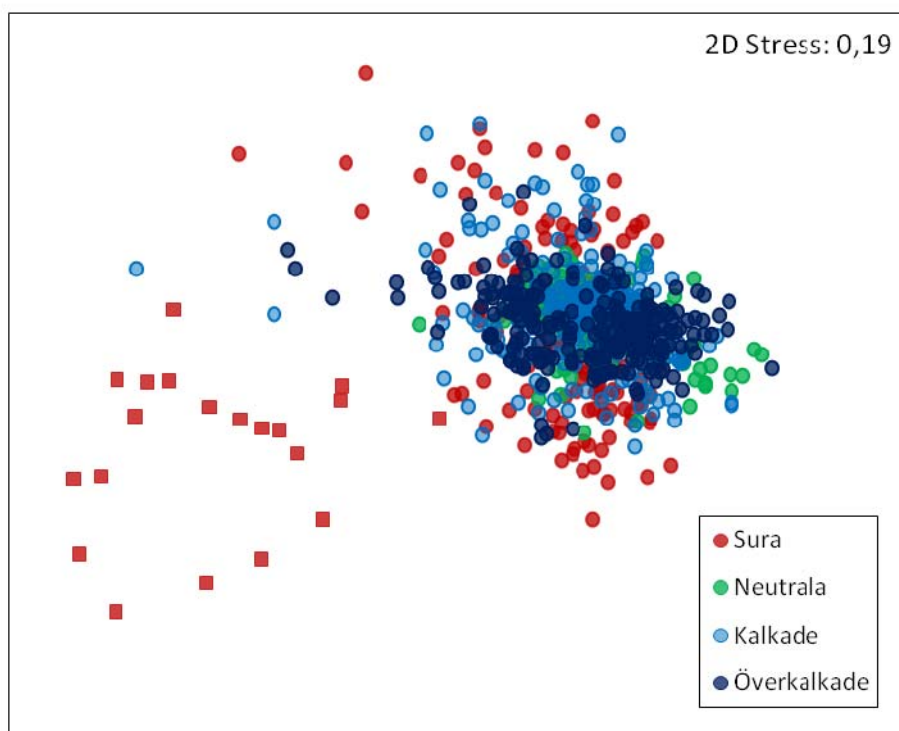
och oligotrofa” och ”kalkrika och eutrofa” sjöar av intresse. De alkalina indikatorerna är: *Brachionus angularis* och *B. calycifloris calycifloris* (Berzins & Pejler 1987). De kalkrika oligotrofa är *Ploesoma hudsoni*, *Colloteca libera*, *Limnospira frontosa*, *Heterocope appendiculata*. De kalkrika eutrofa är *Filinia longiseta*, *Trichocerca birostris* och *Daphnia cucullata* (Pejler 1965). Av dessa arter har endast *H. appendiculata* signifikant högre individtäthet i de kalkade sjöarna jämfört med referenssjöarna där arten helt saknas i de sura sjöarna. Arten har alltså inte speciellt hög individtäthet i de överkalkade sjöarna utan kan närmast betecknas som ”surhetskänslig” (Hörnström & Ekström 1983). *Trichocerca birostris* som betecknats som ”kalkrik och eutrof” har i denna studie signifikant skilda individtätheter mellan sura och neutrala referenser men lika stora individtätheter i kalkade och överkalkade sjöar. En överkalkningseffekt är därför svår att påvisa i detta fall.

I appendix redovisas figurer för djurplankton indelat i cladocerer, copepoder och rotatorier från denna studie och hur påträffade djurplanktontaxa fördelar sig utefter gradienten i pH och $[Ca^{2+}]$. Baserat på tidigare undersökningar finns också sammanfattade iakttagelser vilka taxa som brukar uppträda vid olika pH, alkalinitet, $[Ca^{2+}]$ eller konduktivitet (Berzins & Pejler 1987 och Berzins & Bertilsson 1990), detta ger möjlighet att bedöma olika arters toleransområden. I en pH-skala kan man i detta material finna ”hög-pH-arter” definierade här genom att de endast återfinns vid pH över 6,0. Dessa arter är: *Notholca caudata*, *Pompholyx sulcata*, *Sida crystallina* och *Filinia terminalis*. Även *Daphnia longispina* med underarterna *longispina* och *lacustris* hör till denna grupp, dock inte den rena arten *Daphnia longispina*. Alla dessa borde gynnas av en pH-höjning. Många av ovanstående taxa saknas dock i denna studie eller förekommer i lågt antal. Det är därför inte möjligt att bedöma deras värde som indikatorer. Men det kan påpekas att *Ceriodaphnia quadrangula* finns mer än dubbelt så frekvent i de överkalkade sjöarna, detsamma är fallet för *Daphnia longispina*.

Man kan också definiera ”låg-pH-arter” som kan missgynnas av en pH-höjning. Detta kan dock vara mer vanskligt då de flesta djurplankton ofta tolererar pH 8-10. Några arter som tolererar högst pH 8 kan dock nämnas: *Cyclops scutifer*, *Eurycerus lamellatus*, *Alonella nana* och *Polyarthra longiremis*. Tyvärr har bara en av dessa arter (*C. scutifer*) hittats i denna studie. Denna art torde dock finnas i många av de undersökta sjöarna men döljs av att analysen bara drivits till släkte.

Djurplanktons samhällsstruktur visar inte så stora skillnader mellan sjögrupper som växtplankton (Figur 8, tabell 4). Neutrala, kalkade och överkalkade sjöar har i stort sett överlappande punkter medan sura sjöar antingen kan vara överlappande med dessa eller ligga långt ner till vänster i diagrammet. De punkter som hamnar där tillhör den fisklösa sjön Lillesjö där giftiga koncentrationer av aluminium är vanliga. Lillesjöes zooplankton består nästan enbart av rotatorier, främst *Brachionus urceolaris* och *Keratella cochlearis*. Även Härsvatten är fisklös och t.o.m. surare än Lillesjö men Härsvatten hamnar ändå mer centralt bland de andra sjöarna. Slutsatsen av djurplanktonanalyserna är ändå att neutrala såväl som kalkade och över-

kalkade sjöar har en djurplanktonsammansättning som i stort liknar varandra. Även om p-värdena är signifikanta i tabell 4 visar de låga R-värdena att samhällsstrukturen är mycket överlappande. Det är främst samhällsstrukturen i en sur sjö som avviker. Det negativa med överkalkning för djurplankton ser ut att vara att antalet taxa ser ut att vara lägre i den gruppen av sjöar jämfört med neutrala och kalkade sjöar, men den är ändå klart högre än i sura sjöar.

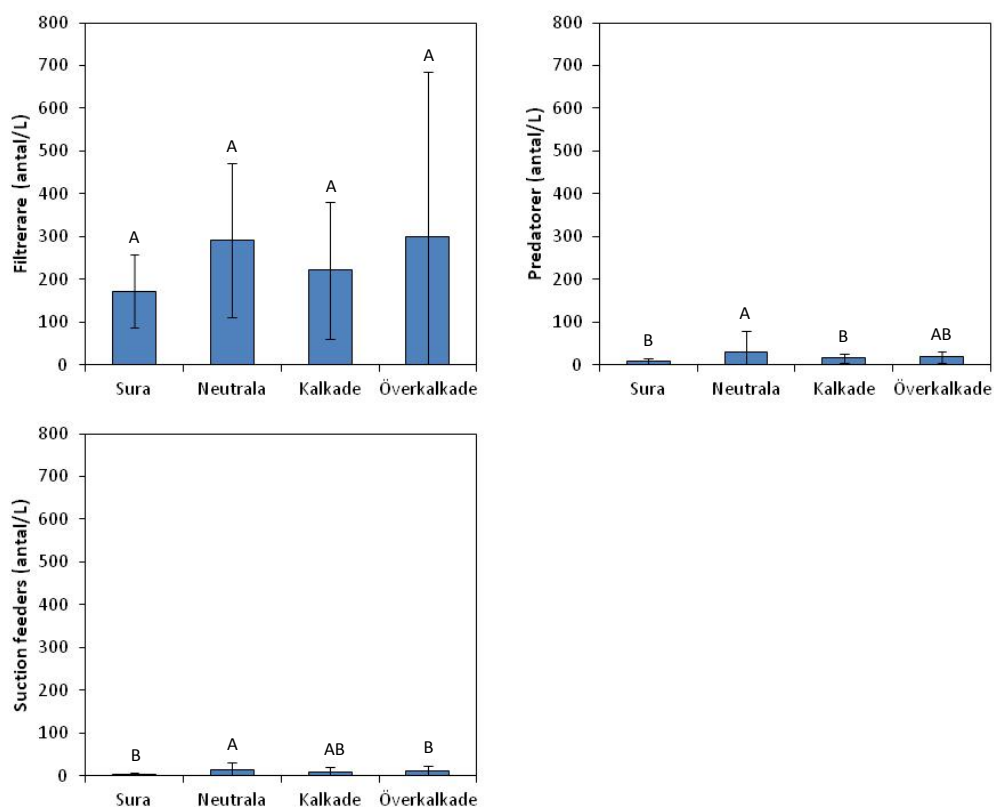


Figur 8. NMDS-diagram som visar hur samhällsstrukturen för djurplankton skiljer sig åt mellan olika grupper av sjöar under tillväxtsäsongen. Den avvikande samhällsstrukturen för djurplankton i Lillesjö markeras med fyrkantiga symboler. Avståndet mellan punkter i diagrammet ger ett mått på hur lika samhällsstrukturen är (kort avstånd = likartad samhällsstruktur). 3D stress 0,16.

Tabell 4. ANOSIM analys av djurplanktonsamhället i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar.

Sjögrupp	R	p
Sura vs Neutrala	0,196	0,001
Sura vs Kalkade	0,240	0,001
Sura vs Överkalkade	0,255	0,001
Neutrala vs Kalkade	0,018	0,083
Neutrala vs Överkalkade	0,037	0,002
Kalkade vs Överkalkade	0,064	0,001
Totalt	0,129	0,001

Djurplankton delades även in i de funktionella grupperna filtrerare, predatorer, suction feeders och parasiter. Suction feeders suger antingen ut ägg eller stora växtplankton. Parasiterna var för sällsynta i datasetet för att kunna ingå i en statistisk analys (återfanns vid ett tillfälle i den kalkade Källsjön). För den antalsmässigt största funktionella gruppen, filtrerare, var det inga skillnader mellan sjögrupperna (Figur 9). För predatorer och suction feeders var individtätheten oftast störst i de neutrala sjöarna men skillnaderna mot de andra sjögrupperna var liten och oftast signifikant bara mot den sura sjögruppen. Jämfört med funktionella grupper i neutrala sjöar är varken kalkning eller överkalkning negativt för djurplankton i denna studie.

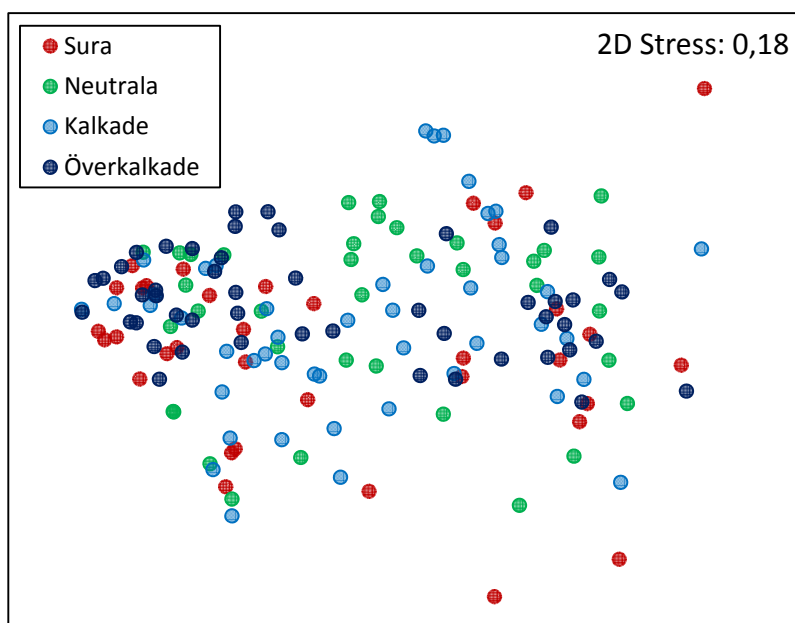


Figur 9. Djurplanktons samhällsstruktur i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar uttryckt i de funktionella grupperna filtrerare, predatorer och suction feeders baserat på 773 prov. Olika bokstäver över staplarna visar vilka nivåer som är signifikant skilda från varandra (Tuker-Kramers HSD test), vilket även indikeras av standardavvikelsen.

Skiljer sig profundalfaunans samhällsstruktur i överkalkade sjöar jämfört med den i andra sjögrupper?

Totalt analyserades 167 prov. Antalet taxa i undersökningen varierade mellan 1 och 20 taxa för profundalfaunan, och var i medeltal 5,3 taxa. Individtätheten var i medeltal 2000 st/m² och kunde variera från 8-17000 st/m². J' var i medeltal 0,514 och H' 0,761. Det fanns inga signifikanta skillnader mellan sjögrupperna för någon av dessa parametrar. I alla fyra sjögrupper hittades sjöar där endast ett taxon förekom något av åren (Stora Silevatten, St. Vrångtjärnet, V. Skälsjön, Gyltigesjön, Lillesjö och Härsvatten). Endast i Fräcksjön var antalet taxa lågt alla åren, fyra år med endast *Chaoborus flavicans* och ett år då *Sergentia coracina* tillkom. År med artfattiga bottenfaunaprover är det oftast *Chaoborus flavicans* som hittas, men det kan också vara *Oligochaeta* (St. Vrångtjärnet) och *Sergentia prima* (Lillesjö).

De multivariata metoderna visade inte heller på någon tydlig skillnad mellan sjögrupperna. I NMDS-diagrammet kan man se hur punkter från alla sjötyper överlappar varandra (Figur 10). Trots att ANOSIM-analysen är signifikant i de flesta kombinationerna är R-värdena mycket nära noll (Tabell 5), vilket innebär att det finns ett väldigt stort överlapp i samhällstrukturen för profundalfaunan. För bottenfaunans del blir det alltså ingen effekt av kalkning, bottenfaunan är redan likartad i sura och neutrala sjöar och är heller inte annorlunda i de två grupperna med kalkade sjöar.

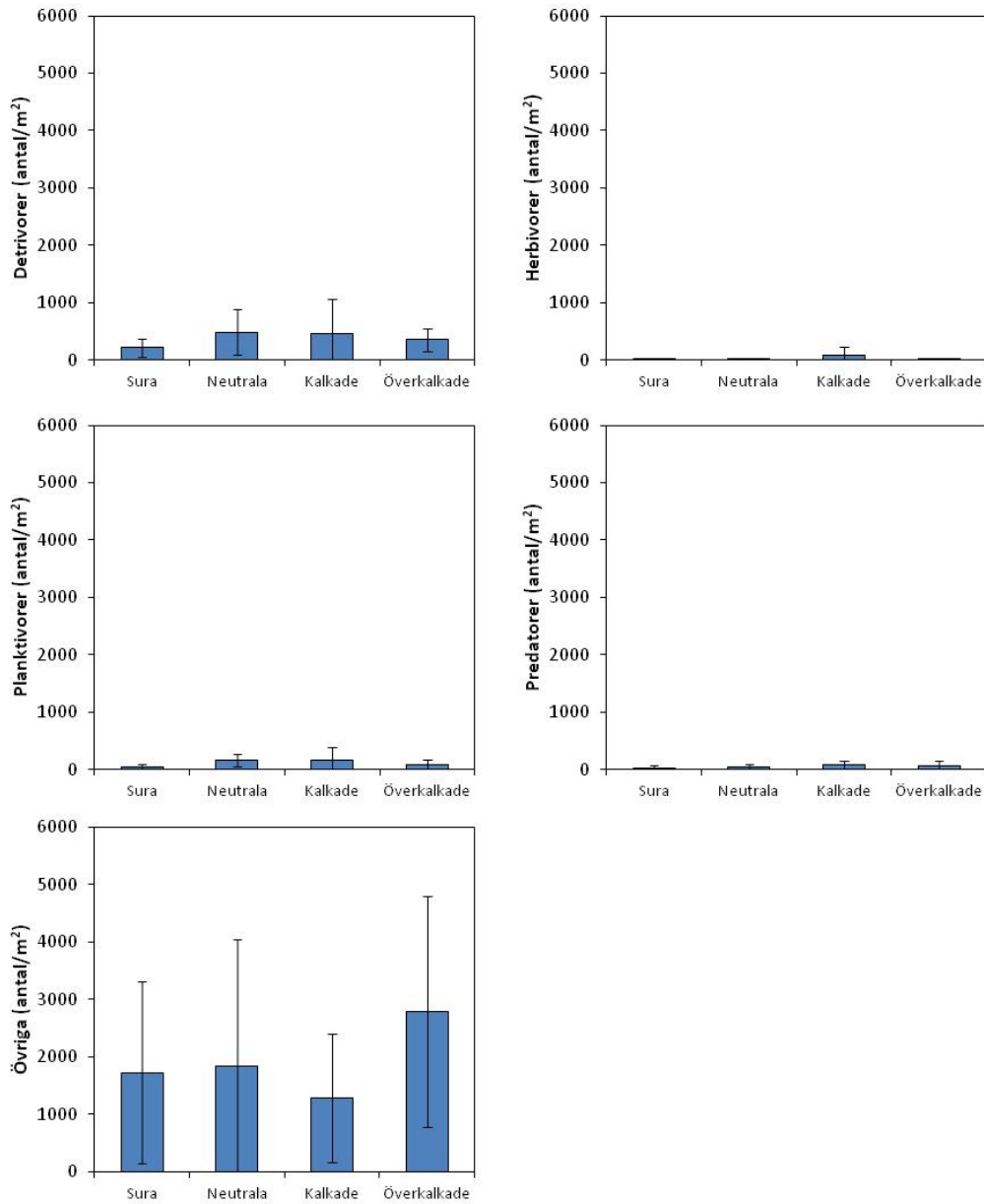


Figur 10. NMDS-diagram som visar hur samhällsstrukturen för profundal bottenfauna skiljer sig åt mellan olika grupper av sjöar. Avståndet mellan punkter i diagrammet ger ett mått på hur lika samhällsstrukturen är (kort avstånd = likartad samhällsstruktur). 3D stress 0,13.

Tabell 5. ANOSIM-analys av profundal bottenfauna i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar.

Sjögrupp	R	p
Sura vs Neutrala	0,053	0,025
Sura vs Kalkade	0,064	0,015
Sura vs Överkalkade	0,090	0,006
Neutrala vs Kalkade	0,028	0,092
Neutrala vs Överkalkade	0,079	0,007
Kalkade vs Överkalkade	0,086	0,001
Totalt	0,068	0,001

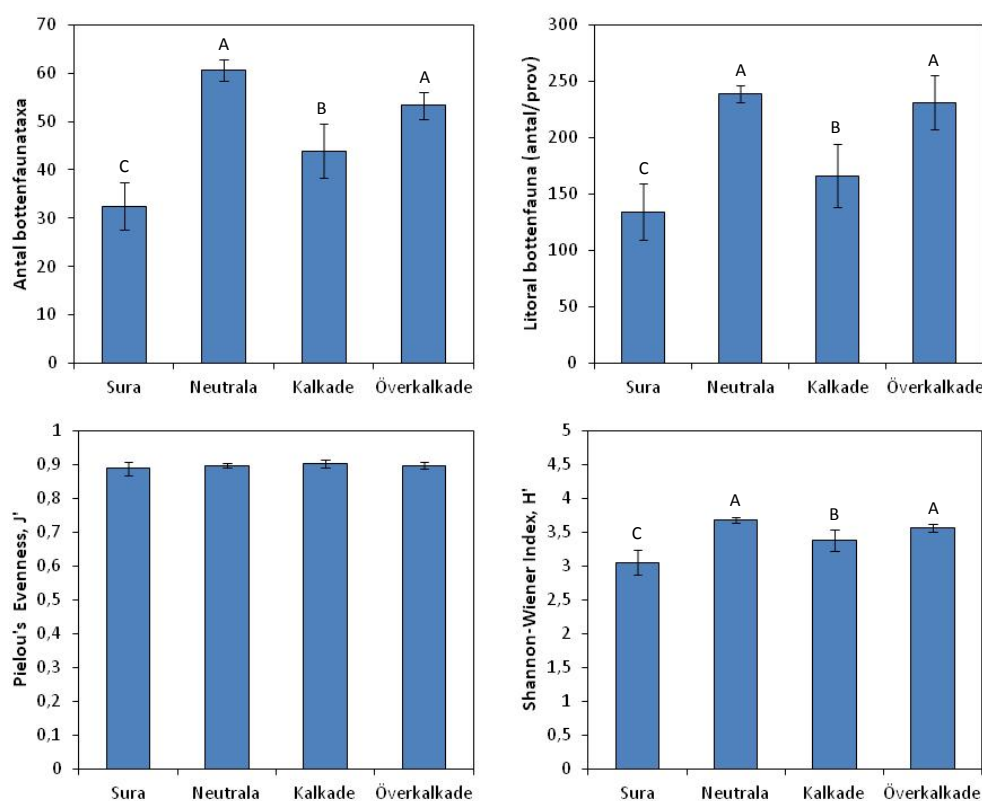
Profundalens bottenfauna indelat i funktionella grupperna herbivorer, detrivorer, planktivorer, predatorer och övriga visade inte heller på några skillnader mellan sjögrupperna (Figur 11). Det kan ändå nämnas att den antalsmässigt största gruppen har oidentifierad funktion (76 % av individerna), detritusätare är näst störst (16 %) medan planktivorer, predatorer och herbivorer utgör endast en liten andel av individerna (5, 2 och 1 %). Funktionellt sett hittar man alltså inga skillnader mellan sjögruppernas profundalfauna. Sura sjöar har samma fördelning av taxa med olika funktion som neutrala och de två grupperna av kalkade sjöar. Det går därför inte att säga att överkalkning är negativt. Men kalkning kan i detta fall inte sägas vara nödvändigt heller eftersom det inte finns några påvisbara skillnader fördelningen av funktioner ens mellan sura och neutrala sjöar.



Figur 11. Profundalfaunans samhällsstruktur i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar uttryckt i de funktionella grupperna detrivorer, herbivorer, planktivorer, predatorer och övriga baserat på 167 prov. Inte för någon funktionell grupp fanns det signifikanta skillnader mellan sjögrupperna, skulle bokstäver ha ritats ut över staplarna skulle det blivit A i samtliga fall (Tuker-Kramers HSD test), vilket även indikeras av standardavvikelsen.

Hur skiljer sig bottenfaunans samhällsstruktur i litoralen (M42) i överkalkade sjöar?

För provtagning i litoralen med M42 metoden ingår inte alla sjöar. Det gör att underlaget endast består av fem sura sjöar, två neutrala mot vanligtvis åtta vardera för dessa sjögrupper. För kalkade och överkalkade sjöar ingår alla sjöar, dvs. tolv i varje sjögrupp. Resultatet visar att antalet taxa är lägst i de sura sjöarna (32 taxa), högst i de neutrala och överkalkade (61 respektive 53 taxa) och medel med 44 taxa i medeltal i de kalkade sjöarna. Samma mönster kan man se för individtätheten och för Shannon-Wiener index, med sura sjöar lägst, neutrala och överkalkade högst och kalkade mellan dessa (Figur 12), medan parametern Evenness inte visade några skillnader mellan sjögrupperna.

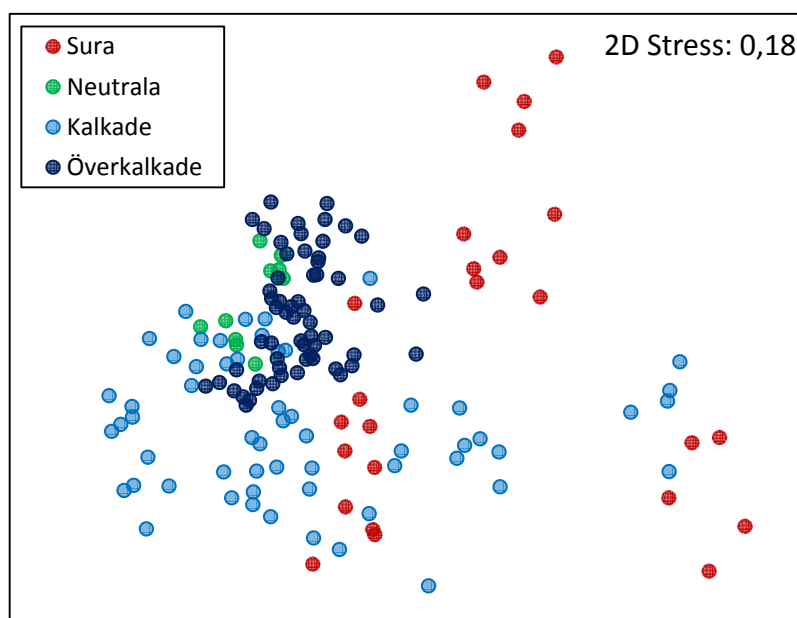


Figur 12. Litoralfaunans samhällsstruktur i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar uttryckt som antalet taxa, individtäthet, Evenness och Shannon-Wiener index baserat på 153 prov. Olika bokstäver över staplarna visar vilka nivåer som är signifikant skilda från varandra (Tuker-Kramers HSD test), vilket även indikeras av standardavvikelsen.. För Evenness fanns det inga signifikanta skillnader mellan sjögrupperna.

Variationen i den multivariata ordinationen kan delvis förklaras av regionala skillnader i litoralfaunans samhällsstruktur. Längst ner i till höger i diagrammet (Figur 13) finns fem år med data från två sjöar, som ligger över trädgränsen på ca 900 m höjd över havet, nära varandra i norra Dalarna där den sura Övre Särnmannasjön rinner ner i den kalkade Nedre Särnmannasjön. Övre Särnmannasjön kalkades av misstag år 2002, och hade under några år pH värden runt 6. Under den senaste perioden, de år denna undersökning omfattar är den dock tillbaka på värden runt

5,5 likande de under perioden 1997-2001. Eftersom båda Särnmannasjöarna ligger långt ifrån resten av sjöarna i sin respektive sjögrupp tolkar vi det som att det bör vara icke surhetsrelaterade miljöförhållanden som förklarar dessa sjöars skilda samhällsstruktur för litoral fauna. För de andra sjöarna finns det inte någon tydlig geografisk struktur.

Det låga antalet sjöar i neutrala sjögruppen (endast Fräcksjön och Älgsjön) gör det svårt att jämföra dem med de två grupperna av kalkade sjöar. Det går ändå att se att de två neutrala sjöarnas punkter ligger väl samlat med mycket liten variation medan de fem sura sjöarna uppvisar mycket stora olikheter i sin litorala faunas samhällsstruktur. Det går bra att jämföra kalkade med överkalkade sjöar där underlaget är tillräckligt stort. Man ser då att kalkade sjöar uppvisar samma höga variation i samhällsstruktur som sura sjöar, medan överkalkade sjöar har mycket mindre variation i samhällsstruktur. Dessutom ligger de samlade nära punkterna för de neutrala sjöarna. Med det här dataunderlaget ser det ut som att det är först vid överkalkning som litoralens bottenfauna börjar likna den i neutrala sjöar, medan mer normal dos av kalkning inte verkar vara tillräckligt. De kalkade sjöarnas punkter har inte särskilt stort överlapp jämfört med de överkalkade sjöarna, däremot ligger neutrala och överkalkade sjöar mycket nära varandra i diagrammet (Figur 13). Det ska påpekas att de neutrala sjöarna även liknar vissa av de kalkade sjöarna (t.ex. Gyslättsjön, Nässjön och Gyltigesjön). Det ser man också i ANOSIM-analysen (Tabell 6) som visar att samhällsstrukturen inte är skild mellan neutrala och överkalkade sjöar, och inte heller mellan neutrala och kalkade sjöar. Men igen det är väldigt få sjöar i den neutrala gruppen.

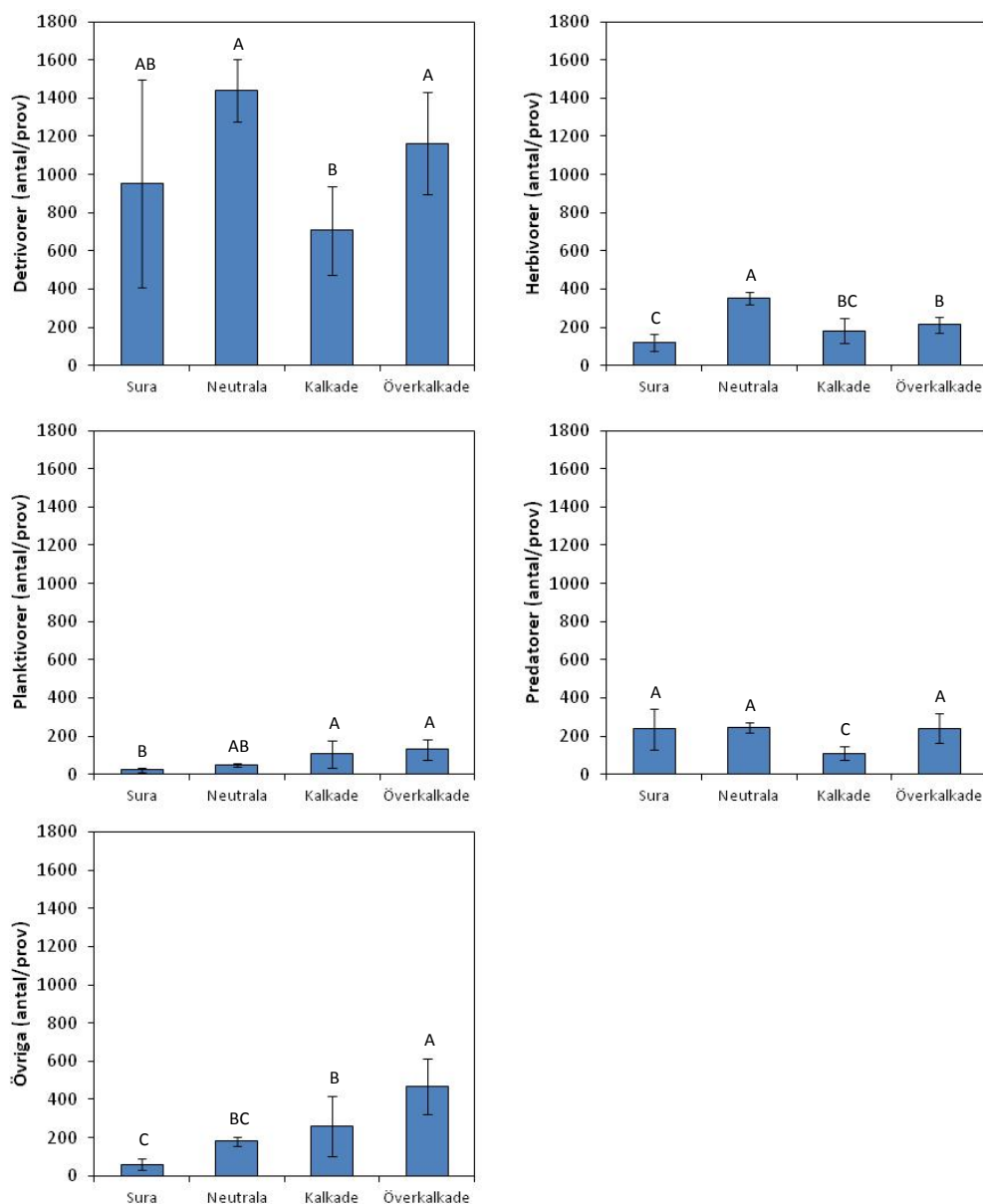


Figur 13. NMDS-diagram som visar hur samhällsstrukturen för litoral bottenfauna skiljer sig åt mellan olika grupper av sjöar. Avståndet mellan punkter i diagrammet ger ett mått på hur lika samhällsstrukturen är (kort avstånd = likartad samhällsstruktur). 3D stress 0,12.

Tabell 6. ANOSIM analys av litoral (M42) bottenfauna i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar. N.s.= ej statistiskt säkerställt

Sjögrupp	R	p
Sura vs Neutrala	0,195	0,022
Sura vs Kalkade	0,362	0,001
Sura vs Överkalkade	0,746	0,001
Neutrala vs Kalkade	-0,017	n.s.
Neutrala vs Överkalkade	0,136	n.s.
Kalkade vs Överkalkade	0,285	0,001
Totalt	0,345	0,001

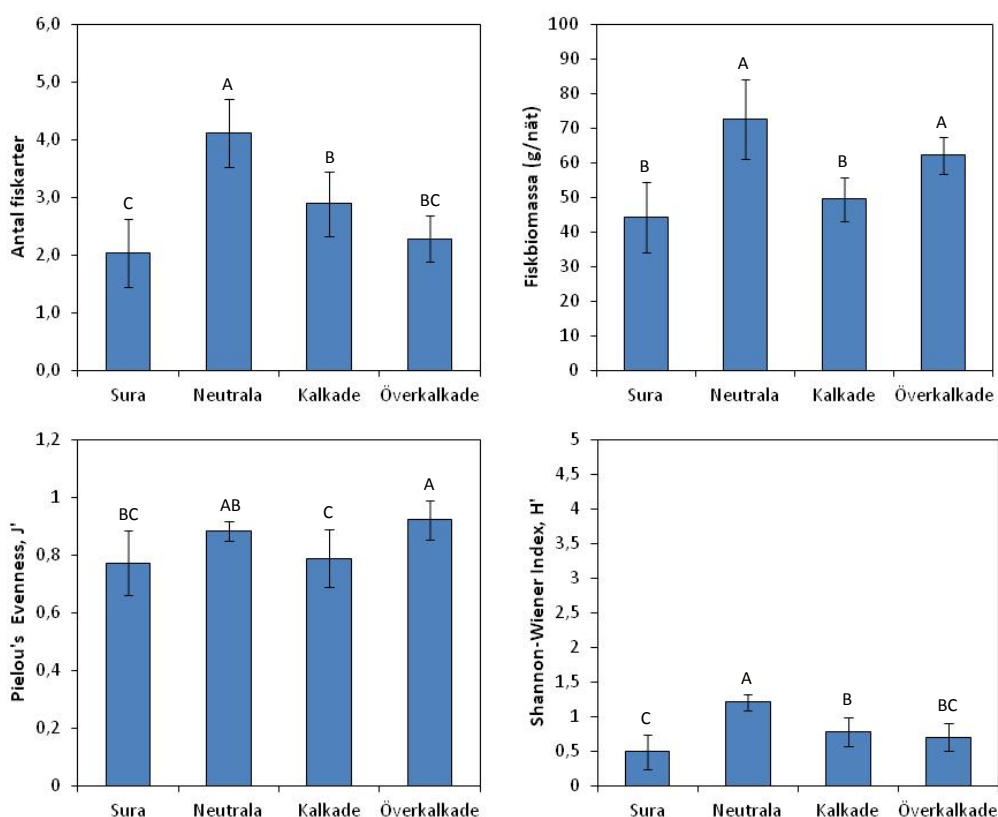
Litoralens bottenfauna indelat i funktionella grupperna herbivorer, detrivorer, planktivorer, predatorer och övriga visade att i litoralen är det detrivorer som dominerar antalsmässigt i alla sjögrupperna (Figur 14). Även om det är en del statistiskt säkerställda skillnader mellan sjöarna är det ingen funktion som ändras extremt vid överkalkning. Överkalkade sjöars detrivorer och predatorer finns i ungefär samma individtäthet i överkalkade som neutrala och sura sjöar. För gruppen planktivorer skiljer sig överkalkade sjöar endast från sura sjöar och för herbivorer ligger de lika som andra kalkade sjöar i individtätheter mellan de för sura och neutrala sjöar. För fördelningen av funktioner inom litoralens fauna utmärker sig alltså inte överkalkade sjöar som särskilt avvikande.



Figur 14. Litoralfaunans samhällsstruktur i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar uttryckt i de funktionella grupperna detrivorer, herbivorer, planktivorer, predatorer och övriga baserat på 153 prov. Olika bokstäver över staplarna visar vilka nivåer som är signifikant skilda från varandra (Tuker-Kramers HSD test), vilket även indikeras av standardavvikelsen.

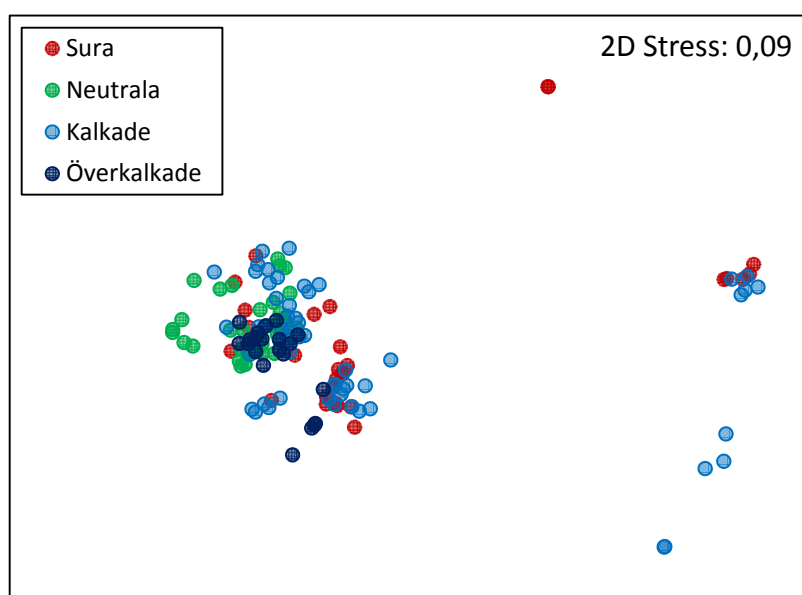
Hur skiljer sig fisksamhällets struktur i de överkalkade sjöarna?

Provfiske utfördes mellan 1-5 gånger i sjöarna. Av de överkalkade sjöarna är nio stycken endast fiskade ett år eftersom målsättningen var att de skulle hinnas fiskas åtminstone en gång innan utvärderingen. Undantagen är Blanksjön och Stora Här-sjön som är fiskade alla fem åren och Hagsjön som är provfiskad två år. Även bland de sura sjöarna är två sjöar fiskade endast ett år, Härsvatten och Lillesjö. Totalt hittades 17 arter men i analyserna ingår endast 13 arter fångade i nät från 0-3 m djup. De arter som fångades i djupare och därmed kallare vatten var lake, nors, siklöja och ål. Som mest hittades sex arter och detta i de två neutrala sjöarna Älg-sjön och Fräcksjön. I två av de sura sjöarna, Lillesjö och Härsvatten, fångades inte någon fisk alls. I medeltal fanns det två fiskarter i de sura och överkalkade sjöarna, tre arter i de kalkade och fyra i de neutrala (Figur 15). I två av de sura sjöarna (Brunnsjön och Rotehogstjärnen) fångades den relativt surhetskänsliga fiskarten mört varje år, och i den sura Övre Skärsjön uppträdde mört sporadiskt. Mört fanns i alla neutrala sjöar. I de kalkade och överkalkade sjöarna saknades mört i 11 av 24 sjöar.



Figur 15. Fiskens samhällsstruktur i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar uttryckt som antalet taxa, biomassa, Evenness och Shannon-Wiener index baserat på 149 prov. Olika bokstäver över staplarna visar vilka nivåer som är signifikant skilda från varandra (Tuker-Kramers HSD test), vilket även indikeras av standardavvikelsen.

För fiskbiomassa och Shannon-Wiener index ligger neutrala sjöar högst medan sura ligger lägst med de kalkade och överkalkade sjöarna med värden däremellan (Figur 15). En tolkning av resultaten är att varken kalkning eller överkalkning leder till samma artantal, biomassa eller struktur som i de neutrala sjöarna. I några fall går det inte att skilja dem från den sura sjögruppen. Det är dock långt ifrån säkert att de kalkade och överkalkade sjöarna generellt har förlorat fiskarter under försurningen. För de flesta kalkade sjöarna i denna studie som idag saknar mört finns inget som tyder på att mört skulle ha funnits tidigare (Reizenstein 2002).



Figur 16. NMDS-diagram som visar hur samhällsstrukturen för fisk på 0-3 m djup skiljer sig åt mellan olika grupper av sjöar. Avståndet mellan punkter i diagrammet ger ett mått på hur lika samhällsstrukturen är (kort avstånd = likartad samhällsstruktur). 3D stress 0,07. Punkter i periferin är följande sjöar: Två överlappande röda punkter högst upp i diagrammet är de två fisklösa sjöarna Härsvatten och Lillesjö. Särmanasjöarna bildar egen grupp längst till höger i diagrammet (röda och ljusblå punkter tillsammans). Fem ljusblå punkter längst ner till höger är Bösjön.

Analys av fiskens samhällsstruktur med hjälp av multivariat statistik visar en stor variation med ett stort överlapp mellan sjögrupper (Figur 16). De två fisklösa sjöarna Härsvatten och Lillesjö utmärker sig liksom de två sjöarna Övre och Nedre Särmanasjön där röding oftast var den enda fiskarten. Även Bösjön har en samhällsstruktur som skiljer sig från de andra sjöarna, genom ett samhälle med röding, öring och elritsa, men utan den annars vanligt förekommande abborren. Abborre finns i alla sjöar i den mer samlade gruppen av punkter i vänstra delen av figur 16, även om den först på 1990-talet oväntat dök upp i och etablerade sig i den kalkade Tryssjön. Det finns alltså vissa geografiska skillnader i fisksamhällena som inte beror på sjögrupp eller om sjön är kalkad eller inte. I fallet Övre Särmanasjön tror vi att fisk kan simma från den kalkade Nedre Särmanasjön vilken alltså är en återkolonisationskälla. Skillnaderna i samhällsstruktur för fisk är endast signifikant

ta mellan sura och neutrala samt neutrala och kalkade sjöar (Tabell 7). Det beror troligtvis både på att en del sjöar är mycket avvikande antingen för att de är fisklösa eller pga. regionala skillnaderna för en del sjöar. Biogeografiska skillnader inom och mellan sjögrupperna är troligtvis förklaringen till att fiskfaunan är mest homogen i de överkalkade sjöarna. Där förekommer den vanliga abborren i alla sjöar, mört finns i sju av tolv sjöar, och endast överkalkade Stora Härsjön är tillräckligt stor och djup för att hysa kallvattensarten siklöja. Varmvattensarterna abborre och mört förekommer i samtliga neutrala sjöar, medan de saknas naturligt i flera av de sura och kalkade sjöarna. För fisksamhället skulle ett större variation i storlek och djup gett tydligare resultat vad gäller antalet taxa i överkalkade sjöar. Som helhet verkar ändå inte överkalkningen vara negativ för fisksamhällena i de överkalkade sjöarna.

Tabell 7. ANOSIM-analys av fisksamhället i sura, neutrala, kalkade och överkalkade sjöar. N.s.= ej statistiskt säkerställt.

Sjögrupp	R	p
Sura vs Neutrala	0,356	0,001
Sura vs Kalkade	0,011	n.s.
Sura vs Överkalkade	0,065	n.s.
Neutrala vs Kalkade	0,085	0,007
Neutrala vs Överkalkade	0,067	n.s.
Kalkade vs Överkalkade	-0,071	n.s.
Totalt	0,077	0,001

Slutsatser

För att återknyta till syftet med utvärderingen besvarar vi frågorna mer direkt:

Vilka strukturella och funktionella effekter ses i sjöar som överdoseras med kalk?

När man överkalkar tillkommer arter som normalt endast skulle finnas i hårdvattnessjöar, vilket också var en slutsats i en studie av effekter av kalkning mer generellt (Angeler & Goedkoop 2010). Detta syns tydligast för växtplankton. Funktionellt utmärkte sig inte de överkalkade sjöarna. Men det bör påpekas att måtten vi använde på funktion är grova och endast mått på potential för olika funktioner. Vi mätte inga processhastigheter. Slutsatsen från denna utvärdering är att som helhet är det inga större negativa effekter med överkalkning i de sjöar som undersökts i studien. Det är främst växtplanktonsamhället som påverkas negativt av överkalkning, där får man ett växtplanktonsamhälle som påminner mer om det i hårdvattnessjöar vilket främst innebär risk för att potentiellt giftiga cyanobakterietaxa börjar förekomma.

Kan biologiskt önskvärda halter av kalk rekommenderas i sjöar som ska användas som utjämnande kalkningsmagasin?

Vi rekommenderar ingen direkt maximal dos, men genom att vi i appendix visar samband mellan förekomst av olika taxa och $[Ca^{2+}]$ hoppas vi att det är möjligt att återkoppla till dos i sjöar som ska användas som utjämnande kalkningsmagasin. De taxa som hittas framförallt vid högt pH och höga $[Ca^{2+}]$ är de som inte är naturligt förekommande i mjukvattnessjöar sjöar som är den sjöttyp som oftast är föremål för kalkning. Sådana arter kan man hålla utkik efter och när dessa börjar återfinnas i artlistorna är det dags att dra ner på kalkdoserna.

Artlistorna behöver kompletteras med fler arter och studien behöver jämföras med en grupp sjöar med naturligt höga pH och $[Ca^{2+}]$. Vår förhoppning är att projektet WATERS kommer ha möjlighet att inkludera studier av sådana samband mellan surhetsparametrar och biota när stora datamängder med biologiska data från den senaste vattencykeln inkommer till datavärdena.

Referenser

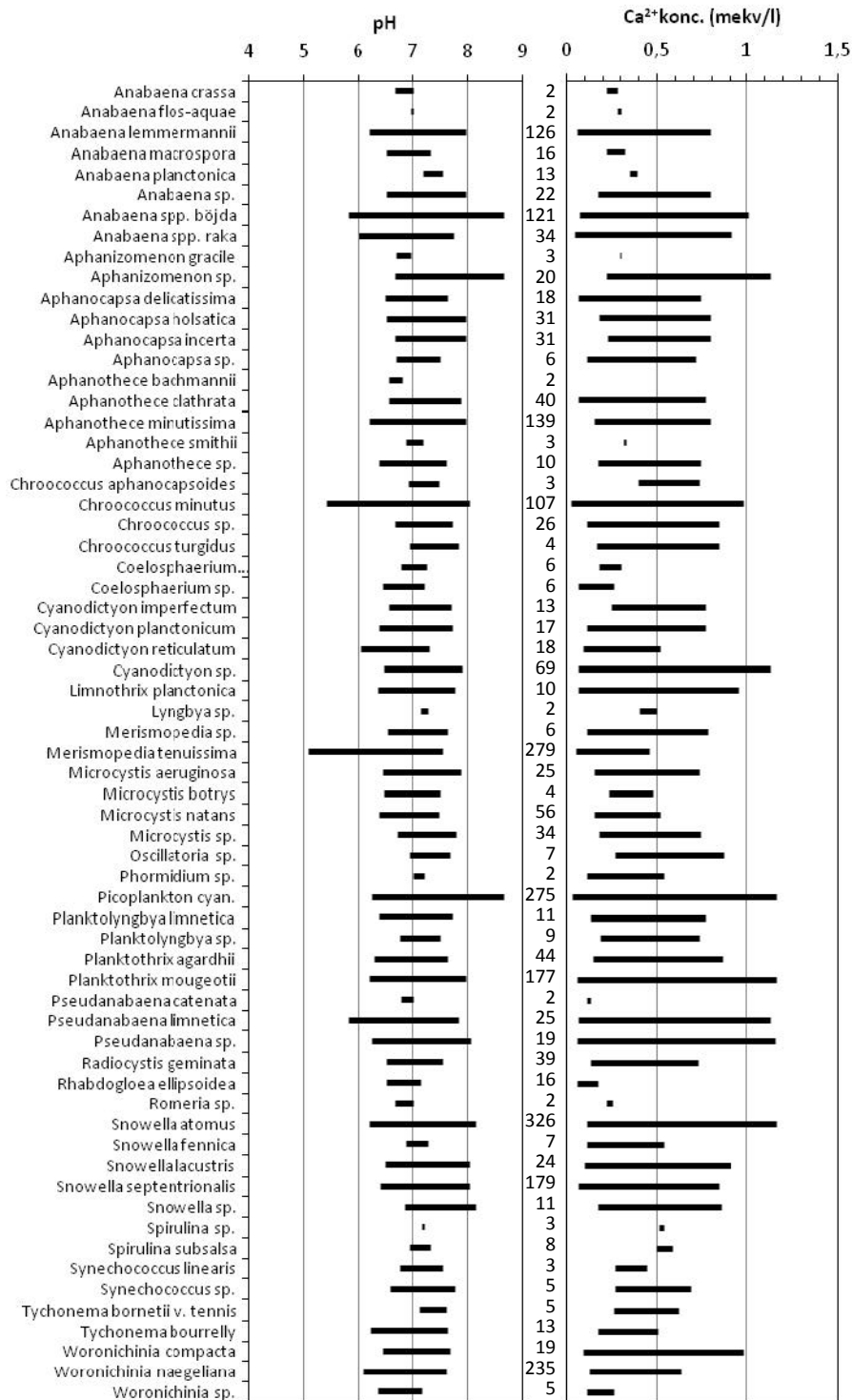
- Almer, B., Dickson, C., Ekström, E., Hörnström, E. & Miller, U. 1974. Effects of acidification on Swedish lakes. *Ambio* 3: 30-36.
- Angeler, D.G. & Goedkoop, W. 2010. Biological responses to liming in boreal lakes: an assessment using plankton, macroinvertebrate and fish communities. *Journal of Applied Ecology*. 47: 478-486.
- Berzins, B. & Bertilsson, J. 1990. Occurrence of limnic microcrustaceans in relation to pH and humic content in Swedish water bodies. *Hydrobiologia* 199:65–71.
- Berzins, B. & B. Pejler, 1987. Rotifer occurrence in relation to pH. *Hydrobiologia* 147:107-116.
- Geelen, J.F.M. & Leuven R.S.E.W. 1986. Impact of acidification on phytoplankton and zooplankton communities. *Experientia* 42: 486-494
- Clarke, K. R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*. 18: 117-143.
- Findlay, D.L. 2003. Response of phytoplankton communities to acidification and recovery in Killarney Park and the Experimental Lakes Area, Ontario. *Ambio* 32: 190-195.
- Gliwicz, Z.M. 1969a. Studies on the feeding of pelagic zooplankton in lakes of varying trophic. *Ekologia palska A*. 17: 663-707.
- Gliwicz, Z. M. 1969b. The share of algae, bacteria and trypton in the food of the pelagic zooplankton of lakes with various trophic characteristics. *Bulletin de L'Academie Polonaise des Sciences*. 17: 159-165.
- Holmgren, K. 2009. 2A:5. Trender i IKEU-sjöarnas fiskfauna och jämförelser med okalkade referenssjöar. Sid. 215-238 i: Munte, J. & A. Jöborn (redaktörer). Utvärdering av IKEU 1990-2006. Syntes och förslag. Naturvårdsverket Rapport 6302.
- Hörnström, E. & Ekström C. 1983. pH och näringseffekter på plankton i västkustsjöar. SNV PM 1704.
- Jansson, M., Blomqvist, P. Jonsson, A. & Bergström A.K. 1996. Nutrient limitation of bacterioplankton, autotrophic and mixotrophic phytoplankton, and heterotrophic nanoflagellates in Lake Örräsket. *Limnology and Oceanography*, 41: 1552-1559.
- Moog, O. 1995. Fauna Aquatica Austriaca. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Landund Fortwirtschaft. Wien, Loseblattsammlung.
- Morgan, N.C. 1980. Secondary production. In: The functioning of freshwater ecosystems. Eds LeCren, E.E. & Lowe-McConnell, R.H. Cambridge U.P., Cambridge.
- Pejler, B. 1965. Regional-ecological studies of Swedish fresh-water zooplankton. *Zool. Bidrag Uppsala* 36: 407–515.
- Person, G., Wilander, A., Willén, E. & Wällstedt, T. 2007. Överdoser av kalk; Underlag till revision av naturvårdsverkets handbok för kalkning av sjöar och vattendrag. Institutionen för miljöanalys, SLU, Rapport 2007:3.
- Reizenstein, M. 2002. Fiskfaunans utveckling under 1900-talet i sjöar inom Integrerad KalkningsEffektUppföljning. Examensarbete 20 p. Rapport 2002:12. Institutionen för Miljöanalys, SLU, Uppsala. ISSN 1403-977X.
- Wilander, A & Fölster, J. 2007. Sjöinventeringen 2005 – En synoptiskt vattenkemisk undersökning av Sveriges sjöar. Institutionen för miljöanalys, SLU, Uppsala. Rapport 2007:16.

Appendix

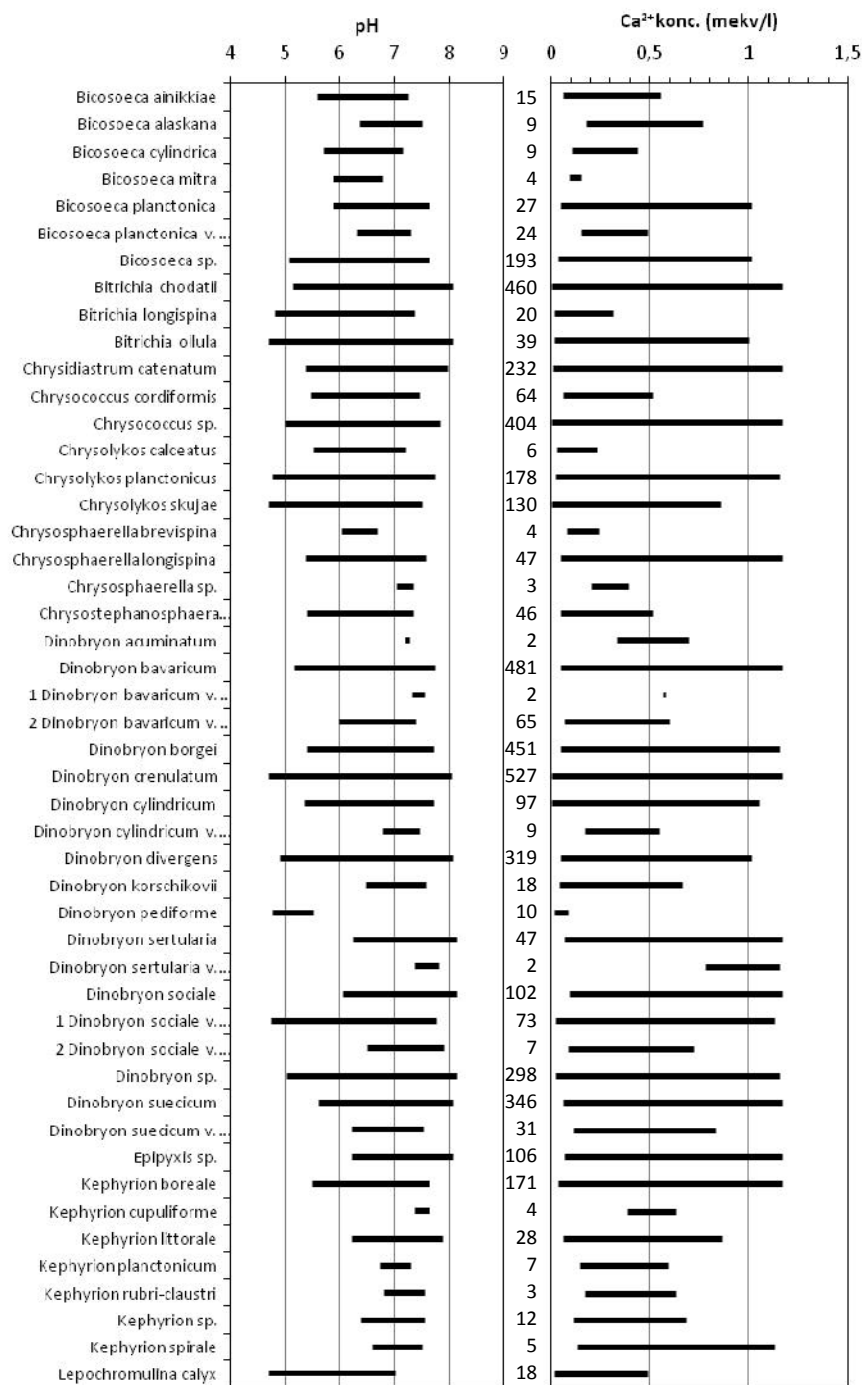
Appendixet innehåller information om lägsta och högsta pH och $[Ca^{2+}]$ som olika taxa av växtplankton, djurplankton och bottenfauna förekommer vid i denna undersökning. För arter som endast påträffas en gång är intervallet mycket snävt, men dessa har ändå tagit med för att det ska gå att få en första indikation för dessa.

Växtplankton	40
Figur Cyanophyceae	40
Figur Chrysophyceae 1	41
Figur Chrysophyceae 2	42
Figur Craspedophyceae	43
Figur Haptophyceae	43
Figur Xanthophyceae	43
Figur Bacillariophyceae	44
Figur Chlorophyceae 1	45
Figur Chlorophyceae 2	46
Figur Nephroselmidophyceae – Prasinophyceae	47
Figur Zygnematophyceae	48
Figur Euglenophyceae	49
Figur Raphidophyceae	49
Figur Cryptophyceae	50
Figur Dinophyceae	51
Djurplankton	52
Figur Cladocera	52
Figur Copepoda	52
Figur Rotatoria	53
Bottenfauna	54
Figur Maskar 1	54
Figur Maskar 2	54
Figur Maskar 3	54
Figur Kräftdjur och spindeldjur	55
Figur Dagsländor	55
Figur Trollsländor	56
Figur Bäcksländor	56
Figur Halvvingar	57
Figur Fjärilar och nätvingar	57
Figur Skalbaggar	58
Figur Nattsländor 1	59
Figur Nattsländor 2	60
Figur Tvåvingar 1	61
Figur Tvåvingar 2	62
Figur Blötdjur	63

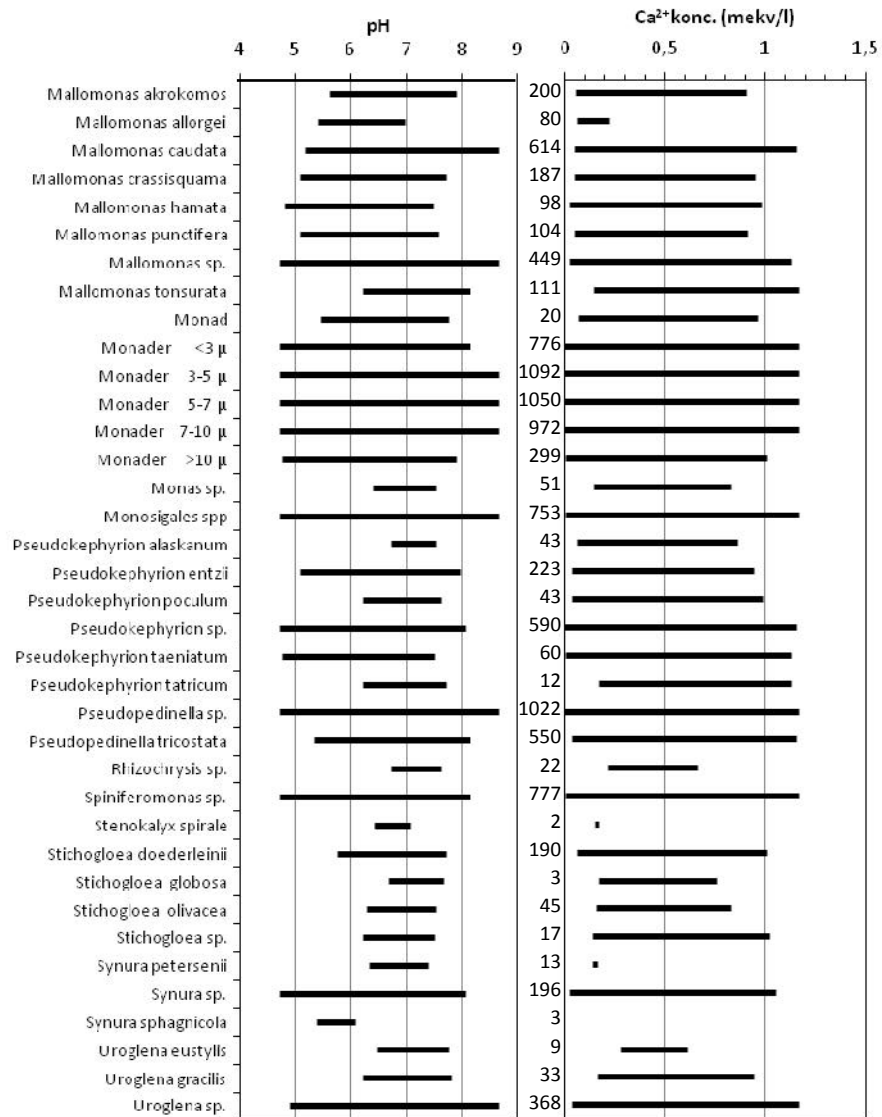
Fördelning av olika växtplanktongrupper taxa



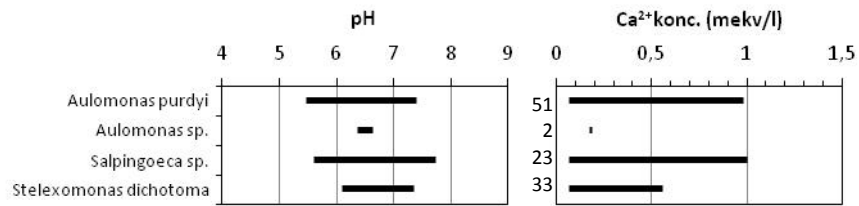
Figur Cyanophyceae. Förekomst av 64 påträffade taxa av cyanobakterier utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Ett taxon har förkortat namn i figuren: *Coelosphaerium kuetzingianum*. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



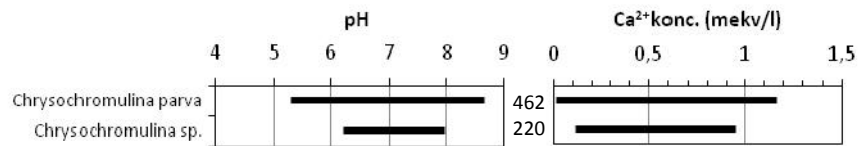
Figur Chrysophyceae 1. Förekomst av 48 (av 85) påträffade taxa av Chrysophyceae utmed studiens gradient i pH och $[Ca^{2+}]$. Nio taxa har förkortade namn: *Bicosoeca planctonica* v. *multiannulata*, *Chrysostephanosphaera globulifera*, *Dinobryon bavaricum* v. *medium* (1), *D. bavaricum* v. *vanhöfferii* (2), *D. cylindricum* v. *palustre*, *D. sertularia* v. *protuberans*, *D. sociale* v. *americanum* (1), *D. sociale* v. *stipitatum* (2), *D. suecicum* v. *longispinum*. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



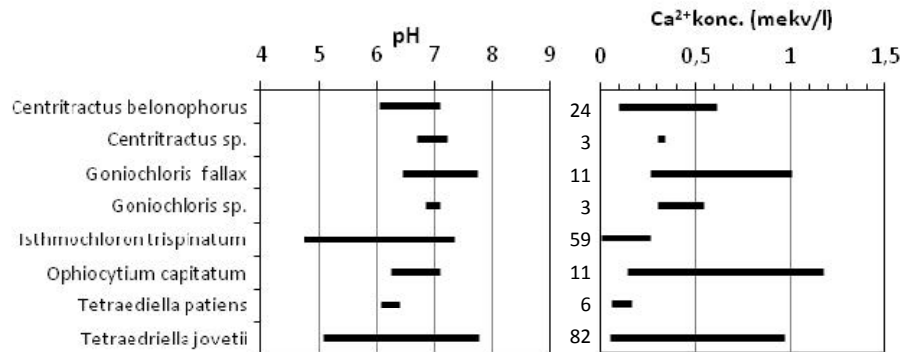
Figur Chrysophyceae 2. Förekomst av resterande 37 (av 85) påträffade taxa av Chrysophyceae utmed studiens gradient i pH och $[Ca^{2+}]$. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



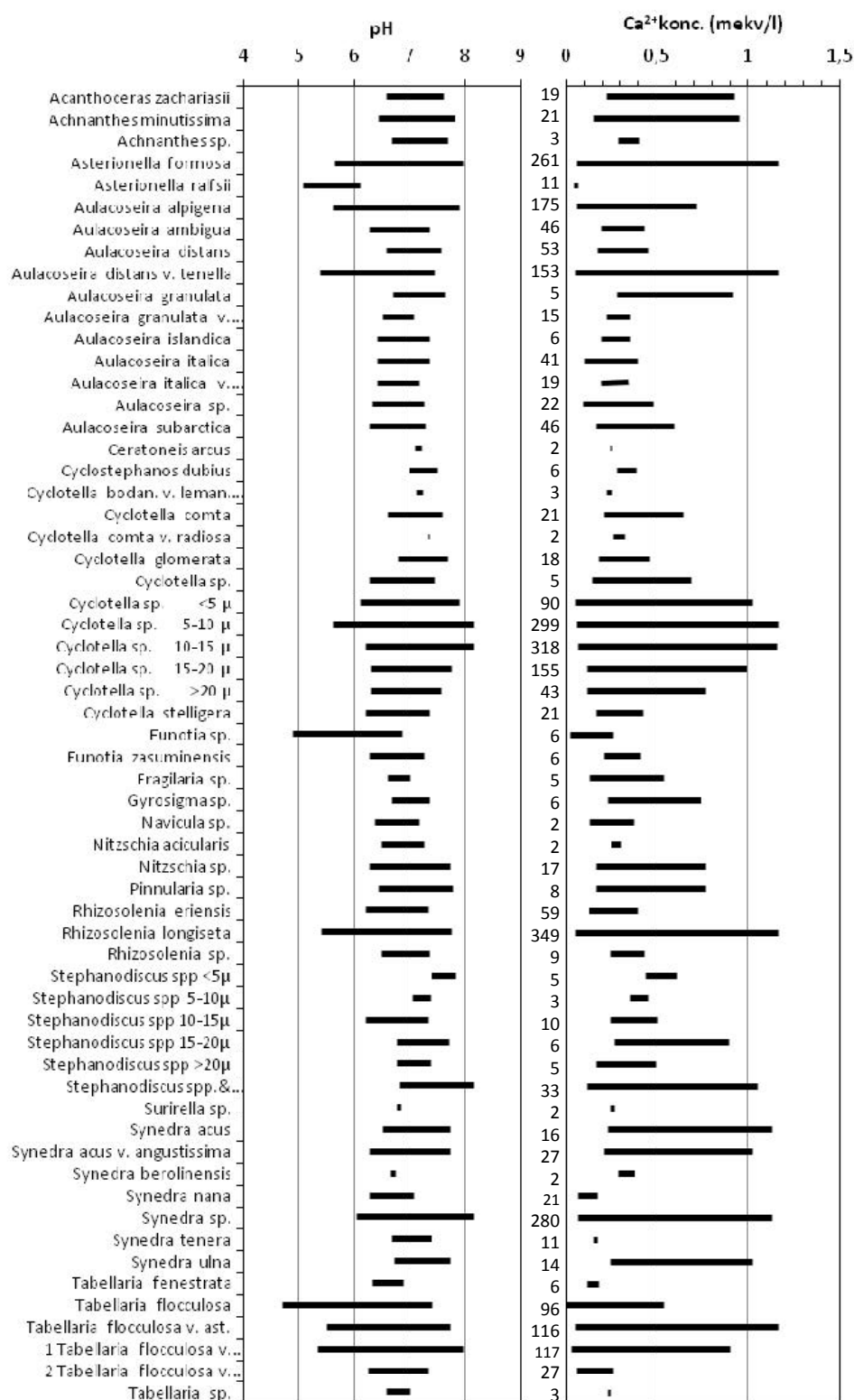
Figur Craspedophyceae. Förekomst av fyra påträffade taxa av Craspedophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



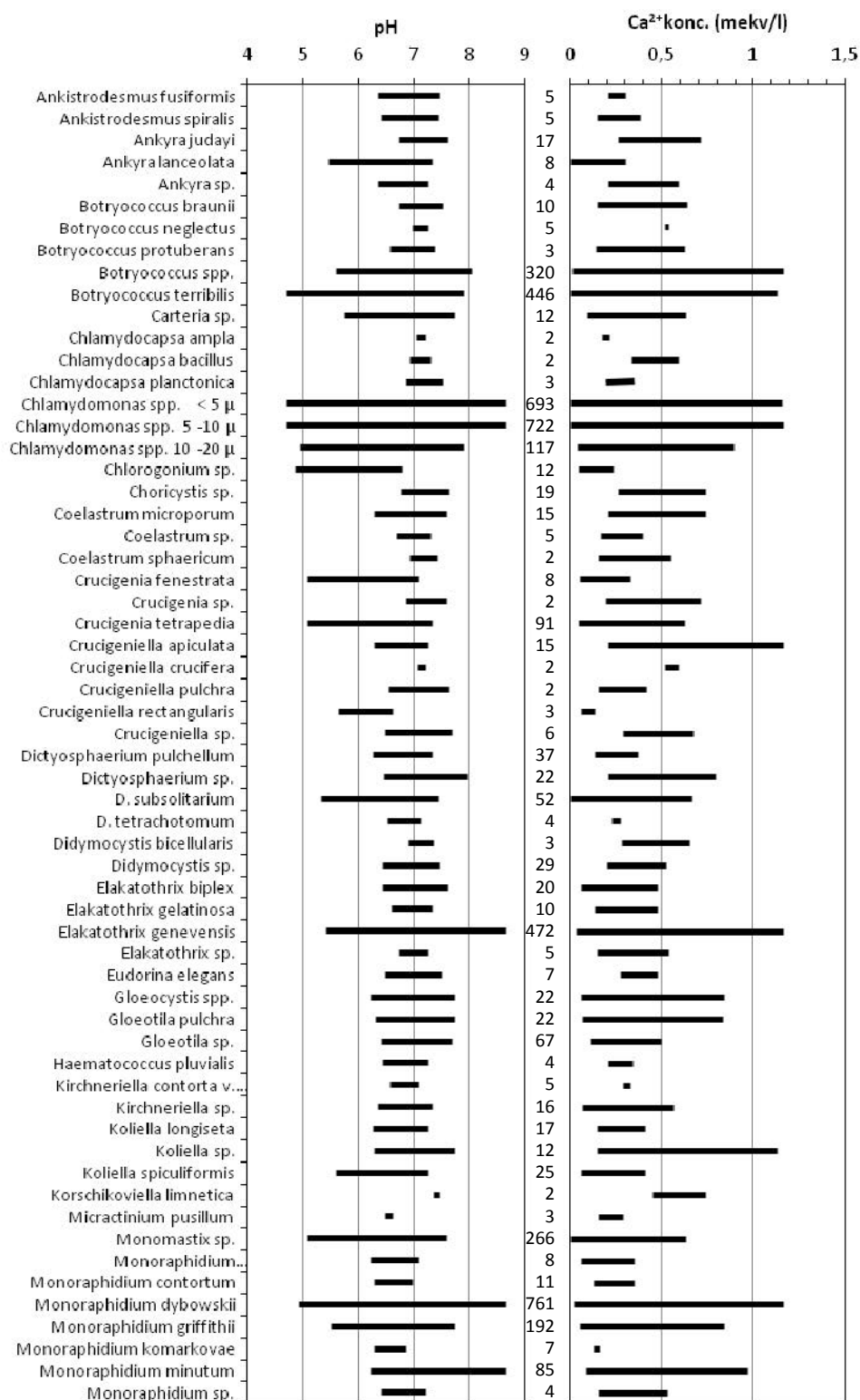
Figur Haptophyceae. Förekomst av två påträffade taxa av Haptophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



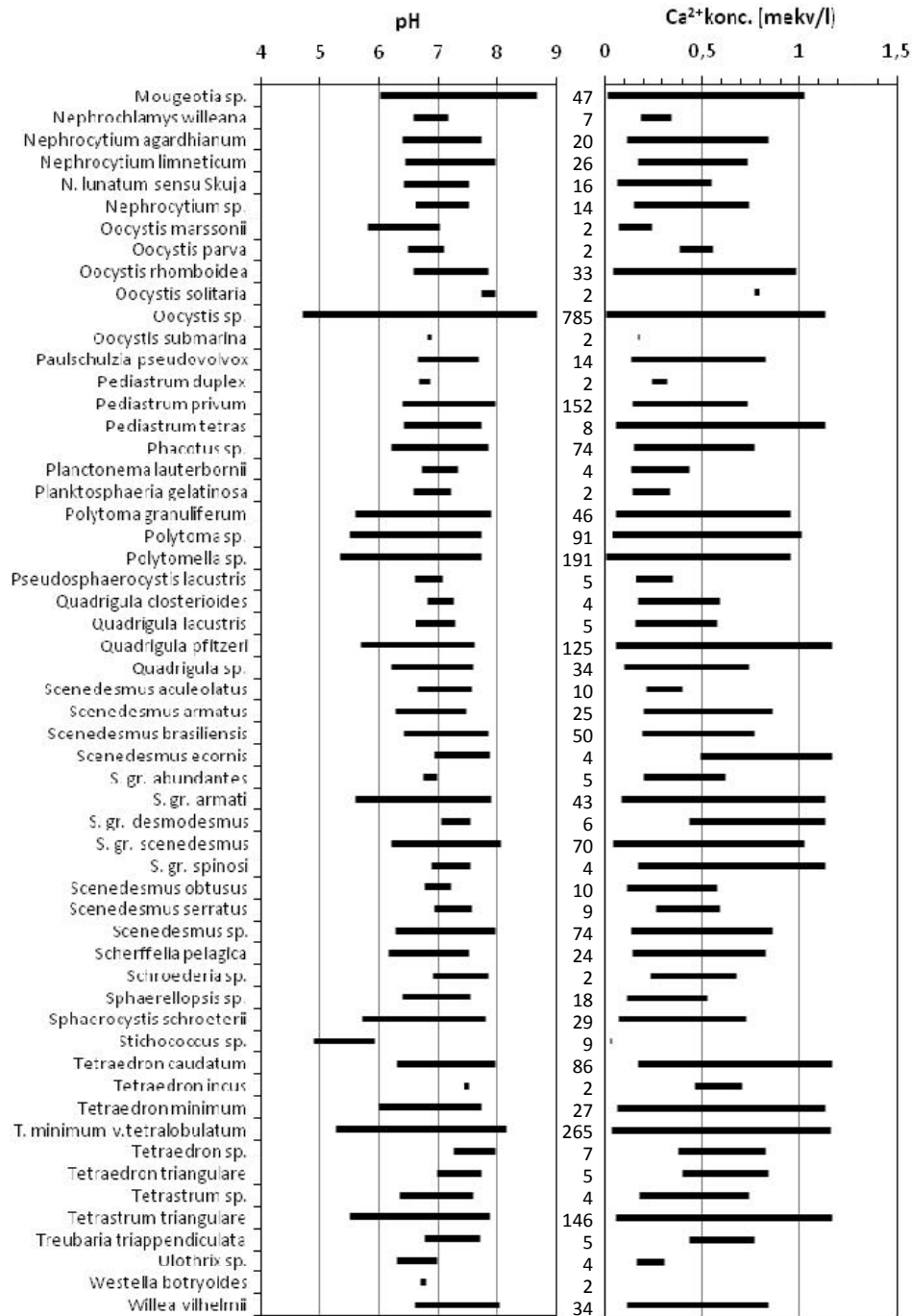
Figur Xanthophyceae. Förekomst av 8 påträffade taxa av Xanthophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



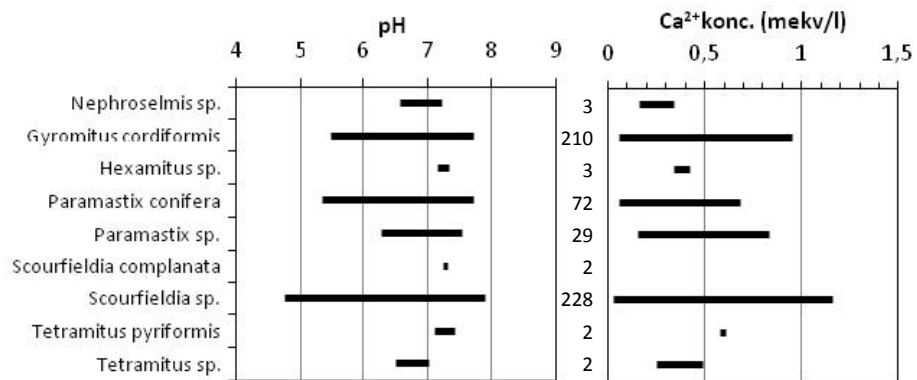
Figur Bacillariophyceae. Förekomst av 60 påträffade taxa av Bacillariophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Sex taxa har förkortade namn: *Aulacoseira distans v. tenella*, *A. italica v. tenuissima*, *Cyclotella bodan v. leman. f. bor.*, *Stephanodiscus spp.* & *Cyclotella spp.*, *Tabellaria flocculosa v. flocculosa*, *T. flocculosa v. teilingii*. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



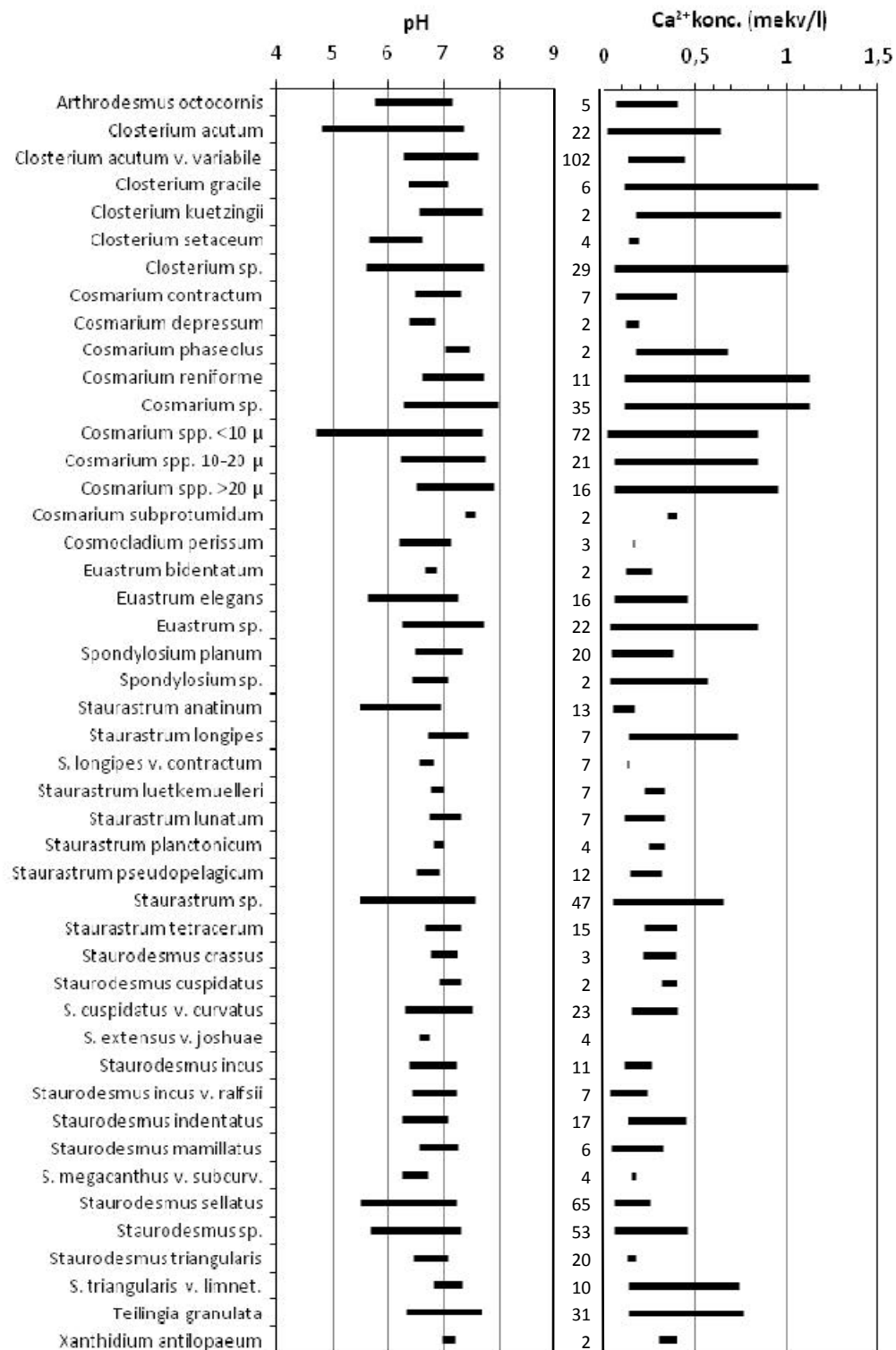
Figur Chlorophyceae 1. Förekomst av 60 (av 116) påträffade taxa av Chlorophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Två taxa har förkortade namn: *Kirchneriella contorta* v. *elongata*, *Monoraphidium capricornutum*. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



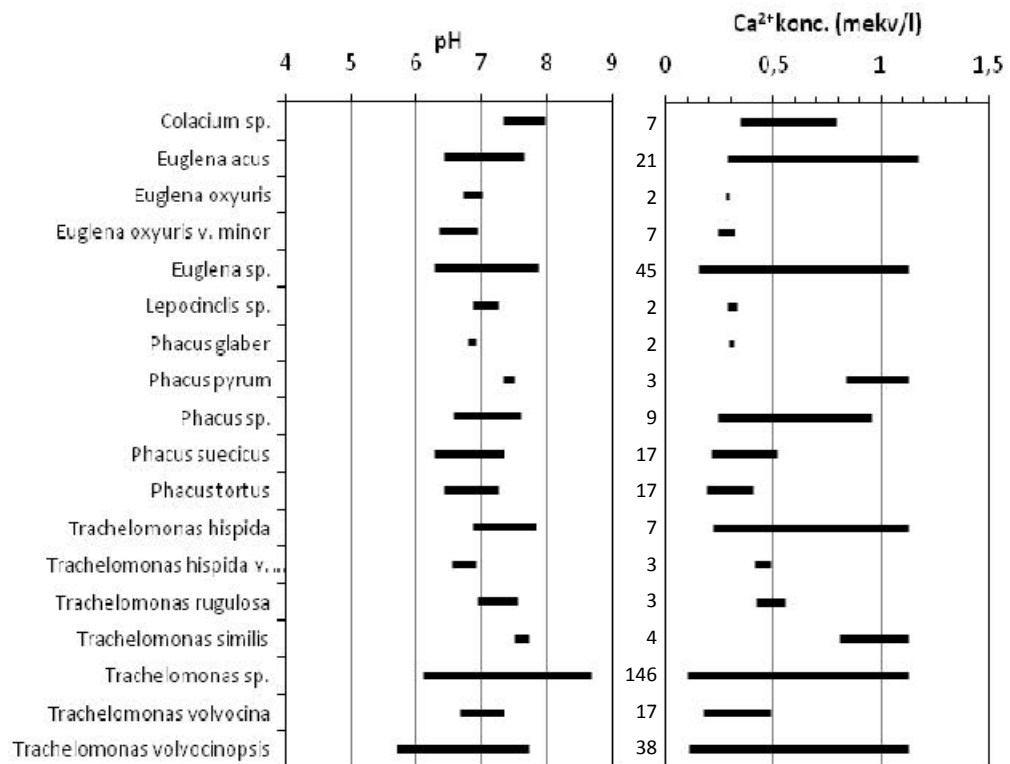
Figur Chlorophyceae 2. Förekomst av resterande 56 (av 116) påträffade taxa av Chlorophyceae utmed studiens gradient i pH och $[Ca^{2+}]$. *Westella botryoides* påträffades vid en $[Ca^{2+}]$ på 0,21 mekv/l något som inte syns i figuren. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



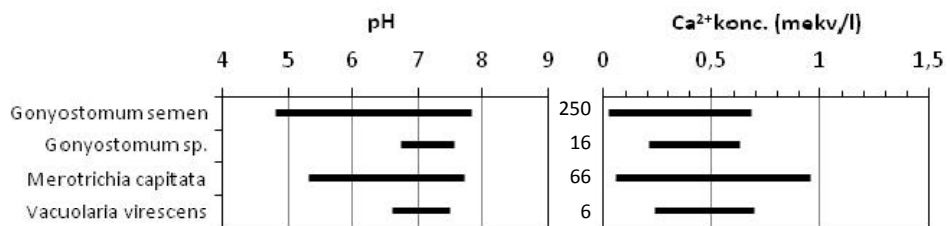
Figur Nephroselmidophyceae - Prasinophyceae. Förekomst av enda taxon av Nephroselmidophyceae samt åtta taxa av Prasinophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. *Scourfieldia complanata* påträffades vid en [Ca²⁺] på 0,46 mekv/l något som inte syns i figuren. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



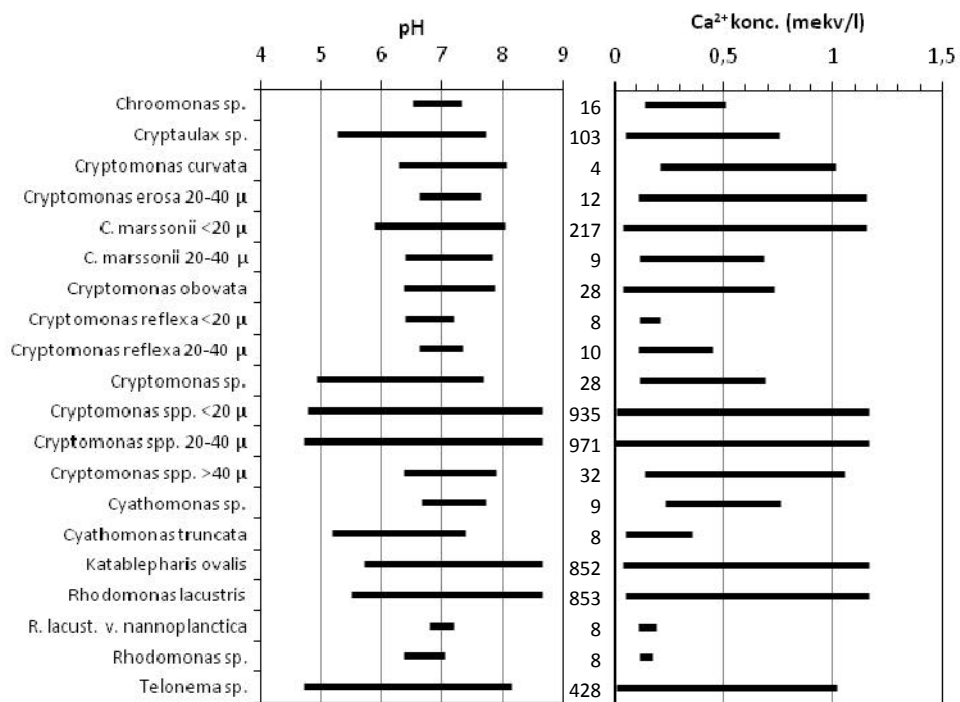
Figur Zygnematophyceae. Förekomst av 46 påträffade taxa av Zygnematophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



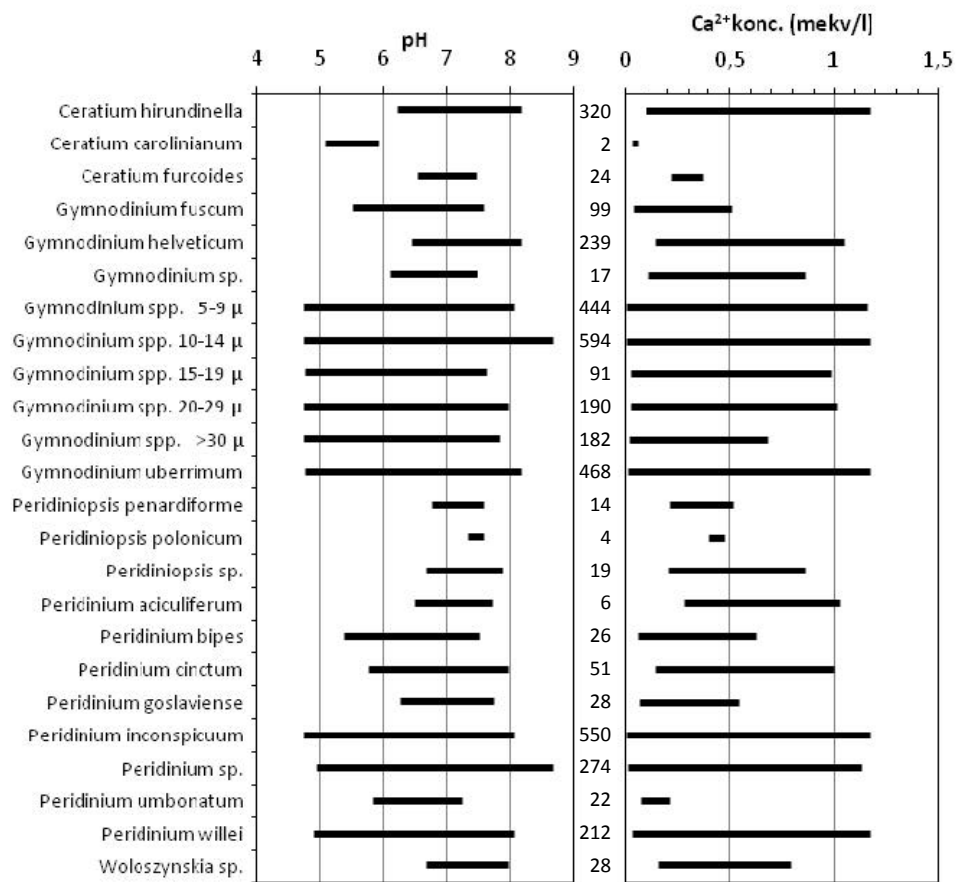
Figur Euglenophyceae. Förekomst av 18 påträffade taxa i klass Euglenophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Ett taxon är förkortat: *Trachelomonas hispida v. coronata*. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



Figur Raphidophyceae. Förekomst av fyra påträffade taxa i klass Raphidophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.

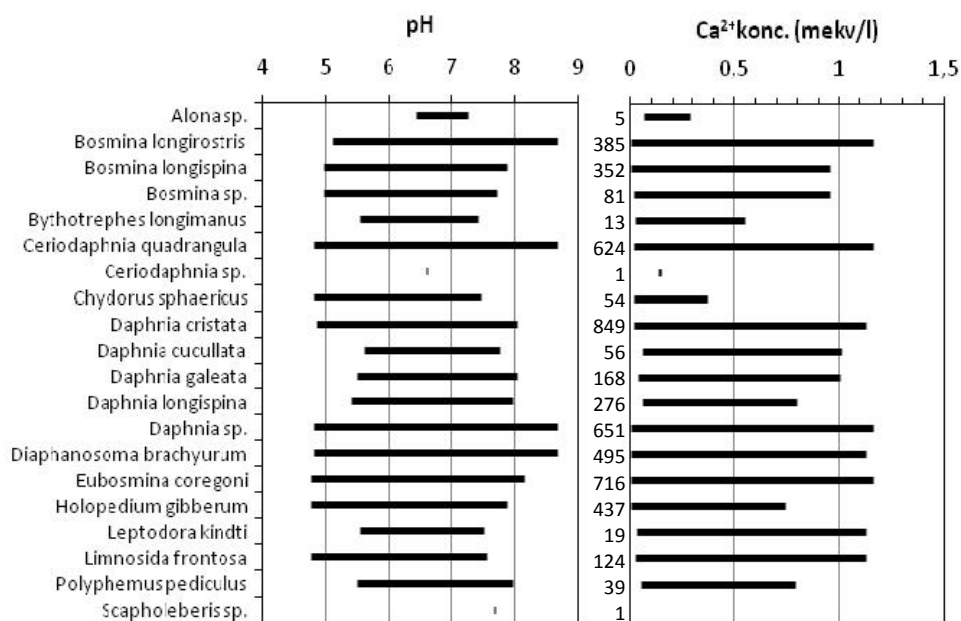


Figur Cryptophyceae. Förekomst av 20 påträffade taxa i klass Cryptophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.

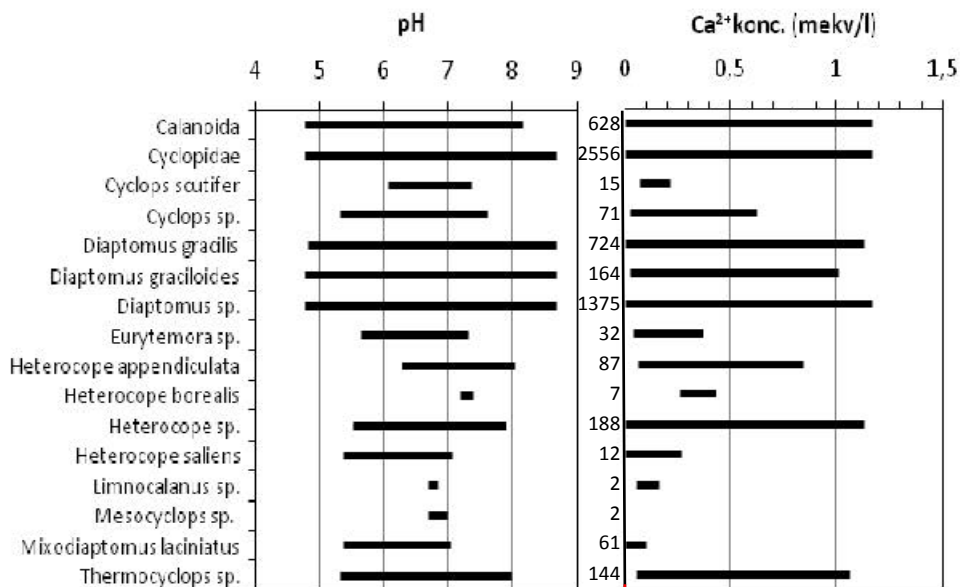


Figur Dinophyceae. Förekomst av 24 påträffade taxa i klass Dinophyceae utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.

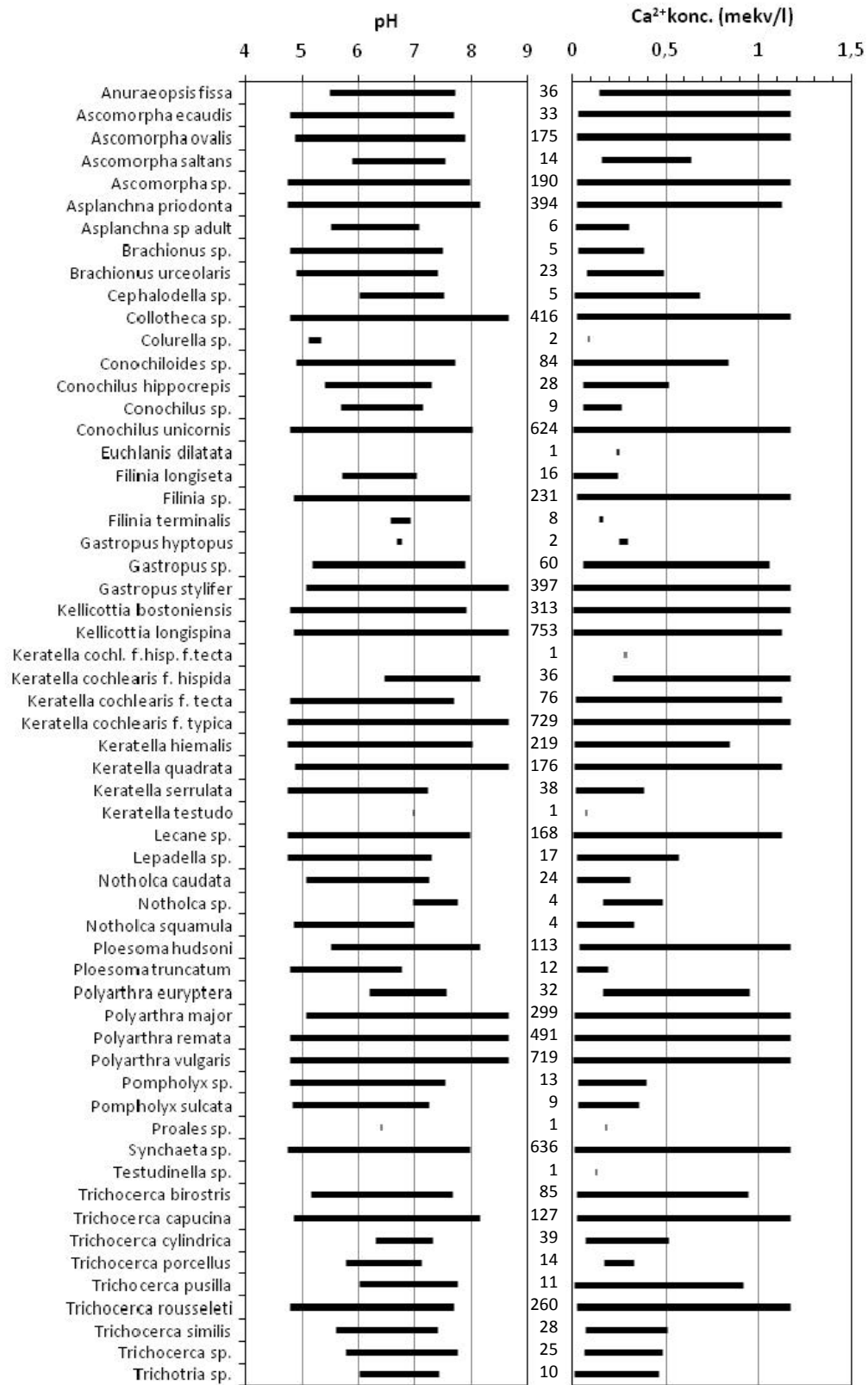
Fördelning av olika djurplanktongrupper taxa



Figur Cladocera. Förekomst av 20 påträffade taxa av cladocerer utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.

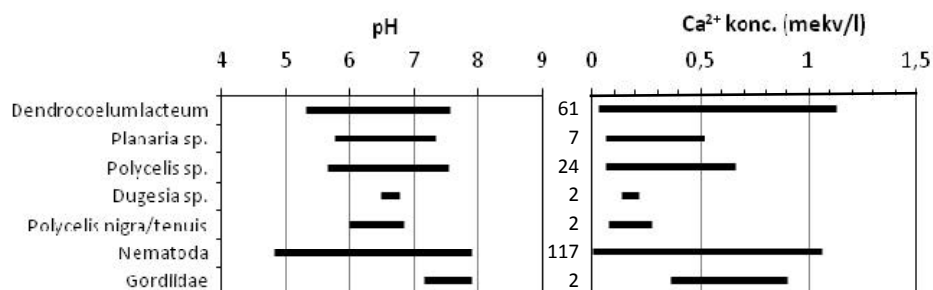


Figur Copepoda. Förekomst av 16 påträffade taxa av copepoder utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.

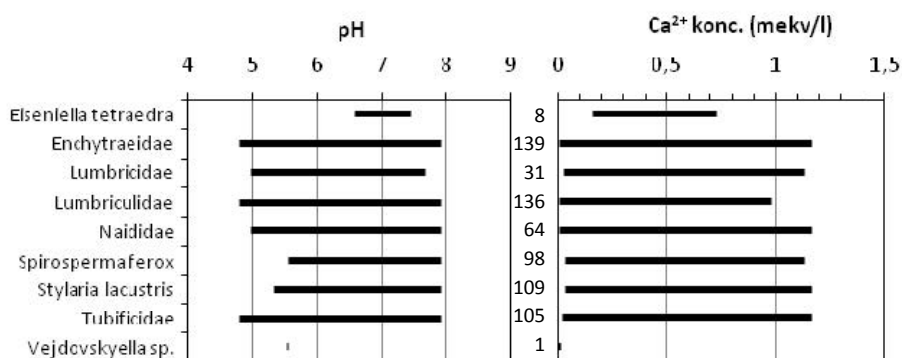


Figur Rotatoria. Förekomst av 58 påträffade taxa av rotatorier utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.

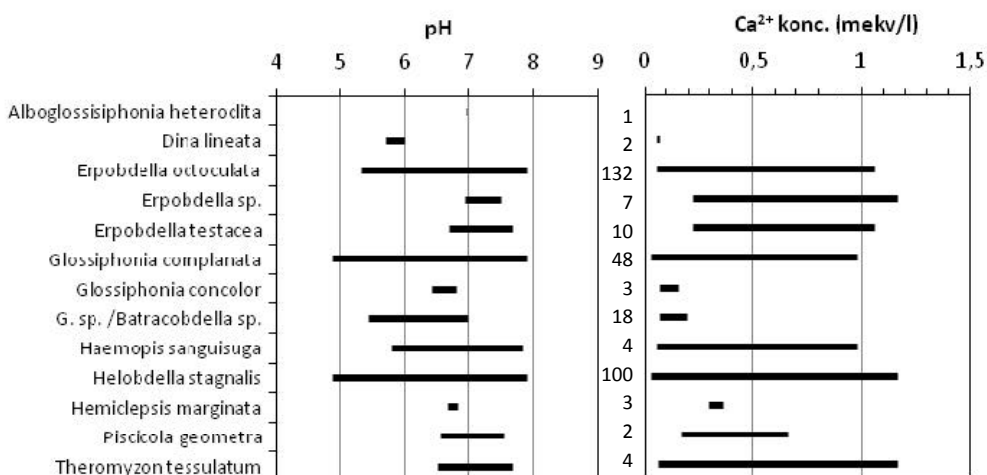
Förekomst av bottenfauna utmed pH- och [Ca²⁺]- gradienten



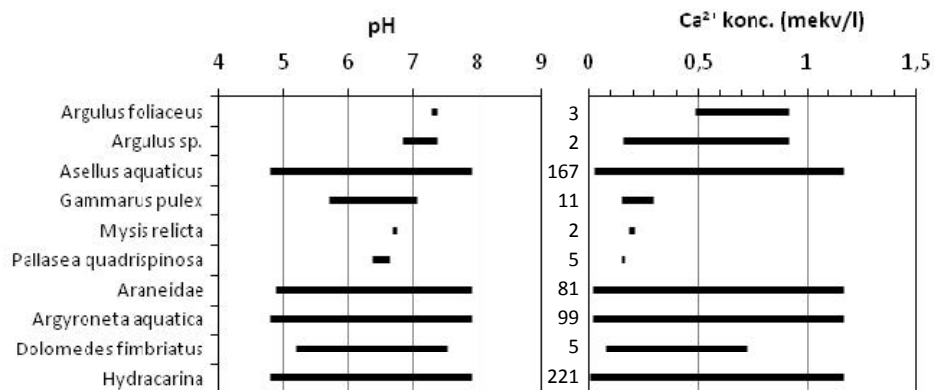
Figur Maskar1. Förekomst av fem påträffade taxa av virvelmaskar (Turbellaria), nematoder (Nematoda, ej närmare klassificerade) och tagelmaskar (Gordiidae) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



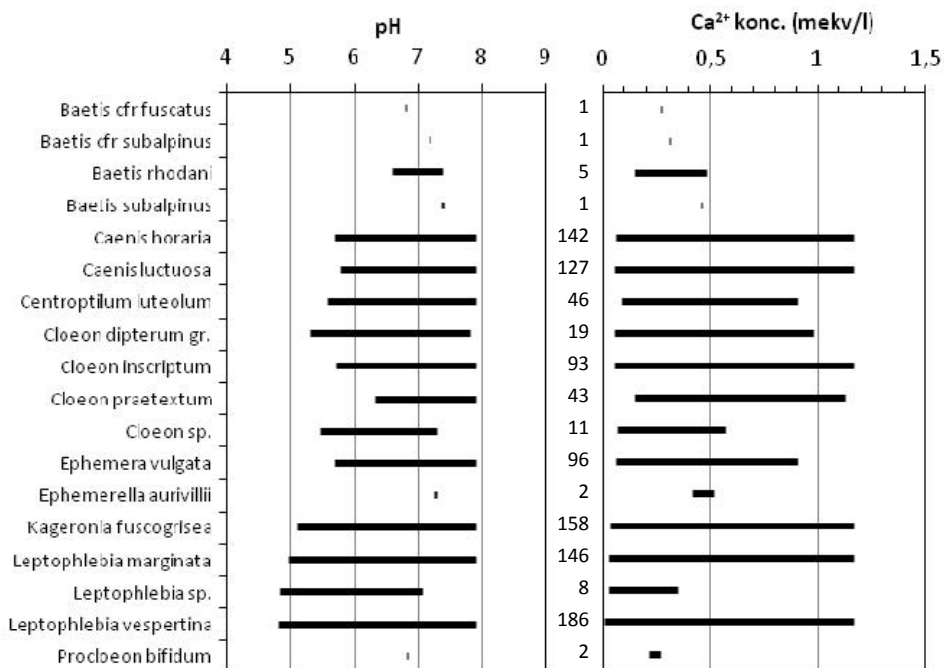
Figur Maskar2. Förekomst av nio påträffade taxa av daggmaskar (Oligochaeta) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



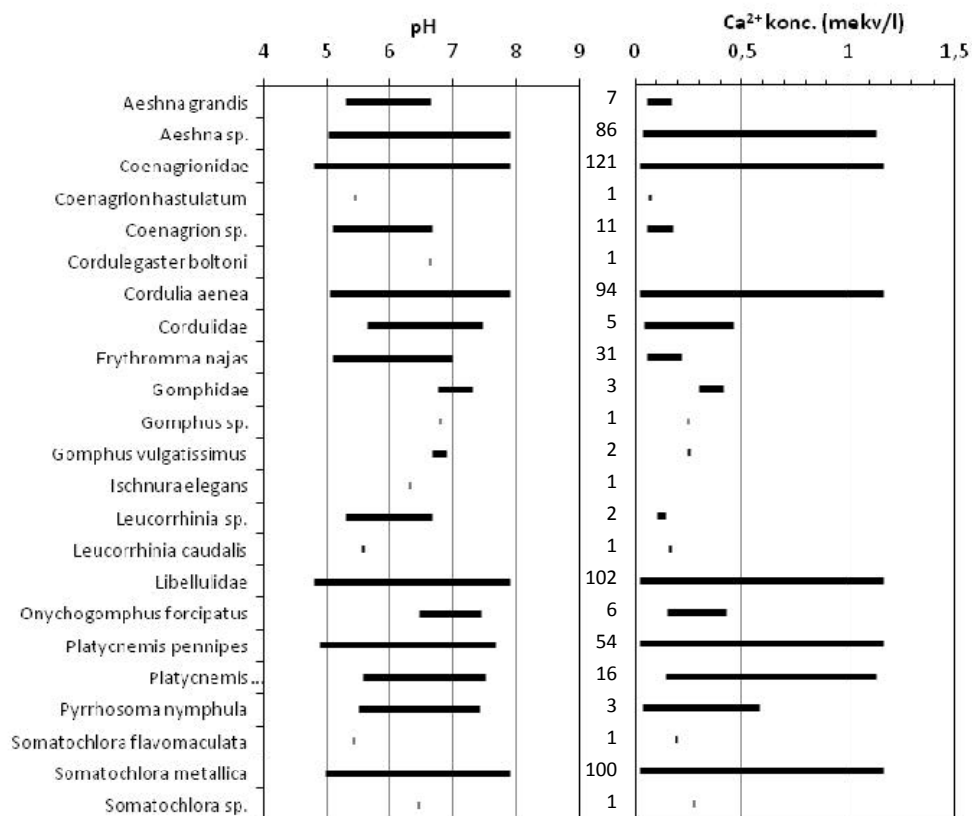
Figur Maskar3. Förekomst av 13 påträffade taxa av iglar (Hirudinea) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



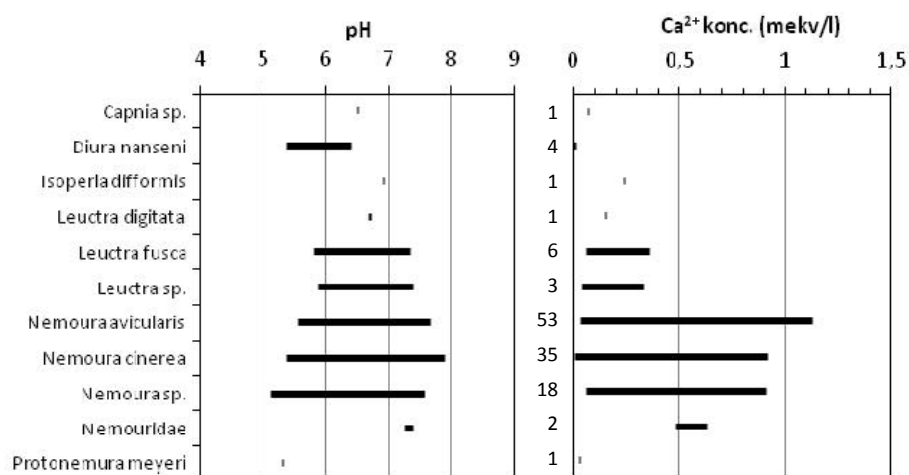
Figur Kräftdjur och spindeldjur. Förekomst av två påträffade taxa av karpplöss (Branchiura), fyra taxa av högre kräftdjur (Malacostraca), tre taxa av spindlar (Araneae) och ett taxon av kvalster (Acarina) utmed studiens gradient i pH och $[Ca^{2+}]$. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



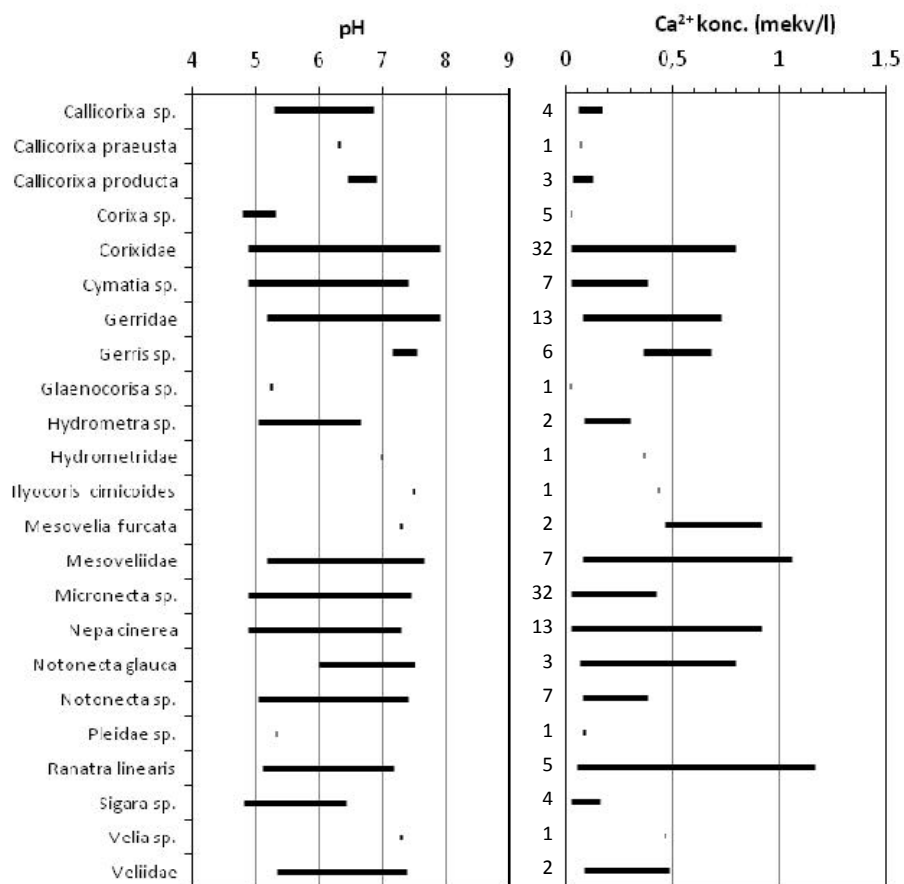
Figur Dagsländor. Förekomst av 18 påträffade taxa av dagsländor (Ephemeroptera) utmed studiens gradient i pH och $[Ca^{2+}]$. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



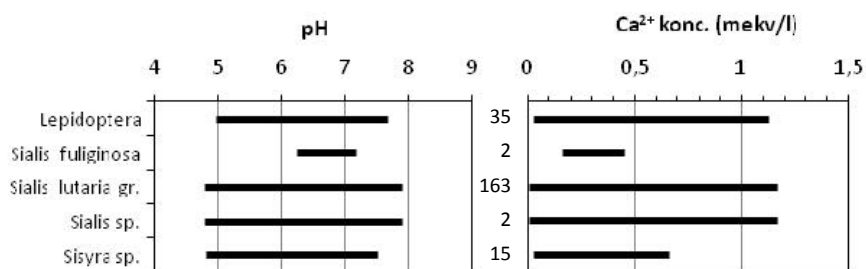
Figur Trollsländor. Förekomst av 23 påträffade taxa av trollsländor (Odonata) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. *Cordulegaster boltoni* påträffades vid en [Ca²⁺] på 0,25 mekv/l och *Ischnura elegans* påträffades vid 0,15 mekv/l något som inte syns i figuren. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



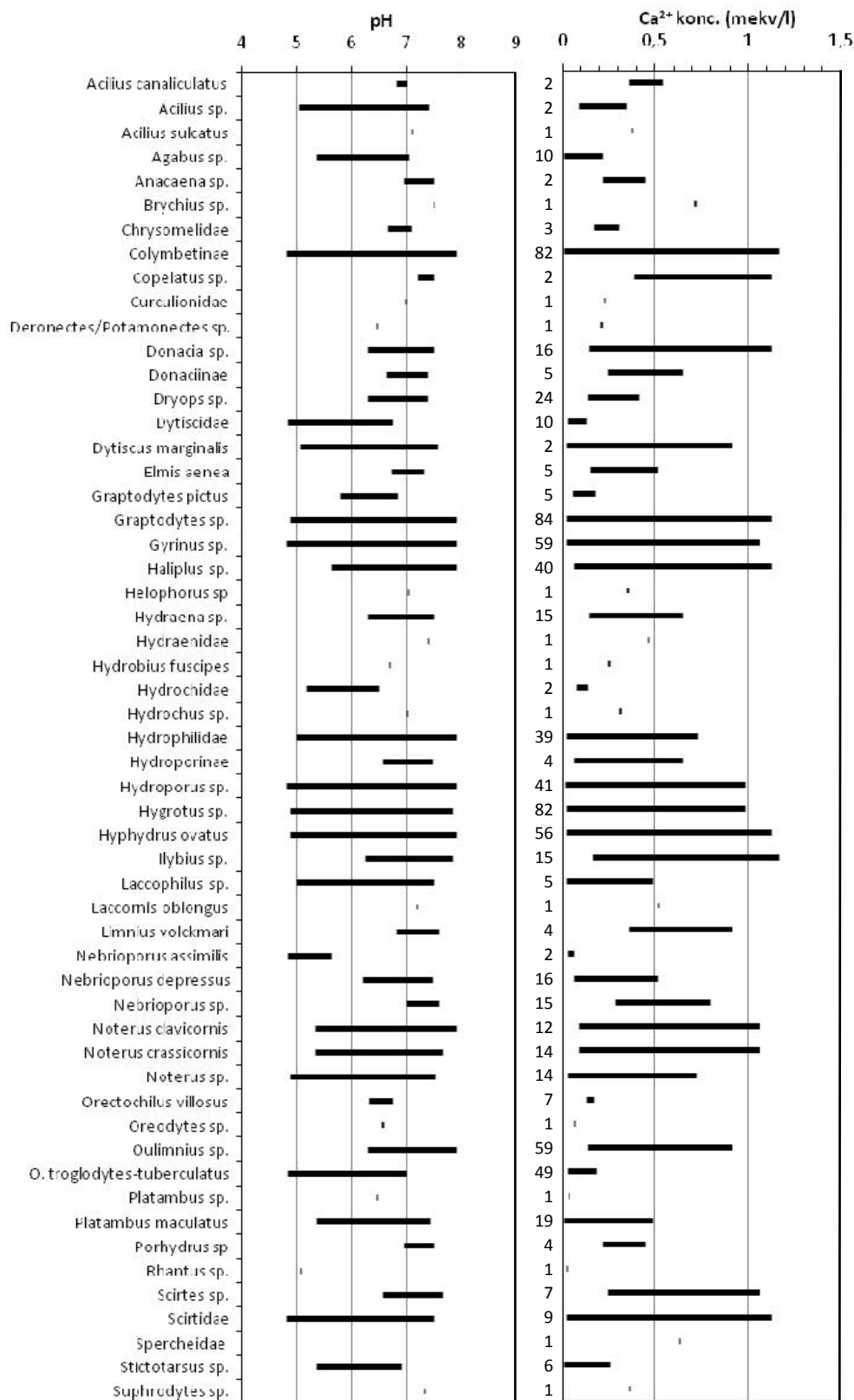
Figur Bäcksländor. Förekomst av 11 påträffade taxa av bäcksländor (Plecoptera) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



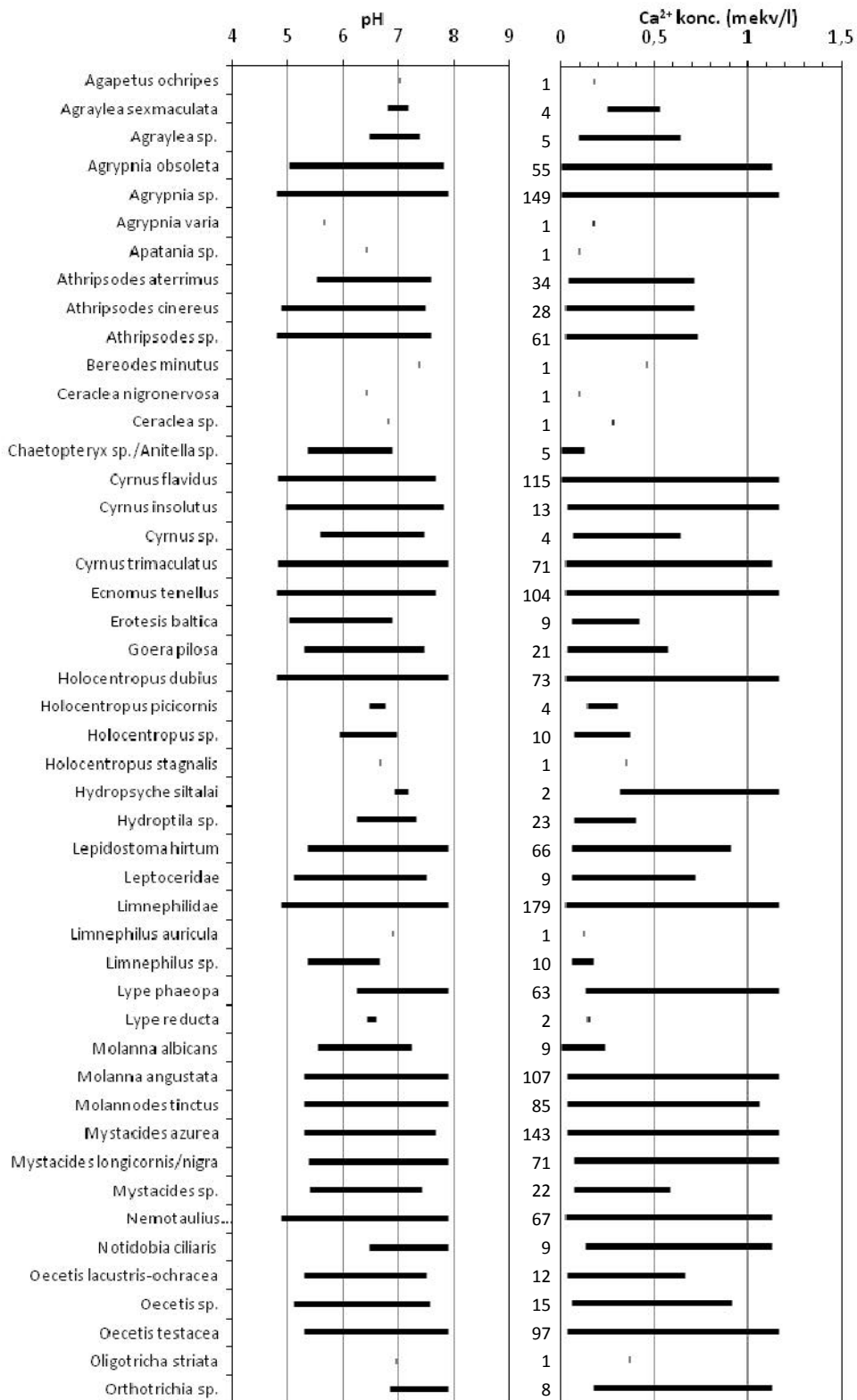
Figur Halvvingar. Förekomst av 23 påträffade taxa av halvvingar (Hemiptera) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



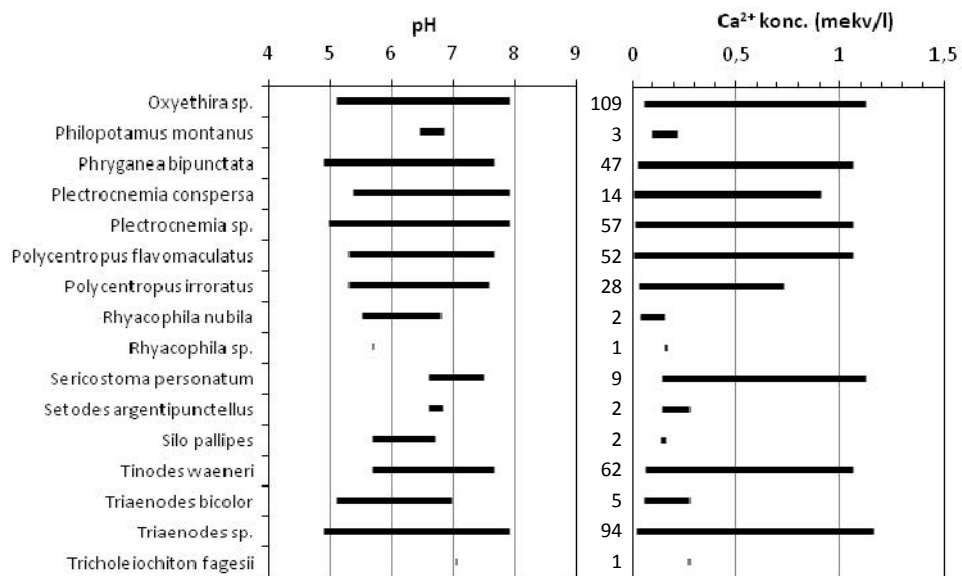
Figur Fjärilar och nätvingar. Förekomst av fjärilar (Lepidoptera, inte närmare bestämda), tre påträffade taxa av vattennätvingar (Megaloptera) samt ett taxon av nätvingar (Neuroptera) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



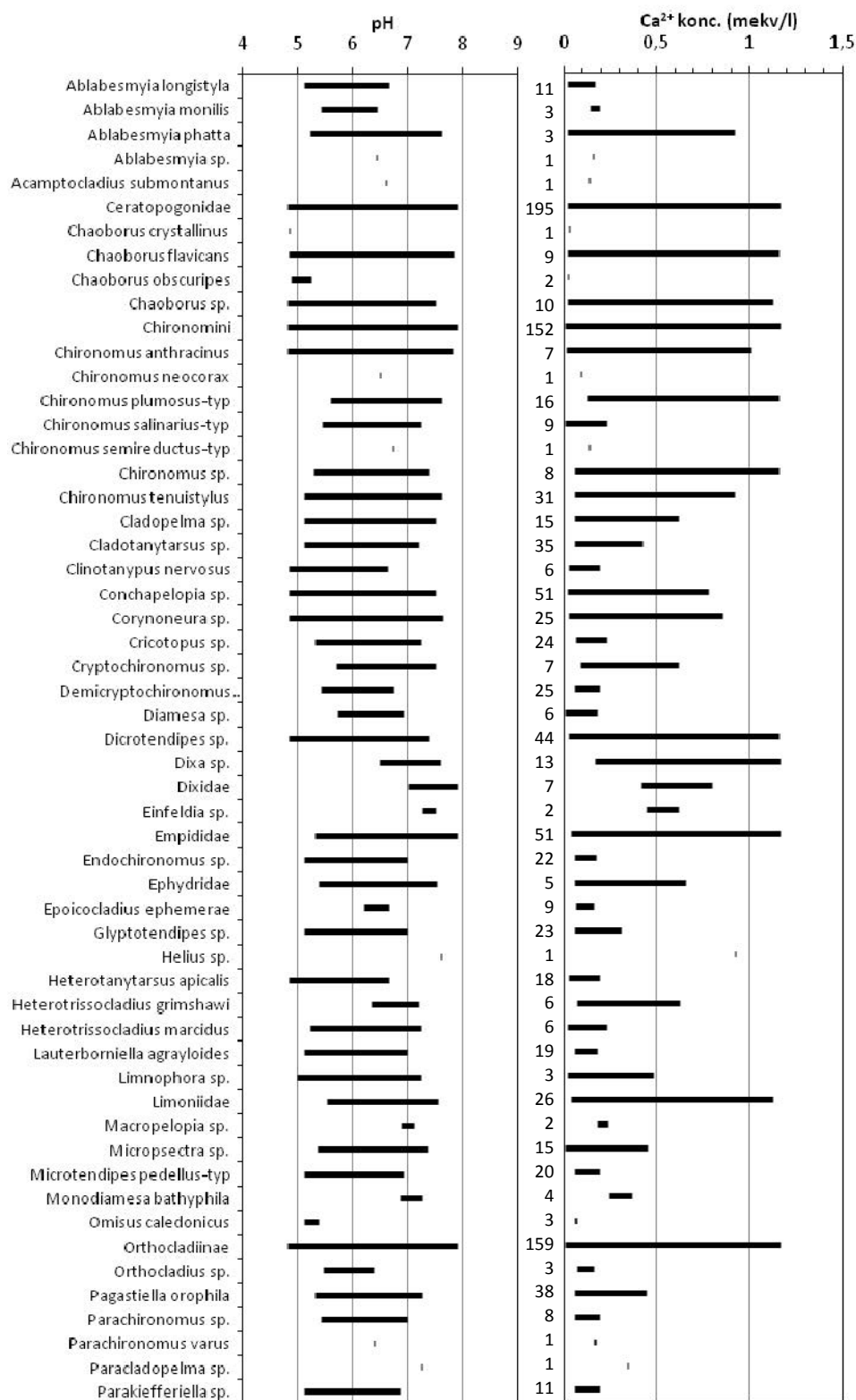
Figur Skalbaggar. Förekomst 55 förekommande taxa av skalbaggar (Coleoptera) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



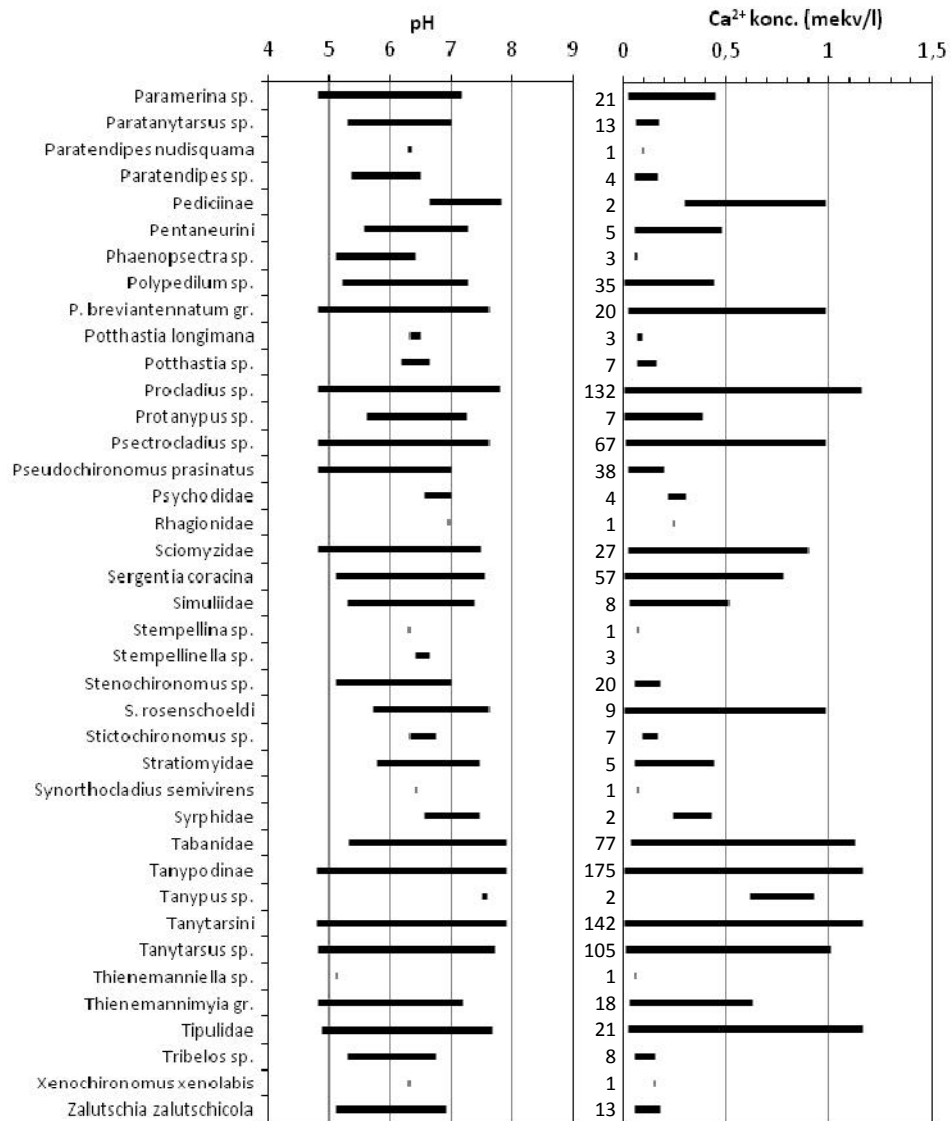
Figur Nattsländor 1. Förekomst av 47 taxa (av 63) nattsländor (Trichoptera) utmed studiens gradient i pH och $[Ca^{2+}]$. Ett taxon har förkortat namn: *Nemotaulius punctatolineatus*. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



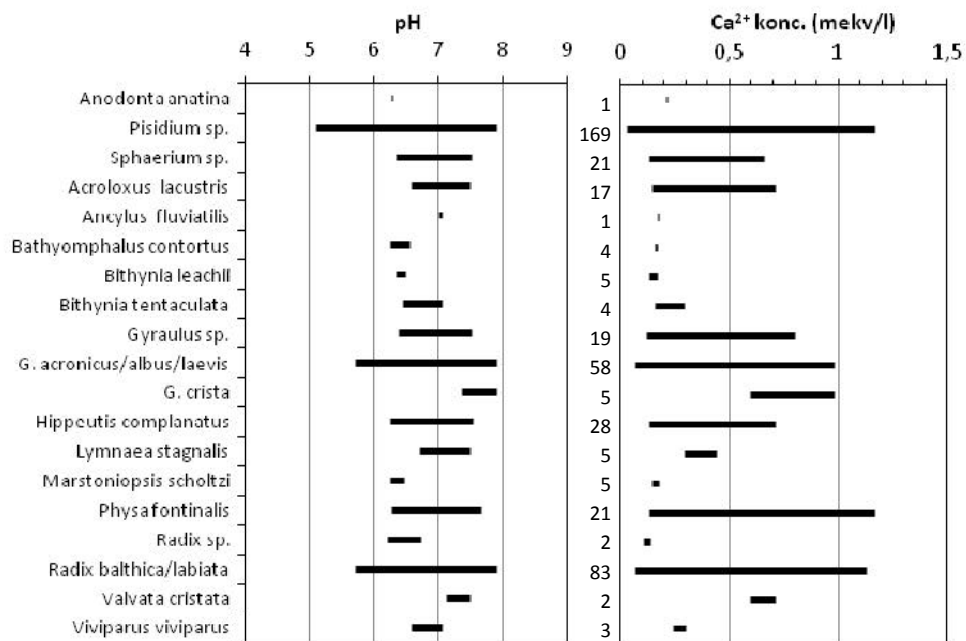
Figur Nattsländor 2. Förekomst resterande 16 taxa nattsländor (Trichoptera) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



Figur Tvåvingar 1. Förekomst av 55 taxa (av 94) tvåvingar (Diptera) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Ett taxon har förkortat namn: *Demicryptochironomus vulneratus*. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



Figur Tvåvingar 2. Förekomst av 39 resterande taxa tvåvingar (Diptera) som förekom utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.



Figur Blötdjur. Förekomst av tre påträffade taxa av musslor (Bivalvia) och 16 taxa av snäckor (Gastropoda) utmed studiens gradient i pH och [Ca²⁺]. Siffrorna visar antalet prov staplarna baseras på.