



Länsstyrelsen  
Västmanlands län

Miljöenheten



# Referensvatten i Västmanlands län

Utvärdering av vattenkemisk data 1965-2009

Författare: Viktoria Karlsson, Katarina Agné Andersson och  
Magnus Svensson

LÄNSSTYRELSENS RAPPORTSERIE

Rapport 2008:26

Titel: Referensvatten i Västmanlands län - Utvärdering av vattenkemisk data  
1965-2009

Författare: Viktoria Karlsson, Katarina Agné Andersson och Magnus Svensson  
Miljöenheten  
Länsstyrelsen i Västmanlands Län

Diariernr: 502-13877-2008

Kartmaterial: © Bakgrundskartor Lantmäteriet, dnr 106-2004/188  
© Delavrinningsområden SMHI

Omslagsbild: Övertjärnen, en okalkad referenssjö i Skinnskattebergs kommun

Foto: Länsstyrelsen i Västmanlands län

Tryckning: Rapporten går att ladda ner som pdf-fil från Länsstyrelsens hemsida  
[www.lansstyrelsen.se/vastmanland](http://www.lansstyrelsen.se/vastmanland)

Upplaga: 50 ex

## Förord

I Västmanlands län finns ett antal sjöar och vattendrag som valts ut som referensobjekt till andra mera påverkade vatten i länet. Mätningar av vattenkemi i dessa har pågått under lång tid inom ramen för regional och nationell miljöövervakning, samt inom kalkeffektuppföljningen. Huvudsyftet med den här utvärderingen har varit att följa tillstånd och långsiktiga trender över tillståndet i länets referenssjöar och referensvattendrag. Utvärderingen har också gjorts i syfte att undersöka hur provtagningen i länets referensvatten bör kompletteras för att uppfylla de nya bedömningsgrunderna för miljö kvalitet. Under 2008 reviderades det regionala miljöövervakningsprogrammet och den här utvärderingen har legat till grund för vissa justeringar av detta. Utvärderingen har i huvudsak bekostats av medel för regional miljöövervakning. I rapporten sammanställs och utvärderas fysikalisk-kemisk data från de tolv västmanländska referensvatten som ingår i nationell och regional övervakning samt kalkeffektuppföljningen. De längsta serierna över vattenkemiska mätningar sträcker sig från 1965 till 2007. Varje referensobjekt har även statusklassificerats enligt Naturvårdsverkets nya bedömningsgrunder.

Viktoria Karlsson, projektanställd på Länsstyrelsens Miljöenhet, har sammanställt alla mätningar, tagit fram beskrivningar av objekt och avrinningsområden och uppgifter om markanvändning. Magnus Svensson har utfört de statistiska analyserna, utvärderat trender och resultat och bidragit med texter. Katarina Agné Andersson har bearbetat utvärderingar och bidragit med texter. Rapporten har slutligen granskats av Susanna Vesterberg.

Västerås, december 2009

*Lise-Lotte Norin*

Enhetschef, Miljöenheten

*Katarina Agné Andersson*

Miljöenheten

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund och syfte.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Metod.....</b>	<b>7</b>
	3.1 Statistiska metoder .....	7
	3.2 Provtagningsfrekvens .....	8
	3.3 Bedömningar av status.....	9
<b>4</b>	<b>Beskrivning av provtagningsprogrammen .....</b>	<b>10</b>
	4.1 Nationella referensvatten.....	11
	4.2 Regionala referensvatten .....	12
	4.3 Okalkade referenssjöar .....	13
<b>5</b>	<b>Resultat .....</b>	<b>13</b>
	5.1 pH, alkalinitet och konduktivitet .....	13
	5.2 Absorbans, halt av organiska ämnen (TOC) och siktdjup .....	13
	5.3 Näringsämnen .....	13
	5.4 Jonbalans .....	13
	5.5 Syrgas .....	13
	5.6 Metaller.....	13
	5.7 Samband mellan omgivningsvariabler och vattenkemi .....	13
	5.8 Slutsatser .....	13
<b>6</b>	<b>Provtagning .....</b>	<b>13</b>
	6.1 Kompletterande undersökningar .....	13
	6.2 Framtida utvärdering av referensvatten i Västmanlands län .....	13
<b>7</b>	<b>Beskrivningar av objekten, statusbedömningar och tidsserier.....</b>	<b>13</b>
	7.1 Dagarn.....	13
	7.2 Övre Skärsjön.....	13
	7.3 Sagån .....	13
	7.4 Märnsjön .....	13
	7.5 Råksjön .....	13
	7.6 Gärsjöbacken .....	13
	7.7 Acksjön.....	13
	7.8 Bjursjön .....	13
	7.9 Gatjärnen.....	13
	7.10 Gryten.....	13
	7.11 Gärsjön.....	13
	7.12 Övertjärnen.....	13
<b>8</b>	<b>Referenser.....</b>	<b>13</b>

## 1 Sammanfattning

Ett antal sjöar och vattendrag i Västmanlands län har valts ut som referensobjekt då dessa kan anses relativt opåverkade av mänsklig aktivitet i jämförelse med andra vatten i länet. Av dessa är en del påverkade av försurning och har valts ut som jämförelseobjekt till de försurade vatten i länet som ingått i kalkningsverksamheten. Vattenkemiska mätningar i referensvattnen har pågått under lång tid inom ramen för regional och nationell miljöövervakning samt inom kalkeffektuppföljningen. Mätningar av vattenkemi har utvärderats statistiskt i syfte att följa tillståndet och undersöka om det skett några påtagliga förändringar under övervakningsperioden. I synnerhet har försurningssituationen utvärderats, men även utvecklingen av halter av näringsämnen, humus, vattenfärg, ljusförhållanden, jonbalans och det allmänna tillståndet.

Utvärderingen har även inneburit en systematisk genomgång av hur provtagningen i länets referensvatten behöver kompletteras för att uppfylla Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljö kvalitet och det fortsatta behovet av övervakning. I rapporten har vattenkemiska mätningar från tolv referensvatten i Västmanlands län sammanställts. Sjöarna Dagarn och Övre Skärsjön har övervakats som nationella referensvatten och Sagån nationellt som ett av Mälarens tillflöden. Inom den regionala miljöövervakningen har Märresjön, Råksjön och Gärsjöbäcken övervakats som referensobjekt. Sjöarna Acksjön, Bjursjön, Gattjärnen, Gryten, Gärsjön och Övertjärnen har valts ut som referensobjekt inom kalkningsverksamheten.

I de flesta av vattnen har mätningar utförts regelbundet sedan början av 1980-talet, utom för Sagån som övervakats ända sedan 1965 och Gärsjöbäcken som började övervakas 1995. För varje vatten har yttre förhållanden i form av markanvändning i avrinningsområdet sammanställts. Dessutom har varje objekt statusklassificerats enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Utvärderingen har i huvudsak bekostats av medel för regional miljöövervakning.

### Utvärdering av trender

Tillstånd och trender avseende försurning, vattenfärg, ljusförhållanden, näringsämnen, syrgas och jonbalans har utvärderats i vattnen och ett antal trender har kunnat identifieras. Särskilt har försurningssituationen varit föremål för övervakning och sammantaget syns tecken på att försurningsproblemen åtminstone delvis avtar i referensvattnen i länet. Även om trenden mot minskande försurningsproblem inte är helt enhetlig, tyder undersökningar i referensvattnen på att surhet och buffertförmåga (mätt som pH-värde och alkalinitet) åtminstone ökar i fler vatten än den avtar. Särskilt i Övre Skärsjön, Märresjön, Råksjön och Gryten syns en trend mot både ökande pH-värden och alkalinitet. Orsaken är troligen minskande nedfall av försurande svavelföreningar, vilket syns i form av en tydlig minskning av sulfathalten i samtliga vatten där denna mätts. Halterna av

basketjonerna kalcium och magnesium verkar minska i flera vatten, vilket kan vara ett tecken på minskade problem med markförsurning. Vid låga pH-värden i mark ökar utlakningen av dessa ämnen, varför halter av dessa ofta avtar då markförsurningsproblemen minskar. Gärsjön och Gärsjöbäcken är naturligt sura vatten, vilka karaktäriseras av hög andel våtmark i närområdet och med liten vattenyta i förhållande till tillrinningsområdets storlek. Dessa uppvisar dock ingen trend mot minskad försurning, utan snarare tendenser mot sjunkande pH. Sjöarna Dagarn och Bjursjön uppvisar ingen tendens mot förändrade pH-värden under perioden. Dessa är båda relativt djupa klarvattensjöar och har inte heller haft några påtagliga försurningsproblem under undersökningsperioden. I Sagån som påverkas av jordbruksmark och är belägen i ett område med kalkrika leror har både alkaliniteten och pH varit stabila och höga under hela perioden.

En annan tydlig trend i de flesta referensvattnen är en tendens mot ökad brunfärgning. Både absorbansen, färgtalet och halten av organiskt material har ökat i de flesta vatten där den mätts liksom på många andra håll i landet. Flera förklaringar har föreslagits för att förklara denna trend. Både förändrat klimat och minskad markförsurning skulle kunna medföra ökande halter av brunfärgade humusämnen i vattnen. Dels kan utlakningen av humusämnen ur mark öka då lösligheten för dessa oftast ökar med stigande pH, men även med ökade nederbörds mängder och kortare perioder med tjäle eller snötäckt mark till följd av klimatförändringar. Stigande halter av organiska ämnen ökar syreförbrukningen i sjöar, vilket syns som perioder med syrefria förhållanden i bottenvattnet under perioder då det råder temperaturskiktning. Syrehalter i bottenvattnet har endast mätts i Övre Skärsjön, där syrefria förhållanden sammanfaller med kraftiga toppar av järnhalten och ökade halter av ammonium. Troliga tendenser till att perioder med syrefria förhållanden har förekommit syns även i Råksjön och Märrensjön i form av toppar av järnhalten, även om detta inte helt kan beläggas då syrehalterna inte mätts i dessa.

För halterna av näringsämnena fosfor och kväve syns inga entydiga trender, då både ökning och minskning har förekommit under övervakningsperioden. Samtliga vatten förutom Sagån har låga halter av näringsämnena, då de är belägna i skogsmark med relativt litet markläckage av näringsämnena.

### **Provtagning, kompletterande undersökningar**

En genomgång har gjorts av hur den framtida provtagningen i länets referensvatten behöver se ut för att uppfylla dagens krav på data enligt de nya bedömningsgrunderna. Under 2008 reviderades det regionala miljöövervakningsprogrammet och den här utvärderingen har legat till grund för vissa justeringar av detta. Brister i provtagningen finns när det gäller parametrar som måste finnas med för att man ska kunna göra en statusklassificering av syrgas och försurning i sjöar. Parametrar som behöver komma med i provtagningsprogrammet för länets referensvatten framöver är syrgasmätningar i Dagarn, Märrensjön och Råksjön. Under kommande år behöver  $\text{SO}_4\text{-S}$ , Cl, Ca, Mg

samt DOC eller TOC mätas vid minst ett tillfälle i Bjursjön, Övertjärnen och Acksjön.

### **Framtida utvärdering av referensvatten i Västmanlands län**

Förutom Råksjön som ligger i Heby kommun och numera tillhör Uppsala län, kommer övriga referensvatten som ingår i rapporten fortsätta att utvärderas kontinuerligt.

Två vattendrag som idag ingår i den nationella övervakningen och som kan läggas till i en utvärdering framöver är Laxbäcken som ingått som okalkat referensvattendrag inom IKEU-programmet sedan 1989 och Bjurforsbäcken som är ett relativt nytt referensvatten som funnits med i delprogrammet Trendstationer sedan 2007.

## 2 Bakgrund och syfte

I Västmanlands län finns ett antal sjöar och vattendrag som valts ut som referensobjekt inom miljöövervakningen. De utvalda referensvattnen kan i de flesta fall anses vara relativt opåverkade av mänsklig aktivitet och har övervakats i syfte att följa utvecklingen av tillståndet i förhållande till de mer påverkade vattnen i länet. Mätningar av vattenkemi i referensvattnen har pågått under lång tid inom ramen för regional och nationell miljöövervakning, samt inom kalkeffektuppföljningen. Huvudsyftet med den här utvärderingen har varit att följa upp och utvärdera långsiktiga trender i tillståndet i länets referenssjöar och referensvattendrag. I synnerhet har försurningssituationen övervakats, men även andra faktorer som ljusförhållanden och vattenfärg, halter av näringsämnen, joner och vittringsprodukter. Ett antal av referensvattnen har valts ut i synnerhet för att utgöra referensobjekt till de försurade vatten som ingår i kalkningsverksamheten och har därför endast övervakats i detta syfte och med mindre omfattande övervakningsprogram. Utvärderingen har även inneburit en systematisk genomgång av hur provtagningen i länets referensvatten behöver kompletteras för att uppfylla Naturvårdsverkets uppdaterade bedömningsgrunder för miljö kvalitet (Naturvårdsverket 2007). Under 2008 reviderades det regionala miljöövervakningsprogrammet och den här utvärderingen har legat till grund för vissa justeringar av detta. Utvärderingen har i huvudsak bekostats av medel för regional miljöövervakning.

### 3 Metod

I rapporten har vattenkemiska mätningar från de tolv västmanländska referensvatten som ingår i nationell och regional miljöövervakning samt kalkeffektuppföljningen sammanställts och utvärderats. De längsta tidsserierna sträcker sig från 1965 till 2009. Mätningarna av kemiska och fysikaliska parametrar har bearbetats statistiskt i syfte att undersöka om det ha skett några påtagliga förändringar av tillståndet i referensvattnen i länet under tiden. Trender under övervakningsperioden har därefter utvärderats. Varje referensobjekt har sedan statusklassificerats enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljökvalitet (Naturvårdsverket 2007). Uppgifter om markanvändning i tillrinningsområdet, sjöareal, djup, omsättningstid och geografiskt läge har också sammanställts. En genomgång av hur provtagningen i länets referensvatten behöver kompletteras för att uppfylla dagens krav på data enligt bedömningsgrunderna och behovet av övervakning har också gjorts.

#### 3.1 Statistiska metoder

För att undersöka förändringar i vattenkemi över tiden har två statistiska metoder använts, Mann-Kendalls trendtest och i vissa fall linjär regression. Linjär regression förutsätter att trender är linjära och att mätvärden är normalfördelade för att trender bäst ska detekteras. Metoden är känslig för extremvärden och kan underskatta förekomsten av trender om en ökning eller minskning sker icke-linjärt. Linjär regression har därför i första hand använts för att uppskatta storleken på förändringarna över tiden och har endast använts i fall då det ansetts lämpligt. Den icke-parametriska metoden Mann-Kendall's trendtest har istället använts för att bedöma om ökning eller minskningar är statistiskt signifikanta eller inte. För de objekt som regelbundet provtagits vid flera tidpunkter per år har därför en variant av Mann-Kendalls trendtest anpassad för säsongvariation använts (Seasonal Mann-Kendall trend test; McLeod 2009). Med denna metod påverkas resultatet mindre av enstaka extremvärden och förutsätter inte heller att trender är linjära. Mätvärden kan också ha en skev fördelning varför metoden är särskilt lämplig för att utvärdera trender i tidsserier över vattenkemi (McLeod 2009).

För att undersöka hur vattenkemiska variabler och omgivningsfaktorer samvarierar har en principalkomponentanalys (PCA) utförts.

Principalkomponentanalys är en metod för att åskådliggöra hur olika variabler samvarierar genom att analysera mönster i en korrelationsmatris över parvisa korrelationer mellan ingående variabler, men även för att beskriva likheter och olikheter mellan olika objekt. Syftet har också varit för att försöka undersöka om eventuella trender kan härledas till omgivningsvariabler eller likheter och olikheter mellan objekt. För alla statistiska analyser har programvaran R 2.10.0 använts (R Development Core Team 2009).

## 3.2 Provtagningsfrekvens

I de okalkade referenssjöarna har prover som regel tagits en gång per år i februari, medan de som ingår i den nationella och regionala övervakningen har provtagits betydligt oftare. Dagarn, Råksjön och Märresjön har i regel provtagits fyra gånger per år under månaderna februari, april, augusti och oktober. Under de första åren provtogs dock Dagarn och Märresjön tre gånger per år och då i regel i mars, augusti och oktober. Sagån och Gärsjöbäcken har provtagits varje månad sedan starten, med undantag för några månader i Gärsjöbäcken då provtagning uteblivit. En viss oregelbundenhet har därför förekommit. Vattenkemi i sjöar och vattendrag uppvisar vanligen stora årstidsvariationer vilka därför inte täcks in i undersökningen i de okalkade referenssjöarna. Lika intressant som trender kan också förekomsten av extremvärden under året vara, vilka bättre täcks in med tätare provtagning och kan därför inte utvärderas i de okalkade referenssjöarna. Temperaturskiktningen under sommar och vinter i sjöar kan ge upphov till stora olikheter i vattenkemi mellan ytvattnet och bottenvattnet. Av de ingående sjöarna har endast Övre Skärsjön provtagits i både ytvatten och bottenvatten och då endast från 1988 och framåt. Provtagning i ytvatten har gjorts på 0,5 m djup.

Fler mätningar ökar säkerheten i de statistiska analyserna och förändringarna behöver inte vara lika stora för att man ska kunna säga säkert att en ökning eller minskning har skett. I de okalkade referenssjöarna kan trender därför vara svårare att detektera än i de övriga. Att en statistisk analys inte ger ett signifikant resultat behöver därför inte nödvändigtvis innebära att ingen förändring skett. Den statistiska signifikansen anger inte heller graden av förändring, utan endast hur väl det kan beläggas att en förändring skett. Undersökningsperiod, frekvens och totalt antal provtagningar i de olika vattnen framgår av tabell 1.

**Tabell 1.** Tidsperiod inom vilken övervakning har pågått, totalt antal provtagningar och genomsnittligt antal provtagningar per år. För Bjursjön och Övertjärn har även några enstaka mätningar av pH 1975-1976 funnits tillgängliga.

Vatten	År	N	Prov per år
Acksjön	1983-2008	25	1
Bjursjön	1983-2004	22	1
Dagarn	1983-2009	100	2,7
Gatjärnen	1983-2006	20	0,83
Gryten	1982-2008	28	1,04
Gärsjöbäcken	1995-2007	140	10,7
Gärsjön	1978-2006	33	1,06
Märresjön	1983-2007	92	3,83
Råksjön	1983-2007	96	4
Sagån	1965-2009	536	12,2
Övertjärn	1983-2006	21	1
Övre Skärsjön	1983-2009	181	6,7

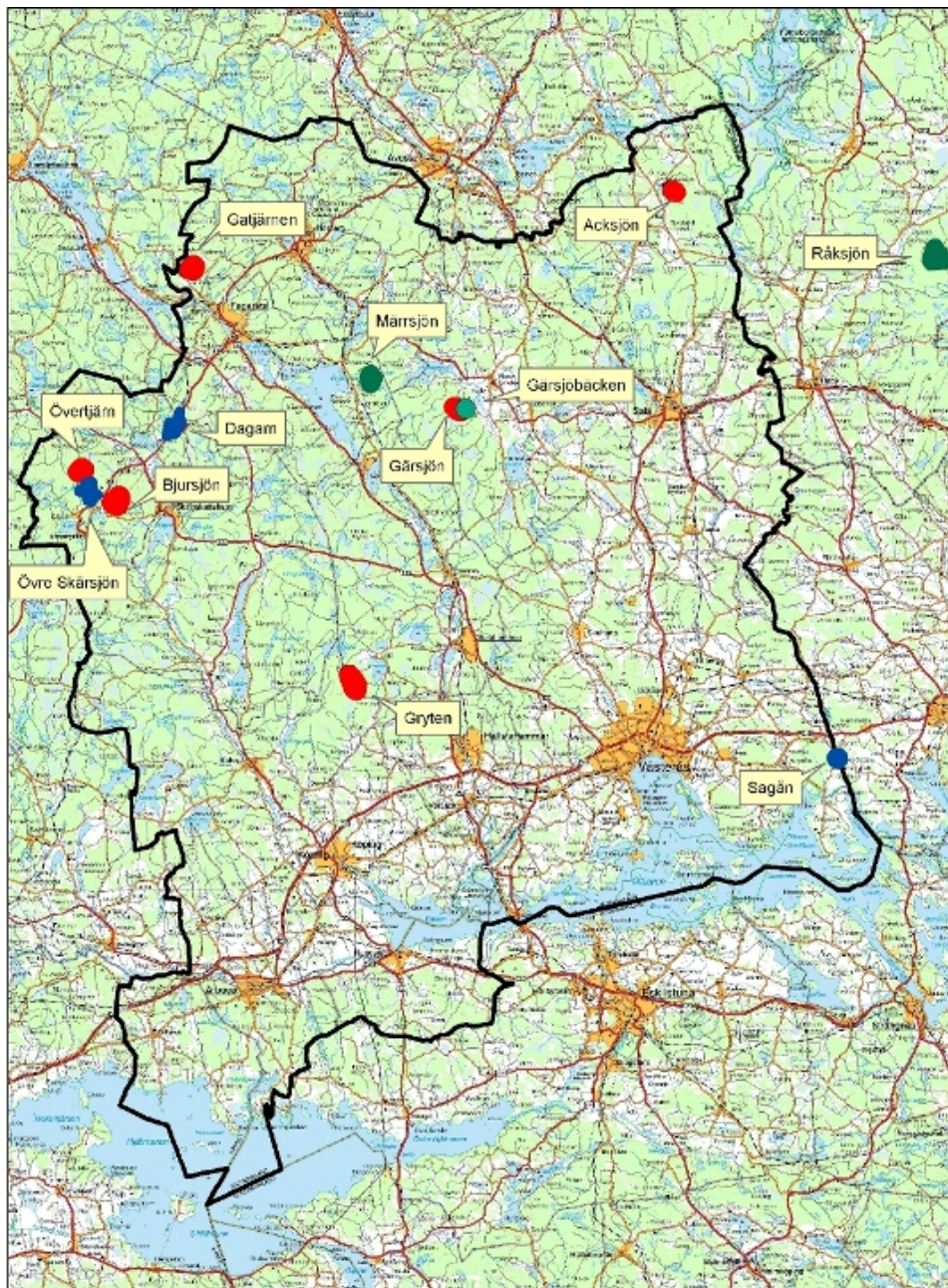
### 3.3 Bedömningar av status

Bedömning av ekologisk status för ett antal kvalitetsfaktorer har gjorts enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag (Naturvårdsverket 2007). Vid bedömning av ekologisk status klassificeras tillståndet i fem tillståndsklasser som *hög*, *god*, *måttlig*, *otillfredsställande* eller *dålig*. Hög status motsvarar ett opåverkat ursprungstillstånd och dålig status ett kraftigt påverkat tillstånd. För en slutgiltig och övergripande bedömning ska även biologiska kvalitetsfaktorer som bottenfauna, växtplankton, vattenväxter och fisk vägas in. Bedömningar för de fysikalisk-kemiska kvalitetsfaktorerna *försurning*, *siktdjup*, och *näringsämnen* har gjorts i de fall det funnits tillräckliga dataunderlag.

Bedömningen av försurningspåverkan görs genom att vattenkemi i sjön jämförs mot en databas (MAGIC; Naturvårdsverket 2007) där ett beräknat ursprungligt pH-värde extrapoleras. Siktdjupet bedöms genom att uppmätt siktdjup jämförs med ett referensvärde beräknat utifrån absorbans och klorofyllhalt.

Näringstillståndet bedöms genom att uppmätt totalfosforhalt jämförs mot ett beräknat referensvärde baserat på uppmätta halter av joner, absorbans och höjd över havet. Bedömningsgrunden för syrgas har ej kunnat tillämpas, då datum för isläggning och skiktning inte funnits tillgängliga.

## 4 Beskrivning av provtagningsprogrammen



© Bakgrundskartor Lantmäteriet, dnr 106-2004/188

1:460 000

**Figur 1.** Karta över Västmanlands län med de undersökta referensvattnen. Blå markeringar visar nationella referensvattnen, gröna markeringar visar regionala referensvattnen och röda markeringar visar okalkade referenssjöar.

#### 4.1 Nationella referensvatten

Dagarn och Övre Skärsjön ingår i Naturvårdsverkets delprogram Trend- och omdrevsstationer Sjöar. Delprogrammet ska ge ett mått på tillstånd i lokalt opåverkade sjöar i Sverige. Mätprogrammet är inriktat på olika biologiska och kemiska provtagningar i mer än 100 sjöar. Provtagning utförs av SLU och datavärd för analysresultaten är Institutionen för vatten och miljö.



Figur 1. Dagarn



Figur 2. Övre Skärsjön

Sagån provtas av SLU som ett av Mälarens tillflöden. Sagån är ett påverkat vattendrag med hög belastning av näringsämnen från både punktkällor och diffusa källor. Sagån är recipient för utsläpp från reningsverk och har en hög andel jordbruksmark i tillrinningsområdet. Provtagning har utförts enligt föreskriven standard för miljöövervakning och analyserats i SWEDAC-ackrediterade laboratorier.



Figur 3. Sagån

## 4.2 Regionala referensvatten

I de två regionala referenssjöarna Märrsjön och Råksjön\* har den fysikalisk-kemiska provtagningen utförts av flera aktörer genom tiderna. 1983-1996 sköttes provtagningen av Institutionen för miljöanalys (SLU). 1997-1998 provtogs sjöarna av Svelab och mellan 1998 och 2007 har provtagningen utförts av Enstedts Limnologiska Konsultbyrå AB (ELK AB). Provtagning har utförts enligt standard och analyserats av AnalyCen Nordic AB. I Gärsjöbäcken har provtagning skett sedan 1995 i Länsstyrelsens regi. Provtagning har utförts enligt standard och analyserats av Svelab Miljölaboratorier (1995-2000) och ALcontrol (2001-2007).

\* Råksjön ligger i Heby kommun som numera tillhör Uppsala län



**Figur 4.** Märrsjön



**Figur 5.** Råksjön



**Figur 6.** Gärsjöbäcken

### 4.3 Okalkade referenssjöar

Sedan mitten av sjuttioalet har Länsstyrelsen tagit fysikalisk-kemiska prover i de okalkade referenssjöarna Bjursjön, Gatjärnen, Gryten, Övertjärnen, Gärsjön och Acksjön. Provtagning har utförts enligt föreskriven standard för miljöövervakning (Naturvårdsverket 1996). Analys har utförts av olika laboratorier under provtagningsperioden. Åren 1983-1996 analyserades proverna av Länsstyrelsen, 1997-2000 av Swelab och 2001-2007 analyserades proverna av Alcontrol Laboratories. De okalkade referenssjöarna har endast provtagits med avseende på *pH*, *alkalinitet*, *konduktivitet*, *färg* och *vattenhårdhet*.

För Bjursjön och Gärsjön finns några analysvärden från prover tagna på 1970-talet. Dessa har inkluderats eftersom de kan vara intressanta då åtgärderna för att minska försurningen var som mest intensiva i mitten av åttiotalet.



**Figur 7.** Bjursjön



**Figur 8.** Gryten



**Figur 9.** Övertjärnen



**Figur 10.** Gärsjön

## 5 Resultat

### 5.1 pH, alkalinitet och konduktivitet

pH-värdet är ett direkt mått på vattnets surhet och värdet bestäms av balansen mellan försurande och försurningsmotverkande ämnen. Normala pH-värden i sjöar och vattendrag är mellan 6 och 8. Vid pH-värden under 6,0 uppstår biologiska störningar som nedsatt fortplantningsförmåga hos vissa fiskarter och utslagning av känslig bottenfauna. Många metallers löslighet och därmed giftighet ökar också vid låga pH-värden i vattnet. Det naturliga pH-värdet för en sjö påverkas av flera faktorer. Bergrund, jordarter och marktyper i tillrinningsområdet har betydelse för innehållet av syrabuffrande ämnen. Även innehållet av organiska humusämnen som tillförs från skogsmark och våtmarker påverkar pH, vilket gör en del vatten naturligt sura. Alkalinitet är ett mått på vattnets buffrande förmåga, dvs hur bra vattnet kan stå emot försurande ämnen. När alkaliniteten är över 0,2 mekv/l är vattnets buffertkapacitet mycket god, men om alkaliniteten understiger 0,02 mekv/l kan buffrande förmåga anses saknas helt. Flera av referenssjöarna i länet är belägna i skogsmark där de naturliga halterna av kalcium- och magnesiumkarbonat är låga och där sjöarna därför har en låg alkalinitet. Sagåns avrinningsområde utgörs däremot till stora delar av kalkrika leror vilka bidrar till högt innehåll av ämnen med buffrande egenskaper och högt pH-värde. Konduktiviteten är ett mått på elektrisk ledningsförmåga och är därmed ett indirekt mått på totalhalten av joner och laddade partiklar.

Försurning av sjöar orsakas främst av nedfall av sura svavel- och kväveföreningar, men även skogsbruk bidrar till försurningsproblemen. En del vatten är också naturligt sura beroende på högt innehåll av sura humusämnen. Vid försurning sjunker först alkaliniteten, vilket ger sjön ett instabilt pH-värde som märks tydligast i form av surstötter vid snösmältning eller vårflood (Naturvårdsverket 2002). Flera av referensvattnen är relativt sura, särskilt de okalkade referenssjöarna som valts ut för att utgöra jämförelseobjekt till vattnen som ingår i kalkningsverksamheten.

Det finns ingen helt enhetlig trend i förändringarna i pH och alkalinitet över tiden i referensvattnen, men i de flesta syns tecken på en ökning av pH och alkaliniteten (tabell 2). I Övre Skärsjön, Märrensjön, och Råksjön och Gryten har pH-värdet tydligt ökat. I Dagarn, Sagån, Gärsjöbäcken, Acksjön och Gatjärnen uppvisas däremot inte några tydliga förändringar under perioden. Alkaliniteten följer i stort sett samma mönster som pH-värdena, förutom i Sagån där pH inte uppvisar någon trend medan alkaliniteten tydligt har ökat. Sagån har dock under hela tidsperioden haft hög alkalinitet och ett högt stabilt pH-värde. Gärsjön och Övertjärn visar på en tydlig minskning av både pH och alkaliniteten och Gärsjöbäcken en minskning av pH-värdet. Övertjärn utgör ett specialfall eftersom den tidigare har kalkats, och har tydligt återförsurats sedan kalkningen upphörde.

**Tabell 2.** Medianvärden och trender för pH, alkalinitet och konduktivitet. Tabellen anger medianvärde för hela perioden och genomsnittlig förändring per år för parametrarna pH och alkalinitet (mekv/l). Statistisk signifikans för förändringen anges som \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  (enligt Mann-Kendall's trendtest).

Vatten	Median pH	Trend pH	Median Alkalinitet (mekv/l)	Trend Alkalinitet	Trend Konduktivitet
Acksjön	6,3	Ingen	0,120	Ingen	Ingen
Bjursjön	6,6	Ingen	0,100	Ingen	+ **
Dagarn	6,67	Ingen	0,117	+ $4,26 \times 10^{-6}$ *	+ **
Gatjärnen	5,75	Ingen	0,050	Ingen	Ingen
Gryten	6,6	+ 0,009 *	0,091	Ingen	Ingen
Gärsjöbacken	5,4	Ingen	0,005	- 0,0016 ***	- ***
Gärsjön	5,34	- 0,025 ***	0,013	- 0,0017 *	- *
Märrensjön	6,44	+ 0,031 ***	0,057	+ 0,0045 ***	Ingen
Råksjön	6,69	+ 0,023 ***	0,100	+ 0,0031 ***	Ingen
Sagån	7,41	ingen	1,506	+ 0,0071 **	Ingen
Övertjärn	6,0	- 0,051 **	0,030	- 0,0043 **	- *
Övre Skärsjön	5,56	+ 0,022 ***	0,001	+ $1,93 \times 10^{-4}$ ***	- ***

## 5.2 Absorbans, halt av organiska ämnen (TOC) och siktdjup

Siktdjup, absorbans och halt av organiskt kol (TOC) har mätts i de nationella och regionala referensvattenen. I Sagån har under större delen av övervakningsperioden parametern COD (Chemical Oxygen Demand) mätts, vilket är ett indirekt mått på halten av organiskt material i vattnet. I de okalkade referenssjöarna har endast färgtal mätts under hela övervakningsperioden, och absorbans under enstaka år i slutet av övervakningsperioden, varför utvärderingen av trender i dessa vatten är lite mer osäker.

Siktdjupet ger ett mått på både grumligheten, näringstillgången och färgen på vattnet. Mätning av absorbans är en indirekt metod för att mäta vattnets innehåll av färgade humusämnen och innehållet av järn och mangan. Absorbans mäts vanligen vid våglängden 420 nm på både filtrerat och ofiltrerat vatten där differensen ger ett mått på vattnets grumlighet eller innehållet av suspenderade partiklar. För undersökningen har mätning av filtrerad absorbans vid 420 nm använts. Mätning av färgtal görs med färgkomparator där vattnets färg jämförs med referenslösningar med olika halter av brunfärgad platinaklorid. Mätning av absorbans anses dock som en mer exakt och tillförlitlig metod för att bestämma färgen (Naturvårdsverket 1999). Absorbans och siktdjup varierar naturligt under året. Störst transport av lerpartiklar och färgade humusämnen sker under tiden då

avrinningen är störst, medan siktdjupet även påverkas av mängden växtplankton som är störst under sommaren (Naturvårdsverket 2007).

I de flesta av referensvattnen syns tecken på att vattenfärgen och därmed halten av färgade humusämnen har ökat (tabell 3). I Övre Skärsjön, Sagån, Råksjön och Märresjön syns en klar tendens till att både absorbansen och halten av organiskt bundet kol har ökat signifikant. I Dagarn däremot syns ingen förändring av färgen och halten av organiskt bundet kol. Däremot har siktdjupet ökat. Till skillnad från de övriga uppvisar Gärsjöbäcken en minskning av vattenfärgen. I de okalkade referensvattnen är underlaget för bedömning sämre, men åtminstone i Gärsjön verkar färgen ha ökat. I Gärsjöbäcken finns en tendens mot ökad absorbans, medan färgtalet har minskat, vilket är motsägelsefullt. Gärsjöbäcken är dock kraftigt humusfärgad och mätningen av absorbans bör anses mindre subjektiv än färgtalet. I Gryten har absorbans mätts under några år, där trenden tyder på en ökning. Motsvarande ökning syns däremot inte i färgtalet som mätts under hela perioden. I flera objekt kan särskilt tydlig ökning ses mellan 1999 och 2001. Förklaringen till detta kan vara ökade halter av organiskt material i sjöarna på grund av stora nederbördsmängder och en hög tillrinning under perioden (Johansson 2003; Kalén 2007).

**Tabell 3.** Medianvärde för färgtal, förändringar i färgtal, siktdjup och absorbans och halt av organiska ämnen. Tabellen anger genomsnittlig årlig förändringstakt uppskattad genom linjär regression. Den statistiska signifikansen för trenden enligt Mann-Kendalls trendtest anges som \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ . I de okalkade referenssjöarna har färgtal mätts, medan absorbansen endast har mätts under vissa år. För de nationella och regionala objekten har därför färgtalet som anges i tabellen beräknats utifrån absorbansen som ett jämförelsevärde. För TOC i Sagån avses trenden från år 2003 och framåt och COD avser 1965 – 2002.

Vatten	Median färgtal (mg Pt/l)	Trend Siktdjup (m)	Trend Absorbans filtr. 420 nm	Trend Färgtal	Trend TOC (mg/l)	Trend COD (mg/l)
Acksjön	60			Ingen		
Bjursjön	35		(Ingen)			
Dagarn	70	+ 0,047 *	Ingen		Ingen	
Gatjärnen	150		(Ingen)	Ingen		
Gryten	30		(+ 0,011 *)	Ingen		
Gärsjöbäcken	215		+ 0,0028 *	- 3,8 ***	Ingen	
Gärsjön	150		(Ingen)	+ 1,8 *		
Märresjön	70	Ingen	+ 0,0015 **		+ 0,13 ***	
Råksjön	110	+ 0,036 **	+ 0,0028 **		+ 0,23 ***	
Sagån	95		+ 0,0030 ***		+ 0,598 *	+ ***
Övertjärn	60		(Ingen)	Ingen		
Övre Skärsjön	90	- 0,035 ***	+ 0,0037 ***		+ 0,10 ***	

### 5.3 Näringsämnen

Kväveinnehållande ämnen tillförs vatten främst genom markläckage och genom läckage från gödsel och avlopp. I viss mån sker tillförsel även genom nedfall från luft. I vatten förekommer kväve främst bundet till organiskt material och i form av nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) och nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) och ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Totalhalten kväve avser den sammantagna halten av kväve bundet till organiskt material och fritt tillgängligt kväve (nitrat, nitrit och ammonium). Förutom från gödsel och avlopp bildas ammonium då kväveinnehållande organiskt material bryts ner. Nitrit och nitrat bildas då ammonium oxideras, men även då kväveoxider härstammande från förbränning oxideras och faller ned i form av salpetersyra och salpetersyrighet. Nedfall i denna form bidrar till både försurning och övergödning. Av det nedfallande kvävet är det främst den andel som deponeras på vattenytor som är av betydelse, då nitrat effektivt tas upp av växtlighet då det faller ned på mark.

Fosfor tillförs vatten främst genom vittring av mineraler och kan förekomma både i löst och partikulär form. Tillförsel av fosfor bundet till organiskt material genom markläckage sker också. Totalhalten fosfor avser den sammanlagda halten av både partikulärt, komplexbundet och fritt tillgängligt fosfat. Under syrerika förhållanden bildar fosfater olösliga komplex med järn och mangan som faller ut i bottensedimenten. Under syrefria förhållanden kan dock denna fosfor gå i lösning och därmed frigöras. Atmosfärisk depositionen av fosfor förekommer också, men brukar anses utgöra en mycket liten del av tillförseln (Brandt med flera 2008).

Halterna av både kväve och fosfor är starkt beroende av tillrinningen och uppvisar också stora årstidsvariationer. På grund av de starka årstidsvariationerna kan trender därför vara svåra att utvärdera. För näringsämnena fosfor och kväve syns inga entydiga trender i referensvattnen. Sagån som är kraftigt påverkad av den höga andelen jordbruksmark i tillrinningsområdet har klart högst halter av både fosfor och kväve. Det är också det enda av vattnen som bör anses påverkat av läckage från jordbruksmark. Sett över hela perioden har sammanlagda halten av nitrat och nitrit ökat, medan halten fosfat minskat något i Sagån. Halterna av både kväve och fosfor har dock fluktuerat under de mer än fyrtio år halterna har övervakats.

I de övriga vattnen syns både ökning och minskningar av halterna, varför det är svårt att dra några generella slutsatser. Ökningen av  $\text{NH}_4^+$  i Råksjön och Märssjön kan ha ett samband med ökande halter av organiskt material, då ammonium kan tillföras vid mineralisering av humusämnen. Ammonium oxideras till nitrat under syrerika förhållanden varför höga ammoniumhalter också kan indikera låga syrehalter. I Övre Skärsjön syns en ökning av både halten fosfat och totalhalten av fosfor, medan totalhalten kväve och nitratkväve minskat tydligt. I Övre Skärsjöns bottenvatten syns en tydlig tendens mot ökade ammoniumhalter vilket inte syns i ytvattenproverna.

Kisel (Si) tillförs genom vittring av berg och mineral och tillgången styrs främst av mängden nederbörd och mängden organiska humussyror i mark. Främst är

Kisel är ett viktigt näringsämne för kiselalger och är ofta det begränsande näringsämnet för dessa. Ofta förbrukas största delen av det fritt tillgängliga kiset under kiselalgsblomningen på våren. Halten av kisel har ökat signifikant i samtliga vatten där det mätts utom i Dagarn.

**Tabell 4.** Näringsämnena. Medianhalter för tot-N och tot-P, samt trender för totalkväve, nitrat + nitrit, ammonium, totalfosfor, fosfat och kisel. Storleken på trenderna har inte uppskattats med linjär regression då haltvariationen förefaller att inte ha varierat runt ett normalfördelat medelvärde, utan istället skevt med kraftiga toppar. Linjär regression är därför en olämplig metod. Tabellen anger riktningen för trenden och statistisk signifikans enligt Mann-Kendalls trendtest, \* p<0,05, \*\* p<0,01, \*\*\* p<0,001.

Vatten	Median Tot-N (µg/l)	Trend Tot-N	Trend NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Trend NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Median Tot-P (µg/l)	Trend Tot-P	Trend PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Trend Si
Dagarn	341	Ingen	Ingen	Ingen	7	- **	Ingen	Ingen
Gärsjöbäcken	540	+ *	- ***	- ***	14	- ***	- ***	
Märrsjön	374	- **	+ ***	Ingen	7	Ingen	+ ***	+ ***
Råksjön	437	Ingen	+ *	- **	10	- *	+ *	+ **
Sagån	2086	Ingen	Ingen	+ **	91	- *	- **	+ **
Övre Skärsjön								
Ytvatten	378	- ***	Ingen	- ***	6	+ ***	+ ***	+ *
Bottenvatten	420	- **	+ ***	- ***	9	Ingen	+ ***	+ *

#### 5.4 Jonbalans

Sulfat tillförs till mark och vatten huvudsakligen genom deposition från luft. Den främsta källan är svaveldioxid härstammande från förbränning av fossila bränslen, vilken oxiderar i luft och faller ned i form av svavelsyra. Detta är också den främsta orsaken till försurningsproblem (Naturvårdsverket 2002). En genomgående trend i undersökningen är att halten av sulfat tydligt har minskat i alla vatten där halten har mätts, vilket tyder på att depositionen från luft minskar (tabell 5).

Kalcium och magnesium tillförs genom vittring och utlakning ur mark. Markförsurning bidrar till en ökad urlakning av dessa ämnen, och en minskning tolkas vanligen som tecken på avtagande markförsurning (Skjelkvåle med flera 2001). För halterna av kalcium och magnesium syns inga enhetliga trender i referensvattnen, men i åtminstone i fyra av sjöarna har halterna tydligt minskat. De övriga visar inga signifikanta trender i någon riktning. Kalium förekommer vanligen i låga halter i ytvatten och tillförs till största delen genom vittring och utlakning från mark precis som kalcium och magnesium. Ofta har halterna i referensvattnen varit för låga för att kunna bestämmas exakt, varför trenderna inte har kunnat utvärderas särskilt noggrant. Tecken på minskande halter syns i

Dagarn och Övre Skärsjön. Troligen har halten minskat även i Råksjön och Märresjön då halterna legat under nivån för att kunna bestämmas exakt under senare delen av perioden.

Natrium och klorid tillförs genom atmosfärisk deposition och genom utlakning från marina sediment i områden som legat under högsta kustlinjen. Generellt har halterna av natrium och klorid ökat på många håll i landet, vilket kan förklaras med en förhållandevis hög frekvens av västliga stormar under tidsperioden (Fölster och Wilander 2002). I åtminstone två av vattnen har halten av natrium och klorid tydligt ökat. Dagarn och Sagån visar tecken på ökande halter och har dessutom klart högre halt än de övriga. Särskilt i Dagarn visas en stigande och kraftigt fluktuerande halt under senare delen av perioden. Sagån och Dagarn är de enda av de undersökta vattnen som har större vägar i sina tillrinningsområden, varför vägsalt kan vara en tankbar källa till den stigande natrium- och kloridhalten i dessa. Skillnader i halten mellan natrium och klorid kan vara tecken på att natrium deltar i jonbytesprocesser i mark som både kan ge upphov till surstötter och frigörandet av lättlösliga tungmetaller som zink och kadmium (Löfgren 2000). I Råksjön syns en ökning av kloridhalten, medan motsvarande trend inte kan ses för natriumhalten.

**Tabell 5.** Jonbalans. För de okalkade referenssjöarna har endast den sammanlagda koncentrationen av Ca och Mg mätts, i de övriga visas summan av Ca och Mg. Koncentrationerna av Ca och Mg följer varandra åt mycket väl i hela materialet. Tabellen anger riktningen för trenden, årlig förändring uppskattad med linjär regression och statistisk signifikans enligt Mann-Kendalls trendtest, \* p<0,05, \*\* p<0,01, \*\*\* p<0,001.

Vatten	Ca+ Mg (mekv/l)	Na (mekv/l)	K (mekv/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mekv/l)	Cl- (mekv/l)
Acksjön	Ingen				
Bjursjön	Ingen				
Dagarn	- 0,002 **	+0,005***	-1.67*10 <sup>-4</sup> ***	- 0,003 ***	+ 0,004 ***
Gatjärnen	Ingen				
Gryten	Ingen				
Gärsjöbäcken	Ingen	+ 8,2*10 <sup>-4</sup> *	+ 0,002 ***	- 0,005 ***	Ingen
Gärsjön	Ingen				
Märresjön	- 0,002 ***	-3,1*10 <sup>-4</sup> **	Ingen	- 0,002 ***	Ingen
Råksjön	Ingen	Ingen	Ingen	- 0,002 ***	+ 0,001 ***
Sagån	Ingen	0,0018 *	Ingen	- 0,015 ***	+ 0,003 ***
Övertjärn	- 0,079 *				
Övre Skärsjön	- 0,004 ***	Ingen	- 1,320 ***	-0,005 ***	Ingen

## 5.5 Syrgas

Under sommaren och vintern är särskilt djupare sjöar ofta temperaturskiktade. Under dessa perioder sker ingen eller mycket liten omblandning av vattnet. Bottenvattnet syresätts då endast under omblandningsperioderna vid vår och höst.

Nedbrytning av organiskt material bidrar då till att syrehalterna kan sjunka till mycket låga nivåer under sommar- och vinterstagnationen i temperaturskiktade sjöar. I vattendrag med höga halter av organiskt material kan syrehalterna sjunka under perioder med låga flöden, men vanligen är låga syrehalter inget problem i rinnande vatten.

Syrgas har bara mätts i tre av objekten, Övre Skärsjön, Sagån och Gärsjöbäcken. I Övre Skärsjön har syresituationen oftast varit god, men under första delen av 2000-talet har mycket låga nivåer uppmätts i bottenvattnet vissa perioder. I Gärsjöbäcken har syrehalterna ibland sjunkit till nivåer som kan anses låga för rinnande vatten och bäcken visar tydliga årstidsvariationer.

**Tabell 6.** Förändringar av syrehalten. Tabellen anger riktningen för trenden och statistisk signifikans enligt Mann-Kendalls trendtest, \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ .

Vatten	Syrgas
Gärsjöbäcken	Ingen
Sagån	+ **
Övre Skärsjön	
Ytvatten (0,5 m)	Ingen
Bottenvatten (31 m)	Ingen

## 5.6 Metaller

Järn och Mangan är två mycket vanliga grundämnen i mark. Under syrerika förhållanden bildar järn och mangan starka komplex med humusämnen som tillförs vattnet genom markläckage. Järn och Mangan kan också tillföras i löst form genom transport med grundvattnet som vanligen är syrefritt. I vatten bildar järn och mangan olösliga komplex med fosfat, men vid låga syrehalter och låga pH-värden kan metallerna frigöras. Ökande halter av metaller kan därför vara tecken på ändrade redox-förhållanden och lägre syrgashalter. Halterna av järn och mangan styrs till stor del av syreförhållanden, vilka påverkas av sjöns skiktningförhållanden, men kan också påverkas av ökad belastning av organiskt material. Stora säsongsvariationer kan därför förekomma.

Aluminium är ett av de vanligaste grundämnena i jordskorpan och ingår i många mineraler. Aluminium blir vattenlösligt vid pH-värden under 6 och höga aluminiumhalter är ett tecken på försurning. Höga halter av aluminium har toxiska effekter på fisk (Naturvårdsverket 2002). Halter av järn, mangan och aluminium har endast mätts i fyra av sjöarna och ej heller genomgående vid alla provtagningar (tabell 7).

I Råksjön och Märrensjön har järnhalterna ökat, vilket möjligen kan sammanfalla med att halten av organiskt material också har ökat i dessa. I Dagarn och Övre

Skärsjöns ytvatten ses dock inte samma signifikanta ökning av järnhalten, även om en tendens mot fler toppar i halten syns i Övre Skärsjön under senare delen. I Övre Skärsjöns bottenvatten syns däremot en trend mot ökande halter och dessutom syns kraftiga toppar i koncentrationen under perioder som verkar sammanfalla väl med de syrefria perioderna. Det enda vatten med tecken på ökad halt av aluminium är Råksjön. Ökningen syns främst i form av ett antal kraftiga toppar under senare delen av perioden. Möjligen sammanfaller denna trend med en kraftig topp av sulfathalten 1999 som också har följts av ett antal surstötter. I de övriga syns inga tydliga trender.

**Tabell 7.** Förändringar av Metallhalter i Dagarn, Övre Skärsjön, Råksjön och Märssjön. Storleken på trenderna har inte uppskattats med linjär regression då haltvariationen förefaller att inte ha varierat runt ett normalfördelat medelvärde, utan istället skevt med kraftiga toppar. Linjär regression är därför en olämplig metod. Tabellen anger riktningen för trenden och statistisk signifikans enligt Mann-Kendalls trendtest, \* p<0,05, \*\* p<0,01, \*\*\* p<0,001.

Vatten	Fe	Mn	Al
Dagarn	Ingen	Ingen	Ingen
Märssjön	+ *	Ingen	Ingen
Råksjön	+ **	Ingen	+ ***
<b>Övre Skärsjön</b>			
Ytvatten (0,5)	Ingen	- ***	Ingen
Bottenvatten (31m)	+ ***	- ***	Ingen

## 5.7 Samband mellan omgivningsvariabler och vattenkemi

Syftet med principalkomponentanalysen har varit att åskådliggöra hur vattenkemi och omgivningsvariabler samvarierar och att karaktärisera de olika vattnen utifrån dessa variabler. I analysen har medianvärden för de vattenkemiska mätningarna för hela perioden använts och endast de vattenkemiska variablerna som mätts i samtliga vatten inkluderats. Dessa är *pH*, *alkalinitet*, *vattenfärg* och *hårdhet* (mätt som sammanlagd koncentration Ca + Mg). För de okalkade referenssjöarna har i regel färgtal mätts medan absorbans har mätts i de övriga. Under enstaka år och i en del av vattnen har dock bägge mätts. Genom de mättillfällen i hela materialet där bägge mätts kan konstateras att det föreligger ett starkt linjärt samband mellan vattenfärgen och absorbansen (enligt linjär regression föreligger sambandet:  $Färg = abs * 298 + 53,86$  ( $p < 0,0001$ ,  $df = 342$ ,  $r^2 = 0,71$ ). Värdet för absorbans har därför räknats om till färgtal enligt denna formel för att även vattenfärg skulle kunna inkluderas i analysen.

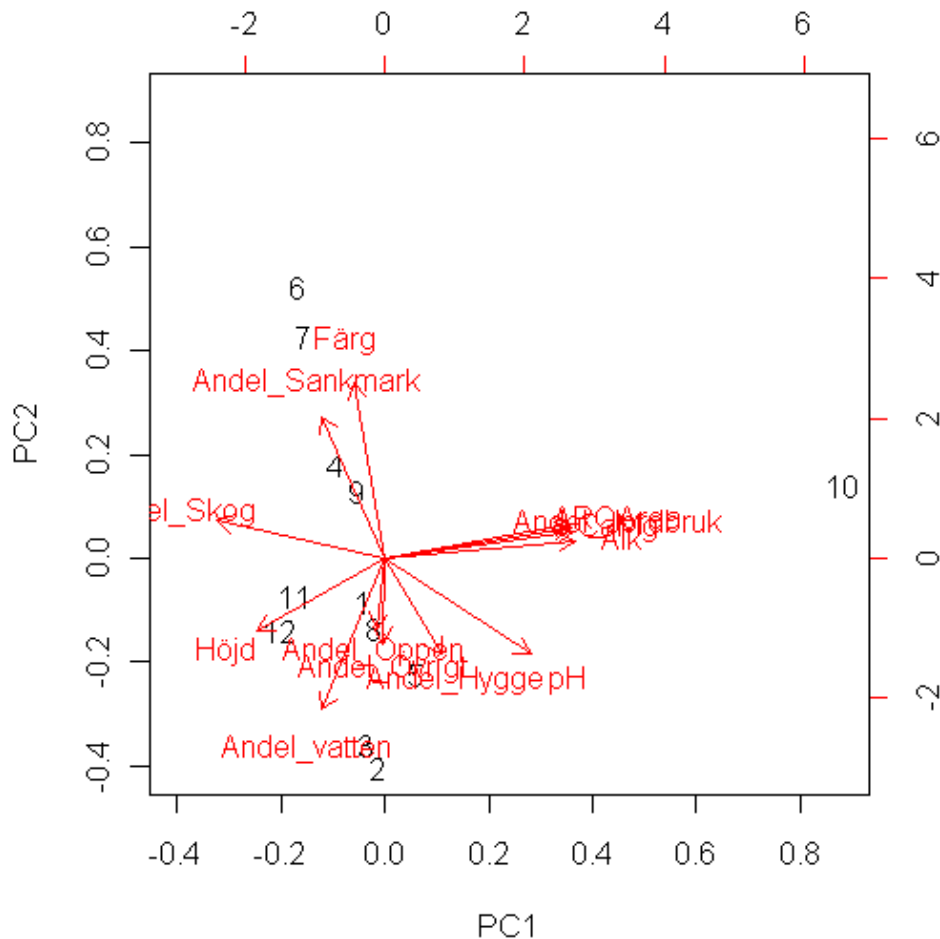
Omgivningsvariablerna som använts är *höjd över havet*, *area för avrinningsområdet*, *andel vatten*, *skog*, *hygge*, *sankmark*, *öppen mark*, respektive *jordbruksmark* i avrinningsområdet (tabell 8).

**Tabell 8.** Ingående vatten och variabler i principalkomponentanalysen.

Nr.	Objekt	Variabel	Förklaring
1	Acksjön	pH	
2	Bjursjön	Alk	Alkalinitet
3	Dagarn	Färg	Vattenfärg
4	Gatjärnen	CaMg	Hårdhet (koncentration Ca + Mg)
5	Gryten	AROArea	Storlek på avrinningsområdet
6	Gärsjöbäcken	Andel_Vatten	% andel vatten av hela avrinningsområdet
7	Gärsjön	Andel_Skog	% andel skogsmark
8	Märrsjön	Andel_Öppen	% andel öppen mark
9	Råksjön	Andel_Jordbruk	% andel jordbruksmark
10	Sagån	Andel_Hygge	% andel hygge
11	Övertjärn	Andel_Sankmark	% andel sankmark
12	Övre Skärsjön	Andel_Övrigt	% andel övrigt, ex bebyggelse, vägar etc.

Principalkomponentanalysen utgår från parvisa korrelationer mellan samtliga ingående parametrar. Resultaten från analysen visas i figur 11. Principalkomponenterna som räknas ut beskriver de 'riktningar' i en matris över kovariansen (samvariansen) mellan de ingående variabler där samvariansen är som störst. PC1 förklarar 44,7% och PC2 23,5% av den totala variansen i hela materialet och tillsammans beskriver dessa 68,2% av den totala variansen. Riktningen och storleken på pilarna för de ingående variablerna i diagrammet anger hur väl variablerna korrelerar med principalkomponenterna och hur väl de samvarierar med varandra. De omgivningsvariabler som bäst korrelerar med den horisontella axeln (PC1) är *andelen jordbruksmark*, och *andelen skogsmark* (i negativ riktning). PC1 skulle alltså kunna beskriva skillnaden mellan vatten belägna i skogsmarksdominerade och jordbruksmarksdominerade avrinningsområden. Av de vattenkemiska variablerna samvarierar alkalinitet och hårdhet väl med PC1, där alkalinitet och hårdhet är högre i de mer jordbruksdominerade områdena. För den vertikala axeln (PC2) korrelerar variablerna *andel sankmark*, respektive *andel vatten* i avrinningsområdet bäst. Vattenfärg korrelerar väl med *andel sankmark*, och PC2 skulle därför kunna sägas beskriva gradienten mellan humusfärgade våtmarksdominerade respektive klara vatten. Siffrorna i figur 11 representerar de olika vattnen och hur de samvarierar med de ingående variablerna. Vilket nummer som anger vilken sjö anges i tabell 8. Objekt belägna nära varandra i diagrammet liknar varandra med avseende på omgivning och vattenkemi. Som exempel är objekten 6 och 7 (Gärsjöbäcken och Gärsjön) belägna i riktning från pilarna för variablerna *Andel sankmark* och *Färg*, vilket anger att dessa objekt är de med högst andel sankmark och även högst färgtal. Objekten 6 och 7 är också belägna längst bort från pilen för pH, vilket anger att dessa är de med lägst pH. Sagån (objekt nr 10) skiljer sig markant från alla andra. Detta vatten har i särklass störst area för tillrinningsområdet, högst alkalinitet, högst vattenhårdhet, och högst andel jordbruksmark i

tillrinningsområdet. Diagrammet anger också att dessa variabler alla är mycket väl korrelerade. Noterbart är också att objekten 2 och 3 (Bjursjön och Dagarn) är de med högst andel vattenyta inom avrinningsområdet. Dessa har också lägst färgtal och alltså det klaraste vattnet.



**Figur 11.** Resultat av Principalkomponentanalysen. Diagrammet visar en s.k. biplot av resultatet för principalkomponentanalysen och visar hur variabler och ingående objekt förhåller sig till principalkomponenterna 1 (horizontalaxeln) och 2 (vertikalaxeln). Längden och riktningen på pilarna anger hur väl två variabler överensstämmer.

## 5.8 Slutsatser

De tydligaste trenderna i referensvattnen i länet är tecken på avtagande försurningsproblem och en trend mot ökande vattenfärg, vilket också har visats i referensvattnen i andra delar av landet (Abrahamsson 2005; Wilander med flera 2003; Hedrén 2005). Även om trenden mot minskande försurningsproblem inte är helt enhetlig tyder undersökningar på att pH och alkaliniteten åtminstone ökar i fler vatten än den avtar. En bidragande orsak till att försurningsproblemen avtar på

de flesta håll i landet anses vara att utsläppen av svaveldioxid har minskat, och därmed också luftdepositionen av försurande svavelföreningar (Fölster och Wilander 2002; Hellsten med flera 2007; Nettelblad 2007). Halterna av sulfat har minskat tydligt i samtliga vatten där det mätts, vilket tyder på att mängden nedfallande svavelinnehållande ämnen har minskat väsentligt. Mätningar i Sagån tyder på att halten ökade fram till mitten av 70-talet och har sedan dess minskat. Andra mätningar av den atmosfäriska depositionen av sulfat i länet visar också denna har minskat stadigt i Västmanlands län sedan mätningarna började år 1992 (Nettelblad 2007). Resultaten från referensvattnen i länet överensstämmer väl med dessa mätningar och även resultat från andra delar av landet där både pH och vattenfärg ökat i de flesta undersökta sjöarna (Abrahamsson 2005; Wilander med flera 2003; Hedrén 2005). Halterna av baskatjoner verkar minska i de flera vatten, vilket kan vara ett tecken på minskade problem med markförsurning (Skjelkvåle med flera 2001). Låga pH-värden bidrar till att öka lösligheten av dessa ämnen, medan varmare klimat, hög nederbörd och höga grundvattennivåer också kan öka utlakningen av baskatjoner varför sambandet dock inte är helt enkelt.

De vatten där det inte syns någon trend mot ökande pH eller alkalinitet är Gärsjön, Gärsjöbacken, Övertjärn, Bjursjön och Dagarn. Av dessa är Gärsjön och Gärsjöbacken särskilt sura och har båda mycket liten vattenvolym i förhållande till tillrinningsområdets storlek. De har också den högsta andelen våtmarker i tillrinningsområdet och är också de mest humusfärgade, vilket också kan ha försurande effekter. En stor del av försurningen i Gärsjön och Gärsjöbacken bör därför kunna tillskrivas naturliga orsaker, där den ökande humushalten bör kunna förklara trenden mot sjunkande pH-värden i Gärsjön. Bjursjön och Dagarn däremot är djupa klarvattensjöar där relativt stora delar av hela avrinningsområdena utgörs av sjöyta. I dessa är därför den totala sjövolymen stor i förhållande till tillrinningsområdets storlek, och därmed också sjövolymen i förhållande till mängden tillrinnande vatten. Varken Dagarn eller Bjursjön har under undersökningsperioden ej heller varit särskilt försurade och har båda förhållandevis hög alkalinitet. Övertjärn utgör ett specialfall då den kalkades fram till mitten av 80-talet och har därefter låtit återförsuras.

De flesta referensvattnen uppvisar genomgående en trend mot ökande vattenfärg och ökande halter av organiskt material. Faktorer som har föreslagits för att förklara denna trend är bl.a. ökade nederbördsmängder, varmare klimat och minskad försurning av mark (Fölster och Wilander 2002; Löfgren med flera 2004). Humusämnenas löslighet ökar oftast med stigande pH-värden, vilket ökar utlakningen av dessa ämnen då markförsurningen avtar. Kortare perioder med tjäle och snötäckt mark bidrar också till ökad utlakning av humus från mark, varför halten av TOC i sjöar förväntas öka till följd av klimatförändringar (Löfgren med flera 2004). Ökad tillförsel av organiskt material har troligen effekter för både halterna av näringsämnen, metaller och syreförbrukning då organiskt material bryts ner. En del tecken på detta syns i form av ökning av halterna av järn, ammonium, nitrat och fosfat i några av vattnen. Syrehalter i bottenvattnen har dock endast mätts i Övre Skärsjön där det särskilt under senare år har observerats perioder med låga syrehalter. Perioderna med låg syresättning av

bottenvattnet sammanfaller väl med toppar i järnkonzentrationen i denna sjö, vilket tyder på att järn frigörs från bottensedimenten under perioderna med låga syrehalter. I Märrsjön, Råksjön och Dagarn syns under 2000-talet toppar av framförallt järn, vilka skulle kunna förklaras av låg syresättning av bottenvattnet. Med ökande halter av humusämnen befaras också problemet med höga kvicksilverhalter i fisk förvärras, då tillförseln av kvicksilver till sjöar till stor del sker genom transport med humusämnen (Åkerblom och Johansson 2008).

För näringsämnena syns inga helt entydiga trender. Nitrat och nitrit förefaller ha minskat i de flesta vatten utom Sagån, vilket kan tänkas bero på minskad deposition från luft även om detta inte entydigt uppmätts i länet (Nettelblad med flera 2007). För Sagån tillförs betydande mängder av både fosfor och kväve från jordbruksmark, vilket inte sker för de övriga. I de andra syns däremot både öknings- och minskningar. Ammoniumhalter kan möjligen ha ökat något samtidigt som halter av totalkväve har minskat. Likaså har fosfathalten ökat i fler än den minskat, medan halten totalfosfor inte uppvisar samma trend. Fosfat kan frigöras ur sediment vid syrefria förhållanden och likaså kan ammonium vara ett tecken på låga syrehalter då denna annars snabbt oxideras under syrerika förhållanden. Samtliga vatten utom Sagån har förhållandevis låga halter av näringsämnena då markläckaget av både fosfor och kväve från skogsmark oftast är relativt lågt (Brandt med flera 2008).

Även om försurningssituationen sammantaget verkar förbättras i länet, syns en del tecken på att surstötar fortfarande förekommer i en del vatten, och även att situationen i en del vatten fortfarande är otillfredsställande. I två av objekten visas till och med tendenser till sjunkande pH-värden. Trenden mot ökad humusbelastning kommer också troligen medföra problem med ökad syretäring och syrefria förhållanden på botten i sjöar. Fortsatt bevakning med anledning återstående försurningsproblem och av den ökade belastningen av organiskt material i sjöarna är därför önskvärd.

## 6 Provtagning

### 6.1 Kompletterande undersökningar

En genomgång har gjorts av hur den framtida provtagningen i länets referensvatten behöver se ut för att uppfylla dagens krav på data enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljö kvalitet (Naturvårdsverket 2007). Brister i provtagningen finns – både när det gäller parametrar som måste finnas med för att man ska kunna göra en statusklassificering av syrgas och försurning i sjöar - och när det gäller provtagning på flera djup (syrgasmätning). Mätningar av syrgas saknas för samtliga sjöar utom Övre Skärsjön.

För att kunna göra en bedömning av försurningsläget med hjälp av modellverktyget MAGIC behövs mätningar av SO<sub>4</sub>-S, Cl, Ca, Mg samt DOC eller TOC från ett år efter 1990. För de okalkade referenssjöarna Gatjärnen, Gryten, och Gärsjön finns data från 1995 års riksinventering av sjöar. Utifrån data går det också att få fram en prognos över försurningsstatusen 2010. För Bjursjön finns data från riksinventeringen 1995 men sjön får ingen matchning i modellverktyget MAGIC. För Övertjärn och Acksjön saknas mätningar av ovanstående försurningsparametrar. Under kommande år behöver SO<sub>4</sub>-S, Cl, Ca, Mg samt DOC eller TOC mätas vid minst ett tillfälle i Bjursjön, Övertjärn och Acksjön.

### 6.2 Framtida utvärdering av referensvatten i Västmanlands län

Förutom Råksjön som ligger i Heby kommun och numera tillhör Uppsala län, kan övriga referensvatten som ingår i rapporten fortsätta att utvärderas kontinuerligt.

Två vattendrag som idag ingår i den nationella övervakningen och som kan läggas till i en utvärdering framöver är Laxbäcken som ingått som okalkat referensvattendrag inom IKEU-programmet sedan 1989 och Bjurforsbäcken som är ett relativt nytt referensvatten som ingår i delprogrammet Trendstationer sedan 2007 (delprogrammet ska ge ett mått på tillstånd i lokalt opåverkade vattendrag).

## 7 Beskrivningar av objekten, statusbedömningar och tidsserier

### 7.1 Dagarn

Dagarn är en ganska djup, näringsfattig skogssjö med svagt färgat vatten. Sjön ingår i Hedströmmens avrinningsområde och är belägen ca sju kilometer norr om Skinnskatteberg. Både med avseende på näringsämnen, siktdjup och försurningstillstånd klassificeras status som hög enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2007).

**Koordinater:** X 6641970 Y 1493370

**Möh, m:** 130,4

**Sjöyta, km<sup>2</sup>:** 1,67

**Omsättningstid, år:** 1,87

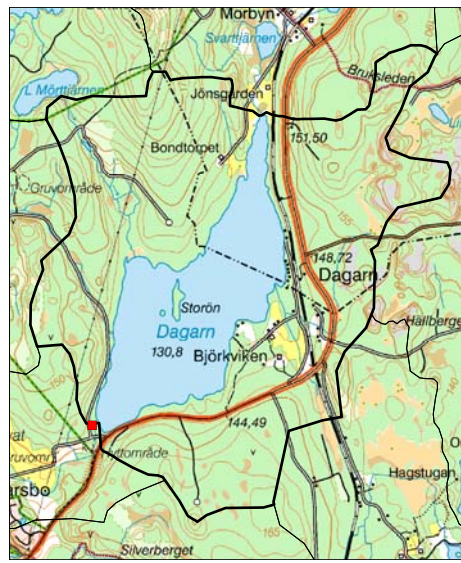
**Aro, km<sup>2</sup>:** 11,15

**Avrinning, m/år:** 0,284

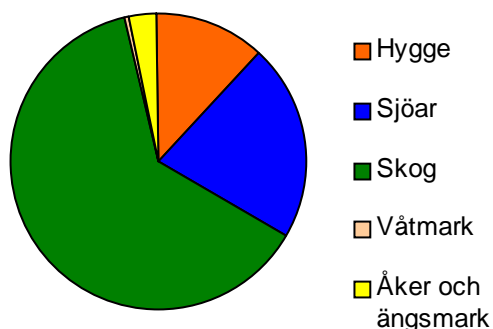
**Medeldjup, m:** 5,1

**Maxdjup, m:** 13,0

*Källa: Hydrologiska register original*



#### Markanvändning i avrinningsområdet



#### Statusklassning

**Näringsämnen:** Hög status

**Siktdjup:** Hög status

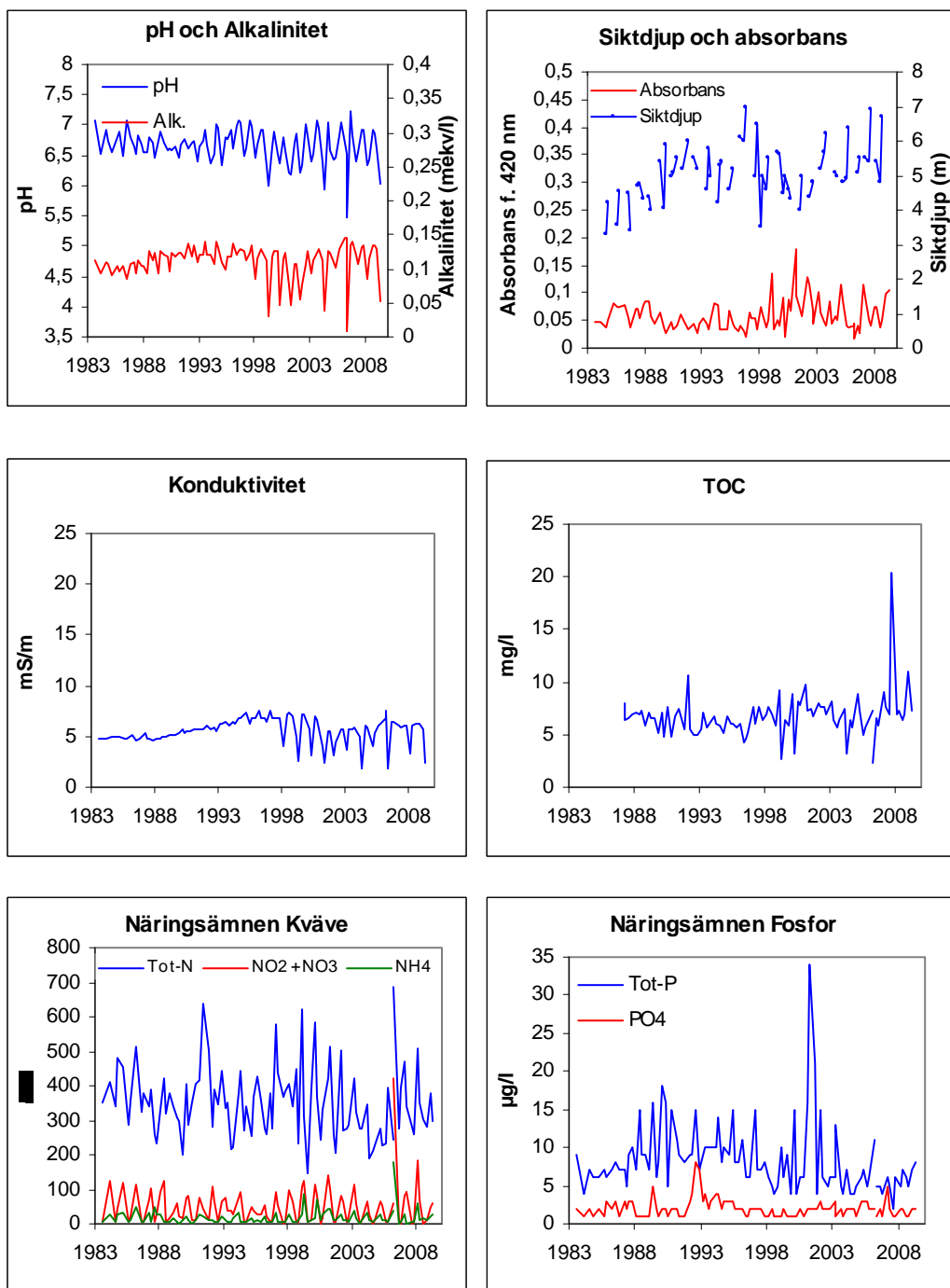
**Syrgas:** Ej klassad, inga syrgasmätningar utförs i Dagarn

**Försurning:** 1995 Hög status

Prognos för 2010 Hög status

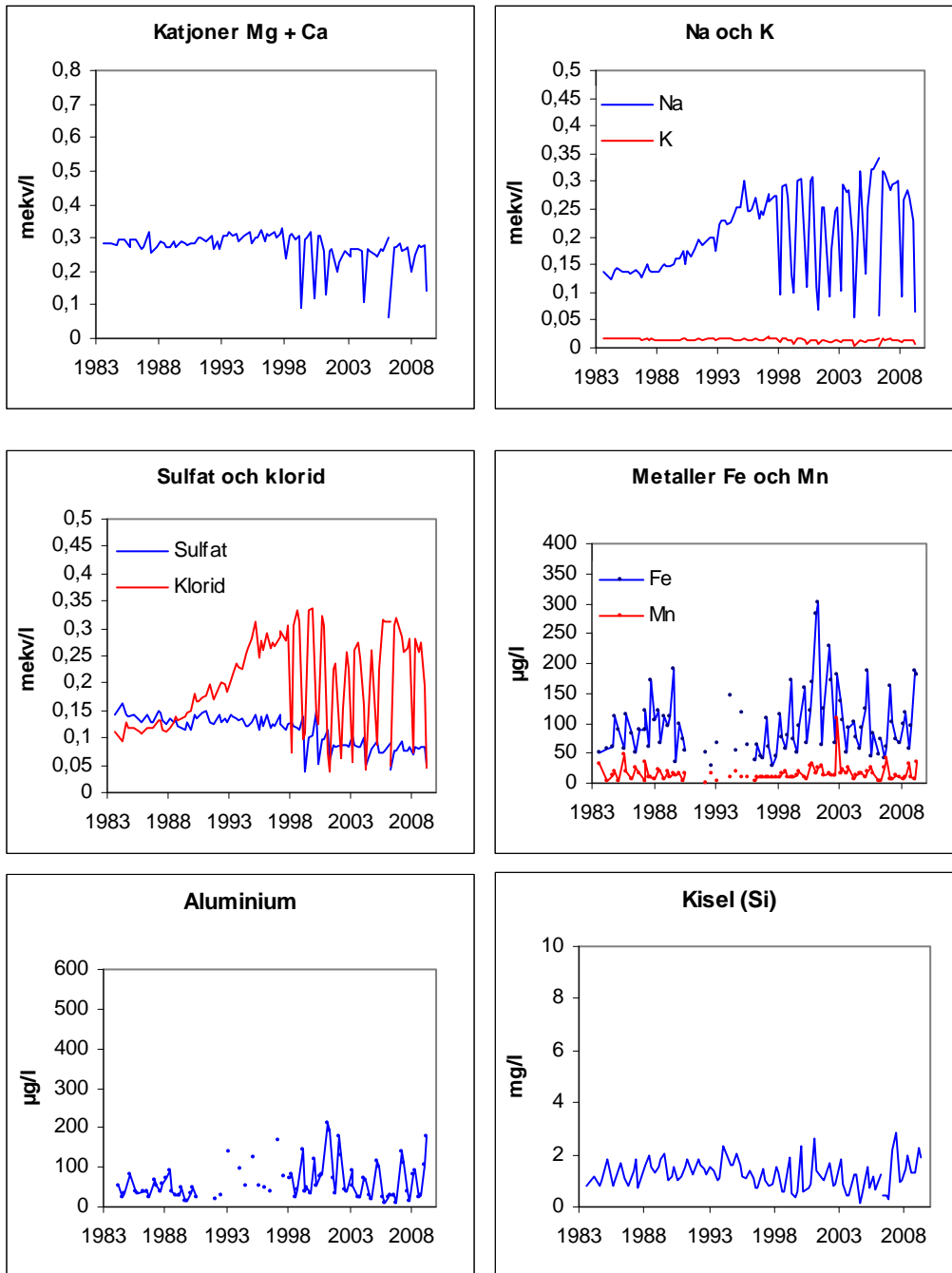
*Bedömning enligt modellberäkning i MAGIC, utifrån RI 1997*

## Dagarn



**Figur 12** Tidsserier i Dagarn. Diagrammen visar resultaten av de vattenkemiska mätningarna 1983-2009. Före 1986 har Tot-N uppskattats som summan av Kjeldahl-N och NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub>. Från och med 1996 redovisas analysvärden från vattenprover tagna på 0,5 meters djup. 1983-1995 togs prover på 2 meters djup.

## Dagarn



Figur 12. Forts. Tidsserier i Dagarn.

## 7.2 Övre Skärsjön

Övre Skärsjön är en djup, näringsfattig skogssjö med betydligt färgat vatten. Sjön ingår i Hedströmmens avrinningsområde och är belägen ca sju kilometer väst-nordväst om Skinnskatteberg. Sjön har fortsatta försurningsproblem, även om vissa tecken på förbättringar syns. Med avseende på näringsämnen är status däremot hög. En tendens mot att perioder med låga syrehalter i bottenvattnet har ökat har setts under senare år, även om syresituationen vanligen ser god ut.

**Koordinater:** X 663532 Y 148571

**Möh, m:** 218,7

**Sjöyta, km<sup>2</sup>:** 1,65

**Omsättningstid, år:** 3,63

**Aro, km<sup>2</sup>:** 8,80

**Avrinning, m/år:** 0,316

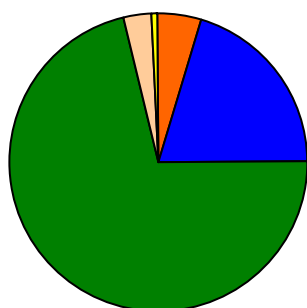
**Medeldjup, m:** 6,1

**Maxdjup, m:** 32,0

*Källa: Hydrologiska register original*



### Markanvändning i avrinningsområdet



- Hygge
- Sjöar
- Skog
- Våtmark
- Åker och ängsmark

### Statusklassning

**Näringsämnen** Hög status

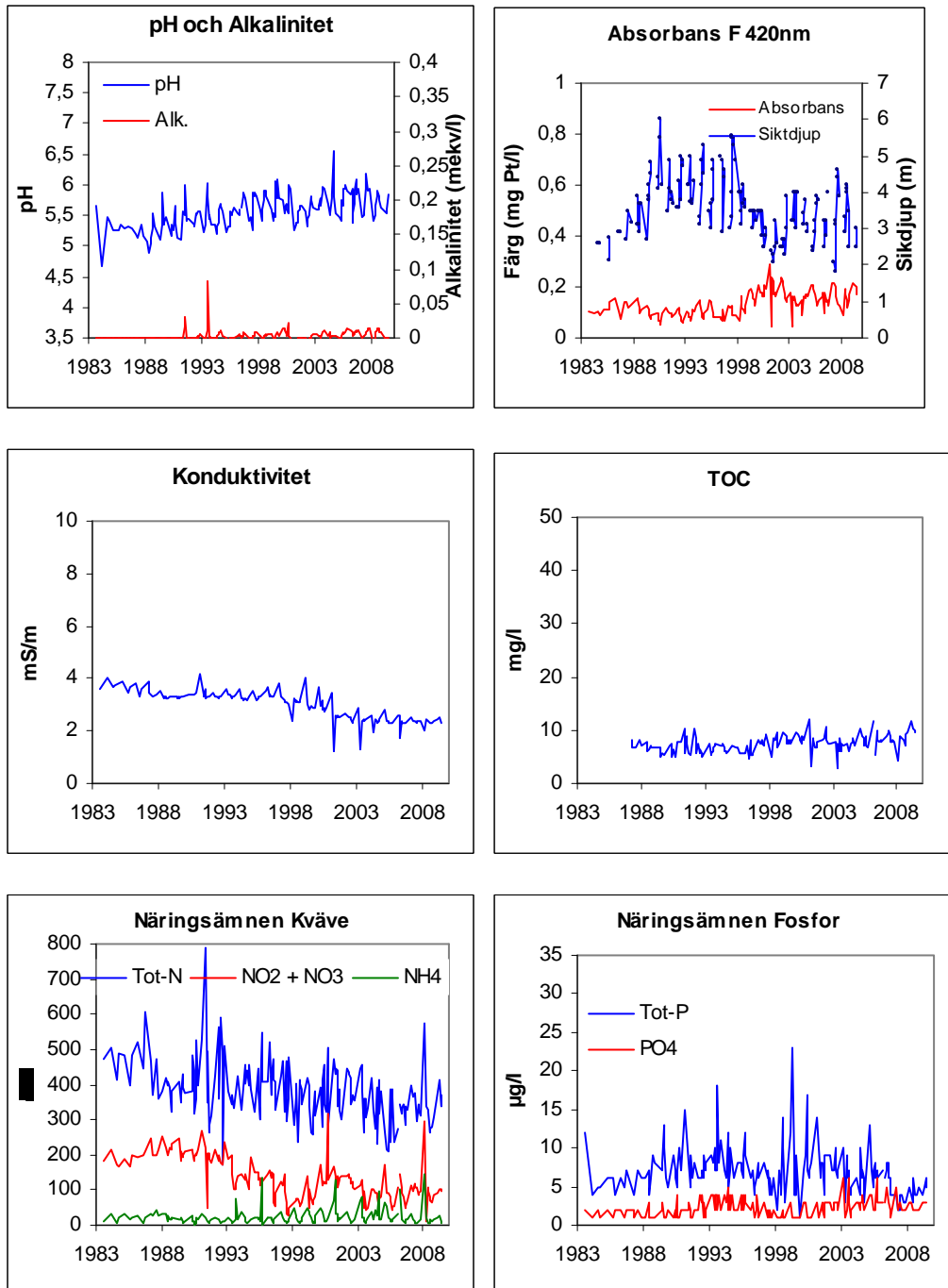
**Siktdjup** Hög status

**Syrgas** Tillräckliga uppgifter för att göra en korrekt bedömning saknas.

**Försurning** 1997 Dålig status, 2005 Otillfredsställande status. Prognos för 2010 Måttlig status

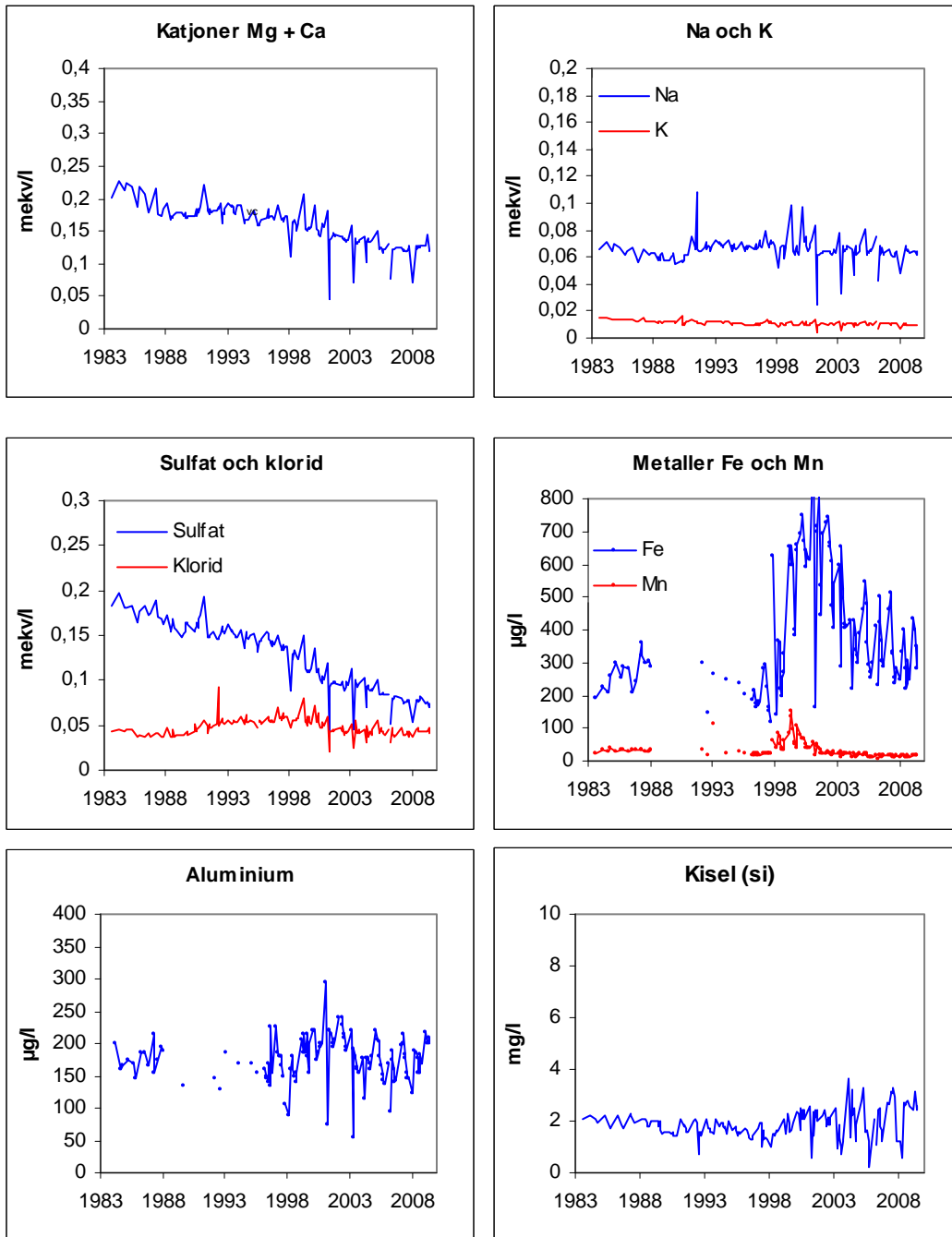
Bedömning enligt modellberäkning i MAGIC, värden från 1997 och RI 2005.

## Övre Skärsjön



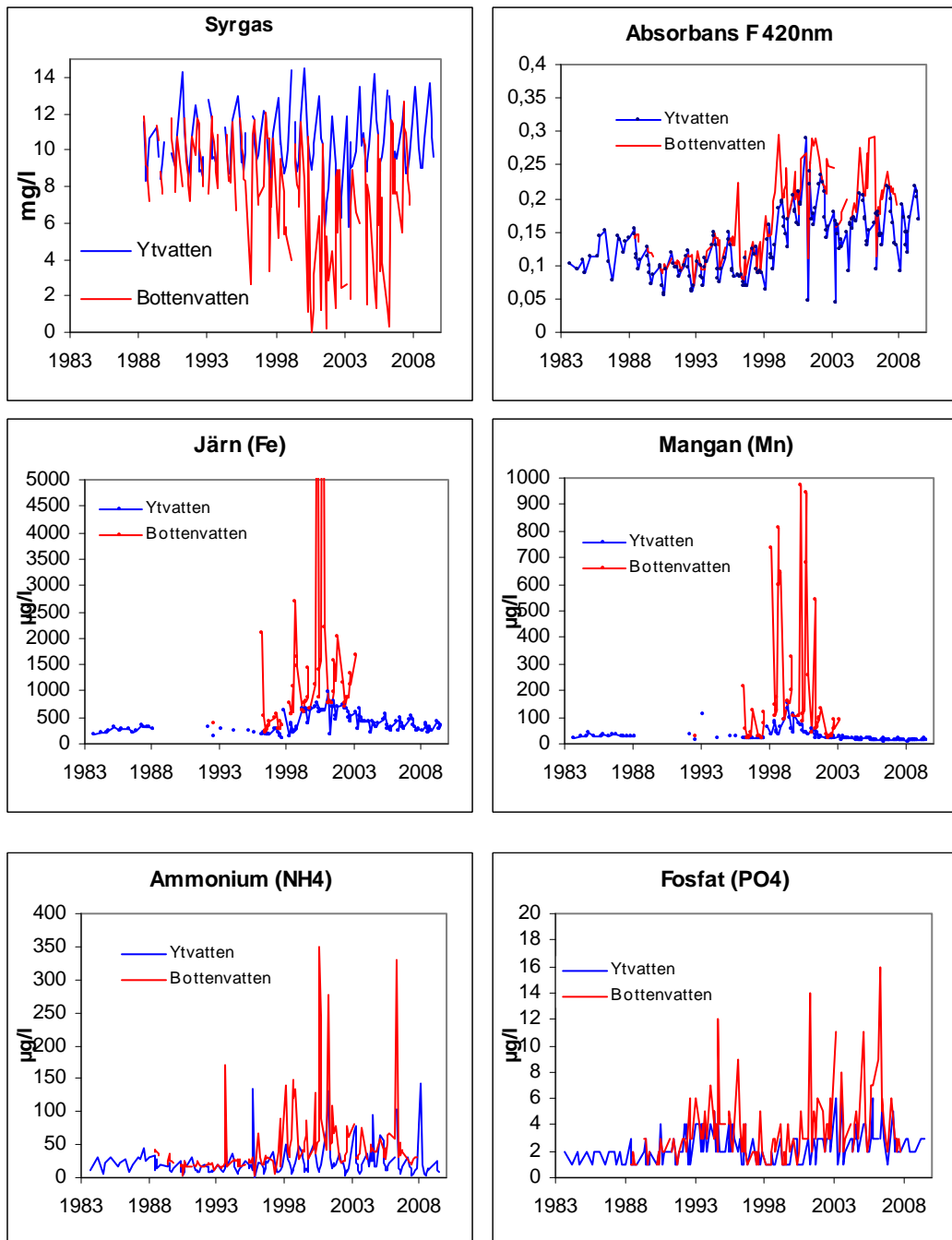
**Figur 13.** Tidsserier i Övre Skärsjön. 1983 – 1986 har Tot-N uppskattats som summan av Kjeldahl-N och NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub>. För år 2007-2009 har Tot-N mätts med metoden TotN\_TNb (Tot-N\_persulfat har använts övriga år). Från 1983-1988 visas analysresultat från prover tagna på 2 meters djup. Från och med maj 1988 har prover tagits i ytvatten (0,5 m).

## Övre Skärsjön



Figur 13. Forts. tidsserier i Övre Skärsjön.

## Övre Skärsjön



**Figur 13. Forts.** Syrgas, absorbans, järn, mangan, ammonium och fosfat i ytvatten och bottenvatten i Övre Skärsjön. Prover i bottenvattnet är tagna på 31 m djup. Förhöjda halter av järn, mangan, fosfat och ammonium i bottenvattnet sammanfaller väl med perioderna med låga syrehalter.

### 7.3 Sagån

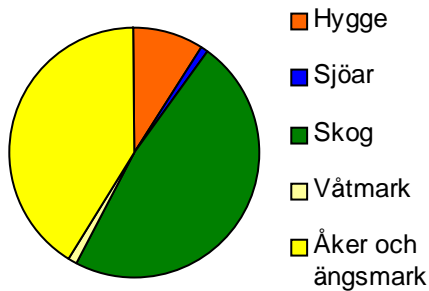
Sagån används som ett referensvatten men är i stor utsträckning påverkad av markanvändningen i avrinningsområdet som till 40 % består av åker och ängsmark. Fysikalisk-kemiska prover har tagits varje månad från och med 1965. Sagån har hög alkalinitet och har inte haft några försurningsproblem. Halterna av näringsämnen är däremot höga och Sagån har tydliga övergödningssproblem. Utsläpp från avloppsreningsverk och enskilda avlopp sker också till Sagån. Med avseende på näringsämnen bedöms status därför som otillfredsställande.

**Koordinater:**X 6609390 Y 1561300

**Möh, m:** 3

**Aro, km<sup>2</sup>:** 856

**Markanvändning i avrinningsområdet**

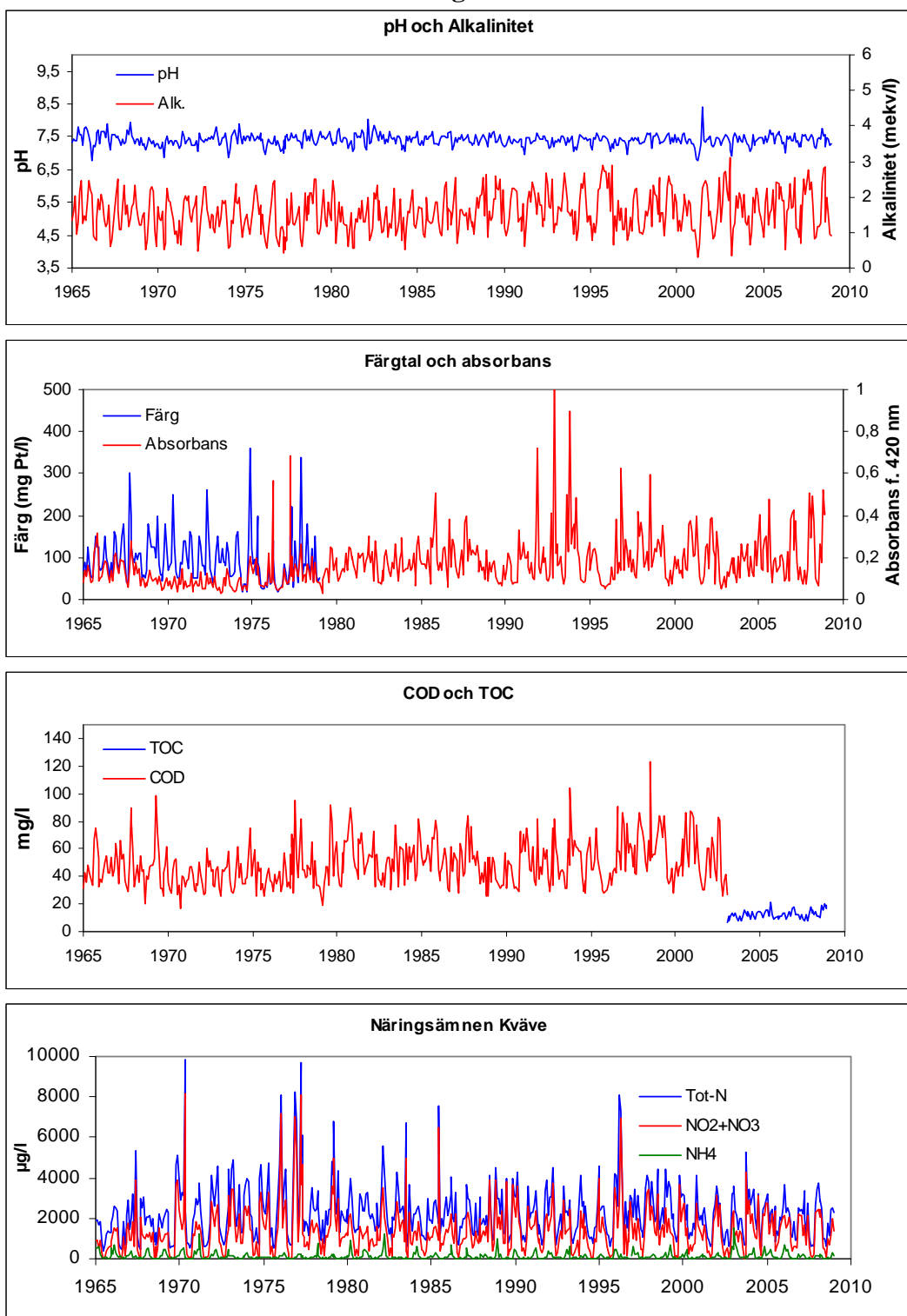


#### *Statusklassning*

**Näringsämnen:** Otillfredsställande status

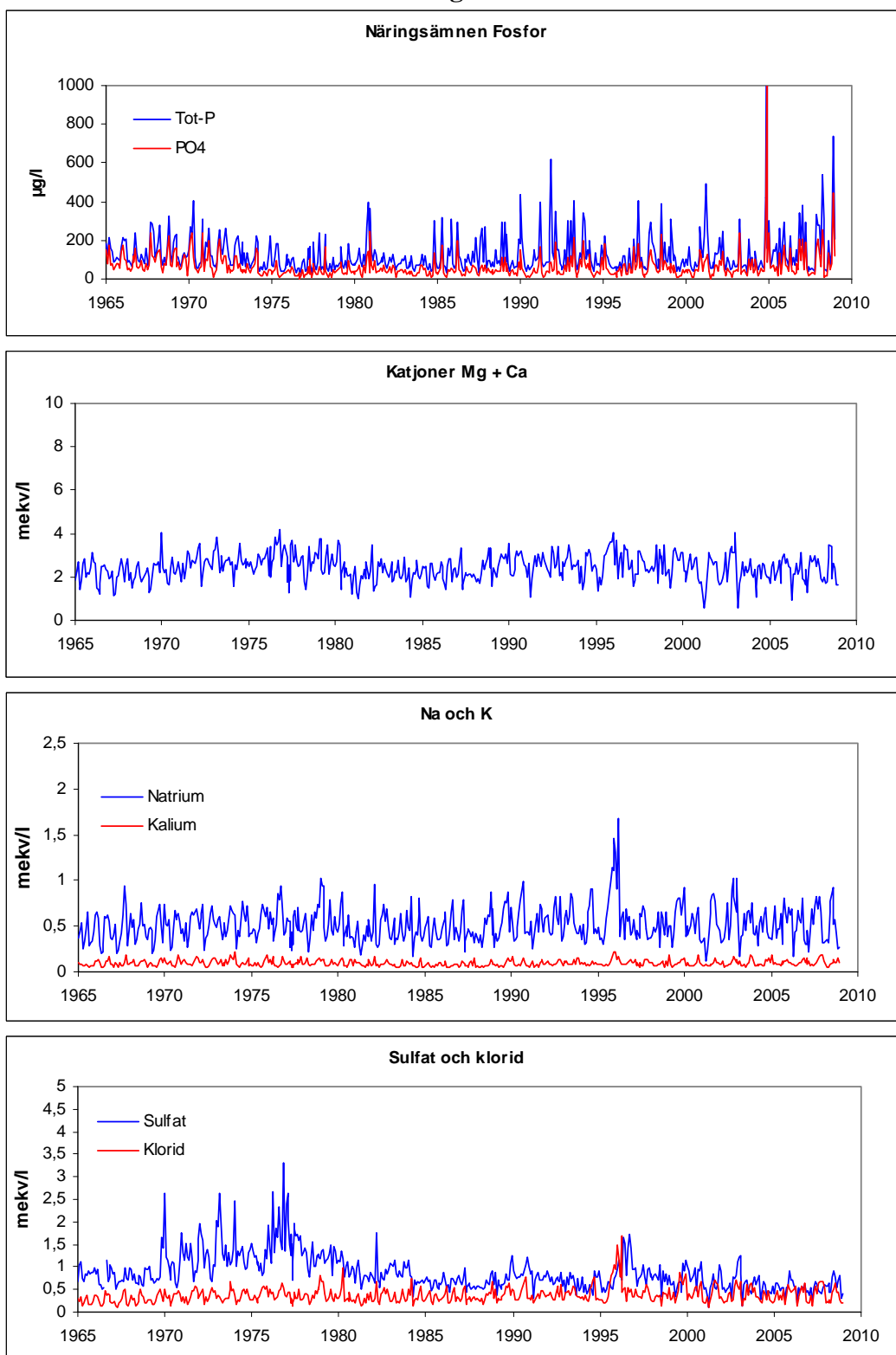
**Försurning:** Hög status

## Sagån



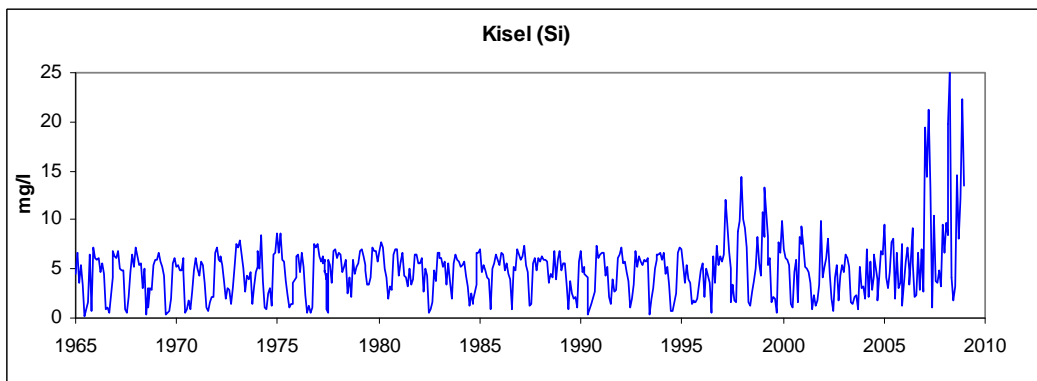
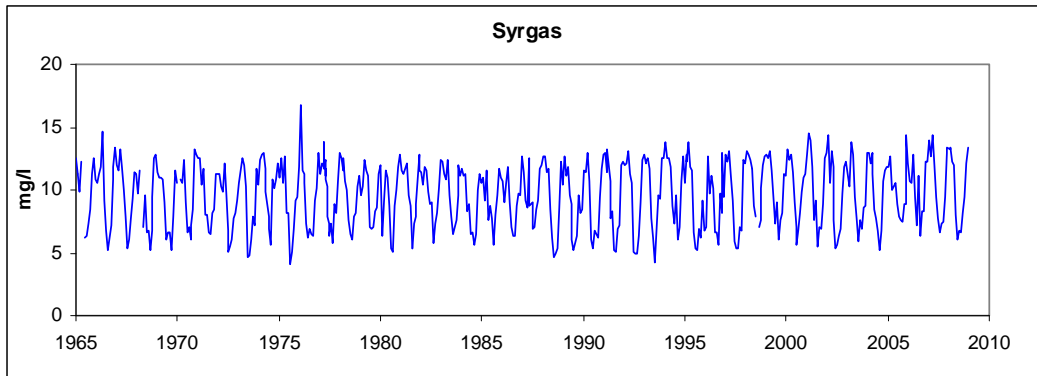
Figur 14. Tidsserier över vattenkemiska mätningar i Sagån 1965-2009.

## Sagån



Figur 14. Forts. Tidsserier i Sagån.

## Sagån



**Figur 14. Forts. Tidsserier i Sagån**

## 7.4 Mär sjön

Mär sjön är belägen i Fagersta kommun och Kolbäcksåns avrinningsområde. Sjön har varit föremål för provtagning i två hänseenden, som ett regionalt referensvatten och som ett okalkat referensvatten. Bedömning av försurningspåverkan enligt MAGIC-modellen (Naturvårdsverket 2007) anger att status med avseende på försurning är otillfredsställande. Halterna av näringsämnen är låga och siktdjupet är relativt stort varför status bedöms som hög med avseende på dessa parametrar.

**Koordinater:** X 664715 Y 151400

**Möh, m:** 124,7

**Sjöyta, km<sup>2</sup>:** 0,52

**Omsättningstid, år:** 2,21

**Aro, km<sup>2</sup>:** 2,50

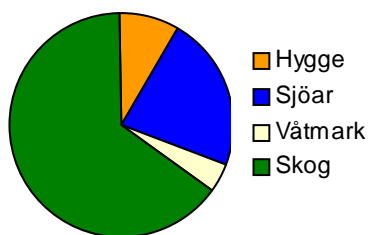
**Avrinning, m/år:** 0,268

**Medeldjup, m:** 2,8

**Maxdjup, m:** 8,0

*Källa: Hydrologiska register original*

**Markanvändning i avrinningsområdet**



### *Statusklassning*

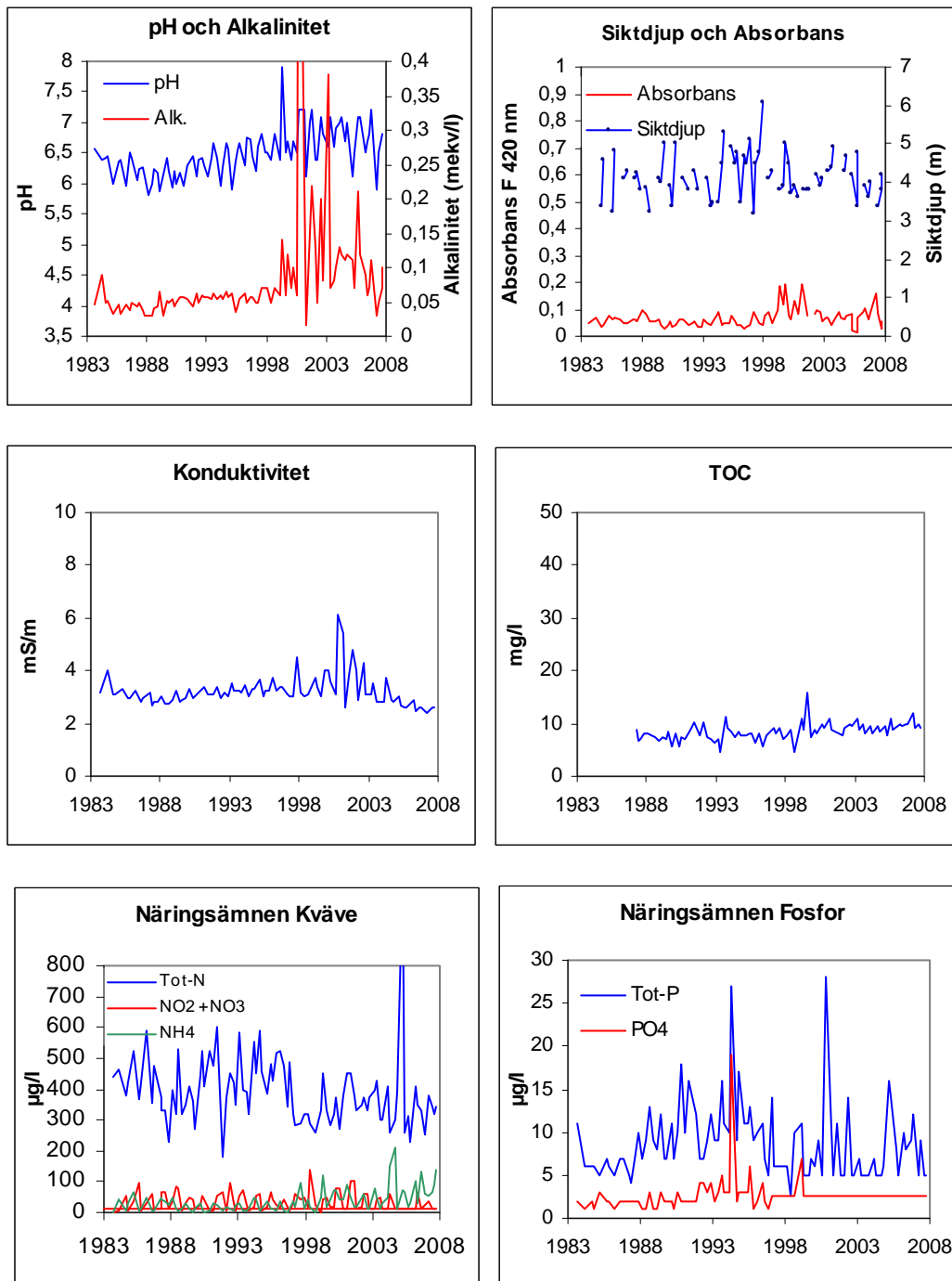
**Näringsämnen:** Hög status

**Siktdjup:** Hög status

**Syrgas:** Inga syrgasmätningar har gjorts

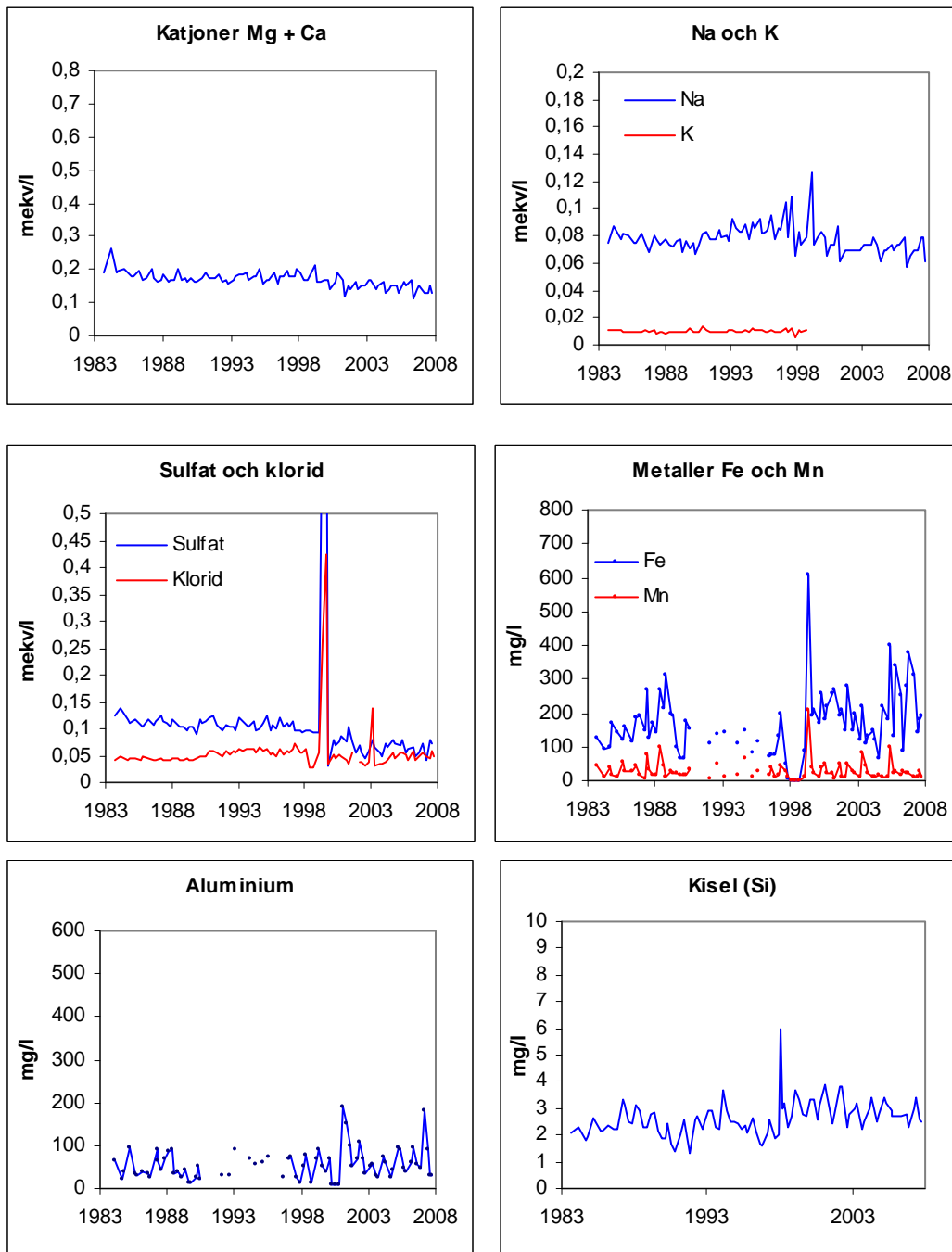
**Försurning:** Otillfredsställande status

## Märssjön



Figur 15. Tidsserier över vattenkemiska mätningar i Märssjön 1983-2008.

## Märrsjön



Figur 15. Forts. Tidsserier över vattenkemiska mätningar i Märrsjön 1983-2008.

## 7.5 Råksjön

Råksjön är en näringsfattig skogssjö med betydligt färgat vatten. Sjön ingår i Tämnaråns avrinningsområde och är belägen ca två mil nordost om Heby (Uppsala län). Status med avseende på försurning, siktdjup och näringsämnen bedöms som hög enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2007).

**Koordinater:** X 666115 Y 157117

**Möh, m:** 65

**Sjöyta, km<sup>2</sup>:** 1,15

**Omsättningstid, år:** 1,36

**Aro, km<sup>2</sup>:** 16,45

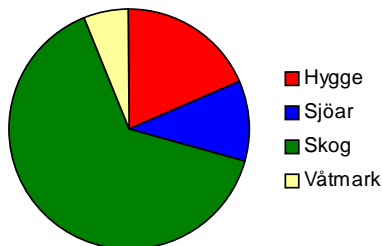
**Avrinning, m/år:** 0,204

**Medeldjup, m:** 4,3

**Maxdjup, m:** 10

**Näringsstatus:** Oligotrof

**Markanvändning i avrinningsområdet**



### Statusklassning

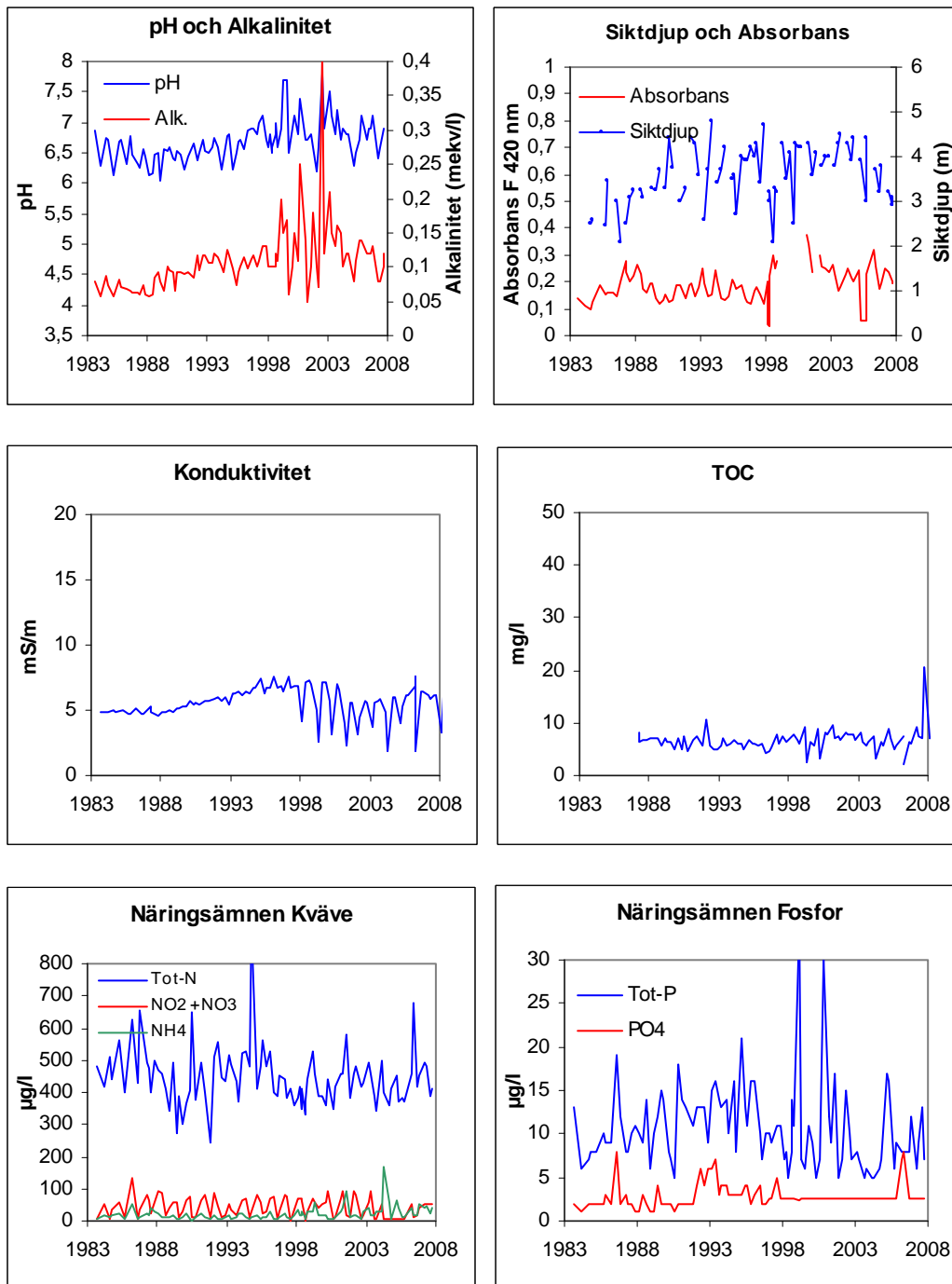
**Näringsämnen:** Hög status

**Siktdjup:** Hög status

**Syrgas:** Inga syrgasmätningar har gjorts i Råksjön

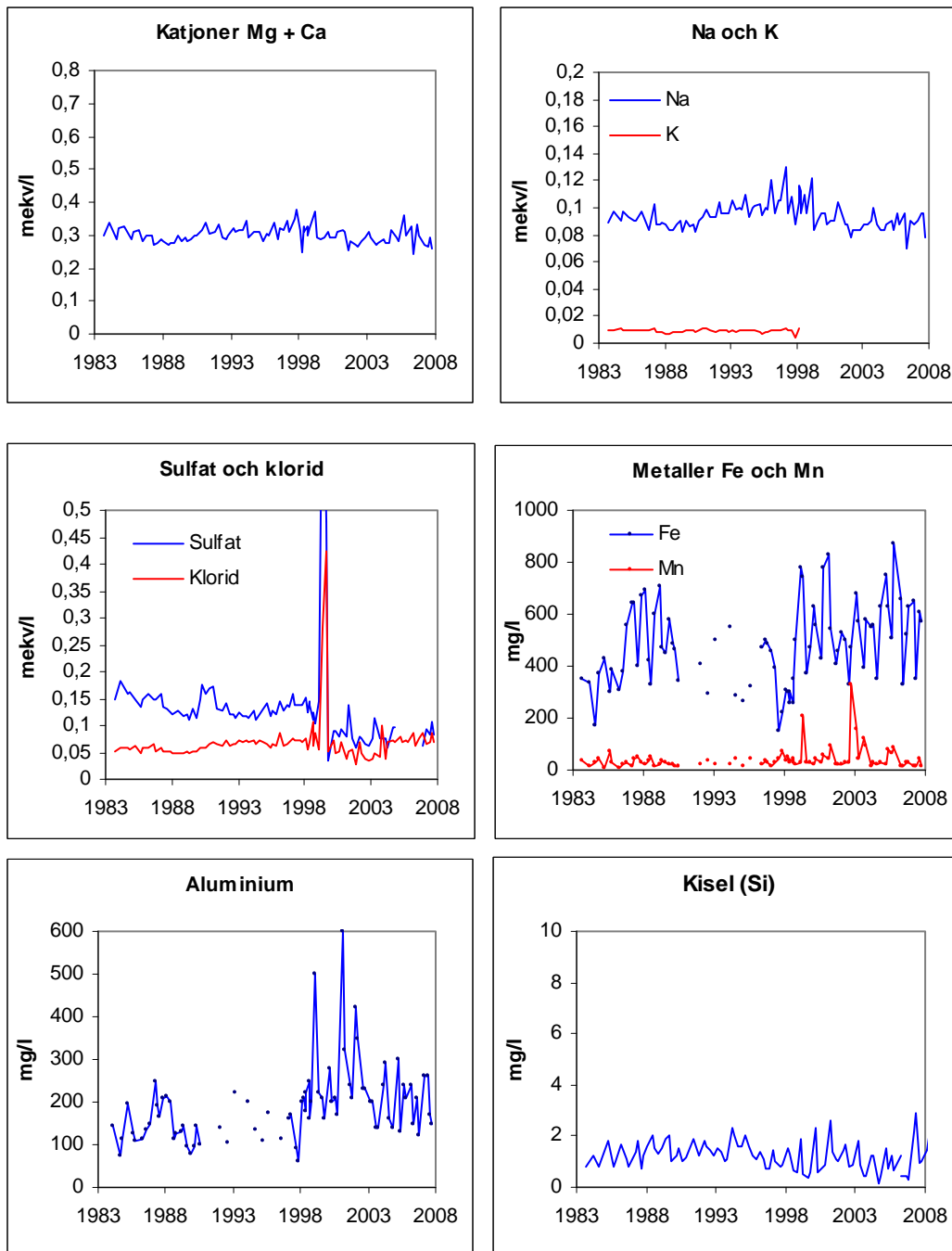
**Försurning:** Hög status

## Råksjön



Figur 16. Tidsserier över vattenkemiska mätningar i Råksjön 1983-2008.

## Råksjön



Figur 16. Forts. Tidsserier över vattenkemiska mätningar i Råksjön 1983-2008.

## 7.6 Gärsjöbäcken

Gärsjöbäcken är belägen i Sala kommun och Svartåns avrinningsområde. Bäcken har kraftigt humusfärgat vatten, lågt pH och alkalinitet och är påverkad av försurning. Halten av totalfosfor är låg, vilket enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder klassificerar status med avseende på näringsämnen som hög då medelvärde för de tre senaste åren används. Försurning enligt gällande bedömningsgrunder har inte kunnat göras då ingen matchning enligt MAGIC-modellen för försurningsbedömningar kunnat göras, men anses mycket surt enligt Naturvårdsverkets äldre bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

**Koordinater:** X 6644770 Y 1523700

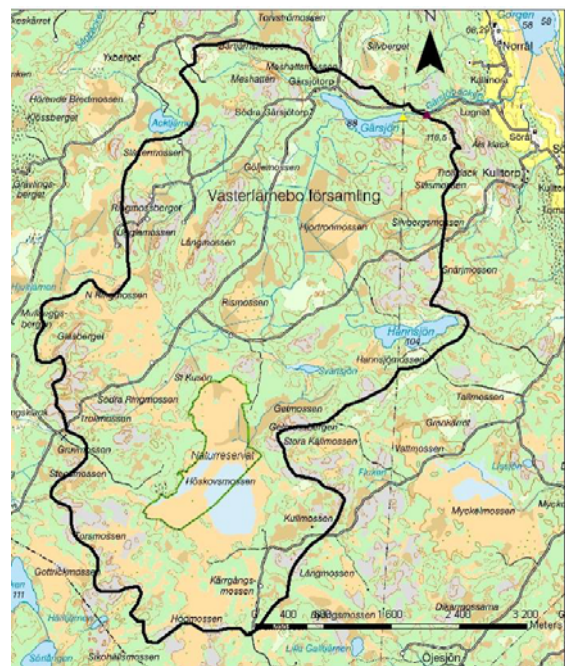
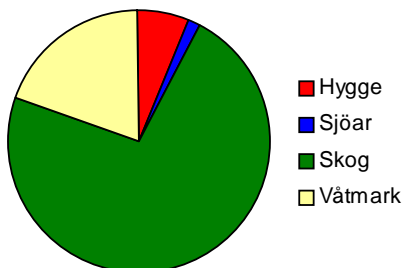
**Möh, m:** 95

**Aro, km<sup>2</sup>:** 21,86 (uppskattning)

**Djup, m:** 0,1-0,5

**Bredd, m:** 1-6

**Markanvändning i avrinningsområdet**

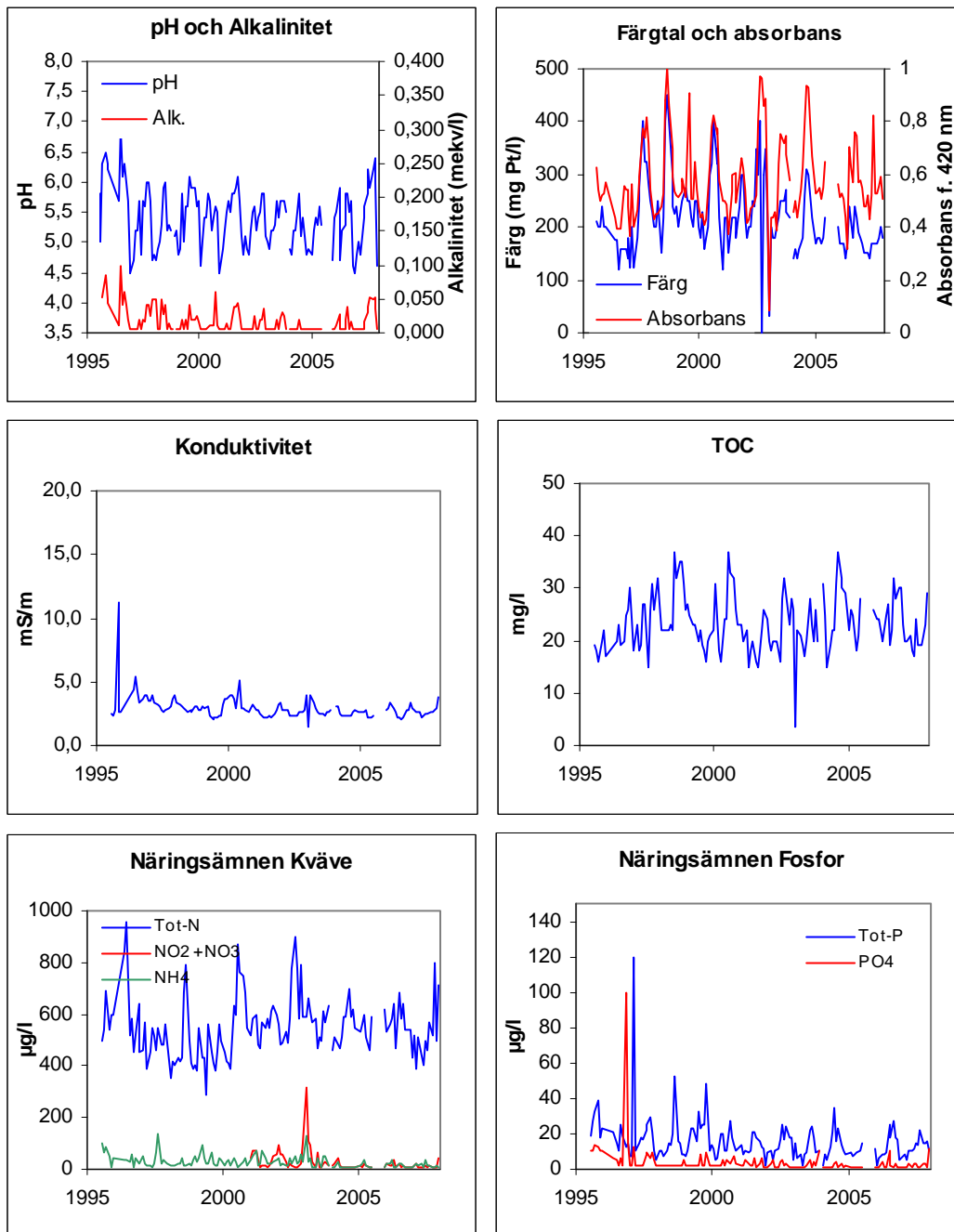


**Statusklassning**

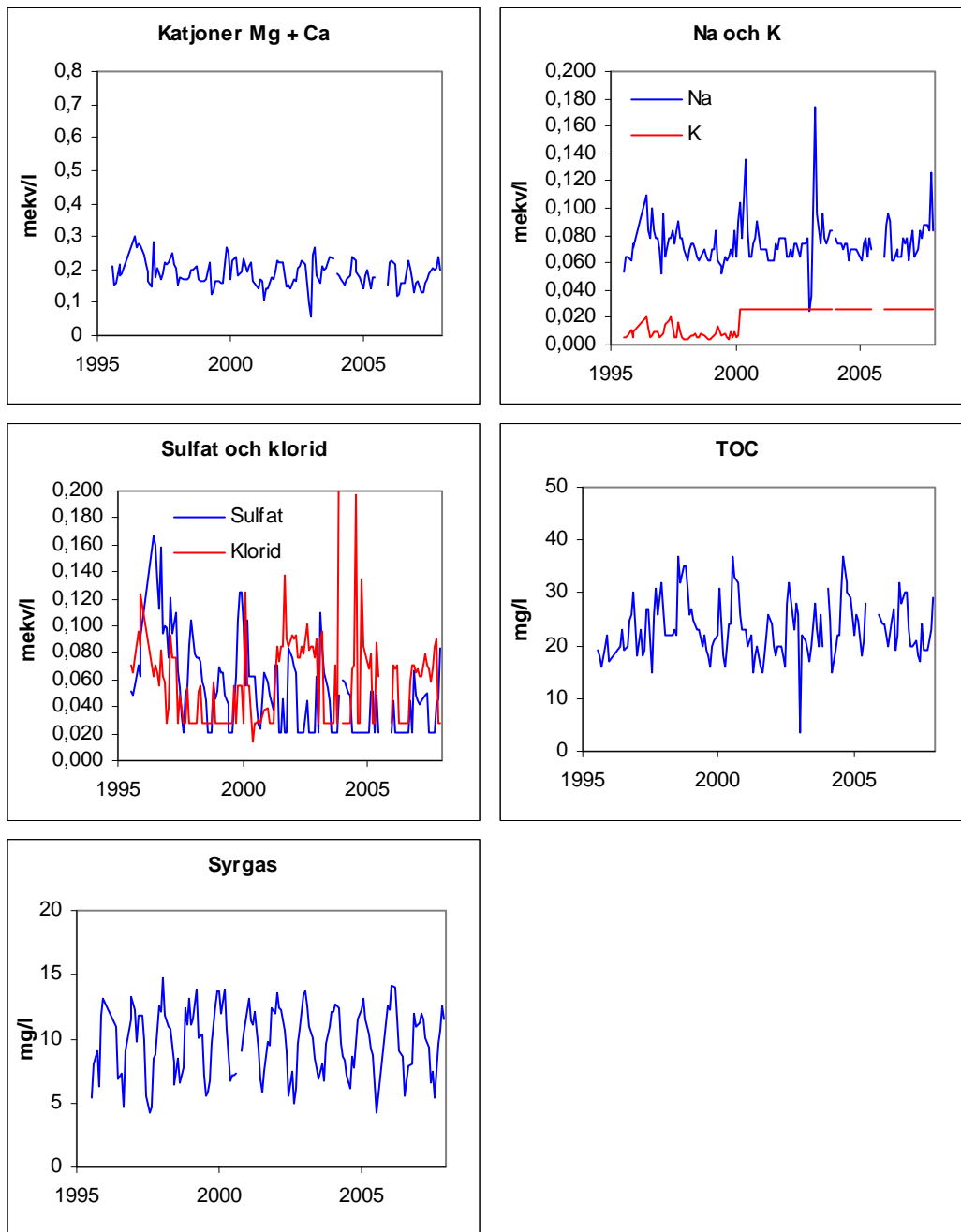
**Näringsämnen:** hög status

**Försurning:** Ingen matchning enligt MAGIC-modellen

## Gärsjöbäcken



Figur 17. Tidsserier över vattenkemiska mätningar i Gärsjöbäcken 1983-2008.



**Figur 17. Forts.** Tidsserier över vattenkemiska mätningar i Gärsjöbäcken 1983-2008.

## 7.7 Acksjön

Acksjön ligger i Sala kommun och Dalälvens avrinningsområde. Sjöns försurningstillstånd har ej kunnat bedömas med MAGIC-modellen, men kan anses måttlig sur enligt äldre bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999). Alkaliniteten är förhållandevis hög och vattenfärgen kan beskrivas som måttlig. Inga prover har analyserats med avseende på näringsämnen.

**Koordinater:** X 6666970 Y 1544540

**Möh, m:** 87

**Sjöyta, km<sup>2</sup>:** 0,065

**Omsättningstid, år:** ?

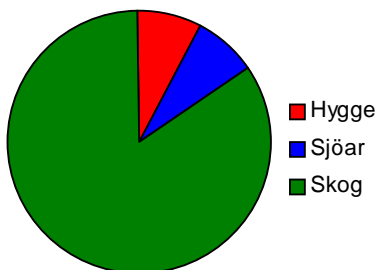
**Aro, km<sup>2</sup>:** 0,77

**Ar, m/år:** 0,247

**Medeldjup, m:** ej uppmätt

**Maxdjup, m:** ej uppmätt

**Markanvändning i avrinningsområdet**



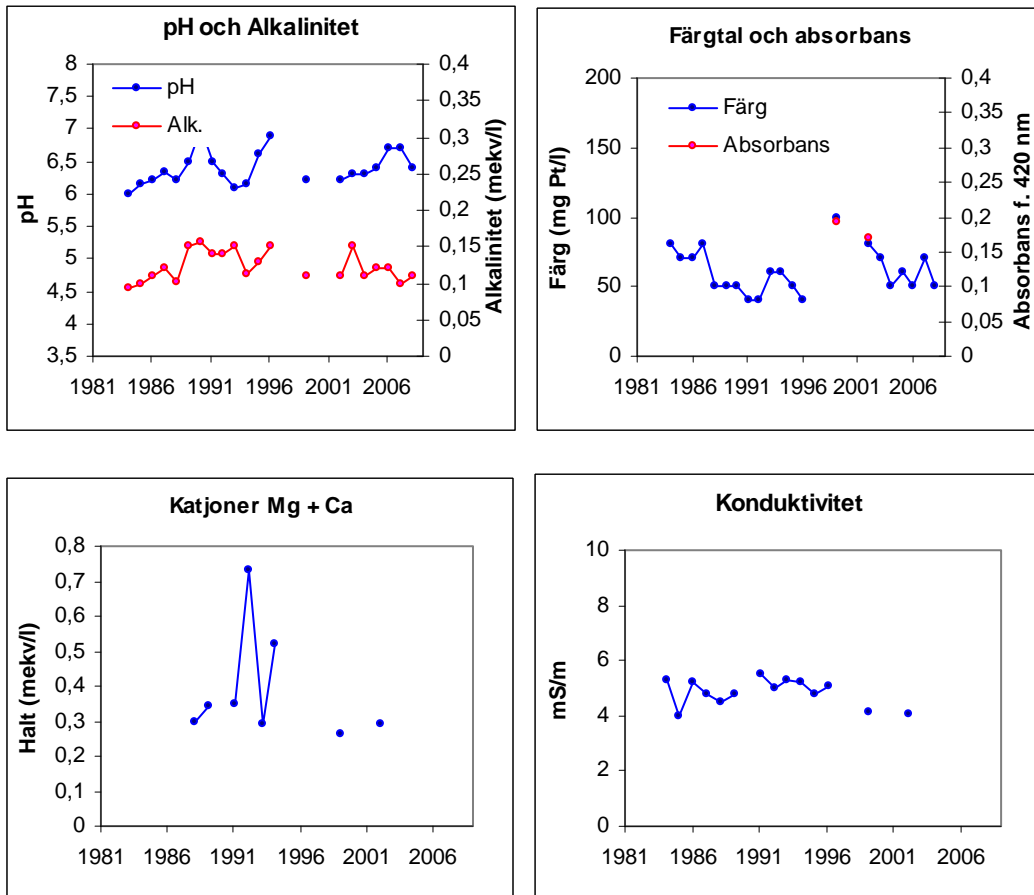
**Statusklassning**

**Näringsämnen:** Inga prover tagna på fosfor

**Siktdjup och syrgas:** Inga mätningar har gjorts i Acksjön.

**Försurning:** Ingen matchning enligt MAGIC-modellen

## Acksjön



Figur 18. Tidsserier i Acksjön

## 7.8 Bjursjön

Bjursjön ligger i Skinnskattebergs kommun och Hedströmmens avrinningsområde. Sjöns försurningstillstånd har ej kunnat bedömas med MAGIC-modellen, men kan anses svagt sur enligt äldre bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999). Alkaliniteten är förhållandevis hög och vattenfärgen kan beskrivas som måttlig. Inga prover har analyserats med avseende på näringsämnen.

**Koordinater:** X 663482 Y 148842

**Möh, m:** 172

**Sjöyta, km<sup>2</sup>:** 0,59

**Omsättningstid, år:** 1,99

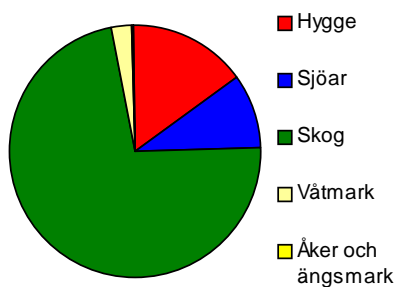
**Aro, km<sup>2</sup>:** 6,38

**Avrinning, m/år:** 0,315

**Medeldjup, m:** 6,8

**Maxdjup, m:** 33,0

**Markanvändning i avrinningsområdet**



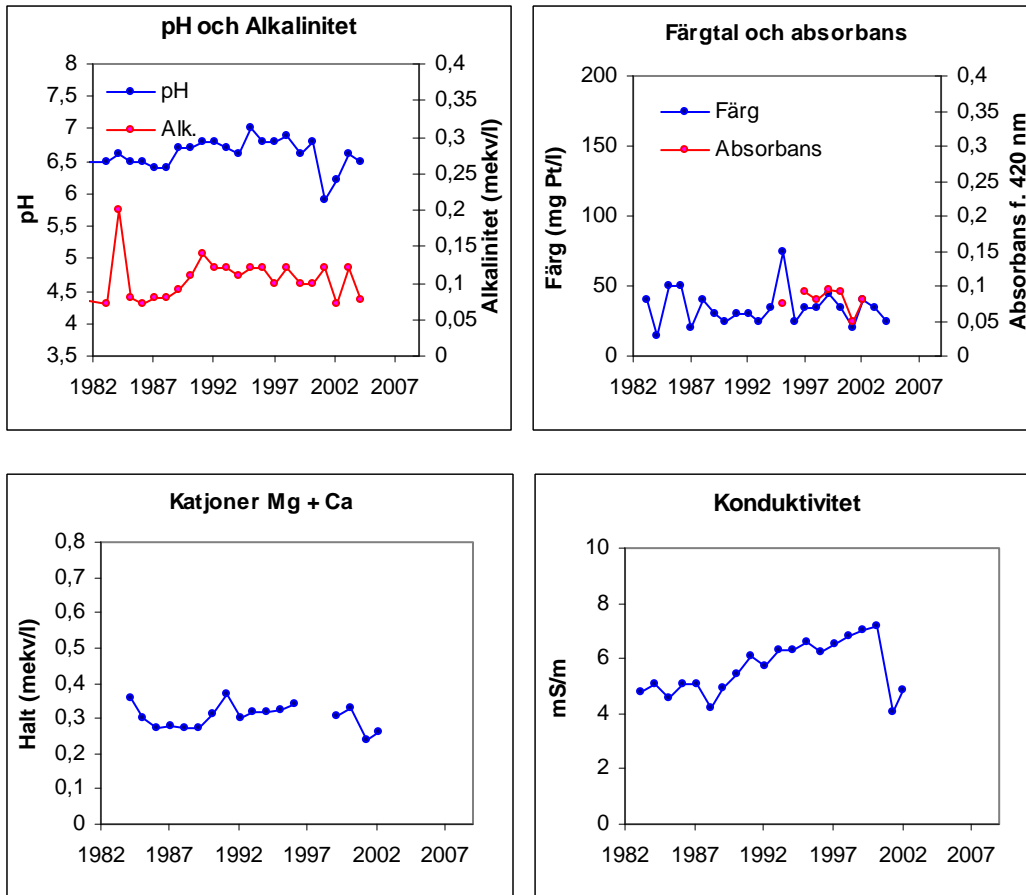
### *Statusklassning*

**Näringsämnen:** Inga prover tagna på fosfor

**Siktdjup och syrgas:** Inga mätningar gjorda i Bjursjön

**Försurning:** Ingen matchning enligt MAGIC-modellen

## Bjursjön



**Figur 19.** Tidsserier i Bjursjön

## 7.9 Gatjärnen

Gatjärnen ligger i Norbergs kommun och Kolbäckens avrinningsområde. Sjön är mycket sur och bedöms ha dålig status med prognosen otillfredsställande status för 2010 enligt MAGIC-modellen. Matchningen har dock gjorts med vattenkemiska mätningar av jonbalansen från 1995, varför bedömningen inte uppfyller kraven enligt bedömningsgrunderna. Sjöns pH är ändå påfallande lågt och ingen tydlig trend mot ökande pH har kunnat identifieras. Sjön har starkt humusfärgat vatten.

**Koordinater:** X 6658830 Y 1495710

**Möh, m:** 136

**Sjöyta, km<sup>2</sup>:** 0,05

**Omsättningstid, år:** 1,00

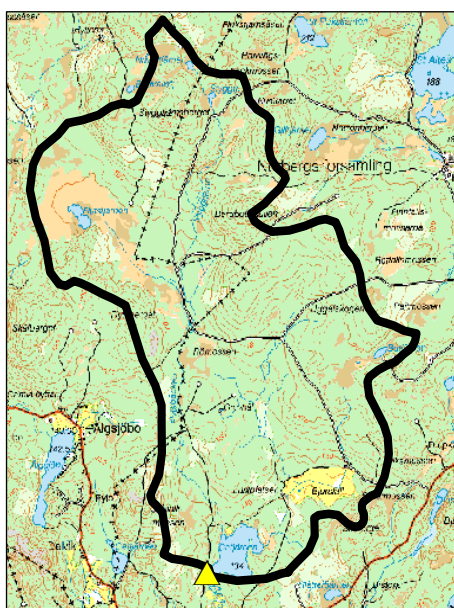
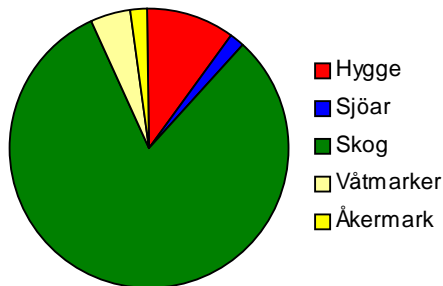
**Aro, km<sup>2</sup>:** 0,70

**Avrinning, m/år:** 0,286

**Medeldjup, m:** 4,4

**Maxdjup, m:** 12,1

**Markanvändning i avrinningsområdet**



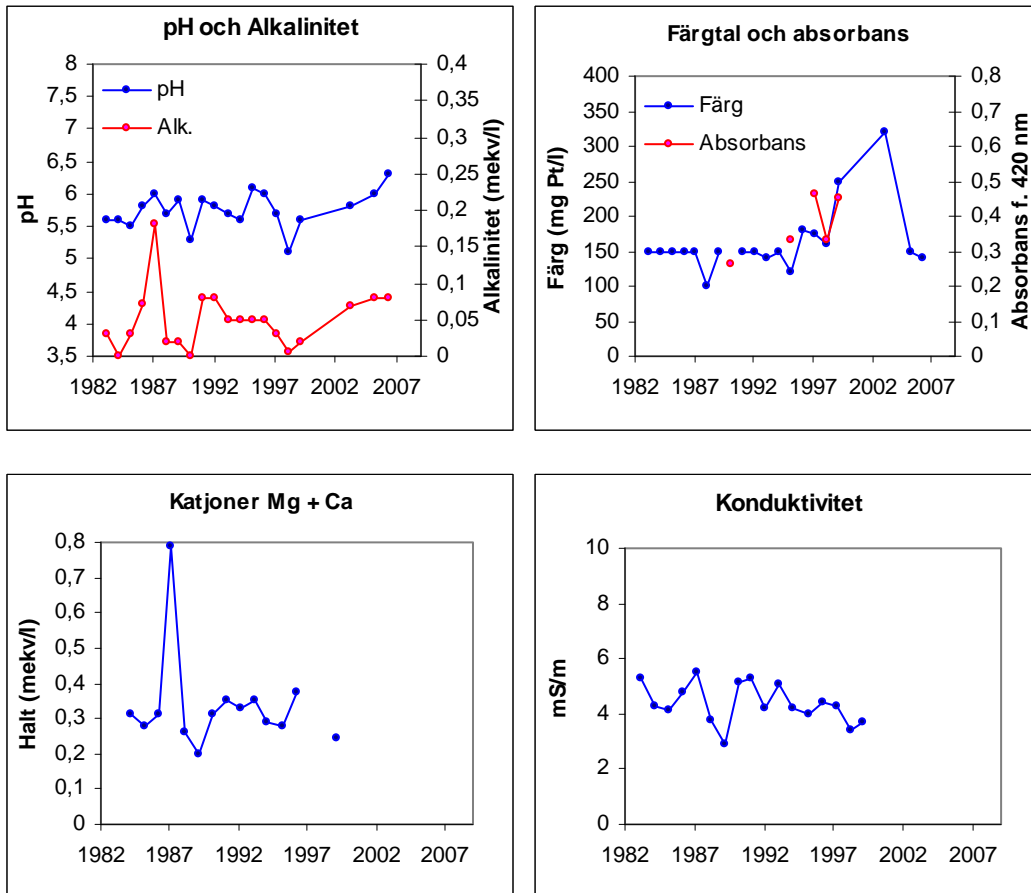
### Statusklassning

**Näringsämnen:** Inga prover tagna på fosfor

**Siktdjup och syrgas:** Inga mätningar har gjorts i Gatjärnen

**Försurning:** Dålig status enligt mätningar 1995. Prognos otillfredsställande status 2010 enligt MAGIC-modellen.

## Gatjärnen



Figur 20. Tidsserier i Gatjärnen.

## 7.10 Gryten

Gryten ligger i Surahammars kommun och Köpingsåns avrinningsområde. Sjön är svagt sur och bedöms ha måttlig status, med prognosen god status 2010 enligt MAGIC. Bedömningen har gjorts utifrån vattenkemiska mätningar 1995 och uppfyller därmed inte kraven enligt bedömningsgrunderna. Både pH och alkalinitet har däremot ökat under övervakningsperioden. Sjön har måttligt färgat vatten enligt äldre bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

**Koordinater:** X 661786 Y 151195

**Höh, m:** 69

**Sjöyta, km<sup>2</sup>:** 0,67

**Omsättningstid, år:** 2,14

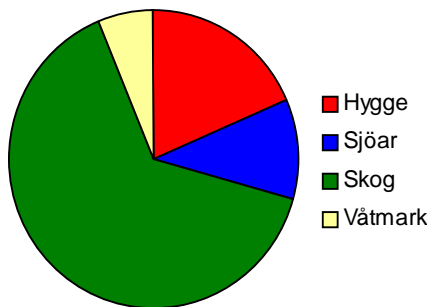
**Aro, km<sup>2</sup>:** 6,15

**Ar, m/år:** 0,252

**Medeldjup, m:** 5,0

**Maxdjup, m:** 11,8

**Markanvändning i avrinningsområdet**



### Statusklassning

**Näringsämnen:** Inga prover tagna på fosfor

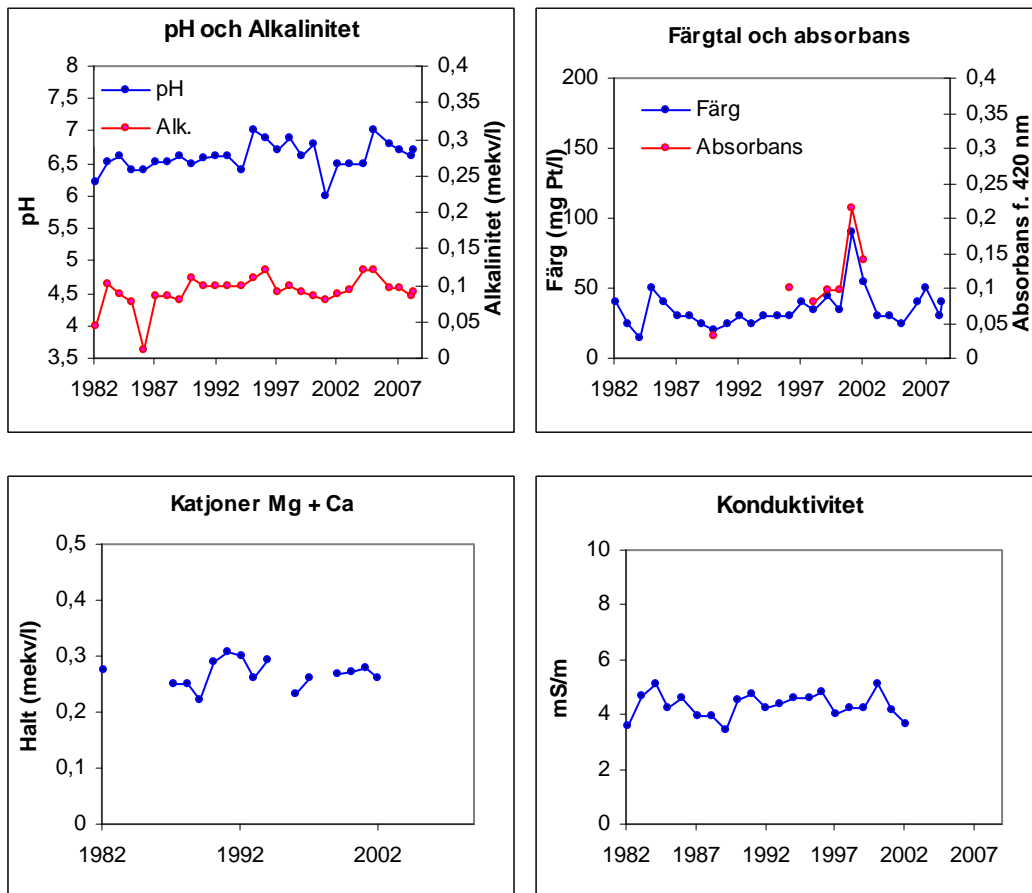
**Siktdjup och syrgas:** Inga mätningar gjorda i Gryten

**Försurning:** 1995 Måttlig status

Prognos för 2010 **God status**

Bedömning med MAGIC-modellen utifrån RI 1995

## Gryten



Figur 21. Tidsserier i Gryten.

## 7.11 Gärsjön

Gärsjön ligger i Sala kommun och Svartåns avrinningsområde. Sjön har kraftigt färgat vatten och är kraftigt försurningspåverkad. Status med avseende på försurning bedöms som dåligt enligt MAGIC-modellen. Mätningar tyder också på sjunkande pH-värde.

**Koordinater:** X 664473 Y 152341

**Sjöyta, km<sup>2</sup>:**0,16

**Omsättningstid, år:**0,06

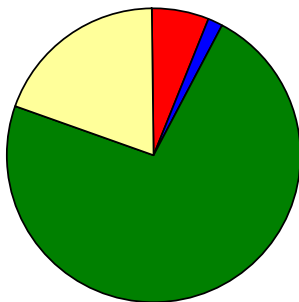
**Aro, km<sup>2</sup>:** 21,35

**Ar, m/år:** 0,268

**Medeldjup, m:** 2,3

**Maxdjup, m:**4,8

**Markanvändning i avrinningsområdet**



- Hygge
- Sjöar
- Skog
- Våtmark



### Statusklassning

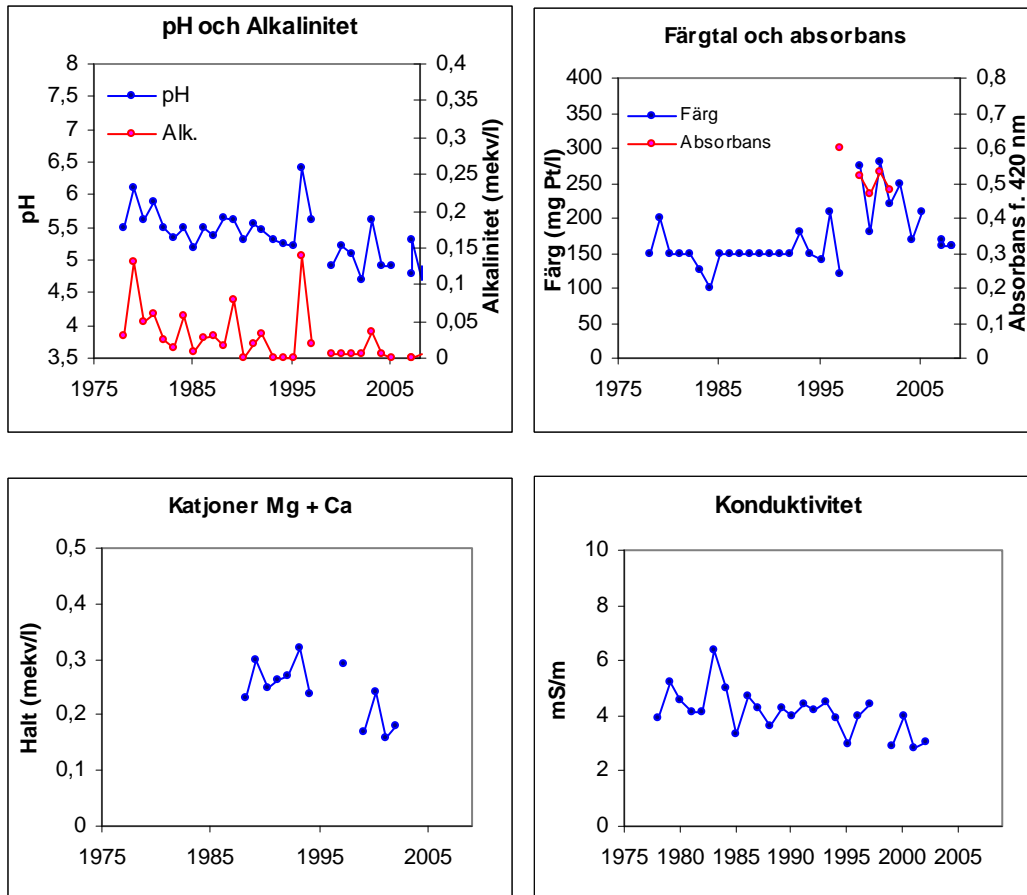
**Näringsämnen:** Inga prover tagna på fosfor

**Siktdjup och syrgas:** Inga mätningar gjorda i Gärsjön

**Försurning:** 1995 **Dålig status**

Prognos för 2010 **God status**

## Gärsjön



Figur 22. Tidsserier i Gärsjön.

## 7.12 Övertjärnen

Övertjärnen ligger i Skinnskattebergs kommun och Hedströmmens avrinningsområde. Övertjärnen kalkades senast 1985, vilket gjorde att pH och alkalinitet ökade markant året därpå. Under 1990-talet beslutades att sjön skulle lämnas okalkad för att återförsuras och fungera som ett referensobjekt för kalkningsverksamheten. Både pH och alkalinitet har sjunkit drastiskt sedan dess. Från slutet av 1970-talet, innan sjön kalkades, finns mätningar som visar på mycket låga pH-värden. De vattenkemiska och biologiska undersökningar som har gjorts på senare år bekräftar att försurningssituationen i Övertjärnen idag kan jämföras med hur förhållandena var innan sjön kalkades. Sjön har ej kunnat bedömas enligt MAGIC-modellen, men bör anses mycket sur. Vattnet kan anses måttligt färgat.

**Koordinater:** X 663862 Y 148516

**Höh, m:** 228

**Sjöyta, km<sup>2</sup>:** 0,26

**Omsättningstid, år:** 1,71

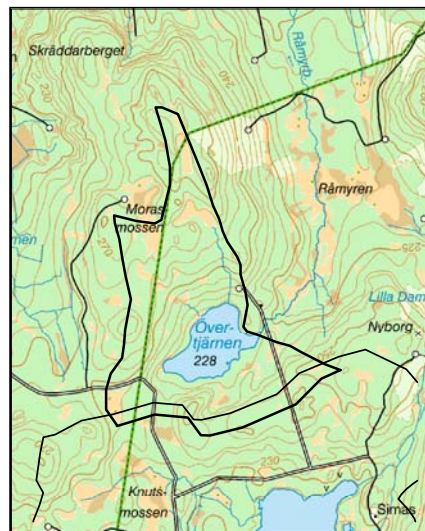
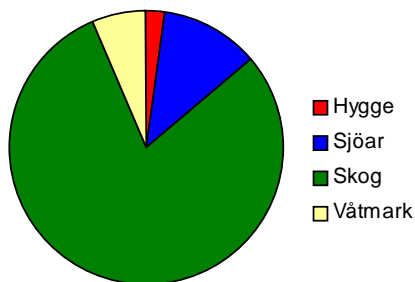
**Aro, km<sup>2</sup>:** 2,40

**Ar, m/år:** 0,317

**Medeldjup, m:** 5,0

**Maxdjup, m:** 17,0

**Markanvändning i avrinningsområdet**



### Statusklassning

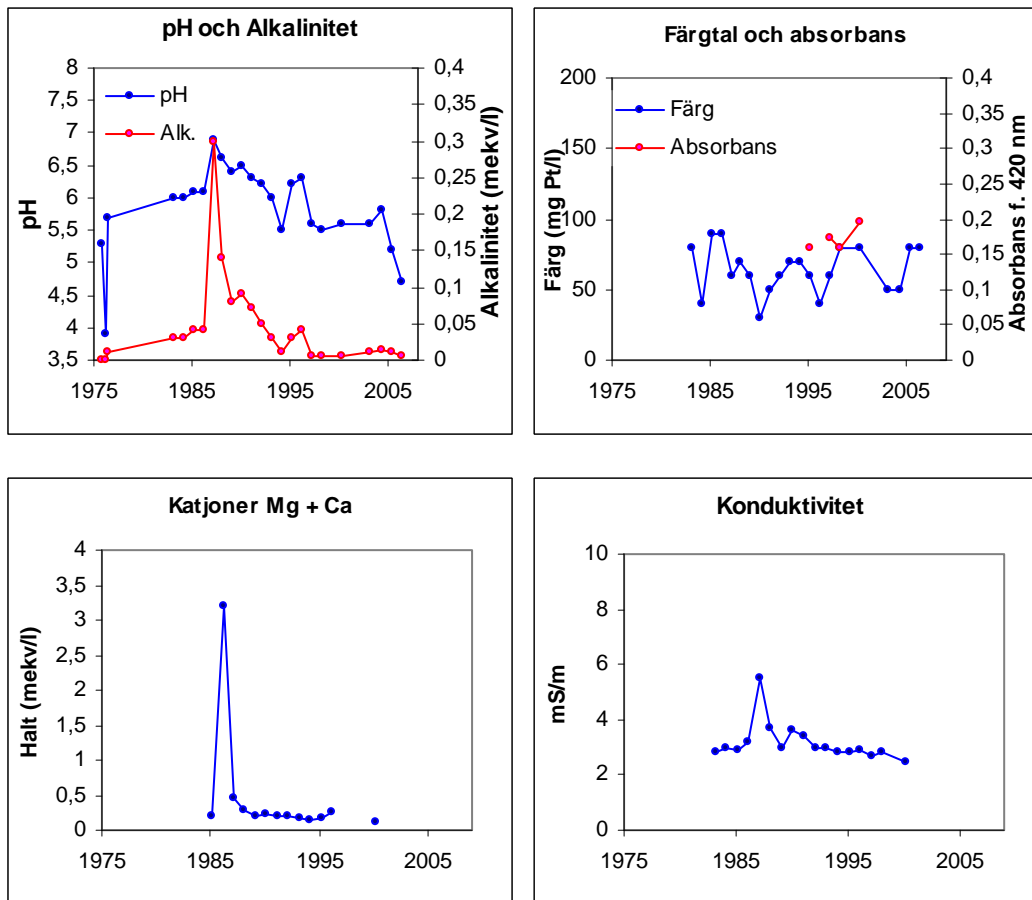
**Näringsämnen:** Inga prover tagna på fosfor

**Siktdjup och syrgas:** Inga mätningar gjorda i Övertjärnen

**Försurning:**

Ingen matchning enligt MAGIC-modellen

## Övertjärnen



Figur 23. Tidsserier i Övertjärn.

## 8 Referenser

- Abrahamsson, I. 2005. Referensvatten i Västra Götalands län – beskrivningar och trender. Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Rapport 2005:14.
- Brandt, M., Ejhed, H. och Rapp, L. 2008. Näringsbelastning på Östersjön och Västerhavet 2006. Sveriges underlag till HELCOMs femte pollution load compilation. Rapport 5815, Naturvårdsverket.
- Fölster, J. och Wilander, A. 2002. Förändringar i vattenkemin i svenska vattendrag under 30 år. Institutionen för miljöanalys, SLU. Rapport 2002:21.
- Hellsten, S., van Loon, M., Tarrason, L., Vestreng, V., Torseth, K., Kindbom, K. och Aas, W. 2007. Base cation deposition in Europe. IVL report B1722.
- Johansson, L. 2003. Utvärdering av långsiktiga trender i Mälaren - *En studie av råvattenkvalitet vid Lovö vattenverk 1935-2002*. Stockholm vatten, Rapport 2003:23
- Hedré, A. 2005. Referensvatten Kronobergs län 2005. Länsstyrelsen i Kronobergs län. Rapport 2005:03.
- Kalén, V. 2007. Varför blir skånska sjöar och vattendrag brunare? Länsstyrelsen i Skåne län. Rapport.
- Löfgren, S. 2000. Vägsaltets effekter på mark- och vattenkemin i små skogsområden i sydöstra Sverige. Vägverkets publikation 2000:35. ISSN 1401-9612.
- Löfgren, S., Forsius, M, och Andersen, T. 2004. Vattens färg. Klimatbetingad ökning av vattens färg och humushalt i nordiska sjöar och vattendrag. Institutionen för miljöanalys, SLU.
- McLeod, A.I. (2009). Kendall: Kendall rank correlation and Mann-Kendall trend test. R package version 2.1. <http://CRAN.R-project.org/package=Kendall>
- Moldan, F., Manngård, B. och Westling, O. 2001. Återhämtning av försurad skogsmark med olika uttag av biomassa. IVL-rapport B1424.
- Naturvårdsverket 1996. Naturvårdsverkets handledning för miljöövervakning, undersökningstyper programområde sötvatten:  
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Tillstandet-i-miljon/Miljoovervakning/Handledning-for-miljoovervakning/Metoder/Undersokningstyper/Undersokningstyp-Sotvatten/>

- Naturvårdsverket 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet – Sjöar och Vattendrag. Naturvårdsverket. Rapport 4913.
- Naturvårdsverket 2002. Kalkning av sjöar och vattendrag. Handbok 2002:1.
- Naturvårdsverket 2007. Status, potential och kvalitetskrav för sjöar, vattendrag, kustvatten och vatten i övergångszon. En handbok om hur kvalitetskrav i ytvattenförekomster kan bestämmas och följas upp. Handbok 2007:4
- Nettelblad, A. 2007. För Västmanlands läns luftvårdsförbund. Övervakning av luftföroreningar i Västmanlands län. Resultat till och med september 2006. IVL rapport B1735.
- R Development Core Team 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österrike. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- Skjelkvåle, B.L, Mannio, J., Wilander, A. och Andersen, T. 2001. Recovery from acidification of lakes in Finland, Norway and Sweden 1990–1999. Hydrology and Earth System Sciences, 5(3), 327-337.
- Wilander, A., Johnson, R.K. och Goedkoop, W. 2003. Riksinventeringen 2000 – En synoptisk studie av vattenkemi och bottenfauna i svenska sjöar och vattendrag. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för miljöanalys. Rapport 2003:1.
- Åkerblom, S. och Johansson, K. (2008). Kvicksilver i svensk insjöfisk – variationer i tid och rum. Institutionen för Miljöanalys, SLU, Rapport 2008:8.

## Bilaga 1

### Parametrar

#### Konduktivitet och joner

Konduktivitet (ledningsförmåga) är ett mått på den totala halten av lösta joner i vattnet och mäts i enheten siemens per meter. Ju högre koncentration av lösta joner i ett vatten desto lättare leder det elektricitet, d v s desto högre konduktivitet har vattnet. De ämnen som bidrar mest till konduktiviteten är kalcium, magnesium, natrium, kalium, klorid, sulfat och vätekarbonat. Konduktiviteten ger information om mark- och bergrundsförhållandena i tillrinningsområdet. Den kan i en del fall också vara en bra indikator på utsläpp.

#### Anjoner

Till de dominerande anjonerna (negativt laddade joner) räknas vanligen  $\text{HCO}_3^-$ , Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) och kloridjonen ( $\text{Cl}^-$ ). Vätekarbonatjonen behandlas i huvudsak i avsnittet om alkalinitet. Kloridjonen kommer nästan uteslutande från atmosfärtransporterat havssalt men i områden under högsta kustlinjen kan även urlakning ske från marina sediment. Sulfat tillförs sjöar främst via atmosfäriskt försurande svavelsyra. Utöver det sker tillförsel från vittring och urlakningsprocesser i marken och i kustnära områden deponeras även sulfat via saltspray från havet.

#### Katjoner

Vittringsprocesser i marken frigör metalljoner; i första hand kalcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) natrium ( $\text{Na}^+$ ) och kaliumjoner ( $\text{K}^+$ ). Dessa positivt laddade joner fungerar i vissa sammanhang som basiska ämnen då de i marken absorberas av humusämnen och lerpartiklar som har negativt laddade ytor. Vid markförsurning förtränger vätejonerna kationerna så att det blir förhöjda halter i vattnet, men vid långvarig försurning kan halterna av katjoner komma att avta eftersom de lättlösliga katjonerna lakats ut helt ur marken och ersatts av väte- och aluminiumjoner.

### Försurning

#### Alkalinitet

Alkaliniteten ger information om vattnets buffrande kapacitet d.v.s. förmågan att motstå försurning. Alkaliniteten mäts i mekvivalenter per liter som är ett mått på vattnets innehåll av syraneutraliserande ämnen vilket främst utgörs av karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) och vätekarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Om alkaliniteten är  $> 0,20$  mekv/l ger det en mycket god buffertkapacitet,

0,05-0,10 svag buffertkapacitet och  
< 0,02 ingen eller obefintlig buffertkapacitet.

## pH

pH- värdet är lika med den negativa logaritmen av vätejonkoncentrationen i mol. Med andra ord så är pH ett direkt mått på vattnets surhet. Ju högre vätejonkoncentrationen är desto lägre pH. Eftersom skalan för pH är logaritmisk innebär det att pH 6 är tio gånger surare och pH 5 är 100 gånger surare än pH 7. Normala pH värden i sjöar och vattendrag är oftast 6-8. Vid pH-värden under ca 6,0 uppstår biologiska störningar som nedsatt fortplantningsförmåga hos vissa fiskarter, utslagning av känslig bottenfauna m.m. Låga pH-värden ökar dessutom många metallers löslighet och därmed giftighet i vattnet.

## **Syrehalt**

Syrehalt (mg/l) anger den mängd syre som är löst i vattnet. Vattnets förmåga att lösa syre minskar med ökad temperatur och ökad salthalt. Syrebrist kan uppstå i bottenvattnet i sjöar med hög humushalt, vid kraftiga algbloomningar eller vid utsläpp av syreförbrukande ämnen. Lägre syrehalter än 4 mg/l är inte gynnsamma för många fiskarter.

## **Näringsämnen**

### Totalfosfor och fosfatfosfor

Totalfosfor ( $\mu\text{g/l}$ ) kan vara organiskt bundet eller i form av fosfat. Fosfor är i allmänhet det tillväxtbegränsande näringsämnet och i alltför stor mängd kan det leda till algbloomning, vattendrag som växer igen och att syrebrist uppstår. Totalfosfor som är < eller = 12,5 ger låga halter. 25-50 ger höga halter och > 100 extremt höga halter.

Fosfatfosfor ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) är den oorganiska formen av fosfor som kan tas upp direkt av växterna.

### Totalkväve och nitratkväve

Totalkväve ( $\mu\text{g/l}$ ) kan vara organiskt bundet eller i form av lösta salter främst nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) och ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).

Totalkväve som är < eller = 300 ger låga halter, 625-1250 ger höga halter och > 5000 extremt höga halter.

Nitrat är den viktigaste närsaltskomponenten som direkt kan tas upp av växtplankton och högre växter. Nitrat är lätttröligt i marken och tillförs sjöar och vattendrag genom s.k. markläckage.

## TOC

TOC totalt organiskt kol (mg/l) ger information om halten av organiska ämnen. TOC-halterna ligger i intervallerna 2-5 mg/l för näringsfattiga klarvattensjöar, 5-15 mg/l för humösa sjöar och 5-15 mg/l för näringsrika sjöar.

## **Ljus**

### Färgtal och absorptions

Färgtalet är främst ett mått på vattnets innehåll av humus och järn.

Färgtal < eller = 10 betyder ej eller obetydligt färgat vatten, 25-60 ger måttligt färgat vatten och > 100 starkt färgat vatten.

## **Metaller och kisel**

### Järn och Mangan

Omsättningen av järn och mangan i sjöar regleras huvudsakligen av vattnets oxidation- och reduktionsförhållanden. Följaktligen kan kraftiga säsongsvariationer förekomma.

### Aluminium

Aluminium går i lösning i sur miljö. Humösa sjöar kan dock ha en naturligt hög halt. Förekomsten av aluminiumjoner är mycket starkt kopplad till pH och är försumbar i intervallet pH 6,0-8,5.

### Kisel

Kisel är ett av jordens vanligaste grundämnen och har störst betydelse för kiselalgernas produktion. Kiselalgernas upptag kan kraftigt reducera koncentrationen av kisel under vår och höst.

**Ingår i Länsstyrelsen rapportserie**  
**ISSN 0284 - 8813**

**Har du frågor, önskar fler exemplar m m, kontakta**  
**Länsstyrelsen i Västmanlands län, 721 86 Västerås**  
**Tel 021-19 50 00 | Fax 021-19 51 35 | E-post [lansstyrelsen@u.lst.se](mailto:lansstyrelsen@u.lst.se)**  
**[www.vastmanland.lst.se](http://www.vastmanland.lst.se)**