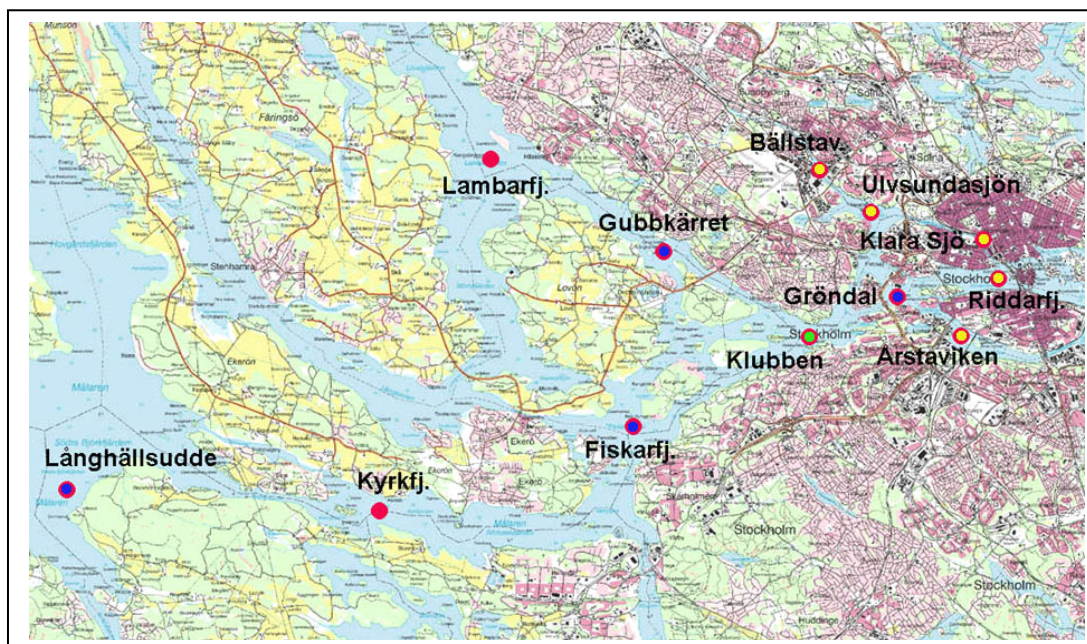


2010-08-23
Dnr 10SV711

Undersökningar i Östra Mälaren till och med 2009



Christer Lännergren / LU

INNEHÅLL

Sammanfattning	
Provtagningsprogram	1
Flöden och nivåer	3
Temperatur	5
Konduktivitet, alkalinitet och pH	7
Syre	10
Fosfor och kväve	12
Kisel	18
Klorofyll <i>a</i> och siktdjup	19
Bakterier	22
Vattenverken, råvatten.....	23

Bilaga 1. Halter i Mälarens utflöde genom Norrström

Sammanfattning

Stockholm Vatten har bedrivit regelbundna undersökningar av vattenkvaliteten i Östra Mälaren sedan 1967. Programmet modifierades senast 2008, då antalet provpunkter minskades från 12 till 8. Undersökningarna omfattar fysikalisk/kemiska parametrar, bakterier samt klorofyll *a* och planktonalger.

Regleringen av Mälaren, som påbörjades 1943, har resulterat i minskade nivåvariationer, främst betydligt lägre nivåer under våren än under oreglerade förhållanden. Under 2000-talet har flödena under vintermånaderna ökat pga högre lufttemperatur och vårfloden har minskat eller helt uteblivit. Temperaturen i ytvattnet har ökat under sommaren, under de senaste 30 åren med ca 2°C, medan bottenvattnet vid de djupare lokalerna blivit ca 1°C kallare pga stabilare skiktning.

Ytvattnets saltinnehåll (som konduktivitet) har inte visat någon genomgående förändring utan har varierat med flödet, liksom alkaliniteten med de högsta höga värdena vid låga flöden. Värdena har varit betydligt högre i den norra än i den södra grenen av Östra Mälaren.

Ytvattnet är vanligen övermättat med syre under vår och sommar och undermättat under höst och vinter. Syremättnaden har i allmänhet minskat något, minskningen har varit stor i Klara Sjö. Fördelningen av låga halter med djupet har inte visat någon tydlig förändring. Syreminskningshastigheten på de största djupen har efter 2000 varit något lägre än tidigare vid Klubben och i Kyrkfjärden medan hastigheten har ökat i Kyrkfjärden.

Halterna av fosfor och kväve minskade från början av 1980- till början av 1990-talet, huvudsakligen pga överföring av Brommaverkets utsläpp från Mälaren till Saltsjön. Variationer av ytvattnets innehåll har efter överföringen huvudsakligen berott på förändringar av storleken på flödet genom Mälaren. och stora flöden 2005 – 2009 har medfört ökande halter i ytvattnet. Bottenvattnet innehåller höga halter av fosfatfosfor och ammoniumkväve vid låga syrehalter. Halterna har ökat kraftigt i Kyrkfjärden, där perioden med låga syrehalter blivit längre.

Under sommaren förekommer fosfatfosfor normalt i så låga halter i de öppna delarna av Östra Mälaren att fosforbrist begränsar planktonalgernas produktion. Efter överföringen av Brommaverkets utsläpp har även halterna av oorganiskt kväve tidvis varit mycket låga. Kiselhalterna har bara undantagsvis, och inte efter 1997, varit så låga att kiselbrist varit en sannolik begränsande faktor.

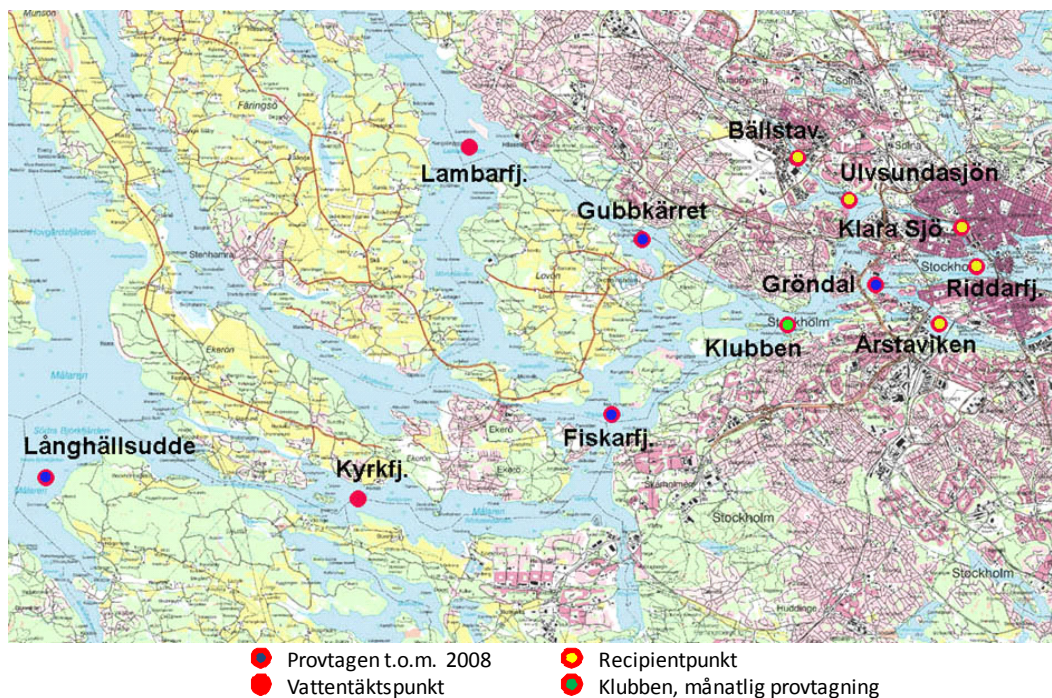
Klorofyllhalterna minskade efter Brommaverkets överföring, särskilt under sommaren, men har åter ökat de senaste fem åren. Siktdjupet har samtidigt försämrats och har nära halverats i Kyrkfjärden och Riddarfjärden. Bakterietalen har varierat utan tendens, otjänligt badvatten har främst förekommit i Klara Sjö och Bällstaviken.

Analyser av råvattnet vid Lovö och Norsborg visar stora skillnader mellan de två verken, främst med avseende på konduktivitet och alkalinitet som är högre vid Lovö, och turbiditet som vanligen är högre vid Norsborg. Stora flöden genom Mälaren 2000-2001 orsakade en kraftig ökning av färg och turbiditet och en mindre ökning av TOC. Värdena minskade fram till 2003-2005 har därefter ökat något.

Christer Lännergren/LU
 Stockholm Vatten
 Tel direkt: 08 5221 2454
 christer.lannergren@stockholmvatten.se

2010-08-23

Undersökningar i Östra Mälaren till och med 2009



Figur 1. Provtagningspunkter i Östra Mälaren.

Provtagningsprogram

Provtagningsprogrammet för Östra Mälaren har sitt ursprung i ett program från 1967. Programmet har upprepade gånger modifierats, senast 2008 då antalet provtagningspunkter minskades från 12 till 8 (Fig 1). Det nuvarande programmet innehåller två vattentäktspunkter belägna nära vattenverkens intag och sex recipientpunkter. Sammanställningen av resultaten till och med 2009 behandlar resultaten från de åtta återstående provtagningspunkterna. Rådata har inte bilagts men finns tillgängliga (även från övriga punkter t.o.m. år 2008) i Stockholm Vattens databas.

Proverna tas från ytan till botten, som tätast på var 4:e meter med undantag av Bällstaån och Klara Sjö, där proverna tas på 0 och 2 respektive 0 och 3 m djup. Provtagningarna görs 7 gånger per år utom vid Klubben där proverna tas 12 gånger. Mätningarna och analyserna omfattar följande:

Siktdjup	Kisel	Vid vattentäktspunkterna dessutom
Temperatur	TOC	Alkalinitet
Konduktivitet	Klorofyll	pH
Syre	Plankton	Lukt
Fosfor (total, fosfat)	Bakterier	
Kväve (total, nitrit+nitrat, ammonium)		

Det fullständiga programmet återfinns på nästa sida.

[illegible]

Flöden och nivåer

Östra Mälaren består av två kanalliknande grenar som förenar sig vid Klubben och sedan fortsätter genom Essingefjärden och Riddarfjärden. Nästan hela utflödet går genom Stockholm via Norr- och Söderström, en mindre del via kulvertar vid Skanstull och i Södertälje.

Storleken på flödena beror på öppningsgraden och på nivåskillnaden mellan Mälaren och Saltsjön, som vid medelvattenstånd är 67 cm. Kapaciteten är störst i Norrström under Riksbron och liten i kulvertarna i Hammarby- och Södertäljeslussen (Tab 1). Avtappning via kulverten i Hammarbyslussen kan ändå spela stor roll för vattenutbytet i Årstaviken och Hammarby Sjö – i Årstaviken blir uppehållstiden med öppen kulvert 18 dagar och i Hammarby Sjö bara knappt 4 dagar.

Tabell 1. Maximal avbördningskapacitet (m^3/s) i utskoven i Stockholm och Södertälje.

Riksbron	200
Stallkanalen	100
Avtappningskanalen KarlJohan	120
Slussen KarlJohan	140
Kulvert Skanstull	5
Hammarbyslussen	70
Kulvert Södertälje	5
Södertäljeslussen	70

Regleringen av Mälaren sker främst med dammluckorna under Riksbron och i Stallkanalen. Båda luckorna har bytts ut under senare år och är tätare än tidigare. Luckan i Stallkanalen har också flyttats från uppströms Riksbron till ett läge längre nedströms mellan Riksbron och Norrbro. Den nya luckan kan regleras steglöst, men har ställts antingen helt öppen eller stängd med ett litet flöde över krönet (ca $0,035 \text{ Mm}^3/\text{d}$) för att hindra skräp att samlas i kanalen. De tätare luckorna och en tätskärm genom Helgeandsholmen har reducerat läckflödet från ca 12 till ca $3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Regleringen följer den rutin som bestämdes i vattendom 1966¹ (Tab 2).

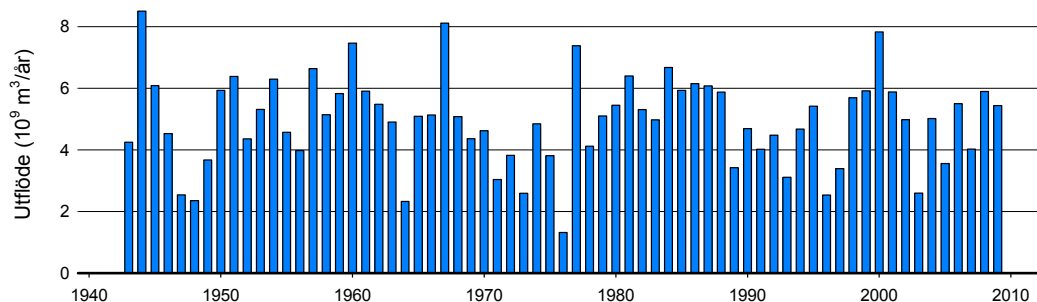
Tabell 2. Mälarens reglering, öppning av utskoven vid olika nivåer i Mälaren angivna som meter över slusströskeln. I bestämmelserna ingår även tätning av luckorna vid nivå 4,05 m och lägre. Genom att de nya luckorna är så pass täta har detta inte längre någon praktisk betydelse.

Nivå, meter över slusströskeln	
<4,10	Samtliga utskov stängda
4,10 – 4,20	Regleringen styrs mot en nivå av 4,15 m
>4,20	Dammluckorna under Riksbron och i Stallkanalen helt öppna
>4,25	Avtappningskanalen KarlJohan och Kulverten Skanstull helt öppna
>4,50	Slussen KarlJohan helt öppen
>4,60	$70 \text{ m}^3/\text{s}$ tappas genom vardera Hammarby- och Södertäljeslussen

Inför förväntade stora flöden, främst på våren, kan nivån sänkas till som lägst 4,00 m. Vid mycket höga nivåer kan vatten även förtappas ner till 4,40 m genom Hammarby- och Södertäljeslussen. Rutinerna kan temporärt ändras vid arbeten som påverkas av tappningen, t.ex. när en tätskärm byggdes genom Helgeandsholmen i början av 2000-talet och under renoveringen av Norrbro 2008-2009.

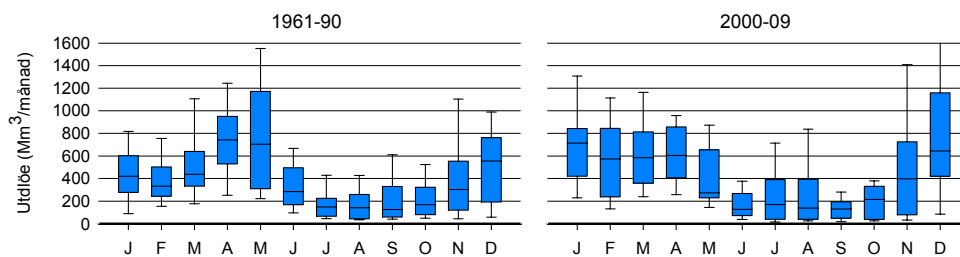
¹ AD 122/62, förändring av tidigare domar: AD 68/39 (1941) och AD 69/59 (1959).

Sedan regleringen började genom konstruktionen av dammluckan under Riksbron 1943 har utflödet i genomsnitt varit 4 950 Mm³/år, det minsta 1976 (1 320 Mm³) och det största 1944 (8 500 Mm³). Flödena var relativt små i början av 1990-talet. Stora flöden kom omkring år 2000. Därefter minskade flödet men har sedan ökat igen och uppgick 2008 och 2009 till 5 890 resp 5 440 Mm³ (Fig 3).



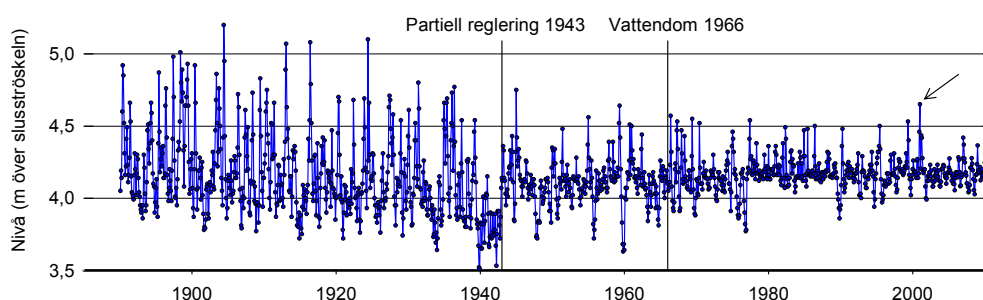
Figur 3. Mälarens utflyde 1943–2008, miljarder kubikmeter (kubikkilometer) per år.

Flödet varierar under året med de minsta flödena under sommaren. Pga av högre temperaturer som medfört mindre snösmältning, har vårfloeden, som tidigare kom i april-maj, under senare år blivit mindre eller helt uteblivit och flödena har kraftigt avvikit från SMHI:s normalperiod 1961-90 (Fig 4).

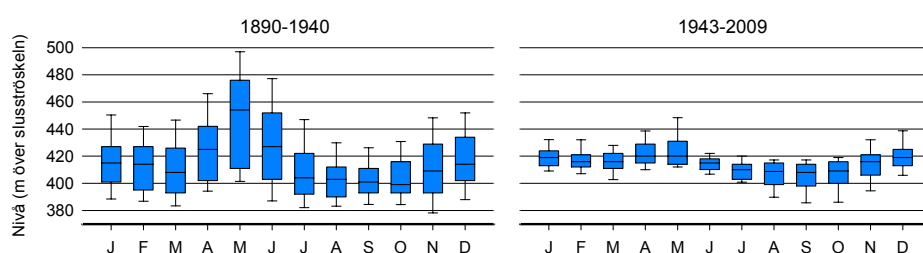


Figur 4. Fördelningen av Mälarens utflyde under året, perioderna 1961-1990 och 2000-2009.

Regleringen av Mälaren har medfört att de lägsta vattennivåerna blivit högre och de högsta nivåerna har blivit avsevärt lägre (Fig 5). Skillnaden har varit störst i maj, i genomsnitt 4,54 m över slusströskeln före regleringen och 4,20 m efter (Fig 6).



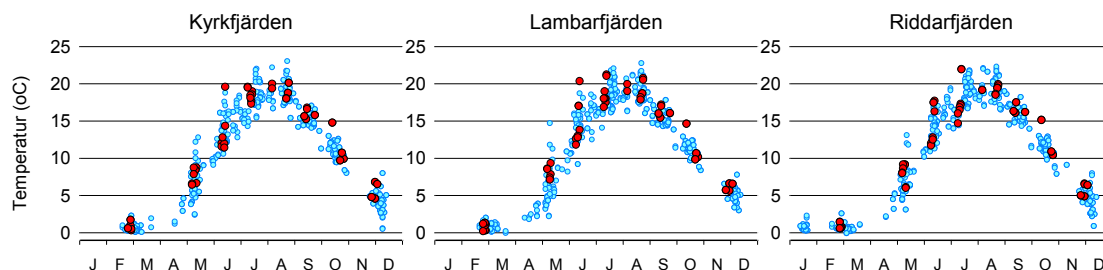
Figur 5. Vattenståndet i Mälaren 1890–2009, månadsmedelvärden (meter över slusströskeln). Pilen visar högt vattenstånd i december 2000 då vatten var nära att rinna in i tunnelbanan - månadsmedelvärdet var 4,65 m, det högsta dagsvärdet 4,73 m.



Figur 6. Mälarens vattenstånd, variationer under året före och efter regleringen.

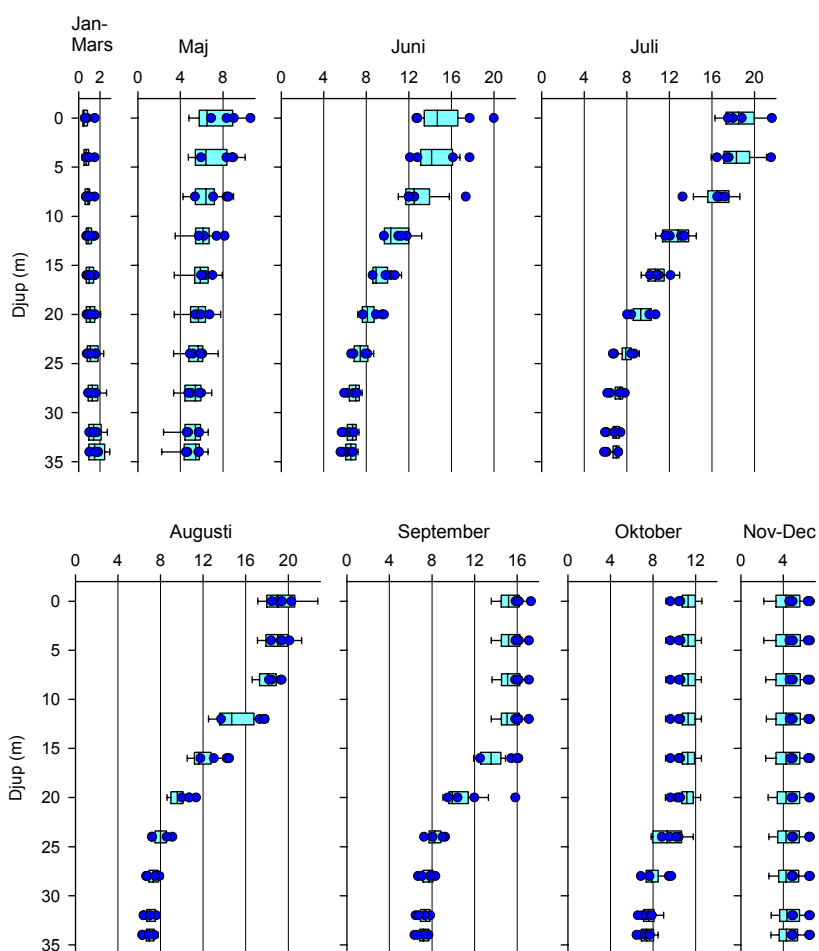
Temperatur

Temperaturen i Mälarens ytvatten varierar mellan ca 0°C i januari-mars och drygt 20°C i juli-augusti (Fig 7). Den högsta registrerade temperaturen vid Klubben har varit 24°C och den högsta registrerade temperaturen överhuvudtaget 26°C i Klara Sjö 22 juli 1992.

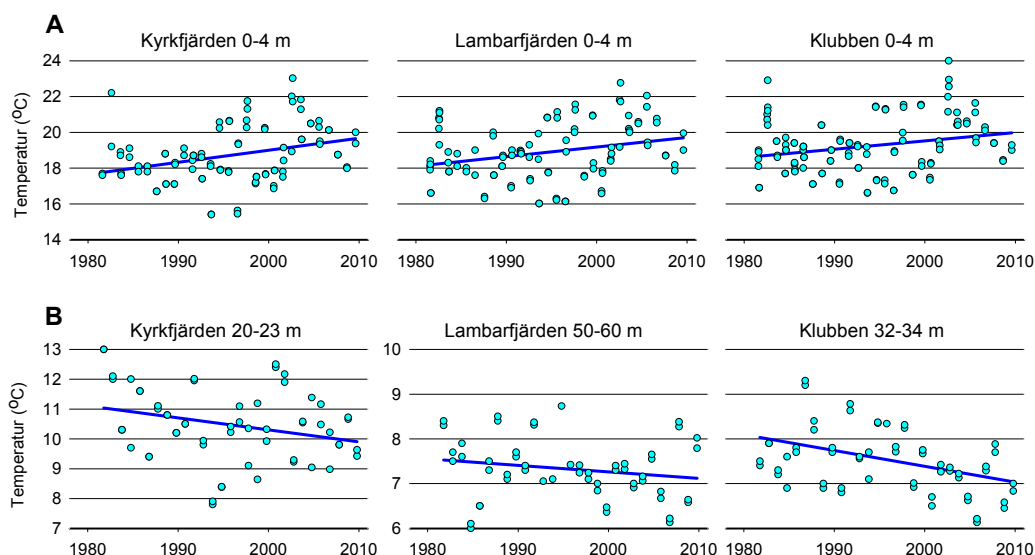


Figur 7. Temperatur i ytvattnet (0-4 m) 1981-2005 och 2006-2009 (röda symboler).

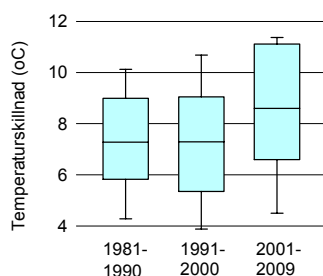
I de djupare delarna av Östra Mälaren (exemplifierat med Klubbenområdet i Fig 8) etableras temperatursprångskiktet i juni och ligger då på mellan 4 och 8 m djup. Det sjunker sedan till 8-12 m i augusti, 16-20 m i september och ca 24 m i oktober. Vattenmassan är helt omblandad först i november.



Figur 8. Temperaturens förändring med djupet, Klubben 0-34 m 1995-2005 (boxar) och 2006-2009 (mörkblå symboler).



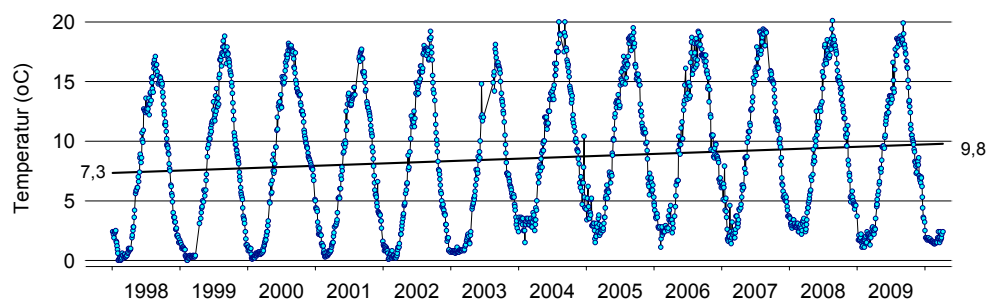
Figur 9. Temperatur 1981-2009 i (A) ytvattnet under högsommaren (mitten av juli – slutet av augusti) och (B) bottenvattnet i oktober.



Figur 9 C. Skillnad mellan temperaturen vid Klubben på 0-4 m och 16 m djup 15 juli – 31 augusti 1981-90, 1991-2000 och 2001-2009.

Temperaturen i ytvattnet har generellt ökat - i juli-augusti med ca 2°C från 1981 till 2009 (Fig 9 A). Bottenvattnet vid de djupare lokalerna har blivit något kallare i oktober mot slutet av den skiktade perioden (Fig 9 B), sannolikt som en effekt av förstärkt skiktning pga det varmare ytvattnet (Fig 9 C).

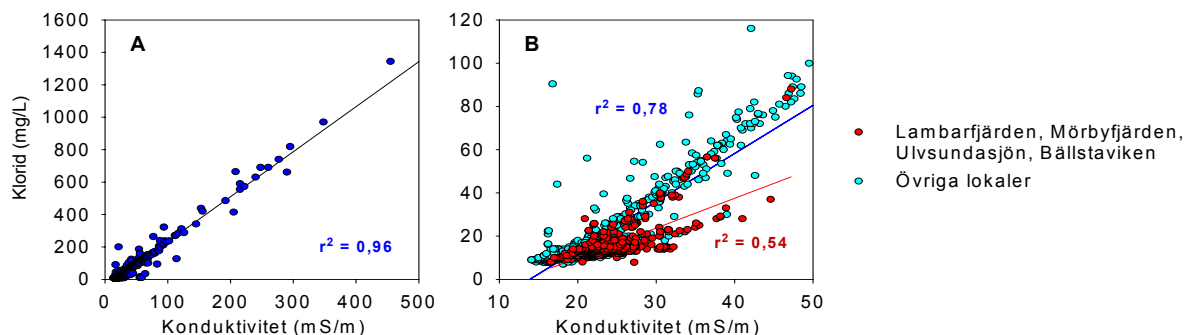
Råvattnet till Norsborgs vattenverk tas från 11 m djup i Kyrkfjärden. Den genomsnittliga temperaturen har sedan 1998 ökat med i genomsnitt 2,5°C. En anmärkningsvärd ökning av de lägsta temperaturerna under året inträffade efter 2003, från nära 0 till 2-3°C (Fig 10).



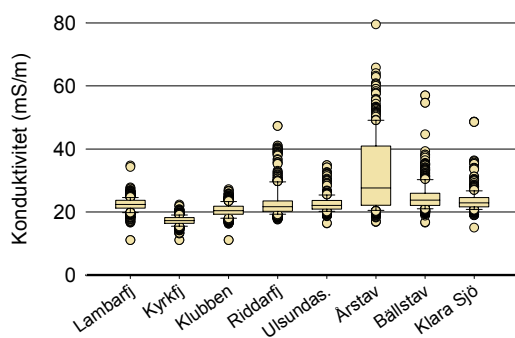
Figur 10. Råvattentemperaturen vid Norsborgs västra intag. Ett troligen felaktigt värde, 22°C i juni 2009, har uteslutits.

Konduktivitet, alkalinitet och pH

Konduktiviteten (den elektriska ledningsförmågan) är ett mått på mängden lösta salter. Tidigare mättes även klorid, men korrelationen med konduktivitet ansågs vara så bra att kloridanalyserna utgick efter 1991. Som framgår av Figur 11 B är korrelationen dock låg vid de låga och vanligaste konduktivitetsvärdena (för samtliga värden med en konduktivitet <50 mS/m är r^2 0,68). Lambarfjärden och Mörbyfjärden i den norra grenen liksom Bällstaviken och Ulvsundasjön skiljer sig från de övriga genom jämförelsevis låga kloridhalter.

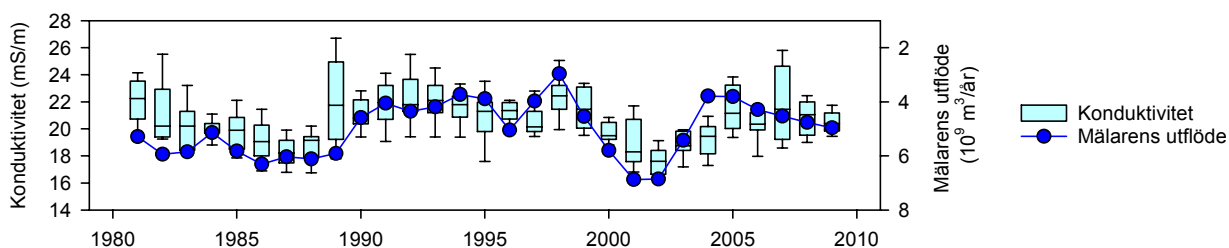


Figur 11. Sambandet mellan konduktivitet och kloridhalt, (A) samtliga data 1981-2008 och (B) sambanden vid konduktivitetsvärden <50 mS/m.



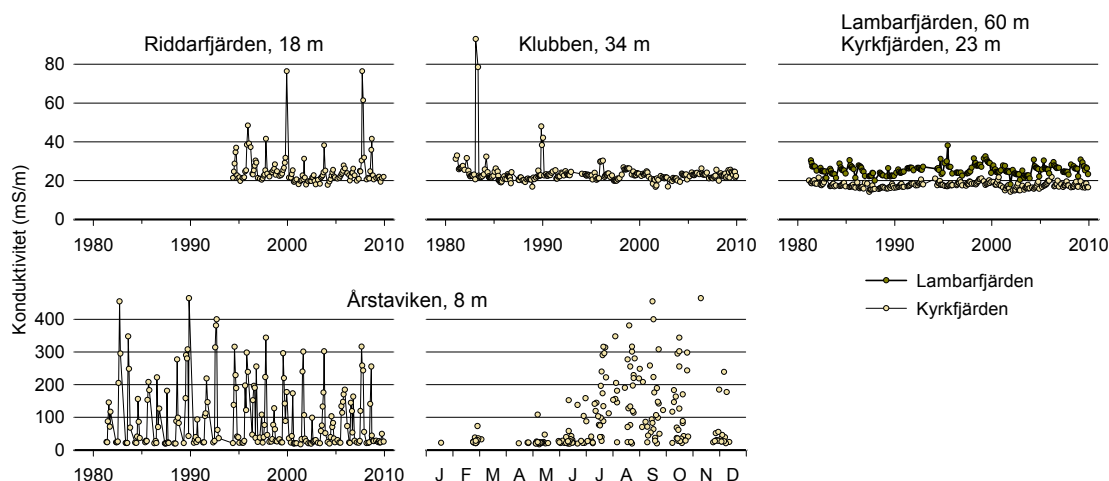
Figur 12. Konduktiviteten i ytvattnet (0-4 m) 1981-2009.

Medianvärdet för konduktiviteten i ytvattnet (0-4 m) är 21,0 mS/m med lägre värden i den södra grenen, <20 mS/m, och höga värden i Årstaviken som vid slussningar får vatten från Hammarby Sjö (Fig 12). Förändringarna har varit ganska stora, med höga värden under 1990-talet och låga åren efter år 2000. Förändringarna orsakas av flödet – vid stora flöden är konduktiviteten låg och tvärtom. Pga den långa uppehållstiden i Mälaren, ca 2,8 år, är effekten av flödena fördröjd 1-2 år (Fig 13).



Figur 13. Sambandet mellan konduktiviteten i ytvattnet (0-4 m) vid Klubben 1981-2009 och medelvärdet för Mälarens utflöde de två närmast föregående åren.

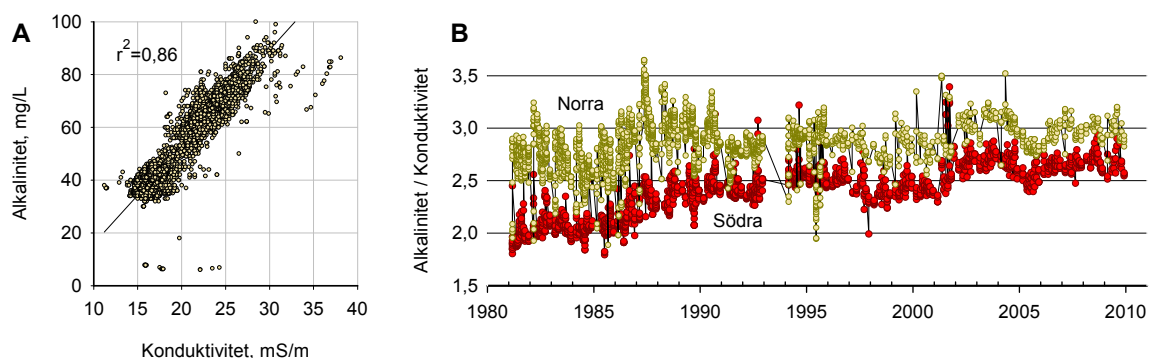
Konduktiviteten i bottenvattnet är tidvis hög vid provpunkterna närmast Stockholm pga inflöde från Saltsjön (Fig 14). Det sista någotsånär stora inbrottet kom 1983 med en tydlig förhöjning av konduktiviteten vid Klubben, men utan att påverka bottenvattnet i Lambarfjärden och Kyrkfjärden. De mycket höga konduktivitetsvärdena i Årstavikens bottenvatten i juli-december orsakas av slussningarna.



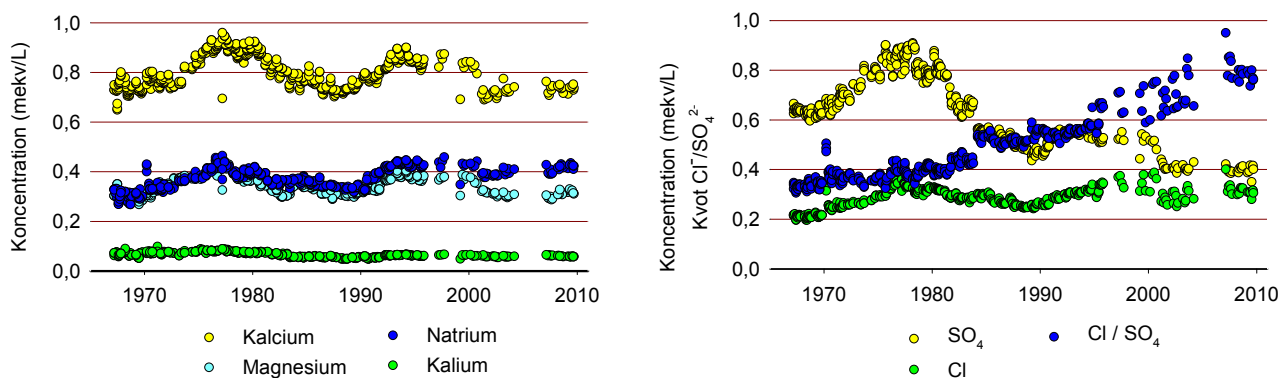
Figur 14. Konduktiviteten i bottenvattnet 1981-2009 i Riddarfjärden, vid Klubben, i Lambarfjärden och Kyrkfjärden, samt (med annan skala) i Årstaviken; i Årstaviken även fördelningen under året.

Konduktiviteten visar ett ganska starkt samband med alkaliniteten (Fig 15 A). Sambandet är dock inte konstant vare sig i rum eller tid – i förhållande till konduktiviteten är alkaliniteten högre i den norra grenen än i den södra och förhållandet mellan alkalinitet och konduktivitet har gradvis ökat (Fig 15 B). De prover som tagits av SLU i S Björkfjärden visar en ökning av natrium i förhållande till övriga katjoner och en mycket tydlig ökning av klorid i förhållande till sulfat pga minskade sulfathalter (Fig 16 A).

Sulfathalterna har minskat även i övriga delar av Mälaren och i många andra vattenområden. Minsk-

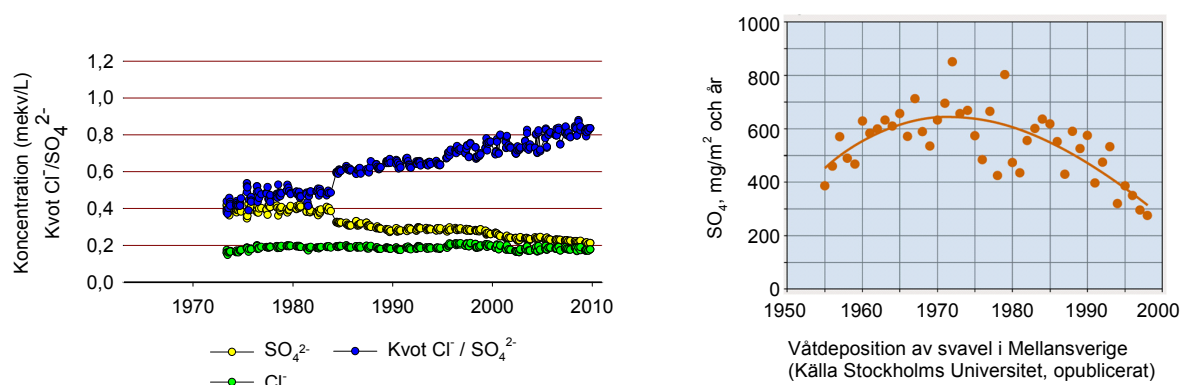


Figur 15. (A) Samband mellan alkalinitet och konduktivitet, samtliga data 1981-2009, (B) Kvoten alkalinitet/konduktivitet 1981-2009 i den norra (Lambarfjärden, Mörbyfjärden) och den södra (Långhällsudde, Kyrkfjärden) grenen av Östra Mälaren.



Figur 16 A. Koncentrationen av kalcium, kalium, magnesium och natrium samt koncentrationen av klorid och sulfat och förhållandet klorid/sulfat i S Björkfjärdens ytvatten 1967-2009 (Data från SLU, Institutionen för Vatten och Miljö).

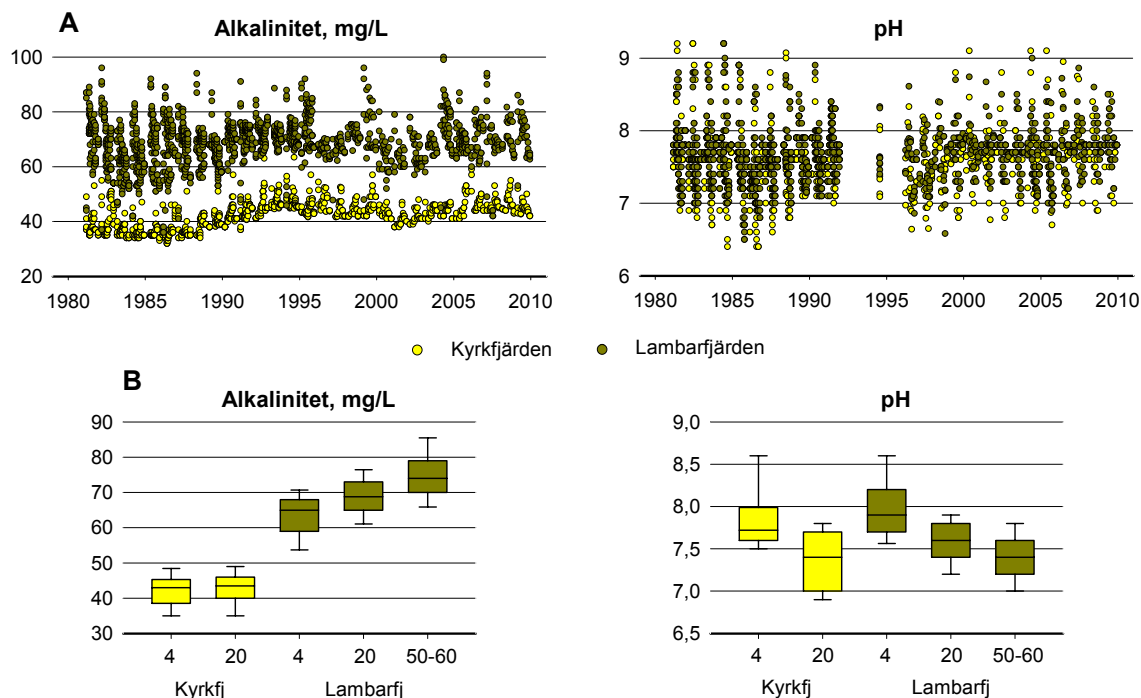
ningen sammanfaller i tid någotsånär med minskad atmosfärisk deposition av svavel (Fig 16).



Figur 16 B. Klorid och sulfat i Vänern 1973-2009 samt depositionen av svavel i Mellansverige 1955-98.

Alkaliniteten är betydligt högre i Lambarfjärden än i Kyrkfjärden, medan pH i ytvattnet inte visar någon signifikant skillnad. Alkaliniteten ökade något i båda områdena från 1980-talet till mitten av 1990-talet, minskade sedan efter de stora flödena kring år 2000 och har därefter på nytt ökat (Fig 17 A).

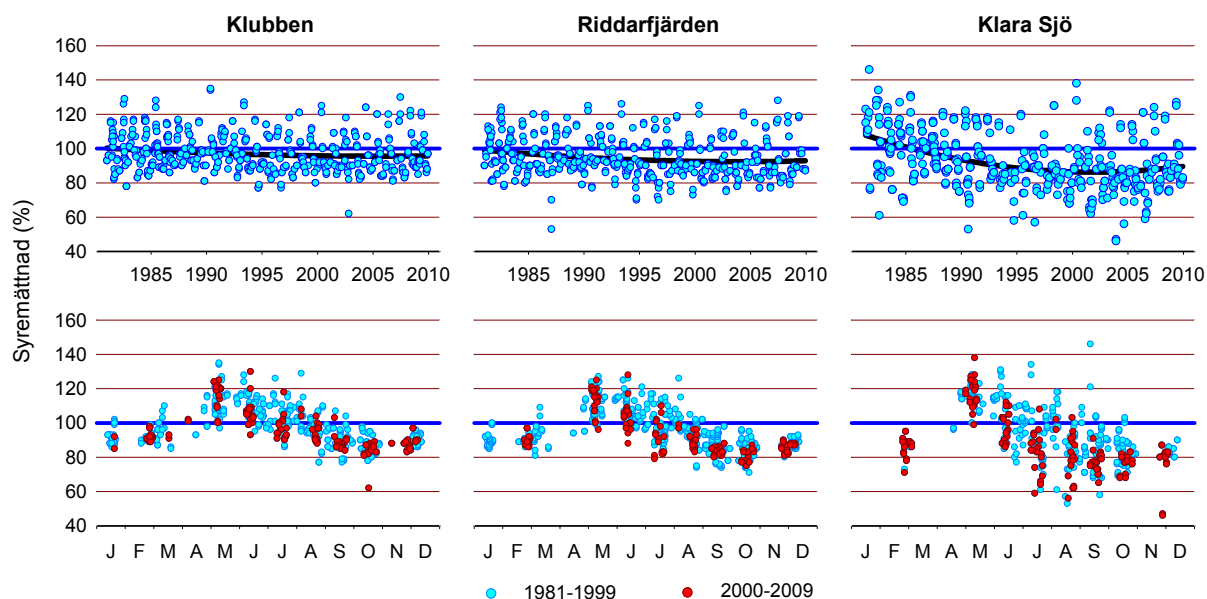
Alkaliniteten är ungefär lika hög i Kyrkfjärdens yt- och bottenvatten, medan alkaliniteten i Lambarfjärden ökar med djupet (Fig 17 B). Det beror troligen på att tillflödet från Ekoln och Skarven, med en alkalinitet av ca 120 mg/L, i Görvåln ofta lagras in under det vatten som kommer från Mälarfjärdarna längre västerut. pH minskar med djupet vid båda lokalerna, vilket är det normala i sjöar, men når i allmänhet inte värden under 7,0 (Fig 17 B).



Figur 17. Alkalinitet och pH i Kyrkfjärden och Lambarfjärden 1981-2009 (A) Förändring med tiden, (B) Fördelningen på 4 och 20 m djup i Kyrkfjärden och på 4, 20 och 50-60 m djup i Lambarfjärden.

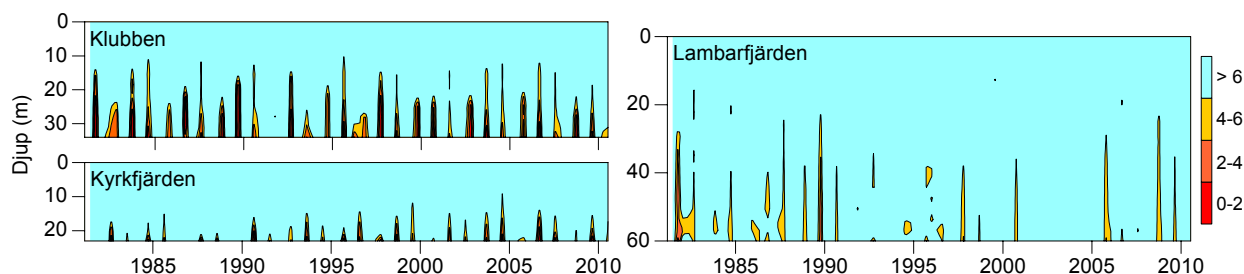
Syre

Syremättnaden i ytvattnet varierar vid lokalerna i de öppna delarna av Mälaren mellan ca 80 och 120 % med den högsta mättnaden i maj-juni och den lägsta i september-oktober. Någon tydlig skillnad kan inte urskiljas mellan Klubben och Riddarfjärden i centrala Stockholm. Variationerna är större i de instängda områdena, framförallt i Bällstaviken och Klara Sjö, från ca 40 till 140 %. Både hög och låg mättnad återspeglar större påverkan av föroreningar, den höga en större mängd näringsämnen som ökar tillväxten av syreproducerande planktonalger och den låga en större mängd syretärande material. Syremättnaden har allmänt blivit lägre sedan 1980-talet, framförallt i Klara Sjö med fram till mitten av 1990-talet en kraftig minskning av mättnadsvärdena (Fig 18).



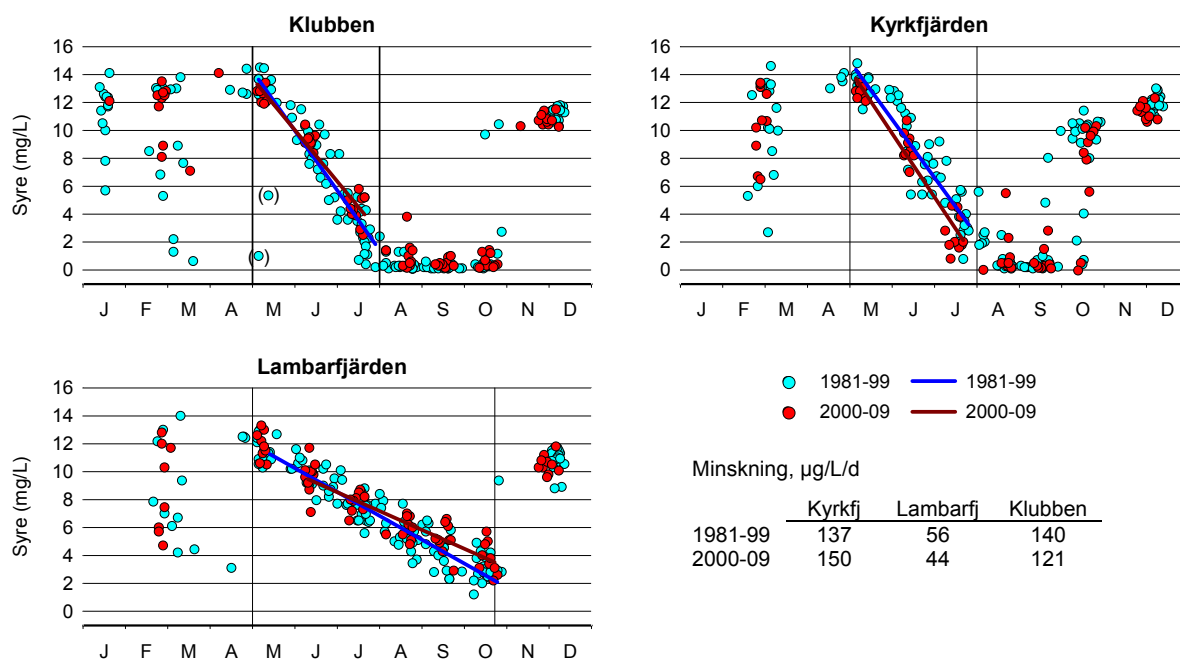
Figur 18. Syremättnaden i ytvattnet (0-4 m) 1981-2009, samt syremättnadens variation under året 1981-99 och 2000-09.

Syrehalterna i bottenvattnet minskar från april-maj till juli-augusti (Fig 19). Vid de djupare lokalerna varar de låga syrehalterna, nära 0 mg/L, till oktober-november. Vid de grundare lokalerna bryts skiktningen ungefär en månad tidigare. Svavelväte förekommer normalt inte i Mälaren pga låga sulfathalter, men kan uppträda i samband med inbrott av bräckt vatten. Någon tydlig förändring av fördelningen av låga halter med djupet har inte skett (Fig 19 A). Jämförelser mellan syreförhållandena på de största djupen 1981-99 och 2000-09 visar en svag minskning av syreminskningshastigheten vid Klubben, en tydligare minskning i Lambarfjärden medan hastigheten har ökat i Kyrkfjärden (Fig 19 B).

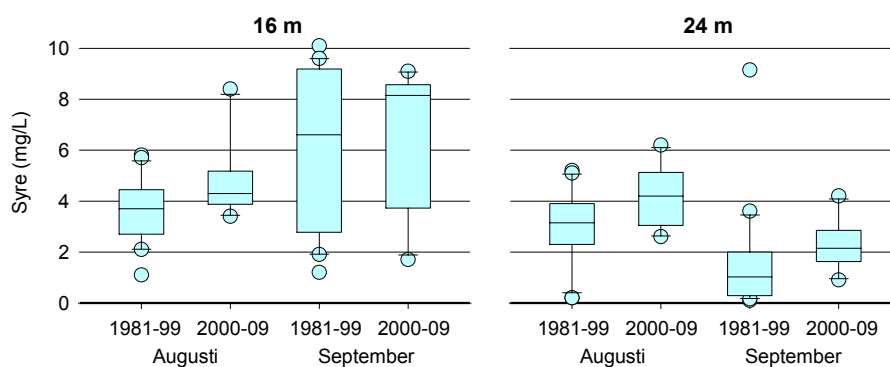


Figur 19 A. Syrehalter 0-2, 2-4, 4-6 och >6 mg/L i hela vattenmassan vid Klubben, i Kyrkfjärden och Lambarfjärden 1981-2009.

Eftersom proverna tas bara en gång i månaden, är det inte möjligt att se eventuella effekter av en förstärkt skiktning, som främst skulle visa sig som en (ännu så länge) ganska liten fördröjning av höstcirkulationen. Som framgår av tendensen till något lägre temperaturer i bottenvattnet (Fig 9 B) medför en starkare skiktning att utbytet mellan yt- och bottenvattnet försämras, vilket kan antas resultera i minskade syrehalter på intermediära djup under språngskiktet, men jämförelser mellan perioderna 1981-1999 och 2000-2009 visar tvärtom att halterna har varit högre den senare perioden (Fig 20).



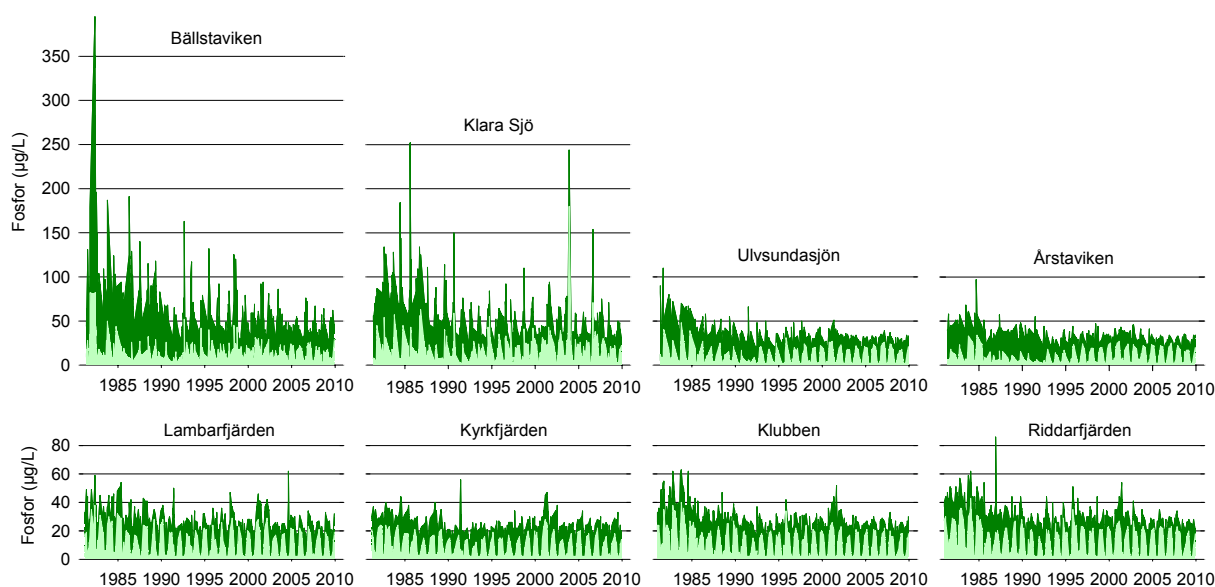
Figur 19 B. Syrehalter i bottenvattnet i Kyrkfjärden (23 m) och Lambarfjärden (60 m) samt vid Klubben (34 m). Syreminskningshastigheterna 1981-99 och 2000-09 är beräknade för de perioder som avgränsas av vertikala linjer. De två värdena inom parentes från Klubben är inte medräknade.



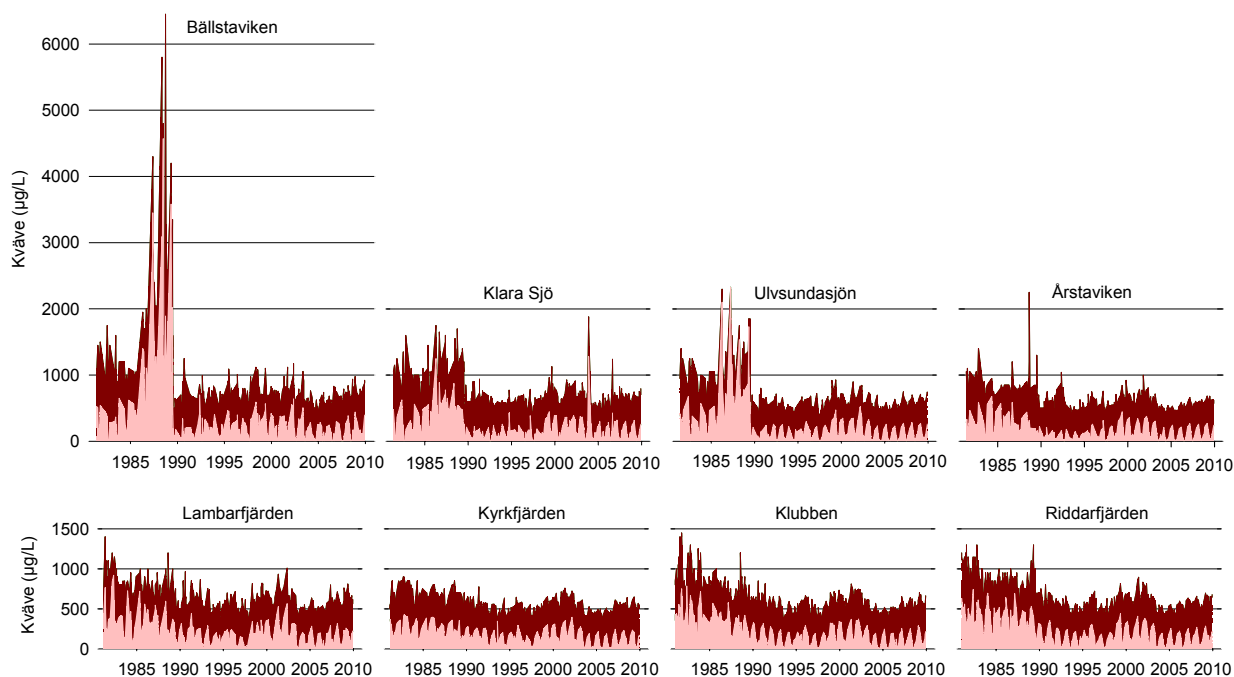
Figur 20. Syrehalter vid Klubben på 16 och 24 m djup i augusti och september 1981-99 och 2000-09.

Fosfor och kväve

Ytvattnets innehåll av fosfor och kväve minskade från början av 1980-talet till början av 1990-talet (Fig 21 och 22). Minskningen av kvävehalterna berodde huvudsakligen på att halterna av oorganiskt kväve, främst ammoniumkväve, blev lägre efter överföringen av Brommaverkets utsläpp av renat avloppsvatten från Mälaren till Saltsjön i juni 1989 (Tab 3). Minskningen var störst vid lokalerna nedströms Brommaverkets utsläpp – Klubben och Riddarfjärden - medan effekten var mindre tydlig i Kyrkfjärden och Lambarfjärden (Fig 23 A-C). Minskningen av fosforhalterna var betydligt mindre i absoluta tal, men medförde att fosfatfosfor efter överföringen i allmänhet inte förekom i detekterbara halter under sommaren.



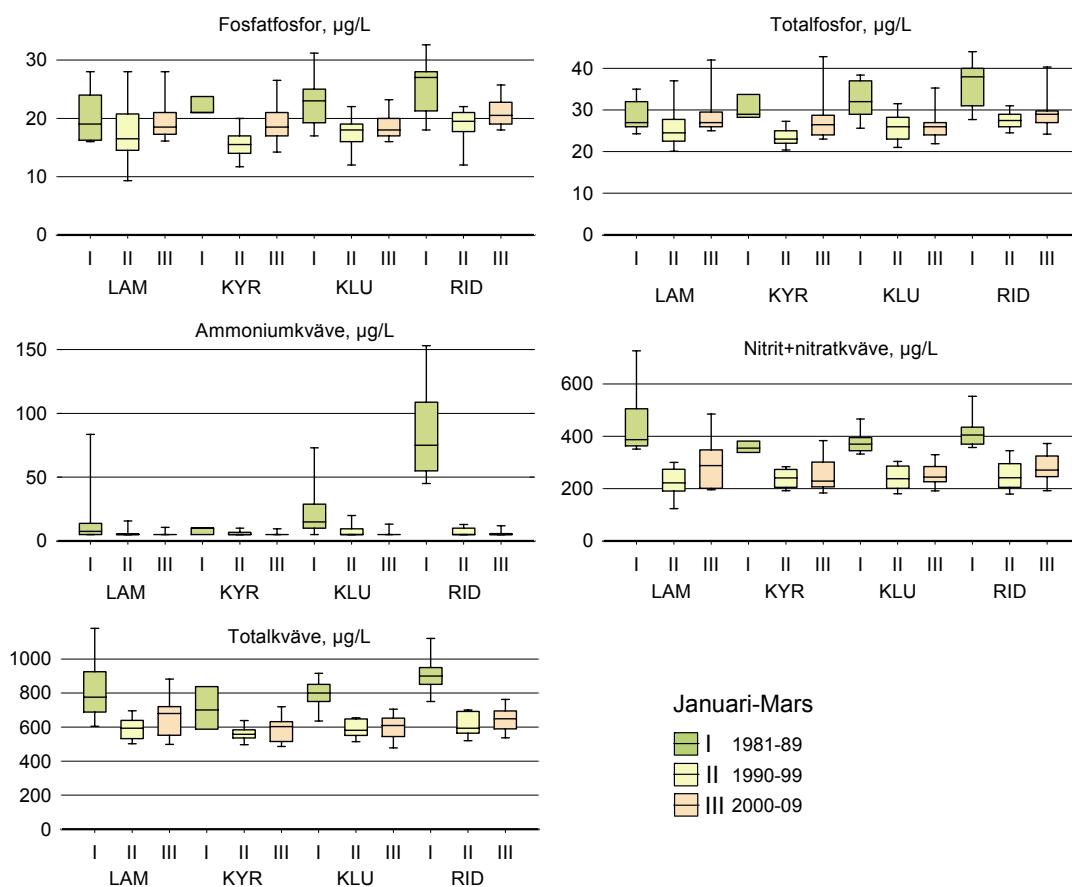
Figur 21. Fosforkoncentrationer (total och fosfat) i ytvattnet 0-4 m 1981-2009.



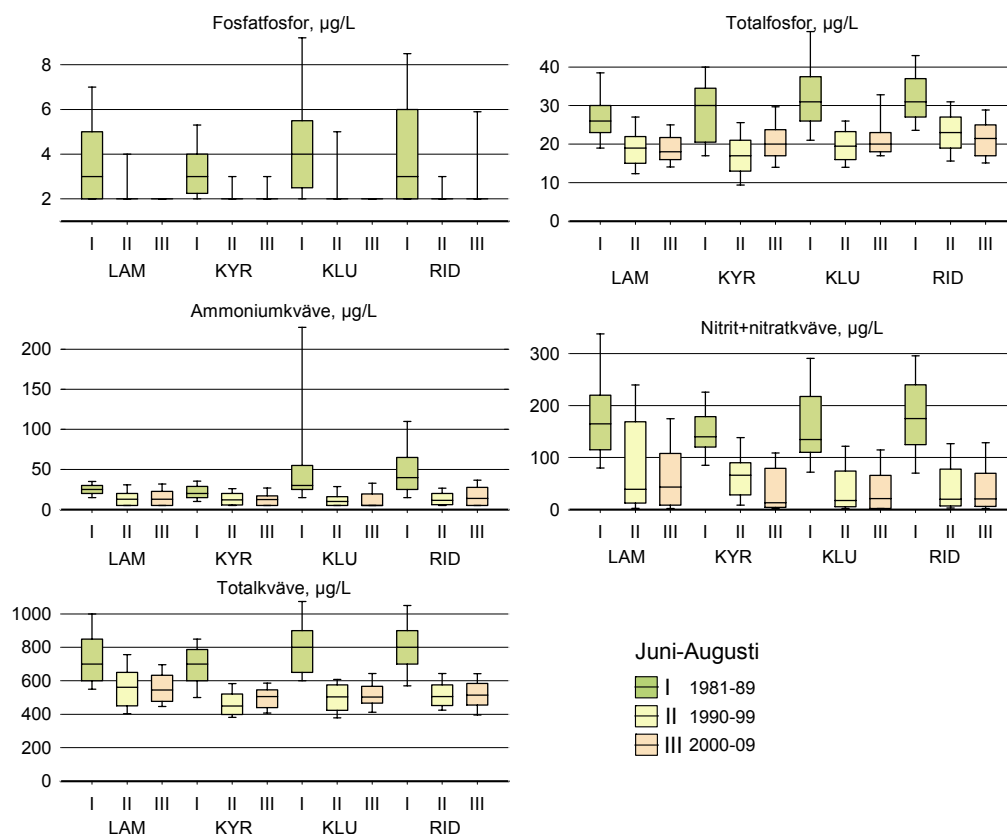
Figur 22. Kvävekoncentrationer (totalt och oorganiskt kväve) i ytvattnet 0-4 m 1981-2009. Det renade avloppsvatten från Brommaverket släpptes i slutet av 1980-talet ut i Bällstaviken, vilket förklarar de höga kvävehalterna.

Tabell 3. Koncentrationer, µg/L (medianvärden), i ytvattnet 0-4 m under vinter, sommar och höst, 1980-, 1990- och 00-tal.

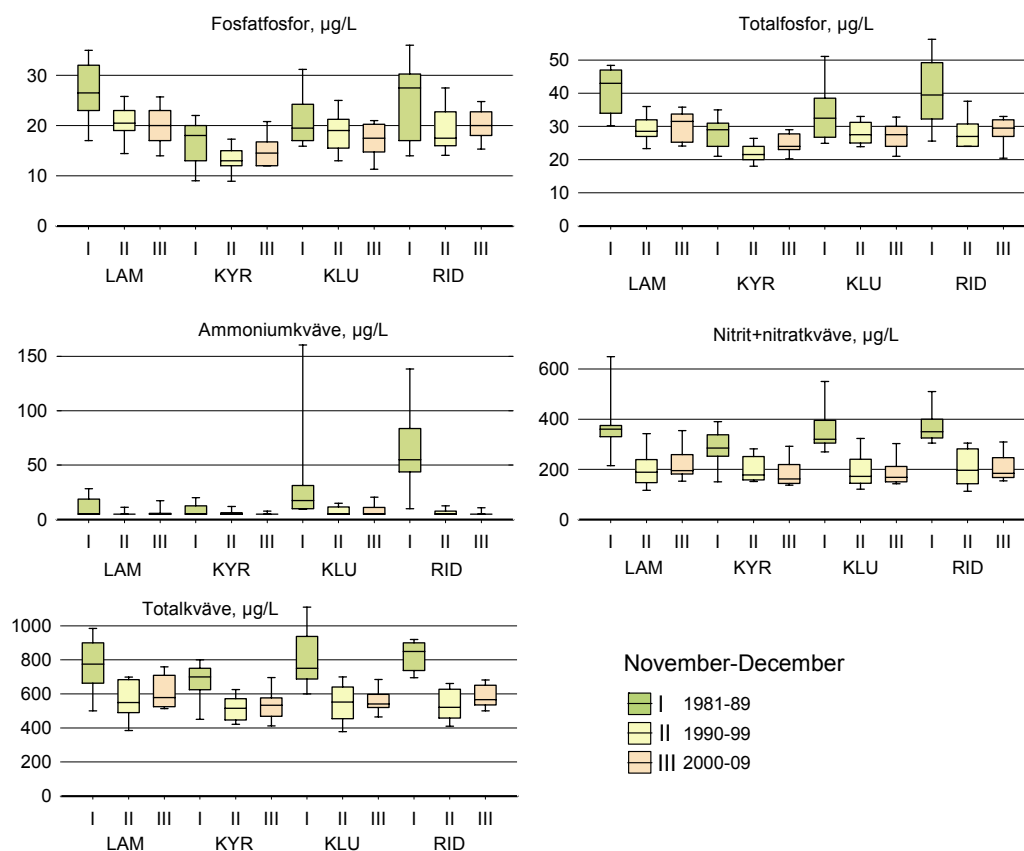
		Januari-Mars			Juni-Augusti			November-December		
		1981	1990	2000	1981	1990	2000	1981	1990	2000
		-89	-99	-09	-89	-99	-09	-89	-99	-09
Lambarfjärden	PO ₄ -P	19	17	19	3	2	2	27	20	22
	Ptot	27	25	27	26	19	18	43	30	31
	NH ₄ -N	8	5	5	25	13	13	5	5	5
	NO ₂₊₃ -N	388	222	288	165	39	44	360	161	183
	Ntot	775	593	680	700	562	545	775	544	567
Kyrkfjärden	PO ₄ -P	21	16	19	3	2	2	18	13	15
	Ptot	29	23	27	30	17	20	29	21	24
	NH ₄ -N	10	5	5	20	12	13	5	5	5
	NO ₂₊₃ -N	355	241	229	140	66	13	285	161	155
	Ntot	700	557	603	700	449	506	700	484	481
Klubben	PO ₄ -P	23	18	18	4	2	2	19	18	18
	Ptot	32	26	26	31	20	20	33	27	28
	NH ₄ -N	15	5	5	30	10	5	20	5	5
	NO ₂₊₃ -N	370	238	244	135	18	21	350	152	168
	Ntot	800	582	609	800	504	503	800	499	541
Riddarfjärden	PO ₄ -P	27	20	21	3	2	2	28	18	20
	Ptot	38	28	29	31	23	22	40	27	30
	NH ₄ -N	75	5	5	40	12	14	55	5	5
	NO ₂₊₃ -N	405	242	271	175	20	21	350	197	184
	Ntot	900	593	648	800	506	514	850	521	566

**Figur 23 A.** Fosfor- och kvävekoncentrationer i ytvattnet 0-4 m i januari-mars 80-, 90- och 00-tal. 10, 25, 50, 75 och 90-percentiler.

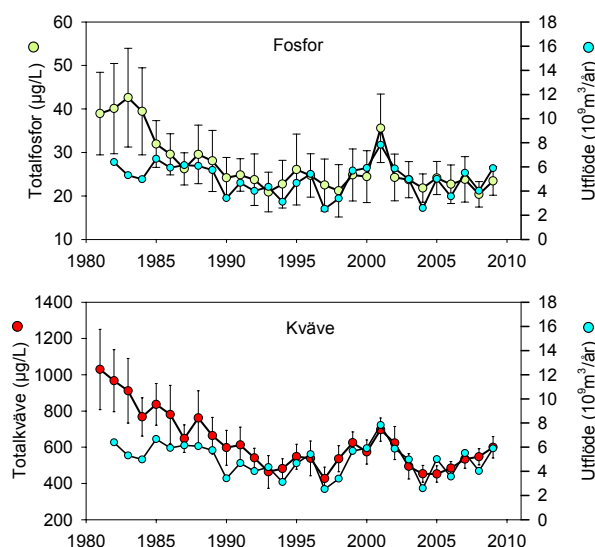
LAM = Lambarfjärden, KYR = Kyrkfjärden, KLU = Klubben, RID = Riddarfjärden



Figur 23 B. Fosfor- och kvävekoncentrationer i ytvattnet 0-4 m juni-augusti 80-, 90- och 00-tal. 10, 25, 50, 75 och 90-percentiler.



Figur 23 C. Fosfor- och kvävekoncentrationer i ytvattnet 0-4 m november-december 80-, 90- och 00-tal. 10, 25, 50, 75 och 90-percentiler.

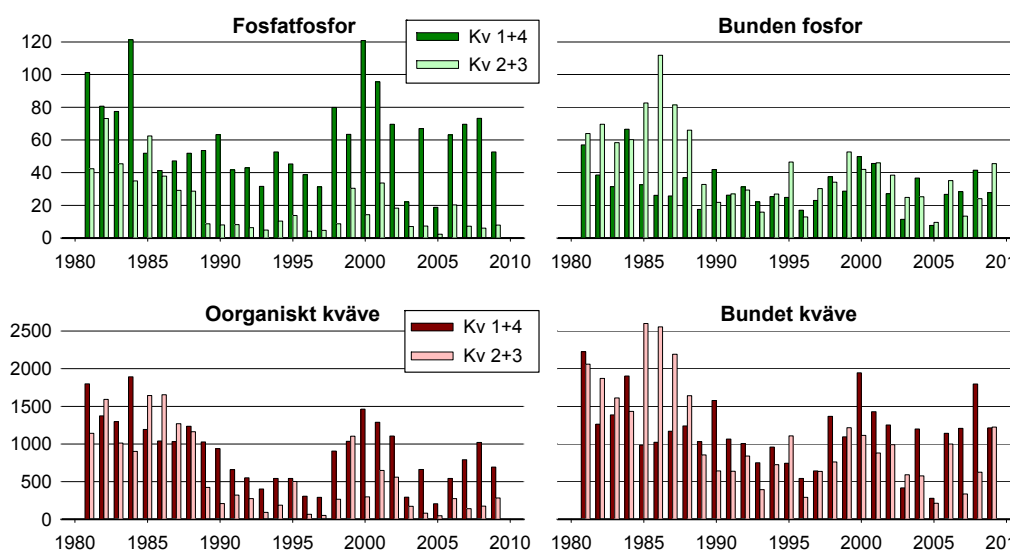


Figur 24. Koncentrationer av fosfor och kväve i ytvattnet 0-4 m vid Klubben, medelvärden och standardavvikelse, samt årliga flöden från Mälaren med ett års förskjutning (ex flödet 1990 jämförs med halterna 1991; årtalen på x-axeln avser halterna).

Stora variationer av ytvattnets innehåll av fosfor och kväve efter överföringen av Brommaverkets utsläpp förklaras huvudsakligen av förändringar av flödet genom Mälaren. Drygt 70 % av tillrinningen kommer till Mälaren väster om Hjulstabron (Galten, Blacken, Granfjärden). När flödena är stora, blir uppehållstiden i fjärdarna längre österut (Präst- och Björkfjärdarna) och en större andel av näringsinnehållet förs vidare till Östra Mälaren. Pga den långa uppehållstiden i Mälaren, 2,8 år, visar sig effekten inte omedelbart utan med ungefär ett års förskjutning (Fig 24). Sambandet mellan flöde och halter förklarar ökningen av kväve efter 2003, då utflödet endast uppgick till $2,6 \times 10^9 \text{ m}^3$ mot $5,9 \times 10^9 \text{ m}^3$ 2008. Sambandet med fosfor är något svagare än med kväve och fosforhaltarna har varit i stort sett oförändrade efter 2003.

De mängder fosfor och kväve som förs ut genom Stockholm från Mälaren till Saltsjön beror av både flöden och halter. Eftersom höga flöden mer eller

mindre sammanfaller med höga halter blir mängderna mycket olika från år till år. De uttransporterade näringsämnena påverkar förhållandena i Saltsjön främst under kvartal 2 och 3 (april-september) och de lösta fraktionerna – fosfatfosfor, ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve – har sannolikt större omedelbar betydelse än bundna former.

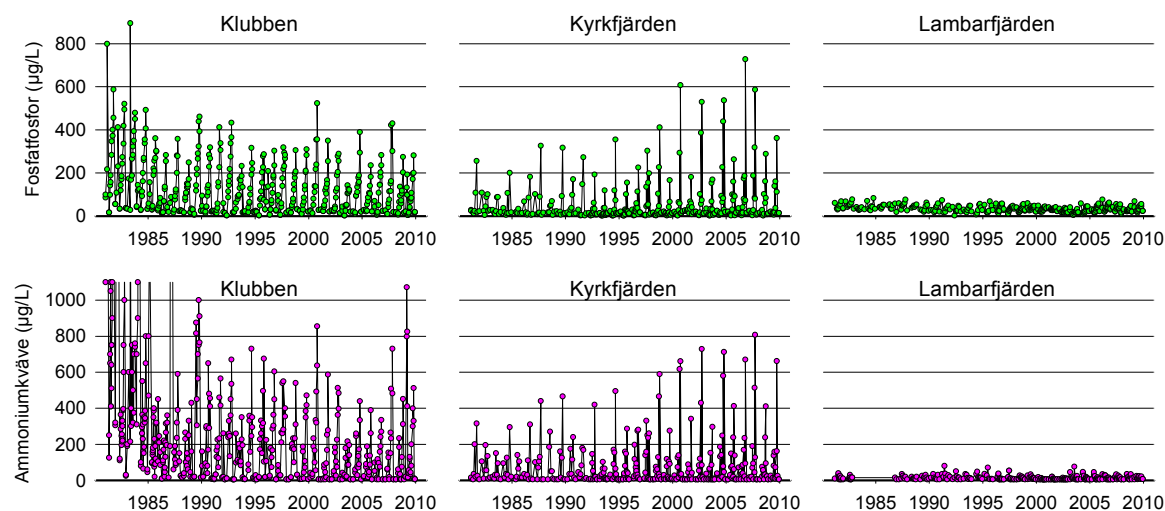


Figur 25. Löst och bundet fosfor och kväve, mängder (ton/år) i Mälarens utflöde under höst-vinter (kvartal 1+4) och vår-sommar (kvartal 2+3).

Tabell 4. Mängder (ton/år) fosfor och kväve i Mälarens utflöde kvartal 1+4 och 2+3 2003-2009, medelvärde och största och minsta mängd.

		Medel	Min	Max
PO ₄ -P	Kv 1+4	52	19	73
	Kv 2+3	8	2	20
Tot-P	Kv 1+4	78	26	115
	Kv 2+3	34	12	55
NH ₄ -N	Kv 1+4	22	6	35
	Kv 2+3	16	4	36
NO ₂₊₃ -N	Kv 1+4	580	200	990
	Kv 2+3	150	43	250
Tot-N	Kv 1+4	1 640	480	2 810
	Kv 2+3	820	260	1 510

Mängden bundet fosfor och kväve under kvartal 1+4 har förändrats ganska lite sedan början av 1980-talet, men har minskat kraftigt under kvartal 2+3 vilket troligen beror på mindre mängd organismer i utflödet. Även de lösta fraktionerna har visat en kraftig minskning under kvartal 2+3, minskningen har inte varit lika tydlig under kvartal 1+4 (Fig 25). De totala mängderna har 2003-2009 i medelvärde uppgått till 120 ton fosfor och 2 600 ton kväve per år, fosfatfosfor till 65 och oorganiskt kväve 800 ton per år med mycket stora variationer mellan åren (Tabell 4). Bilaga 1 innehåller diagram som visar halterna i utflödet 1974-2009.



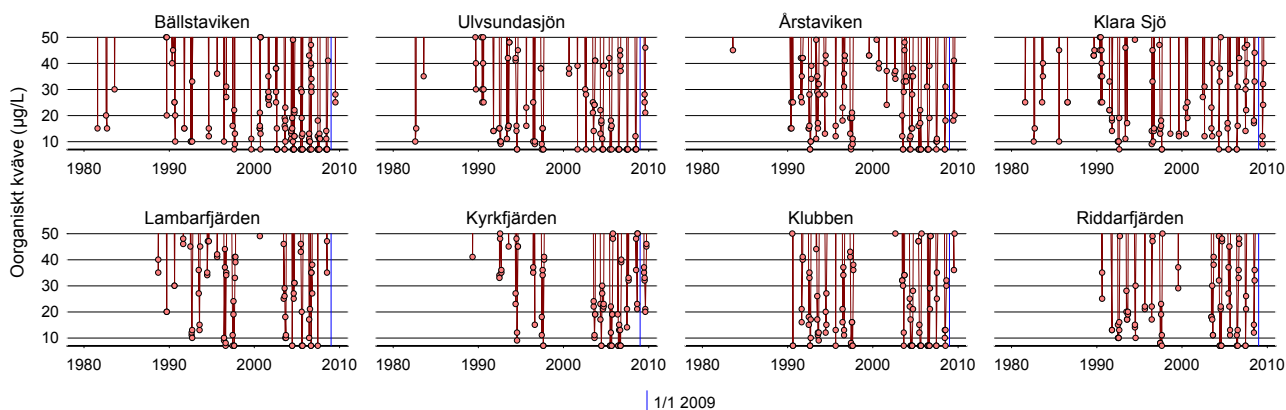
Figur 26. Halter av fosfatfosfor och ammoniumkväve i bottenvattnet vid Klubben (32+34 m), Kyrkfjärden (20+23 m) och Lambarfjärden (50+60 m) 1981-2009. De tidvis mycket höga ammoniumhalterna vid Klubben (upp till 4 200 µg/L) före överföringen av Brommaverkets utsläpp ligger utanför skalan.

Fosfatfosfor och ammoniumkväve ökar i bottenvattnet vid låga syrehalter och är vid Klubben och i Kyrkfjärden höga mot slutet av den skiktade perioden. Halterna är däremot låga i bottenvattnet i Lambarfjärden, som trots det stora djupet innehåller jämförelsevis höga syrehalter även sent på året (Fig 26)

Halterna i Klubbens bottenvatten har visat stora variationer från år till år men någon långsiktig förändring har inte skett efter överföringen av Brommaverkets utsläpp sommaren 1989. I Kyrkfjärden har halterna ökat kraftigt de senaste ca 10 åren med ungefär en fördubbling av både fosfat- och ammoniumhalterna. En bidragande orsak är troligen den ökade syretäringshastigheten (Fig 19), som har medfört att perioden med låga syrehalter blivit längre och börjat tidigare – medianvärdet för syrehalten på 23 m djup i juli har minskat från 4,4 mg/L 1981-99 till 2,0 mg/L 2000-09.

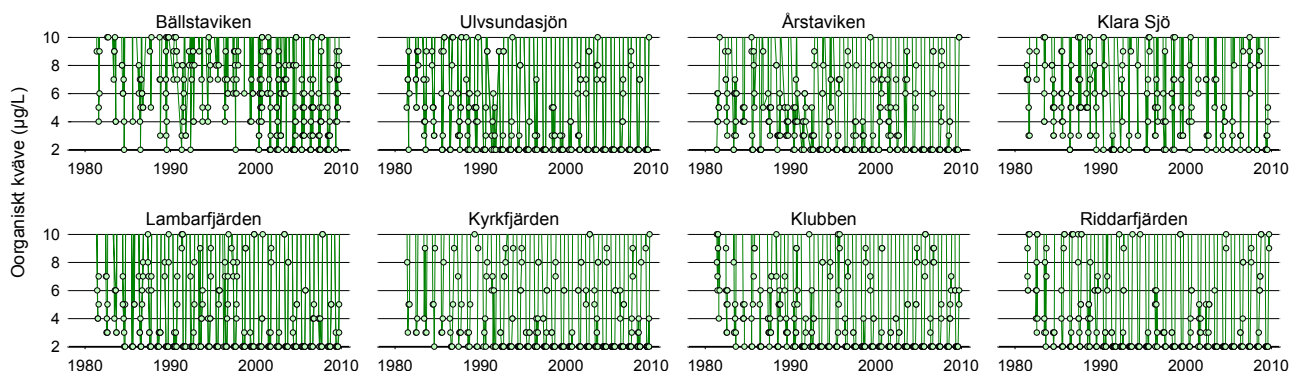
Fosfor- och kvävebegränsning

Överföringen av Brommaverkets utsläpp till Saltsjön medförde en kraftig minskning av halterna av oorganiskt kväve i Östra Mälaren. Låga halter av oorganiskt kväve kunde tillfälligtvis uppträda före överföringen i de instängda delarna av Östra Mälaren, där fosforhalterna var höga. Efter överföringen har låga halter förekommit också i de öppna delarna med avbrott för åren runt 2000 då flödena var stora och kvävehalterna höga (Fig 27).

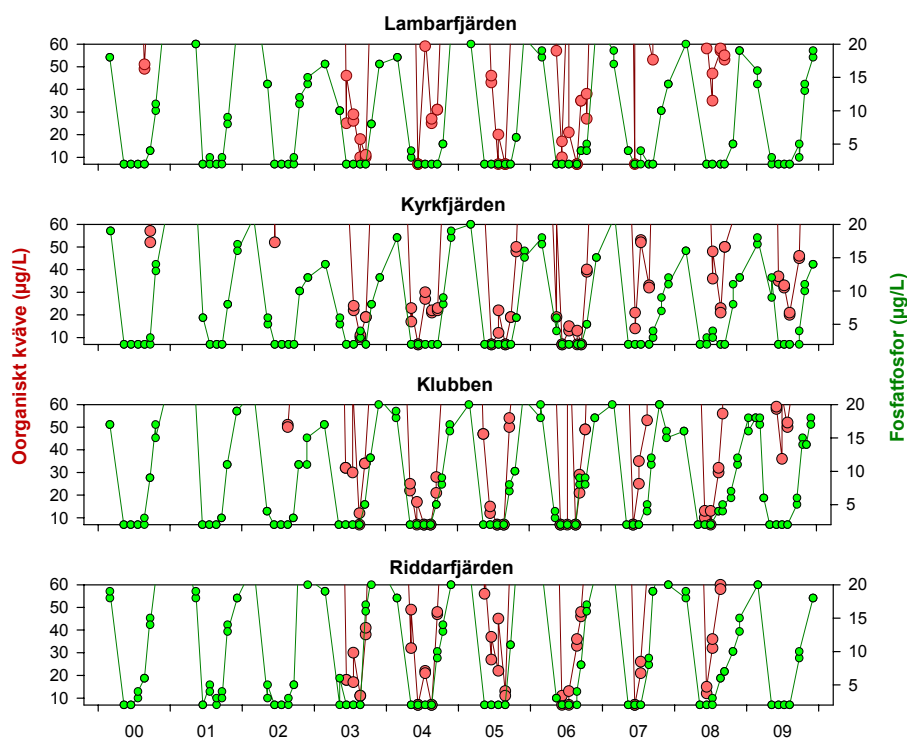


Figur 27. Halter av oorganiskt kväve <50 µg/L i ytvattnet 0-4 m 1981-2009. Baslinjen är satt till 7 µg/L vilket är halva rapporteringsgränsen för ammoniumkväve + nitrit+nitratkväve.

Innehållet av fosfatfosfor är vanligen uttömt under sommaren – halter över detektionsgränsen ($3 \mu\text{g/L}$) har främst förekommit i Bällstaviken och Klara Sjö (Fig 28). Bällstaviken är den enda lokal där de kemiska analyserna vid mer än ett tillfälle har indikerat brist på kväve snarare än fosfor som begränsande näringsämne. Samtidig brist på kväve och fosfor (dvs att halterna av både fosfatfosfor och oorganiskt kväve är under rapporteringsgränsen) har däremot varit relativt vanlig efter början-mitten av 1990-talet. Ökningen av kvävehalterna under de senaste åren har dock medfört ett överskott av kväve vid flera lokaler 2008 och samtliga lokaler 2009 (Fig 27 och 29).

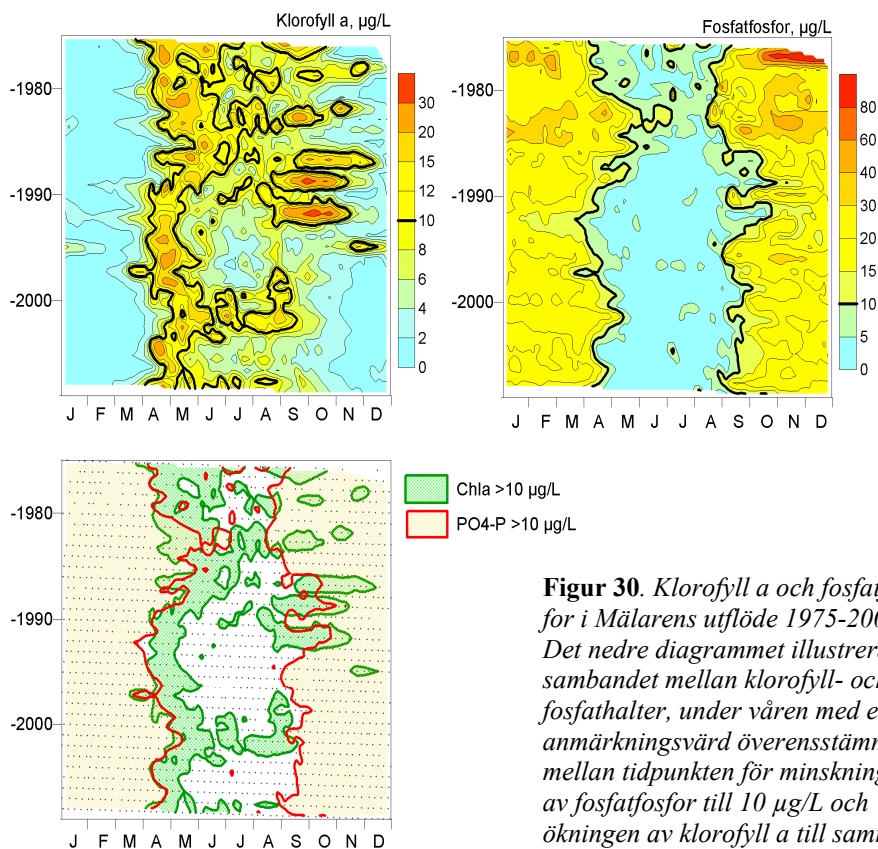


Figur 28. Halter av fosfatfosfor $<10 \mu\text{g/L}$ i ytvattnet 0-4 m 1981-2009. Baslinjen är satt till $2 \mu\text{g/L}$ vilket motsvarar ungefär halva rapporteringsgränsen.



Figur 29. Oorganiskt kväve $<60 \mu\text{g/L}$ och fosfatfosfor $<20 \mu\text{g/L}$ i ytvattnet 0-4 m 2000-2009. Baslinjerna är satta till 7 resp $2 \mu\text{g/L}$.

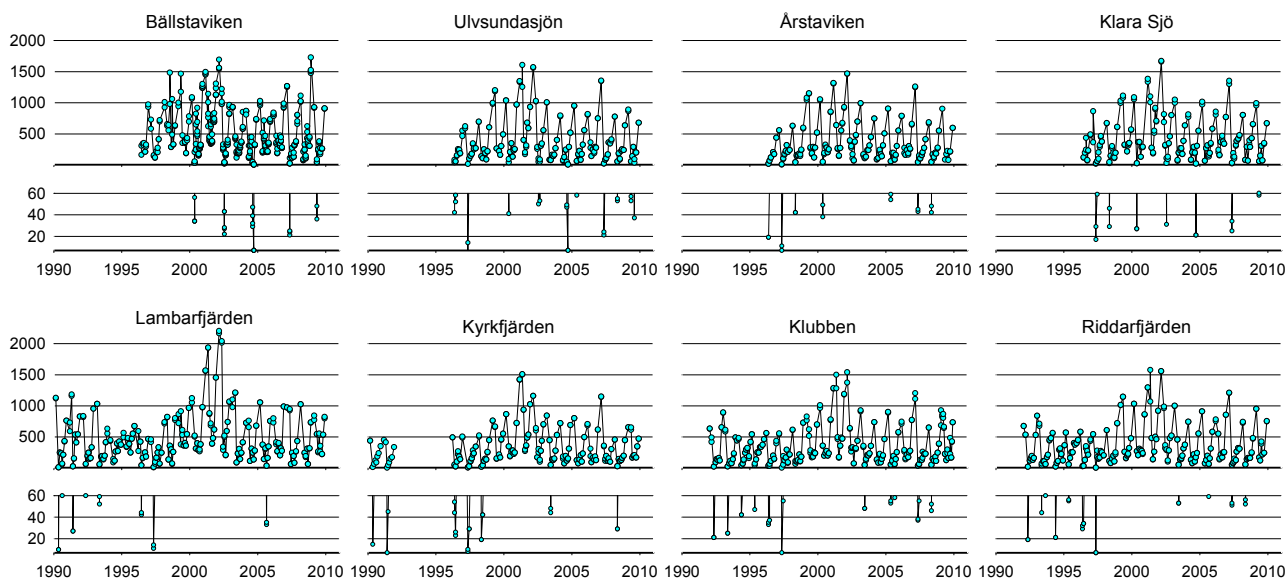
Det nära sambandet mellan fosfor och planktonalgernas tillväxt framgår av Figur 30, som visar en sedan 1975 anmärkningsvärd och nästan obruten överensstämmelse i Mälarens utflöde under vårblomningen mellan gränsen för $10 \mu\text{g/L}$ fosfatfosfor och $10 \mu\text{g/L}$ klorofyll.



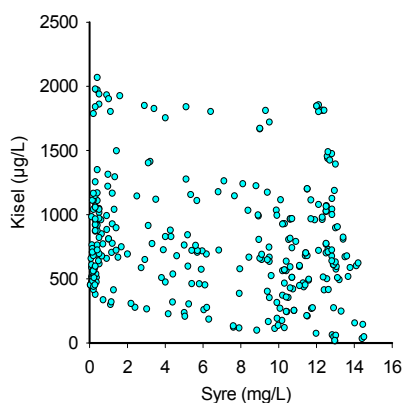
Figur 30. Klorofyll a och fosfatfosfor i Mälarens utflöde 1975-2008. Det nedre diagrammet illustrerar sambandet mellan klorofyll- och fosfathalter, under våren med en anmärkningsvärd överensstämmelse mellan tidpunkten för minskningen av fosfatfosfor till 10 µg/L och ökningen av klorofyll a till samma halt.

Kisel

Kisel är av betydelse främst för kiselalger, som brukar dominera vårbloomingen. Halterna i ytvattnet har visat ungefär samma förändringar med flödet som fosfor och kväve och halterna var höga kring år 2000. Mycket låga halter, som tyder på att kisel kan vara begränsande för tillväxten, har varit relativt ovanliga och har efter 1997 inte påträffats i de öppna delarna av Östra Mälaren. Halterna har under senare år varit något lägre i Bällstaviken, Ulvsundasjön och Klara Sjö, där god tillgång på andra näringsämnen gjort att växterna kunnat utnyttja en större del av vattnets kiselinnehåll (Fig 31).

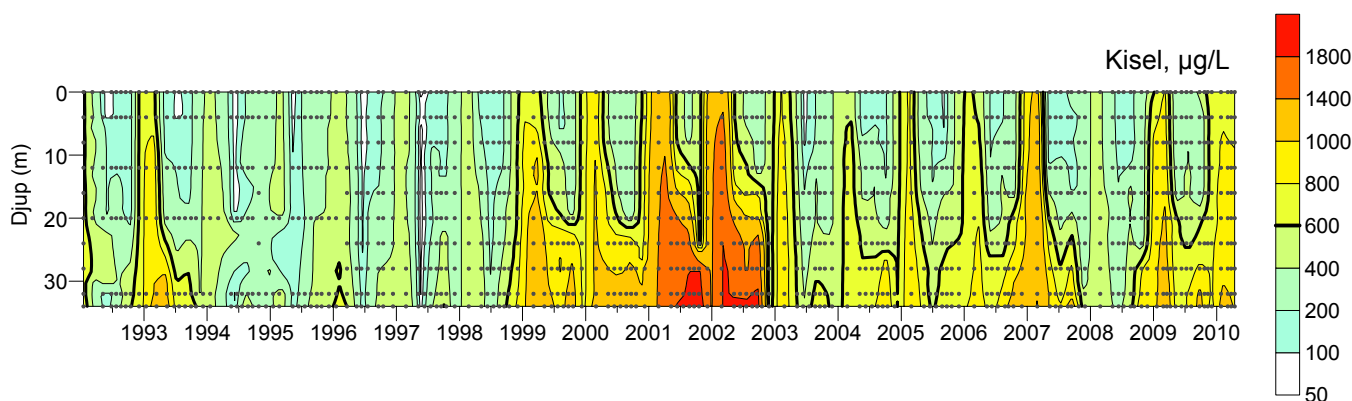


Figur 31. Kiselhalter på 0-4 m djup. De undre diagrammen visar bara halter < 60 µg/L.



Figur 32. Samband mellan syre- och kiselhalter i Klubbens bottenvatten (32+34 m) 1981-2009.

Kiselhalterna i bottenvattnet visar bara ett svagt samband med syreinnehållet (Fig 32), i motsats till i skärgården, där sambandet är lika starkt som mellan syre och fosfor. Höga halter på de största djupen vid Klubben efter de stora flödena 2000 (Fig 33) orsakades därför troligen inte av utlösning från bottnarna utan istället av djup inlagring av det kiselrika vattnet.



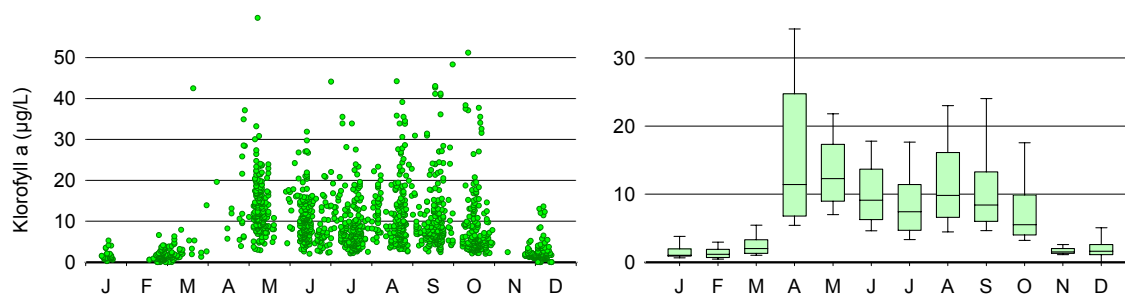
Figur 33. Kiselhalter vid Klubben 0-34 m, 1992-2009.

Klorofyll a och siktdjup

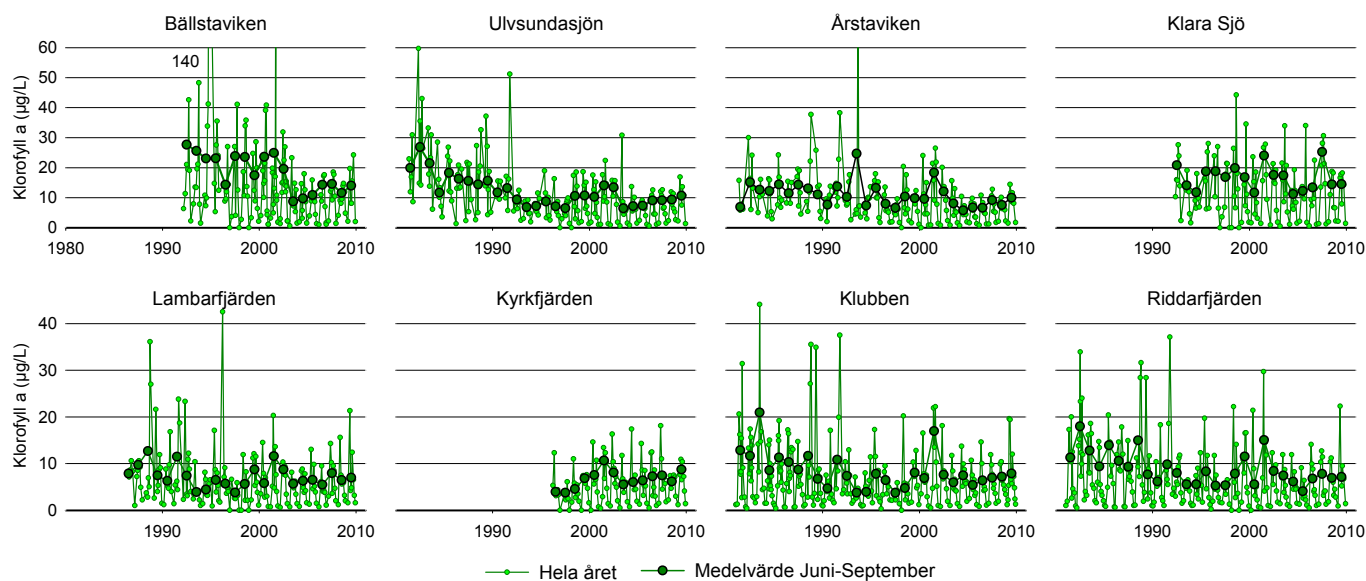
Klorofyll a

Vegetationsperioden börjar i april och varar t.o.m. oktober. De högsta klorofyllhalterna påträffas i samband med vårblomningen i april-maj, men halterna har varit relativt höga även under sommaren (Fig 34). Klorofyllhalterna har allmänt minskat sedan 1980-talet. Halterna var höga i samband med stora flöden kring år 2000. Efter låga halter 2003-2005 har halterna åter ökat något (Fig 35).

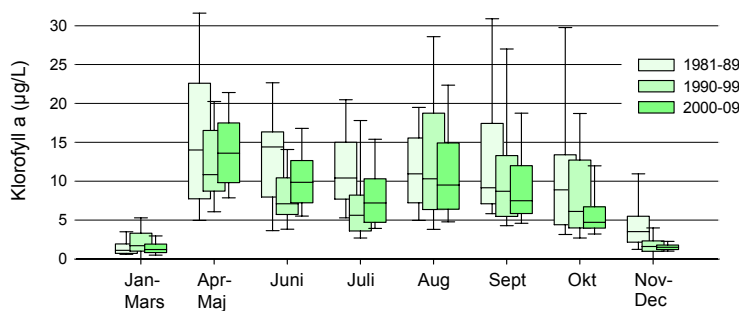
Höga klorofyllhalter under sommaren i en väl skiktad sjö som Mälaren orsakas av en stor yttre tillförsel av näringsämnen. Utsläppen från Eolshäls och Bromma avloppsreningsverk (till årsskiftet 1984-85 respektive sommaren 1989) spelade stor roll för näringsbelastningen och i relativa tal har den största förändringen efter att utsläppen upphört varit minskade halter i juni-juli (Fig 36).



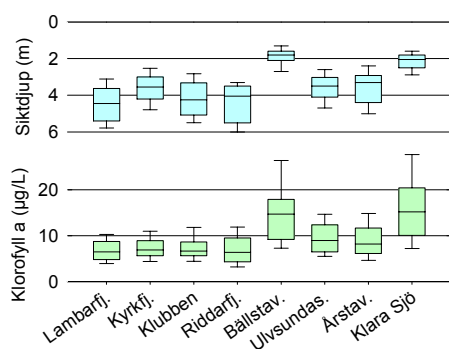
Figur 34. Klorofyllhalter 1981-2009, samtliga lokaler med provtagning t.o.m. 2009, samma data med två diagramtyper. Ett fåtal halter >60 µg/L är uteslutna ur det vänstra diagrammet.



Figur 35. Klorofyllhalter 1981-2009 (Klara Sjö 1992-, Lambarfjärden 1986-, Kyrkfjärden 1996-), hela året och i juni-september



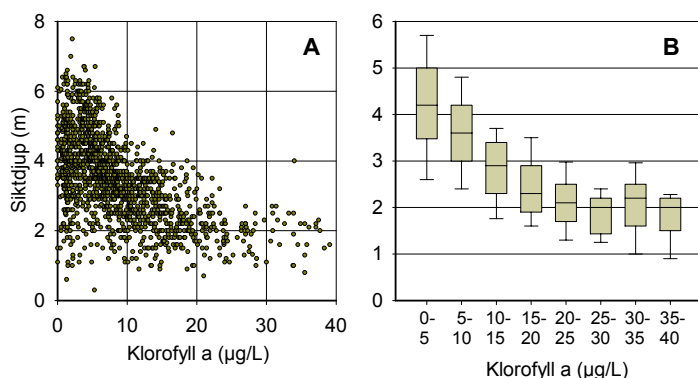
Figur 36. Fördelningen av klorofyllhalter under året 1981-89, 1990-99 och 2000-09. Data från samtliga lokaler med provtagning t.o.m. 2009.



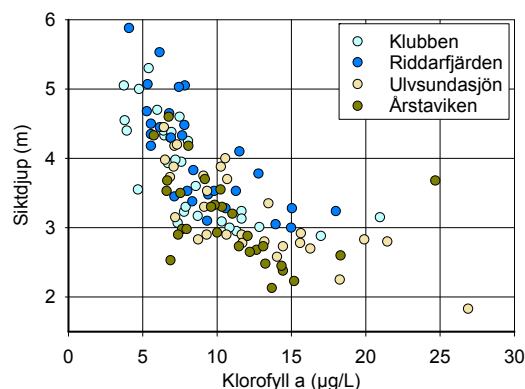
Figur 37. Siktdjup och klorofyll a juni-september 2000-09.

Skillnaderna har varit små mellan lokalerna i de öppna delarna av Mälaren – Lambarfjärden, Kyrkfjärden, Klubben och Riddarfjärden. Halterna är högre i Ulvsundasjön och Årstaviken. De högsta klorofyllhalterna och de lägsta siktdjupen påträffas i Bällstaviken och Klara Sjö (Fig 37).

Siktdjup



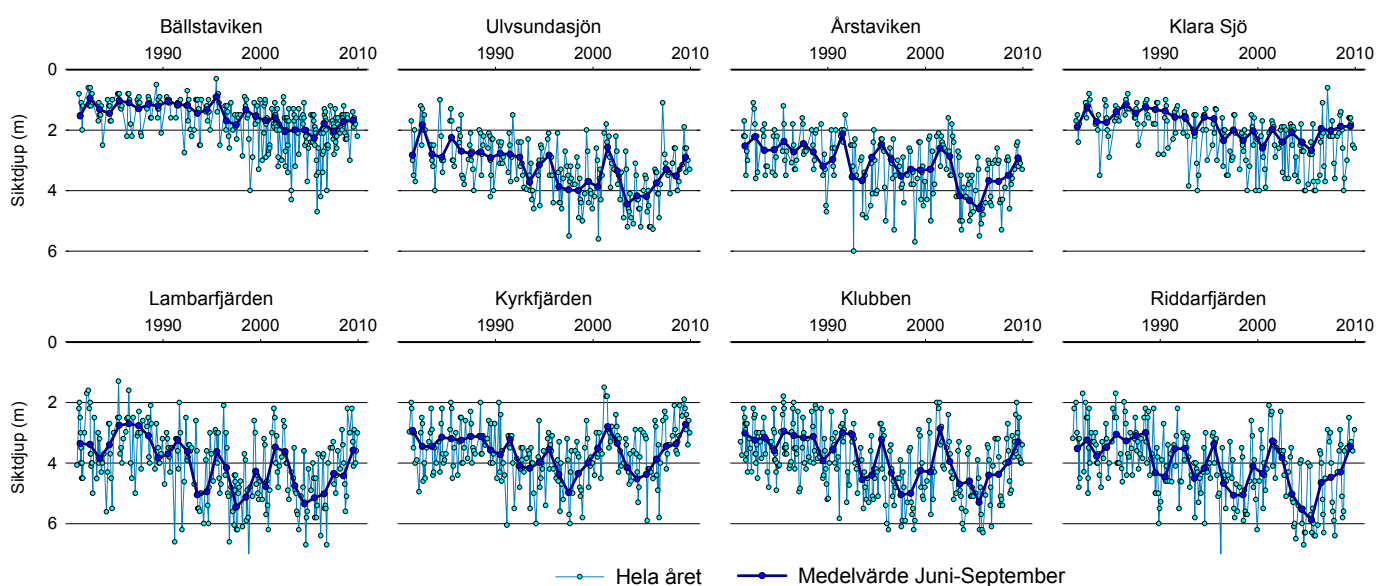
Figur 38. Samband mellan klorofyllhalter och siktdjup, data från lokalerna i Figur 37 (A) samtliga värden, (B) grupperade klorofyllhalter och siktdjup i 10, 25, 50, 75 och 90 percentiler.



Figur 39. Samband mellan sommarmedelvärden (juni-september) för klorofyll a och siktdjup 1981-2009.

Siktdjupet påverkas inte bara av mängden planktonalger utan också av andra suspenderade partiklar och av vattenfärgen. Sambandet mellan klorofyll och siktdjup är därför ganska svagt och siktdjupet kan vid en klorofyllhalt av t.ex. 0-5 µg/L variera mellan 1 och 7 meter (Fig 38 A). Om extremvärden utesluts, finns dock ett ganska tydligt samband (Fig 38 B) och lokalerna med de högsta klorofyllhaltarna har också de minsta siktdjupen (Fig 37). Det finns även ett ganska nära samband om jämförelsen begränsas till sommarmedelvärdena för de fyra lokalerna med sammanhängande data 1981-2009 (Fig 39).

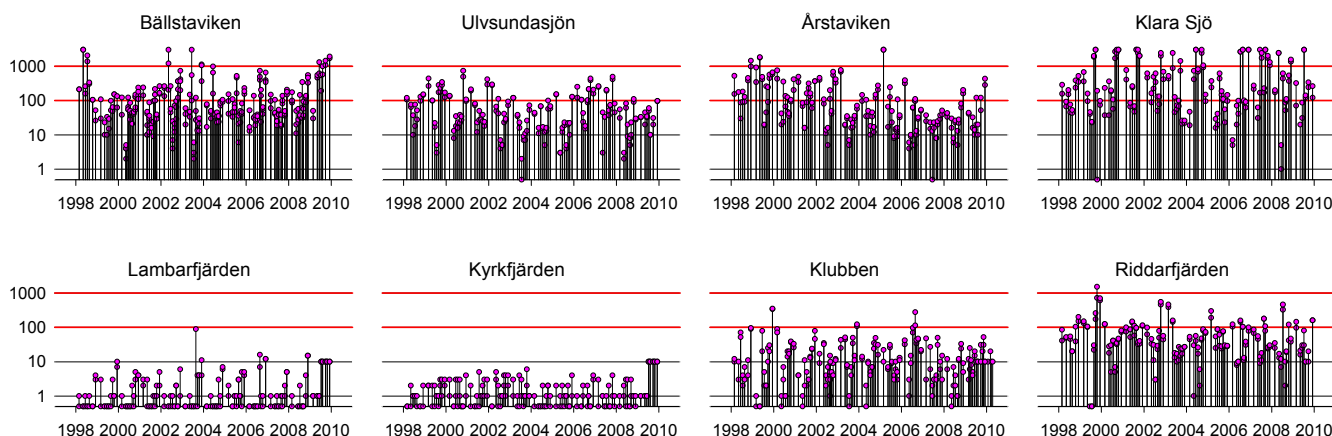
Minskningen av klorofyllhalterna från 1980- till 1990-talet sammanföll med allmän ökning av siktdjupet. Ökningen var stor, vid de flesta lokalerna ca 2 meter. Siktdjupet minskade efter de stora flödena omkring år 2000, ökade sedan och har de senaste ca 5 åren minskat mycket kraftigt (Fig 40). Pga skalorna i figurerna 35 och 40 ser siktdjupsförsämringen ut att vara större än ökningen av klorofyllhaltarna, men förändringarna från 2005 till 2009 är ungefär lika stora – siktdjupet vid de åtta lokalerna var i juni-september i genomsnitt 1,5 gång mindre 2009 och klorofyllhalten 1,4 gång högre.



Figur 40. Siktdjup 1981-2009, samtliga värden och medelvärden juni-september.

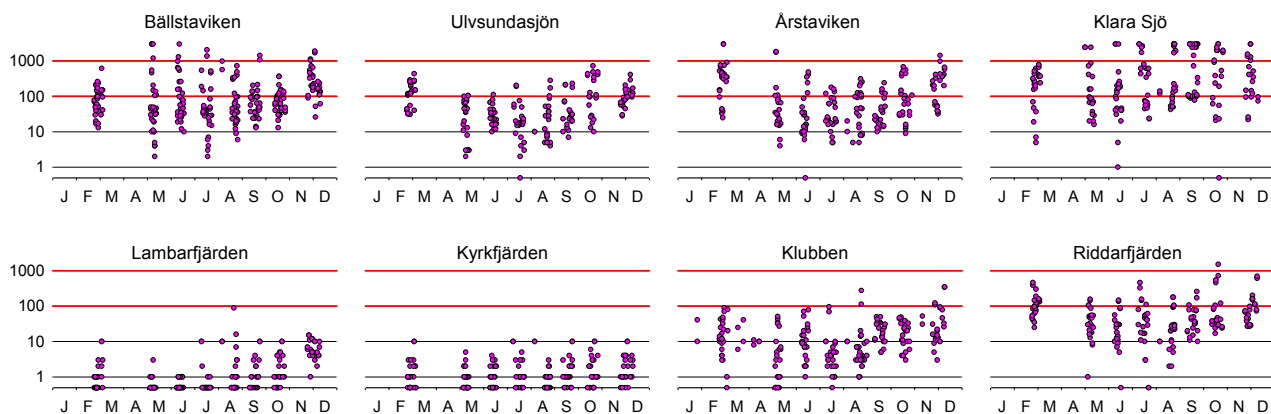
Bakterier

Antalet bakterier (*E.coli* med Colilert®) bestäms i ytvattnet på 0 och 4 m djup, med undantag av vid Klubben där prover tas på var 4:e meter från 0 till 20 m djup. Bakterietalen har varit låga i ytvattnet i Lambarfjärden och Kyrkfjärden. Betydligt högre bakterietal har påträffats vid Klubben och i Riddarfjärden – i Riddarfjärden ofta med antal som överskridit gränsen för med anmärkning tjänligt badvatten och i ett fall (oktober 1999) över gränsen för otjänligt badvatten. Bakterietalen har varit höga i de instängda vikarna, särskilt Bällstaviken och Klara Sjö med i många fall otjänligt badvatten, medan antalet i allmänhet varit lägre i Ulvsundasjön och Årstaviken (Fig 41).



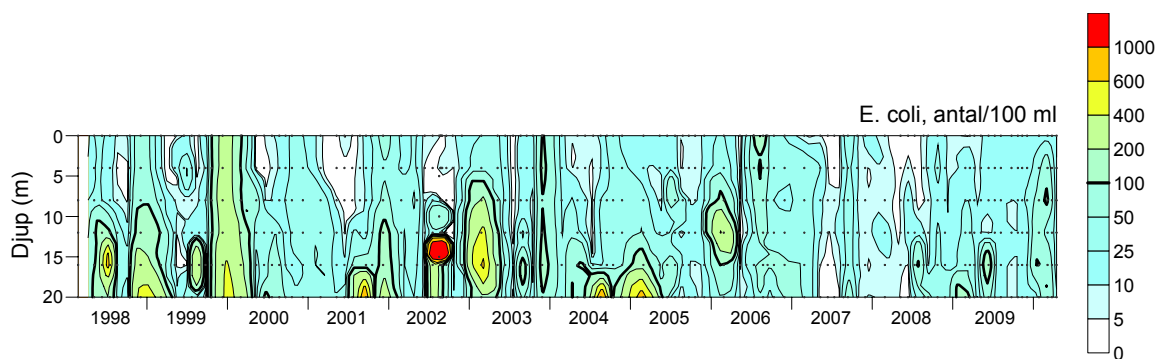
Figur 41. Konfirmerade *E coli*(antal /100 ml) 0-4 m 1998-2009. De röda linjerna visar undre resp övre gräns för med anmärkning tjänligt badvatten. Metoden medger med den spädning som använts inte högre tal än knappt 3000/100 ml.

Det finns i några fall en tendens till högre bakterietal under vår och höst än under sommaren – vid Klubben och i Ulvsundasjön, Årstaviken och Riddarfjärden. I Bällstaviken och Klara Sjö har höga bakterietal förekommit under hela året och badvattnet har varit otjänligt även under sommaren (Fig 42).



Figur 42. Konfirmerade *E coli*(antal /100 ml) 0-4 m. Fördelningen under året, i övrigt som Figur xx.

Provtagningarna på större djup vid Klubben visade fram till 2005 högre bakterietal på 16 och 20 m djup än vid ytan, vilket troligen sammanhänge med utsläppet av dagvatten från i första hand Älvsjö-Mälarentunneln som mynnar på 18 m djup. Efter att höga bakterietal i vattnet i tunneln påvisades 2005 åtgärdades flera felaktiga bräddpunkter och bakterietalen vid Klubben har sedan dess varit låga även på större djup. I samband med bräddning från Eolshälls avloppspumpstation i augusti 2002 gjordes en extra provtagning - bakterietalen var mycket höga på 15 m djup, men temperaturskiktningen förhindrade att det förorenade vattnet steg till ytan (Fig 43).



Figur 43. Bakterier (*E.coli*) på 0-20 m djup vid Klubben 1998-2009.

Vattenverken, råvatten

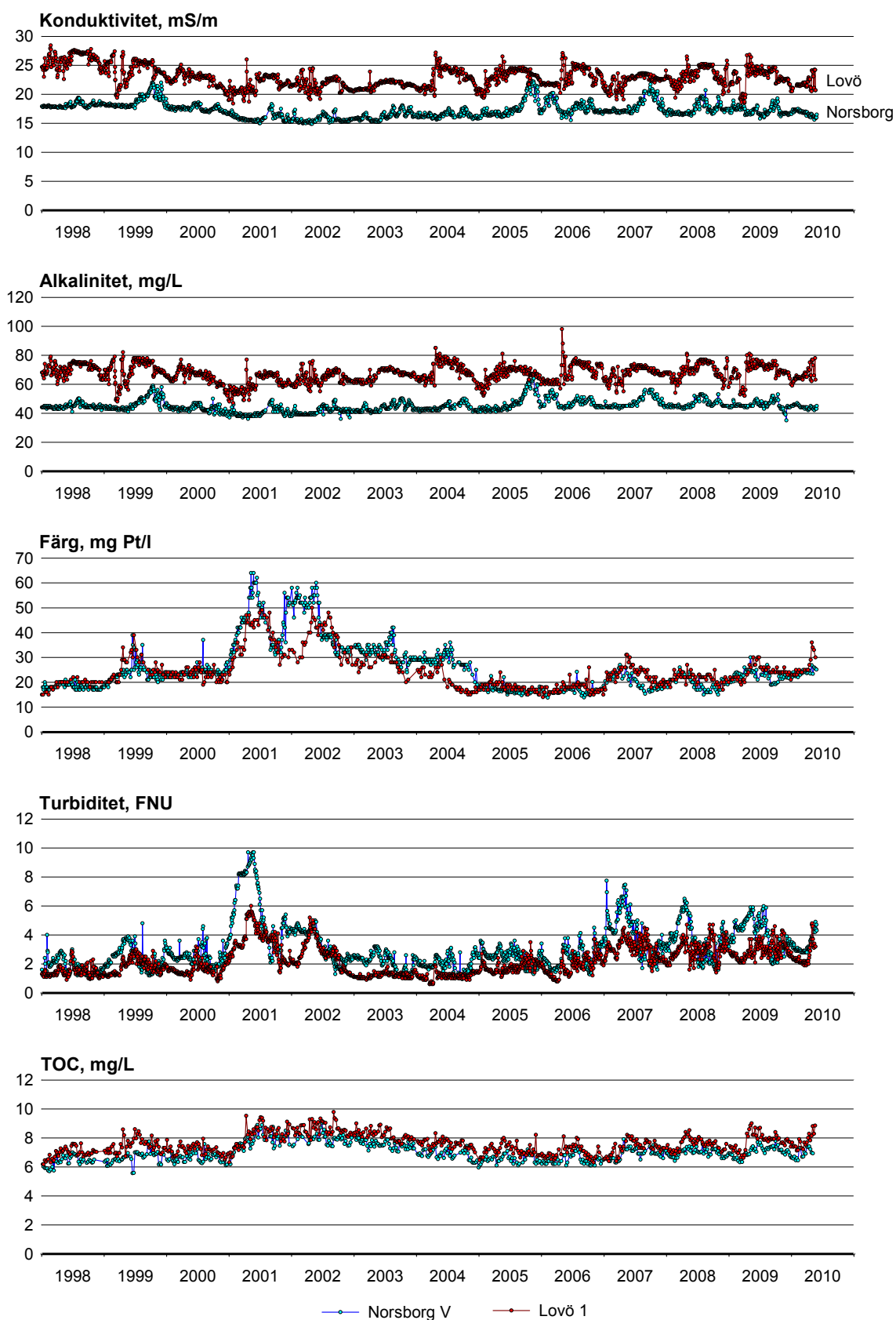
Ett stort antal parametrar analyseras i det vatten som tas in till vattenverken, vid Norsborg från 11 m djup i Kyrkfjärden/Rödstensfjärden och vid Lovö från 5, 10, 15 och 23 m djup i Mörbyfjärden. I Figur 44 visas utvecklingen av fem av de mest frekvent analyserade parametrarna från 1998 till början av 2010.

Råvattnet vid de två vattenverken skiljer sig åt främst genom betydligt högre konduktivitet och alkalinitet vid Lovö i överensstämmelse med skillnaderna mellan den norra och södra grenen av Östra Mälaren. Turbiditeten är i allmänhet högre vid Norsborg, vilket troligen beror på att vattnet där är mer strömmade än utanför Lovö.

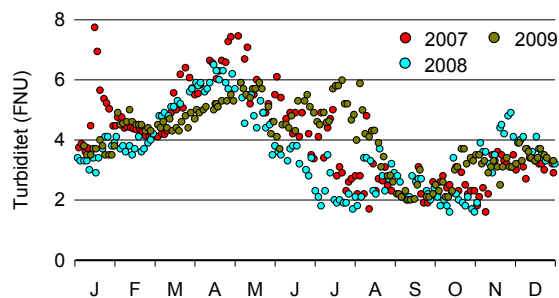
Den största förändringen under perioden är ökningen av färg och turbiditet i samband med de höga flödena 2000. Samtidigt ökade TOC något medan konduktiviteten och alkaliniteten minskade svagt. Effekterna av de höga flödena på turbiditeten varade bara något år men kvarstod flera år på vattenfärgen, som fortfarande var förhöjd 2004 trots låga flöden 2003. TOC visade en liknande, långsam minskning av halterna och både färg och TOC nådde låga värden först 2005. Efter 2005 har färg, turbiditet och TOC ökat. Ökningen av vattenfärgen har varit stor, från ca 15 till 25 mg Pt/l. Turbiditeten har visat en ännu större ökning med ungefär en fördubbling vid både Lovö och Norsborg, vid Norsborg efter 2006 med mycket stora variationer inom åren. De högsta turbiditetsvärdena har erhållits i april-maj (Fig 45), vilket kan tolkas som att turbiditeten orsakas av plankton, men sambandet mellan turbiditet och aluminium (Fig 46) tyder snarare på att turbiditeten till stor del beror på lera.

Av de parametrar, som när de jämförs med varandra har en korrelationskoefficient över 0,6, visar aluminium - turbiditet det starkaste sambandet ($r^2=0,84$), därefter UV* - färg ($r^2=0,81$) och UV - aluminium ($r^2=0,65$); sambanden är svagast för UV - turbiditet och, förvånansvärt nog, konduktivitet - alkalinitet, båda med $r^2=0,63$. Lukt, pH, ammoniumkväve och TOC hade i alla kombinationer en korrelationskoefficient $<0,6$ (Fig 46).

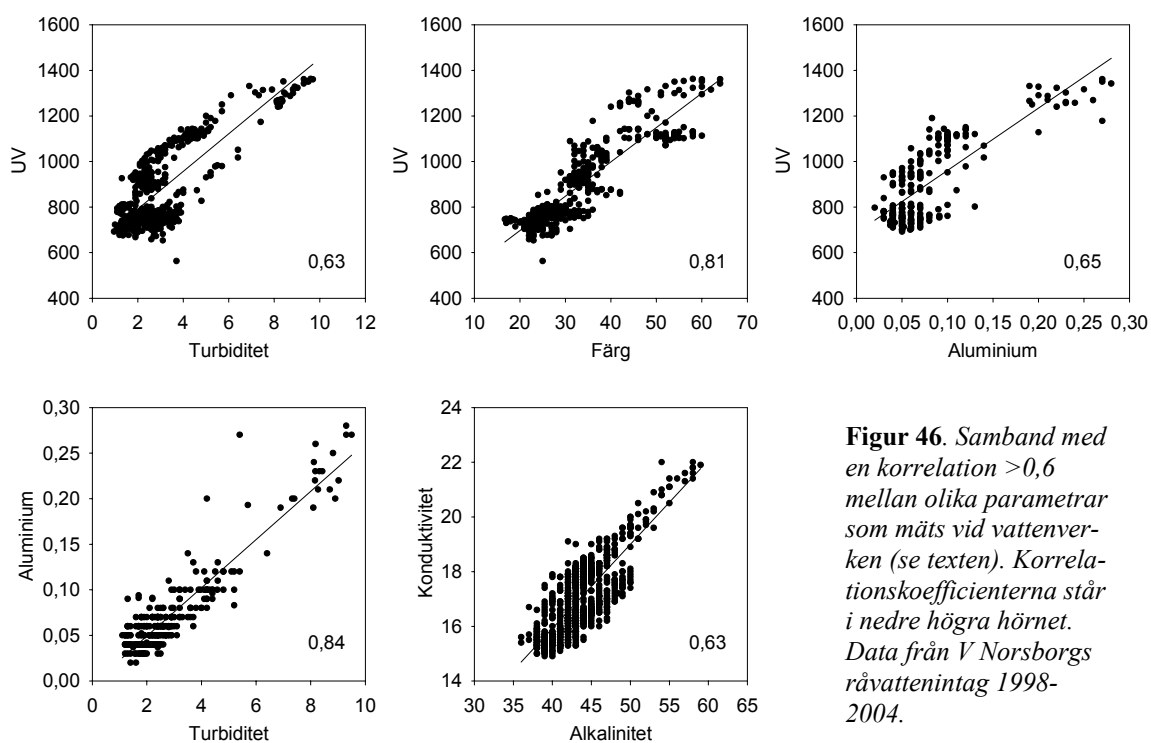
* UV = absorbansen vid 254 nm



Figur 44. Råvatten, värden från Norsborg V och Lovö 1. Färg är omräknad till mg Pt/l från absorbansen i filtrerade prover vid 410 nm.



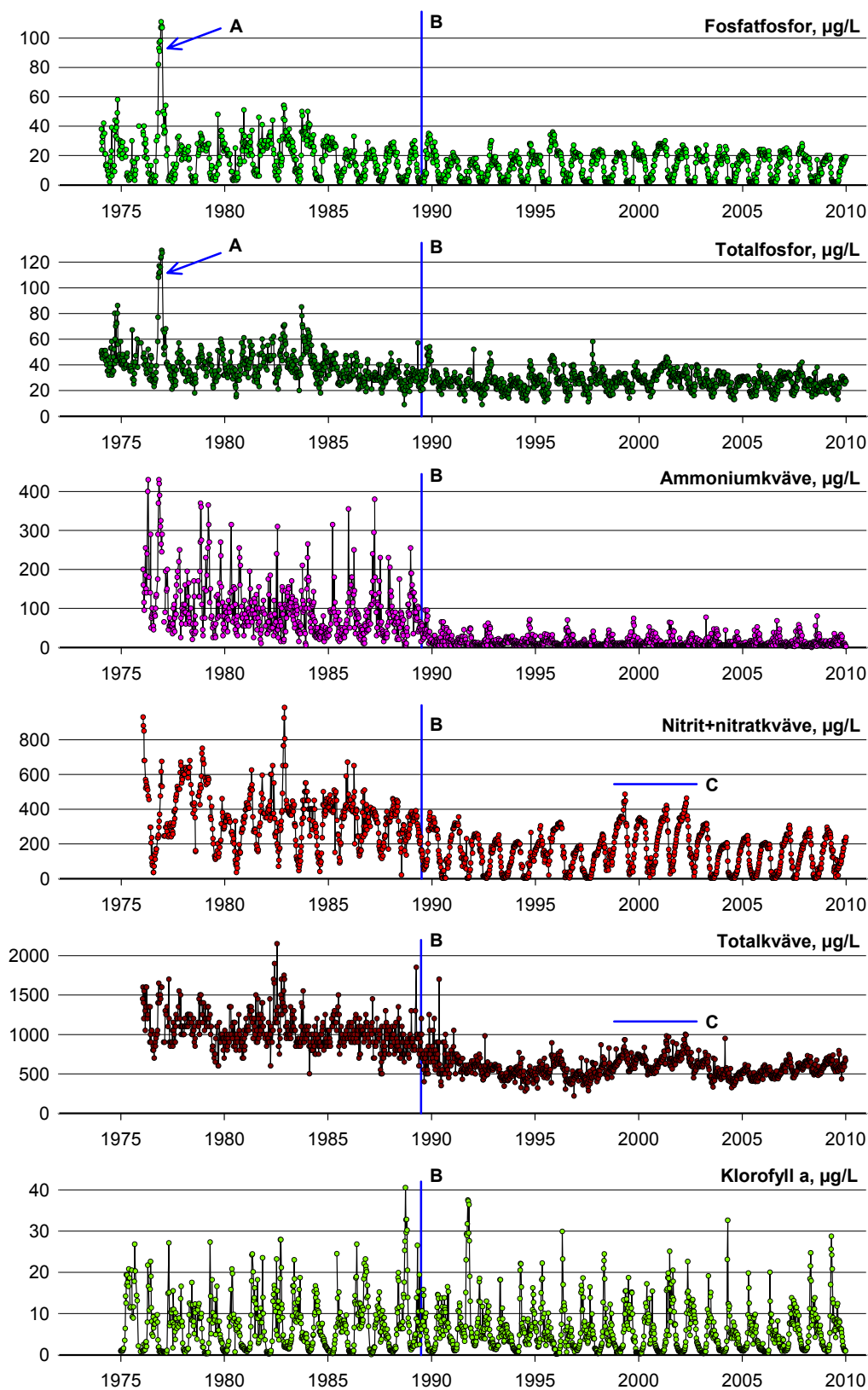
Figur 45. Förändringar av turbiditeten i V Norsborgs råvattenintag under året, data från 2007-2009.



Figur 46. Samband med en korrelation $>0,6$ mellan olika parametrar som mäts vid vattenverken (se texten). Korrelationskoefficienterna står i nedre högra hörnet. Data från V Norsborgs råvattenintag 1998-2004.

BILAGA 1/1

Halter i Mälarens utflöde genom Norrström.



Figur 1. Halter av fosfor 1974-2009, kväve 1976-2009 och klorofyll a 1975-2009.

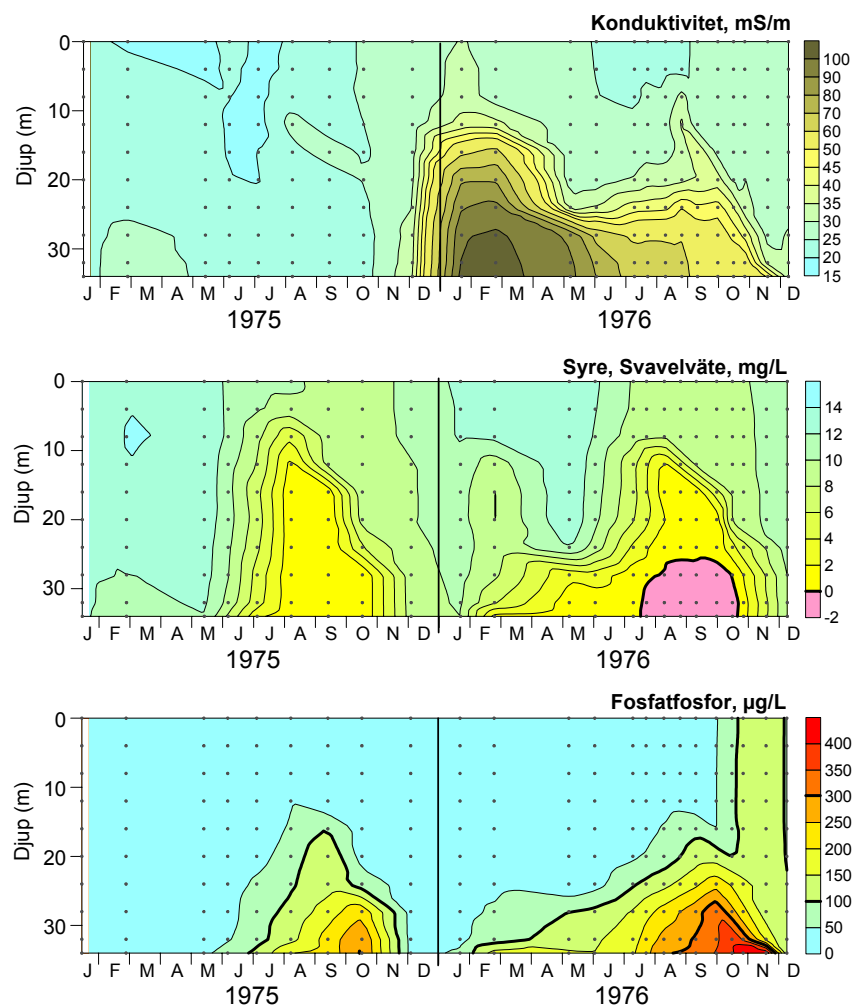
A: Höga fosforhalter beroende på saltvatteninbrott vid årsskiftet 1975-76 (se nästa sida)

B: Överföring av Brommaverkets utsläpp av renat avloppsvatten till Saltsjön (juni 1989)

C: Höga kvävehalter orsakade av stora flöden (se Fig 24)

BILAGA 1/2

Effekter av saltvatteninbrottet 1975-76 (A i figur 1, föregående sida)



Figur 2. Konduktivitet, syre och svavelväte (negativt värde i syredia-grammet) samt fosfatfosfor vid Klubben 1975-76.

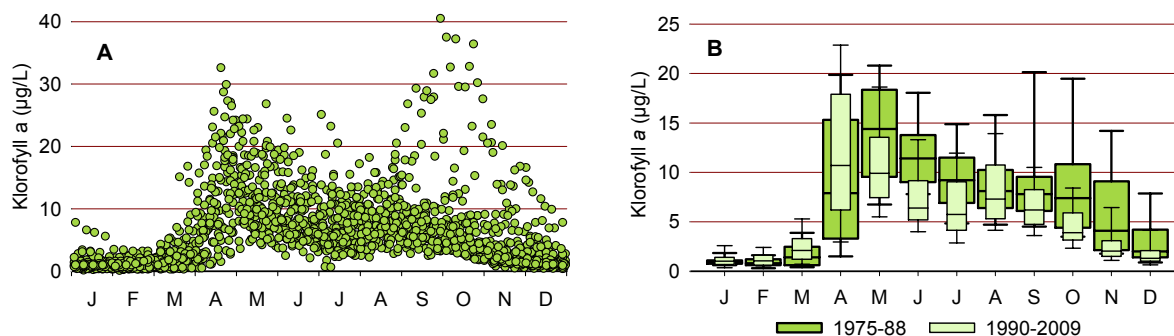
Vatten från Saltsjön flödade in i Mälaren vid årsskiftet 1975-76. Förhöjda konduktivitetsvärden registrerades i flera djuphål, högst Gröndal med 240 mS/m och Klubben med 105 mS/m. Förhöjningen var betydligt mindre längre in i Mälaren – i Fiskarfjärden var det högsta värdet 57 mS/m och i Kyrkfjärden utanför Norsborg bara 36 mS/m. Lambarfjärdens och Mörbyfjärdens bottenvatten påverkades inte alls av inflödet.

Det bräckta vattnet var tyngre än Mälärvattnet och bildade ett stagnant bottenvatten som låg kvar under våromblandningen. Syrehalterna blev mycket låga vid Klubben och Gröndal. Svavelväte, som annars är ovanligt i Mälaren pga låga sulfathalter, förekom vid båda lokalerna – vid Gröndal på 24 m djup i början av september och vid Klubben på 28–34 m djup i augusti-oktober. Fosforhalterna blev höga i bottenvattnet under de reducerade förhållandena. Fosfor spreds sedan i hela vattenmassan vid höstomblandningen och extremt höga halter registrerades i Mälarens utflöde i november-december.

BILAGA 1/3

Klorofyll a i Mälarens utflöde

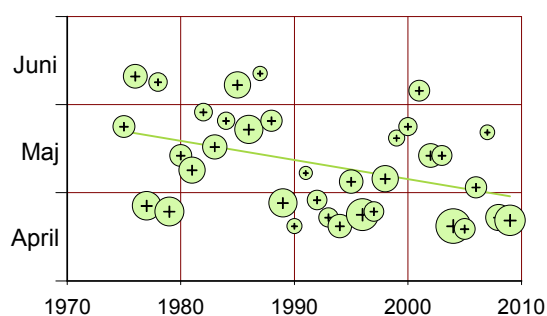
Växtsäsongen börjar med vårbloomingen i april-maj, då de högsta klorofyllhalterna brukar påträffas (Fig 3 A). Före överföringen av Brommaverkets utsläpp till Saltsjön 1989 kulminerade blomningarna i allmänhet i maj, efter överföringen har klorofyllhalten varit betydligt mindre i maj och klorofyllhalterna har varit relativt höga i april (Fig 3 B). Halterna har efter överföringen varit lägre än tidigare under sommar och höst (se också Fig 31).



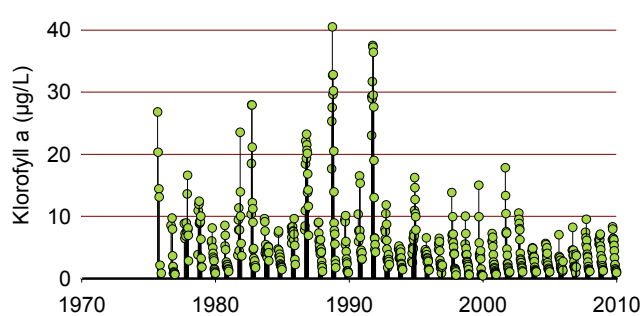
Figur 3. (A) Klorofyll a i Mälarens utflöde vid Centralbron (A) Fördelningen under året, samtliga data 1975-2009. (B) Fördelningen under året 1975-88 (före överföringen av Brommaverkets utsläpp till Saltsjön) och 1990-2009.

Förskjutningen av de högsta halterna från maj till april kan tolkas som en effekt av ändrat klimat med tidigare snösmältning och islossning. I Figur 4 visas tidpunkten för den högsta klorofyllhalten under våren, i april-juni, 1975-2009. Det finns en svag tendens till tidigare blomningar efter 1990, till stor del beroende på sena blomningar de kalla åren i mitten av 1980-talet. Andra faktorer än temperaturen tycks vara av betydelse och blomningarna var sena även kring år 2000 då flödena var stora.

Blomningar kan ibland uppträda även under hösten. De stora höstblomningarna har i stort sett upphört – den sista med klorofyllhalter >20 µg/L förekom 1992, efter 2003 har halten inte överstigit 10 µg/L (Fig 5).



Figur 4. Tidpunkt för högsta halt av klorofyll a i Mälarens utflöde under våren, data från 1975-2009. Cirkelnas storlek är proportionell mot klorofyllhalten.



Figur 5. Fördelningen under året av klorofyll a i Mälarens utflöde 1975-88 (före överföringen av Brommaverkets utsläpp till Saltsjön) och 1990-2009.