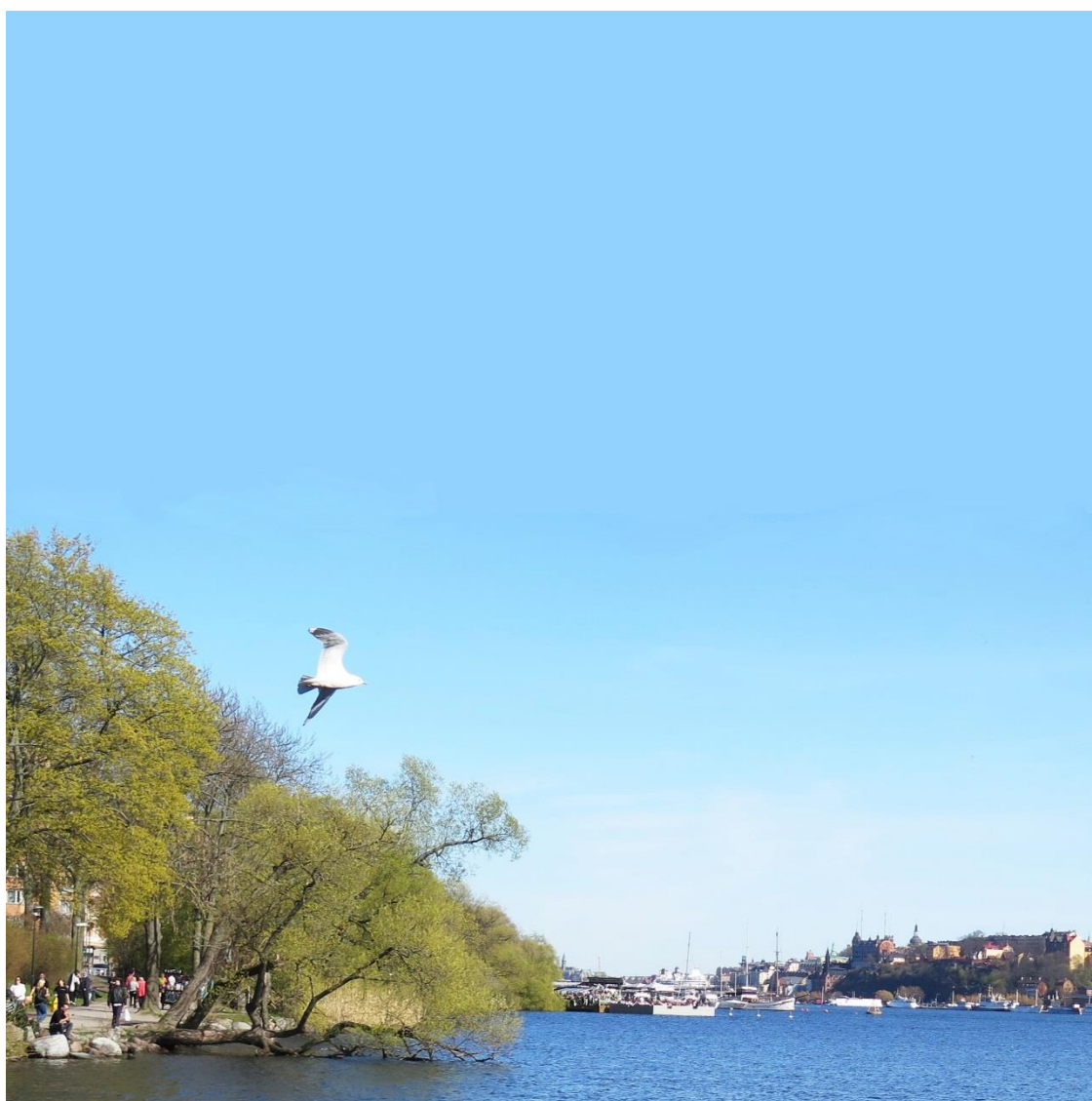


Rapport

Diarienummer
17MB251

Undersökningar i Östra Mälaren till och med 2016

Christer Lännergren



© Stockholm Vatten och Avfall 2017

Författare: Christer Lännergren

Rapporten citeras: Lännergren, C. (2017). Undersökningar i Östra Mälaren till och med 2016. Stockholm Vatten och Avfall.

Internt Dnr: 17MB251

Kontaktuppgifter: Stockholm Vatten och Avfall, 106 36 Stockholm

Telefon: 08-522 120 00

Webb: www.svoa.se

Innehåll

Sammanfattning	1
Inledning	3
Djupförhållanden	4
Provtagningar	5
Flöden och nivåer	7
Temperatur	9
Konduktivitet, alkalinitet, pH	11
Syre	14
Fosfor och kväve	17
Ytvatten	17
Bottenvatten	20
Fosfor- och kvävebegränsning	22
Transporter	24
Kisel	25
Klorofyll <i>a</i> och siktdjup	26
Absorbans, TOC, turbiditet	29
Metaller	30
Bakterier	32
Vattenverken, råvatten	34

Bilaga 1. Karta över Östra Mälarens vattenskyddsområde

Bilaga 2. Djupkartor

Bilaga 3. Effekter av saltvatteninbrott 1975-76

Bilaga 4. Isopletdiagram Fosfor och Kväve

Rapporten är en uppföljning av *Lännergren, C: Undersökningar i Mälaren till och med 2009* (Stockholm Vatten 2010-08-23, Dnr 10SV711). Liksom i den tidigare rapporten har redovisningen begränsats till data som är digitalt tillgängliga, vilket för Stockholm Vatten och Avfalls provtagningar i Östra Mälaren innebär att ett rikligt material från slutet av 1960-talet till och med 1980 inte har utnyttjats.

Fotot på framsidan: Riddarfjärden från Rålambshovsparken i maj 2017.

Sammanfattning

Östra Mälaren utgörs av två grenar – Lambarfjärden, Nockebysundet i norr och Kyrkfjärden, Rödstensfjärden, Fiskarfjärden i söder – som förenar sig i Klubbenområdet och sedan fortsätter förbi Essingeöarna till Riddarfjärden och utloppen i Norr- och Söderström. Det finns två vikar, Bällstaviken/Ulvsundasjön och Årstaviken, och ett kanalliknande vattenområde, Karlbergssjön/Klara Sjö, mellan Ulvsundasjön och Riddarfjärden.

Vattendjupet är stort i de centrala delarna, i Riddarfjärden ca 20 m, i Klubbenområdet 35 m och i Lambarfjärden över 60 meter. Det direkta tillrinningsområdet är litet och vattenomsättningen beror huvudsakligen på tillflödet från de västra delarna av Mälaren via Prästfjärden och Södra och Norra Björkfjärden. Ett stort tillflöde kommer också via Stäket från Ekoln och Skarven som främst påverkar förhållandena i den norra grenen.

Utfloppet från Mälaren varierar normalt mellan ca 180 och 750 Mm³/månad med de största flödena under våren och de minsta under sommaren. Vårflödena var i början av 2000-talet mindre än tidigare men har därefter ökat och var 2010-2016 lika stora som under SMHI:s normalperiod 1961-90. Årsflödena har sedan början av 1940-talet varierat mellan ca 1 300 och 8 500 Mm³. Flödena var små efter stora flöden omkring år 2000 och ökade därefter till 2012 då flödet var mycket stort, 8 100 Mm³.

Temperaturskiktningen är stark i de djupare delarna av Östra Mälaren med ett språngskikt under sommaren på 10-15 m djup. Temperaturen har sedan början av 1980-talet ökat med 2,0–2,5 °C i ytvattnet men har varit oförändrad i bottenvattnet.

Konduktiviteten är högre i den norra grenen än i den södra beroende på tillflödet från Ekoln och Skarven. Alkaliniteten är nära korrelerad med konduktiviteten och är högre i Lambarfjärden än vid Långhällsudde och i Kyrkfjärden. Förhållandet mellan alkalinitet och konduktivitet har förändrats genom att alkalinitet ökat i både den norra och södra grenen samtidigt som konduktiviteten varit konstant eller minskat. pH-värdena är ungefär lika höga i båda grenarna och har sedan 1990-talet ökat med ca 0,2 enheter

Syrehalterna i bottenvattnet minskar från juni-juli och är före höstomblandningen i september-oktober mycket låga vid Klubben och i Kyrkfjärden, Riddarfjärden och Ulvsundasjön. Syreminskningshastigheten under perioden med linjär minskning varierar mellan ca 0,05 och 0,2 mg/l och dag med den lägsta hastigheten i Lambarfjärden och vid Långhällsudde. Förändringarna av syreminskningshastigheten har varit små sedan 1981 med undantag av Klubben där hastigheten blivit något lägre.

Halterna i ytvattnet av både totalfosfor och totalkväve minskade vid alla lokaler från 1980-talet till mitten av 1990-talet, till stor del som en effekt av avledningen av utsläppen från Bromma och Eols-hålls avloppsreningsverk. Efter år 2000 har minskningen av fosfor fortsatt i Ulvsundasjön och Årstaviken där halterna tidigare var relativt höga. Årsmedelvärdet har under 2000-talet varit 20-25 µg/l med de högre halterna vid lokalerna närmast Stockholm och ännu högre halter, 30-50 µg/l, i Bällstaviken och Klara Sjö. Årsmedelvärdet för kväve har under 2000-talet varit ca 500 µg/l vid alla lokaler utom Klara Sjö där halten varit drygt 600 µg/l.

Fosfor och kväve visade tidigare ett starkt samband med storleken på Mälarens utflöde och minskningen av halterna till mitten av 1990-talet berodde inte bara på avledningen av avloppsreningsverkens utsläpp utan också på små flöden. Halterna ökade i samband med de stora flödena omkring år 2000 och minskade sedan när flödena på nytt var små men har sedan förblivit låga trots ökade flöden.

Fosfor och kväve förekommer i höga halter i bottenvattnet under sommar och tidig höst, fosfor huvudsakligen som fosfatfosfor, kväve först som nitrit+nitratkväve och mot slutet av den skiktade perioden som ammoniumkväve. De högsta fosforhalterna påträffades 2010-2016 i Kyrkfjärdens bottenvatten och de högsta kvävehalterna i bottenvattnet vid Klubben. Fosforhalterna ökade i början av 2000-talet både vid Långhällsudde och i Kyrkfjärden och har därefter minskat något. Halterna av fosfor och kväve har blivit betydligt lägre vid Klubben och i Ulvsundasjön efter höga halter under 1980-talet.

Vegetationsperioden börjar vanligen i april och varar till november-december. Efter 2010 har höga klorofyllhalter några år förekommit redan i februari-mars, vilket tidigare var mycket ovanligt, och en svag tendens till tidigare vårblomning framgår av de veckovisa klorofyllprover som tagits i Mälarens utflöde. Klorofyllhalterna har minskat i Ulvsundasjön efter höga halter under 1980-talet, och i Bällsta-

viken där halterna var höga före år 2000. Vid övriga lokaler har halterna varierat från år till år utan att tydligt öka eller minska.

Primärproduktionen begränsas sannolikt främst av fosfor. Förhållandet mellan oorganiskt kväve och fosfor är i ytvattnet före vårbloomingen 10-16:1, högre än förhållandet i typiska alger som är ca 7:1. Halterna av fosfatfosfor är mycket låga under sommaren utom i Bällstaviken och Klara Sjö som är oskiktade eller bara svagt skiktade, halterna av nitrit+nitratkväve är vanligen låga i ytvattnet men samtidigt förekommer ammoniumkväve i relativt höga halter. Kisel kan tidvis vara begränsande med låga halter framförallt i maj-juni.

Siktdjupet har minskat kraftigt i hela Östra Mälaren och har efter 2010 varit ungefär hälften så stort som i början av 2000-talet. Sambandet mellan klorofyll och siktdjup är svagt, försämringen beror inte på att mängden alger har ökat och försämringen förklaras inte heller fullt ut av andra faktorer som vattenfärg eller TOC (totalt organiskt kol). Det finns däremot ett mycket nära samband med flödet och försämringen av siktdjupet under 2000-talet har sammanfallit med ökande flöden.

Antalet bakterier (*E coli* 44°C), har varierat från 10/100 ml i Lambarfjärden och Kyrkfjärden till över 10 000/100 ml i Klara Sjö och Bällstaviken. Bakterietal över gränsen för badvatten som är tjänligt med anmärkning har under 2000-talet förekommit vid alla lokaler från Klubben och in mot Stockholm. De mycket höga bakterietalen har i allmänhet minskat och gränsen för otjänligt badvatten har efter 2010 bara överskridits i Klara Sjö, Bällstaviken och Ulvsundasjön samt, mycket tillfälligt, i Årstaviken.

Prover för analys av ett stort antal metaller togs 2014 och 2016. Enligt de gamla och inte längre giltiga bedömningsgrunderna för ofiltrerade metaller (totalhalter) var halterna i de flesta fall låga eller mycket låga, lägst i Kyrkfjärden. Gränsvärdena för filtrerade (lösta) halter överskreds i ett eller flera prover från alla lokaler utom Kyrkfjärden och Mälarens utflöde vid Centralbron.

Absorbans, filtrerad, 420 nm, mättes i ytvattnet vid alla lokalerna 2016, TOC och turbiditet i Bällstaviken, Ulvsundasjön och vid Långhällsudde samt i Mälarens utflöde. Absorbansen var i de flesta fall nära 0,04, i Mälarens utflöde drygt 0,05. Halten av TOC var ca 8 mg/l och turbiditeten ca 2 FNU.

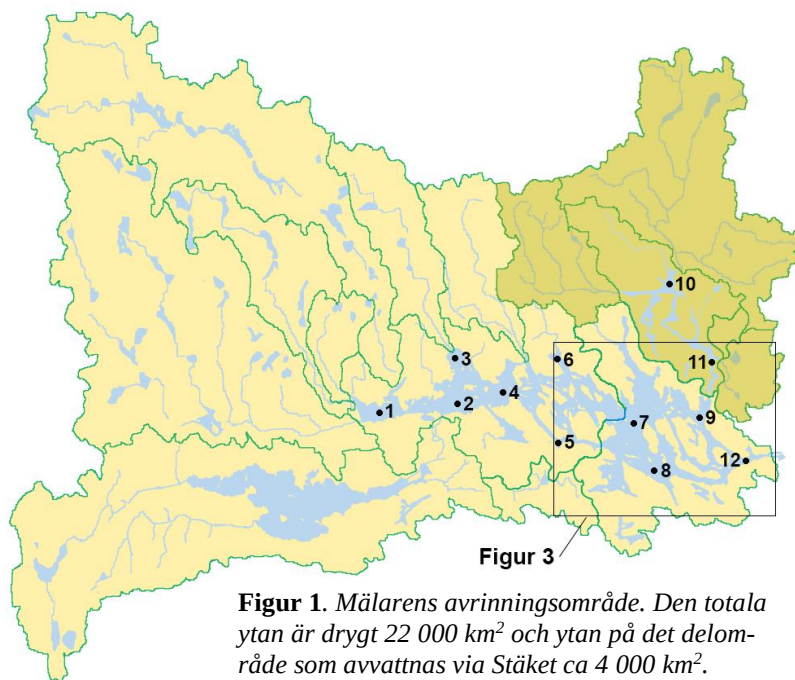
De råvattenanalyser som görs vid Norsborgs och Lovö vattenverk skiljer sig åt främst genom betydligt högre konduktivitet och alkalinitet vid Lovö i överensstämmelse med skillnaderna mellan Kyrkfjärden och Lambarfjärden. Vattenfärg, turbiditet och TOC har ökat efter låga värden 2005-2006, vilket troligen bidragit till att siktdjupet blivit mindre.

Trots försämringen av siktdjupet är statusen för ljusförhållanden (=siktdjup) enligt de senaste bedömningsgrunderna hög eller god i de flesta vattenförekomsterna i Östra Mälaren. Den ekologiska statusen bedöms vara god i Görvål, Rödstensfjärden/Kyrkfjärden, och Årstaviken, måttlig i Riddarfjärden, Långtarmen och Ulvsundasjön/Klara Sjö.

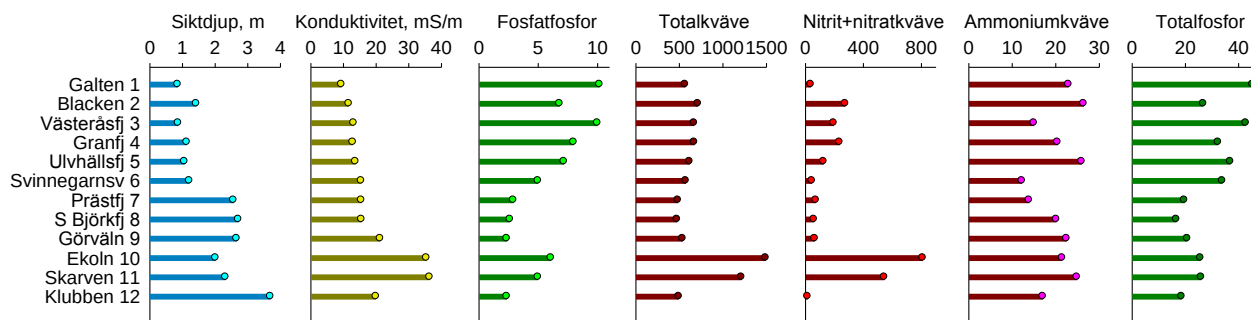
Inledning

Tillrinningen till Mälaren kommer huvudsakligen från den västra och norra delen av avrinningsområdet. Östra Mälarens direkta tillrinningsområde är jämförelsevis litet och större tillflöden saknas med undantag av det delområde som från Ekoln och Skarven via Stäket rinner ut i Görvål och vidare mot Lambarfjärden.

Siktdjupet är betydligt mindre i den västra än i den östra delen av Mälaren och fosfor- och kvävehalterna är i allmänhet högre. Halterna av totalkväve och nitrit+nitratkväve är mycket höga i Ekoln och Skarven (Fig 2).

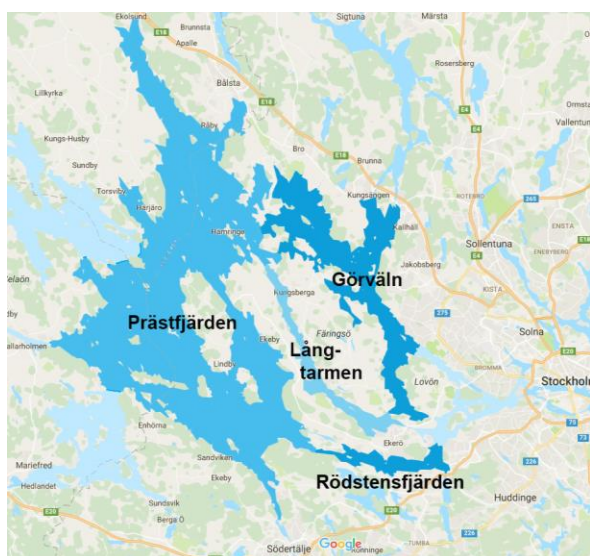


Figur 1. Mälarens avrinningsområde. Den totala ytan är drygt 22 000 km² och ytan på det delområde som avvattnas via Stäket ca 4 000 km².



Figur 2. Siktdjup, konduktivitet samt halter av fosfor och kväve (µg/l) i Mälarens ytvatten i juli-augusti, medelvärden 2007-2012. Provpunkterna är ordnade från väster till öster med numreringen i Figur 1. Data från SLU utom Klubben som ingår i Stockholm Vatten och Avfalls provtagningsprogram.

I Östra Mälaren finns sju vattenförekomster – Görvål med Lambarfjärden och Mörbyfjärden, Långtarmen och Rödstensfjärden (Fig 3), samt närmare Stockholm Fiskarfjärden, Riddarfjärden Årstaviken och Ulvsundasjön – den senare innefattar även Bällstaviken och Klara Sjö (Fig 4). Prästfjärden är en stor vattenförekomst närmast väster om Östra Mälaren, som även innefattar N och S Björkfjärden.



Figur 3. Prästfjärden samt vattenförekomsterna i Östra Mälaren.



Figur 4. Vattenförekomster i Stockholms närhet.

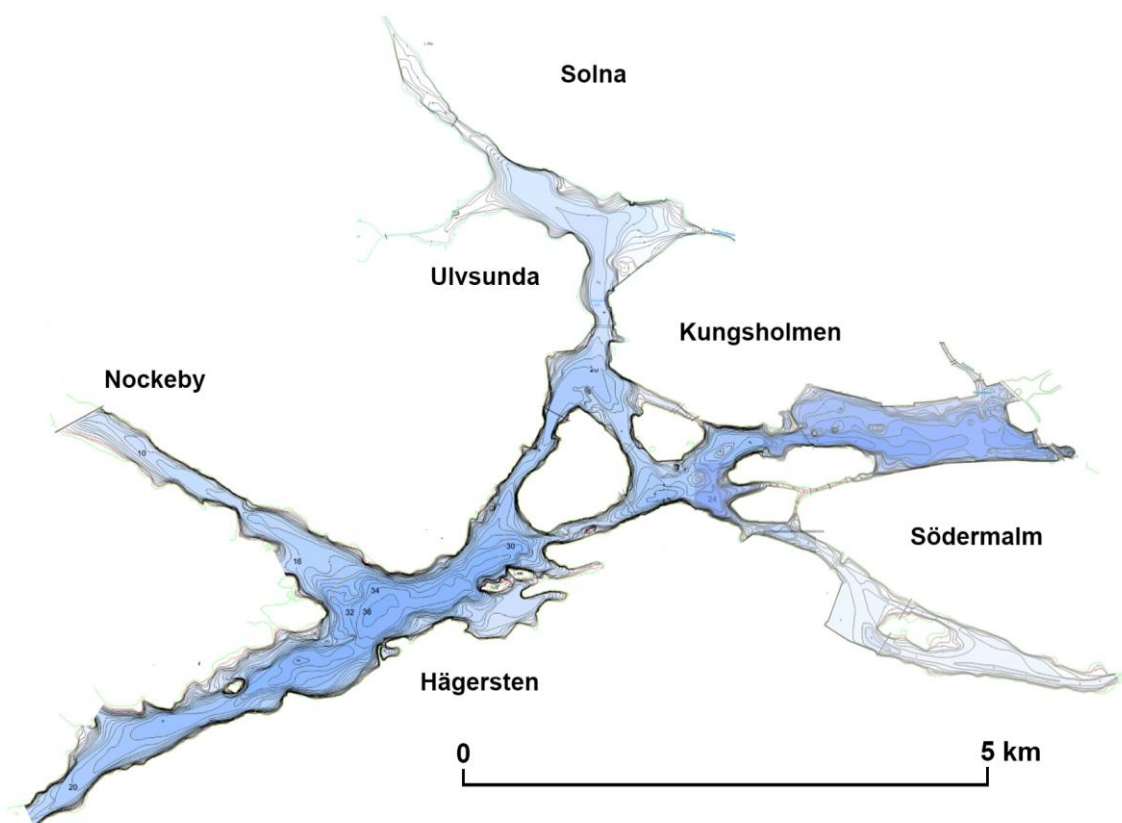
Enligt den senaste klassningen är den ekologiska statusen god i Prästfjärden, Görväln, Rödstensfjärden (Kyrkfjärden) och Årstaviken medan statusen är måttlig i Långtarmen, Riddarfjärden och Ulvsundasjön. Statusen för växtplankton, klorofyll a och näringsämnen (fosfor) är god eller måttlig, statusen för ljusförhållanden (siktdjup) är i fyra fall hög (Tabell 1).

Tabell 1. Status för vattenförekomsterna i Östra Mälaren.

	Ekologisk status	Växtplankton	Klorofyll a	Näringsämnen	Ljusförhållanden
Prästfjärden	God	God	Måttlig	God	God
Görväln	God	God	God	God	Hög
Långtarmen	Måttlig	Måttlig	Måttlig	God	God
Rödstensfjärden	God	God	God	God	Hög
Fiskarfjärden	God	God	God	God	Hög
Riddarfjärden	Måttlig	Måttlig	Måttlig	Måttlig	Måttlig
Årstaviken	God	God	God	God	Hög
Ulvsundasjön	Måttlig	Måttlig	Måttlig	Måttlig	Måttlig

En stor del av Östra Mälaren blev förklarad som vattenskyddsområde 2008 (karta, Bilaga 1).

Djupförhållanden



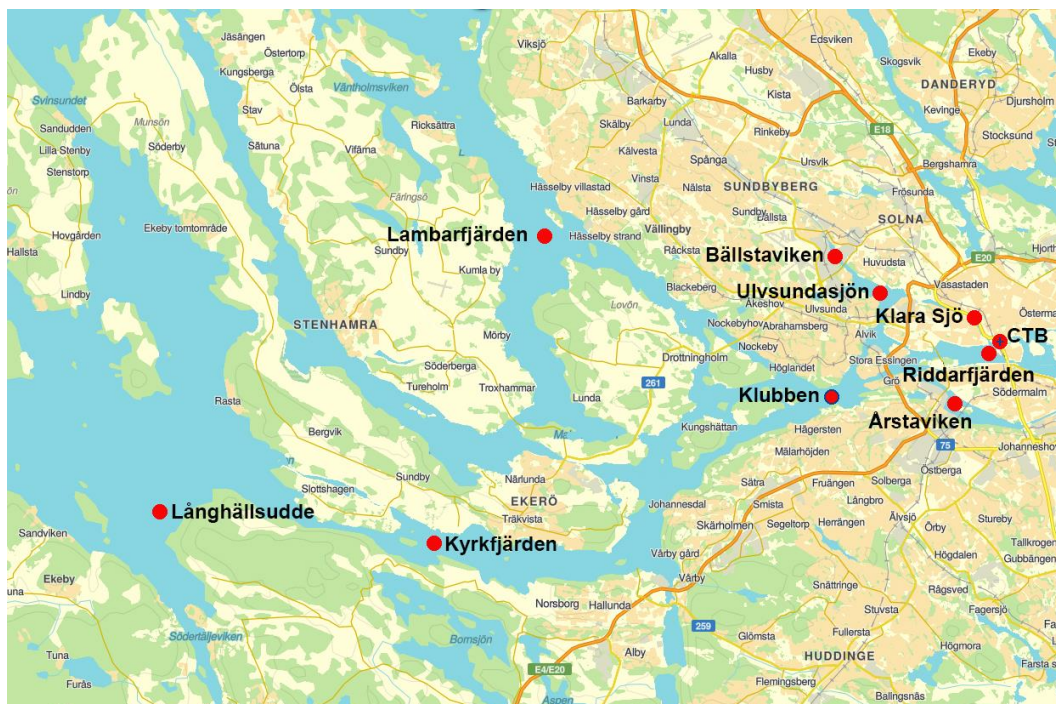
Figur 5. Djupkarta, Sammanställning av detaljkartor över Ulvsundasjön, Årstaviken, Riddarfjärden och en större karta som omfattar området från Essingen till Nockebybron och Kungshatt. Kartorna är gjorda av Anders Svanberg, Myrica AB. Detaljkartorna finns i större skala i Bilaga 2.

En förkastningsspricka, som börjar långt ute i skärgården, går genom Stockholm och vidare in i Mälaren. Vattendjupet är stort i Riddarfjärden, 21 m utanför Långholmen och nära Riddarholmen och drygt 20 m utanför Gröndal. Sundet söder om Stora Essingen är grundare, ca 12 m, vattendjupet i sunden öster norr om Stora Essingen är drygt 18 m. Längre västerut ökar vattendjupet och är i Klubbenområdet som mest 37 m. I Nockebysundet, den norra grenen, som sedan fortsätter mot Lambarfjärden, är det minsta djupet 9 m och bottenvattnet i Lambarfjärden (tillsammans med Mörbyfjärden, Görväln, Näs-fjärden och Brofjärden), som med 60 m är den djupaste delen av Mälaren, saknar kontakt med bottenvattnet i övriga delar av Östra Mälaren – i norr begränsas förbindelsen av grunda sund ut mot Norra Björkfjärden. I den södra grenen mot Kyrkfjärden och Rödstensfjärden finns troligen grundare

avsnitt med bara något över 10 m djup vid Estbröte och Slagstaholm (detaljerad kartering saknas). Vattendjupet i Kyrkfjärden är som mest ca 25 m och minskar sedan till bara 7 m i Bockholmssundet. Provtagningspunkten Långhällsudde ligger utanför Bockholmssundet i Södra Björkfjärden där det största djupet är ca 40 m.

Djupen i Ulvsundasjön och Årstaviken är mindre än i de centrala delarna av Östra Mälaren, i Ulvsundasjön ungefär 15 m och i Årstaviken 9 m. Bottenvattnet i Ulvsundasjön står i fri förbindelse med de djupare områdena norr om Stora Essingen. Utbyte av Årstavikens bottenvatten begränsas av vattendjupet i sundet under Liljeholmsbron, som är ca 7 m. Bällstaviken och Klara Sjö, som ingår i vattenförekomsten Ulvsundasjön, har största djup av 6 respektive 5 m.

Provtagningar



Figur 6. Provtagningspunkter i Östra Mälaren 2009-2016 (Långhällsudde 2015-2016). Vid CTB (Centralbron) tas prover även av SLU. Klubben är en intensivpunkt med 12 provtagningar per år.

Provtagningsprogrammet för Östra Mälaren har sitt ursprung i ett program från 1967 som upprepade gånger har modifierats, senast 2008 då antalet provtagningspunkter minskades från 12 till 8. Långhällsudde, som utgick 2008, återupptogs 2015. Proverna tas från ytan till botten, som tätast på var 4:e meter med undantag av Bällstaån och Klara Sjö (Tabell 2). Proverna har tagits 7-8 gånger per år utom vid Klubben 12 gånger per år och Långhällsudde 5 gånger per år. Mätningarna och analyserna omfattar vid samtliga lokaler parametrarna i Tabell 3. Mälarens utflöde vid Centralbron har provtagits en gång i veckan för analys av fosfor, kväve, TOC, turbiditet och klorofyll *a*.

Tabell 2. Provtagningsdjup

	Provtagningsdjup (m)								
Lambarfjärden	0	4	8	12	20	30	40	50	60
Långhällsudde	0	4	16	20	28	32	37		
Klubben	0	4	8	12	16	20	24	28	32
Kyrkfjärden	0	4	12	20	23				
Riddarfjärden	0	4	8	12	16	18			
Ulvsundasjön	0	4	8	12	14				
Årstaviken	0	4	8						
Bällstaviken	0	2	4						
Klara Sjö	0	3							

Tabell 3. Parametrar vid samtliga provtagningspunkter (absorbans bara 2016).

Siktdjup
Temperatur
Konduktivitet
Absorbans F
Syre
Fosfor
Total
Fosfat
Kväve
Total
Ammonium
Nitrit+nitrat
Kisel
Klorofyll *a*
Plankton
Bakterier

Vissa parametrar analyseras bara vid provtagningspunkter nära vattenverken – Lambarfjärden, som i allt väsentligt utgör samma vattenområde som Mörbyfjärden, Kyrkfjärden samt Långhällsudde, som är en tänkbar ny vattentäkt för Norsborgsverket. TOC, hårdhet, klorid och turbiditet har analyserats vid ytterligare ett antal punkter (Tabell 4).

Tabell 4. Parametrar utöver dem som ingick vid samtliga provtagningspunkter 2010-2016.

	Alk	pH	Lukt	TOC	Hårdh	Cl ⁻	Turb
Lambarfjärden	x	x	x	x			
Långhällsudde	x	x	x	x			x
Kyrkfjärden	x	x	x	x			
Ulvsundasjön	x	x		x	x	x	x
Bällstaviken				x			x
Centralbron				x			x

2016 togs prover för analys av filtrerade (lösta) metaller – bly, kadmium, koppar, krom, nickel, zink och kvicksilver - från Lambarfjärden Kyrkfjärden, Klubben, Riddarfjärden och Centralbron (Centralbron även 2015).



Klara Sjö

Flöden och nivåer

Östra Mälaren består av en nordlig och en sydlig gren 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 5). 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 5. 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 idag den rutin som bestämdes i vattendom 1966¹ (Tab 6). När ombyggnaden av Slussen är klar kommer tappningsrutinerna att ändras och tappningskapaciteten i Söderström blir betydligt större.

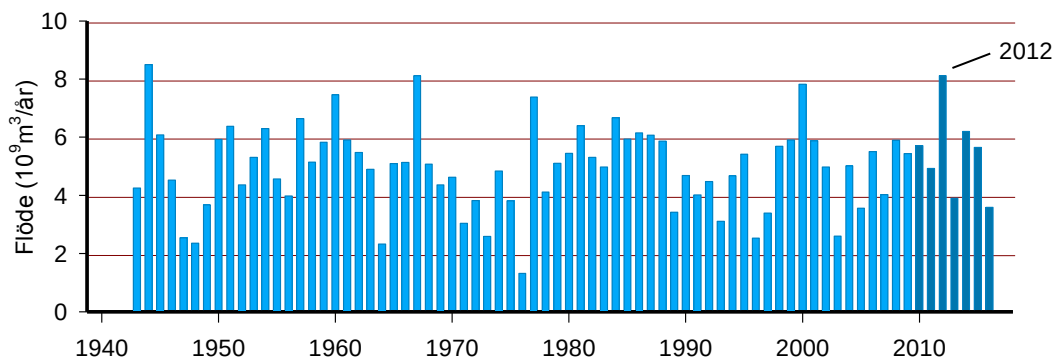
Tabell 6. Mälarens nuvarande reglering, öppning av utskoven vid olika nivåer i Mälaren angivna som meter över slusströskeln. I bestämmelserna ingår även tätning av luckorna vid nivå 4,05 m och lägre. Genom att de nya luckorna är så pass täta har detta inte längre någon praktisk betydelse.

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.

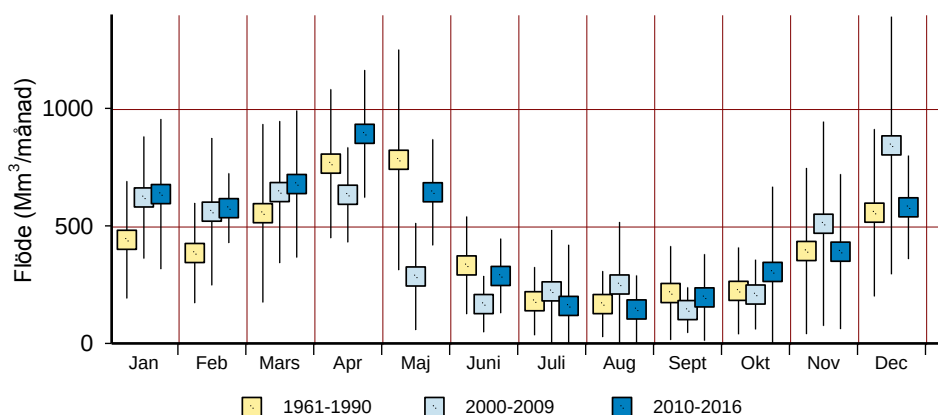
¹ AD 122/62, förändring av tidigare domar: AD 68/39 (1941) och AD 69/59 (1959).

Sedan regleringen började genom konstruktionen av dammluckan under Riksbron 1943 har utflödet i genomsnitt varit 4 994 $\text{Mm}^3/\text{år}$, det minsta 1976 (1 320 Mm^3) och det största 1944 (8 500 Mm^3). Flödena var relativt små i början av 1990-talet. Stora flöden kom omkring år 2000 och flödet var stort 2012.

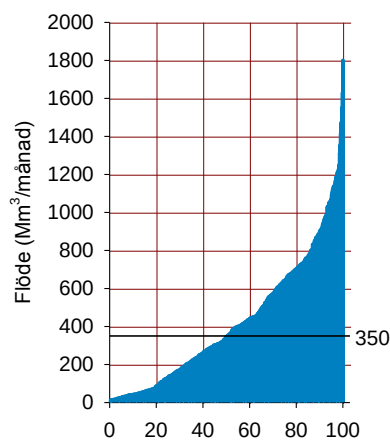


Figur 7. Mälarens utflöde 1943–2016 (2010–2016 med mörkare färg), miljarder kubikmeter (kubikkilometer) per år.

Flödet varierar under året med stora flöden i samband med snösmältningen under våren och små flöden under sommaren. I början av 2000-talet var flödena under vintern större och under vårfloren i april-maj betydligt mindre än under SMHI:s normalperiod 1961-90 vilket sågs som en effekt av ändrat klimat med varmare vintrar. 2010-2016 har vårfloren åter varit av samma storleksordning som 1961-90 trots stora flöden i januari-februari (Fig 8).



Figur 8. Fördelningen av Mälarens utflöde under året, perioderna 1961-1990, 2000-2009 och 2010-2016. Medelvärden och standardavvikelse.



Figur 9. Mälarens utflöde, procentuell fördelning av månatliga volymer 1976-2016.

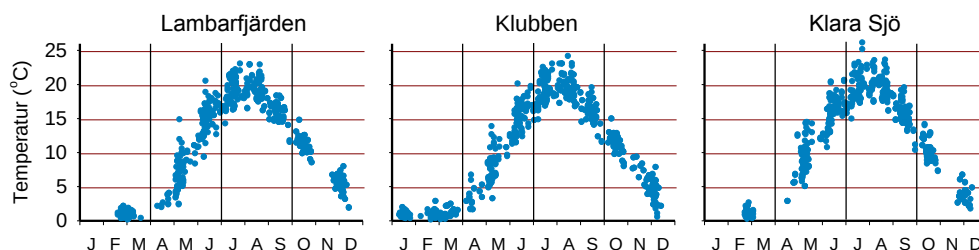
De minsta utflödena har uppgått till 13 $\text{Mm}^3/\text{månad}$ och de största över 1 500 $\text{Mm}^3/\text{månad}$ motsvarande ca 5 resp 600 m^3/s , medianvärdet 1976-2016 har varit 350 $\text{Mm}^3/\text{månad}$ eller 130 m^3/s (Fig 9).

Omsättningstiden för vattnet i exempelvis Riddarfjärden, som har en volym av 17 Mm^3 , är över en månad (40 dagar) med de minsta flödena och bara knappt 8 timmar när flödet är som störst.

De varierande flödena har stor betydelse för förhållandena i Östra Mälaren och påverkar konduktivitet (se Fig 17), fosfor- och kvävehalter (se Fig 31) och absorbans och siktdjup (se Fig 49).

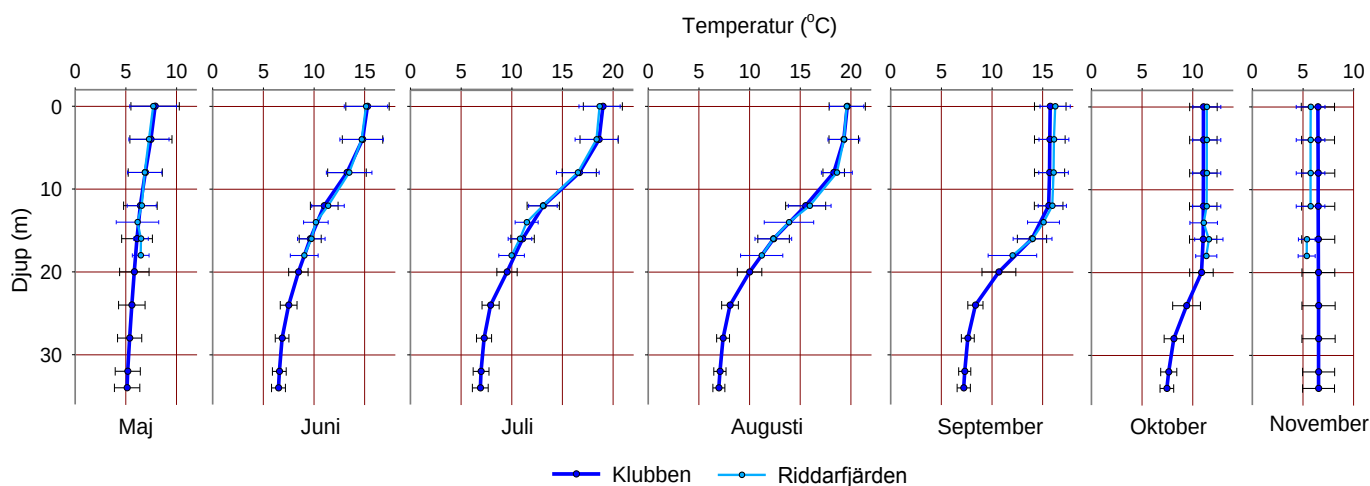
Temperatur

Temperaturen i Mälarens ytvatten varierar mellan ca 0°C i januari-mars och drygt 20°C i juli-augusti (Fig 10). Den högsta registrerade temperaturen vid Klubben har varit 24°C och den högsta registrerade temperaturen överhuvudtaget 26°C i Klara Sjö 22 juli 1992.



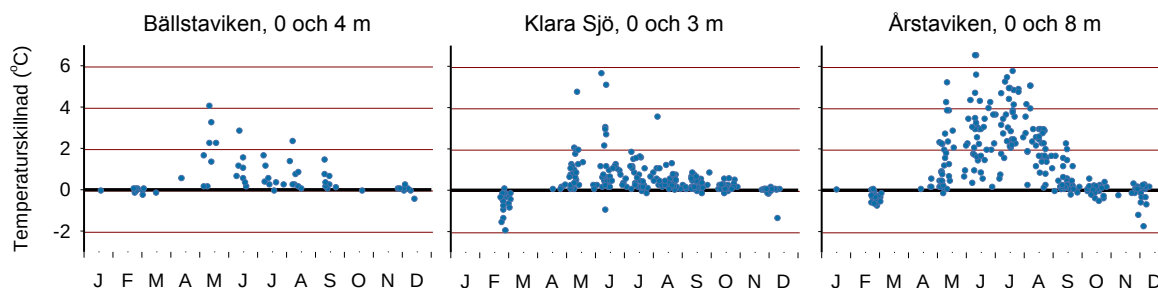
Figur 10. Temperatur i ytvattnet (0-4 m) 1981-2016.

I de djupare delarna av Östra Mälaren etableras temperatursprångskiktet i juni och ligger då på mellan 4 och 8 m djup. Det sjunker sedan gradvis. I oktober är vattnet omblandat ner till 20 m djup och hela vattenmassan är omblandad i november. Skillnaden mellan Kyrkfjärden och Riddarfjärden har varit mycket liten (Fig 11).



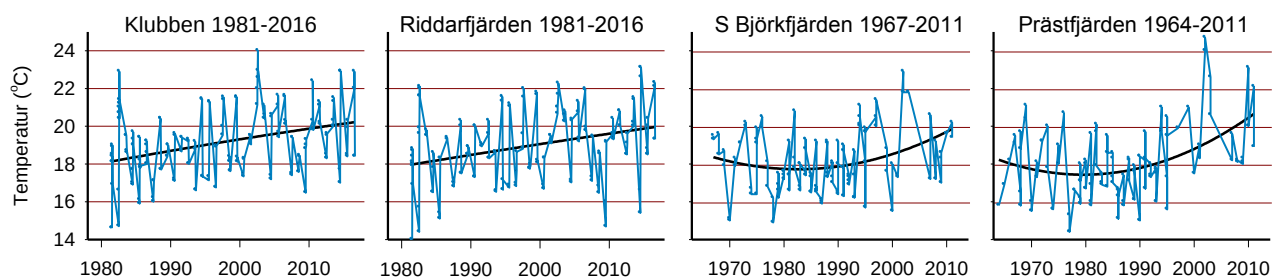
Figur 11. Temperaturens förändring med djupet, Klubben 0-34 m och Riddarfjärden 0-18 m.

Temperaturskiktning förekommer också i de grunda vattenområdena – mer tillfälligt i Bällstaviken, Klara Sjö och under hela sommaren i Årstaviken där djupet är större och skiktningen förstärks av förhöjd salthalt i bottenvattnet (Fig 12).



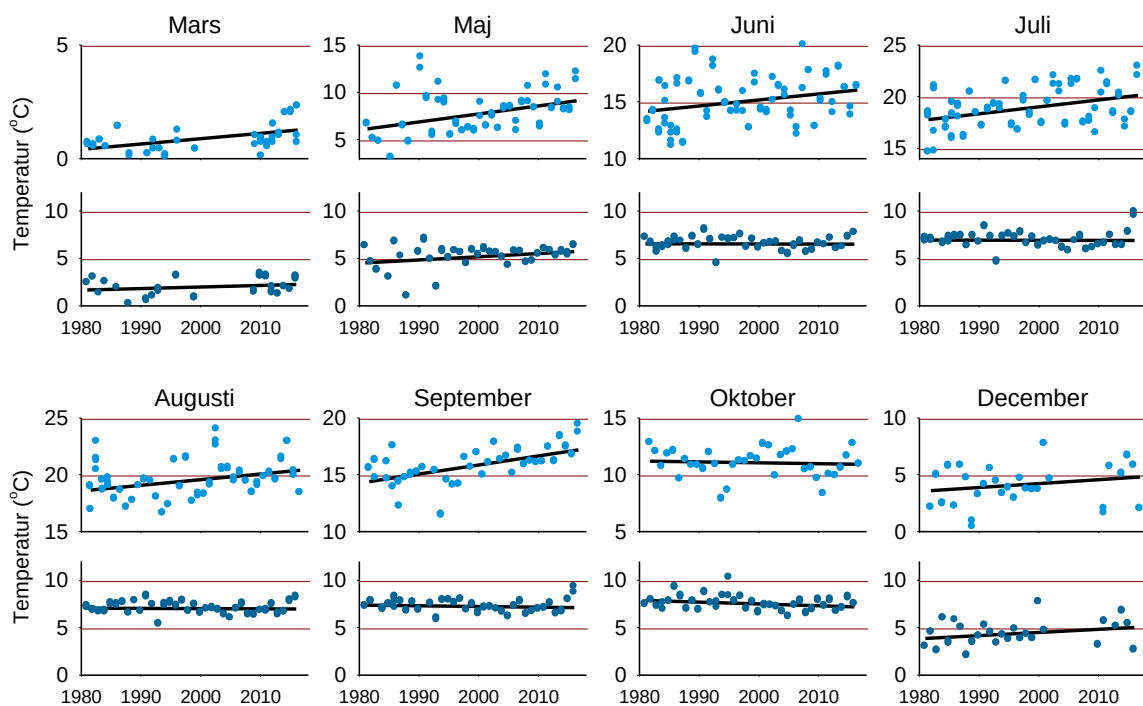
Figur 12. Temperaturskillnad mellan yt- och bottenvatten, variation under året i Bällstaviken, Klara Sjö och Årstaviken.

Temperaturen i ytvattnet har generellt ökat - i juli-augusti med mellan 2 och 2,5°C från 1981 till 2016. De långa provtagningsserier som finns i SLU:s provtagningar i Mälaren visar att temperaturen började öka först under senare delen av 1980-talet och att temperaturen dessförinnan visade en svag minskning från mitten-slutet av 1960-talet. (Fig 13).



Figur 13. Temperatur i ytvattnet (0+4 m) i juli-augusti, Klubben och Riddarfjärden 1981-2016 samt S Björkfjärden 1967-2011 och Prästfjärden 1964-2011. Data för Björkfjärden och Prästfjärden från SLU.

Temperaturökningen 1981-2016 har vid Klubben varit tydligast i maj och september och obetydlig i oktober. Temperaturen i bottenvattnet har varit praktiskt taget oförändrad sedan 1981 (Fig 14).



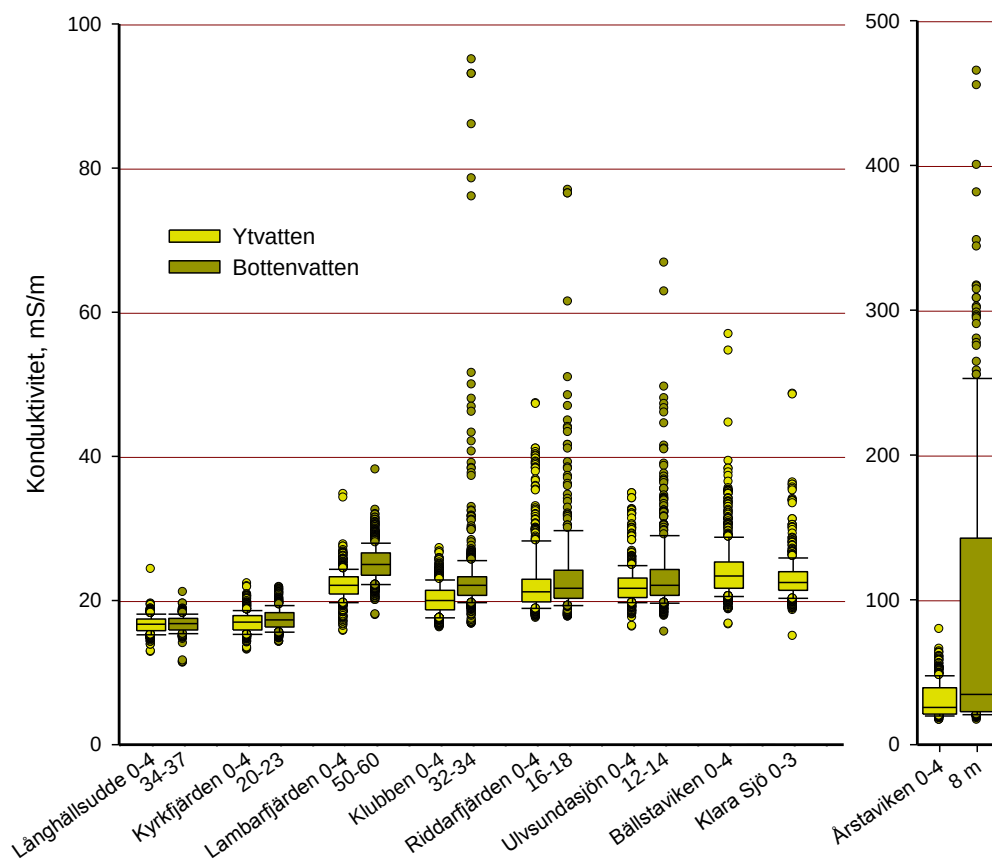
Figur 14. Temperatur i Klubbens yt- och bottenvatten (0+4 m resp 32+34 m) 1981-2016. Fyra månader har utelämnats på grund av brist på data.

Konduktivitet, alkalinitet och pH

Konduktivitet

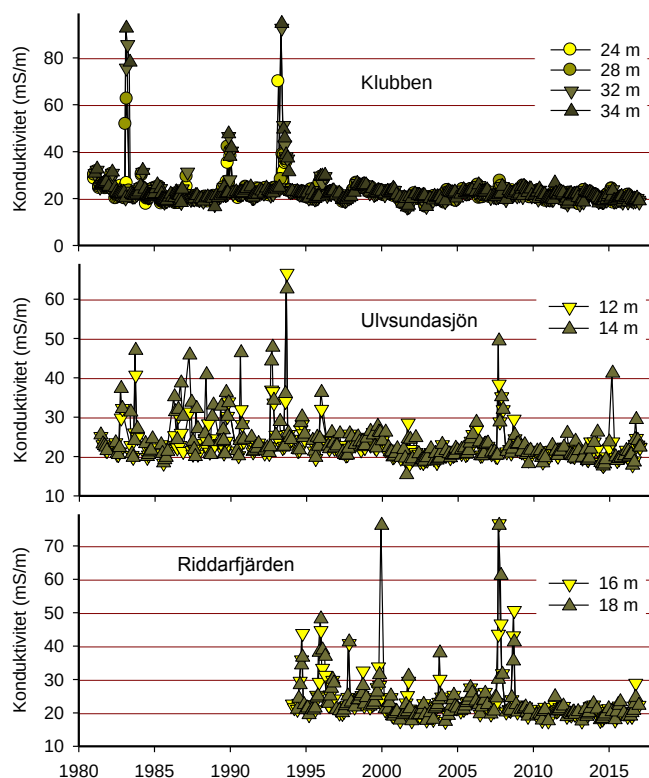
Medianvärdet för konduktiviteten i ytvattnet (0-4 m) är 21,2 mS/m. Konduktiviteten är lägre, ca 17 mS/m, i den södra grenen – Långhällsudde och Kyrkfjärden – och högre, 22 mS/m, i Lambarfjärden i den norra grenen. Den högsta konduktiviteten, ca 26 mS/m, har registrerats i Årstaviken som vid slussningar får bräckt vatten från Hammarby Sjö (Fig 15).

Konduktiviteten är i allmänhet ganska jämnt fördelad med djupet; en något högre konduktivitet i bottenvattnet förekommer främst i Lambarfjärden. Inflödet från Hammarby Sjö medför en kraftig förhöjning av konduktiviteten i Årstavikens bottenvatten (Fig 15).



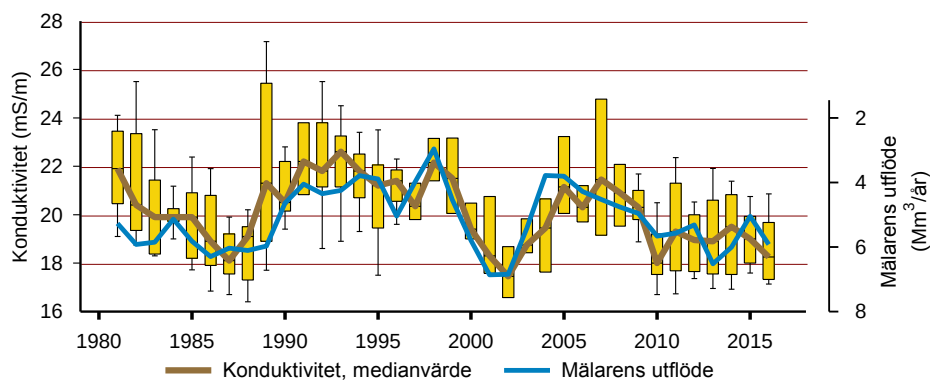
Figur 15. Konduktiviteten (mS/m) i yt- och bottenvatten 1981-2016.

Tillfälliga höga konduktivitetsvärden vid Klubben och i Ulvsundasjön och Riddarfjärden orsakas av stora inflöden från Saltsjön, senast 1993 då bottenvattnet vid Klubben påverkades ända upp till 24 m djup och ökningen av konduktiviteten var tydlig i Ulvsundasjön upp till 12 m djup. Volymen i djupområdet vid Klubben är stor vilket tycks ha förhindrat att det bräckt vattnet fortsatte längre in i Mälaren och någon förhöjning av konduktiviteten registrerades inte i Kyrkfjärden och Lambarfjärden. Mindre inbrott från Saltsjön, som bara påverkade Ulvsundasjön och /eller Riddarfjärden förekom 1999 och 2007 (Fig 16).



Figur 16. Konduktiviteten i bottenvattnet vid Klubben och Ulvsundasjön 1981-2016 samt i Riddarfjärden 1994-2016.

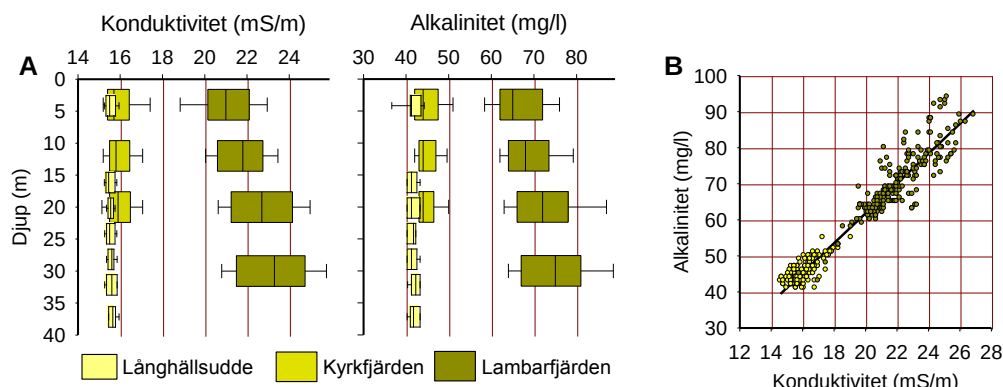
Konduktiviteten i ytvattnet har varierat relativt mycket, vid Klubben med medianvärden för åren 1981-2016 mellan 17,5 och 22,6 mS/m, vilket beror på vattenomsättningen i Mälaren – när flödet är litet blir konduktiviteten hög och tvärtom. På grund av den långa uppehållstiden i Mälaren, drygt 2 år, fördröjs sambandet mellan flöde och konduktivitet med ca 2 år (Fig 17).



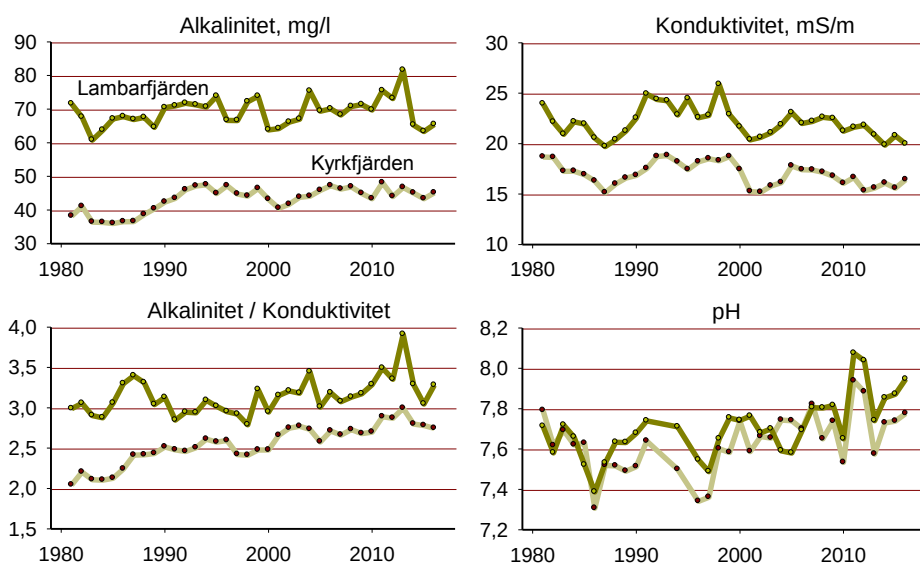
Figur 17. Sambandet mellan konduktiviteten i ytvattnet (0-4 m) vid Klubben 1981-2016 och medelvärdet för Mälarens utflöde de två närmast föregående åren (t.ex. konduktiviteten 1990 jämförs med utflödet 1988-89). NB att skalan för flödet är omvänd.

Alkalinitet och pH

Alkaliniteten är relativt nära korrelerad med konduktiviteten och är liksom konduktiviteten betydligt högre i Lambarfjärden än vid lokalerna i den södra grenen och något lägre vid Långhällsudde än i Kyrkfjärden. Alkaliniteten är ungefär lika hög på alla djup i den södra grenen men ökar med ökande djup i Lambarfjärden (Fig 18 A).



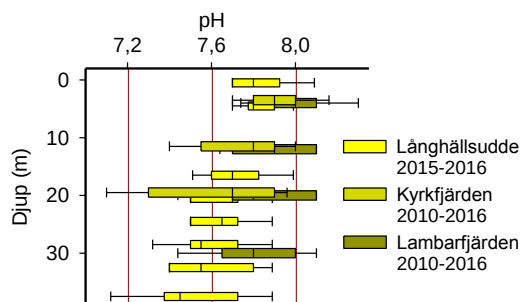
Figur 18. (A) Konduktivitet och alkalinitet vid Långhällsudde 2015-2016 samt i Kyrkfjärden och Lambarfjärden 2010-2016, **(B)** Sambandet mellan konduktivitet och alkalinitet i Lambarfjärden och Kyrkfjärden.



Figur 19. Alkalinitet och konduktivitet i Lambarfjärden och Kyrkfjärden, förhållandet mellan alkalinitet och konduktivitet samt pH i de två fjärdarna. Årsmedelvärden 1981-2016.

De finns ett nära samband mellan alkalinitet och konduktivitet (Fig 18 B). I förhållande till konduktiviteten är alkaliniteten dock högre i Lambarfjärden än i Kyrkfjärden och alkaliniteten har gradvis ökat i båda fjärdarna samtidigt som konduktiviteten varit oförändrad eller blivit något lägre (Fig 19).

pH-värdena har sedan 1980-talet ökat något i båda fjärdarna med den tydligaste ökningen i Lambarfjärden (Fig 19).

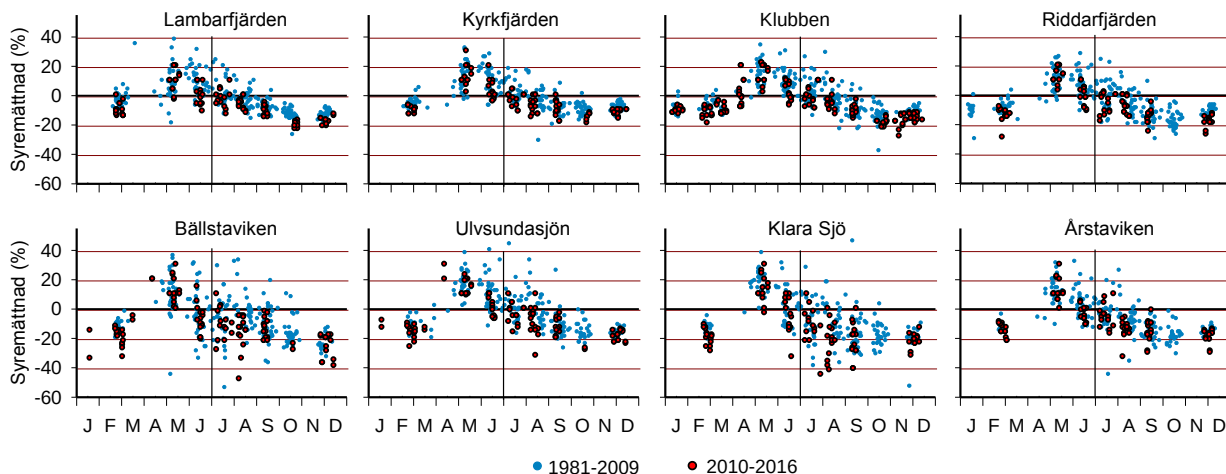


Figur 20. pH vid Långhällsudde (0-37 m), i Lambarfjärden (4-30 m) och Kyrkfjärden (4-20 m).

pH är vanligen lägre i bottenvattnet än i ytvattnet. Vid Långhällsudde har medianvärdet för pH i ytvattnet varit 7,8 mot 7,4 (med stora variationer) på det största provtagningsdjupet, 37 m. pH-värdena har varit ungefär lika höga i Kyrkfjärden och betydligt högre i Lambarfjärden där förändringarna med djupet varit förhållandevis små (Fig 20).

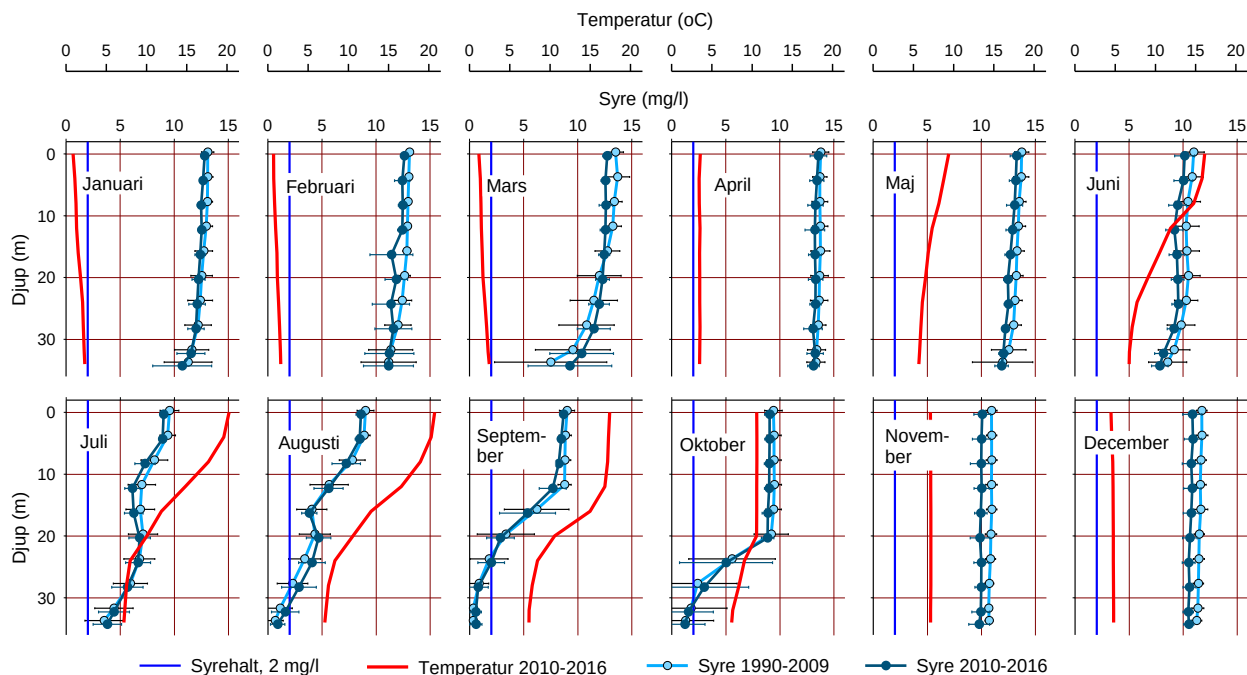
Syre

Syremättnaden i ytvattnet varierar vid lokalerna i de öppna delarna av Östra Mälaren mellan ca 80 och 120 % med den högsta mättnaden i maj-juni och den lägsta i september-oktober. Variationerna är större i de instängda områdena, framförallt i Bällstaviken och Klara Sjö, från ca 40 till 140 % (Fig 21). 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.



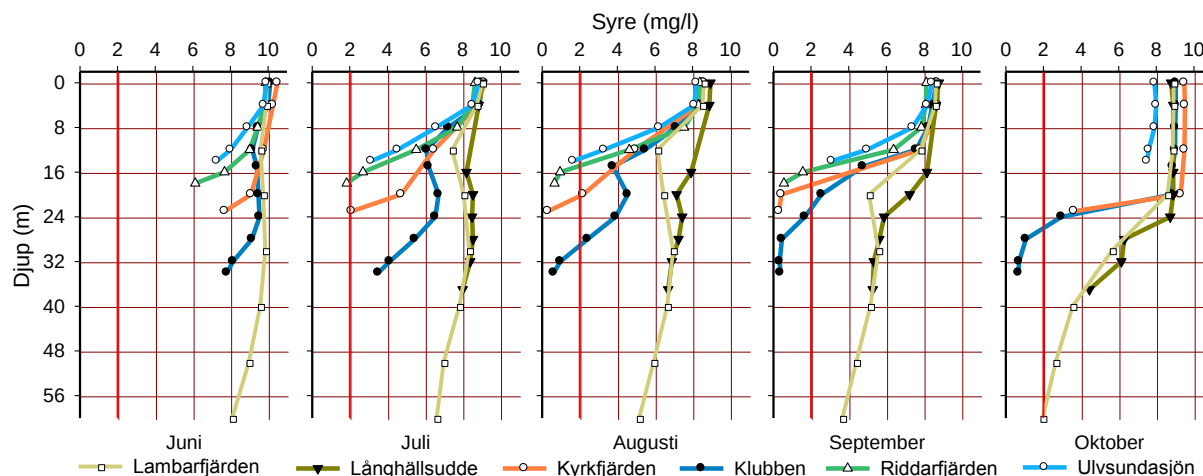
Figur 21. Syremättnaden i ytvattnet (0-4), över- och undermättnad under året 1981-2009 och 2010-2016.

Syrehalten är vanligen jämnt fördelad i hela vattenmassan i början av året, men låga halter kan förekomma i bottenvattnet i mars, före våromblandningen. Halterna på större djup börjar sedan minska i juni-juli och ett tydligt språngskikt är vid Klubben utvecklat i september-oktober, varefter vattenmassan på nytt är omblandad och syret är jämnt fördelat på alla djup. Syrehalterna har varit något lägre 2010-2016 än under perioden 1990-2009 (Fig 22).



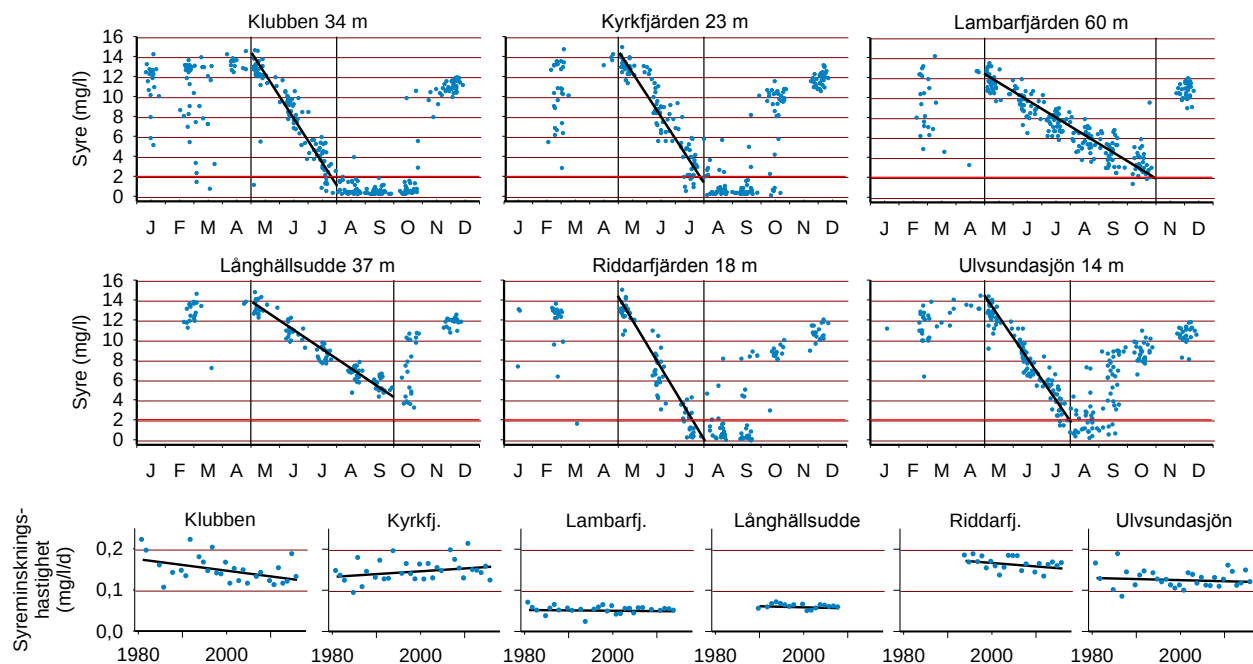
Figur 22. Syrehalter på 0-34 m djup vid Klubben 1990-2009 och 2010-2016, medelvärden och standardavvikelser, samt medelvärden för temperatur på 0-34 m djup 2010-2016.

Fördelningen av syret är beroende av vattendjupet. Syrehalterna på intermediära djup är generellt lägre vid de grunda lokalerna än vid de djupa och syrehalterna i bottenvattnet är betydligt högre vid de två provtagningspunkterna som ligger i stora fjärdar – Lambarfjärden och Långhällsudde i S Björkfjärden (Fig 23).



Figur 23. Syrehalter från ytan till största provtagningsdjup i juni-oktober i Lambarfjärden, Kyrkfjärden, Riddarfjärden och Ulvsundasjön samt vid Klubben och Långhällsudde, geometriska medelvärden 2010-2016 (Långhällsudde 2015-2016). Värden saknas för Långhällsudde i juni och Riddarfjärden i oktober.

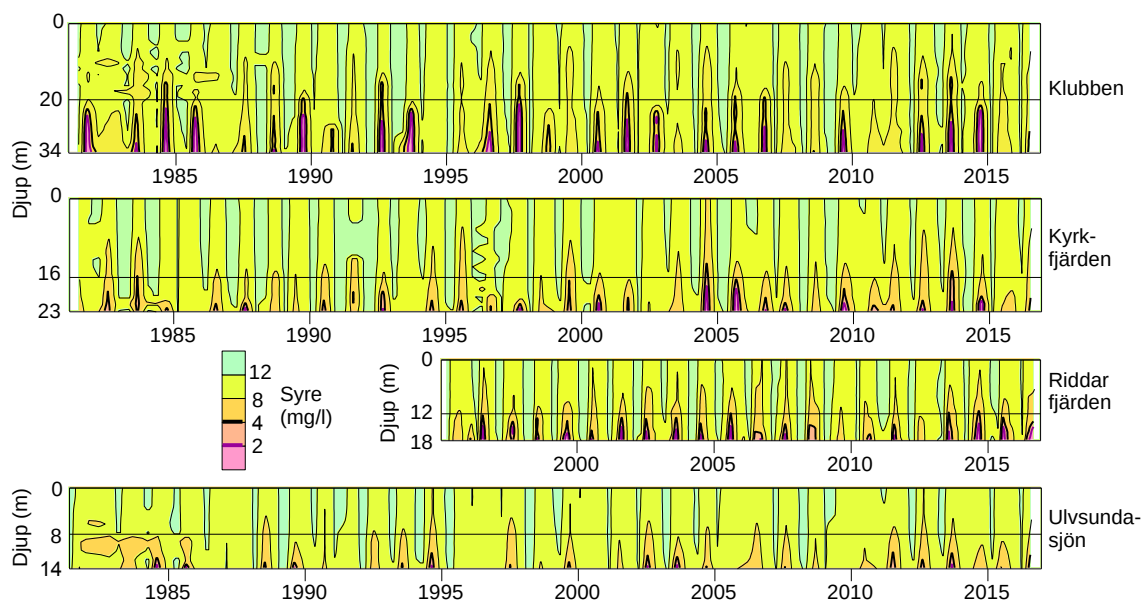
Vid alla lokaler med en tydlig temperaturskiktning minskar syrehalterna i bottenvattnet mer eller mindre linjärt från april-maj till juli-augusti vid de grundare lokalerna och som längst till oktober-november i Lambarfjärden. Syreminskningshastigheten under perioden med linjär minskning varierar mellan ca 0,05 och 0,2 mg/l och dag med den lägsta hastigheten i Lambarfjärden och vid Långhällsudde. Förändringarna av syreminskningshastigheten har varit små sedan 1981 med undantag av Klubben där hastigheten minskat, troligen som en effekt av överledningen av Eolshälls utsläpp till Himmerfjärdens avloppsreningsverk 1985 och Brommaverkets utsläpp till Bällstaviken/Ulvsundasjön 1986 (Fig 24).



Figur 24. Syrehalter i bottenvattnet 1981-2016 (Långhällsudde 1990-2008, Riddarfjärden 1994-2016). Syreminskningshastigheterna i de undre diagrammen är beräknade för de perioder med linjär minskning som avgränsas av vertikala linjer. Två låga värden från Klubben är uteslutna.

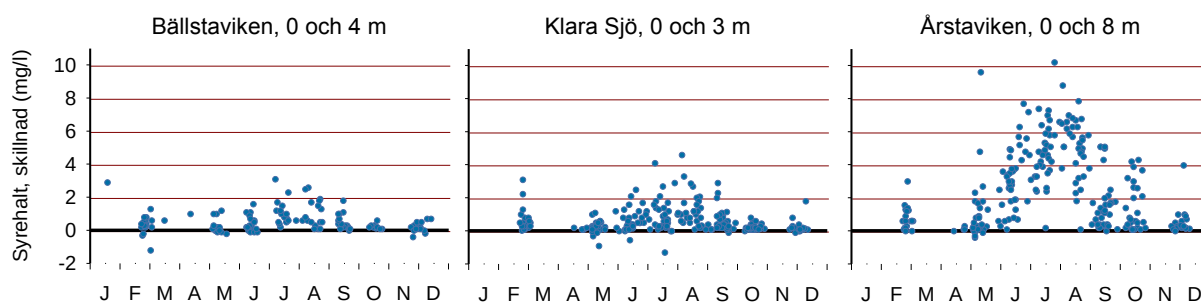
Vid Klubben varar de låga syrehalterna, nära 0 mg/l, till oktober-november. Vid de grundare lokalerna – Kyrkfjärden och Riddarfjärden – bryts skiktningen ungefär en månad tidigare och ännu något tidigare i Ulvsundasjön. Svavelväte förekommer normalt inte i Mälaren p.g.a. låga sulfathalter men kan uppträda i samband med inbrott av bräckt vatten från Saltsjön (ett exempel från 1975-76 visas i Bilaga 3).

Syreförhållandena har varierat från år till år men några tydliga, genomgående förändringar av syreförhållandena sedan början av 1980-talet kan inte påvisas (Fig 25).



Figur 25. Syrehalter (mg/l) i hela vattenmassan vid Klubben, i Kyrkfjärden och Ulvsundasjön 1981-2016 samt Riddarfjärden 1995-2016.

Högre syrehalterna i yt- än i bottenvattnet förekommer även i de grunda vattenområdena Bällstaviken, Klara Sjö och Årstaviken. På samma sätt som temperaturen (se Fig 12) visar syrehalterna små skillnader i Bällstaviken, något större i Klara Sjö och stora i Årstaviken, där syrehalterna i bottenvattnet tidvis är mycket låga, framförallt i juli-augusti (Fig 26).

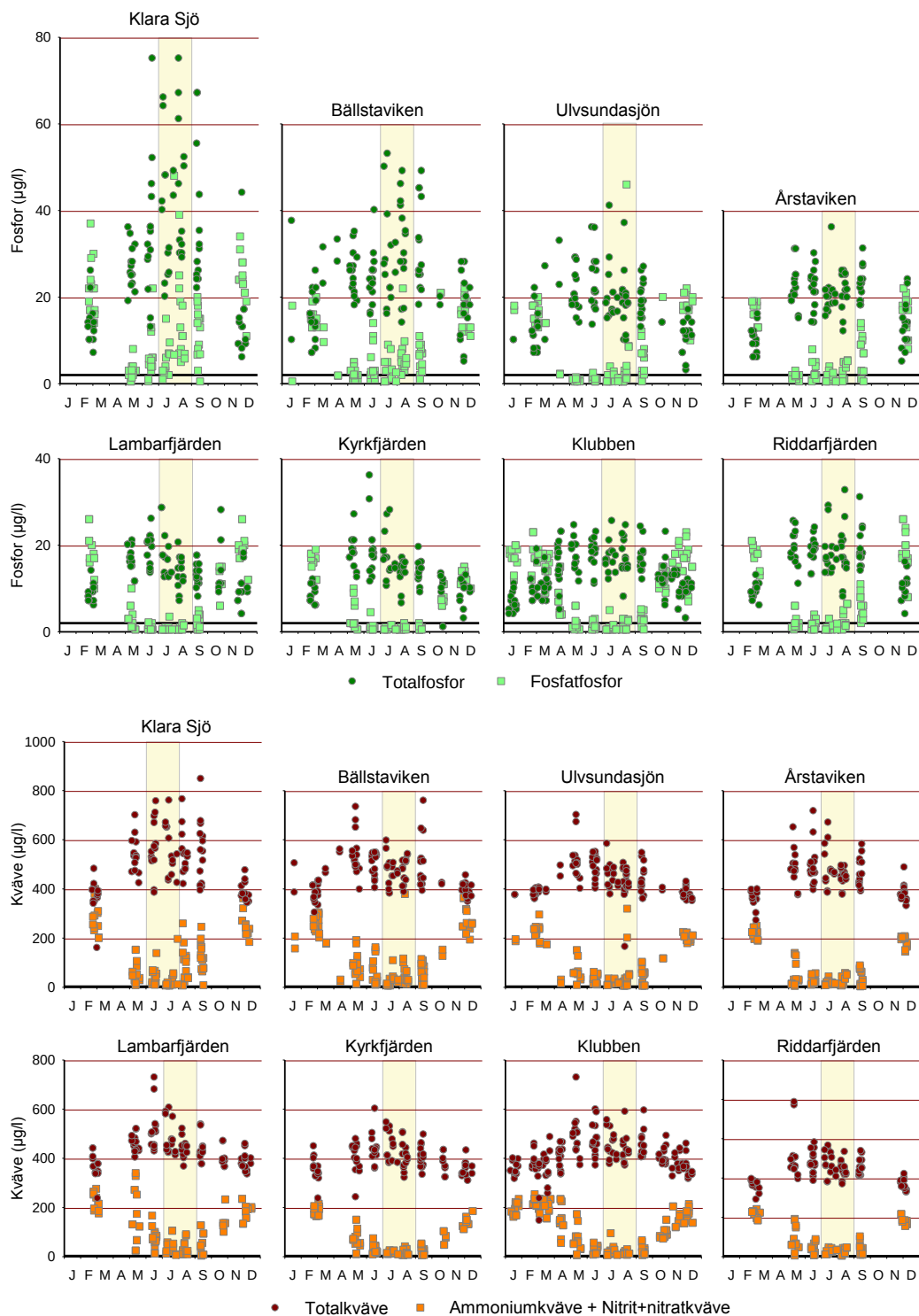


Figur 26. Syrehalter, skillnad mellan yt- och bottenvatten, variation under året i Bällstaviken, Klara Sjö och Årstaviken.

Fosfor och kväve

Fosfor och kväve i ytvattnet

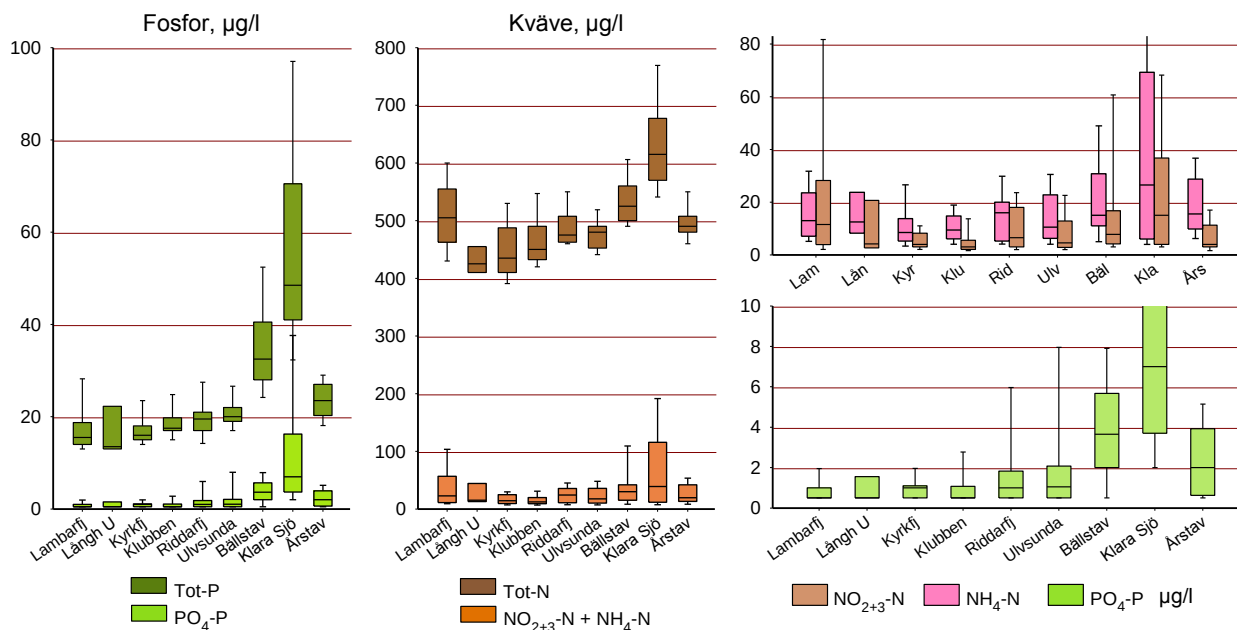
Halterna av totalfosfor och totalkväve i ytvattnet (0-4 m) uppgår till ca 10-100 resp. 400-900 µg/l. Halterna är i allmänhet högst i juli-augusti, vilket är utmärkande för grunda och/eller påverkade vattenområden och de två lokalerna som är belägna längst från Stockholm – Lambarfjärden och Kyrkfjärden – skiljer sig från de övriga med avtagande halter under sommaren.



Figur 27. Halter i ytvattnet (0-4 m) av fosfor (total och fosfatfosfor) och kväve (total och summan ammonium- och nitrit+nitratkväve). Årsvariationer 2012-2016. De gula fälten visar perioden juli-augusti.

Samtidigt som totalhalterna är höga i juli-augusti är halterna låga av de för växtligheten lätt tillgängliga formerna av fosfor och kväve - fosfatfosfor, ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve. Oorganiskt kväve brukar dock finnas i ett litet överskott medan fosfathalterna är så låga vid alla lokaler att brist fosfor sannolikt är den främsta begränsande faktorn för planktonalger och annan växtlighet (Fig 27, Tab 7).

Totalhalterna av fosfor och kväve ökar från de yttre lokalerna in mot Stockholm (ett anmärkningsvärt undantag är Lambarfjärden med lika hög totalkvävehalt som Årstaviken; orsaken är det stora flödet via Stäket). Ökningen är ganska måttlig i de öppna vattenområdena - totalfosfor i juli-augusti från 17 µg/l vid Långhällsudde och i Kyrkfjärden och Lambarfjärden, till 19 µg/l i Riddarfjärden, totalkväve ökar från ca 450 µg/l vid Långhällsudde och i Kyrkfjärden till 490 µg/l i Riddarfjärden. Halterna av både fosfor och kväve är något högre i Årstaviken och halterna är höga, framförallt av fosfor, i Bällstaviken och Klara Sjö (Fig 28, Tab 7).

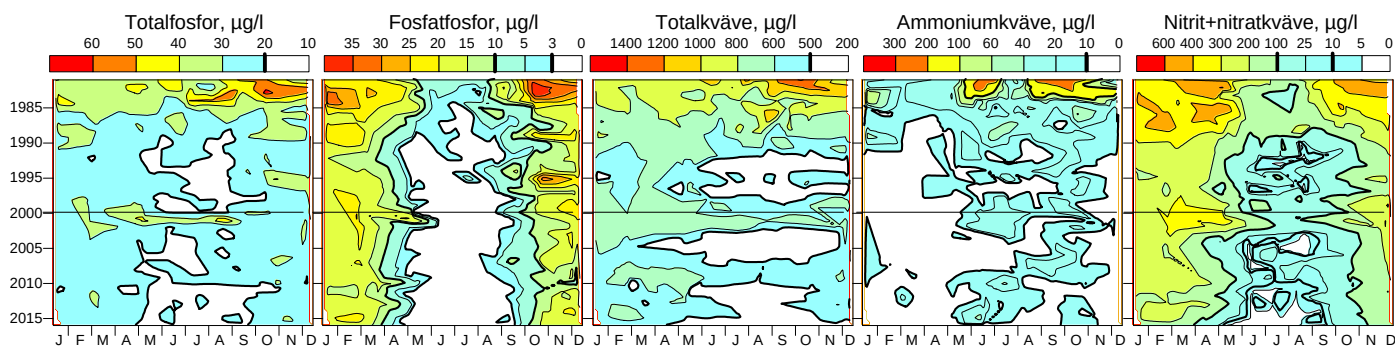


Figur 28. Fosfor- och kvävehalter i ytvattnet (0-4 m) i juli-augusti 2012-2016 (Långhällsudde 2015-2016), totalhalter och oorganiska fraktioner. Diagrammen till höger visar halterna av oorganiska fraktioner med förstorad skala.

Tabell 7. Fosfor- och kvävehalter, µg/l, i ytvattnet (0-4 m), geometriska medelvärden i juli-augusti 2012-2016 (Långhällsudde 2015-2016). Totalhalter, oorganiska fraktioner (fosfatfosfor, ammoniumkväve, nitrit+nitratkväve samt summan oorganiskt kväve ("N-oorg") och halter av bundet fosfor och kväve (totalhalter – oorganiska fraktioner).

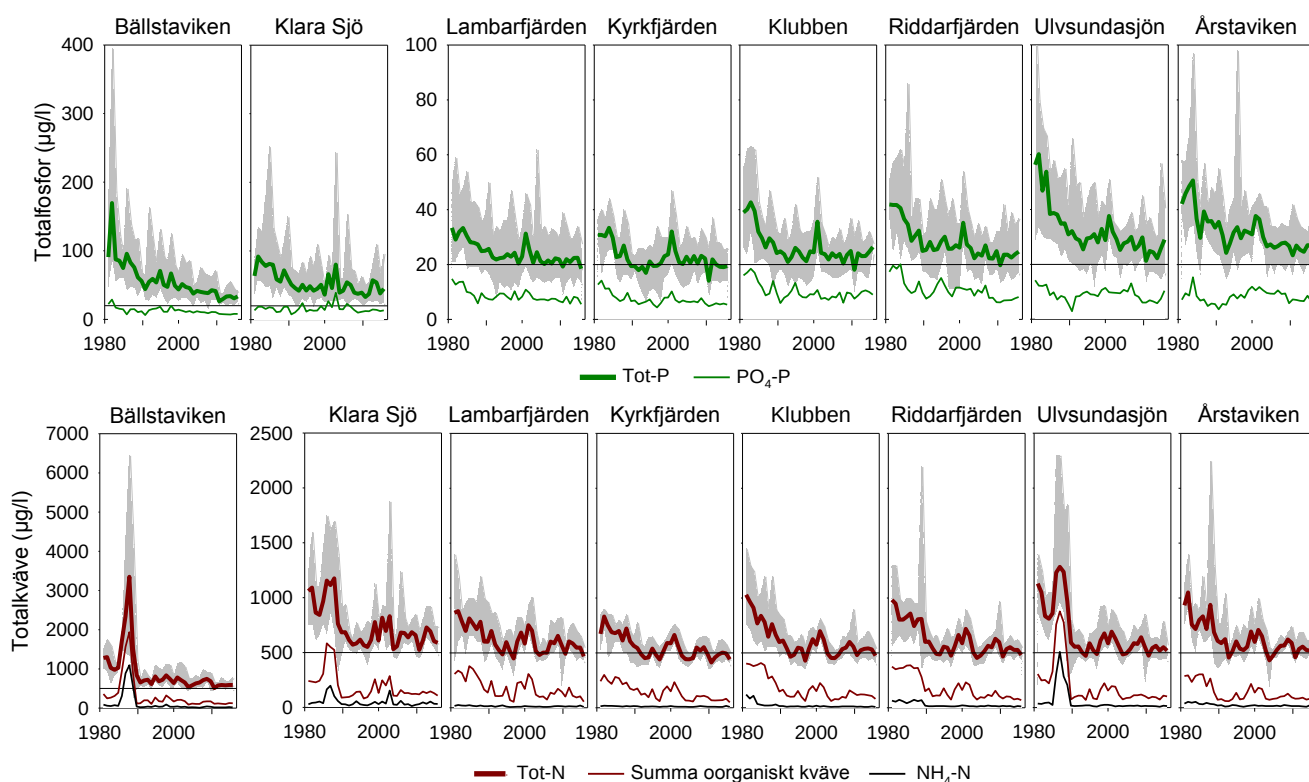
	PO ₄ -P	Tot-P	P bund	NH ₄ -N	NO ₂₊₃ -N	Tot-N	N oorg	N bund
Lambarfjärden	0,7	17	16	13	11	510	26	470
Långhällsudde	0,7	17	16	13	6	440	19	420
Kyrkfjärden	0,9	17	16	9	5	450	14	430
Klubben	0,8	18	17	9	4	460	14	450
Riddarfjärden	1,1	19	18	12	7	490	20	460
Ulvsundasjön	1,2	20	19	12	6	480	18	460
Bällstaviken	2,9	34	30	16	10	530	28	490
Klara Sjö	7,8	53	42	21	14	620	37	560
Årstaviken	1,7	24	21	16	5	500	21	470

Halterna av fosfor och kväve har allmänt minskat i Östra Mälaren. Den främsta orsaken är överföringen av utsläppen från Eolshäls och Bromma avloppsreningsverk – Eolshäll till Himmerfjärdens avloppsreningsverk 1985 och Bromma till Saltsjön 1989 efter att det renade avloppsvattnet släpptes ut i Bällstaviken/Ulvsundasjön 1986-89. Efter 1980-talet har förändringarna i Klubbens ytvatten varit relativt små – det mest påfallande är förhöjda halter av både fosfor och kväve omkring år 2000 (Fig 29).

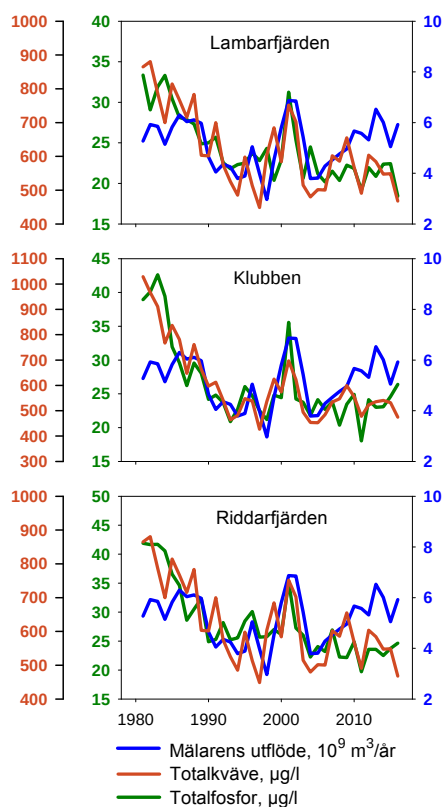


Figur 29. Halter av fosfor och kväve i ytvattnet (0-4 m) vid Klubben 1981-2016.

Fosfor och kvävehalterna minskade under 1980-talet även i övriga delar av Östra Mälaren. Utvecklingen i Kyrkfjärden och Lambarfjärden har liknat den vid Klubben, men vid de inre lokalerna – Riddarfjärden, Ulvsundasjön och Årstaviken – har minskningen av fosforhalterna fortsatt efter år 2000 och halterna under 2000-talet har varit lägre än under 1990-talet. Förändringen av kvävehalterna har varit mer oregelbunden. Variationerna från år till år har varit ganska stora, halterna var höga några år under 1980-talet i Bällstaviken, Ulvsundasjön och Klara sjö till stor del beroende på ammoniumkväve under den tid då Brommaverkets utsläpp låg i Bällstaviken/Ulvsundasjön (Fig 30).



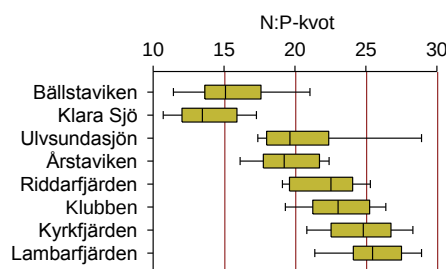
Figur 30. Fosfor (total och fosfatfosfor) och kväve (total, summa oorganiskt kväve samt ammoniumkväve) i ytvattnet (0-4 m), årsmedelvärden 1981-2016 samt min- och maxvärden för totalhalterna 1981-2016.



Figur 31. Halter av totalfosfor och totalkväve i ytvattnet (0-4 m) vid Klubben och i Lambarfjärden och Riddarfjärden 1981-2016 samt medelvärdet för Mälarens utflöde de två närmast föregående åren.

De stora fjärdarna Björkfjärden och Prästfjärden fungerar som sedimenteringsbassänger. Avskiljningen ökar med ökande uppehållstid, fosfor- och kvävehalterna närmare Stockholm blir därför lägre när flödet genom Mälaren är litet än när det är stort. Den långa uppehållstiden i Mälaren, knappt 3 år, gör att sambandet mellan flöden och halter, liksom mellan flöden och konduktivitet (se Fig 17), är förskjutet med 1-2 år. Efter att halterna i förhållande till flödet varit höga på grund av reningsverkens utsläpp under 1980-talet, minskade halterna med minskande flöden fram till omkring år 2000 då flöden var stora och halterna mycket höga. En anmärkningsvärd förändring har inträffat efter 2010, då halterna förblivit låga trots stora flöden (Fig 31).

Förhållandet mellan kväve och fosfor har varit relativt konstant vid de olika lokalerna – på grund av höga fosforhalter lägst i Bällstaviken och Klara Sjö, ca 15:1, och högst, ca 25:1, i Kyrkfjärden och Lambarfjärden (Fig 32).

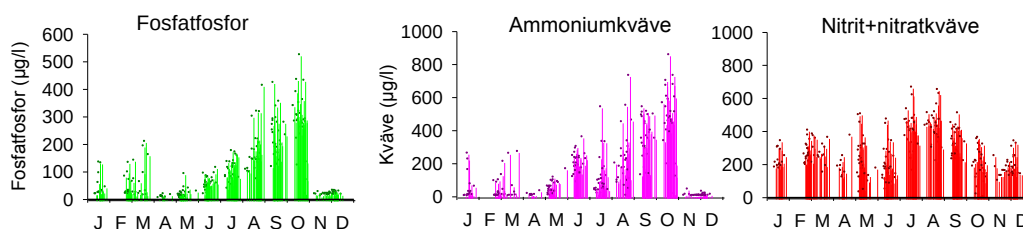


Figur 32. Förhållandet mellan totalkväve och totalfosfor i ytvattnet (0-4 m) 1981-2016.

Fosfor och kväve i bottenvattnet

(Isoplethdiagram som visar fördelningen av fosfor (total och fosfat) och kväve (total, ammonium och nitrit+nitrat) från ytan till botten vid Klubben, i Lambarfjärden, Kyrkfjärden, Riddarfjärden och Årstaviken finns i Bilaga 4.)

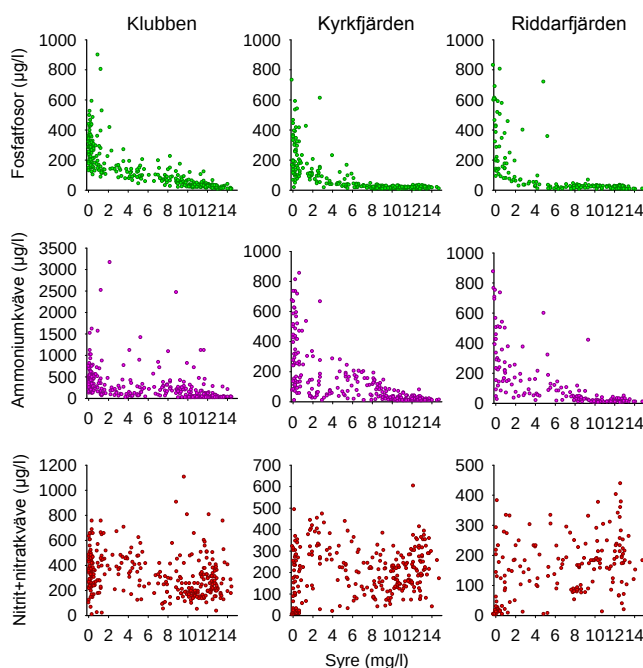
Vid de djupare lokalerna är halterna av fosfatfosfor och ammoniumkväve höga mot slutet av den skiktade perioden när syrehalterna blir låga. De låga syrehalterna medför samtidigt att bottenvattnets innehåll av nitrit+nitratkväve minskar genom att en del övergår till ammoniumkväve (Fig 33).



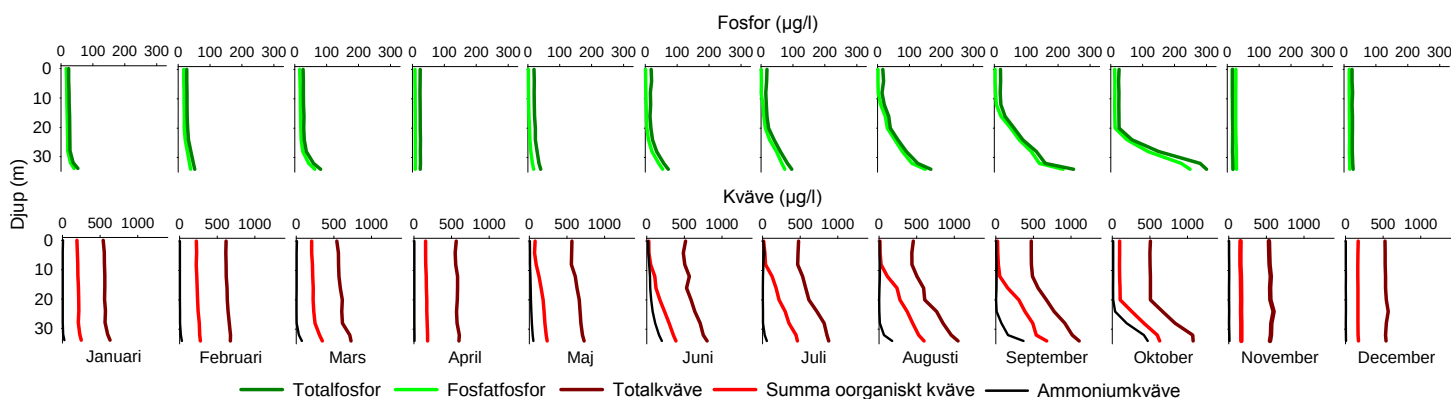
Figur 33. Fosfatfosfor, ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve i Klubbens bottenvatten (34 m) 1990-2016.

Sambandet mellan syre och både fosfatfosfor och ammoniumkväve är starkt med en kraftig ökning av halterna när syrehalten understiger ca 1 mg/l. Sambandet mellan syre och nitrit+nitratkväve är mycket svagt (Fig 34).

I Figur 35 visas utvecklingen under året av fosfor och kväve på 0-34 m djup vid Klubben. Fosforhalterna är ganska jämnt fördelade med djupet i början och slutet av året. Halterna på de största djupen ökar under sommar och tidig höst och är högst i september-oktober, före höstomblandningen. Ökningen av halterna i bottenvattnet beror huvudsakligen på fosfatfosfor som är den lösta andelen medan halten bunden fosfor (totalfosfor – fosfatfosfor) är låg. Kväve är fördelat med djupet på samma sätt som fosfor men med en betydligt mindre ökning av totalhalterna under sensommar-höst. Bundet kväve (totalkväve – summan oorganiskt kväve) utgör en stor andel av totalhalten och förändras obetydligt både med djup och över tid (Fig 35).



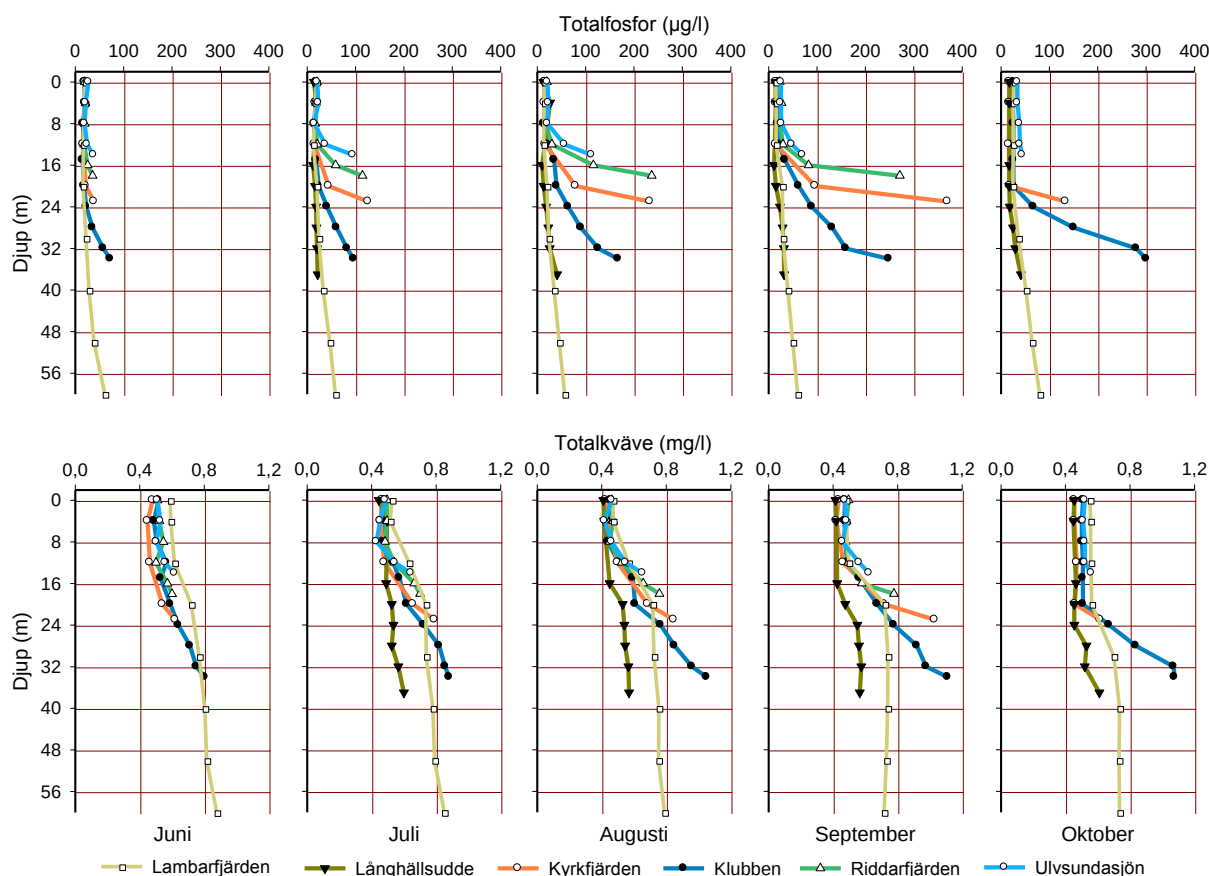
Figur 34. Samband mellan syrehalter i bottenvattnet och halter av fosfatfosfor, ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve, samtliga data 1981-2016.



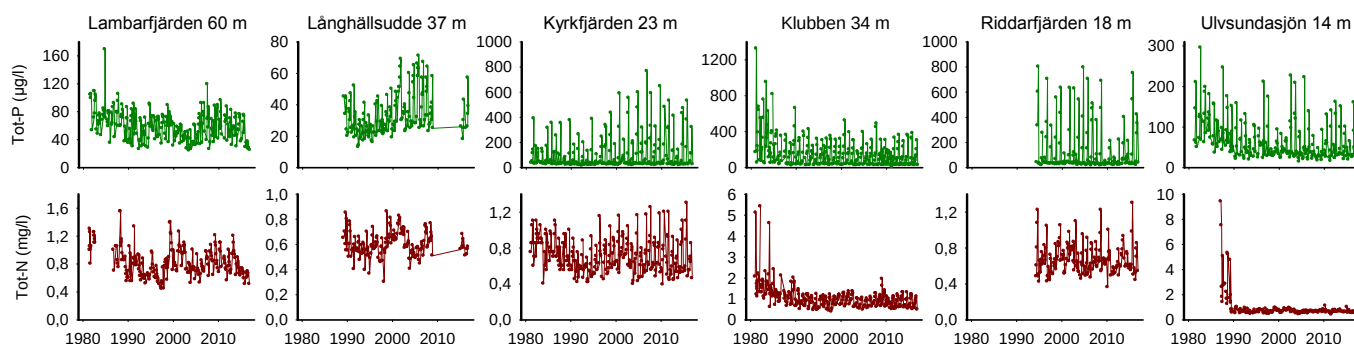
Figur 35. Fosfor (total och fosfatfosfor) och kväve (total, summan oorganiskt kväve samt ammoniumkväve) vid Klubben på 0-34 m djup, medelvärden 2010-2016.

Under senare år, 2010-2016, har de högsta fosforhalterna i Östra Mälaren påträffats i Kyrkfjärdens bottenvatten, i september i medeltal nära 400 µg/l, medan de högsta halterna i Riddarfjärdens och Klubbens bottenvatten har varit ca 300 µg/l. Syrehalterna i Lambarfjärden och vid Långhällsudde i S Björkfjärden är höga (se Fig 23) och fosforhalterna i bottenvattnet är jämförelsevis låga. Kväve visar en liknande fördelning som fosfor men med en mindre ökning med djupet. Halterna är anmärkningsvärt höga i Lambarfjärdens bottenvatten, där också konduktiviteten är hög (Fig 36, konduktivitet se Fig 15).

Både fosfor- och kvävehalterna minskade kraftigt i Klubbens bottenvatten efter överföringen av utsläppen från Eolshäls och Bromma avloppsreningsverk och halterna har minskat i Ulvsundasjön, framförallt kväve som förekom i mycket höga halter under den tid utsläppet från Bromma var beläget i Bällstaviken/Ulvsundasjön. Fosforhalten ökade i början av 2000-talet i bottenvattnet vid Långhällsudde men ökningen var i absoluta tal liten. Samtidigt ökade halten betydligt mer i Kyrkfjärdens bottenvatten. Halterna både vid Långhällsudde och i Kyrkfjärden har därefter minskat något (Fig 37)



Figur 36. Totalfosfor och totalkväve, halter i juni-oktober från ytan till största provtagningsdjup, medelvärden 2010-2016 (Långhållsudd 2015-2016).



Figur 37. Halter av totalfosfor och totalkväve på största provtagningsdjup.

Fosfor- och kvävebegränsning

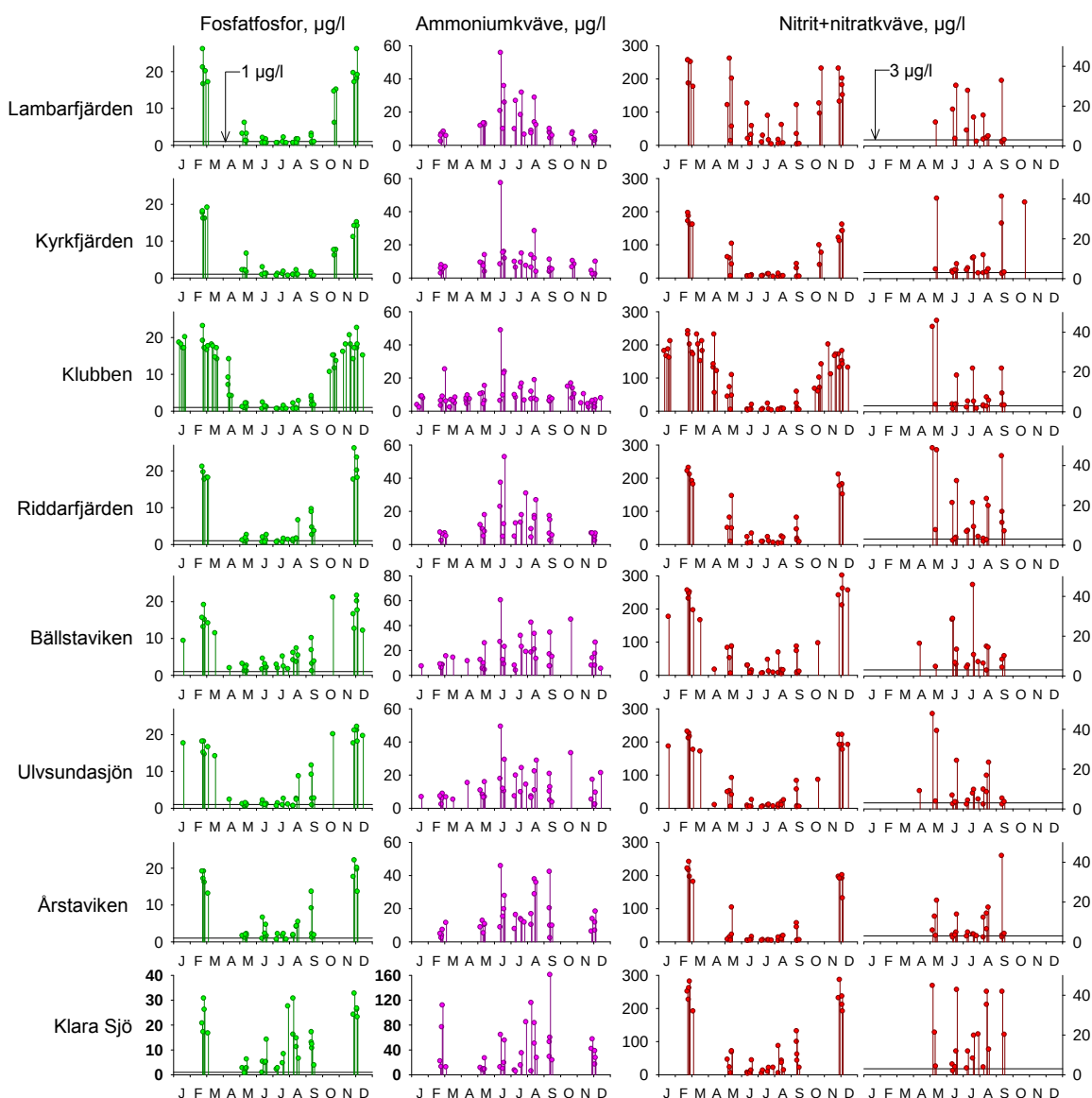
Halterna av de former av fosfor och kväve som är lätt tillgängliga för växtligheten – fosfatfosfor, ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve – är reativt höga i januari-mars, före vårbloomingen som brukar komma i april. Skillnaderna är små mellan de olika provtagningspunkterna i de öppna delarna av Östra Mälaren, halten av fosfatfosfor är ca 20 µg/l, ammoniumkväve <10 µg/l och nitrit+nitratkväve ca 200 µg/l. Halterna av fosfatfosfor är lägre i Bällstaviken och Ulvsundasjön, halten av både ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve är hög i Klara Sjö (Tab 8).

Förhållandet mellan summan oorganiskt kväve och fosfatfosfor är genomgående över 10:1, högre än förhållandet mellan kväve och fosfor i de flesta alger – ca 7:1. Det innebär att kväve troligen förekommer i överskott och att brist på fosfor blir en begränsande faktor för växtligheten längre fram på året.

Fosfatfosfor och nitrit + nitratkväve minskar kraftigt från de höga halterna i januari-mars och är i öppna delar av Östra Mälaren låga fram till augusti eller september – fosfatfosfor nära eller under 1 µg/l, nitrit+nitratkväve mer varierande och i allmänhet över 3 µg/l. Förhållandena i Ulvsundasjön är likartade, halterna är högre i Årstaviken och betydligt högre i Bällstaviken och Klara Sjö. I motsats till de andra näringsämnena ökar ammoniumkväve från relativt låga halter i början av året till höga halter under sommaren och minskar sedan under hösten (Fig 38)

Tabell 8. Halter i ytvattnet (0-4 m) i januari-mars av fosfatfosfor, ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve samt summan oorganiskt kväve och N:P-kvot (förhållandet i vikt mellan summan oorganiskt kväve och fosfatfosfor). Medelvärden 2012-2016.

	PO ₄ -P µg/l	NH ₄ -N µg/l	NO ₂₊₃ -N µg/l	Summa oorg N µg/l	N:P- kvot
Lambarfjärden	20	5	224	229	11
Långhällsudde	19	6	183	188	10
Kyrkfjärden	17	5	174	179	10
Klubben	18	7	192	199	11
Riddarfjärden	20	5	225	230	11
Klara Sjö	22	46	241	287	13
Bällstaviken	14	9	225	234	16
Ulvsundasjön	16	6	201	207	13
Årstaviken	18	3	218	221	12
Medelvärde	18	7	208	217	12

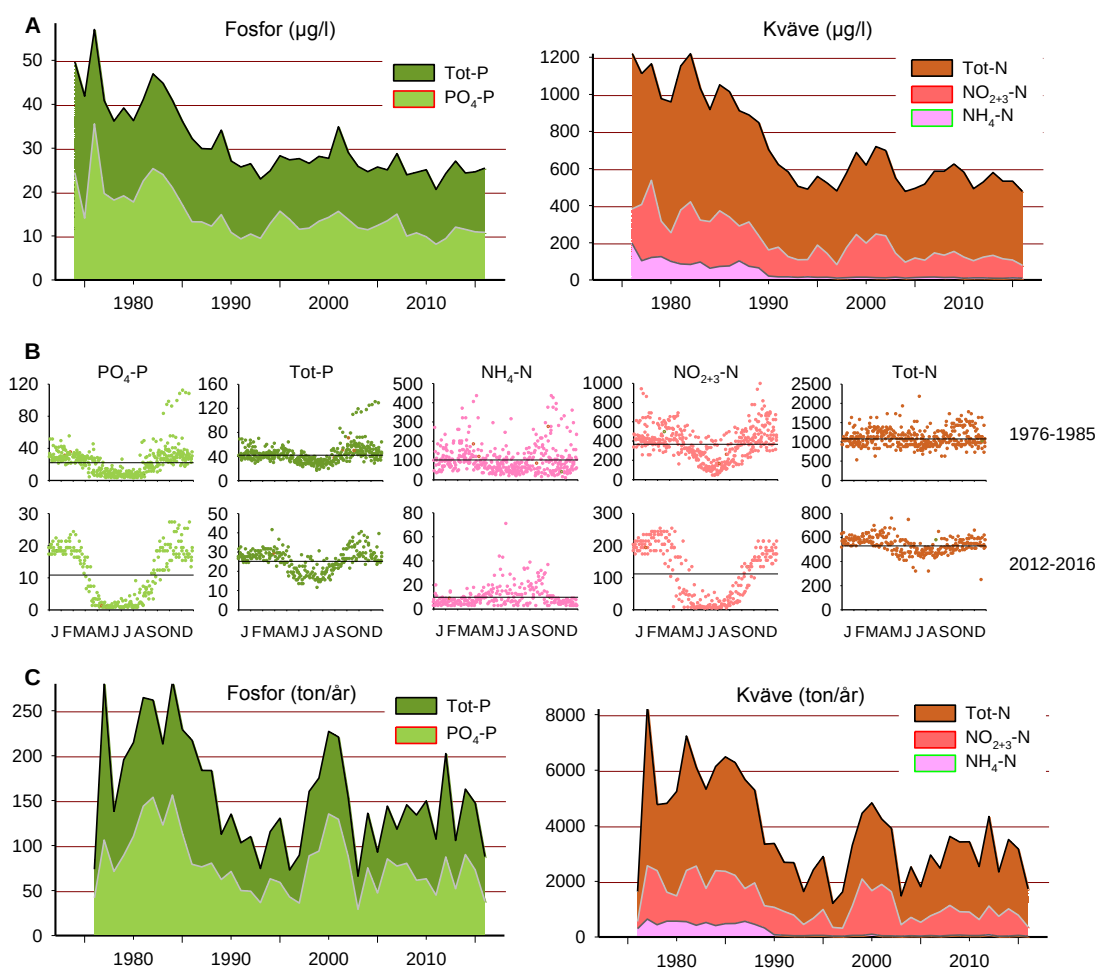


Figur 38. Halter av fosfatfosfor, ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve i ytvattnet (0-4 m), årsvariation 2012-2016. Det högra diagrammet för nitrit+nitratkväve visar samma värden som det vänstra men med annan skala.

Med de oftast mycket låga halter som förekommer i ytvattnet under sommaren kan det vara svårt att med kemiska analyser avgöra vilket ämne som verkligen föreligger i underskott – det är också tänkbart att produktionen samtidigt begränsas av brist på både fosfor och kväve eller av något annat näringsämne. De höga ammoniumhalterna under sommaren gör dock att kvävebrist inte är en trolig begränsande faktor och fosfor är det sannolikaste bristämnet. Figur 38 visar förhållandena 2012-2016 men detsamma gäller hela materialet med kemiska analyser 1981-2016 där det finns bara några få exempel från Bällstaviken och Klara Sjö på höga fosfathalter samtidigt med låga halter av oorganiskt kväve. Blomningar av kvävefixerande blågröna alger, som gynnas av kvävebrist, har ändå förekommit några år i Östra Mälaren, främst under tidig höst. Orsaken har troligen varit inblandning i ytvattnet av fosforrikt bottenvatten när temperaturskiktningen brutits i början av höstcirkulationen, fosfor tas snabbt upp av algerna och upptäcks därför inte med de kemiska analyserna.

Transporter

Årsmedelvärdet för fosfor i Mälarens utflöde vid Centralbron har minskat från ca 40 $\mu\text{g/l}$ under 1980-talet till idag ca 25 $\mu\text{g/l}$, kväve har minskat från drygt 1000 $\mu\text{g/l}$ till ca 500 $\mu\text{g/l}$ (Fig 39 A).



Figur 39. (A) Fosfor och kvävehalter i Mälarens utflöde 1974 resp 1976 – 2016, (B) förändringar under året 1976-1985 och 2012-2016, horisontella linjer anger medelvärden, och (C) Transporter, ton/år, 1976-2016.

Transporterna har varit mycket varierande från år till år. Mängderna var stora då flödena var stora omkring år 2000 och stora flöden medförde stora mängder 2012 (Fig 39 C). Transporten av fosfor och kväve uppgick 2010-2016 till ca 140 resp 3000 ton, lite drygt hälften av mängderna under 1980-talet (Tab 9).

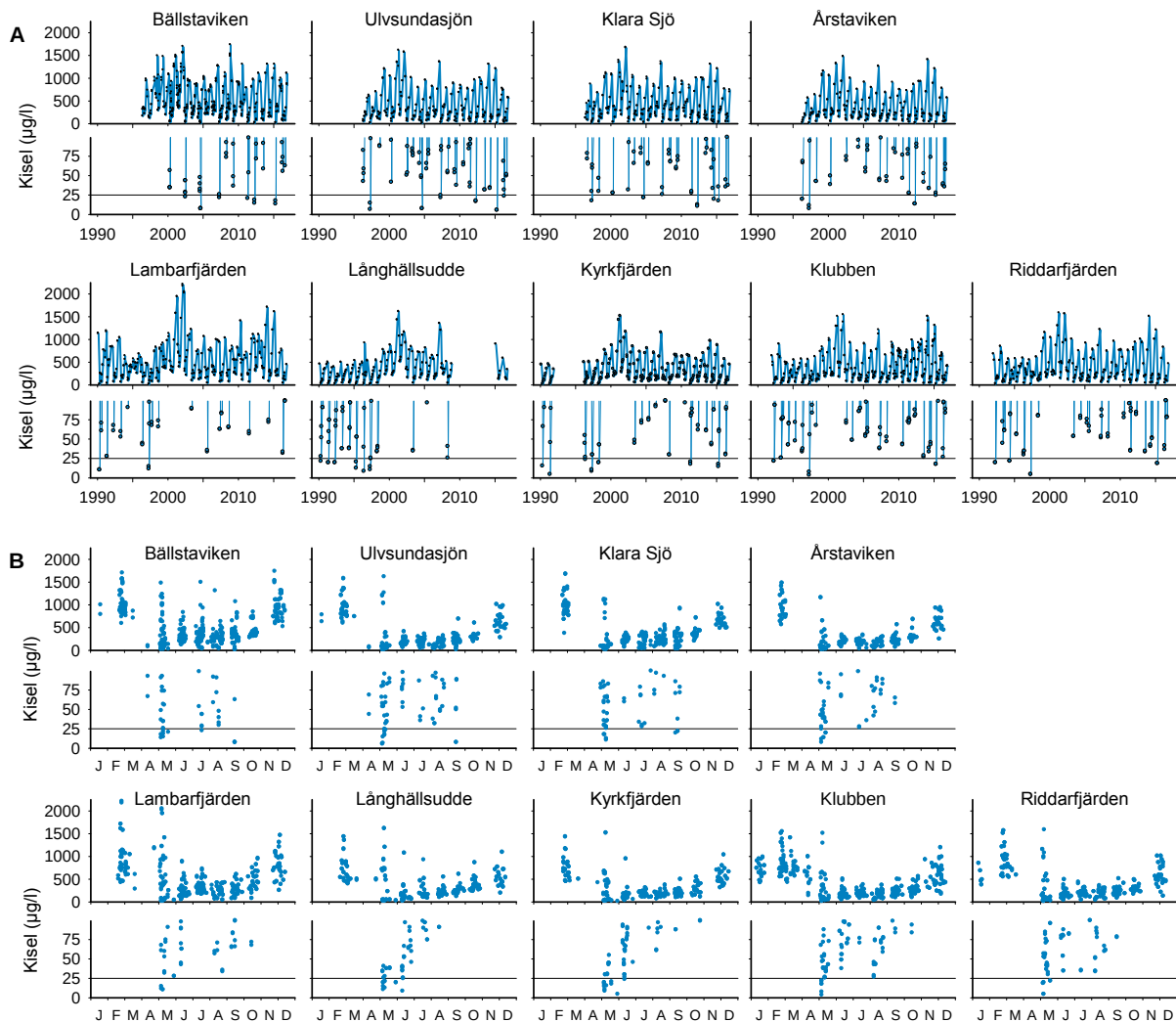
Tabell 9. Transporter, ton/år, av fosfor och kväve i Mälarens utflöde vid Centralbron.

	$\text{PO}_4\text{-P}$	Tot-P	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_{2+3}\text{-N}$	Tot-N
1980-89	110	220	480	1 990	5 700
1990-99	59	120	51	870	2 620
2000-09	81	140	49	1 060	3 120
2010-16	64	140	45	790	3 000

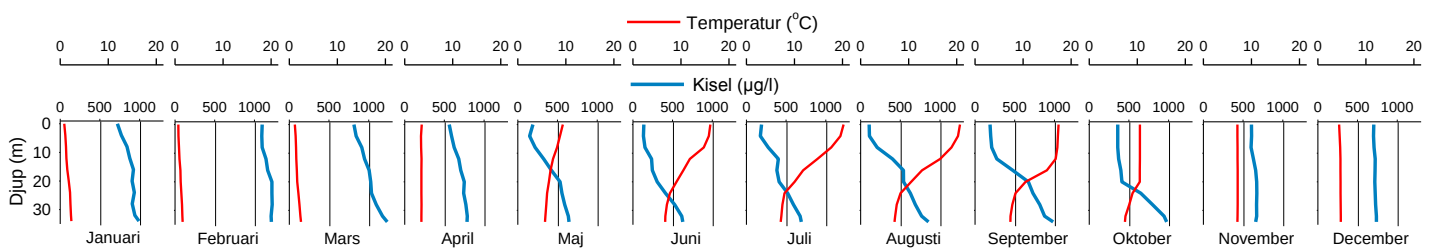
Kisel

Kisel är av betydelse främst för kiselalger, som brukar dominera under vårbloomingen. Halterna i ytvattnet har varierat mellan nära 0 och drygt 2000 µg/l med de högsta halterna i Lambarfjärden. Liksom fosfor och kväve, var halterna av kisel höga i samband med de höga flödena omkring år 2000 (Fig 40 A).

Halter < 25 µg/l, som kan antas vara begränsande för kiselalgernas tillväxt, har förekommit vid alla lokaler, vanligen i maj, sällan i juni och undantagsvis - bara Bällstaviken, Klara Sjö och Ulvsundasjön - i augusti-september (Fig 40 B).



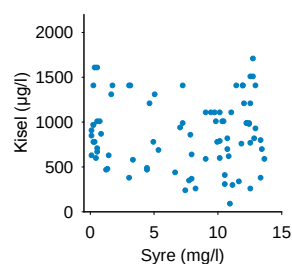
Figur 40. Kiselhalter i ytvattnet (0-4 m), (A) halter 1990 (1996) – 2016, (B) variationer under året.



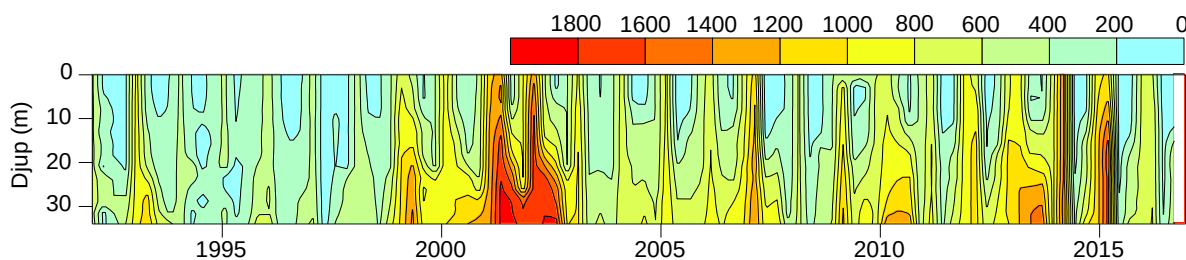
Figur 41. Kiselhalter och temperatur på 0-34 m djup vid Klubben, medelvärden 2010-2016.

Kisel på större djup analyseras bara vid Klubben. Halterna ökar med djupet men betydligt mindre än fosfor och kväve (Fig 41). Det finns inget samband med syrehalterna (Fig 42), i motsats till i skärgården där syre och kisel är lika nära korrelerade som syre och fosfor.

Förändringarna i bottenvattnet har varit stora med kraftigt förhöjda halter åren närmast efter de stora flödena omkring år 2000 och höga halter förekom på nytt 2015 (Fig 43).



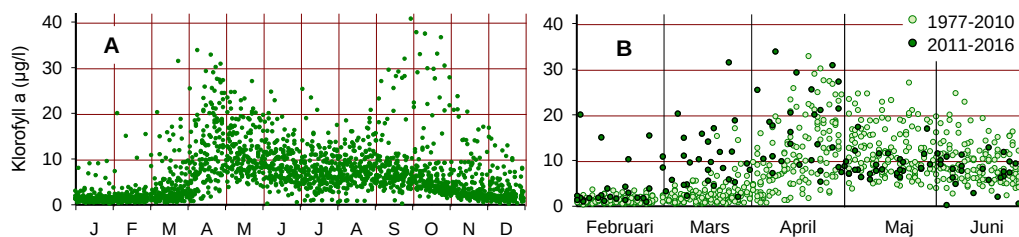
Figur 42. Syre- och kiselhalter i Klubbens bottenvatten (34 m) 2010-2016.



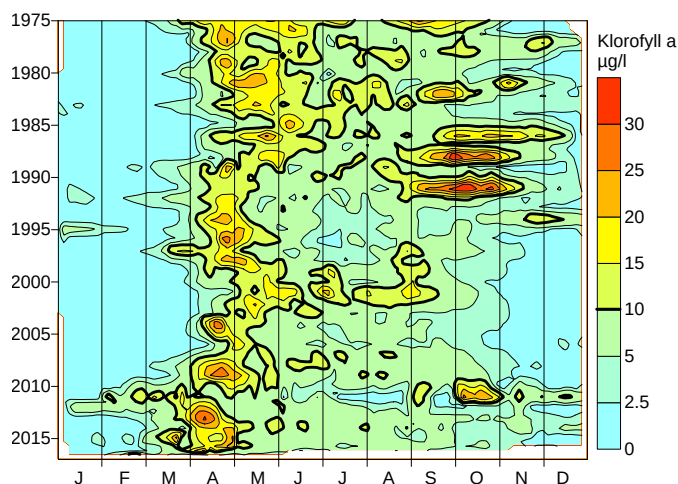
Figur 43. Kiselhalter, µg/l, vid Klubben på 0-34 m djup 1992-2016.

Klorofyll a och siktdjup

Vegetationsperioden börjar vanligen med höga klorofyllhalter i april, varefter halterna gradvis avtar till november-december. Enstaka år har halterna varit höga, >20 µg/l, även i september-oktober – några år under 1980-talet samt 1991 och 2011. Efter 2010 har höga klorofyllhalter ibland förekommit redan i februari-mars vilket tidigare var mycket ovanligt (Fig 44 A och B).



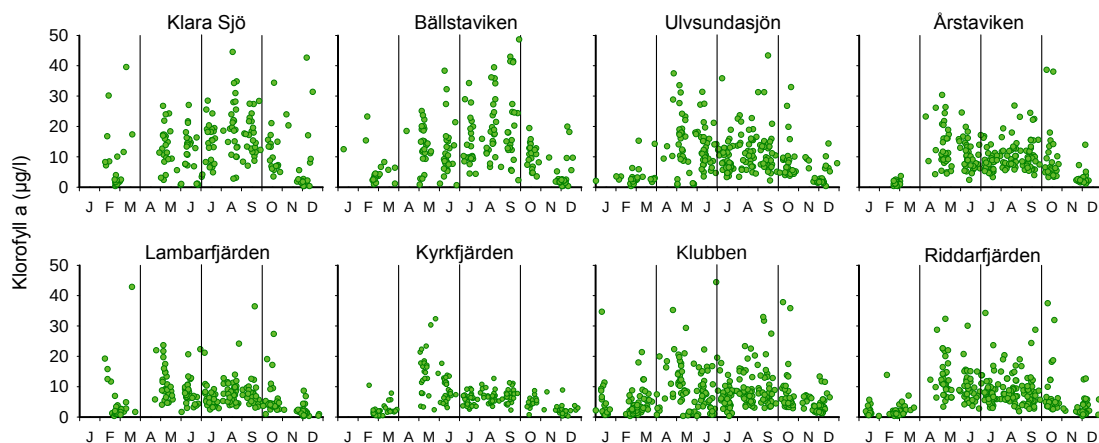
Figur 44. Klorofyllhalter i Mälarens utflöde vid Centralbron. (A) Januari-december 1977-2016, (B) Februari-juni 1977-2010 och 2011-2016.



Figur 45. Klorofyll a, halter i de veckovisa proverna från Mälarens utflöde vid Centralbron.

En svag tendens till tidigare vårblomningar kan också ses i diagrammet i Figur 45. Under 1970-talet och början av 1980-talet var klorofyllhalterna högst i april - maj. Kalla vintrar i mitten av 1980-talet medförde att vårblomningen kulminerade först i maj - juni. Därefter har de högsta klorofyllhalterna vanligen förekommit i mitten av april och de senaste åren tidigt i april - 2011-2012 med höga halter också i februari-mars och halten var hög i mars 2015.

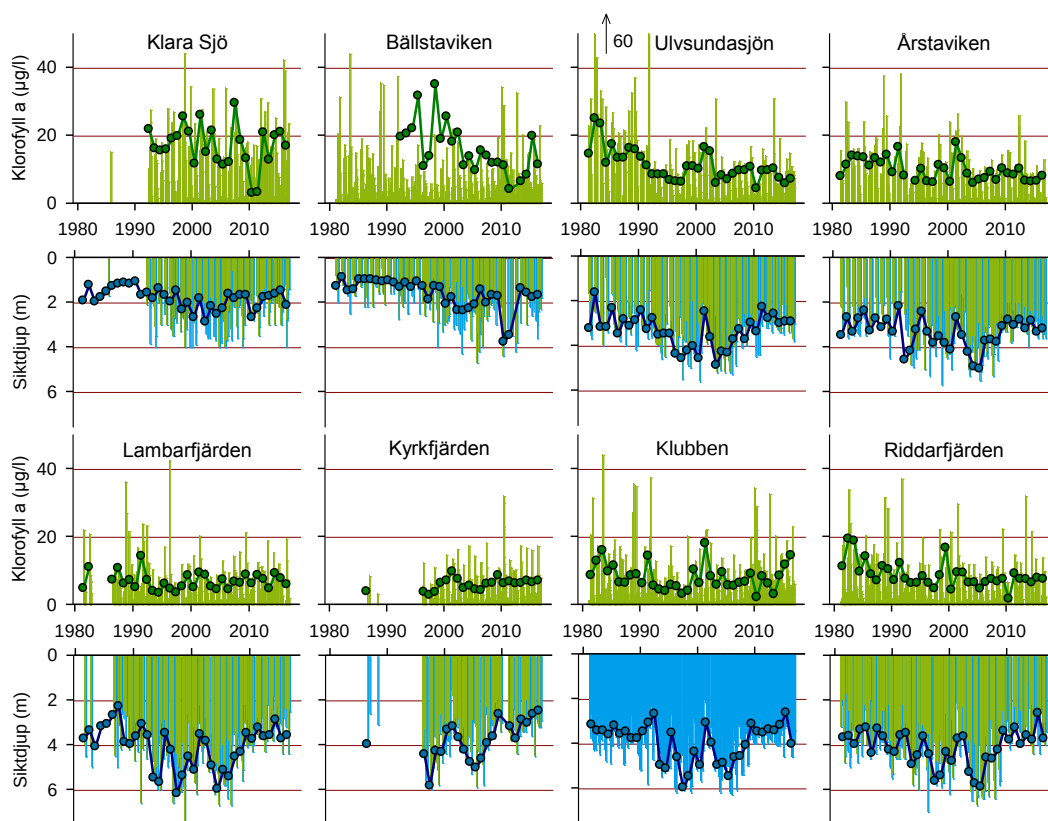
Klorofyllhalterna varierar under året på ungefär samma sätt som i Mälarens utflöde vid alla lokaler utom Klara Sjö och Bällstaviken. Eftersom båda lokalerna är grunda och bara svagt skiktade är näringsinnehållet i ytvattnet stort även under sommaren och klorofyllhalterna är högst i juli-september (Fig 46).



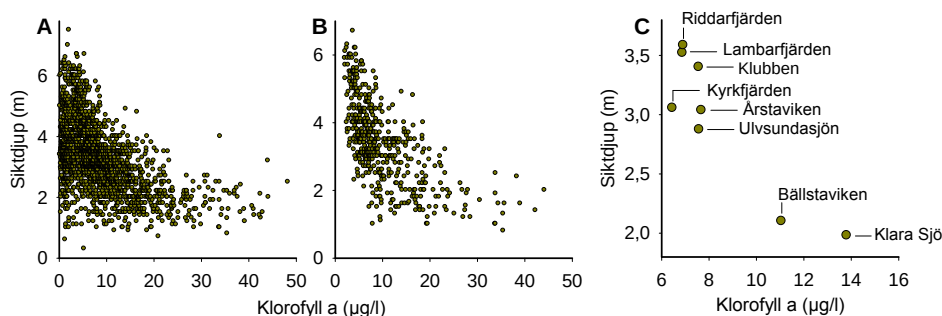
Figur 46. Klorofyllhalter, variation under året.

Klorofyllhalterna minskade allmänt under 1980-talet. Efter mitten av 1990-talet har halterna varierat från år till år men, med undantag av Bällstaviken, utan tydlig tendens till lägre eller högre halter (Fig 47).

Siktdjupet ökade från 1980-talet och var vid de flesta lokalerna stort i slutet av 1990-talet. Efter låga värden åren närmast efter de stora flödena år 2000 ökade siktdjupet på nytt fram till 2004-2005. Därefter har siktdjupet minskat och var i de öppna delarna av Östra Mälaren – Klubben, Kyrkfjärden, Lambarfjärden och Riddarfjärden – ungefär hälften så stort 2013-2015 (Fig 47). Eftersom klorofyllhalterna inte har visat någon motsvarande ökning, kan det försämrade siktdjupet inte förklaras med ökade planktonmängder; sambandet mellan klorofyll och siktdjup är överhuvudtaget ganska svagt (Fig 48).

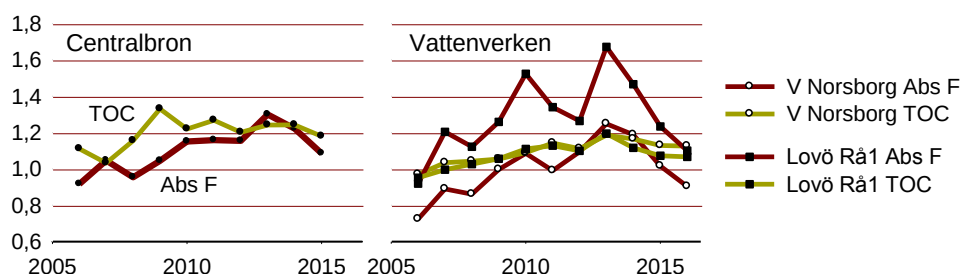


Figur 47. Klorofyllhalter och siktdjup hela året och i juli-augusti (linjer och fyllda cirklar).



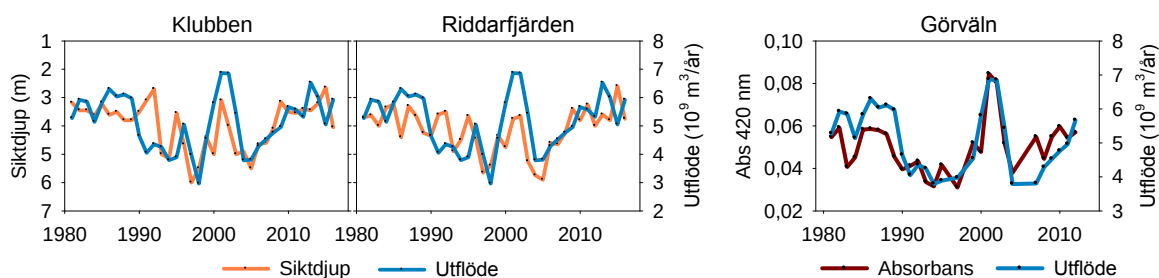
Figur 48. Samband mellan klorofyll a och siktdjup. (A) Samtliga data 1981-2016, (B) Juli-augusti 1981-2016, (C) Medelvärden juli-augusti 2010-2016. Några klorofyllhalter >50 µg/l har uteslutits i A och B.

SLU:s provtagningar och analyser av ett stort antal parametrar vid Centralbron visar inte heller några förändringar som kan förklara den kraftiga minskningen av siktdjupet. TOC (totalt organiskt kol) och vattenfärg som filtrerad absorbans 420 nm har dock ökat svagt. TOC och vattenfärg har ökat också i råvattnet vid Norsborg och Lovö. Ökningen av vattenfärgen, som där mäts vid 410 nm, har varit betydligt större än vid Centralbron (Fig 49 A, vattenverken se också Fig 60).



Figur 49 A. TOC och vattenfärg, årsmedelvärden i förhållande till medelvärdena 2004-2005 vid Centralbron 2006-2015 och i vattenverkens råvatten 2006-2016.

Det finns ett starkt omvänt samband mellan siktdjupet och storleken på Mälarens utflöde (Fig 49 B) - liksom sambanden med konduktivitet (se Fig 17) och med halter av fosfor och kväve (se Fig 31) med 1-2 års fördröjning. Flödet har ingen direkt effekt utan påverkar andra faktorer av betydelse för siktdjupet som t.ex. absorbansen (Fig 49 B), som bara undantagsvis mäts i Östra Mälaren, och sannolikt andra egenskaper som också påverkar siktdjupet men inte ingår i provtagningsprogrammets analyser.

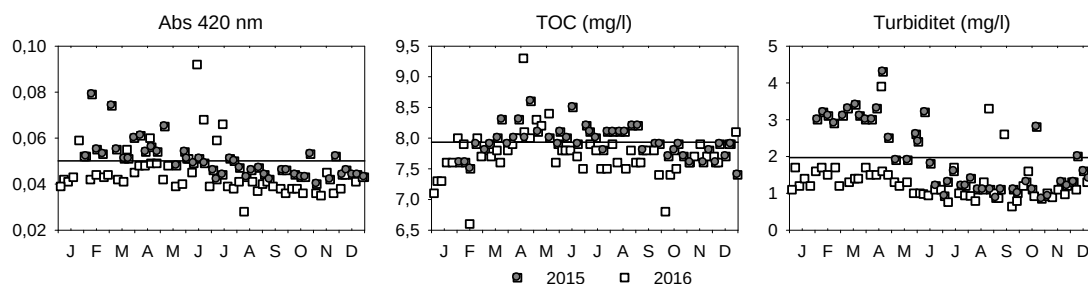


Figur 49 B Siktdjup vid Klubben och i Riddarfjärden 1981-2016 och medelvärdet för Mälarens utflöde de två närmast föregående åren (NB att skalan för siktdjup är omvänd) samt filtrerad absorbans 420 nm 1982-2012 i Görvälns ytvatten och Mälarens utflöde de närmast två föregående åren (absorbansvärden från SLU).

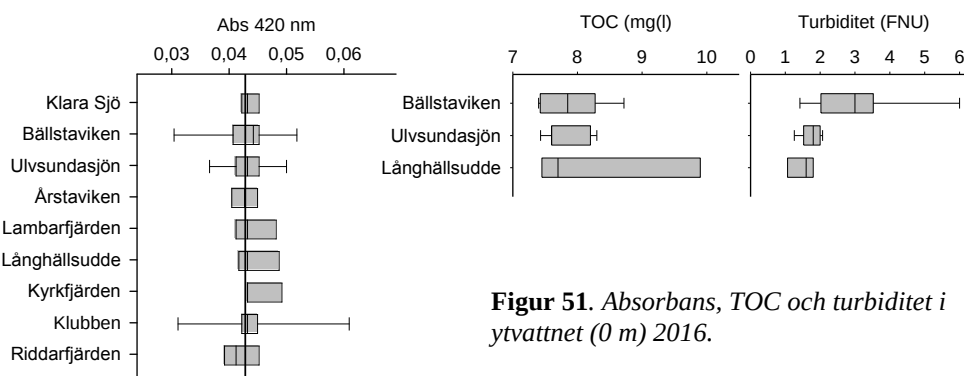
Absorbans, TOC, Turbiditet

Prover för bestämning av filtrerad absorbans, TOC (totalt organiskt kol) och turbiditet togs 2015 och 2016 av Mälarens utflöde vid Centralbron, 2016 vid övriga lokaler.

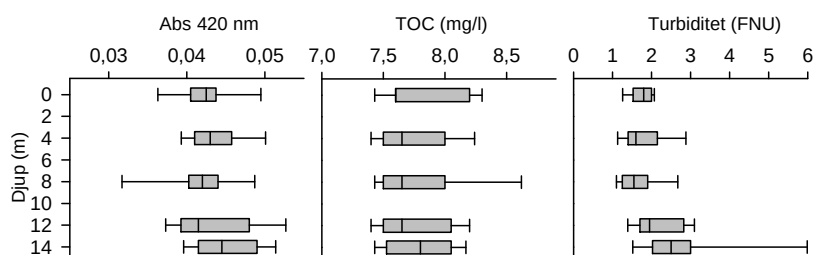
Variationerna var stora i Mälarens utflöde. De högsta värdena erhöles i de flesta fall i början av året, 2015 med anmärkningsvärt hög turbiditet i februari-april (Fig 50). Medelvärden för absorbansen i ytvattnet vid de andra lokalerna, 0,043, var något lägre än vid Centralbron. Skillnaden mellan de olika lokalerna var liten vilket också gällde TOC vid de tre lokaler där prover togs – Bällstaviken, Ulvsundasjön och Långhällsudde - med undantag av ett enstaka högst värde vid Långhällsudde. Turbiditeten var betydligt högre i Bällstaviken än vid de två andra lokalerna (Fig 51).



Figur 50. Absorbans, TOC och turbiditet i Mälarens utflöde vid Centralbron 2015 och 2016, variation under året. Horisontella linjer anger medelvärden.



Figur 51. Absorbans, TOC och turbiditet i ytvattnet (0 m) 2016.

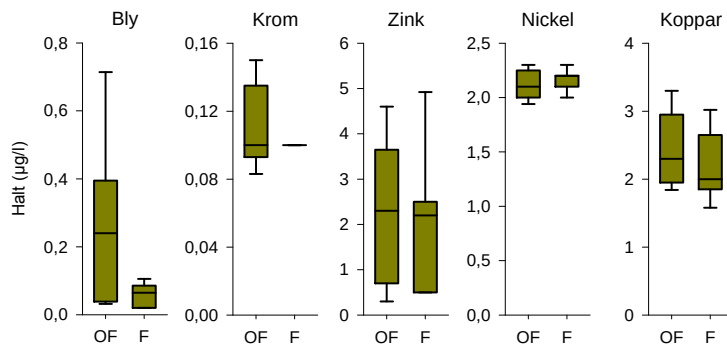


Figur 52. Absorbans, TOC och turbiditet på 0-14 m djup i Ulvsundasjön januari-december 2016.

Prover togs 2016 i Ulvsundasjön för bestämning av absorbans, TOC och turbiditet även på större djup. Medianvärdet för alla tre parametrarna ökade svagt med djupet (Fig 52).

Metaller

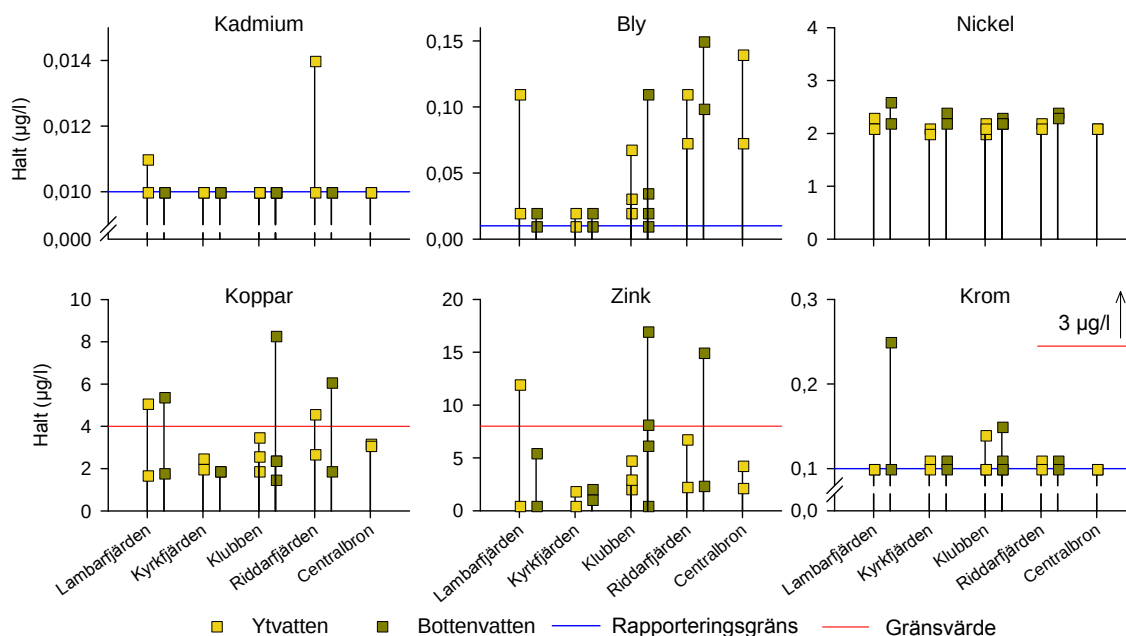
Prover för analys av metaller i ytvattnet och på största provtagningsdjup togs vid flera lokaler i juli 2014 och 2016, i Bällstaviken och Ulvsundasjön dessutom i mars, april, juni, oktober och december 2016. I de prover som togs i juli 2016 analyserades både ofiltrerade och filtrerade (lösta) halter, annars bara filtrerade. Skillnaden mellan ofiltrerade och filtrerade halter var liten utom för bly, den metall som brukar vara starkast bunden till partiklar (Fig 53).



Figur 53. Metallhalter i ofiltrerade (OF) och filtrerade prover från yt- och bottenvatten i juli 2016. Analyser gjordes också av kvicksilver – halterna var med ett undantag (Ulvsundasjön 14 m) nära eller under detektionsgränsen.

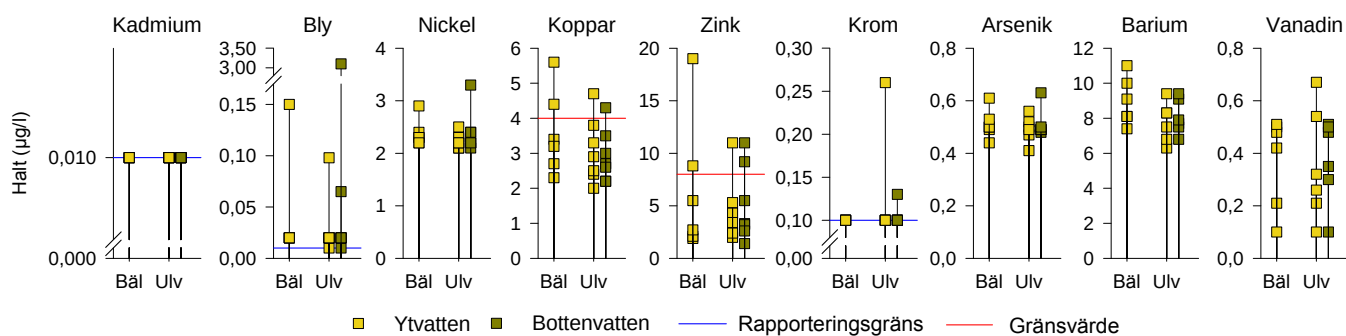
Halterna av bly, koppar och zink var i allmänhet lägre i Kyrkfjärden än vid de andra lokalerna. I övrigt var skillnaderna små och det fanns inte heller några genomgående skillnader mellan halterna i yt- och bottenvattnet, även om de högsta halterna av bly, koppar och zink påträffades i Klubbens och Riddarfjärdens bottenvatten och den högsta kromhalten i bottenvattnet i Lambarfjärden (Fig 54). Halterna i Bällstaviken och Ulvsundasjön var ungefär lika höga som vid de andra lokalerna utom i ett prov från Ulvsundasjöns bottenvatten med mycket hög blyhalt (Fig 55).

Enligt de gamla gränsvärdena, som inte längre gäller, var de ofiltrerade halterna av bly, krom, koppar, nickel och zink låga eller mycket låga med undantag av ett prov från Centralbron med måttlig halt av koppar. Gränsvärden för lösta halter finns bara för koppar, zink och krom². Gränsvärdet för koppar, 4 µg/l, och för zink, 8 µg/l, överskreds i ett eller flera prover från alla lokaler utom Kyrkfjärden och Centralbron. Halten av krom var i samtliga prover mycket lägre än gränsvärdet, 3 µg/l (Fig 54 och 55).



Figur 54. Metallhalter i filtrerade prover från yt- och bottenvatten i juli 2014 och juli 2016. Gränsvärdet för krom, 3 µg/l, är betydligt högre än de erhållna halterna.

² Naturvårdsverket, Rapport 5799, april 2008.



Figur 55. Metallhalter i filtrerade prover från yt- och bottenvatten från Bällstaviken (Bäl) och Ulvsundasjön (Ulv) i mars-december 2016.

Metallanalyser har också gjorts av råvattnet vid Norsborgs och Lovö vattenverk (Tab 10). Halterna av bly, koppär och zink var betydligt lägre i Norsborgs råvatten, som tas från Kyrkfjärden, än i Lovös råvatten från Mörbyfjärden, som i allt väsentligt är samma vattenområde som Lambarfjärden. Medelvärdet för koppär i Lovös råvatten, $5,2 \mu\text{g/l}$, var högre än Naturvårdsverkets gränsvärde, $4 \mu\text{g/l}$.

Tabell 10. Metallhalter ($\mu\text{g/l}$) i Norsborgs och Lovö råvatten. Medelvärden 2014-2016.

	Cd	Pb	Ni	Cu	Zn	Cr	As	Ba	V
Norsborg, Östra och Västra	<0,02	0,08	2,0	2,5	1,4	<0,2	0,53	10,0	0,4
Lovö, gamla och nya intaget	<0,02	0,25	2,3	5,2	2,2	<0,2	0,54	10,0	0,5



Ulvsundasjön

Bakterier

Antalet bakterier (*E coli* 44°C) i ytvattnet har varierat från vanligen under 10/100 ml i Lambarfjärden och Kyrkfjärden till tidvis över 10 000/100 ml i Klara Sjö och Bällstaviken (Fig 56 A). I de prover som togs vid Långhällsudde 2015-2016 var bakterietalen genomgående under 10/100 ml.

Bakterietal över gränsen för badvatten som är tjänligt med anmärkning, 100/100 ml, har förekommit vid alla lokaler från Klubben och in mot Stockholm. I Klara Sjö och Bällstaviken har bakterietalen varit ganska jämnt fördelade över året, men har vid de andra lokalerna varit något lägre under sommaren (Fig 56 B).

Gränsen för otjänligt badvatten, 1 000/100 ml, har ofta överskridits ofta i Klara Sjö, där bakterietalen varit oförändrat höga sedan början av 1980-talet. Bakterietalen har minskat i Bällstaviken men otjänligt badvatten har tillfälligt förekommit efter 2010 liksom i Ulvsundasjön och Årstaviken. Överföringen av utsläppen från Bromma och Eolshäls avloppsreningsverk medförde en kraftig minskning vid Klubben där otjänligt badvatten inte påträffats efter 1990. I Riddarfjärden förekom bakterietal >1 000/100 ml även under 1990-talet - senast 1999, långt efter återupptagandet av Riddarfjärdssimningen 1976 (Fig 56 A).

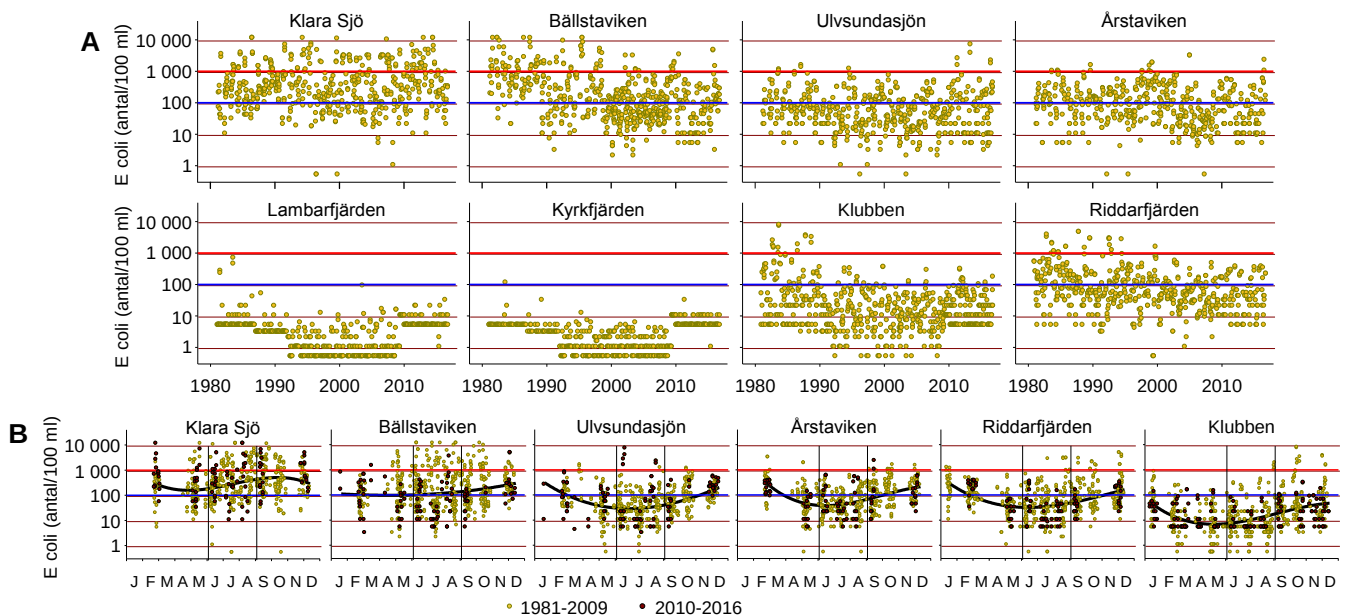


Figure 56. Bakterietal (*E coli*, antal/100 ml). (A) I ytvattnet 0-4 m 1981-2016, (B) Förändringen under året 1981-2009 och 2010-2016. Antal >10 000 har i figuren angivits som 11 000. Röd linje visar gränsen för otjänligt badvatten, blå linje gränsen för tjänligt med anmärkning.

Efter 1991 har prover med undantag av vid Klubben bara tagits i ytvattnet på 0 och 4 m djup (Klara Sjö 0 och 3 m). T.o.m. 1991 togs proverna vid Klubben, och i Kyrkfjärden, Lambarfjärden och Riddarfjärden på flera djup, som mest på 34 m vid Klubben, 1992-2009 på 20 m djup.

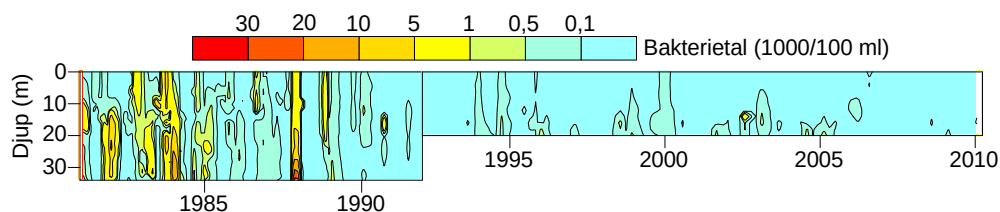
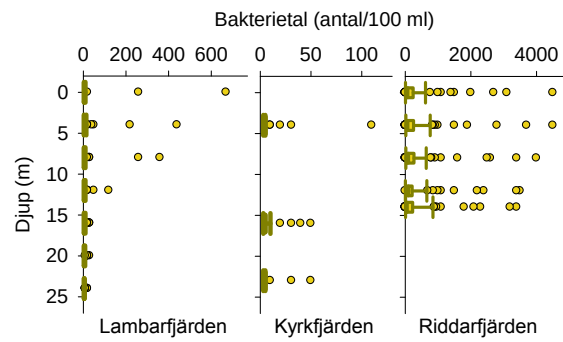


Figure 57. Bakterietal vid Klubben på 0-34 m djup 1981-1991 och 0-20 m djup 1992-2010.

Vid Klubben påträffades höga bakterietal några gånger under 1980-talet på stora djup (Fig 57). Djupfördelningen var annars ganska jämn liksom i de prover som togs i Lambarfjärden, Kyrkfjärden och Riddarfjärden där huvuddelen var av samma storleksordning och bara enstaka prover avvek med höga värden (Fig 58).



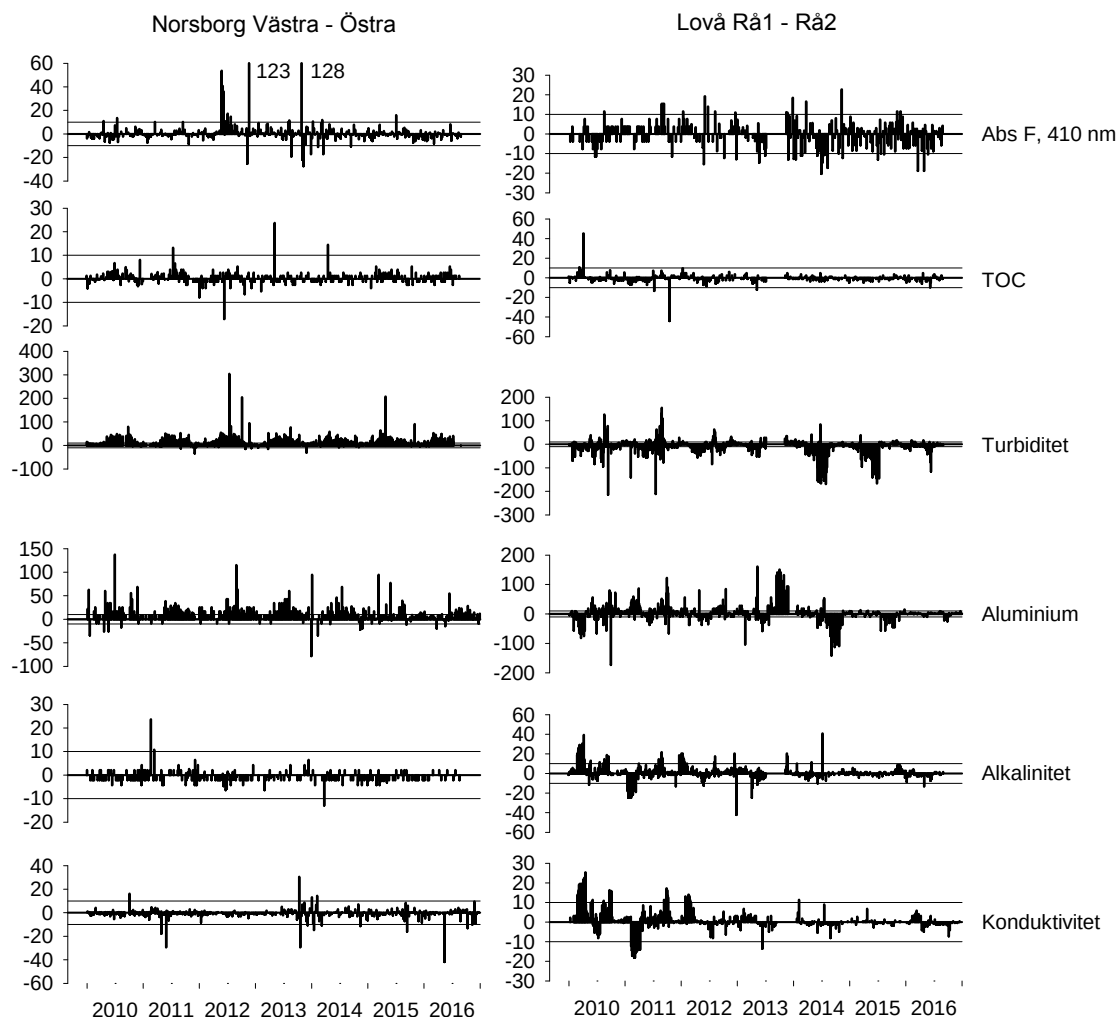
Figur 58. Bakterietal i Lambarfjärden, Kyrkfjärden och Riddarfjärden 1981-1991. Fyllda cirklar visar värden i den övre 10-percentilen.



Kyrkfjärden

Vattenverken, råvatten

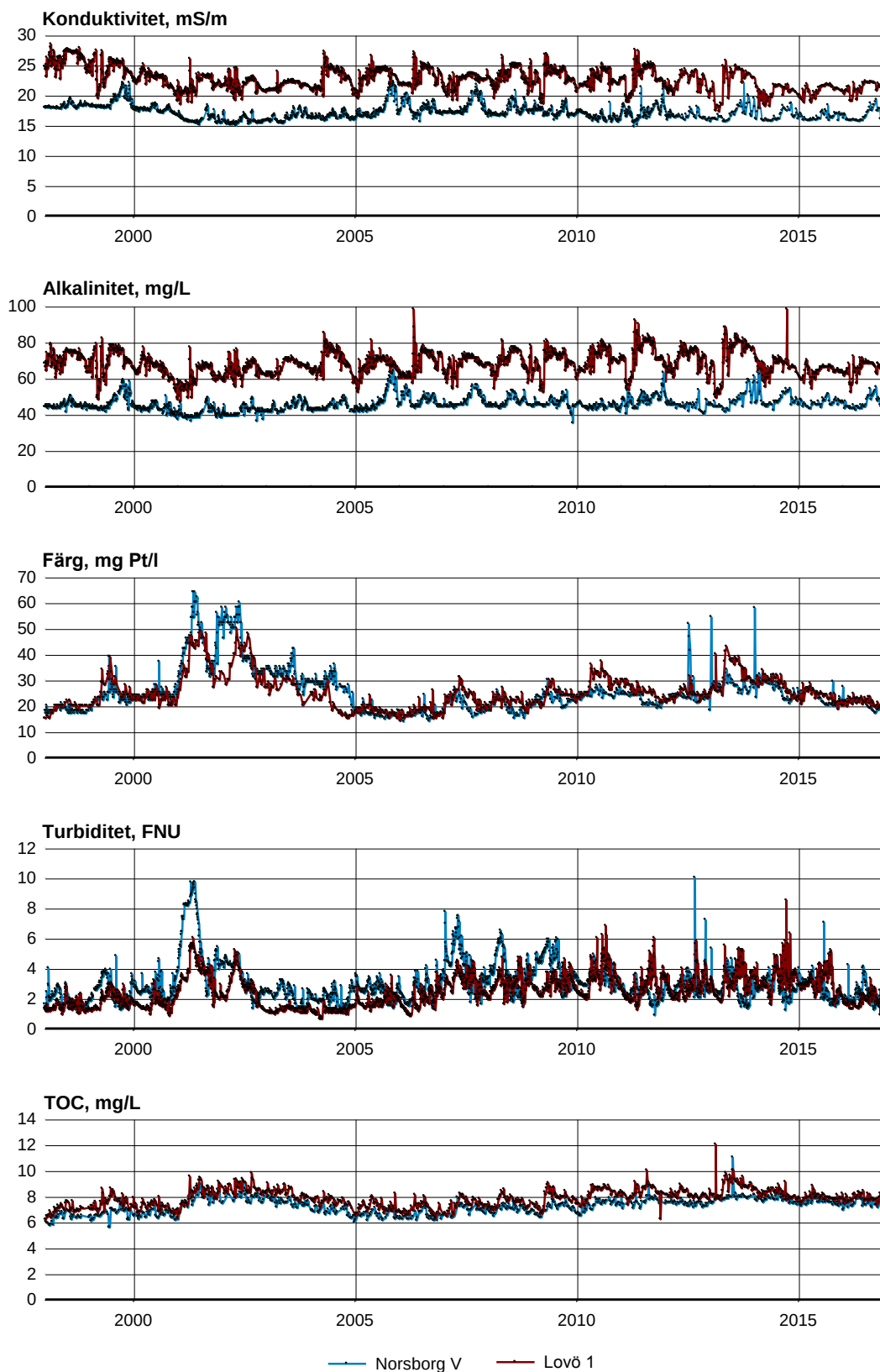
Ett stort antal parametrar analyseras i det vatten som tas in till vattenverken, vid Norsborg från 11 m djup i Kyrkfjärden och vid Lovö från 5, 10, 15 och 23 m djup i Mörbyfjärden. Vid Norsborg görs analyserna av råvattnet både i Östra och Västra Norsborg och vid Lovö av både Rå1 och Rå2. Skillnaderna mellan Västra och Östra Norsborg tycks vara slumpvisa och beror antagligen till största delen på osäkerheter i analyserna. Turbiditet och aluminium, som hänger nära ihop, troligen genom att turbiditeten orsakas av aluminiumhaltig lera, är dock nästan genomgående högre i Västra Norsborg. Eftersom intagsdjupet vid Lovö varierar kan skillnaderna mellan de två intagen vara ganska stora. (Fig 59).



Figur 59. Skillnader i råvattenanalyser mellan Västra och Östra Norsborg som procent av medelvärdet för Västra Norsborg och mellan Lovö Rå1 och Rå2 som procent av medelvärdet för Rå1. De tunna linjerna anger gränserna för $\pm 10\%$.

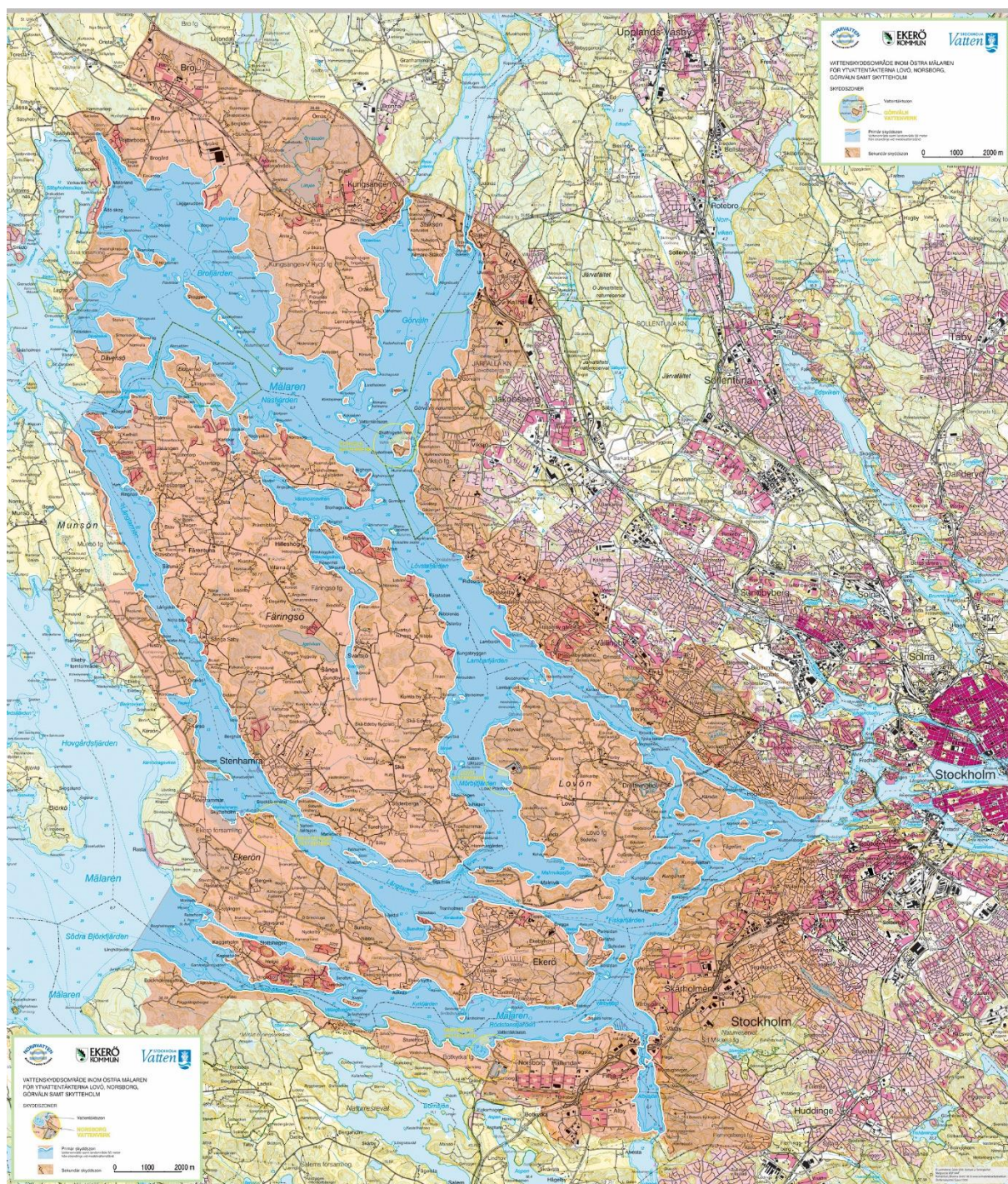
I Figur 60 med värden från Västra Norsborg och Lovå Rå1 visas utvecklingen av fem av de mest frekvent analyserade parametrarna från 1998 till 2016. Råvattnet vid de två vattenverken skiljer sig åt främst genom betydligt högre konduktivitet och alkalinitet vid Lovö i överensstämmelse med skillnaderna mellan Kyrkfjärden och Lambarfjärden. Turbiditeten är i allmänhet högre vid Norsborg, vilket kan bero på att vattnet där är mer strömmande 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. Efter låga värden 2005-2006 ökade vattenfärg, turbiditet och TOC på nytt fram till 2013. Ökningen har troligen varit en bidragande faktor till minskningen av siktdjupet som skett under samma tid (se Fig 47).



Figur 60. Råvattenanalyser, västra Norsborg och Lovö Rå1. Proverna av Rå1 har tagits på olika djup vilket delvis förklarar de stora variationerna i framförallt konduktivitet och alkalinitet. Intagsdjupet registreras inte i vattenverkens databas (SPOV).

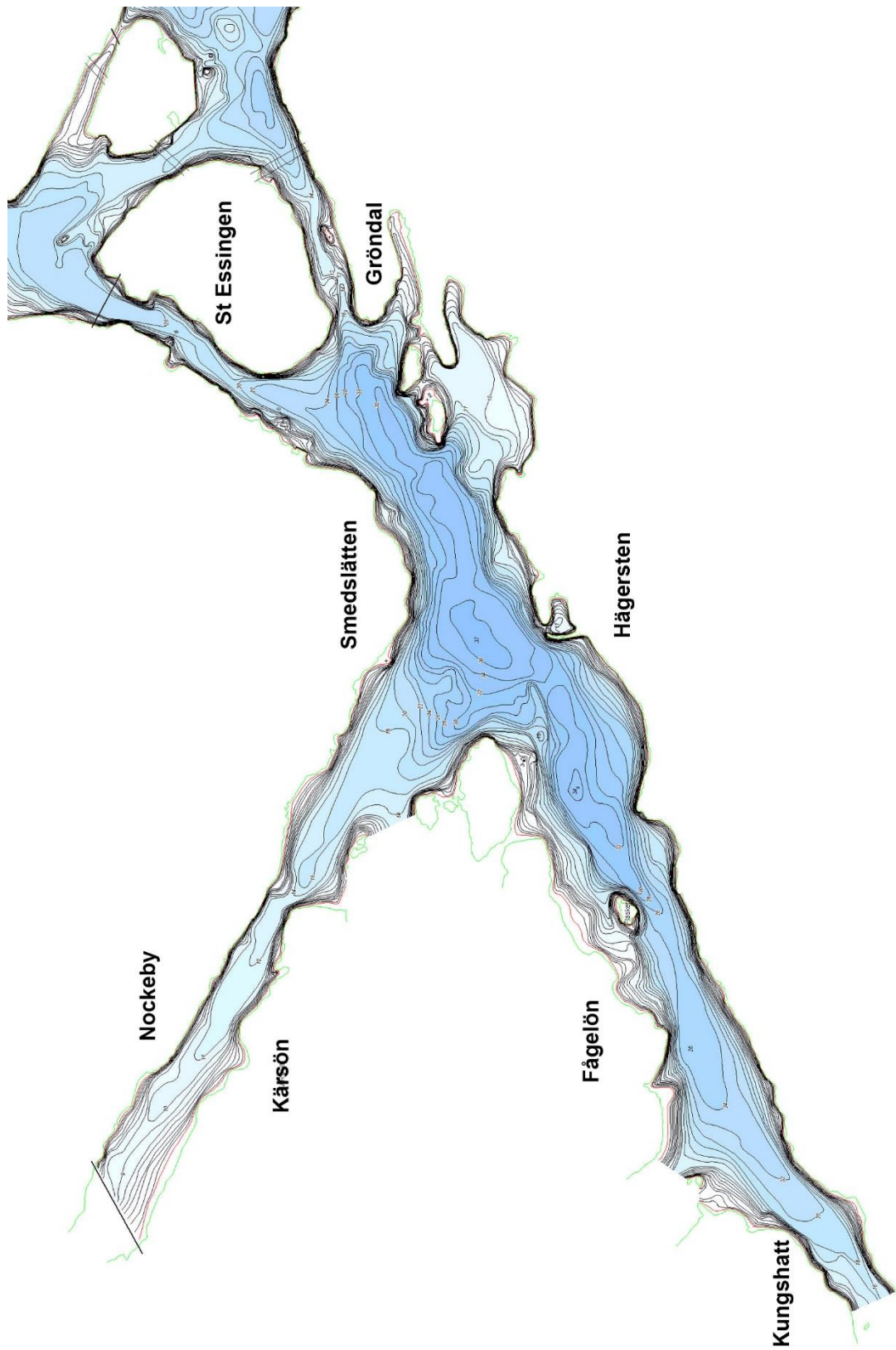
Bilaga 1 Östra Mälarens vattenskyddsområde



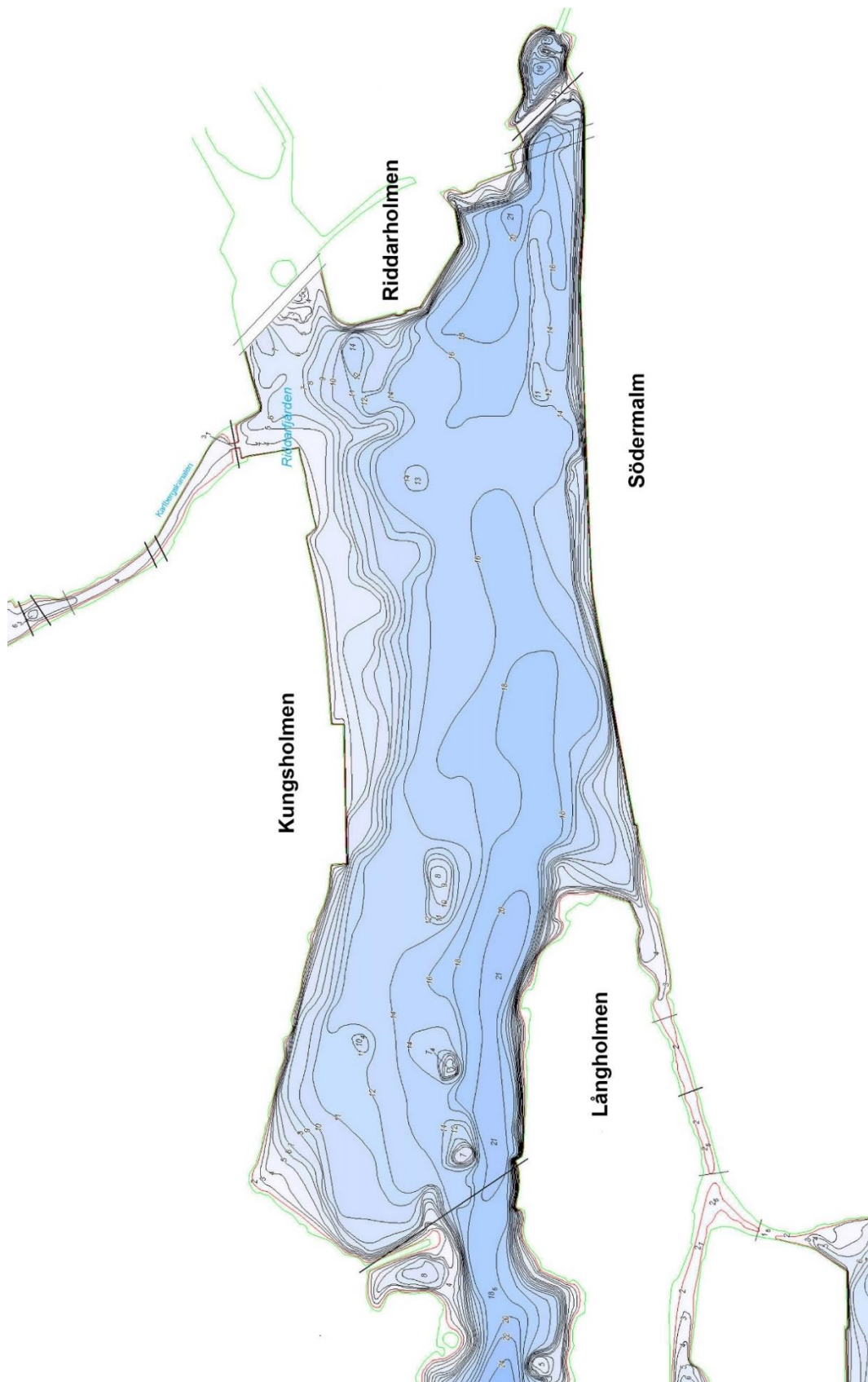
Bilaga 2 Djupkartor

L Essingen – Nockebybron/Kungshatt
Riddarfjärden
Ulvsundasjön
Klara Sjö
Årstaviken

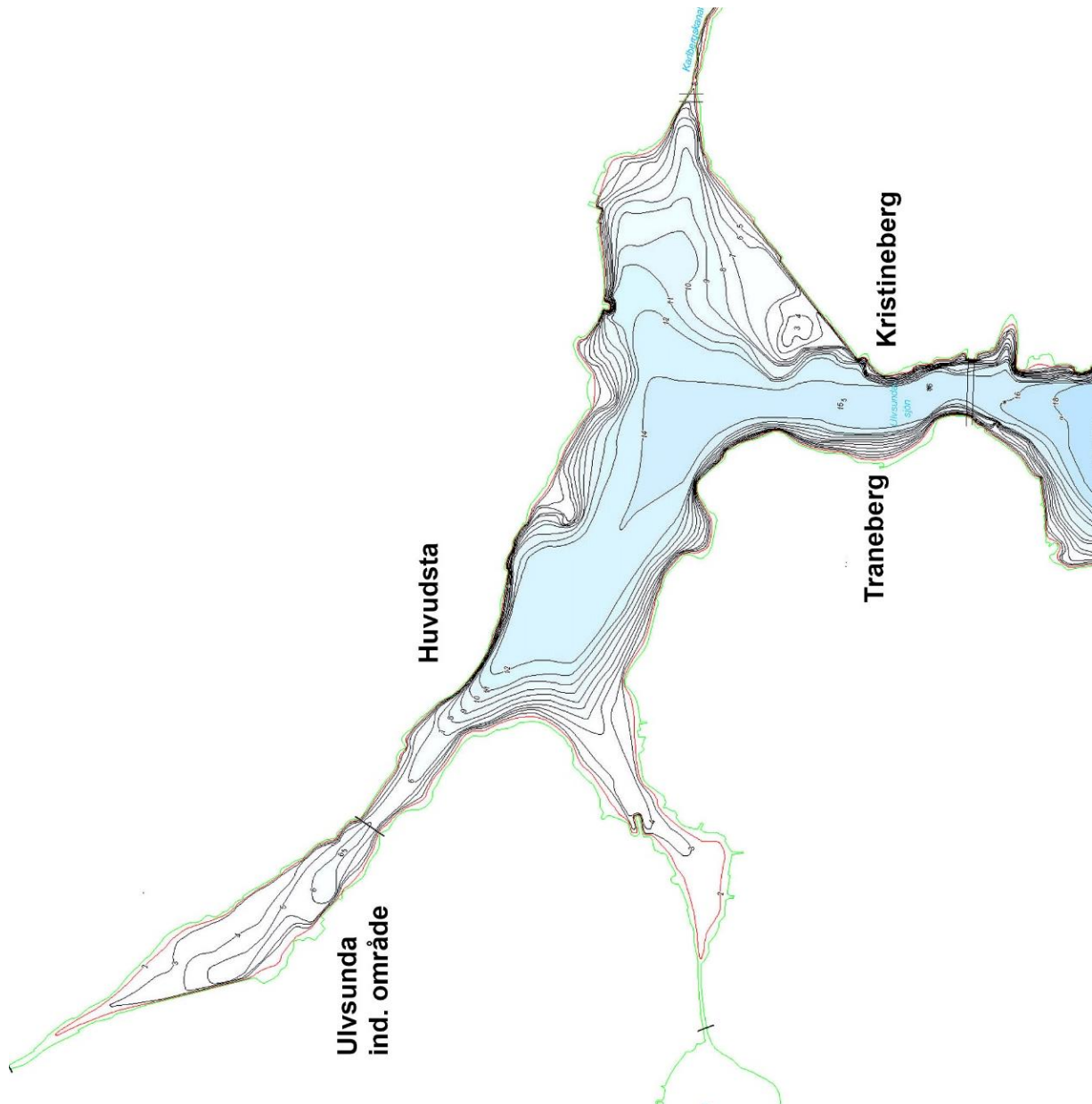
L Essingen – Nockebybron/Kungshatt



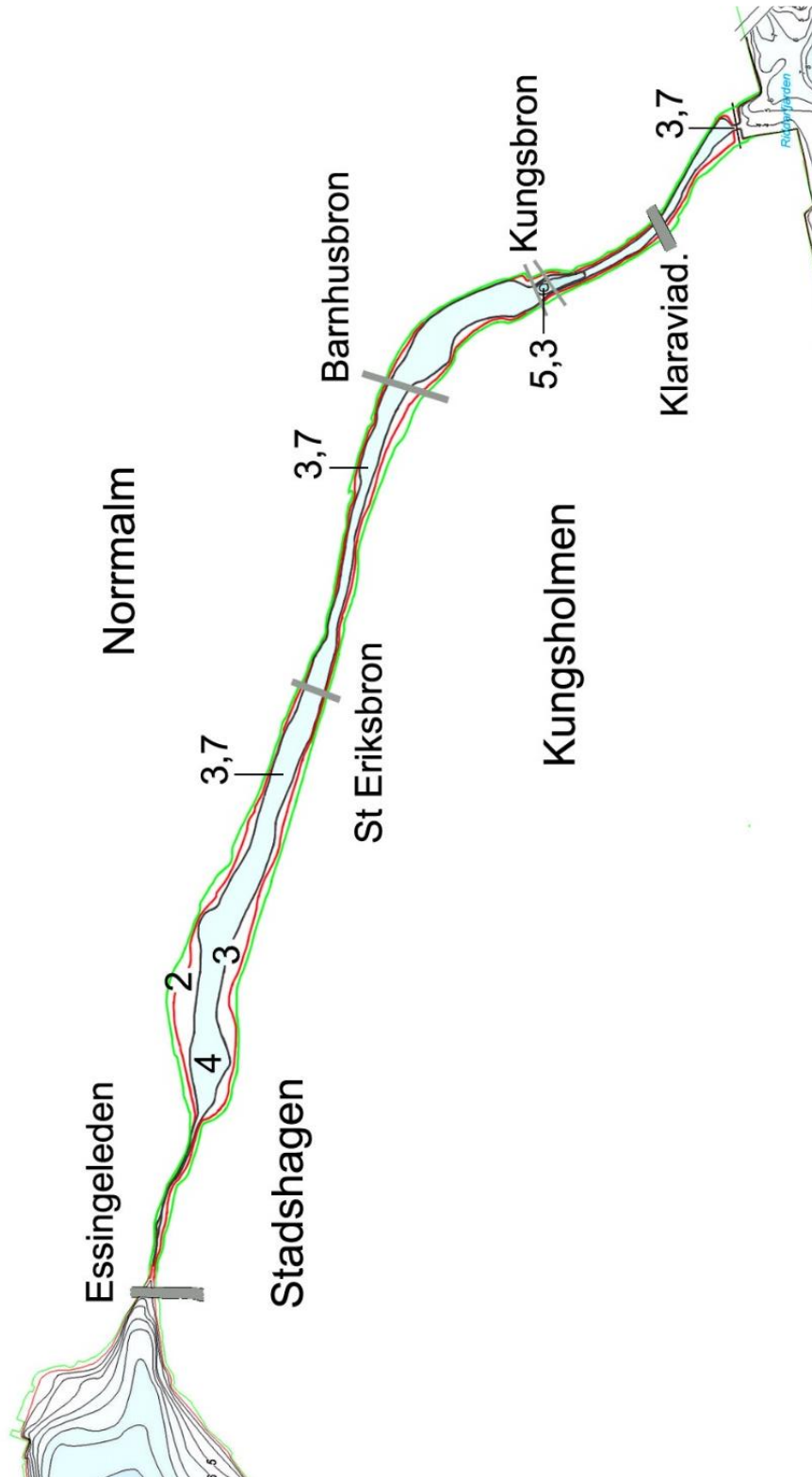
Riddarfjärden



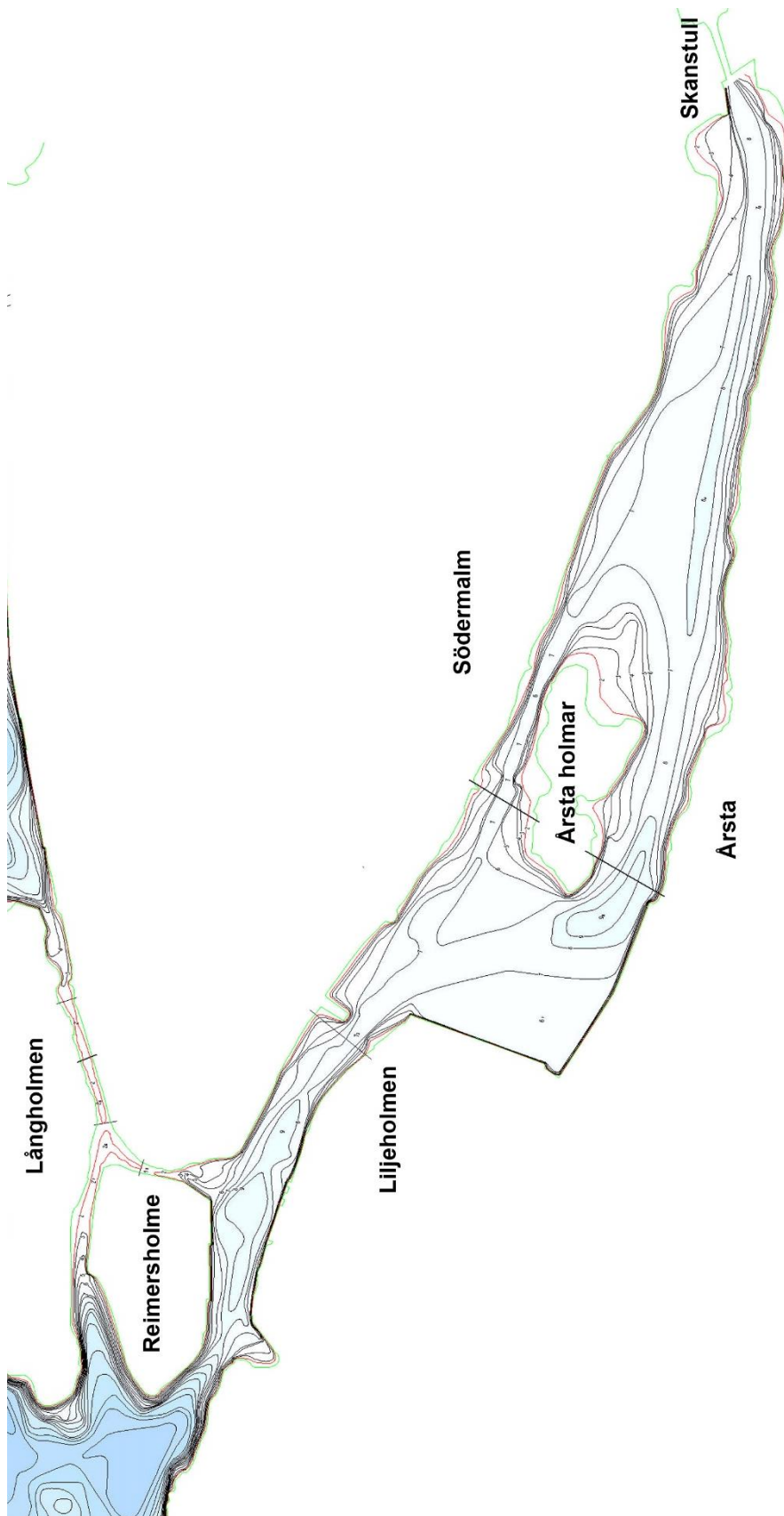
Ulvsundasjön



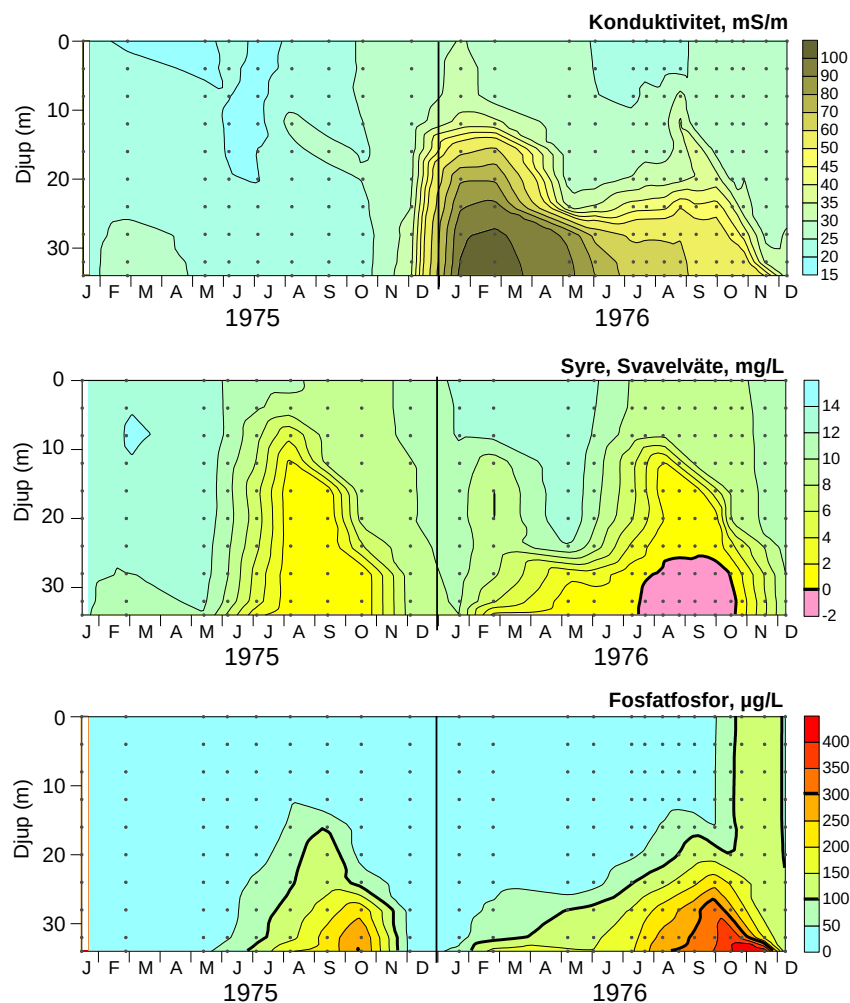
Klara Sjö



Årstaviken



Bilaga 3 Effekter av saltvatteninbrott 1975-76



Figur 2. Konduktivitet, syre och svavelväte (negativt värde i syrediagrammet) 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 4 Isopletdiagram, Fosfor och Kväve

(sammanlagt 49 945 mätvärden)

Lambarfjärden

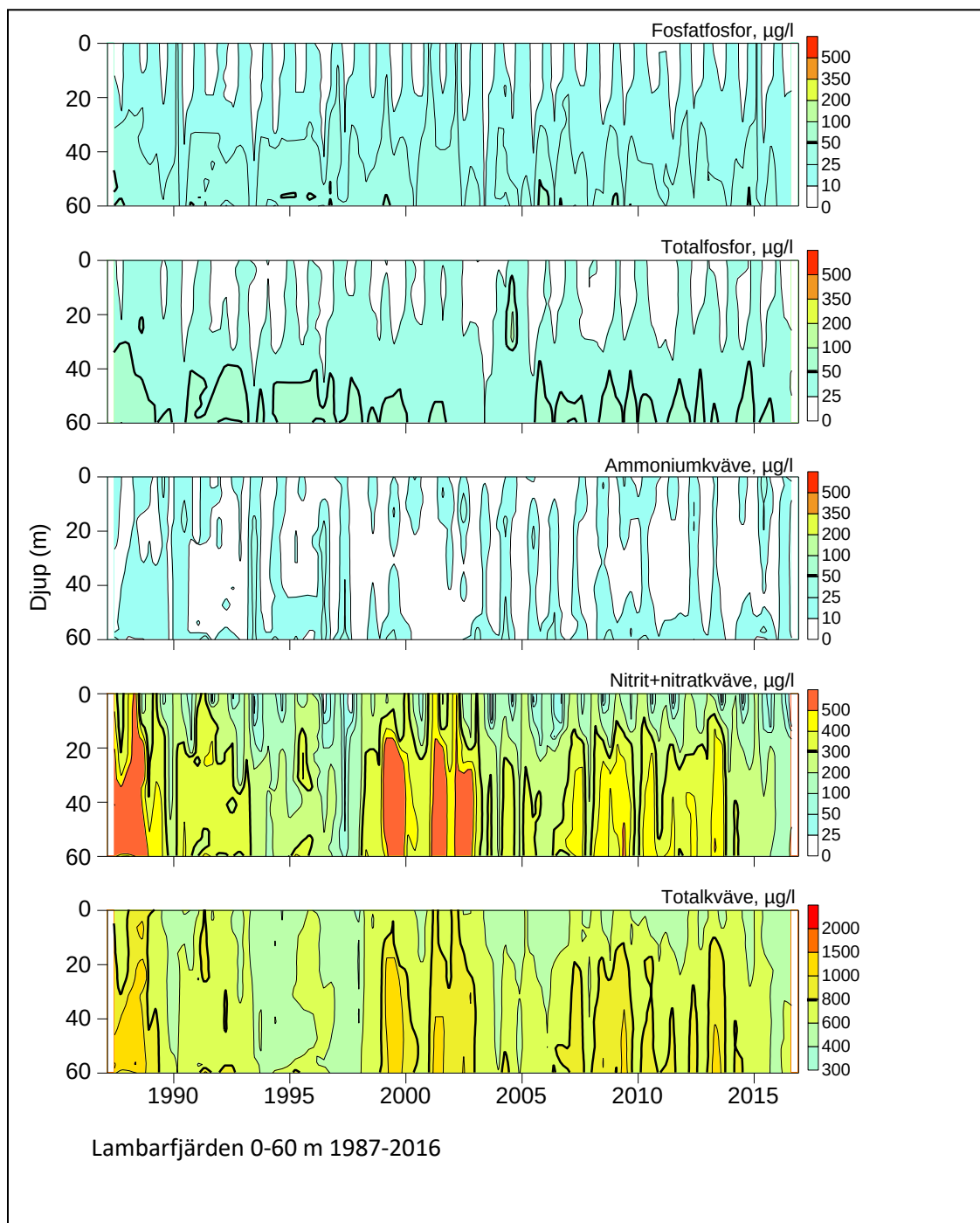
Kyrkfjärden

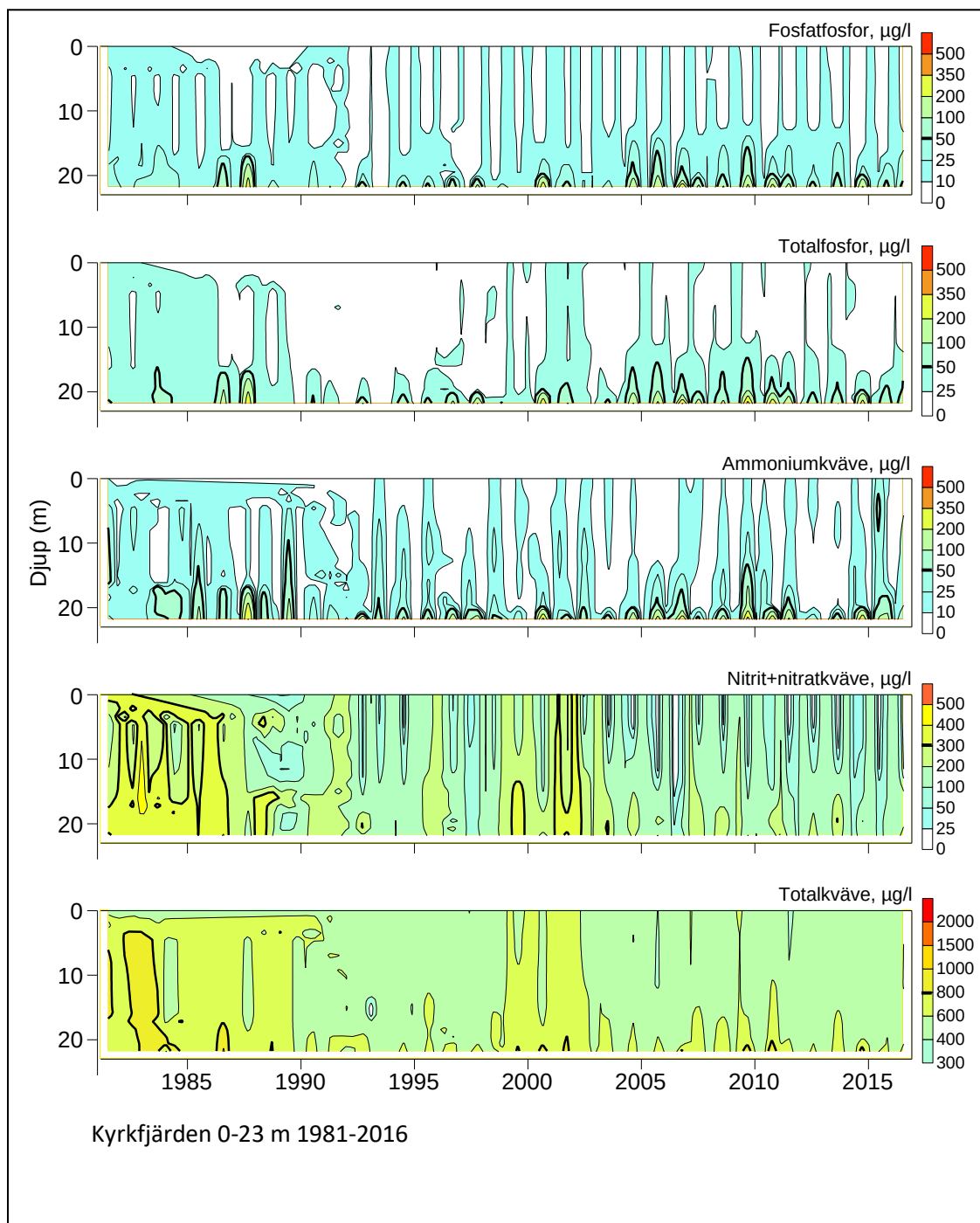
Klubben

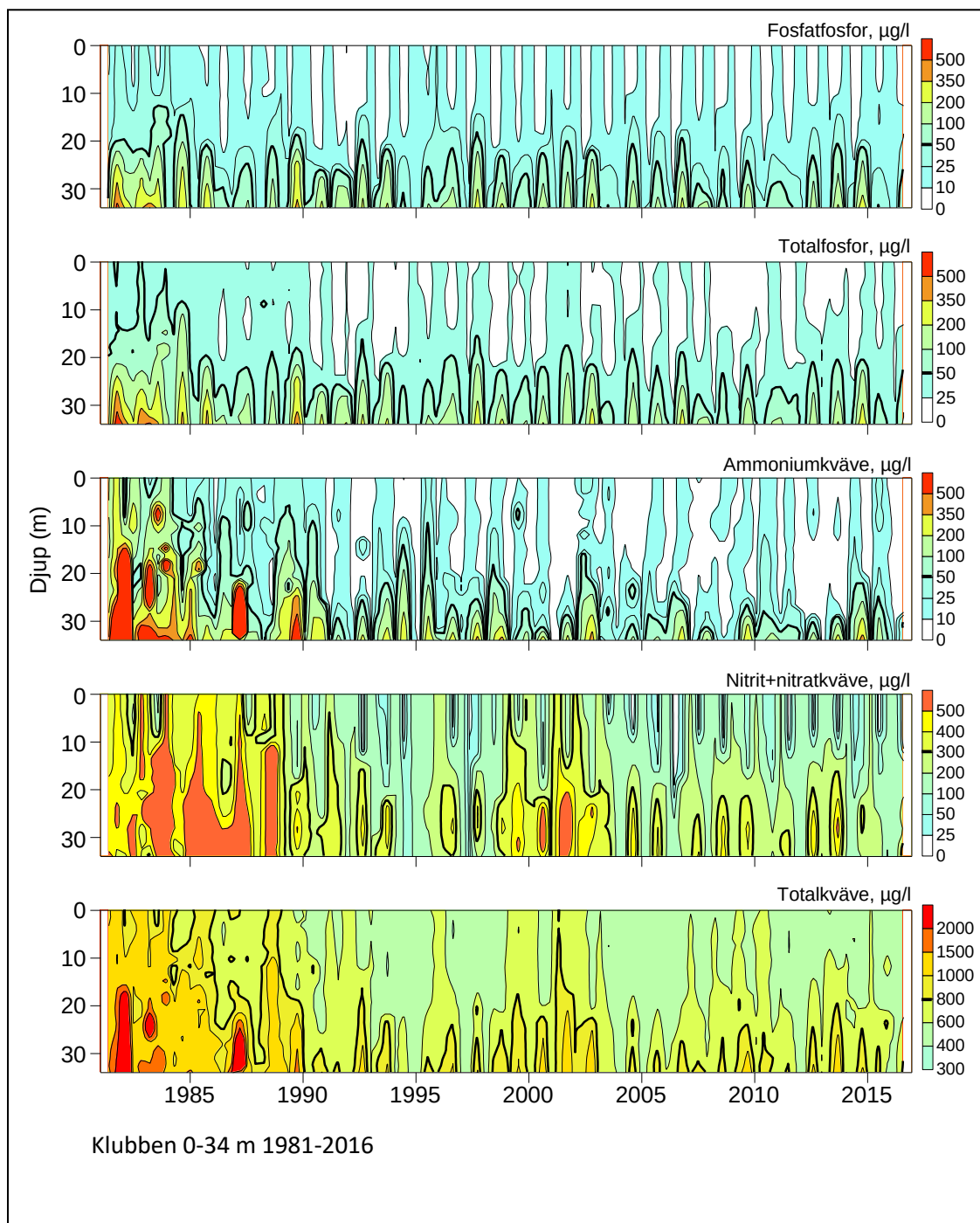
Riddarfjärden

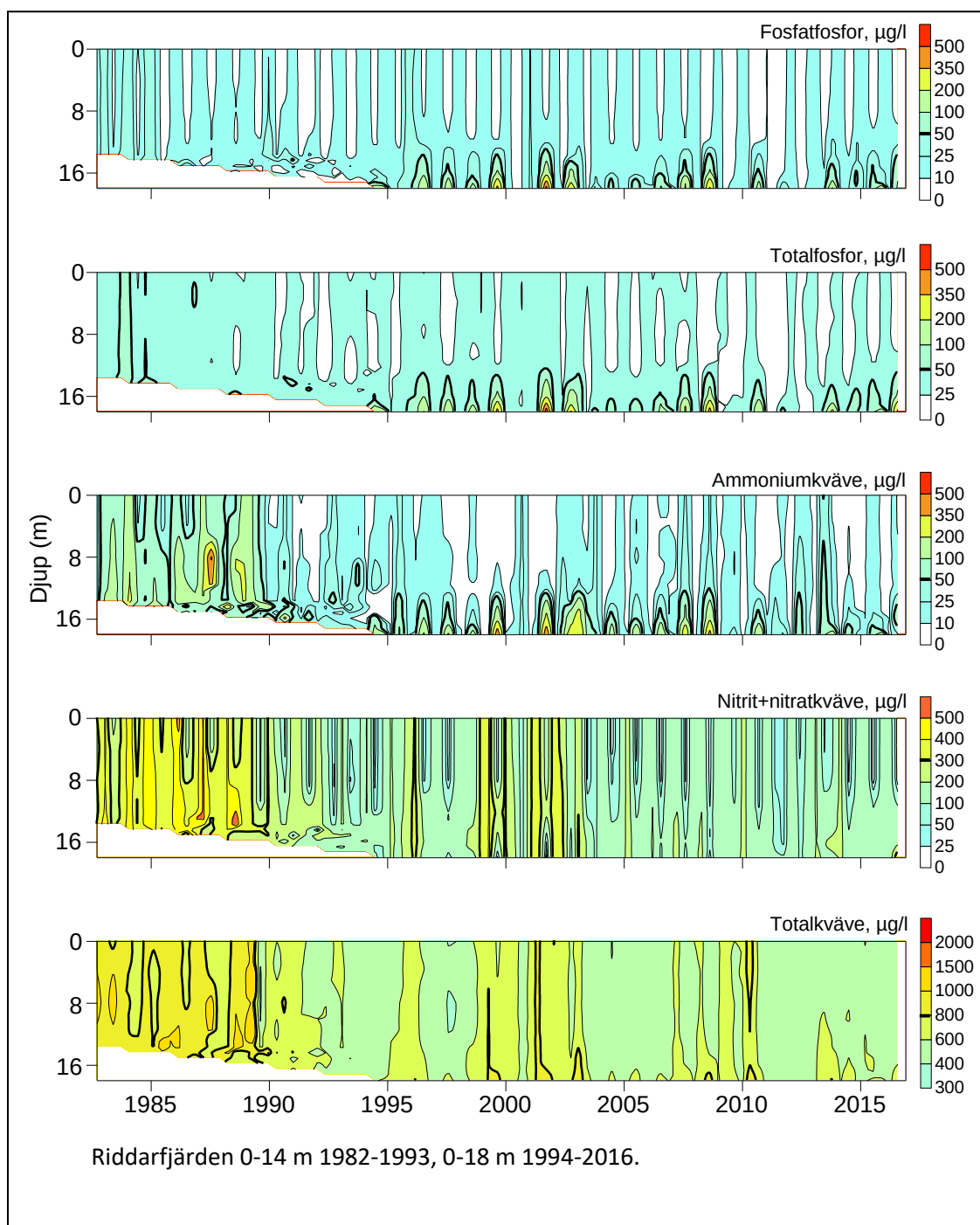
Ulsundasjön

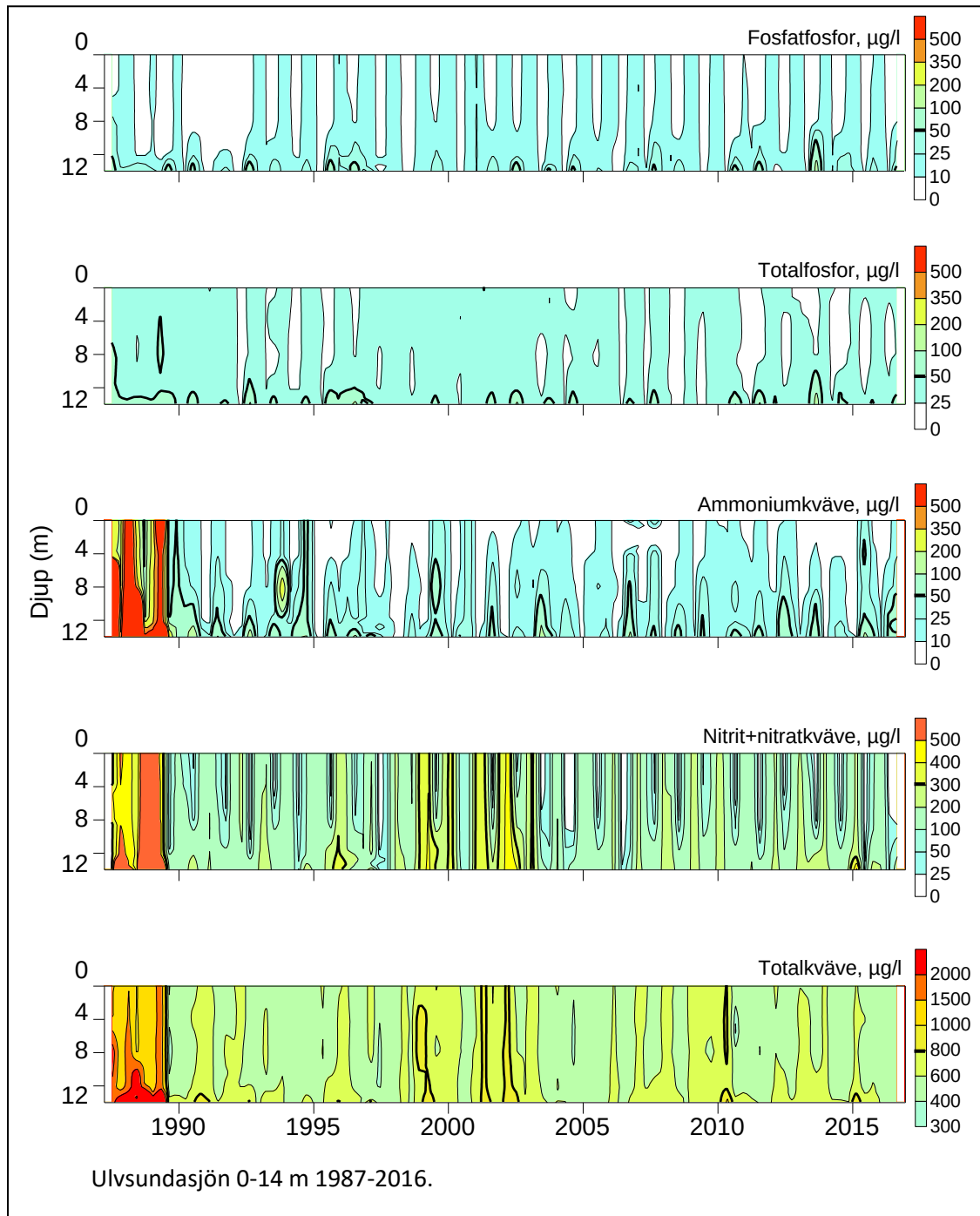
Årstaviken

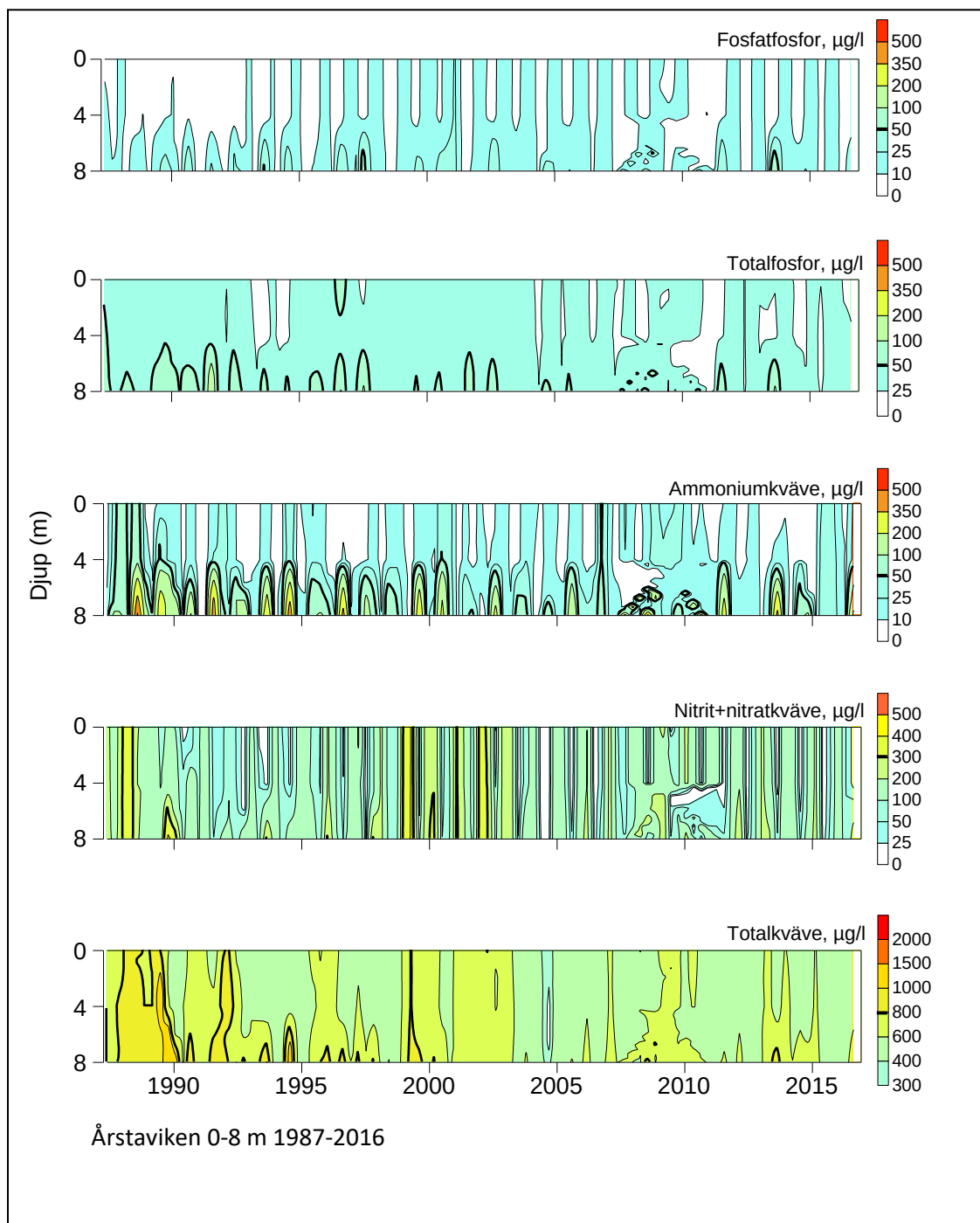














Stockholm Vatten och Avfall

Tel 08-522 120 00

svoa@svoa.se

www.svoa.se

En del av Stockholms stad