

Diarienummer  
16SV609

## Provtagningar i Bornsjön och dess tillflöden till och med 2015

---

Christer Lännergren  
2016



© Stockholm Vatten AB 2016

Författare: Christer Lännergren  
Rapporten citeras: Lännergren, C. (2016). Provtagningar i Bornsjön och dess tillflöden till och med 2015.  
Stockholm Vatten AB.  
Internt Dnr: 16SV609  
Kontaktuppgifter: Stockholm Vatten AB, 106 36 Stockholm  
Telefon: 08-522 120 00  
Webb: [www.stockholmvatten.se](http://www.stockholmvatten.se)

## Innehåll

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Sammanfattning               | 2  |
| Inledning                    | 3  |
| Avrinningsområde             | 4  |
| Tillflöden, ämnestransporter | 5  |
| Flöden                       | 6  |
| Konduktivitet och turbiditet | 7  |
| Fosfor och kväve             | 7  |
| Fosfor och kväve 2011-2015   | 7  |
| Bron Hamberget och Bergaholm | 12 |
| vägbron 1986-2015            |    |
| Transporterade mängder       | 15 |
| Bornsjön                     | 17 |
| Temperatur, skiktning        | 18 |
| Syre                         | 20 |
| Fosfor och kväve, halter     | 22 |
| Fosfor- och kvävebegränsning | 25 |
| Fosfor och kväve, mängder    | 26 |
| Internbelastning             | 28 |
| Förändringar 1986-2015       | 30 |
| Kisel                        | 32 |
| Klorofyll och siktdjup       | 33 |
| Status                       | 35 |

Bilaga 1. Påverkan på Bornsjöns tillrinningsområde efter 2005

Bilaga 2. Diagram, halter av fosfor och kväve i diken 2011-2015

Bilaga 3. Diagram, halter av fosfor och kväve i diken 1998-2015

## Sammanfattning

Bornsjön är en relativt djup och stor sjö. Tillrinningsområdet är litet i förhållande till sjöns storlek och det årliga tillflödet räcker bara för att byta ut knappt en sjättedel av volymen. De förändringar som orsakas av tillrinningen är på kort sikt mindre än i sjöar med ett snabbare vattenutbyte medan interna processer kan ha en jämförelsevis större betydelse.

Halterna av fosfor och kväve i tillrinningen har sedan mitten av 1980-talet inte visat några stora förändringar med undantag av lägre fosforhalter i ett av de stora tillflödena, efter sammanflödet av Bergsjö- och Eksättradiket. Den beräknade transporten av fosfor och kväve från tillrinningsområdet har varierat kraftigt från år till år, huvudsakligen beroende på varierande flöden. Mängderna var stora 1986 och 1990 och under några år i början av 2000-talet. De senaste åren har tillflödet av fosfor, ca 0,7 ton, varit mindre än genomsnittet för perioden 1986-2015, tillflödet av kväve, ca 12,5 ton, har varit nära genomsnittet. Drygt hälften av fosfor fastläggs i Bornsjön och en ungefär lika stor andel av kvävet fastläggs/denitrifieras.

Bornsjön är skiktad under en stor del av året, från maj till september-oktober. Skiktningen medför att ytvattnet och bottenvattnet är starkt åtskilda och utbytet av syre och näringsämnen är mycket begränsat. Under sommaren minskar syrehalterna i bottenvattnet och syret är på de största djupen helt förbrukat efter 3-4 månader. Syreförbrukningshastigheten har varit praktiskt taget oförändrad sedan mer omfattande undersökningar i Bornsjön påbörjades i mitten av 1980-talet.

Efter att syret förbrukats på de största djupen i bottenvattnet följer en period med mycket låga syrehalter eller helt syrefria förhållanden tills skiktningen bryts vid höstomblandningen. Den perioden har blivit längre i Bornsjön beroende på en förstärkt skiktning som orsakats av större temperaturskillnader mellan yt- och bottenvattnet, främst i augusti och september då ytvattnet har blivit varmare samtidigt som bottenvattnet blivit kallare.

När syrehalterna är mycket låga frigörs fosfor och kväve från sedimenten och halterna i bottenvattnet blir höga. Förlängningen av den syrefria perioden har orsakat en kraftig ökning av halterna. I den djupa Edebybassängen, där förändringarna varit tydligast, har fosforhalten i oktober ökat från ca 30 till 350 µg/l och kvävehalten från ca 40 till 500 µg/l. Vid höstomblandningen sprids de höga halterna i hela vattenmassan och de totala fosfor- och kvävemängderna i Bornsjön har blivit större under både höst och vår. Den stora ökningen av fosfor skedde i slutet av 1990-talet och kulminerade omkring år 2000. Därefter har fosfor minskat något medan kväve har fortsatt att öka.

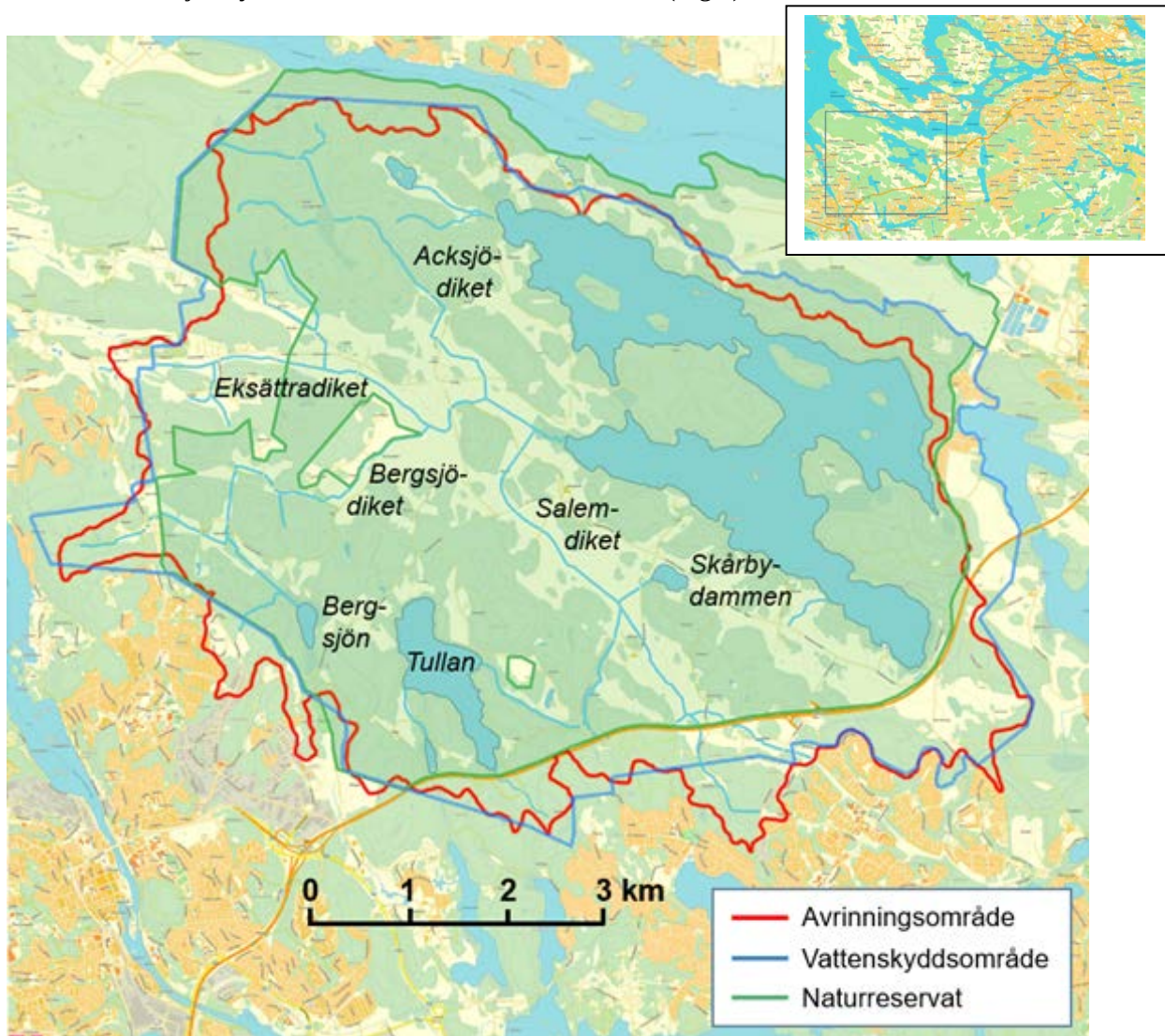
Fosformängderna under sommaren har inte visat någon förändring sedan slutet av 1980-talet. Innehållet av för växerna tillgänglig fosfor har varit uttömt i ytvattnet och klorofyllhalterna har varit låga utan att visa någon signifikant ökning eller minskning. Siktdjupet har ökat svagt i augusti och september.

Bornsjöns ekologiska status har av vattenmyndigheten bedömts som *hög* med klorofyll, siktdjup och fisk, med fosfor som *god* och med makrofyter som *måttlig*. Den sammantagna statusen har bedömts som *god*.



## Inledning

Bornsjön ligger mellan Stockholm och Södertälje. Avrinningsområdet delas av tre kommuner: Södertälje, Botkyrka och Salem. Bornsjön är den viktigaste reservvattentäkten för Stockholm och omges därför av ett vattenskyddsområde som i stort sett sammanfaller med gränsen för avrinningsområdet. Även naturvärdena är stora. Större delen av avrinningsområdet ingår i Bornsjöns naturreservat och Bornsjöns yta är avsatt som Natura 2000-område (Fig 1).



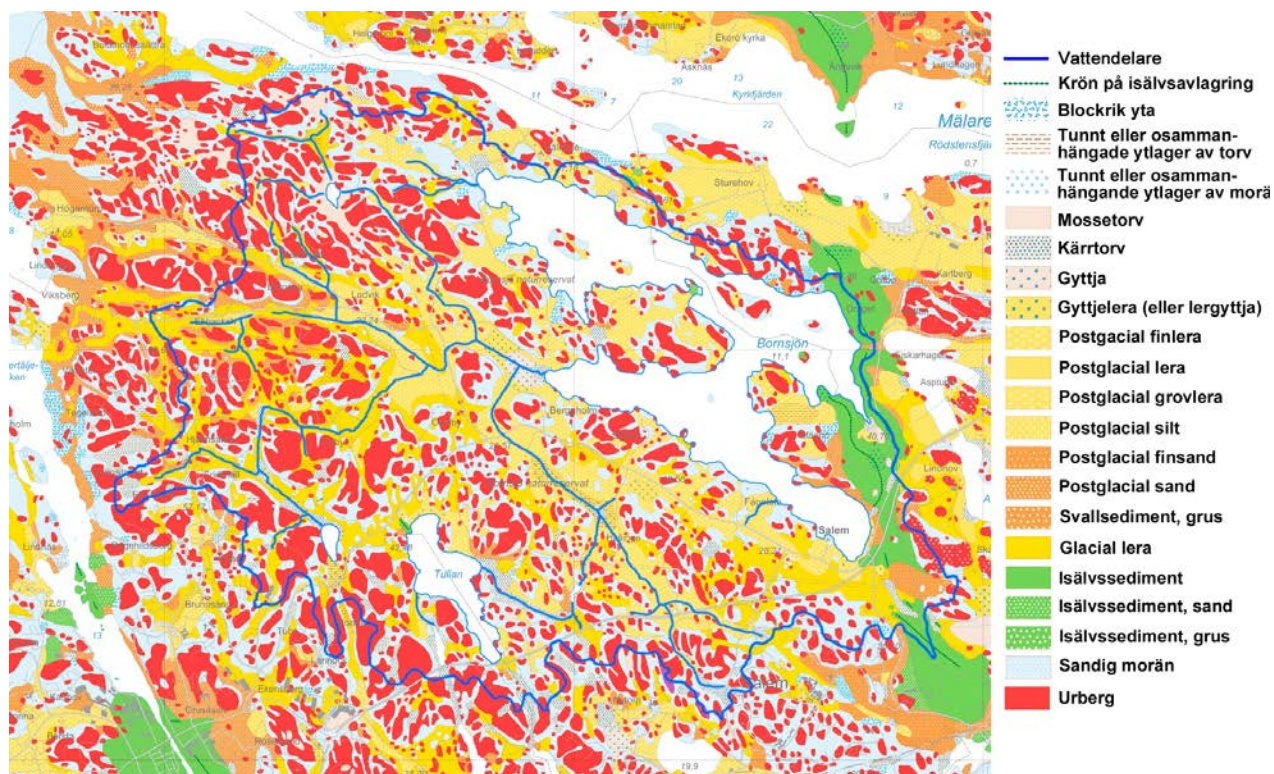
**Figur 1.** Bornsjön med gränser för avrinningsområde, vattenskyddsområde och naturreservat.

Under 1980-talet försämrades vattenkvaliteten, huvudsakligen p.g.a. ökade fosforhalter. 1987 påbörjades luftning av bottenvattnet i den nordöstra bassängen. Omfattande åtgärder har därefter vidtagits för att minska utläckaget av fosfor och kväve från odlad mark inom avrinningsområdet. Fosforhalterna ökade på nytt efter 1999-2000 och 2013 beslöt Stockholm Vatten att fosforinnehållet i bottenvattnet, som är stort mot slutet av sommaren och under tidig höst, ska reduceras genom fällning i ett reningsverk som beräknas vara färdigställt 2016.

Föreliggande rapport, som gjorts på uppdrag av Stockholm Vatten, är en uppdatering av den beskrivning av koncentrationer och transporter i tillflödena som gjordes 2005 och av den redovisning av utvecklingen i Bornsjön som gjordes 2009.



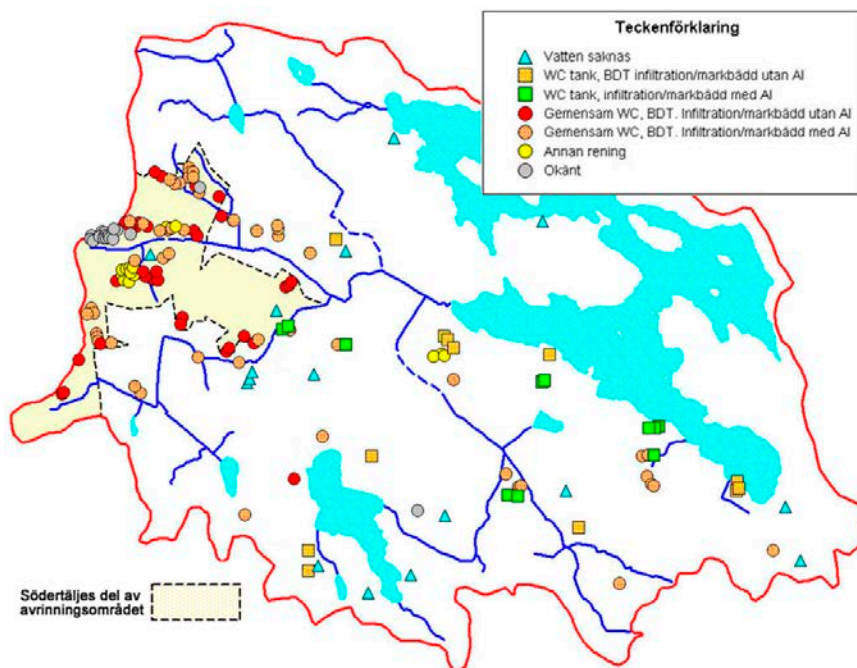
## Avrinningsområde



Figur 2. Geologi. Karta från SGU.

Avrinningsområdet är ganska typiskt för denna del av Sverige med dalgångar med glacial och postglacial lera åtskilda av höjdryggar med morän och berg i dagen. Öster om Bornsjön finns en stor sand- och grusås. Dagvatten från en del av bebyggelsen i Salem, ca 1,6 km<sup>2</sup> som naturligt tillhör avrinningsområdet, avleds från Bornsjön (mindre delar kan kvarstå). Den återstående ytan är 48 km<sup>2</sup>, därav 7,5 km<sup>2</sup> sjö. Skogsmark upptar drygt 30 km<sup>2</sup> och odlad mark ca 8 km<sup>2</sup>. En liten andel urban mark, ungefär 0,2 km<sup>2</sup>, finns i Södertäljes del av avrinningsområdet.

Det finns ett stort antal enskilda fastigheter inom avrinningsområdet, flertalet för permanentboende. Standarden på avloppsreningen är mycket varierande (Fig 3). Motorvägen E4/E20 passerar genom den södra delen av avrinningsområdet. Trafikdagvatten från ca 2,5 km av vägen där den går närmast Bornsjön renas sedan 1997 i en sedimenteringsanläggning som byggts och sköts av Trafikverket. Slamtömning görs vart 3:e – 4:e år. Trafikverket arbetar nu med en översyn av vägtrafikens påverkan på Bornsjön, både från E4/E20 och gamla riksettan.



Figur 3. Enskilda avlopp. Kartan är från år 2000.



Odlad mark finns huvudsakligen på lerjorden i dalgångarna, nära flera av de stora vattendragen. Skyddszoner har anlagts vid huvuddikena, restriktioner har införts för användning av bekämpningsmedel och växtnäring och jorden har strukturralkats. Skogsbruket, som bedrivs av Stockholm Vatten, är SFC-certifierat. En redovisning av vidtagna åtgärder 2005-2015 finns i Bilaga 1.

### Tillrinning, ämnestransporter



**Figur 4.** Huvuddiken med provtagningspunkter 2011-15.

Knappt 2/3 av tillrinningsområdet (dvs avrinningsområdet minus Bornsjön) avvattnas av fyra diken söder och väster om Bornsjön som har ett gemensamt utlopp i den södra bassängen – Acksjödiket, Eksättradiket, Bergsjödiket och Salem-diket. Provtagningar har gjorts sedan 1986 i de fyra diken och tidvis även i andra tillflöden till Bornsjön, som mest vid 51 punkter.

Sedan 2011 har provtagningarna gjorts vid de 13 punkter som visas på kartan i Figur 4, med undantag av Åkervågen från och med 2012 och Björkmossen och Tjuvparken som tillkom 2013. Proverna har tagits en gång i månaden utom vid Bron Hamberget och Bergaholm vägbron, där prover tagits 2-3 gånger per månad.



**Figur 5.** Ytor uppströms provtagningspunkterna H Bron Hamberget och B Bergaholm vägbron.

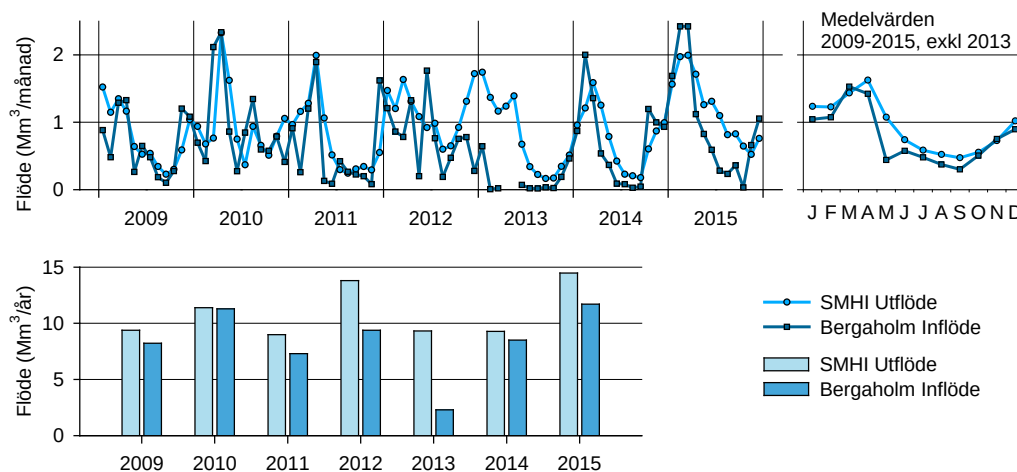
Analyserade parametrar har sedan 2011 varit konduktivitet (=ledningsförmåga, ett mått på innehållet av lösta salter), turbiditet (=grumlighet), fosfor (total- och fosfatfosfor) och kväve (ammonium-, nitrit+ nitrat- och totalkväve). Tidigare har även andra parametrar periodvis ingått – pH, alkalinitet och vid ett fåtal tillfällen metaller.

## Flöden

Flödena till Borsjön mäts vid två punkter - *Bron Hamberget* och *Bergaholm vägbron*. Ytan uppströms *Hamberget* är 11,2 km<sup>2</sup> och uppströms *Bergaholm* (exklusive Tullan) 12,0 km<sup>2</sup>, motsvarande 27 resp 29 % av det totala tillrinningsområdet (Fig 5). Med undantag av april och maj 2013 finns värden för flödena vid *Bergaholm vägbron* med bara kortare avbrott för hela perioden 2009-2015. Mätningarna vid *Bron Hamberget* gav sammanhängande flödesvärden bara 2014, men värdena var osannolikt höga (mer än dubbelt så höga som vid *Bergaholm*) och används därför inte.

Värden för utflödet från Borsjöns avrinningsområde, liksom för övriga större avrinningsområden i Sverige, beräknas fortlöpande av SMHI. Tillflödet till Borsjön bör på årsbasis vara ungefär lika stort som utflödet, eftersom nederbörden som faller på Borsjöns yta och avdunstningen från sjöytan båda är ca 500 mm/år. Det uppmätta tillflödet vid *Bergaholm*, omräknat till hela tillrinningsområdet, stämmer också ganska väl överens med SMHI:s värden. Det genomsnittliga årsflödet 2009-2015, exklusive 2013, uppgick enligt SMHI till 10,6 Mm<sup>3</sup> och tillflödet vid *Bergaholm* till 2,8 Mm<sup>3</sup>, vilket för hela tillrinningsområdet motsvarar 9,4 Mm<sup>3</sup>. SMHI:s kartering av avrinningsområdet innefattar en del av Salem som i verkligheten avleds från Borsjön och skillnaden i flöden kan delvis förklaras av SMHI:s överskattning av avrinningsområdets yta.

Under sommarmånaderna är utflödet i de flesta fall större än tillflödet – de största tillflödena kommer under våren, fram till hösten är tillflödena sedan små men utflödet kan fortfarande vara relativt stort genom att vatten magasineras i sjön och tappas av under sommaren.



**Figur 6.** Månads- och årsflöden. SMHI:s modellerade värden för det samlade utflödet från Borsjön och uppmätta flöden vid Bergaholm. Flödena vid Bergaholm, från 29 % av tillrinningsområdet, har räknats om att gälla för hela tillrinningsområdet.



## Konduktivitet och turbiditet

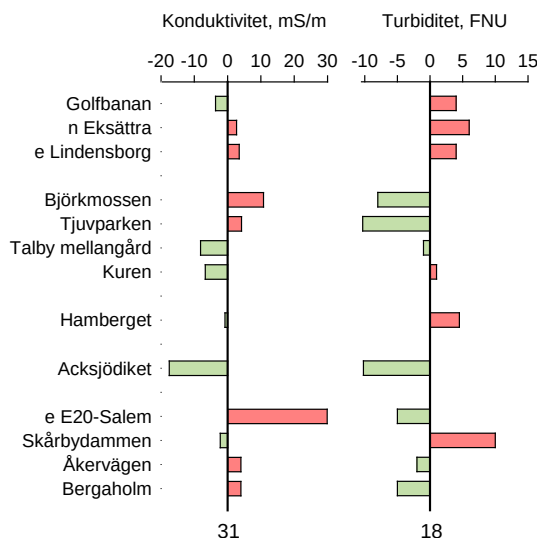
Konduktiviteten varierade mellan 5 och drygt 200 mS/m med de lägsta värdena i Acksjödiket och de högsta högt upp i Salemdiket vid provpunkten *efter E20-Salem*, en punkt där värdena varit höga även i tidigare undersökningar. Värdena från övriga lokaler är inte anmärkningsvärda.

Turbiditeten var liksom konduktiviteten låg i Acksjödiket. Ett mycket högt värde, 810 FNU utan samband med extrema kvävehalter (se nedan), erhöles från Björkmossen där turbiditeten annars var låg. Tillfälligt höga värden var vanligast vid de nedersta provpunkterna, *Bron Hamberget* och *Bergaholm vägbron*, som ligger nedströms områden med stora arealer jordbruksmark.

## Fosfor och kväve

### Fosfor och kväve 2011-2015

Fosfor- och kvävehalterna 2011-2015 visas i diagrammen i Figur 8 och 9 och median- och medelvärden för samma period i Tabell 1. Diagram för alla vattendrag 2011-2015 finns i Bilaga 2.



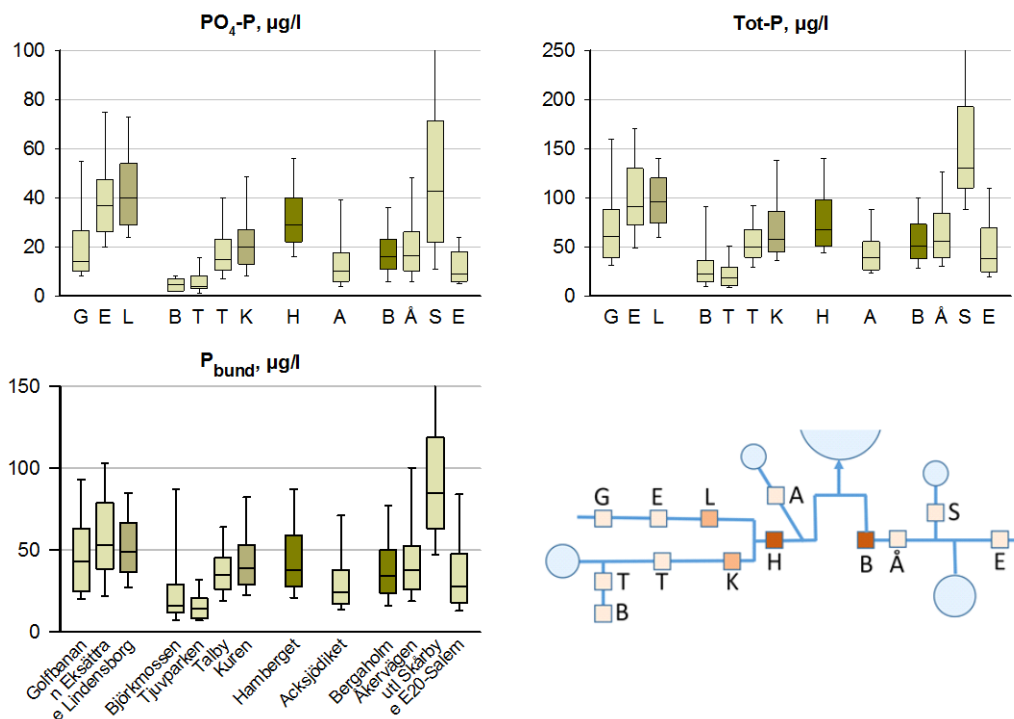
**Figur 7.** Konduktivitet och turbiditet, differens mellan de enskilda lokalernas medianvärden och medianvärdet för samtliga lokaler 2011-2015.

**Tabell 1.** Median(Med)- och medel(Mv)värden för halterna av fosfor och kväve vid de 13 provtagningspunkterna 2011-2015. Medianvärdena är färgade så att de lägsta värdena är gröna och de högsta röda. P bund = Tot-P minus PO<sub>4</sub>-P, N bund = Tot-N minus summan NO<sub>2+3</sub>-N och NH<sub>4</sub>-N.

|                      |                   | PO <sub>4</sub> -P |    | Tot-P |     | P bund |     | NH <sub>4</sub> -N |     | NO <sub>2+3</sub> -N |       | Tot-N |       | N bund |       |
|----------------------|-------------------|--------------------|----|-------|-----|--------|-----|--------------------|-----|----------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
|                      |                   | Med                | Mv | Med   | Mv  | Med    | Mv  | Med                | Mv  | Med                  | Mv    | Med   | Mv    | Med    | Mv    |
| <b>Bergsjödiket</b>  | Björkmossen       | 5                  | 5  | 22    | 43  | 16     | 38  | 22                 | 81  | 3 500                | 5 500 | 3 900 | 5 800 | 430    | 580   |
|                      | Tjuvparken        | 4                  | 6  | 18    | 25  | 14     | 18  | 17                 | 49  | 1 300                | 3 000 | 1 700 | 3 400 | 390    | 420   |
|                      | Talby Mellangård  | 15                 | 20 | 50    | 59  | 35     | 39  | 37                 | 54  | 280                  | 450   | 990   | 1 100 | 600    | 630   |
|                      | Kuren             | 20                 | 28 | 58    | 85  | 39     | 57  | 48                 | 88  | 400                  | 560   | 1 100 | 1 300 | 570    | 640   |
| <b>Eksättradiket</b> | Golfbanan         | 14                 | 26 | 61    | 78  | 43     | 52  | 29                 | 44  | 210                  | 274   | 770   | 960   | 490    | 640   |
|                      | e Eksättra        | 37                 | 40 | 91    | 100 | 53     | 61  | 89                 | 160 | 280                  | 431   | 1 100 | 1 300 | 630    | 680   |
|                      | e Lindensborg     | 40                 | 44 | 96    | 99  | 49     | 55  | 73                 | 97  | 420                  | 400   | 1 100 | 1 200 | 610    | 680   |
|                      | Bron Hamberget    | 29                 | 33 | 68    | 84  | 38     | 51  | 51                 | 63  | 550                  | 740   | 1 100 | 1 400 | 510    | 550   |
| <b>Acksjödiket</b>   | Trumma Bornöv.    | 10                 | 16 | 39    | 52  | 24     | 36  | 19                 | 25  | 270                  | 420   | 1 000 | 1 100 | 670    | 670   |
| <b>Salemdiket</b>    | e E20-Salem       | 9                  | 12 | 38    | 52  | 28     | 40  | 33                 | 39  | 280                  | 310   | 810   | 840   | 440    | 490   |
|                      | utl Skårbydammen  | 43                 | 66 | 130   | 180 | 85     | 110 | 280                | 591 | 150                  | 440   | 1 800 | 2 400 | 1 100  | 1 400 |
|                      | Åkervägen         | 17                 | 22 | 56    | 73  | 38     | 51  | 76                 | 110 | 330                  | 450   | 1 300 | 1 300 | 740    | 770   |
|                      | Bergaholm, vägbro | 16                 | 19 | 51    | 64  | 34     | 45  | 63                 | 86  | 360                  | 540   | 1 100 | 1 300 | 580    | 680   |

## Fosfor

Fosforhalterna var relativt låga i Acksjödiket och Salemdiket, högre i Bergsjödiket och högst i Eksättradiket, vilket berodde på höga halter redan vid den översta provpunkten, *Golfbanan*, och en ökning av halterna till *nedom Eksättra* och *efter Lindensborg*. Halterna var ännu högre i utloppet från Skårbydammen men flödet är litet och de höga halterna tycks ha varit av liten betydelse för fosforhalterna längre nedströms i Salemdiket med undantag av mycket höga halter i utflödet i slutet av 2015 (Fig 2 i Bilaga 2), men bedömningen är osäker p.g.a. det stora avståndet mellan provtagningspunkterna *efter E20-Salem* och *Åkervägen* upp- och nedströms Skårbydammens utlopp.



**Figur 8.** Halter av fosfor 2011-2015 vid de tretton provtagningspunkterna (se karta Fig 4) i Ack-sjödiket, Eksättradiket, Bergsjödiket och Salemdiket samt vid Bron Hamberget efter sammanflödet av Eksättradiket och Bergsjödiket. 10, 25, 50 (median), 75 och 90 percentiler; de 10 % lägsta och högsta värdena visas alltså inte i diagrammen.

Höga halter i Eksättradiket och relativt höga halter vid Kuren i Bergsjödiket medförde att halten av fosfatfosfor efter sammanflödet av de två dikena var nästan dubbelt så hög vid Bron Hamberget som vid Bergaholm vägbro, den nedersta provpunkten i Salemdiket. Totalfosforhalten var bara 1,3 gånger högre, vilket berodde på att bunden fosfor utgjorde en större andel av fosforinnehållet i Salemdiket än i Bergsjö- och Eksättradiket (Fig 8).

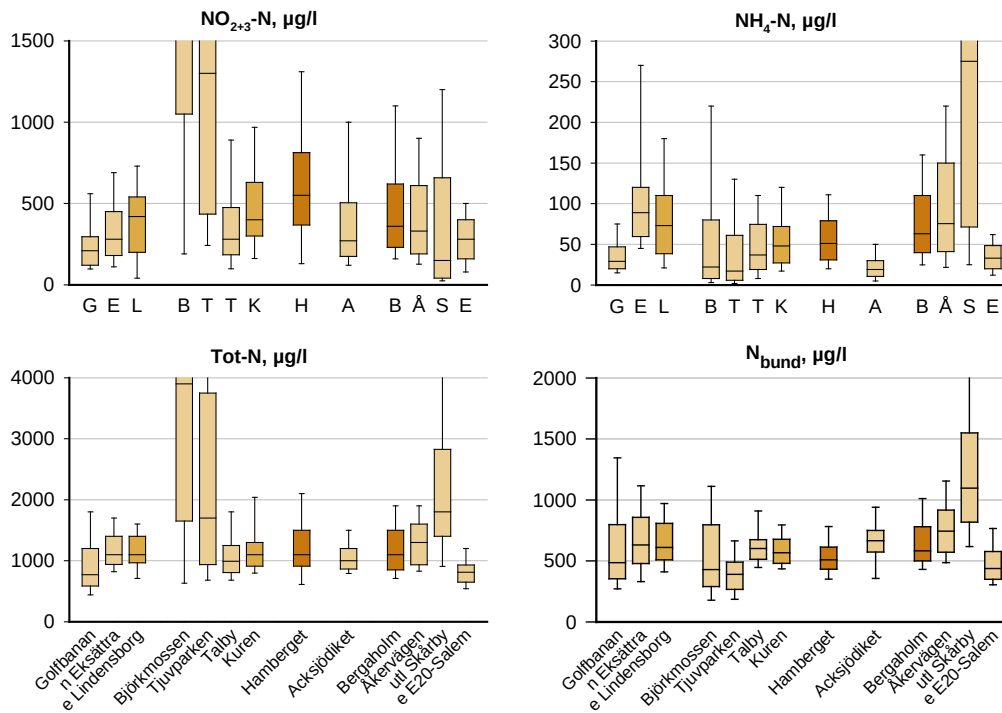
Medianhalterna vid Bron Hamberget och Bergaholm vägbro, 68 resp 51 µg/l, var betydligt högre än det beräknade referensvärdet enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder, 15 µg/l (förenklad beräkning eftersom data för marina baskatjoner saknas och utan hänsyn till förekomsten av odlad mark). Halterna var också höga jämfört med många mindre vattendrag i Stockholmsområdet, av vilka flera har någon form av rening för att skydda recipienter längre nedströms.

### Kväve

Skillnaden i kvävehalter var ganska små med undantag av tre provpunkter i mindre tillflöden till huvuddikena – Skårbydammens utlopp till Salemdiket och Björkmossen och Tjuvparken i ett tillflöde till Bergsjödiket. Halterna av både ammonium- och nitrit+nitratkväve var tidvis höga vid Utlopp Skårbydammens och medförde en tydlig förhöjning av halterna vid Åkervägen nedströms utloppet (Fig 3 i Bilaga 2). Extremt höga halter av nitrit+nitratkväve förekom vid Björkmossen och Tjuvparken i slutet av 2013, mellan ca 20 000 och 25 000 µg/l, vilket berodde på byggarbeten i Södertälje, inom avrinningsområdet men utanför vattenskyddsområdet. Halterna var samtidigt höga vid Talby Mellängård och Kuren längre nedströms. Under 2014 minskade halterna vid Björkmossen och Tjuvparken och var 2015 mellan 500 och 1500 µg/l (Fig 7 och 8 i Bilaga 2).

**Tabell 2.** Totalfosforhalter i mindre vattendrag i Stockholmsområdet, medianvärden 2012-2015 (Nälsta och Veddsta dike 1013).

|                               | Tot-P<br>µg/l |
|-------------------------------|---------------|
| o Kräppladiket, kulvert       | 36            |
| o Flatendiket                 | 39            |
| o Trehörningen, invallningen  | 52            |
| o Trehörningen, Solfagravägen | 71            |
| o Inlopp Flemingsberg våtmark | 61            |
| Nälsta dike                   | 81            |
| Veddsta dike                  | 110           |
| o Med efterföljande rening    |               |



**Figur 9.** Halter av kväve 2011-2015 vid de tretton provtagningspunkterna (se karta Fig 4) i Acksjödiket, Eksättradiket, Bergsjödiket och Salemdiket samt vid Bron Hamberget efter sammanflödet av Eksättradiket och Bergsjödiket.

De högsta ammoniumhalterna i något av huvuddikena förekom, liksom de högsta fosforhalterna, vid *nedom Eksättra*. Nitrit+nitrathalterna var högst vid *Bron Hamberget* som ligger efter sammanflödet av Bergsjödiket och Eksättradiket. Medianhalterna vid de nedersta provtagningspunkterna i de två dikena var lägre än medianhalten vid *Hamberget*, vilket betyder att nitrit+nitratkväve tillkom nedströms de nedersta provtagningspunkterna i Bergsjö- och Eksättradiket, troligen på sträckan förbi Ladvik nedströms *efter Lindensborg*. Skillnaderna i totalkvävehalter var små – vid *Bron Hamberget* liksom vid de nedersta provtagningspunkterna i Bergsjödiket, Eksättradiket och Salemdiket var halten 1 100 µg/l, i Acksjödiket något lägre med 1 000 µg/l.<sup>1)</sup>

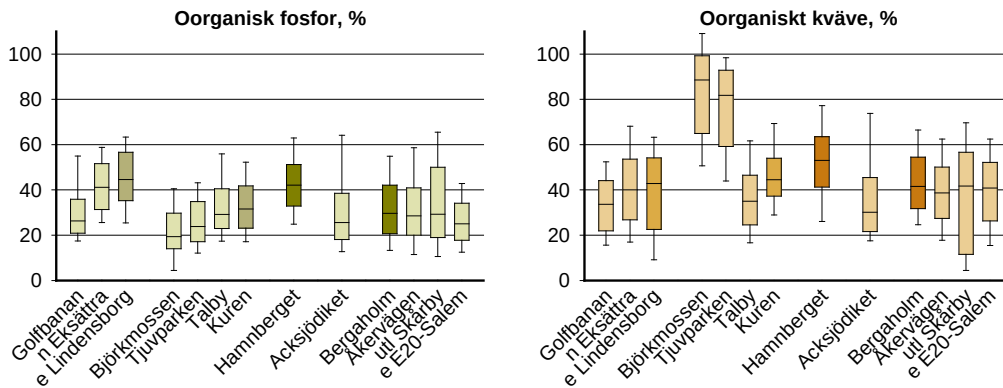
Oorganisk fosfor (fosfatfosfor) utgjorde vanligen mellan ca 15 och 60 % av totalhalten med den största andelen vid *nedom Eksättra* (Fig 10). Oorganiskt kväve (summan ammonium- och nitrit+nitratkväve) förekom i ungefär samma andel, 20-60 %, vid alla provtagningspunkter med undantag av *Björkmossen* och *Tjuvparken*, där nitrit+nitrathalterna tidvis var extremt höga. Andelen oorganiskt kväve var stor vid *Bron Hamberget*, vilket liksom de höga nitrit+nitrathalterna tyder på tillskott nedströms de nedersta provtagningspunkterna i Bergsjö- och Eksättradiket.

### N:P-kvot

Andelen oorganiskt fosfor och kväve varierar under året – oorganisk fosfor med den minsta andelen vår och höst, då andelen oorganiskt kväve är störst, och den största andelen under sommaren då andelen oorganiskt kväve tvärtom är minst. N:P-kvoten, förhållandet mellan kväve och fosfor, blir därför hög vår och höst och låg under sommaren.

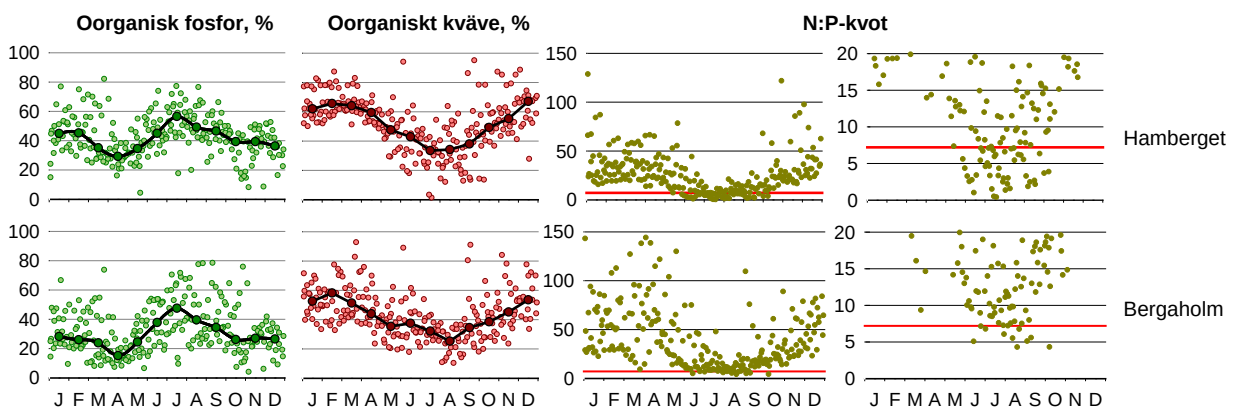
<sup>1)</sup> Eventuellt. Laboratoriet levererar värden till Stockholm Vattens databas med två siffrors noggrannhet. Ett analyserat värde som är 1 049 µg/l avrundas till 1 000 µg/l och 1 050 µg/l till 1 100 µg/l.





**Figur 10.** Andel oorganisk fosfor och oorganiskt kväve, samtliga data 2011-2015. Andelar >100 % vid Björkmossen beror på analysfel.

Förhållandet mellan kväve och fosfor i tillrinningen är av betydelse för de planktonalger som finns i Bornsjön. Algerna behöver kväve och fosfor i förhållandet 7,2:1 i vikt, ganska oberoende av släkte (det s.k. Redfield-ratio, i atomer 16:1). NP-kvoten är betydligt högre under våren när tillflödet är stort och hög även resten av året vid Bergaholm, medan den under sommaren vanligen är lägre än 7,2:1 vid Hamnerget där fosforhalterna är jämförelsevis höga.



**Figur 11.** Andelen oorganisk fosfor och oorganiskt kväve, variation under året vid Bron Hamnerget och Bergaholm vägbro 2011-2015, samtliga värden och medianvärden. Diagrammen till höger visar N:P-kvoten, variation under året 2011-2015 (enstaka värden >150:1 är uteslagna), längst till höger med annan skala. Röda linjer anger N:P-kvot = 7,2:1.

### Enskilda lokaler

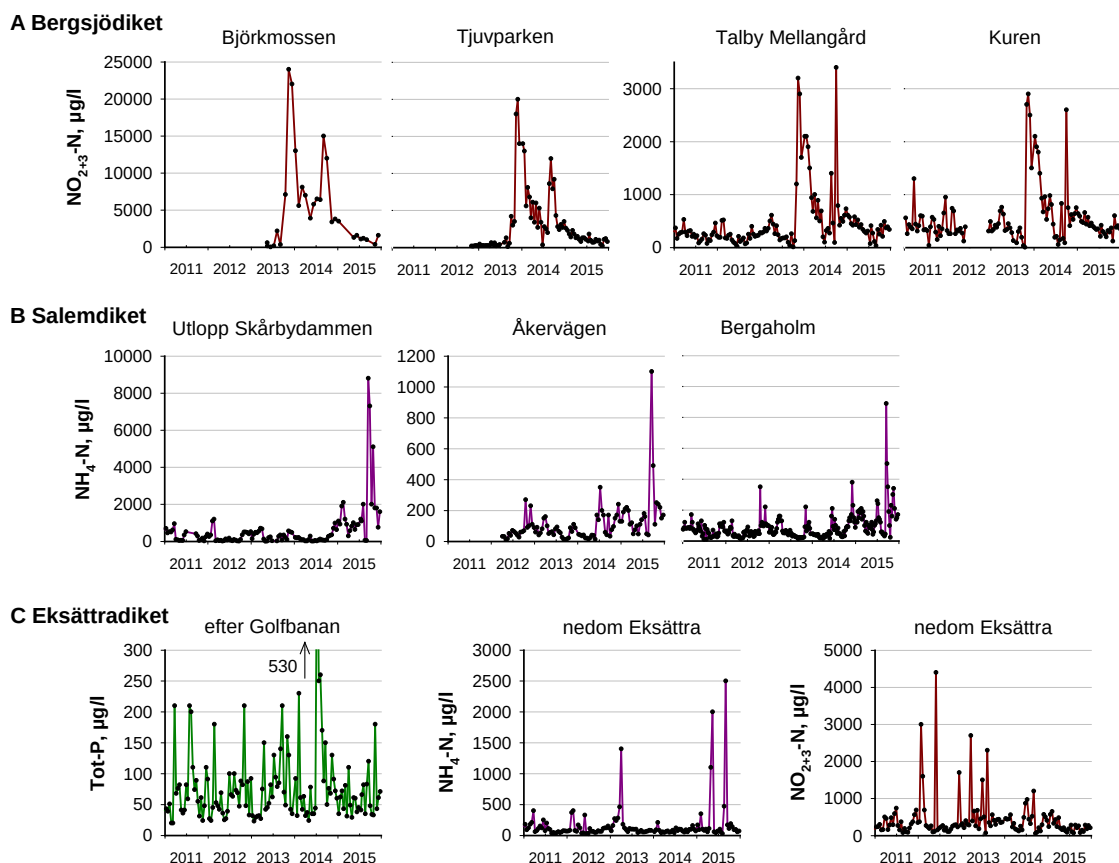
Diagram för fosfor- och kvävehalter vid samtliga provtagningspunkter visas i Bilaga 2. Det finns 2011-2015 inga tydliga tendenser mot högre eller lägre halter med undantag av nitrit+nitratkväve vid *efter E20-Salem*, där halterna maj-september minskat från 450 µg/l till knappt 100 µg/l.

Anmärkningsvärda resultat erhöles från Bergsjödiket när de tillfälligt ökningarna av nitrit+nitratkväve p.g.a. byggarbeten strax uppströms *Björkmossen* gav stora effekter längre nedströms (Fig 12 A). Avståndet mellan *Björkmossen* och *Tjuvparken*, den närmaste provtagningspunkten nedströms *Björkmossen*, är kort, bara ca 400 m. När halterna var extremt höga i slutet av 2013, över 20 000 µg/l, och i september 2014 ca 15 000 µg/l, var halterna nästan lika höga vid *Tjuvparken*, men de höga halterna vid *Björkmossen* påverkade också hela Bergsjödiket, en sträcka av nästan 5 km, ända ner till *Kuren* där halter av 2 600 - 3 000 µg/l registrerades 2013 och 2014. Halterna var tydligt förhöjda även vid *Bron Hamnerget* trots utspädningen med vatten från Eksåtradiet.

I Salemsdiket var höga ammoniumhalter vid mycket höga vid *Utlopp Skårbydammen* i slutet av 2015 i samband med tömning av dammen som påbörjades i november 2014 (se Bilaga 1), vilket medförde

höga halter vid *Åkervägen* och *Bergaholm vägbron* ca 1 resp 1,5 km nedströms utloppet (Fig 12 B). Även nitrit+nitratkvävehalterna var tidvis höga i utloppet och påverkade sannolikt halterna vid *Åkervägen* (se Fig 3 i Bilaga 2), men effekterna är oklara p.g.a. det stora avståndet mellan *efter E20-Salem* och *Åkervägen*.

I Eksättradiket var fosforhalterna vid *efter Golfbanan* högst upp i diket tidvis höga, som mest över 500 µg/l (Fig 12 C). De genomsnittliga halterna var något högre vid *nedom Eksättra* men extremt höga halter som förekommit tidigare registrerades inte 2011-2015, däremot vid några tillfällen mycket höga halter av ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve, sannolikt p.g.a. brister i det lokala reningsverket vid Eksättra.



**Figur 12.** Halter av fosfor och kväve 2011-2015. Ett urval, samtliga lokaler visas i Bilaga 2.

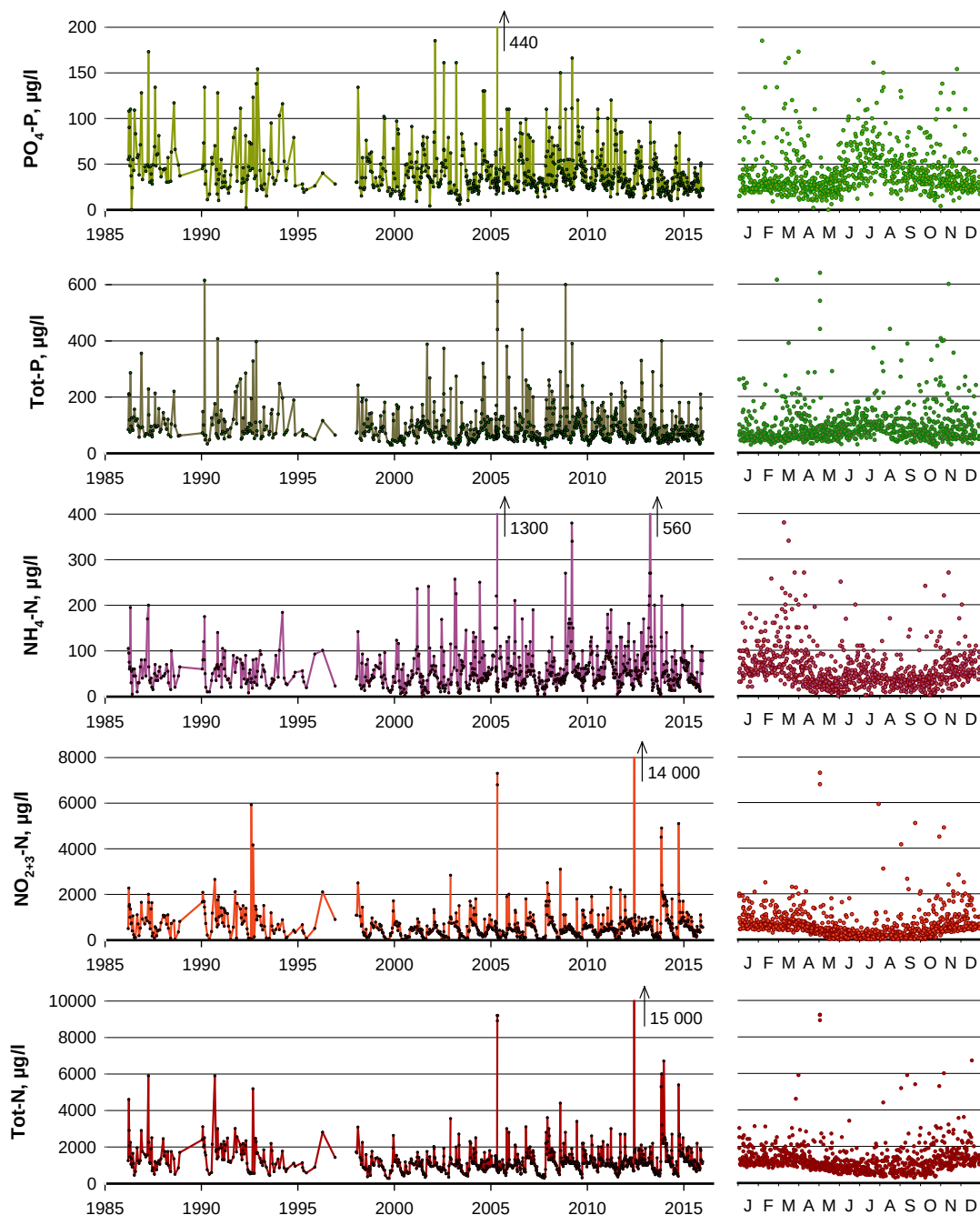
Mer långsiktiga förändringar visas i Bilaga 3 med halter av fosfor och kväve i dikena 1998-2015. I de flesta fall har halterna varit relativt konstanta. Något så när tydliga tendenser finns vid följande provtagningspunkter:

| Ökning             |                            | Minskning                  |                   |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|
| <b>Golfbanan</b>   | <b>Acksjödiket</b>         | <b>Efter E20-Salem</b>     | <b>Tjuvparken</b> |
| Nitrit+nitratkväve | Nitrit+nitratkväve         | Nitrit+nitratkväve         | Fosfatfosfor      |
| Totalkväve         | Totalkväve                 | Totalkväve                 | Totalfosfor       |
| <b>Åkervägen</b>   | <b>Utlopp Skårbydammen</b> | <b>Nedom Eksättradiket</b> |                   |
| Fosfatfosfor       | Ammoniumkväve              | Fosfatfosfor               |                   |
| Ammoniumkväve      | Nitrit+nitratkväve         | Totalfosfor                |                   |
|                    | Totalkväve                 |                            |                   |

### Bron Hamberget och Bergaholm vägbron 1986-2015

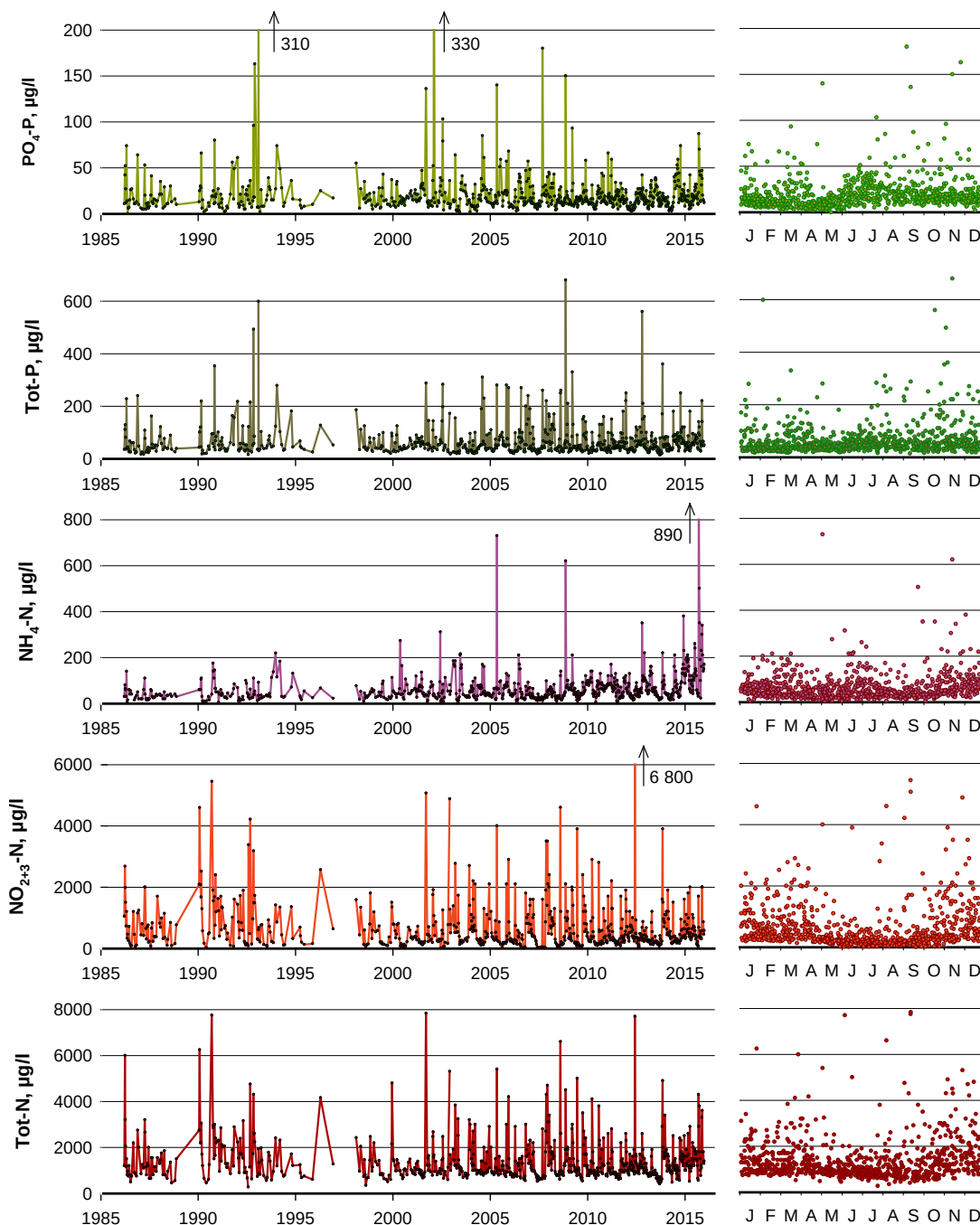
Avrinningen från 11,2 resp 12,0 km<sup>2</sup> passerar provtagningspunkterna *Bron Hamberget* och *Bergaholm vägbron*, motsvarande 27 resp 29 % av tillrinningsområdet (se karta Fig 5). Månadsvisa eller tätare provtagningar har gjorts sedan 1986 med avbrott 1995-97.

Samtliga halter av fosfor och kväve vid *Bron Hamberget* visas i Figur 13 och vid *Bergaholm vägbron* i Figur 14.



**Figur 13.** Fosfor (fosfat- och totalosfor) och kväve (ammonium-, nitrit+nitrat- och totalkväve) vid Bron Hamberget 1986-2015. Diagrammen till höger visar variationerna under året, samtliga värden 1986-2015.

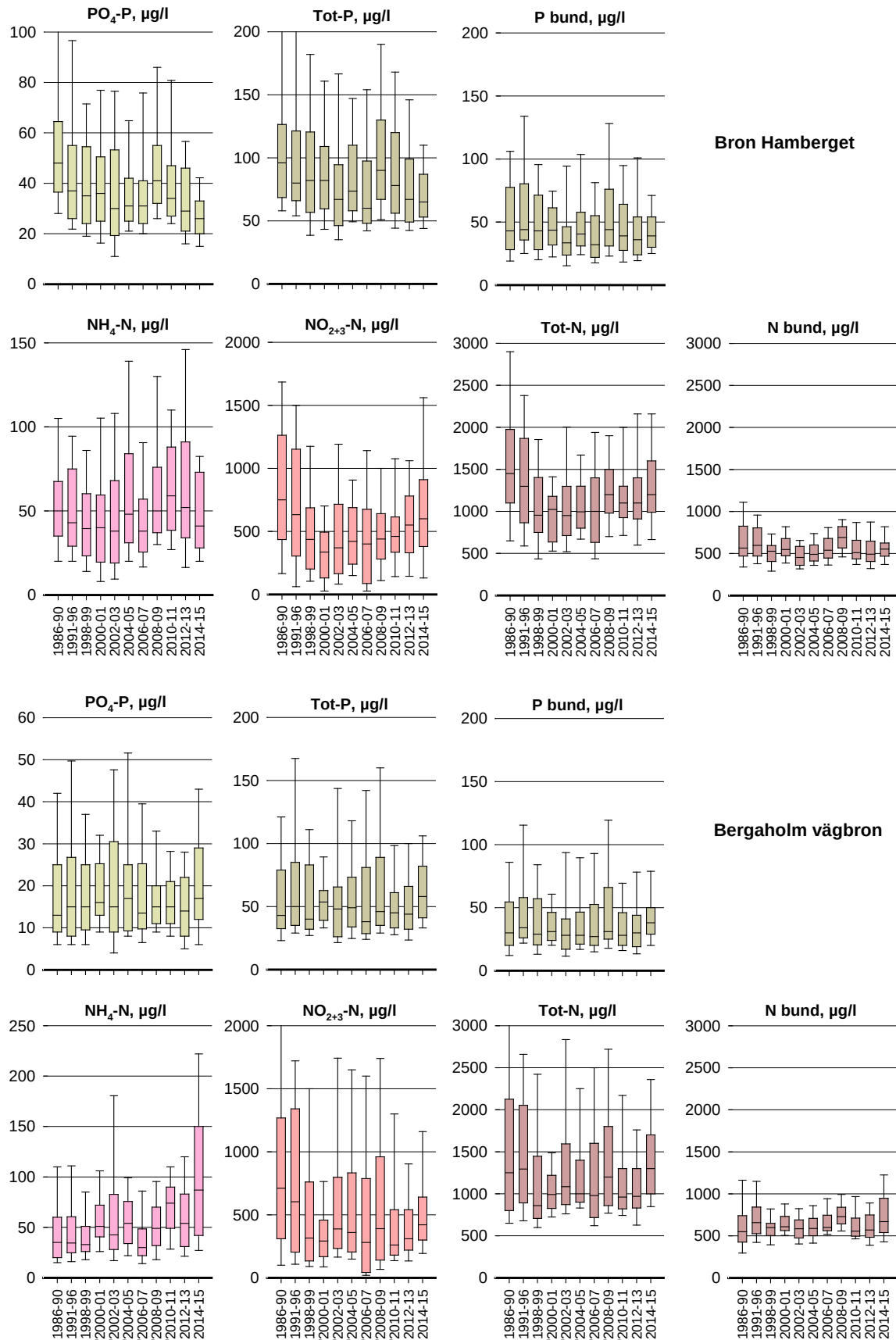




**Figur 14.** Fosfor (fosfat- och totalosfor) och kväve (ammonium-, nitrit+nitrat- och totalkväve) vid Bergaholm vägbro 1986-2015, samtliga värden 1986-2015. Diagrammen till höger visar variationerna under året.

Tendenser till ökande eller minskande halter kan vara svåra att urskilja i Figur 13 och 14. I Figur 15 har värdena grupperats i 5-årsperioder 1986-1996 och därefter 2-årsperioder 1998-2015.

Den tydligaste förändringen vid *Bron Hamberget* är en minskning av fosforhalterna, först från 1986 till 2003 och på nytt 2008-2015. Halterna av bunden fosfor (totalfosfor minus fosfatfosfor) har varit låga och relativt konstanta och minskningen har till allra största delen berott på lägre halter av fosfat-fosfor, från ett medianvärde av 41 µg/l 2008-09 till 26 µg/l 2014-15. Lägre halter i Eksättradiket har



**Figur 15.** Fosfor och kväve vid Bron Hamberget och Bergaholm vägbron, 5-årsperioder 1986-1996 och 2-årsperioder 1998-2015. 10, 25, 50 (median), 75 och 90-percentiler.

varit en bidragande faktor – 2008-2015 var sambandet starkt mellan minskningen av halterna vid *nedom Eksättra* och *Bron Hamberget* (men inte tidigare, Fig 16). Kvävehalterna minskade från 1986 till 2001 och har ökat något efter 2007. Halterna av ammoniumkväve och bundet kväve (totalkväve minus summan ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve) har varit låga och ökningen har huvudsakligen orsakats av nitrit+nitratkväve.

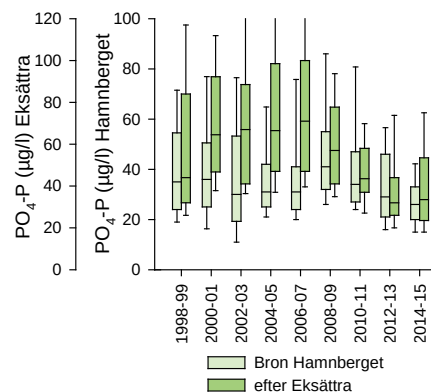
Vid *Bergaholm vägbron* har halterna av fosfor varit i stort sett oförändrade sedan 1986. Kvävehalterna, enbart som nitrit+ nitratkväve, minskade kraftigt från 1986 till 2001 och har sedan ökat svagt från 2010 till 2015. Ammoniumhalterna, som är betydligt lägre än halterna av nitrit+ nitratkväve och av liten betydelse för totalhalterna, har ökat efter 2007 och var 2014-2015 betydligt högre än tidigare, möjligen p.g.a. höga halter i utloppet från Skårbydammen (Fig 2 i Bilaga 2).

### Transporterade mängder

De mängder som transporterades i diken vid provtagningspunkterna *Bron Hamberget* och *Bergaholm vägbron* har beräknats genom multiplikation av flödet under respektive månad med medelhalten av fosfor och kväve under samma månad. Eftersom det inte finns några flödesdata från *Bron Hamberget*, har flödena där antagits vara desamma som vid *Bergaholm vägbron* med korrektion för avrinningsområdets storlek.

Den sammanlagda transporten av fosfor och kväve uppgick 2009-2015 till i genomsnitt (medianvärde) 0,42 resp 7,5 ton med stora variationer mellan åren och de minsta mängderna 2013 då, det möjligen felmätta, flödet var mycket litet (Tabell 3). Mängderna var mindre än i de beräkningar som tidigare gjorts för perioderna 1986-1992 och 1999-2005, fosfor främst p.g.a. minskande halter vid *Bron Hamberget* och kväve p.g.a. minskande halter efter 1996 vid både *Bron Hamberget* och *Bergaholm vägbron*. Ungefär 1/3 av fosfor och hälften av kvävet avgick 2009-2015 i löst oorganiskt form (fosfat resp ammonium och nitrit+nitrat).

Beräkningarna omfattar 56 % av det totala tillrinningsområdet. Halterna av både fosfor och kväve är sannolikt något lägre i tillrinningen från resten av området eftersom odlad mark där utgör en mindre andel (transporterna i Acksjödiket, med en relativt liten andel odlad mark, är bara 70-75 % av vad de skulle vara med samma halter som vid *Bergaholm vägbron*), det finns dock stora arealer odlad mark i den sydöstra delen av tillrinningsområdet utanför det område som avvattnas av Salemdiket (se Fig 5) och även nedströms *Bron Hamberget* och *Bergaholm vägbron*. Om halterna från hela den del av tillrinningsområdet som saknar mätningar antas vara 15 % lägre än i den övervakade delen, uppgick den totala årliga belast-



**Figur 16.** Halter av fosfatfosfor vid nedom Eksättra och Bron Hamberget, 2-årsperioder 1988-2015.

**Tabell 3.** Sammanlagda flöden och transporter vid Bergaholm vägbron och Bron Hamberget 1986-2015 samt medelhalter av fosfor och kväve.

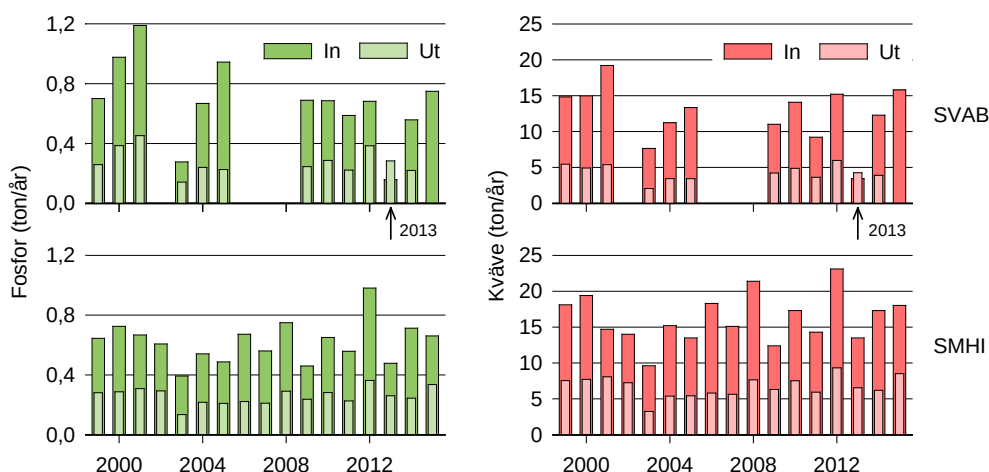
| År     | Flöde<br>Mm <sup>3</sup> /år | Tot-P<br>Ton/år | Tot-N<br>Ton/år | Tot-P<br>µg/l | Tot-N<br>µg/l |
|--------|------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| 1986   | 5,84                         | 0,70            | 11,7            | 120           | 2 004         |
| 1987   | 5,99                         | 0,44            | 8,9             | 73            | 1 485         |
| 1988   | 5,82                         | 0,46            | 8,2             | 79            | 1 409         |
| 1990   | 4,21                         | 0,63            | 10,3            | 149           | 2 444         |
| 1991   | 2,47                         | 0,25            | 4,9             | 101           | 1 980         |
| 1992   | 3,09                         | 0,39            | 5,3             | 126           | 1 713         |
| Median | 5,02                         | 0,45            | 8,6             | 110           | 1 847         |
| 1999   | 5,01                         | 0,43            | 9,1             | 86            | 1 817         |
| 2000   | 8,49                         | 0,60            | 9,2             | 71            | 1 084         |
| 2001   | 7,91                         | 0,73            | 11,8            | 92            | 1 492         |
| 2002   | 8,02                         | 0,67            | 10,3            | 84            | 1 284         |
| 2003   | 2,44                         | 0,17            | 4,7             | 70            | 1 929         |
| 2004   | 3,44                         | 0,41            | 6,9             | 119           | 2 005         |
| 2005   | 6,26                         | 0,58            | 8,2             | 93            | 1 309         |
| Median | 6,26                         | 0,58            | 9,1             | 86            | 2 890         |
| 2009   | 4,68                         | 0,42            | 6,8             | 91            | 1 447         |
| 2010   | 6,41                         | 0,42            | 8,7             | 66            | 1 349         |
| 2011   | 4,15                         | 0,36            | 5,7             | 87            | 1 364         |
| 2012   | 5,34                         | 0,42            | 9,3             | 79            | 1 751         |
| 2013   | 1,30                         | 0,10            | 2,1             | 74            | 1 625         |
| 2014   | 4,84                         | 0,34            | 7,5             | 71            | 1 561         |
| 2015   | 6,66                         | 0,46            | 9,7             | 69            | 1 458         |
| Median | 4,84                         | 0,42            | 7,5             | 74            | 2 820         |

ningen på Bornsjön 2009-2015 till ca 0,7 ton fosfor och 12,5 ton kväve. Uppskattningen av fosfortillförseln är lägre än i tidigare beräkningar – 0,8 ton (Lännergren 2006)<sup>2</sup> och 0,96 ton (Nürnberg 2012)<sup>3</sup>.

Fosfor och kväve lämnar Bornsjön med ytvatten dels genom utloppet vid Vällinge och dels genom intaget till vattenverket som är beläget på 5 m djup i den nordöstra bassängen. Med de flöden som modellerats av SMHI och uppmätta halter i ytvattnet (0-7 m) uppgick de uttransporterade mängderna 2009 – 2012 och 2014 till i genomsnitt 0,27 (0,22-0,39) ton fosfor och 4,5 (3,9-6,0) ton kväve.

En fosfor- och kvävebalans för Bornsjön har också gjorts av SMHI med S-HYPE-modellen. Den modellerade tillförseln av fosfor 2009-2015 är mindre än tillförseln baserad på mätningar, i genomsnitt 0,64 ton/år, medan uttransporten är lika stor, 0,27 ton/år. Modellen överskattar både tillförseln och utflödet av kväve, som beräknats till 16,6 resp 7,0 ton/år - överskattningen av uttransporten beror på att modellen använder alltför höga halter i ytvattnet, i genomsnitt 670 mot uppmätta 420 µg/l.

Differensen mellan in- och uttransporterade mängder av fosfor innebar enligt mätningarna och uppskattade mängder från övriga delar av tillrinningsområdet en fastläggning av i genomsnitt drygt 0,4 ton fosfor, enligt SMHI:s modellering uppgick fastläggningen till 0,37 ton/år. Fastläggning/denitrifikation av kväve är större än bara skillnaden mellan in- och uttransport eftersom kväve också tillförs genom nedfall på sjöytan, ca 6 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> eller nästan 4 ton/år (nettonedfall av fosfor antas inte förekomma). Inräknat nedfallet uppgick fastläggningen/denitrifikationen av kväve till 12 ton/år enligt mätningarna. SMHI:s skillnad mellan in- och uttransport är av samma storleksordning, 13,6 ton/år.



**Figur 17.** In- och uttransport av kväve och fosfor, uppmätta och beräknade värden (SVAB) samt modellerade värden (SMHI). Provtagning i Bornsjön görs inte i december, januari och mars och saknade ytvattenhalter är interpolerade. Differensen mellan in- och uttransport av fosfor representerar fastläggning i Bornsjön, för kväve tillkommer denitrifikation.

Den beräknade intransporten 2013 är troligen felaktig p.g.a. att mätningarna givit osannolikt låga flöden. Utflöde 2015 har inte kunnat beräknas p.g.a. utebliven provtagning i februari.

<sup>2</sup> C Lännergren (2006): *Bornsjöns tillflöden – provtagningar till och med 2005*, Stockholm Vatten, 2006

<sup>3</sup> G Nürnberg: *Evaluation of hypolimnetic withdrawal as a possible treatment for the Bornsjön Reservoir internal phosphorus load*, Freshwater Research, 2012.



## Bornsjön

Bornsjön är en stor och djup sjö (Tabell 4). Vattenytan är drygt 6 km<sup>2</sup> och det största vattendjupet över 18 m. Omsättningstiden - den tid det tar att, teoretiskt, byta ut hela vattenmassan - är lång, mer än 6 år. Det stora vattendjupet gör att Bornsjön är starkt och stabilt skiktad, under sommaren med ett varmt ytvatten och ett kallt bottenvatten, under vintern omvänt med högre temperatur i bottenvattnet än i ytvattnet.

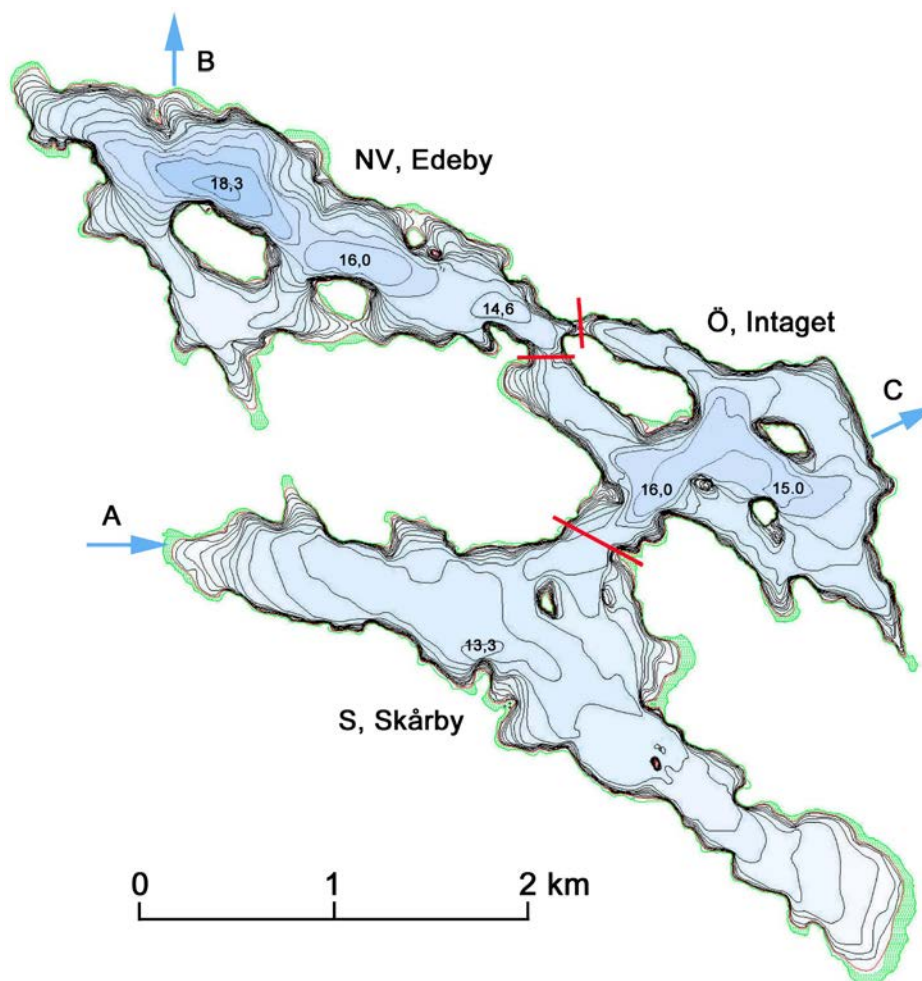
Sjön är indelad i tre bassänger som skiljs åt av grundare områden. Avgränsningen mellan Edeby och Intaget är ganska tydlig - det största djupet i de två bassängerna är 18,3 resp 16,0 m och djupet i förbindelsen ca 14 m. Gränsen mellan Intaget och Skårby, den södra bassängen, är mindre tydlig - det största djupet i Skårbybassängen är bara 13,3 m och djupet i förbindelsen 11-12 m.

**Tabell 4. Bornsjön, grunddata (SMHI, djupmätning av Anders Svanberg, Myrica AB).**

|                  |        |                 |
|------------------|--------|-----------------|
| Areal sjöyta     | 6,6    | km <sup>2</sup> |
| Maxdjup          | 18,3   | m               |
| Medeldjup        | 9,8    | m               |
| Volym            | 65     | Mm <sup>3</sup> |
| Avrinningsområde | 49,6   | km <sup>2</sup> |
| Årlig avrinning  | ca 10  | Mm <sup>3</sup> |
| Omsättningstid   | ca 6,5 | år              |

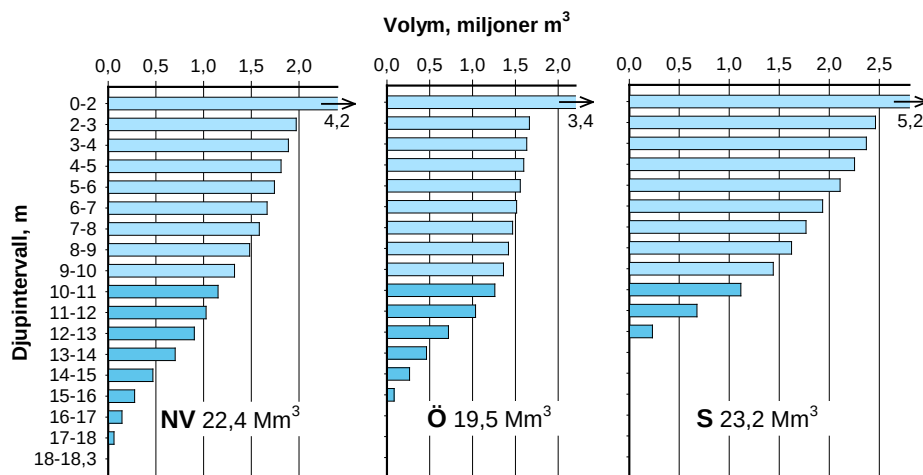
**Tabell 5. Volym, se också Fig 19.**

| Djup, m | Volym, Mm <sup>3</sup> |       |         |        |
|---------|------------------------|-------|---------|--------|
|         | Totalt                 | Edeby | Intaget | Skårby |
| 0-2     | 12,80                  | 4,16  | 3,43    | 5,21   |
| 2-3     | 6,10                   | 1,97  | 1,66    | 2,46   |
| 3-4     | 5,89                   | 1,89  | 1,63    | 2,37   |
| 4-5     | 5,66                   | 1,81  | 1,60    | 2,25   |
| 5-6     | 5,41                   | 1,74  | 1,56    | 2,11   |
| 6-7     | 5,11                   | 1,67  | 1,51    | 1,93   |
| 7-8     | 4,82                   | 1,58  | 1,47    | 1,77   |
| 8-9     | 4,53                   | 1,48  | 1,42    | 1,62   |
| 9-10    | 4,12                   | 1,32  | 1,36    | 1,44   |
| 10-11   | 3,53                   | 1,15  | 1,26    | 1,12   |
| 11-12   | 2,74                   | 1,03  | 1,03    | 0,68   |
| 12-13   | 1,85                   | 0,90  | 0,72    | 0,23   |
| 13-14   | 1,17                   | 0,70  | 0,46    | 0,01   |
| 14-15   | 0,73                   | 0,47  | 0,27    | 23,20  |
| 15-16   | 0,36                   | 0,28  | 0,08    |        |
| 16-17   | 0,15                   | 0,15  | 19,47   |        |
| 17-18   | 0,062                  | 0,06  |         |        |
| 18-18,3 | 0,003                  | 0,003 |         |        |
|         | 65,04                  | 22,37 |         |        |



Bottenvattnet, (under 10 m djup) utgör 20 % av den totala volymen i både Edeby- och Intagsbassängen. På större djup minskar volymen snabbt i Edebybassängen och är under 16 m djup bara 1 % av den totala volymen. I den grundare Skårbybassängen finns ett stort område med mindre än 8 m djup i den sydöstra delen och bottenvattnet under 10 m utgör bara 8 % av den totala volymen. Fördelningen av volymer inom olika djupintervall visas i Tabell 5 och Figur 19.

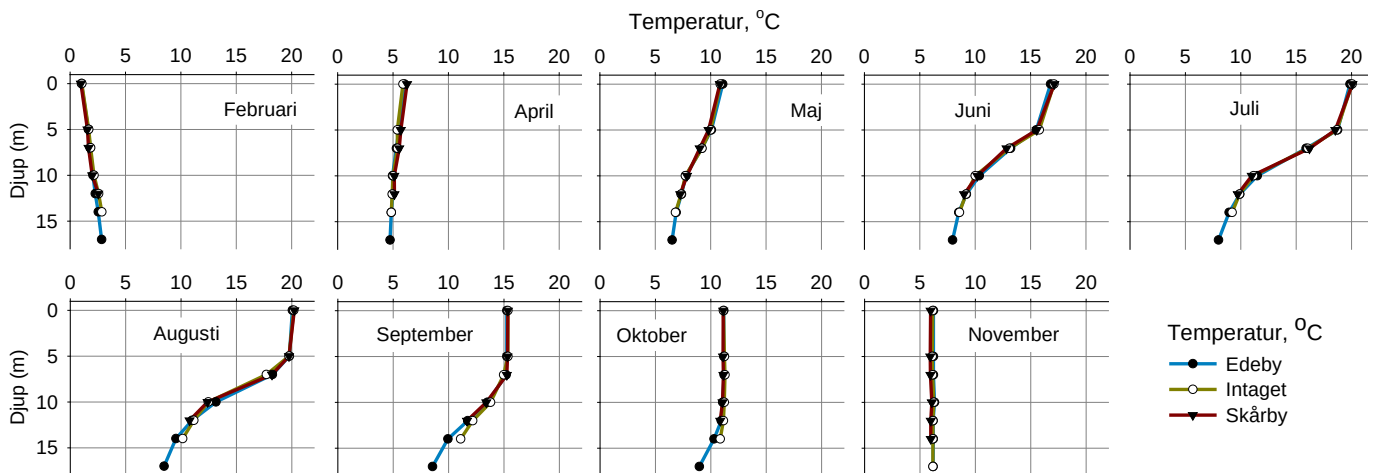
**Figur 18. Bornsjön, djupkarta och indelning i delbassänger. A: Samlat inlopp från de tre stora dikena, B: Naturligt utlopp, C: Intag till vattenverket.**



**Figur 19.** Volymens förändring med djupet i Borsjöns tre bassänger. NB det översta skiktet omfattar 2 meter, de övriga 1 m. Mörkare färg anger volymer under 10 m djup.

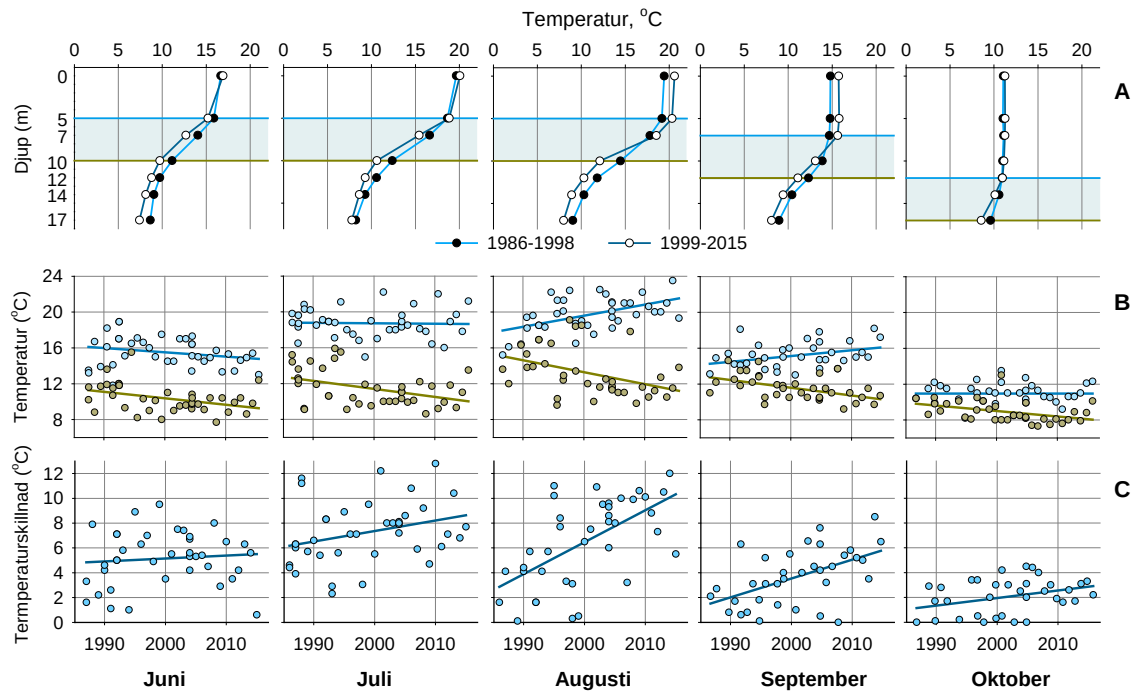
### Temperatur, skiktning

Under vintern är temperaturen högre i bottenvattnet än i ytvattnet. Skillnaden är för liten för att kunna upprätthållas annat än under islagda förhållanden och jämnas ut efter islossningen. Vattnet börjar skiktas med ett varmare ytvatten och ett kallare bottenvatten i maj. Skiktningen är sedan stark från juni till september. I oktober återstår bara en svag skiktning på de allra största djupen, i november är temperaturen utjämnad och hela vattenmassan är omblandad. Språngskiktet, det djup där temperaturförändringen är störst, ligger i juni-augusti på 7 m djup. Det sjunker i september till 10 m och i oktober (bara Edebybassängen) till 14 m. Skillnaderna mellan de tre bassängerna är små (Fig 20).



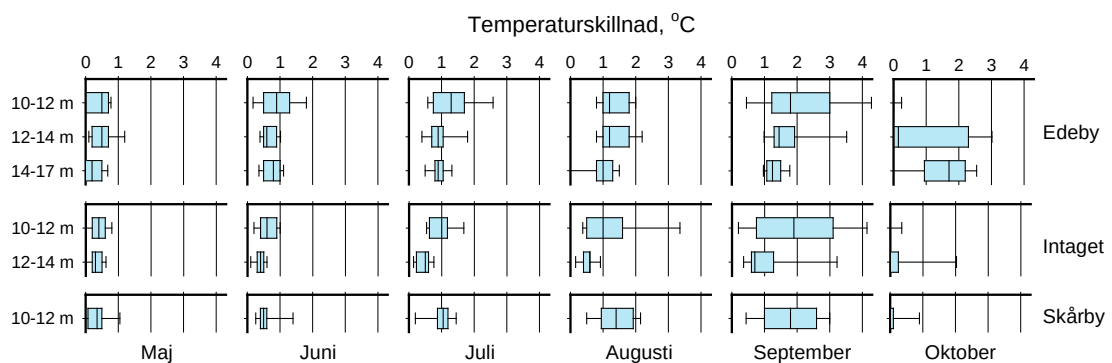
**Figur 20.** Temperatur på från ytan till botten i de tre bassängerna, medelvärden 1986-2015.

Vattentemperaturen i bottenvattnet har sedan 1980-talet blivit gradvis lägre under hela den skiktade perioden. Temperaturen i ytvattnet har varit oförändrad i juni-juli men har ökat i augusti och september, vilket har medfört en kraftig förstärkning av språngskiktet - i augusti har temperaturskillnaden mellan djupet närmast över och närmast under språngskiktet ökat från 0-4°C till som mest 12°C och i september från ca 2°C till som mest 8°C (Fig 21).



**Figur 21.** Temperaturen vid Edeby på 0-17 m djup i juni-september, (A) Medelvärden 1986-98 och 1999-2015, (B) Temperaturen på djupet närmast över och under språngskiktet 1986-2015 och (C) Temperaturskillnaden mellan djupet närmast över och under språngskiktet 1986-2015.

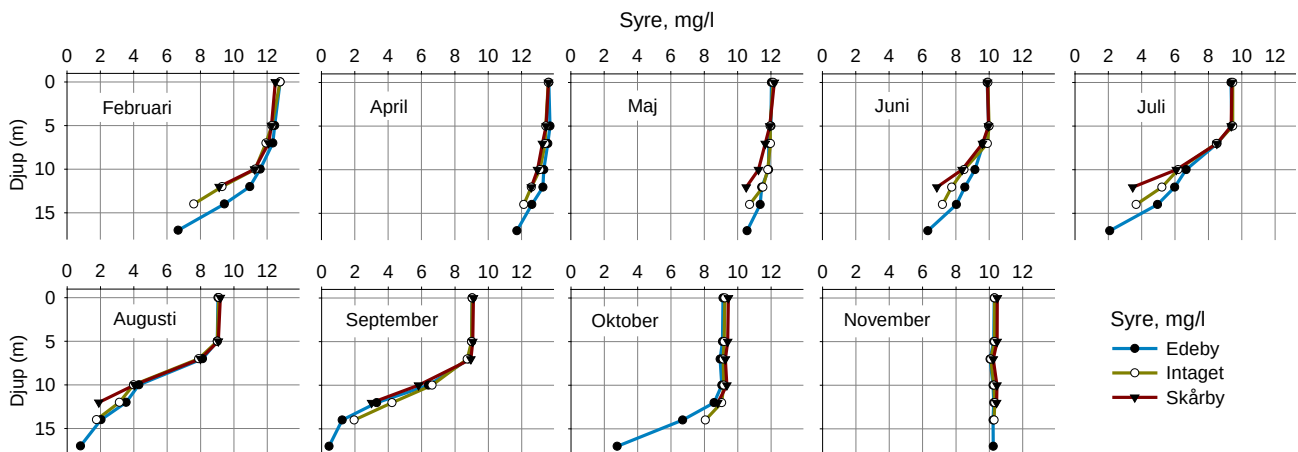
Temperaturskillnaderna på de största djupen är små, som mest 4°C (Fig 22), men kan vara tillräckliga för upprätthålla en skiktning som är av betydelse både för utlösningen av fosfor mot slutet av den skiktade perioden och för att hindra spridningen av fosfor och kväve från vattnet nära botten till övriga delar av vattenmassan. Sannolikt som en effekt av temperaturförändringarna har det bottennärta vattnet i Edebybassängen varit skiktat varje år efter 2005 (Fig 21 C).



**Figur 22** Temperaturskillnad mellan närliggande provtagningsdjup under 10 m djup maj-oktober.

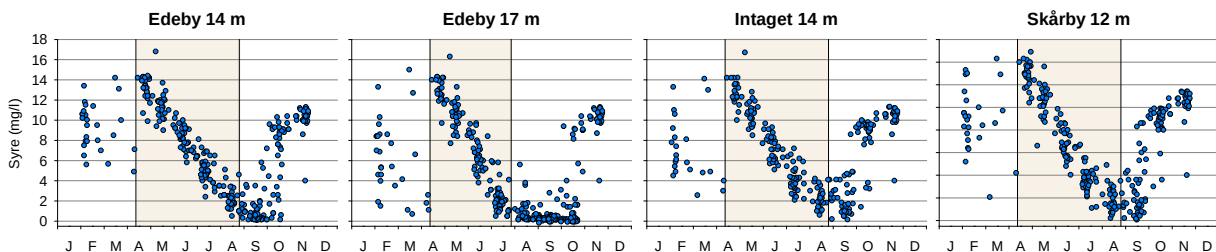
## Syre

I februari, när en svag temperaturskiktning upprätthålls under isen, är syrehalterna lägre i bottenvattnet än i ytvattnet. I april är sjön omblandad och syrehalterna är höga på alla djup. Halterna i bottenvattnet börjar minska i maj och är på de största djupen mycket låga i augusti-september. Skiktningen börjar lösas upp i oktober och låga halter återstår bara i Edebybassängen. I november är sjön helt omblandad och syret är jämnt fördelat i hela vattenmassan. Minskningen av syrehalterna beror främst på syretärande material som finns på bottnarna. Syrehalten minskar därför snabbare på 12 m djup i den grunda Skårbybassängen än på samma djup i de andra bassängerna (Fig 23).



**Figur 23.** Syre, halter från ytan till största provtagningsdjup, medelvärden 1986-2015.

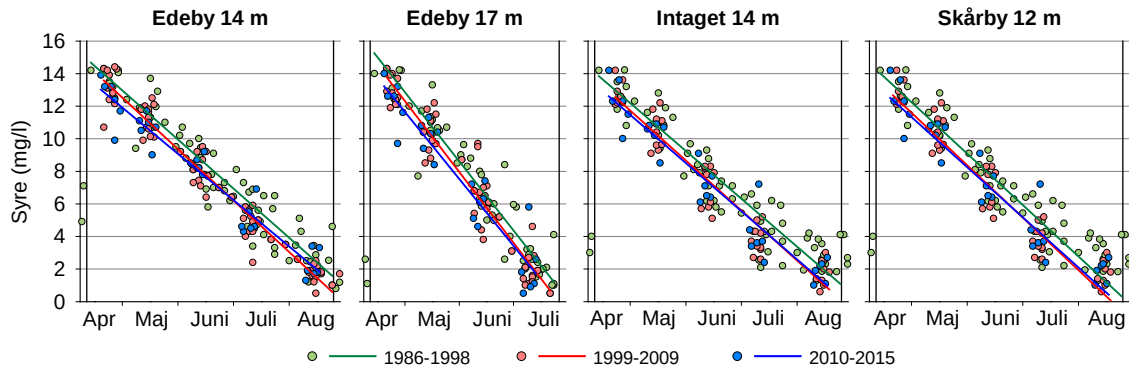
Syreminskningen i bottenvattnet från april till augusti-september sker linjärt – snabbast på 17 m djup i Edebybassängen där den uppgått till ca  $0,14 \text{ mg l}^{-1} \text{ dygn}^{-1}$ , vilket betyder att syret tar slut efter 100 dygn eller drygt 3 månader. På 14 m djup har hastigheten i båda bassängerna som mest uppgått till ca  $0,10 \text{ mg l}^{-1} \text{ dygn}^{-1}$  och syret har varit förbrukat efter drygt 4,5 månader.



**Figur 24.** Syrehalter i Edebybassängen 14 och 17 m samt Intagsbassängen 14 m och Skårbybassängen 12 m, data 1986-2015 med undantag av Intagsbassängen 2004 då luftningen var avstängd. Färgade fält anger perioder med linjär minskning av syrehalterna.

Syreminskningshastigheten återspeglar hur mycket nedbrytbart organiskt material som finns i bottenvattnet, både material som bildats av planktonalger och fastsittande växter i själva sjön och material som tillförts från tillrinningsområdet. Det finns ingenting som tyder på att mängden har ökat under senare år. Efter en ökning av syreminskningshastigheten i alla tre bassängerna från 1986-98 till 1999-2009 minskade hastigheten 2010-2015 och var på 14 och 17 m djup i Edebybassängen och 12 m djup i Skårbybassängen lägre än 1986-98, på 14 m djup i Intagsbassängen lika stor (Fig 25, Tabell 6). Skillnaderna är små och knappast signifikanta.

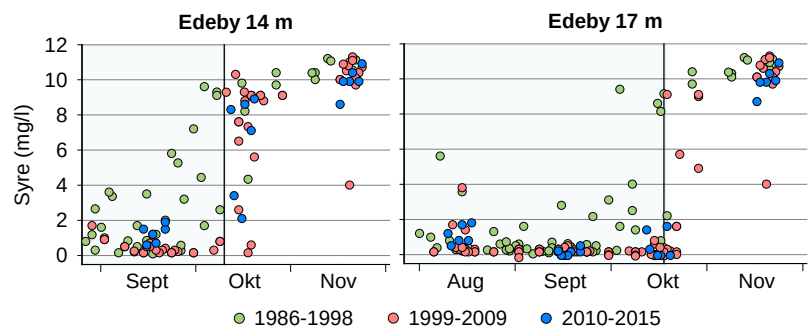




**Figur 25.** Linjära korrelationer för minskningen av syrehalterna på 14 och 17 m djup i Edebybassängen, på 14 m djup i Intagsbassängen och 12 m djup i Skårbybassängen 1986-98, 1999-2009 och 2010-2015.

**Tabell 6.** Syreförbrukningshastigheter och korrelationskoefficienter enligt de linjära sambanden i Fig 25.

|         |      |           | Syreförbrukning, $\text{mg l}^{-1} \text{dygn}^{-1}$ | $r^2$ |
|---------|------|-----------|------------------------------------------------------|-------|
| Edeby   | 14 m | 1986-1998 | <b>0,099</b>                                         | 0,89  |
|         |      | 1999-2009 | <b>0,104</b>                                         | 0,96  |
|         |      | 2010-2015 | <b>0,093</b>                                         | 0,94  |
| Edeby   | 17 m | 1986-1998 | <b>0,140</b>                                         | 0,90  |
|         |      | 1999-2009 | <b>0,143</b>                                         | 0,93  |
|         |      | 2010-2015 | <b>0,135</b>                                         | 0,89  |
| Intaget | 14 m | 1986-1998 | <b>0,097</b>                                         | 0,87  |
|         |      | 1999-2009 | <b>0,101</b>                                         | 0,93  |
|         |      | 2010-2015 | <b>0,097</b>                                         | 0,92  |
| Skårby  | 12 m | 1986-1998 | <b>0,104</b>                                         | 0,88  |
|         |      | 1999-2009 | <b>0,106</b>                                         | 0,93  |
|         |      | 2010-2015 | <b>0,101</b>                                         | 0,91  |

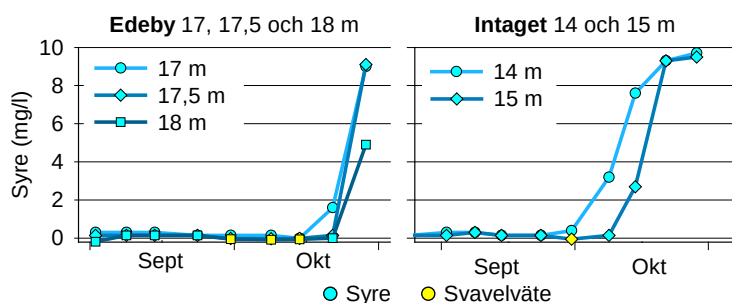


**Figur 26.** Syrehalter under perioden från linjär minskning till höstomblandningen på 14 och 17 m djup i Edebybassängen 1986-98, 1999-2009 och 2010-2015. De blå fälten visar varaktigheten av mycket låga halter efter 1998.

Efter perioden med minskande syrehalter följer en period med låga halter som varar fram till höstomblandningen. Eftersom temperaturskillningen blivit stabilare genom den ökade temperaturskillnaden mellan yt- och bottenvattnet, har höstomblandningen kommit senare – 1986-98 var syrehalterna på 14 m djup vid Edeby i allmänhet höga i slutet av september och början av oktober, efter 1998 har halterna under samma tid i de flesta fall varit mycket låga (Fig 26). Höstomblandningen sker genom en gradvis sänkning av språngskiktet (se Fig 21) och de låga syrehalterna på 17 m djup har efter 1998 varat ytterligare någon eller några veckor längre än på 14 m djup. Intagsbassängen luftas under sommar och höst i avsikt att förhindra låga syrehalter i bottenvattnet. Halterna har ändå tidvis varit lägre än 2 mg/l, främst i september, men någon utdragen period med låga halter har inte förekommit liksom inte heller i den grunda Skårbybassängen.

I löpande provtagningsprogram undviker man vanligen att ta prover nära botten – många parametrar förändras kraftigt med minskande avstånd till bottenytan och resultaten blir beroende av små förändringar av provtagningsdjupet. De största provtagningsdjupen i Borsjön - Edeby 17 m, Intaget 14 m och Skårby 12 m - är mellan 1,3 och 2 m mindre än maxdjupen. I samband med försök med utpumpning av bottenvatten från Edebybassängen 2004 togs prover även på 17,5 och 18 m djup vid Edeby och på 15 m vid Intaget, där luftningen var avstängd under hela året. Skillnaderna var ganska små fram till höstomblandningen, som kom något senare på de största djupen. Låga halter av svavelväte förekom vid Edeby på 17 m i mitten av oktober, på 17,5 och 18 m djup i slutet av september samt i

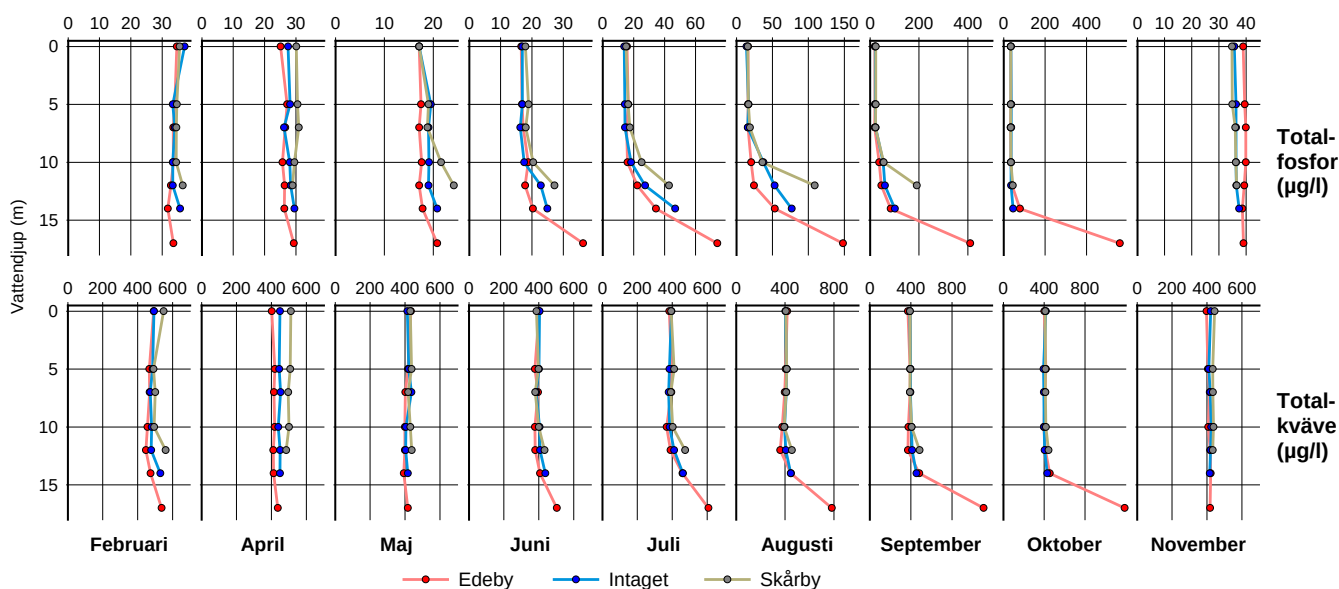
början och mitten av oktober. Vid Intaget påträffades svavelväte bara i ett prov, från 15 m djup i slutet av september (Fig 27).



**Figur 27.** Syre och svavelväte på 17, 17,5 och 18 m djup i september-oktober vid Edeby och 14 och 15 m djup i augusti-oktober vid Intaget. Data från extra provtagningar 2004.

### Fosfor och kväve, halter

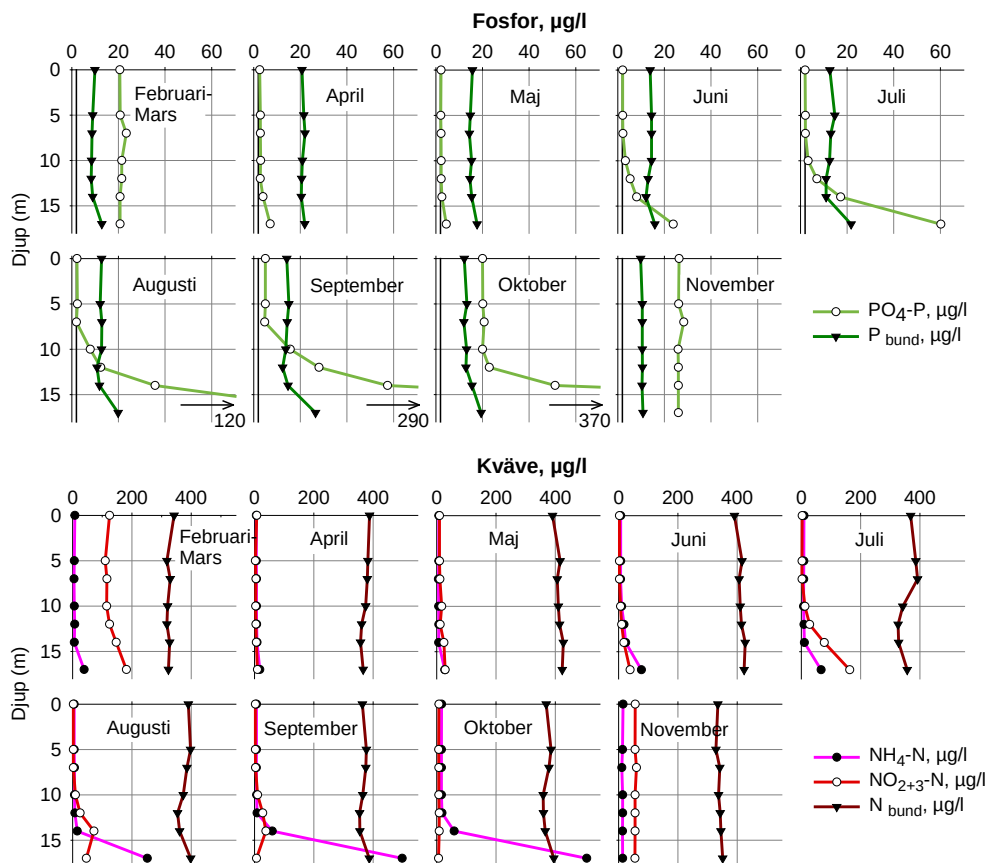
Fosfor- och kvävehalterna är jämnt fördelade i februari och april. Fosforhalterna i bottenvattnet ökar något redan i maj, tydligast i Skårbybassängen, och når de högsta värdena i september med undantag av 17 m djup i Edebybassängen där halten vanligen är hög även i oktober. Kväve visar en liknande utveckling men med en betydligt mindre ökning av halterna i bottenvattnet – i genomsnitt 1985-2015 från ca 400 till knappt 1200 µg/l mot en ökning av fosfor från ca 30 till som mest ca 700 µg/l (Fig 28).



**Figur 28.** Fosfor och kväve, totalhalter från ytan till botten i Bornsjöns tre bassänger, medelvärden 1986-2015.

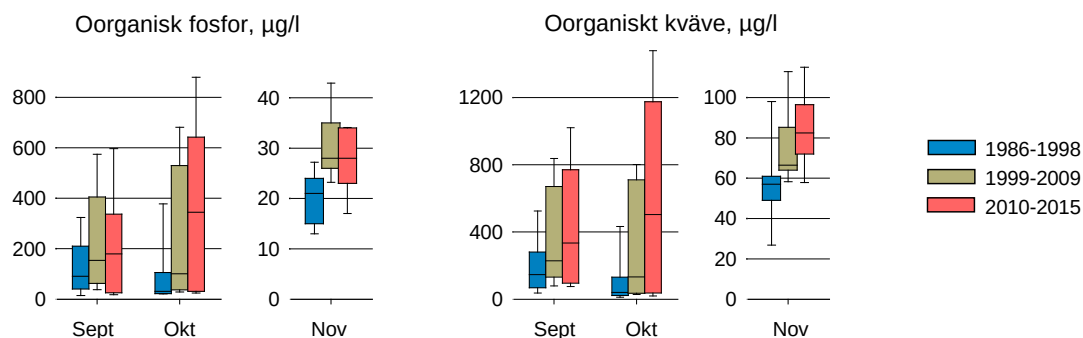
Förändringarna under året av både fosfor- och kvävehalterna beror huvudsakligen på de lösta, oorganiska andelarna, medan halterna av bunden fosfor (totalfosfor – fosfatfosfor) och bundet kväve (totalkväve – summan ammoniumkväve och nitrit+nitratkväve) är förhållandevis konstanta, bunden fosfor med halter mellan ca 10 och 20 µg/l och bundet kväve 300-400 µg/l, i båda fallen utan stora variationer med djupet (Fig 29).

Oorganisk fosfor och oorganiskt kväve, som i februari till största delen utgörs av nitrit+nitratkväve, förbrukas under vårbloomingen och halterna är låga under sommaren. Under syrefattiga förhållanden i bottenvattnet i slutet av den skiktade perioden ökar halterna av ammoniumkväve som då är den helt dominerande formen. Efter höstomblandningen ökar halterna av nitrit+nitratkväve på nytt (Fig 29).



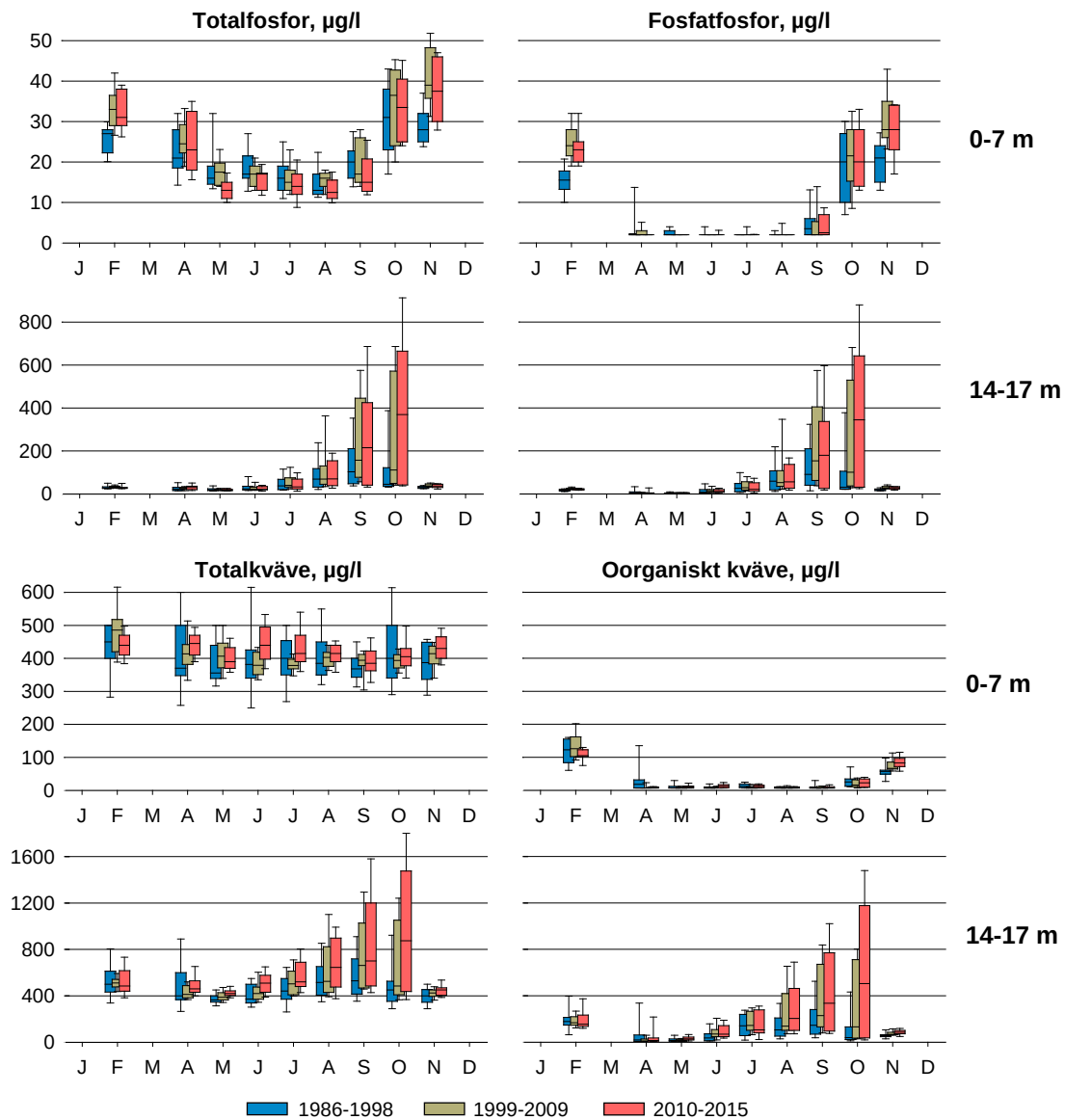
**Figur 29.** Bundet fosfor och kväve och oorganiska fraktioner, 0-17 m djup i Edebybassängen, medelvärden 1986-2015 (exklusive 2004).

Den förstärkta skiktningen, som under 2000-talet har förlängt perioden med låga syrehalter i september-oktober, har medfört en kraftig ökning av fosfor- och kvävehalterna i bottenvattnet. I Edebybassängen har medianvärdet för oorganisk fosfor på 14-17 m djup i oktober ökat från ca 30 µg/l 1986-1998 till 350 µg/l 2010-2015, oorganiskt kväve har ökat från ca 40 till 500 µg/l. När skiktningen bryts blandas de höga halterna i bottenvattnet in i hela vattenmassan och halterna av både fosfor och kväve har ökat i ytvattnet i november (Fig 30).



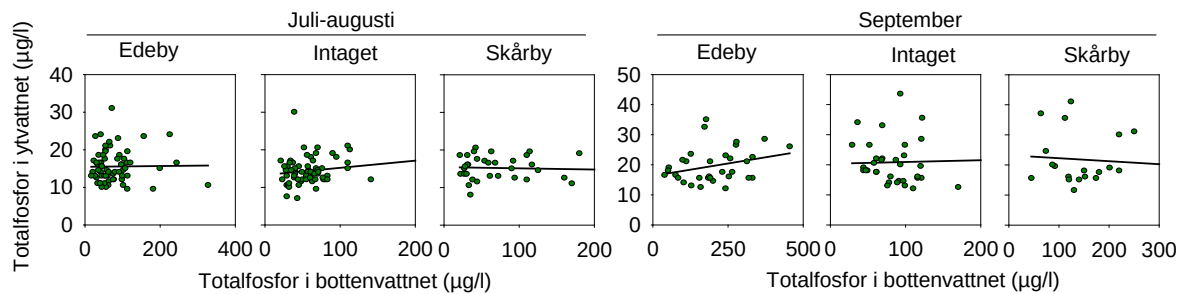
**Figur 30.** Halter av oorganisk fosfor och kväve i Edebybassängens bottenvatten (14-17 m) i september och oktober samt i ytvattnet (0-7 m) i november.

Ökningen av fosforhalterna har kvarstått över vintern och halterna har ökat också i februari, men har de senaste åren varit lägre än tidigare under sommaren. Kvävehalterna har varit oförändrade i februari, under sommaren har halterna ökat svagt i både yt- och bottenvattnet (Fig 31).



**Figur 31.** Fosfor och kväve i yt- och bottenvattnet Edebybassängen 1986-1998, 1999-2009 (exklusive 2004) och 2010-2015.

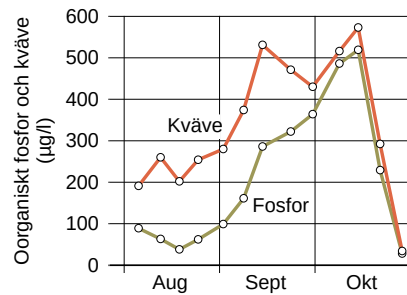
Språngskiktet är en effektiv spärr mot uppträngning och det finns inte något samband mellan halterna i ytvattnet och i bottenvattnet (Fig 32).



**Figur 32.** Fosforhalter i ytvattnet (0-5 m) och bottenvattnet (Edeby 14-17 m, Intaget 14 m och Skårby 12 m) i juli-augusti och i september. Edeby och Intaget 1986-2015, Skårby 1998-2015. Ett högt värde i bottenvattnet ligger utanför skalan i diagrammen för Intaget och Skårby.

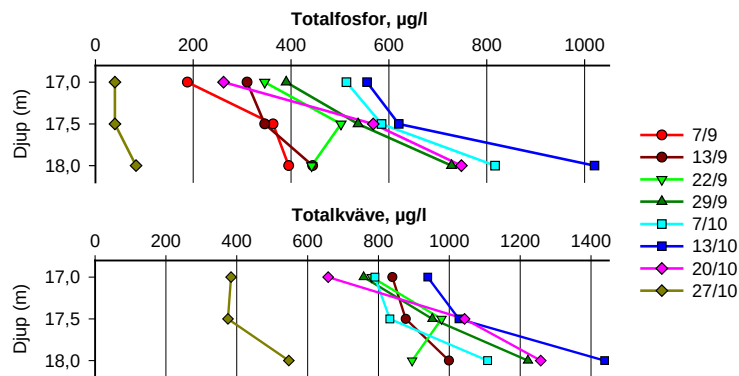


Spridningen av fosfor- och kvävehalterna i bottenvatten i september-oktober har varit mycket stor. Det beror dels på att höstomblandningen kan komma vid något olika tider och dels på att fosfor- och kvävehalterna förändras så snabbt att tidpunkten för provtagningen har stor betydelse. Som framgår av Figur 33, med värden från täta provtagningar i samband med utpumpning av bottenvatten 2004, kunde ett prov taget i september ge en fosfatfosforhalt av ca 100 - 400 µg/l och en halt av oorganiskt kväve av ca 300 - 500 µg/l, i oktober halter av både fosfor och kväve mellan ca 30 och över 500 µg/l.



**Figur 33.** Halter av oorganiskt fosfor och kväve på 17 m djup i Edebybassängen i augusti-oktober 2004.

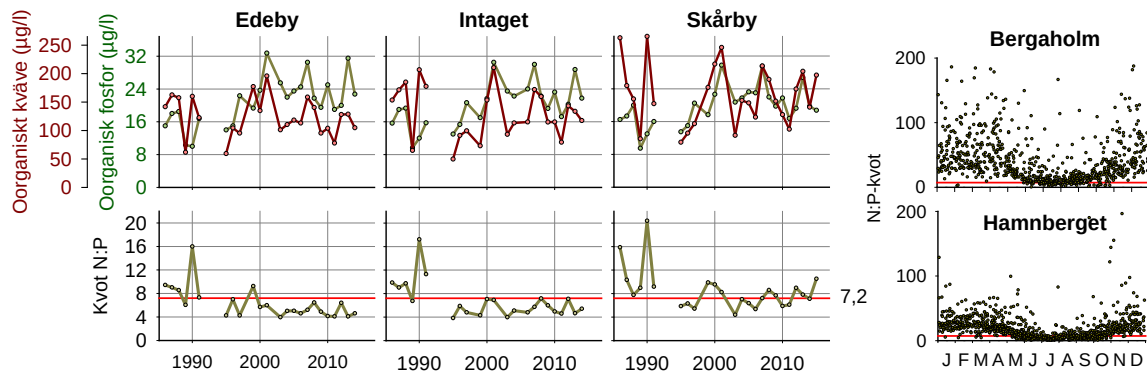
När provtagningen förtätades 2004 togs prover också på större djup än 17 m, det största djupet i det ordinarie provtagningsprogrammet. I motsats till syre och svavelväte förändrades fosfor- och kvävehalterna kraftigt med djupet, särskilt i september med som mest en fördubbling från 17 till 18 m djup (Fig 34).



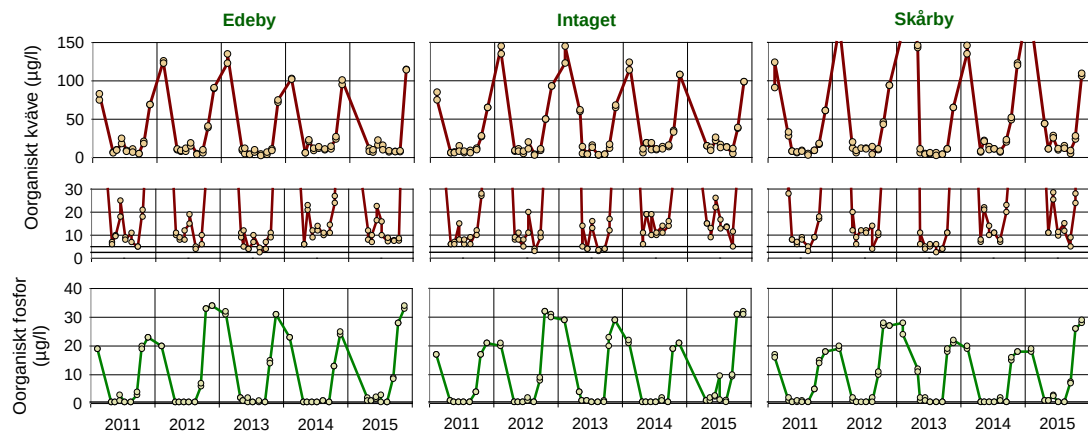
**Figur 34.** Totalfosfor och totalkväve på 17, 17,5 och 18 m djup i Edebybassängen i september-oktober 2004.

### Fosfor- och kvävebegränsning

Ökade fosforhalter och oförändrade kvävehalter i februari har medfört att förhållandet mellan kväve och fosfor (N:P-kvoten) blivit lägre. Under 1980-talet och början av 1990-talet förekom N:P-kvoter i februari över 7,2:1. Efter 1999 har kvoten konstant varit lägre vid Edeby och de flesta år vid Intaget. Kvoten har varit något högre i Skårbybassängen, där de största diken mynnar med kväverikt vatten under vinter och vår (Fig 35). I de provtagningar som gjorts 2011-2015 tycks kväve de flesta år ändå ha förekommit i överskott i samband med vårbloomingen i april-maj och överskott av kväve har varit vanligt under sommaren samtidigt med genomgående mycket låga halter av oorganisk fosfor fram till september-oktober då överskott av fosfor kan förekomma samtidigt med låga halter av kväve (Fig 36)



**Figur 35.** Oorganiskt kväve och fosfor i ytvattnet i februari (skalorna är valda så att kväveskalan är 7,2 gånger fosforskalan). De undre diagrammen visar N:P-kvoten i de tre bassängerna, diagrammen till höger N:P kvoten vid Bergaholm vägbron och Bron Hamnberget 1986-2015; röda linjer anger N:P-kvot = 7,2:1.

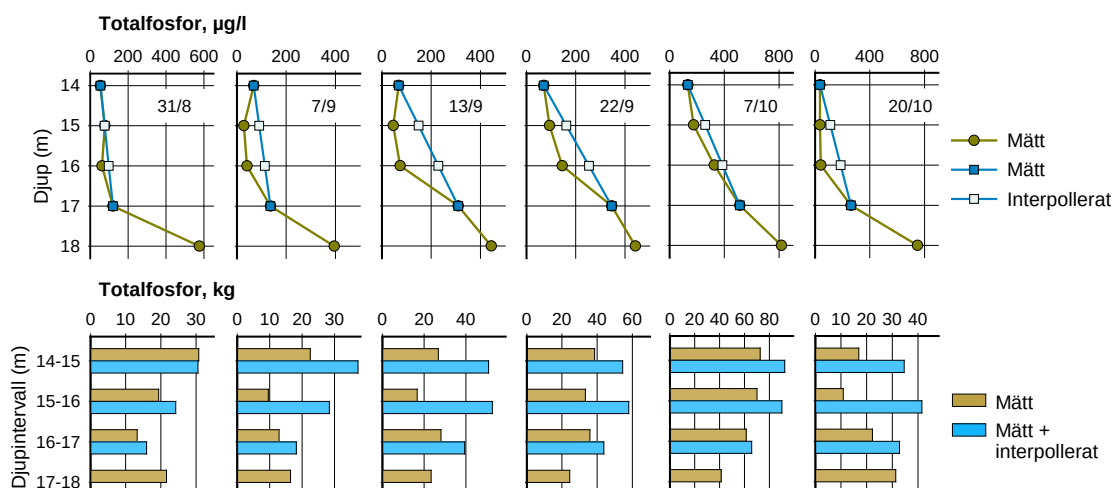


**Figur 36.** Oorganiskt fosfor och kväve i de tre bassängernas ytvatten (0 och 5 m) 2011-2015. Oorganiskt kväve visas i två skalor. De feta, svarta linjerna anger de lägsta halter som rapporteras – fosfor <1 µg/l (i diagrammet 0,5 µg/l) och kväve både <3 µg/l (i diagrammet 2,5 µg/l) och 5 µg/l.

### Fosfor och kväve, mängder

Mängder av fosfor och kväve kan beräknas med ganska stor noggrannhet i Edeby- och Intagsbassängen. De beräknade mängderna i Skårbybassängen är mer osäkra eftersom förhållandena i ytvattnet, som utgör en mycket stor andel av volymen, sannolikt inte är likadana nära utloppet från diken i nordväst och i den grunda sydöstra delen av bassängen.

Mängderna vid Edeby är beräknade bara för 0-17 m, alltså exklusive 17-18 m djup där halterna tidvis är mycket höga. Beräkningar baserade på provtagningar på bara 14 och 17 m djup ger ändå i många fall högre värden än beräknade värden med provtagningar även på 15, 16 och 18 m djup, vilket beror dels på att linjär interpolering i de flesta fall, när halterna i bottenvattnet är höga, överskattar värden för 15 och 16 m djup och dels på att volymen under 17 m djup är liten (Fig 37).



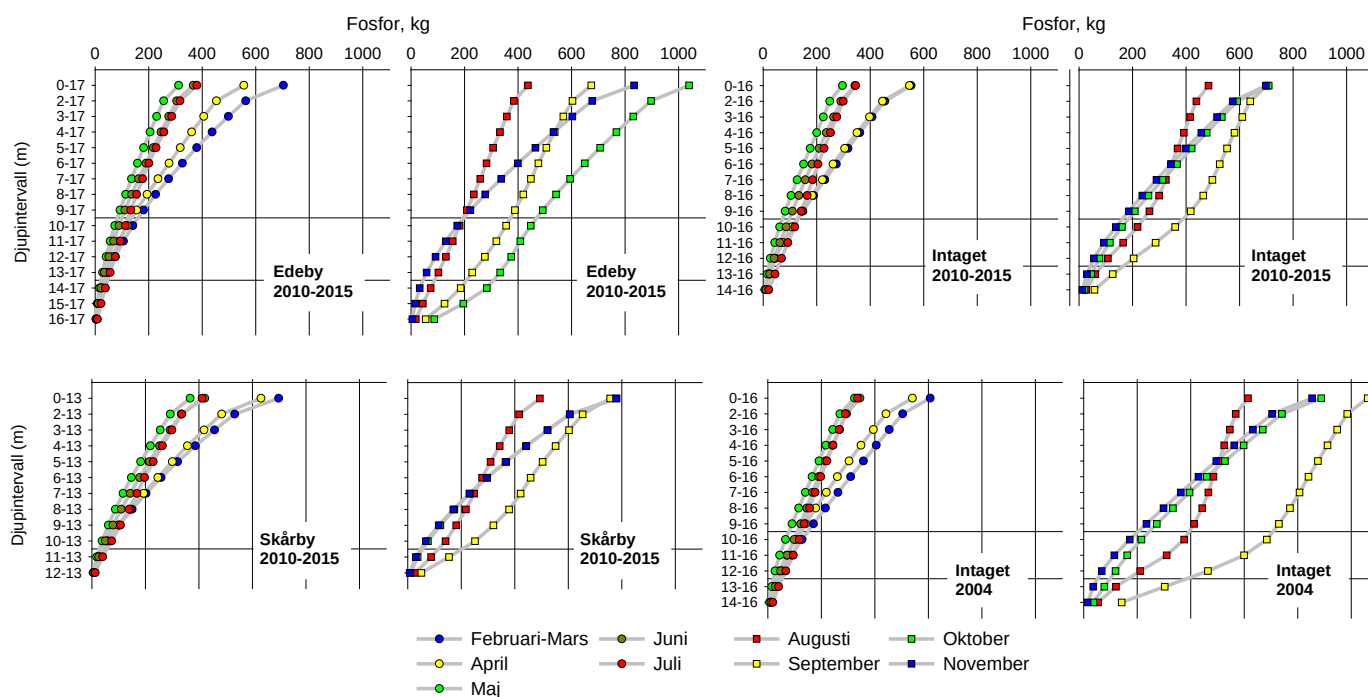
**Figur 37.** Mätta fosformängder på 14-18 m djup i augusti-oktober 2004 samt interpolerade mängder på 15 och 16 m med värden från 14 och 17 m djup. Stapeldiagrammen visar beräknade mängder med mätta värden från 14-18 m djup och med mätta och interpolerade värden på 14-17 m djup.

| Totalfosfor (kg) >14 m | 31/8 | 7/9 | 13/9 | 22/9 | 29/9 | 7/10 | 13/10 | 20/10 |
|------------------------|------|-----|------|------|------|------|-------|-------|
| Mätt                   | 85   | 62  | 95   | 132  | 161  | 245  | 204   | 81    |
| Mätt+interpollerat     | 71   | 84  | 143  | 156  | 161  | 248  | 212   | 109   |

Mängderna vid Intaget har beräknats för hela djupintervallet 0-16 m med antagandet att halten på 16 m är densamma som på 14 m, vilket kan vara riktigt under luftade förhållanden när halterna i bottenvattnet är jämförelsevis låga, men sannolikt är en underskattning när luftningen varit avstängd. I Skårbybassängen har beräkningen för mängderna 0-13 m gjorts med antagandet att halterna förändras från 12 till 13 m på samma sätt som från 10 till 12 m djup.

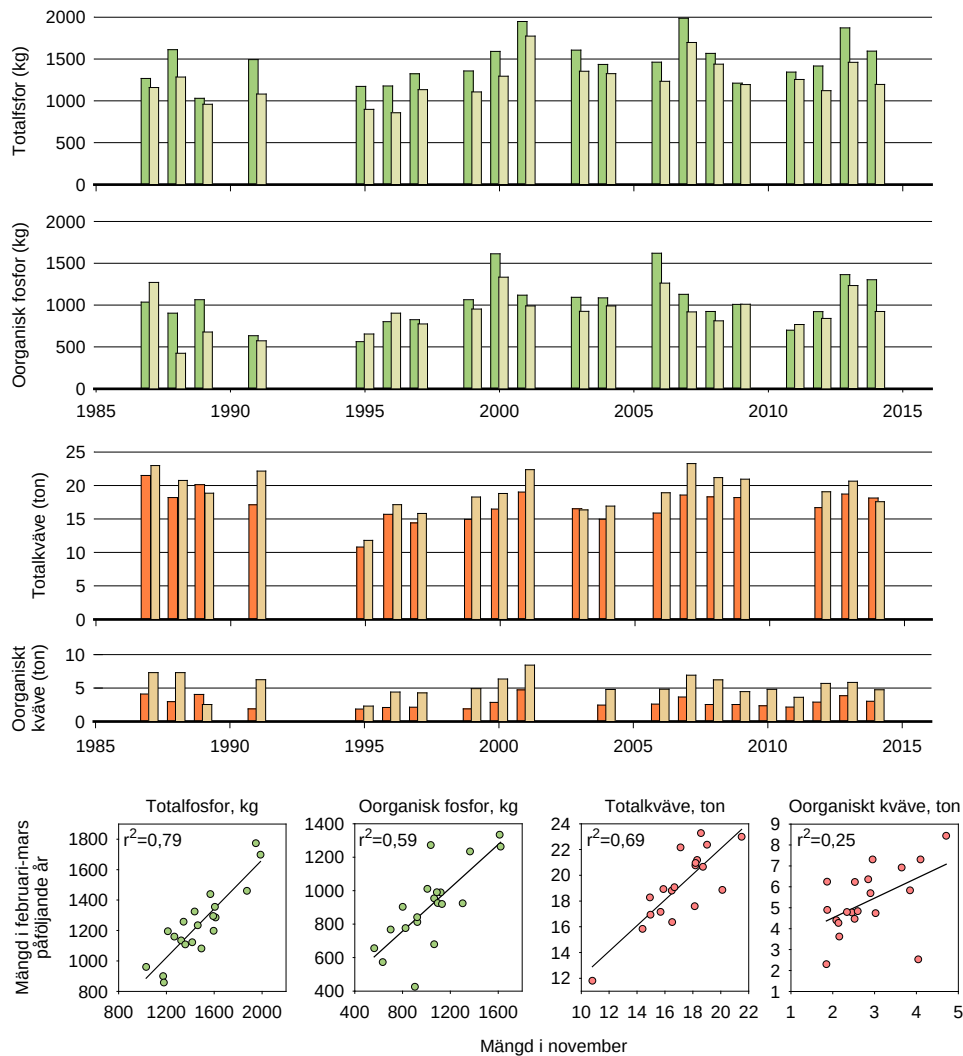
Eftersom volymen minskar med djupet, utgör de mängder fosfor och kväve som finns på de största djupen under större delen av året en ganska liten andel av de totala mängderna och även den absoluta mängden är liten med undantag av sensommar-höst (Fig 38). Medelvärdet för fosfor under 14 m djup i Edebybassängen har 2010-2015 varit mindre än 40 kg från februari till juli - mängden har sedan ökat till 75 kg i augusti, 190 kg i september och, som mest, 280 kg i oktober.

Intags- och Skårbybassängerna är grundare än Edebybassängen. Skiktningen försvagas därför tidigare och fosformängden i det botten nära vattnet har varit störst i september. 2010-2015 var medelvärdet i Skårbybassängen under 11 m djup 155 kg och i Intagsbassängen under 12 m djup 125 kg. Luftningen av Intagsbassängen har varit av stor betydelse för hur mycket fosfor som frigjorts från sedimenten. 2004, då luftningen var avstängd, var mängden i september mer än dubbelt så stor, ca 300 kg.



**Figur 38.** Fosfor, mängder i Edeby- Skårby- och i Intagsbassängen, medelvärden 2010-2015, samt i Intagsbassängen 2004 då luftningen var avstängd. Kurvorna för oktober och november sammanfaller nästan helt i Skårbydammen.

Efter att fosformängderna har varit stora, i september vid Intaget och Skårby och i oktober vid Edeby, minskar de kraftigt, troligen på grund av utfällning när det syrefattiga bottenvattnet blandas med syrerikt vatten på mindre djup. Omsättningstiden i Bornsjön är lång och den fosfor som finns i november kvarstår till stor del i februari-mars påföljande år – i genomsnitt har mängden totalfosfor minskat från november till februari-mars med 15 % och oorganisk fosfor med 10 %. Kvävemängderna har tvärtom ökat under samma tid, sannolikt p.g.a. stora mängder med den kväverika tillrinningen, totalkväve med 10-15 % medan mängden oorganiskt kvävet har ungefär fördubblats (Fig 39).



**Figur 39.** Sammanlagda mängder i Edeby- och Intagsbassängerna av fosfor resp kväve, total och oorganisk andel, i november och i februari-mars påföljande år.

De mängder oorganiskt fosfor och kväve som sedan tas upp av planktonalgerna under våren är mycket stora. Under 2000-talet har den sammanlagda mängden i de tre bassängerna från februari-mars till juni minskat med i genomsnitt 1 300 resp 8 200 kg. Därtill kommer tillrinningen som under vinter och vår bidrar med ca 300 resp 2 500 kg oorganiskt fosfor och kväve, samtidigt förloras ungefär 140 resp 600 kg med utflödet; netto blir bidraget 160 resp 1 900 kg. Totalt har algerna tagit upp ungefär 1,5 ton fosfor och 10 ton kväve i oorganisk form. Förhållandet mellan kväve och fosfor har varit 6,7:1, nära standardsammansättningen i alger som är 7,2:1. Efter vårbloomingen sjunker en stor del av algerna till botten tillsammans med annat organiskt material som bildats i ytvattnet. Innehållet av fosfor och kväve kan därefter antingen begravas i sedimenten eller frigöras och återvända till vattnet när det organiska materialet brutits ner.

### Internbelastning

Höga fosforhalter i Bornsjöns bottenvatten sensommar och höst har i olika sammanhang förklarats bero på internbelastning. Internbelastning är ett begrepp som vanligen används när en sjö avlastats från en stor yttre belastning men halterna fortsätter att vara höga p.g.a. utlösning av lagrad fosfor från sedimenten. De lagrade mängderna kan vara mycket stora - sjöar fungerar som sedimenteringsbassänger och under normala förhållanden fastläggs en stor del av den fosfor som kommer med tillrinningen. Utlösning av den lagrade fosfor – alltså det som kallas internbelastning – kan därför ge stora negativa effekter.

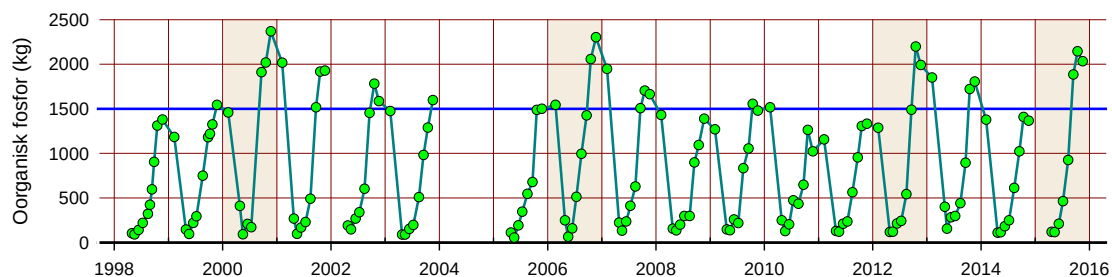
2012 gjordes på uppdrag av Stockholm Vatten en utredning av internbelastningens betydelse i Bornsjön (Nürnberg 2012). Samtidigt utreddes också möjliga sätt att begränsa internbelastningen, framförallt genom utpumpning av bottenvatten.

Storleken på internbelastningen beräknades med fyra metoder:

- 1) Ökningen av mängd löst fosfor i vattnet från juli till oktober
- 2) Ökningen av fosfor i ytvattnet under höstomblandningen
- 3) Beräknad utlösning av fosfor från syrefria sediment
- 4) Massbalans – yttre belastning multiplicerad med skillnaden mellan beräknad och uppmätt fastläggning

Resultaten av beräkningarna med metod 1-3 var ganska lika - för perioden 1986-98 ca 0,7-1,1 ton och för perioden 1999-2011 ca 1,3-1,4 ton. Data för beräkning av internbelastningen med metod 4 fanns bara för åren 1999-2005. I motsats till de andra metoderna omfattar beräkningen hela året och inte bara den tid då internbelastningen är stor och sedimentering av den frigjorda fosfor är obetydlig. Den frigjorda mängden exklusive och inklusive sedimentering beräknades till ca 1,8 resp 0,16 ton. Siffrorna är ganska osäkra eftersom varken beräknad eller uppmätt fastläggning är väl känd - den beräknade fastläggningen baseras på erfarenheter från andra sjöar och den uppmätta fastläggningen på de relativt osäkra in- och utflödena av fosfor i Bornsjön,

En viktig fråga är hur stor andel av den frigjorda fosfor under sensommar och höst som utgörs av material som sedimenterat under året och hur stor del som utgörs av fosfor som sedan tidigare finns lagrad i sedimenten. Enligt beräkningarna på sidan 28 minskar innehåll av oorganisk fosfor under våren med ungefär 1,5 ton, vilket stämmer bra med direkta mätningar under åren 1998-2014 då medelvärdet varit 1 300 (950 - 1 850) kg exklusive ca 160 kg med tillrinningen. 12 av de 17 åren (2004 är uteslutet) har innehåll ökat ungefär lika mycket under hösten, men fyra år - 2000, 2006, 2012 och 2015 - har ökningen varit betydligt större, över 2 ton (Fig 40).



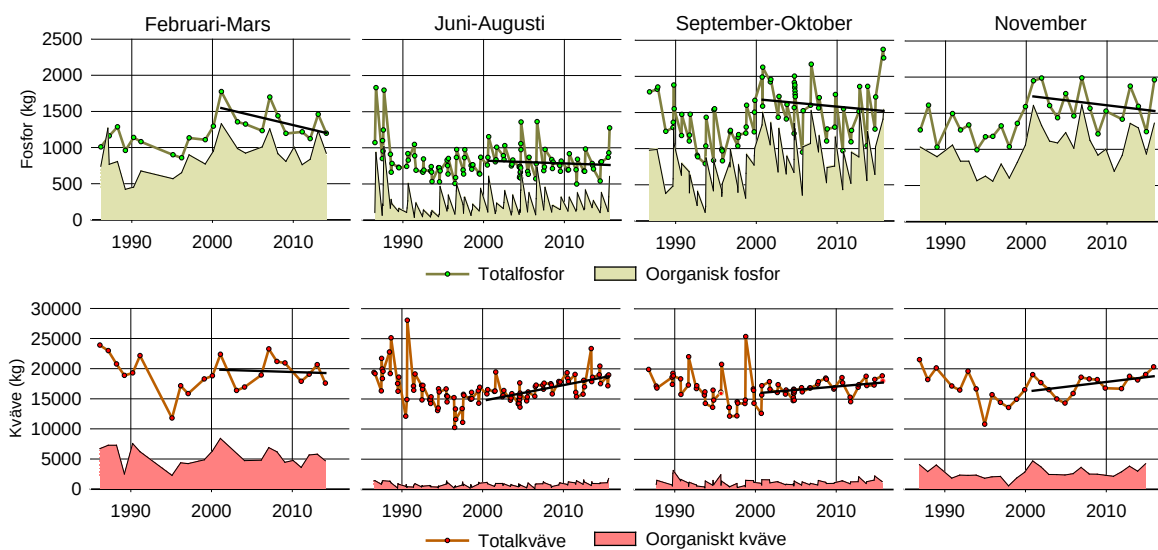
**Figur 40.** Oorganisk fosfor, sammanlagda mängder i de tre bassängerna 1998-2015. Färgade fält anger år då ökningen under sensommar och höst varit större än minskningen under våren.



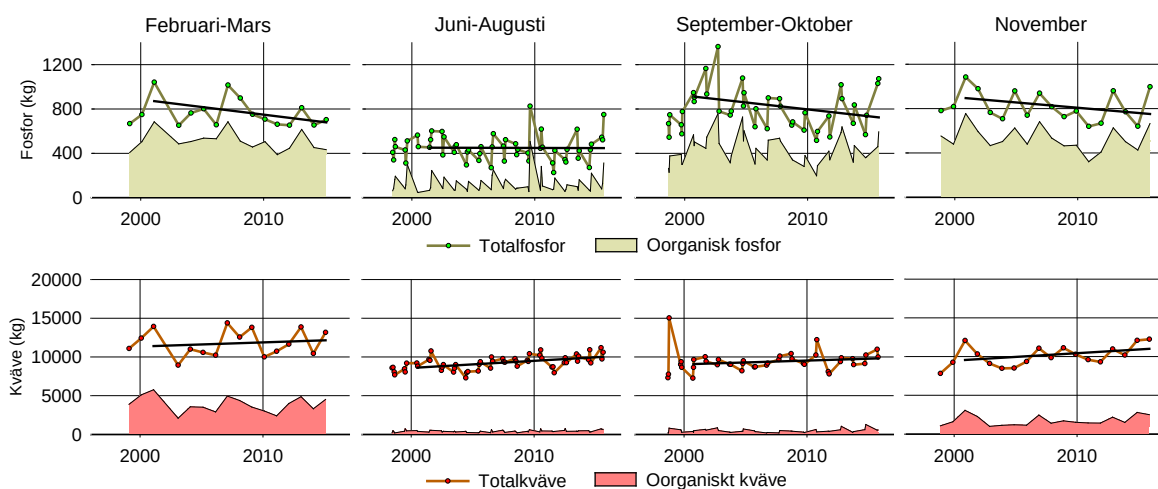
### Förändringar 1986-2015

Både fosfor- och kvävemängderna i Bornsjöns vattenmassa minskade till mitten av 1990-talet. Efter en ökning i slutet av 1990-talet har fosformängderna efter år 2000 minskat under vår och höst. Förändringarna beror huvudsakligen på löst, oorganisk fosfor (fosfatfosfor). Mängderna under sommaren, som varit jämförelsevis små p.g.a. av växtlighetens upptag, har varierat från år till år men har inte visat någon tydlig tendens efter 1980-talet.

Kväve har ökat under 2000-talet, främst beroende på bundet kväve (totalkväve – oorganiskt kväve), som utgör den allra största delen av kvävet. Ökningen har varit stor under sommaren, i juni-augusti. Halterna av bundet kväve är praktiskt taget konstanta under året (se Fig 29), förändringarna av de totala mängderna från vår till sommar och från sommar till höst har därför varit relativt små. Oorganiskt kväve har däremot varierat kraftigt med stora mängder, främst nitrit-nitratkväve, i februari-mars, små mängder under sommaren och därefter, som ammoniumkväve, gradvis större mängder under sensommar och höst.



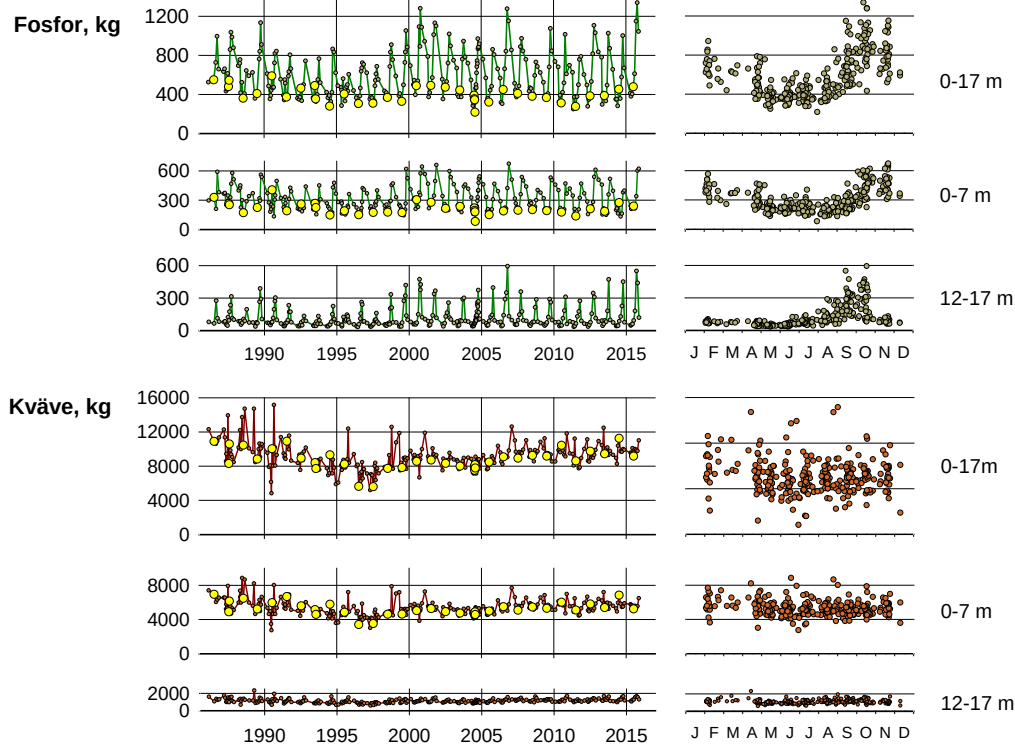
**Figur 41.** Fosfor och kväve, sammanlagda totala mängder och mängder av lösta, oorganiska fraktioner i Edeby- och Intagsbassängen 1986-2015. Mängderna i respektive bassäng 1986-2015 visas i Figur 43. Regressionslinjerna visar förändring av totalmängderna efter år 2000.



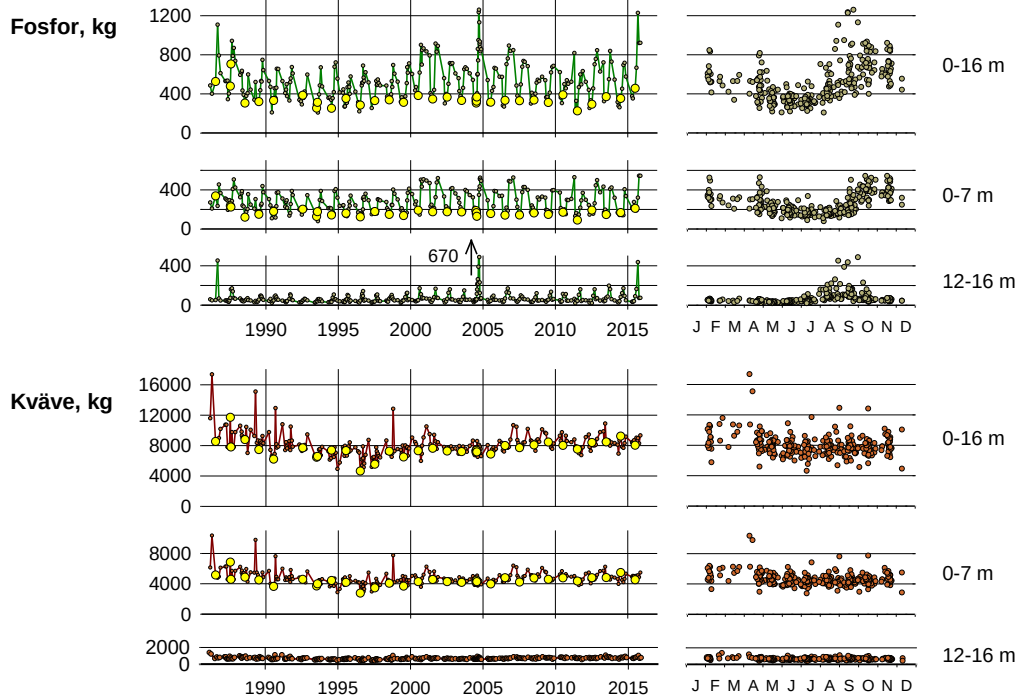
**Figur 42.** Fosfor och kväve, totala mängder och mängder av lösta, oorganiska fraktioner i Skårbybassängen 1998-2015.

Förändringarna av fosfor och kväve i de tre bassängerna (Skårbybassängen bara 1998-2015) har varit likartade med undantag av fosfor i bottenvattnet, som under 2000-talet ökade i Edebybassängen medan mängderna varit i stort sett konstanta i Intagsbassängen som en effekt av luftningen. Mängderna har varit stora två år efter 1987: 2004 då luftningen var avstängd p.g.a. försök med utpumpning av bottenvatten från Edebybassängen och 2015 av okänd anledning (luftningen pågick som normalt).

#### Edeby



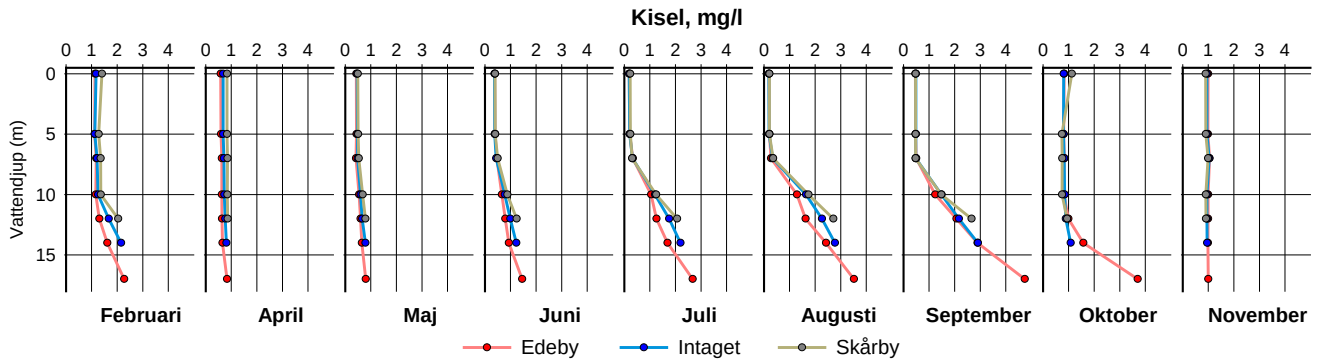
#### Intaget



**Figur 43.** Totalfosfor och totalkväve, mängder (kg) i Edeby- och Intagsbassängen 1986-2015. I mängderna i Intagsbassängen ingår en antagen mängd 14-16 m, under det största provtagningsdjupet (se texten). Värden från juli i ytvattnet och hela vattenmassan är särskilt markerade med gula symboler.

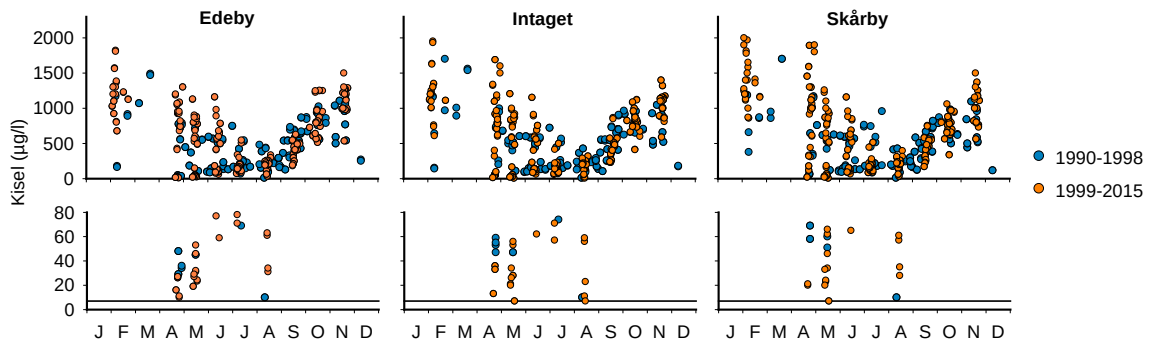
## Kisel

Kisel i löst och för växter lätt tillgänglig form räknas vanligen inte som ett näringsämne men är av stor betydelse för framförallt kiselalger som brukar dominera under vårbloomingen och även uppträder senare under året. Kiselhalterna har vanligen varit högre i bottenvattnet än i ytvattnet och har ökat i bottenvattnet under den skiktade perioden på liknande sätt som fosfor och kväve (Fig 44).



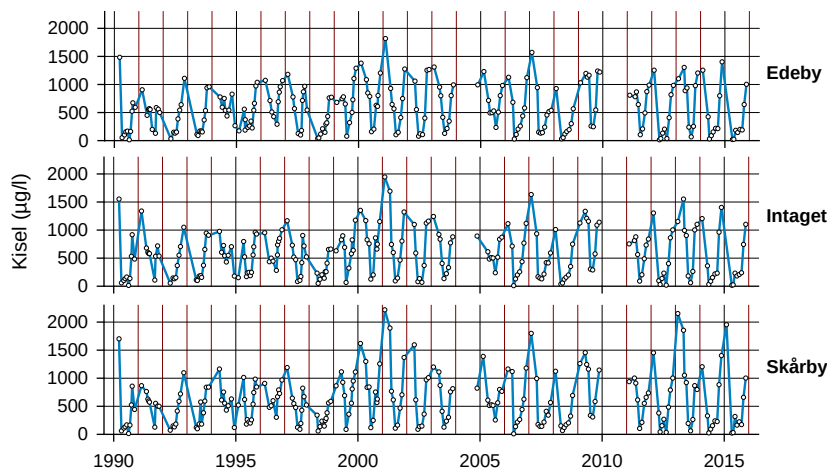
**Figur 44.** Kisel, totalhalter från ytan till största provtagingsdjup i Borsnös tre bassänger, medelvärden 1986-2015.

Kiselhalterna i ytvattnet är höga i början av året och minskar sedan fram till augusti. Variationerna har varit mycket stora i april-maj, några år med så låga halter att kisel sannolikt varit begränsande för kiselalger och lika låga halter har förekommit i augusti både 1990-98 och 1999-2015 (Fig 45).



**Figur 45.** Kiselhalter i ytvattnet (data från 0 och 5 m djup), årsvariation 1990-98 och 1999-2015. De undre diagrammen med annan skala.

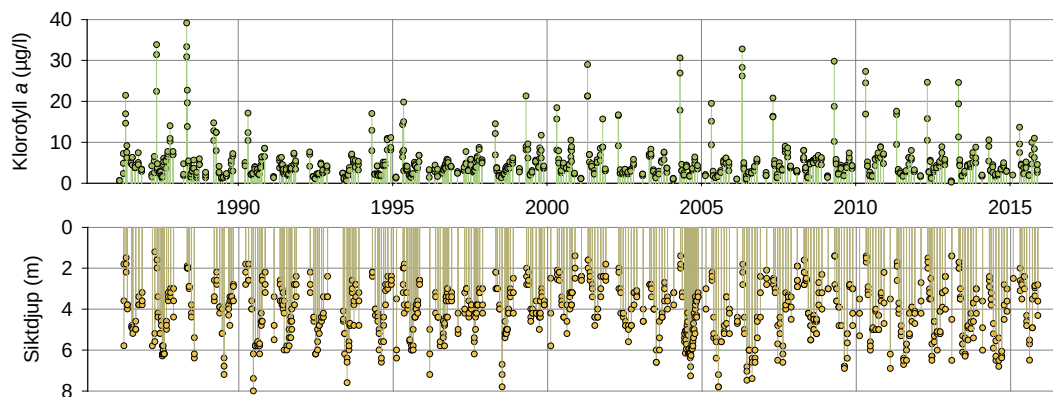
Halterna i februari-mars, före vårbloomingen, har varit högre under 2000-talet än tidigare, tydligast i Skårbybassängen som påverkas mest av tillrinningen.



**Figur 46.** Kisel, halter i ytvattnet (medelvärden 0 och 5 m) i de tre bassängerna i Borsnön 1990-2015.

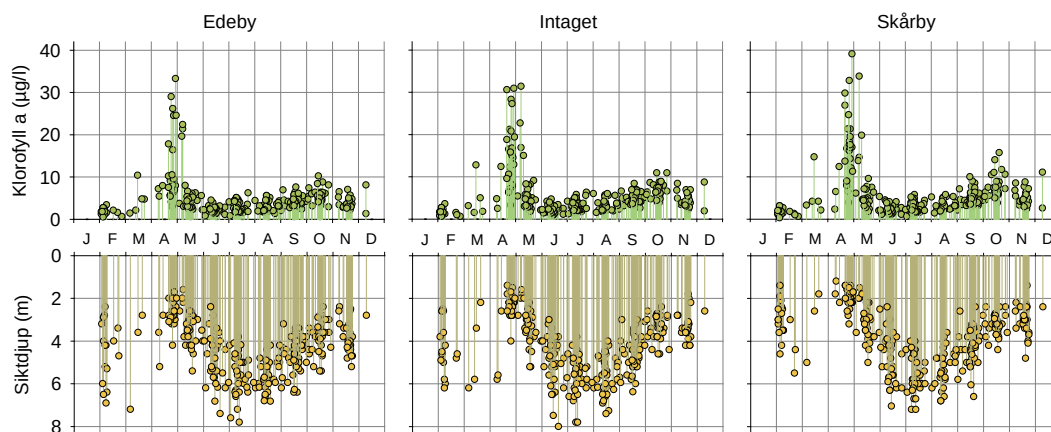
### Klorofyll och siktdjup

Prover för analyser av klorofyll *a* tas i ytvattnet med ett två meter långt rör. Siktdjupet mäts med en helt vit skiva med 25 cm diameter och i de flesta fall vattenkikare. Siktdjup utan vattenkikare har räknats upp med 10 %.



**Figur 47.** Klorofyll *a* och siktdjup, samtliga värden 1986-2015

Vegetationsperioden börjar med vårbloomingen i slutet av april-början av maj då ljuset är tillräckligt starkt och planktonalgerna kan utnyttja fosfor och kväve som ansamlats under vinter och tidig vår. Förändringarna sker mycket snabbt och de månadsvisa provtagningarna i Bornsjön kan inte ge en rättvisande bild av vårbloomingen. De stora variationerna i klorofyllhalter i slutet av april-början av maj, från 3 till 40 µg/l, beror därför inte på att blomningarna varit olika stora utan på när under blomningen proverna har tagits. Under vårbloomingen förbrukas innehållet av lätt tillgängligt fosfor och kväve i hela vattenmassan och klorofyllhalterna är låga i juni-juli, vanligen under 5 µg/l. Halterna ökar sedan långsamt till september-oktober, då kväve snarare än fosfor vanligen är begränsande, och minskar i november (Fig 48). Kvävebegränsningen i september-oktober ger förutsättningar för kvävefixerande cyanobakterier. Undersökningar av algernas artsammansättning har inte gjorts, men stora blomningar har inte observerats

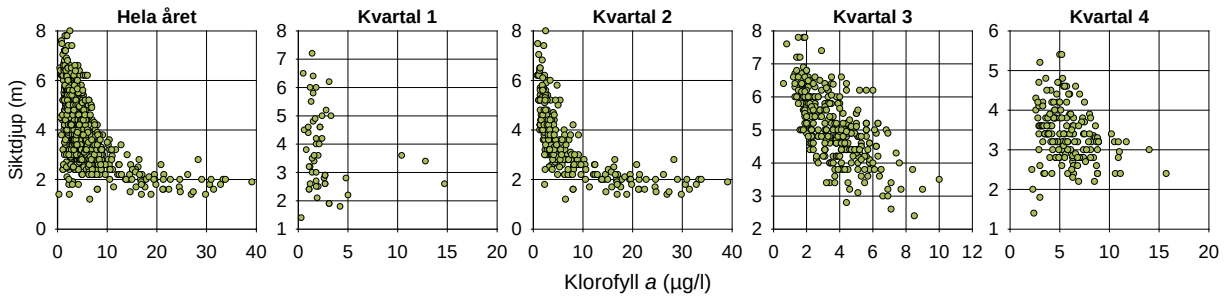


**Figur 48.** Klorofyll *a* och siktdjup, årsvariation 1986-2015.

Svårigheten att kvantifiera vårbloomingen gör att uppmätta klorofyllhalter är ett dåligt mått på närings-tillståndet i Bornsjön. Näringsinnehållet i ytvattnet har ökat under hösten, alltför sent för att ge en tydlig effekt på planktonalgerna, och under våren, då tillgängliga former av fosfor och kväve snabbt förbrukas i samband vårbloomingen, men har varit praktiskt taget oförändrat under sommaren då skiktningen begränsar upptransporten av näringsämnen från bottenvattnet. Det är alltså sannolikt att åtgärder som kan minska fosfor- och kvävehalter, t.ex. den förestående utpumpningen av bottenvatten, inte kommer att medföra någon mätbar förändring av klorofyllhalterna.

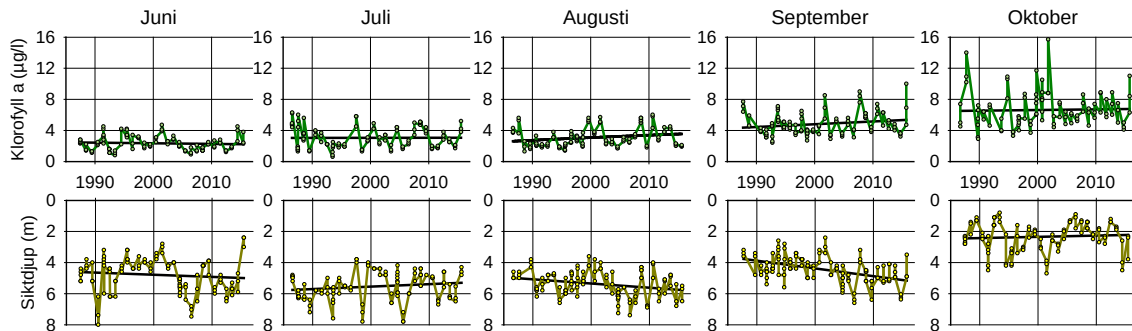
Det är möjligt att klorofyllhalterna är missvisande. Siktdjupet i Borsjön är så stort att vissa alger antagligen kan utnyttja fosfor och kväve vid och under språngskiktet, där halterna är högre än i ytvattnet. Klorofyllproverna som tas på 0-2 m kan i så fall underskatta de verkliga mängderna.

Siktdjupet är till stor del beroende av mängden planktonalger och varierar omvänt mot klorofyllhalterna med låga värden under vårbloomingen och höga värden under sommaren, medelvärdet 1986-2015 har varit 5,2 m. Klorofyllhalterna ökar under hösten och siktdjupet i september och oktober är lägre än under sommaren. Trots en allmän överensstämmelse mellan klorofyll och siktdjup är sambandet under alla tider på året ändå ganska svagt. Det gäller även kvartal 2 då sambandet är bättre än under andra delar av året – vid ett siktdjup av ca 2 m kan klorofyllhalten variera mellan nära 0 och 40 µg/l (Fig 49).

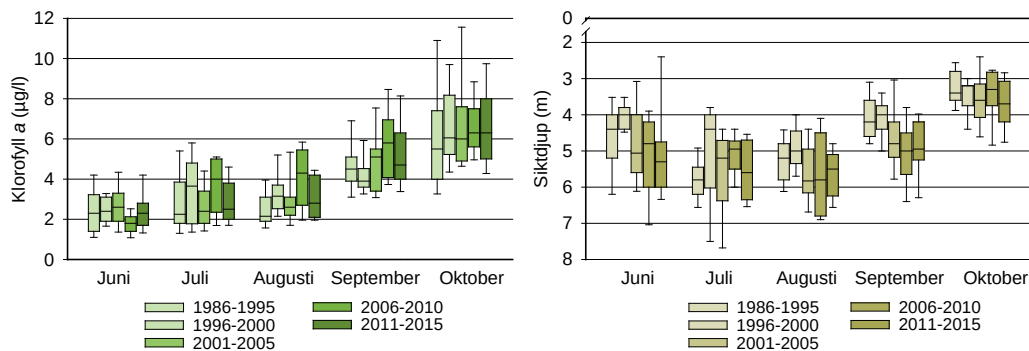


**Figur 49.** Samband mellan klorofyll a och siktdjup, data från alla tre bassängerna 1986-2015.

De långsiktiga förändringarna av klorofyllhalterna har varit små men variationerna från år till år har varit stora, särskilt i oktober. Siktdjupet har i allmänhet ökat, framförallt i augusti-september. Liksom klorofyll har siktdjupet varierat kraftigt i oktober, från knappt en till drygt fyra meter.



**Figur 50.** Klorofyll a och siktdjup, sammanslagna data från alla tre bassängerna 1986-2015.



**Figur 51.** Klorofyll a och siktdjup, samtliga data uppdelade i 10-årsperiod 1986-2005 och 5-årsperioder 1996-2015.



## Status

De fysikalisk-kemiska parametrar som kan användas för statusbedömning är syre, fosfor och siktdjup. Syrestatus används sällan och någon bedömning har inte gjorts för Bornsjön varken här eller av vattenmyndigheten. Underlag för bedömning med biologiska parametrar finns för klorofyll, fisk och makrofyter – växtplankton och bottenfauna saknas.

Bedömningarna med fosfor, siktdjup och klorofyll kräver uppgift om filtrerad absorbans vid 420 nm mätt i 5 cm kyvett. De få mätningar som gjorts i Bornsjön är från augusti 2007, 0,5 och 5 m samt från hela året 2009, bara 0,5 m. I beräkningarna används medelvärdet, 0,028.

**Fosfor.** Referensvärdet beräknas enligt:  $\log_{10}P_{ref} = 1,627 + 0,246 \cdot \log_{10}AbsF - 0,139 \cdot \log_{10}Höjd - 0,197 \cdot \log_{10}Medeldjup$ , vilket för Bornsjön ger 8 µg/l. Medelvärdet för totalfosfor i ytvattnet i augusti 2013-2015 är 13 µg/l. EK=0,62 *God status* ( $\geq 0,5 - < 0,7$ ).

Anmärkning: Vattenmyndigheten har gjort samma bedömning (för åren 2007-2012) men har beräknat referensvärdet till 11,3 µg/l. Vid statusbedömningarna har hänsyn inte tagits till luftningen av Intagsbassängen.

**Siktdjup.** Referensvärdet beräknas enligt:  $\log_{10}SD_{ref} = 0,678 - 0,116 \cdot \log_{10}AbsF - 0,471 \cdot \log_{10}Klorofyll\ a$ , vilket för Bornsjön ger 4,7 m. Medelvärdet i augusti 2013-2015 är 5,6 m. EK=1,2 *Hög status* ( $\geq 0,67$ ).

**Klorofyll a.** Referensvärdet för Bornsjön är 2,5 µg/l enligt Tabell 3.10 i Handbok 2007:4 (Södra Sveriges klara sjöar, Abs F < 0,06). Medelvärdet i ytvattnet i juli-augusti 2013-2015 är 2,9 µg/l. EK=0,9 *Hög status* ( $\geq 0,50$ ).

Anmärkning: Proverna har tagits på 0-2 m djup.

**Fisk.** Vid provfiske 2007 fångades sammanlagt 12 arter. Vattenmyndigheten bedömer statusen som *Hög*, indexvärdet ligger långt från både övre och undre klassgräns.

**Makrofyter.** Inventering gjordes 2005. Vattenmyndigheten bedömer datatillgången som god, statusen baseras på 33 arter. Referensvärde för trofiindex är 8,27 (söder om Limes Norrlandicus), värdet för Bornsjön är 6,36. EK=0,77 *Måttlig status* ( $\geq 0,54 - < 0,88$ ).

Den sammantagna ekologiska statusen för Bornsjön har av vattenmyndigheten bedömts som *God*.

Bornsjöns goda status är anmärkningsvärd med tanke på belägenheten i en tätbefolkad region och den påverkan som sjön utsätts för av jordbruk, bostäder och trafik inom tillrinningsområdet. De bestämmelser för vattenskyddsområdet som fastställdes 1988 och reviderades 2006 har varit betydelsefulla liksom de åtgärder som vidtogs under 1980-talet då skyddszoner infördes kring de större vattendragen, användningen av gödnings- och bekämpningsmedel begränsades och enskilda avlopp började förbättras. Tack vare ett ständigt pågående arbete med att bibehålla och utveckla skyddet för Bornsjön har statusen kunnat upprätthållas trots en ökande befolkning och ökande aktiviteter i regionen.

Kräftpesten som drabbade Bornsjön i början av 2000-talet och helt slog ut beståndet av flodkräfta visar hur sårbar Bornsjön ändå är. De kommuner där Bornsjön ligger har stora behov av mark för bebyggelse och bristen på överensstämmelse mellan vattendelare och gräns för vattenskyddsområdet kan vara problematisk – frågan, som har aktualiserats av utbyggnaden av Björkmossen i Södertälje och det blivande vattenskyddsområdet för Södra Mälaren, behandlas nu av Länsstyrelsen.

Ytterligare en betydelsefull faktor för Bornsjöns status är sjöns speciella karaktär med stort vattendjup och lång uppehållstid, som gör att en stor andel av den tillförda fosfor sedimenteras och fastläggs. Fastläggning av fosfor är inte på något sätt unik för Bornsjön utan något som normalt sker i skiktade sjöar så länge bottenvattnet är syrsatt, men den andel som fastläggs är troligen större än i de flesta andra sjöar. Fastläggningen utgör en risk när syrehalter blir låga och fosfor frigörs från sedimenten.

I Bornsjön blir fosformängderna i vattnet stora i samband med höstomblandningen, men det är oklart hur stor del av fosfor som härrör från äldre, lagrad fosfor (s.k. internbelastning) och från fosfor som sedimenterat under året – Nürnberg (2012) har beräknat nettotillskottet från internbelastningen till 160 kg/år vilket ligger inom osäkerheten för den totala belastningen på Bornsjön.

Den nordöstra bassängen luftas för att höja syrehalten i bottenvattnet och begränsa frigöringen av fosfor. Luftningen fungerar som avsett, men gör också att labil fosfor ansamlas i sedimenten och var därför bara avsedd som en temporär lösning. Andra metoder har diskuterats, framförallt fällning med aluminium som har gett bra resultat i andra sjöar i Stockholmsområdet. Den nu valda metoden, pumpning och återföring av bottenvatten, är en radikal åtgärd som i bästa fall kan få en stor, positiv effekt, men det är också en storskalig metod som kan orsaka en kraftig negativ påverkan, särskilt återföringen som kan störa skiktningen och den vertikala fördelningen av fosfor under en tid på året då växtligheten fortfarande är aktiv.

Efter den kraftiga och alarmerande ökningen av fosformängderna i Bornsjön i slutet av 1990-talet har mängderna minskat något och statusen med avseende på fosfor är god. En fortsatt minskning kan ändå ses som en säkerhet om den åstadkoms utan alltför stor påverkan på de naturliga processerna i sjön, som förutom att vara Stockholms enda reservvattentäkt av betydelse också är ett Natura 2000-område och ingår i Bornsjöns naturreservat.

## Bilaga 1

### Påverkan på Bornsjöns tillrinningsområde efter 2005

#### Uppströms provpunkt

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tjuvparken                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Byggnation Björkmossen 2014-</li> <li>- Gallring av 10 ha 2010</li> <li>+ Fångdamm Björkmossen 2015</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Talby Mellangård                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Strålsnäs ca + 10 st åretruntbetande nötkreatur</li> <li>- Bäverdamm 2014 , ca 6 ha översvämmad skog</li> <li>+ Tak, tät betongplatta gödselplatta 2 gårdar 2013</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                          |
| Kuren                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2014- ca 10 hästar åretruntbetande på 4 ha</li> <li>- 2014-2015 avverkning av 3 ha skog</li> <li>+ Strukturkalkning 20 ha åker 2012</li> <li>+/- Täckdikning 15 ha utan kalk 2012</li> </ul>                                                                                                                                                                                                         |
| Golfbanan                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gödsling varje vår av drivingrange 5 ha</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Nedom Eksättradiket                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ökad befolkning</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Lindensborg                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ökad befolkning</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Bron Hamberget                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ökad befolkning</li> <li>- Bergåsa ökat antal hästar</li> <li>- Gallring 2009-2015 av ca 15 ha skog</li> <li>+/- Inventering av avloppsanläggningar i Salem 2009 o Södert 2013</li> <li>+ Föreläggande med åtgärd för 30 % inom 2 år</li> <li>+ Strukturkalkning 2013 av 130 ha åker</li> <li>+ Täckdikning med kalk 2013 på 35 ha, 2014 på 18 ha</li> <li>+ Vattenverksslam på 5 ha 2010</li> </ul> |
| E 20                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Avverkning av 9 ha skog 2013-2015</li> <li>- Gallring av 15 ha 2005-2011</li> <li>- Årsträda 20 ha åker 2014</li> <li>+ Strukturkalkning ca 10 ha 2013</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                    |
| Skårbydammen                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Avverkning av 16 ha skog 2008-2015</li> <li>- Gallring av 13,5 ha skog 2007-2011</li> <li>- Vallbrott 36 ha åker sommaren 2013</li> <li>- Tömning av dammen nov 2014-2016 feb</li> <li>+ Strukturkalkning av ovan 2013</li> <li>+ Skörd av 1 ha vass</li> <li>+ Bortförande av 3,5 ton Spegelkarp mars 2015</li> </ul>                                                                               |
| Åkervägen /<br>Bergahomsbron             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Avverkning av ca 20 ha skog 2008-2014</li> <li>- Gallring av ca 34 ha skog 2007-2011</li> <li>- Bäverdamm med ca 10 ha översvämmad skog 2014 + 0,5m Tullan 2015</li> <li>+ Strukturkalkning av 100 ha 2013</li> <li>+ Täckdikning av 18 ha åker med kalk 2014, 15 ha 2015 (27 ha 2016 )</li> </ul>                                                                                                   |
| Acksjödiket                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Avverkning 12 ha skog 2005-2009</li> <li>- Gallring 73 ha skog 2006-2015</li> <li>+ Strukturkalkning 35 ha åker 2013</li> <li>+ Täckdikning med kalk 15 ha åker 2015</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                      |
| Övriga delar av till-<br>rinningsområdet | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Div avverkningar</li> <li>+ Strukturkalkning</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Plus- och minustecken: positiv resp negativ påverkan

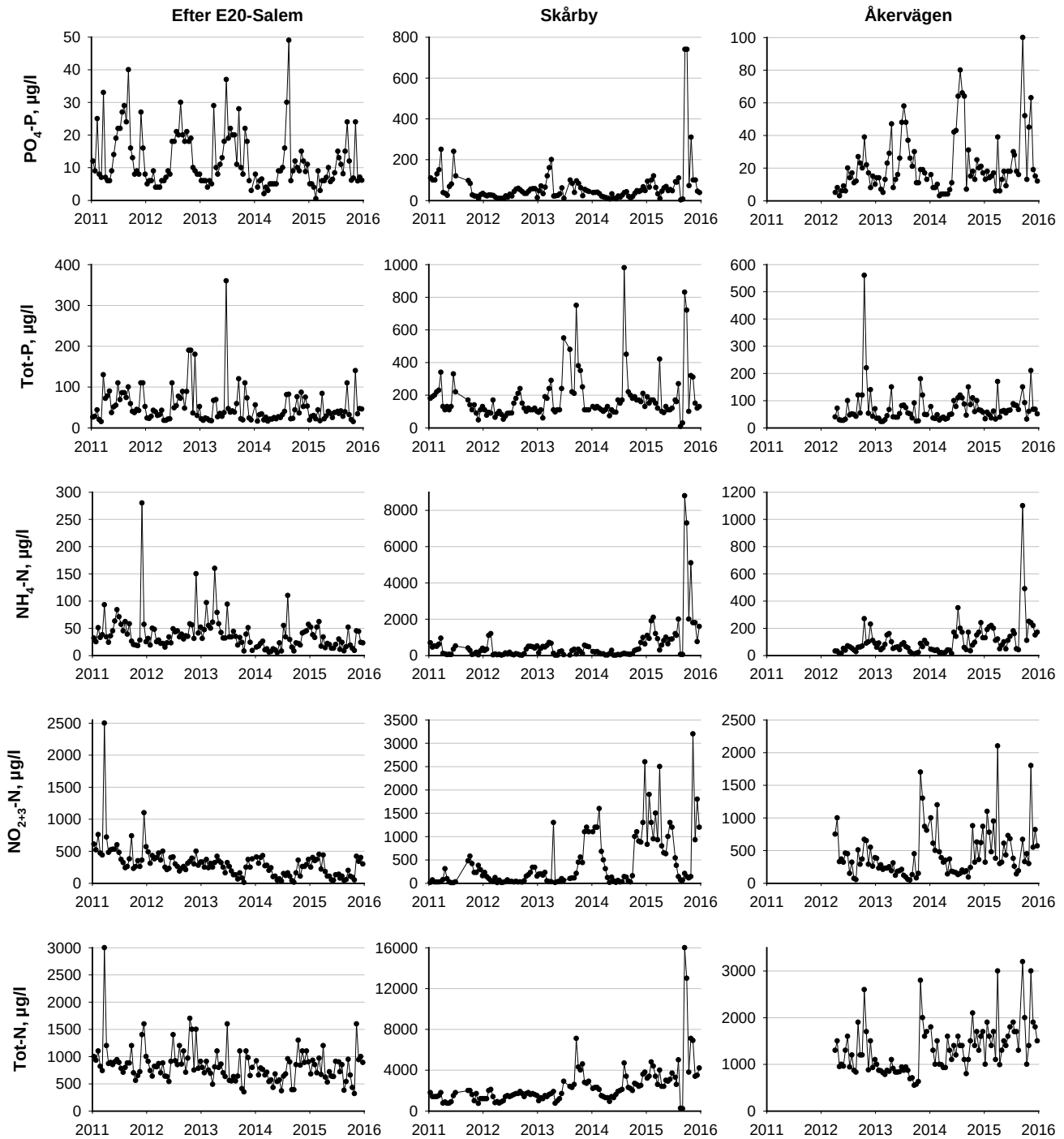


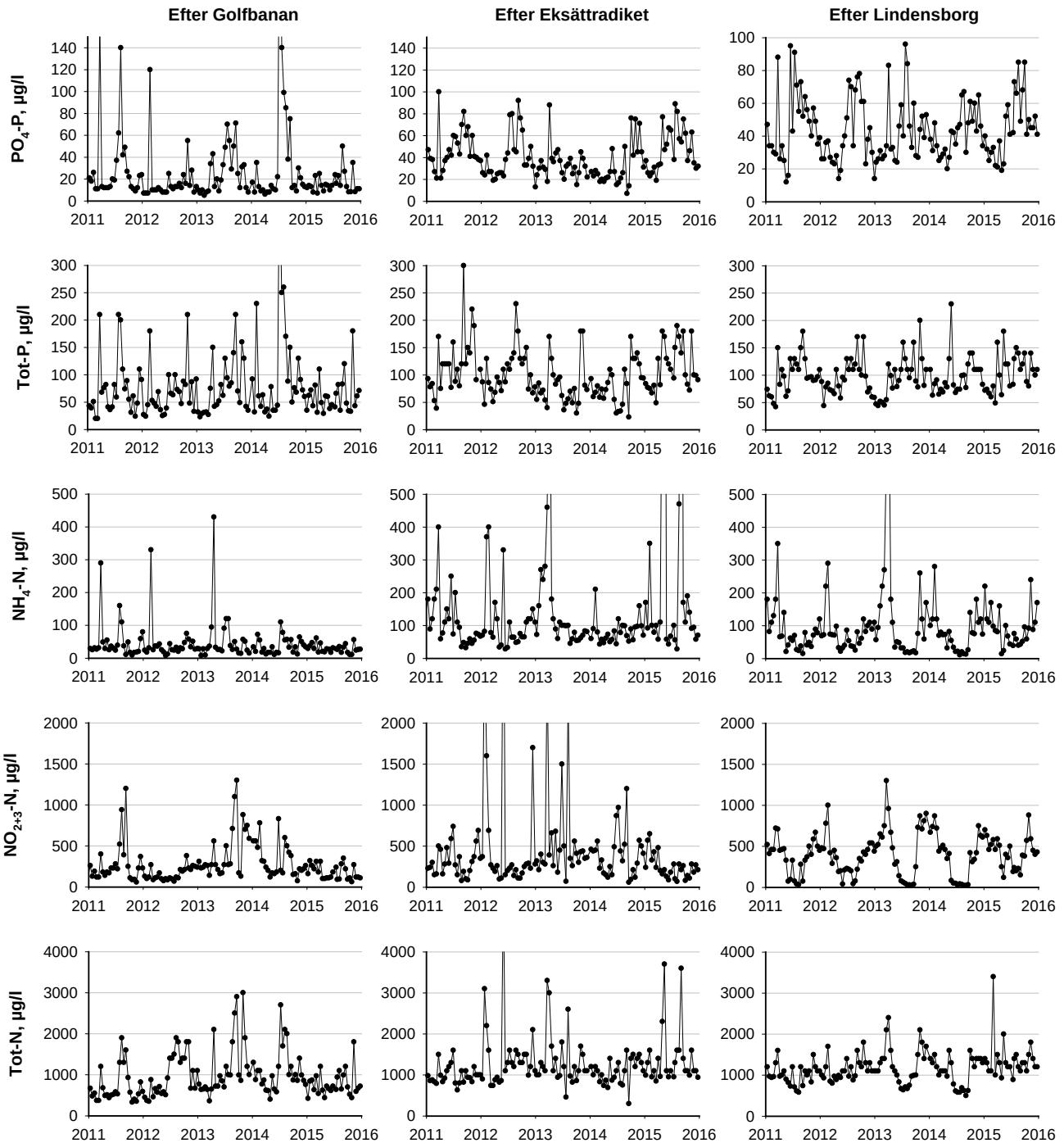
## Bilaga 2

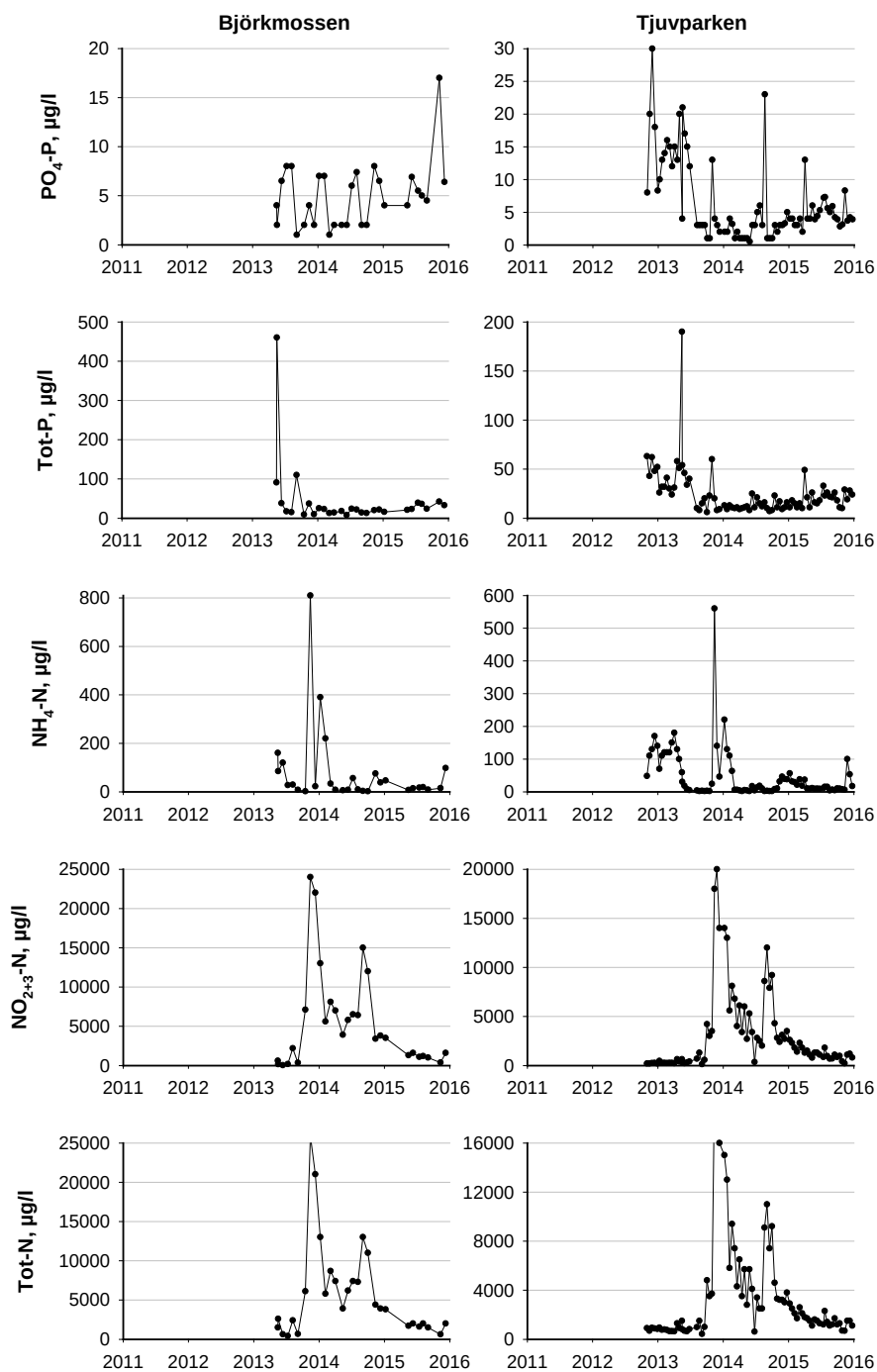
### Diagram, uppmätta halter av fosfor och kväve i diken 2011-2015

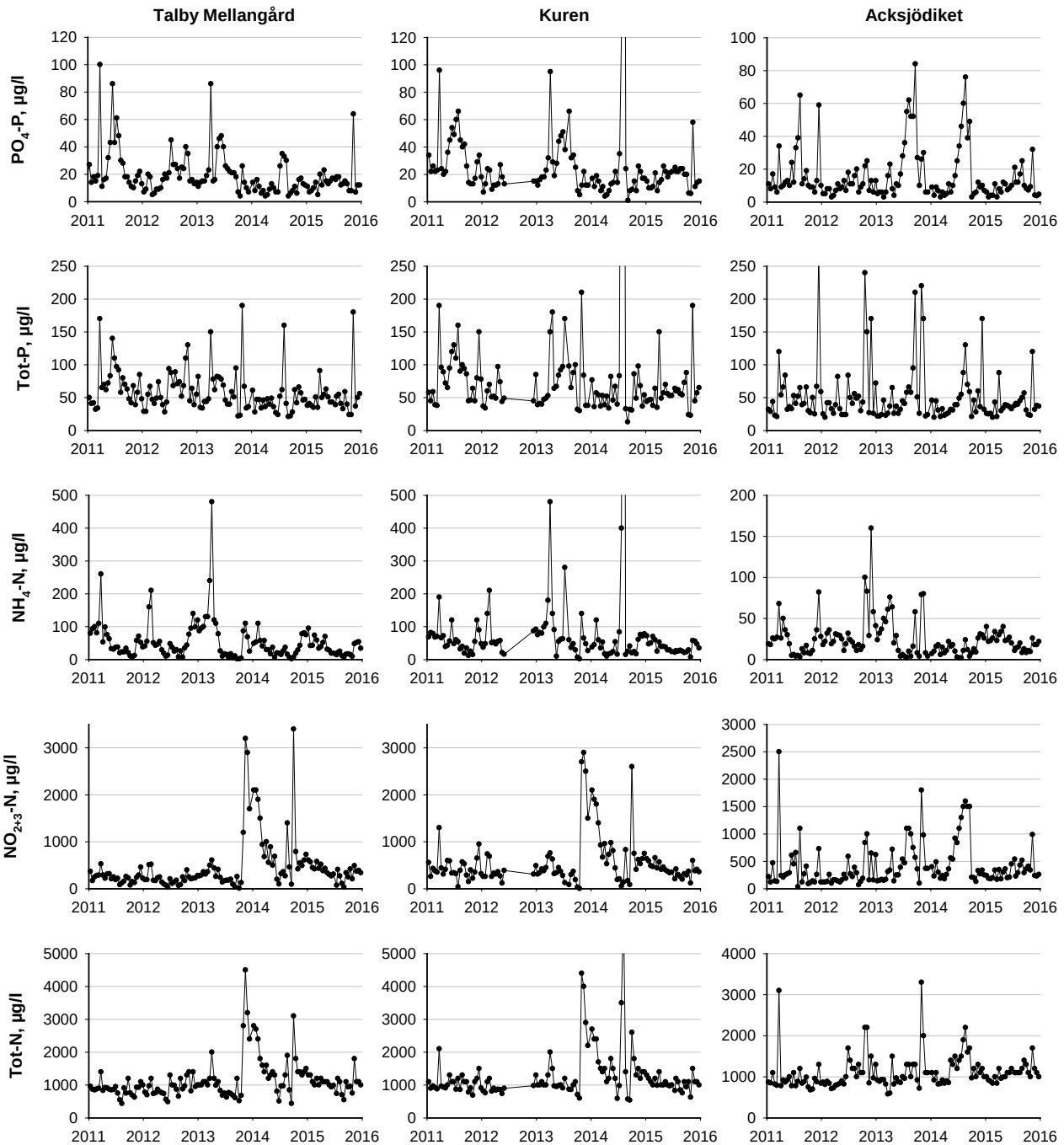
- 1 Efter E20-Salem
- 2 Utlopp Skårbydammen
- 3 Åkervägen
- 4 Golfbanan
- 5 Nedom Eksättra
- 6 Efter Lindensborg
- 7 Björkmossen
- 8 Tjuvparken
- 9 Talby Mellangård
- 10 Kuren
- 11 Acksjödiket
- 12 Bron Hamberget
- 13 Bergaholm vägbron

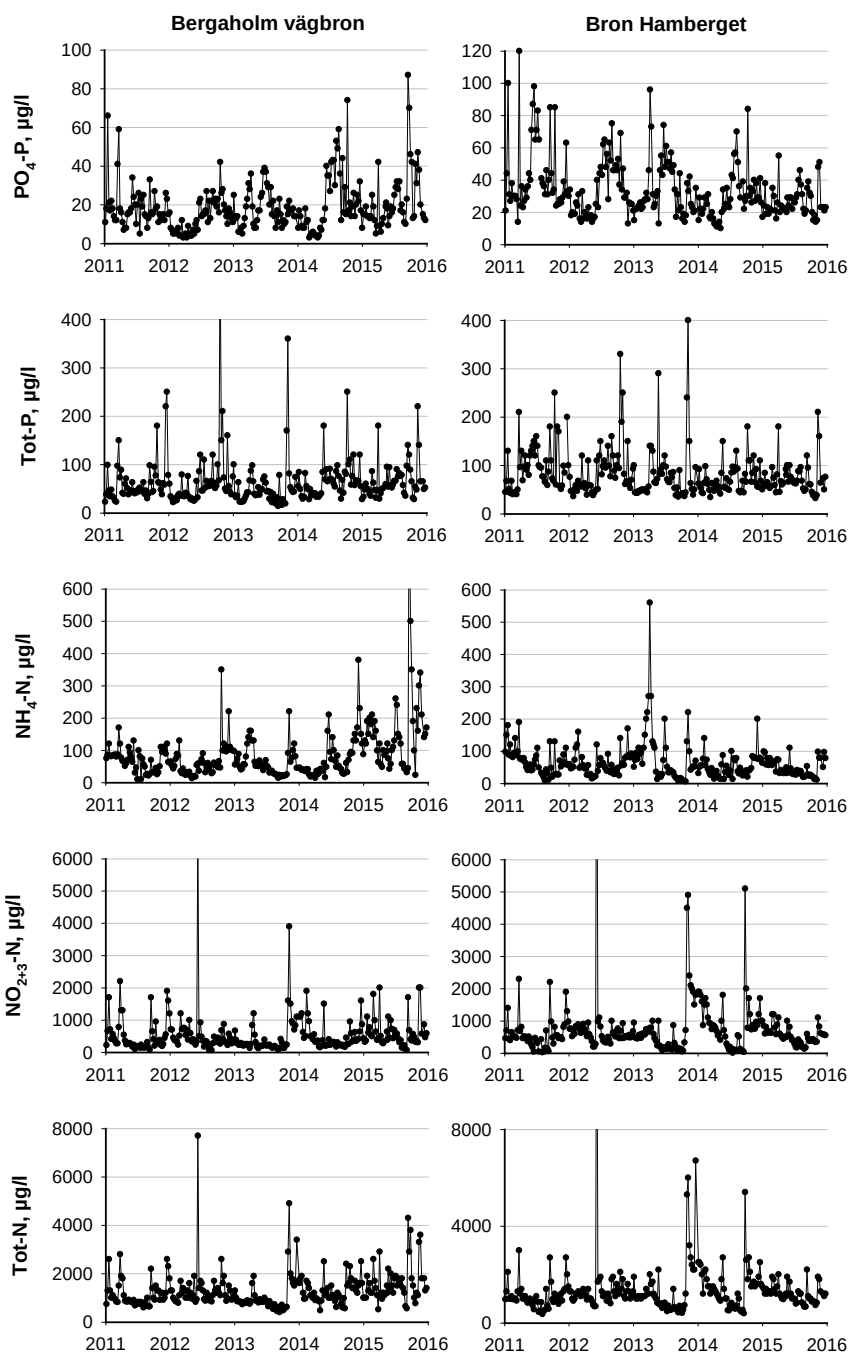












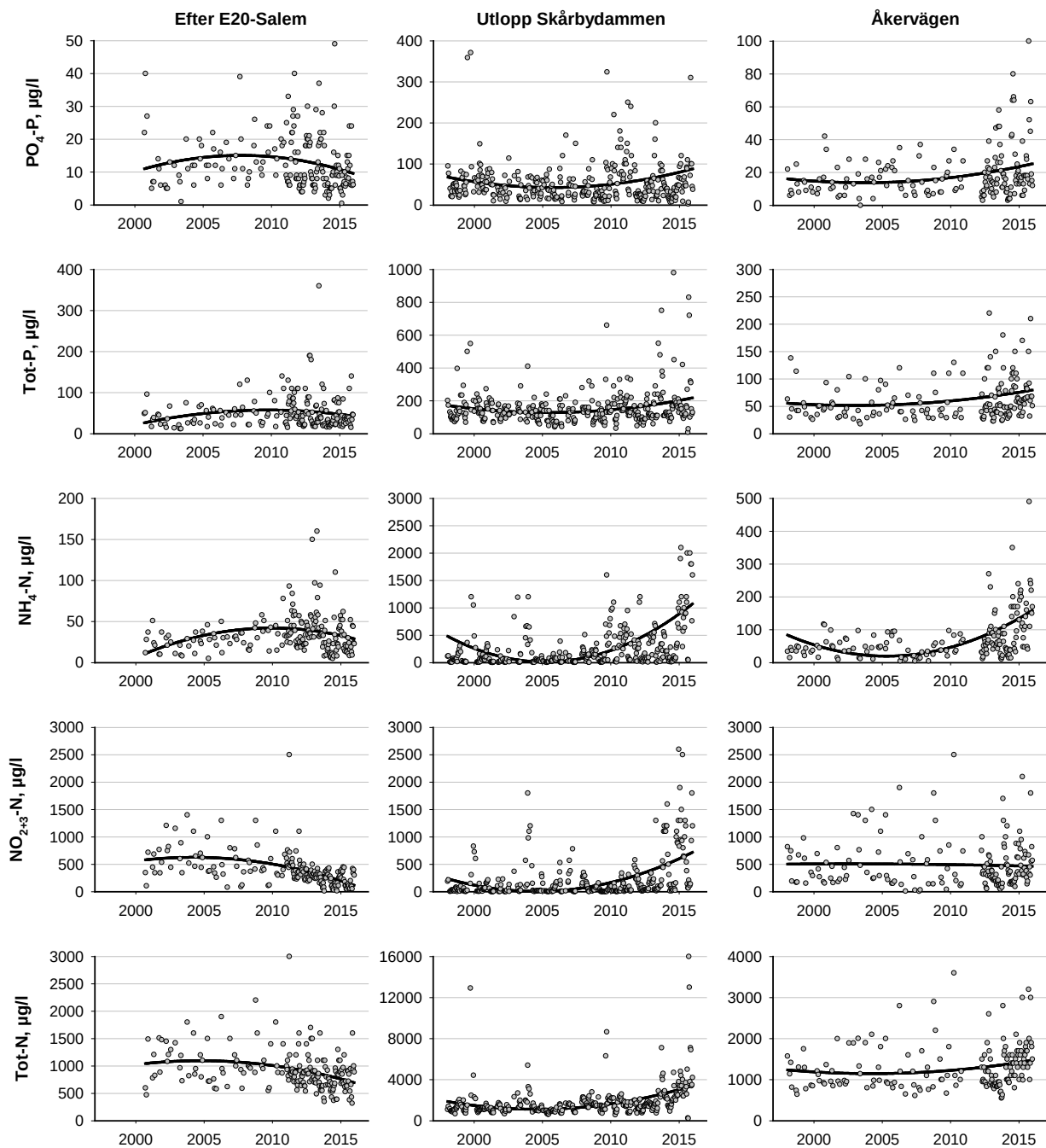


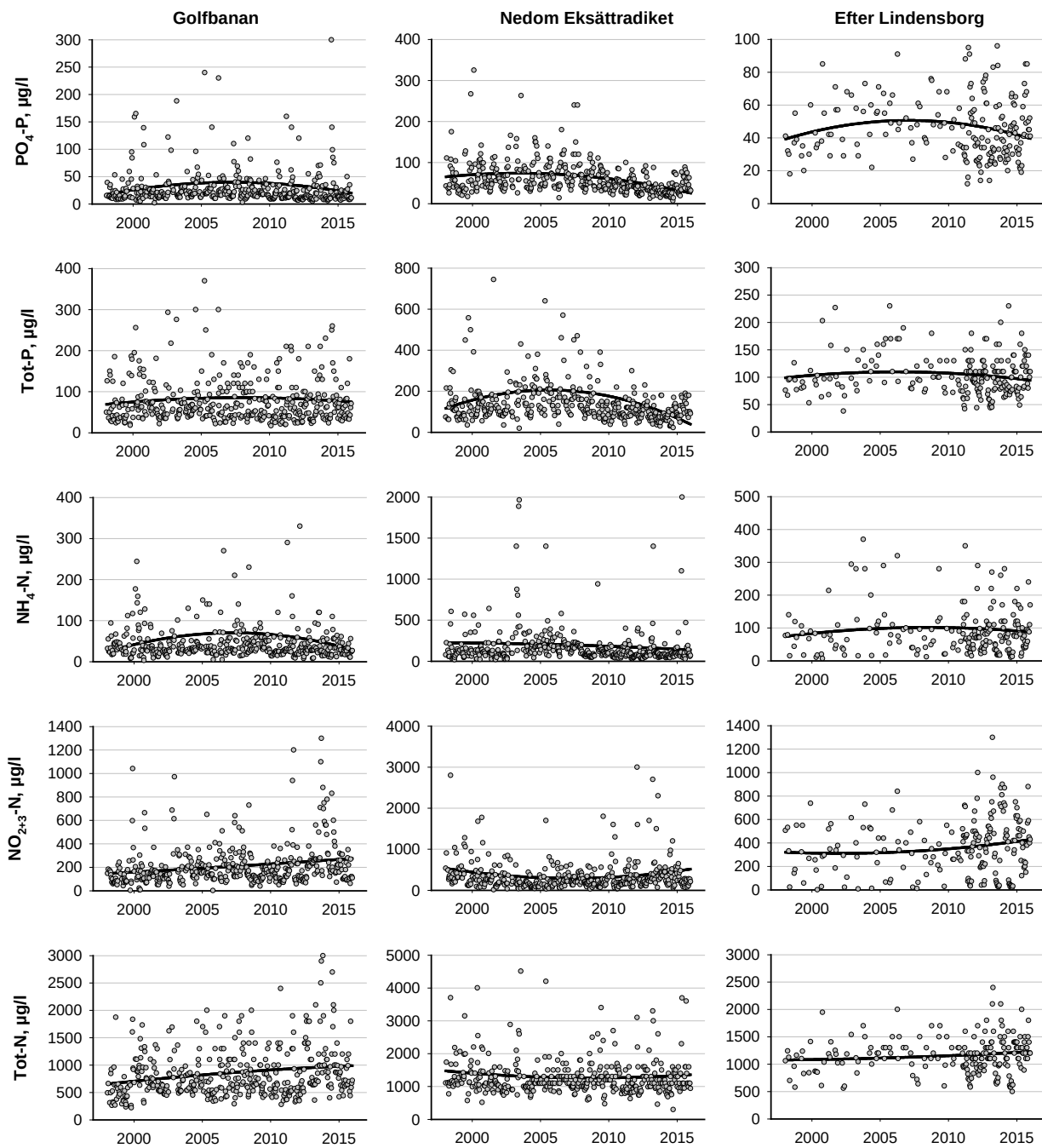
## Bilaga 3

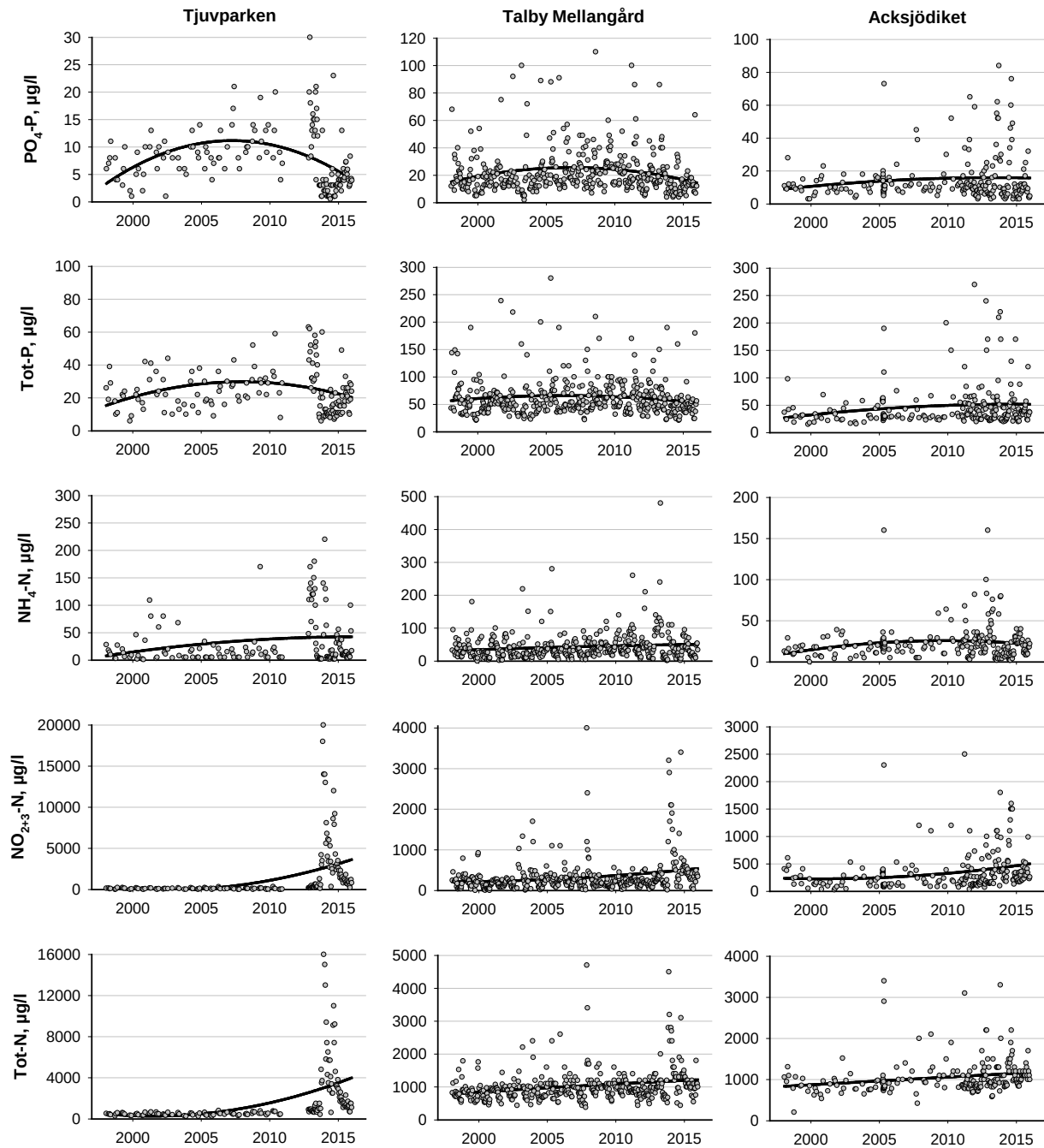
### Diagram, uppmätta halter i diken 1998-2015

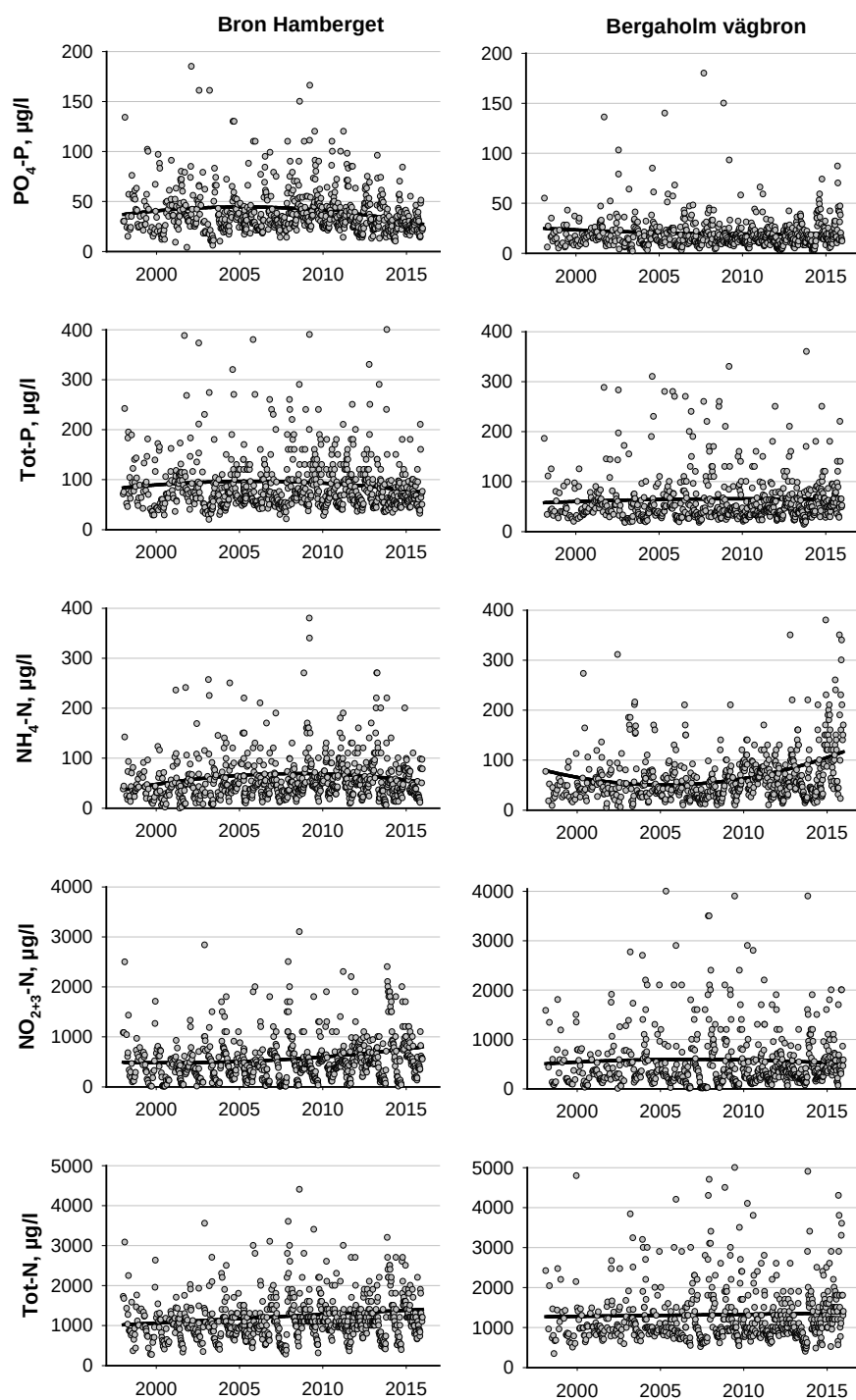
Trender är angivna med 2:a grads regressionslinjer

- 1 Efter E20-Salem
- 2 Utlopp Skårbydammen
- 3 Åkervägen
  
- 4 Golfbanan
- 5 Nedom Eksättra
- 6 Efter Lindensborg
  
- 7 Tjuvparken
- 8 Talby Mellangård
- 9 Acksjödiket
  
- 10 Bron Hamberget
- 11 Bergaholm vägbro









Stockholm Vatten är ett kommunalt bolag som producerar och levererar dricksvatten av hög kvalitet till över en miljon människor i Stockholmsområdet. Vi tar också hand om och renar det använda vattnet på bästa sätt för att skydda miljön. Vi sköter avfallshanteringen i Stockholm och ansvarar för att restprodukter från våra verksamheter återvinns i ett effektivt kretslopp.



Stockholm Vatten AB  
Tel 08-522 120 00  
[stockholmvatten@stockholmvatten.se](mailto:stockholmvatten@stockholmvatten.se)  
[www.stockholmvatten.se](http://www.stockholmvatten.se)  
*En del av Stockholms stad*