



Förändringar av halter och transporter av närsalter i flodvattennätet

av

Jens Fölster, Martin Erlandsson, Johan Temnerud

Institutionen för Miljöanalys
SLU
Box 7050
SE 750 07 Uppsala

Förändringar av halter och transporter av närsalter i flodvattennätet

av

Jens Fölster, Martin Erlandsson, Johan Temnerud

ISSN 1403-977X

Sammanfattning

- Tidsserier av närsalhalter i 46 flodmynningsstationer och 29 referensvattendrag inom den nationella miljöövervakningen studerades. I mynningsstationerna studerades även transporter. Analysen omfattade tidsperioden 1980-2004 och variablerna oorganiskt kväve (Oorg-N), totalkväve Tot-N), fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) och totalfosfor (Tot-P). Syftet var att studera förändringar av närsalhalter och transporter i vattendragen efter den stora reduktionen av punktutsläpp under 1970-talet.
- Totalhalten kväve har minskat sedan 1985, framförallt i Västerhavets avrinningsområde. Sedan 1994 kan dock inte konstateras någon trend i koncentrationerna för flodmynningarna. För referensvattendragen ser det annorlunda ut, med en uttalad topp i koncentrationer kring 1998. Totalkväve utgörs i de flesta fallen av organiskt bundet kväve, och halten styrs då av variationen av halten naturligt organiskt kol.
- Minskningar i Oorg-N (ammoniumkväve + nitratkväve) är tydliga för de jordbruksdominerade vattendragen i Skåne. I de övriga vattendragen är bilden mer diffus, men minskande trender är vanligare än ökade trender. Den flödesnormerade transporten av Oorg-N är signifikant minskande för två av recipienterna, Västerhavet och Norra Östersjön. Då dessa är dominerade av två större sjöar, Vänern respektive Mälaren, är det tänkbart att minskad direkt deposition av nitrat är orsaken till minskningen. Något generellt samband mellan sjöarea och minskande trender i Oorg-N kan dock inte synas, vare sig i flodmynningarna eller referensvattendragen. Minskningarna av OorgN var tydligast under maj-juni.
- Tot-P är minskande för i stort sett samtliga flodmynningar, och även för samtliga referensvattendrag. Minskningen är störst i norra Sverige, med signifikant minskande flödesnormerade transporter av Tot-P för Bottenhavet och Bottenviken. Under perioden 1992-2000 ökade även koncentrationen av naturligt organiskt kol generellt, vilket är en viktig transportör av fosfor, vilket alltså borde innebära en ökning även mängden Tot-P. Detta kan tyda på att sammansättningen av det organiska materialet förändrats under tidsperioden.
- Koncentrationen PO_4 1980-2004 beskriver en ”måsvingeform”, med toppar i början av perioden, i mitten (kring 1993) och i slutet. Förändringarna i PO_4 är svårtolkade, p.g.a. att halterna oftast är nära detektionsgränsen.
- Transporterna av närsalter minskar generellt sett till samtliga havsbassänger under perioden 1985-2004 med undantag för $\text{PO}_4\text{-P}$ som tenderade att öka. De flesta trenderna var inte signifikanta, men efter flödeskorrigering ökade signifikanserna. Transporterna av oorganiskt kväve minskade signifikant till Östersjön och Västerhavet. Även transporten av Tot-N minskade signifikant till Västerhavet. Transporten av $\text{PO}_4\text{-P}$ ökade till Västerhavet, medan den minskade något till Östersjön. Till Bottenviken, Bottenhavet och Norra Östersjön minskade totalfosfortransporterna.
- De minskande trenderna kan åtminstone i jordbruksdominerande vattendrag möjligen relateras till åtgärder inom jordbruket. I övriga vattendrag kan inga direkta orsaker till trenderna anges. För de minskande kvävetrenderna kan orsaker som minskad kvävedeposition, klimatförändringar och indirekt påverkan av den minskande svaveldepositionen nämnas vid sidan av den naturliga variationen.

1. Bakgrund

Belastningen av närsalter på våra hav och kustområden är ett av våra största miljöhot. Förhöjda halter av närsalter orsakar algbloomingar som kan vara giftiga i sig och som när de dör ger upphov till syrefria botten. I Västerhavet är det främst kväve som styr algproduktionen, medan i Östersjön är både kväve och fosfor betydelsefulla. Närsalthalterna i vattendragen är även en viktig del av livsbetingelserna för de vattenlevande organismer, främst makrofyter och påväxtalger.

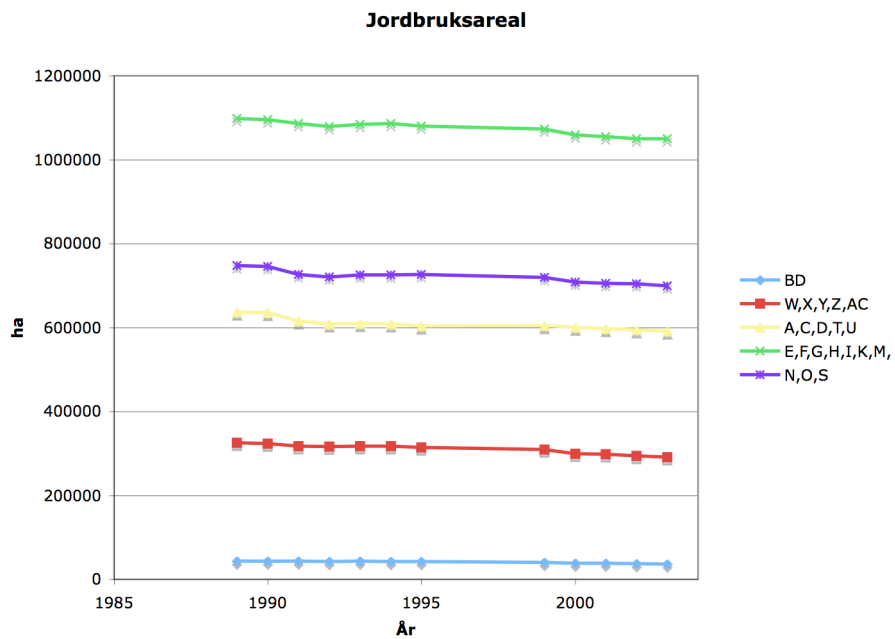
Regelbunden provtagning och analys av vattenkvalitet har förekommit i Sverige sedan 30-talet med syftet att kontrollera kvalitén på råvattnet till vattenverken (Cronström, 1986.). När Mälarundersökningen startade 1964 var även då ett av huvudsyftena att säkra dricksvattenkvalitén, men undersökningen hade även ett bredare vetenskapligt ekologiskt perspektiv (Willén, 2001). Tidigt utökades Mälarundersökningen med provtagning i sjöns tillflöden. Strax därefter startade det första permanenta landsomfattande programmet med kontinuerlig vattenkemisk provtagning i vattendrag (Odén och Ahl, 1970). Till att börja med omfattade programmet 15 stationer och efterhand utvidgades det till att idag omfatta c:a 48 mynningsstationer vilka avvattnar nästan hela Sveriges yta. Förutom mynningsstationer omfattar programmet även tillflödena till de stora sjöarna samt referensstationer liggande uppströms områden med punktutsläpp och jordbrukspåverkan. Flodvattennätet utgör ett viktigt underlag för miljömålsuppföljningen inom övergödning och metallpåverkan samt ingår i den internationella rapporteringen till HELCOM, OSPAR och EU.

Resultaten från miljöövervakningen under 60-talet låg till grund för besluten att minska utsläppen av fosfor från punktkällor t ex genom att införa fosforering i kommunala reningsverk. Effekten av åtgärderna kunde följas upp i övervakningsprogrammet och visade på en återhämtning från eutrofieringspåverkan, i många fall med varierande tidsfördröjning (Wilander och Persson, 2001). I en del vattendrag med stor sjöandel har minskade fosfathalter åtföljts av ökande kvävehalter (Stålnacke et al., 1999). Kväveökningen kan eventuellt relateras till en minskad kväveretention i sjöarna som följd av en minskad algproduktion efter de minskade fosforutsläppen.

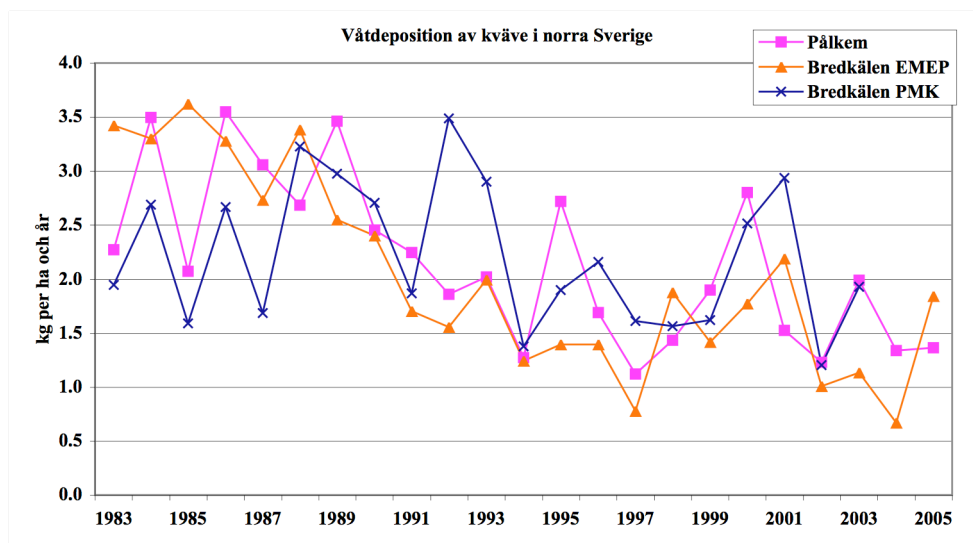
Efter en stor del av punktutsläppen har åtgärdats kvarstår läckaget från jordbruksmark som den största antropogena källan av närsalter till vattendragen. Omfattande åtgärder har därför genomförts för att minska näringsläckaget från jordbruksmarken. Det har också varit en trend mot minskad areal av jordbruksmark i hela landet (figur 1). En studie av trender i jordbruksdominerade vattendrag visade på tendenser till minskande trender av närsalter som kunde kopplas till åtgärder inom jordbruket (Ulén och Fölster, 2007).

Depositionen av nitrat och ammonium är idag flera gånger högre än bakgrundshalterna, med den högsta depositionen i södra Sverige (Naturvårdsverket, 2000). Depositionen har dock minskat de senaste decennierna (figur 2). Den största delen av kvävet faller på skogs och myrmark som är starkt kvävebegränsade. Det mesta av kvävet i depositionen fastläggs därför i marken. Det är bara efter avverkning som det sker ett ökat läckage från skogsmark. I avrinningsområden med en stor andel sjöar i avrinningsområdet kan även direktdepositionen på vattenytan vara betydande. Sjöar i avrinningsområdet har även betydelse för närsalthalterna i vattendragen genom den retention som sker.

Syftet med denna rapport är att studera förändringar i halter och transporter i vattendrag efter den stora reduktionen av punktutsläppen som genomfördes i början av 1970-talet. Studien omfattar både flodmynningar som påverkas av både naturliga processer och mänsklig påverkan och referensvattendrag som bara påverkas av naturliga processer och deposition.



Figur 1. Utvecklingen av jordbruksarealen i fem regioner i Sverige. Bokstäverna avser läns-koder.



Figur 2. Våtdeposition av kväve vid tre lokaler i Norrland. Data från IVL, Nede-bördskemiska nätet inom den nationella miljöövervakningen.

2. Metoder

2.1. Dataunderlaget

Avgränsning i tiden

Analysen omfattar tidsperioden 1980-2004. Avgränsningen bakåt i tiden gjordes för att se på förändringen efter de omfattande minskningarna av punktkällor av fosfor i början av 70-talet och efter den klimatomfattande dynamiska perioden i slutet av 70-talet. För två referensstationer i Klarälven och Dalälven presenteras även tidsserier från 1965-2005 för att sätta in förändringarna under den studerade perioden i ett längre tidsperspektiv.

Stationsurval

Tidsserierna består av månadsvis mätningar från 46 av våra största flodmynningar. Tidsserier finns från 1980 och framåt för 40 av de 46 vattendragen. De återstående är Stockholms Ström (1981-), Smedjeån (1983-), Alelyckan och Alsterån (1985-), Gothemsån (1987-) och Kävlingeån (1996-). Samtliga mätningar kommer från Institutionens flodmynningsprogram, med undantag för Stockholms Ström, där mätningarna 1981-1995 är utförda av Stockholm Vatten.

För att utröna hur den naturliga variationen i kväve- och fosforkoncentrationer spelar in studerades även tidsserier från 29 referensvattendrag opåverkade av jordbruk (med <2% jordbruksmark i avrinningsområdet). De flesta referensvattendragen har mätserier från 1985 och framåt, och har avrinningsområden av en storlek mellan 50 hektar och 22 000 km². De flesta referenserna är belägna i norra och mellersta delarna av landet.

Vattenkemiska variabler

De vattenkemiska parametrar som studerades var totalkväve (Tot-N), oorganiskt kväve (Oorg-N), totalfosfor (Tot-P) och fosfatfosfor (PO₄-P). Halten tot-N kan mätas med två olika metoder, antingen direkta mätningar med persulfat (tot-Nps), eller som summan av NO₂, NO₃ och Kjeldahl-N. I de fall där båda mätningar gjorts med båda metoderna har vi valt att använda summan av NO₂, NO₃ och Kjeldahl-N. Mot slutet av 2004 var det problem med analysen av tot-Nps vilket i vissa vattendrag kan ha orsakat för låga värden. Eftersom tot-Nps bara användes för ett fåtal referensstationer bedöms det inte ha påverkat den allmänna bilden. Oorg-N är summan av nitrit-, nitrat- och ammonium-kväve. I de flesta fall är nitrat den helt dominerande formen.

Tot-P är bestämt med persulfatmetoden och PO₄-P är mätt som molybdatreaktiv fosfor. För totalfosfor förekom ett analysfel under början av 1990-talet fram till juni 1996 (Sonesten och Engblom, 2001). Felet orsakade ett systematiskt absolut fel på 1,2 µg/l. Felet kan påverka trendanalyser i näringsfattiga vatten, men för mer näringsrika flodmynningar och för transporterna till havet saknar felet relevans.

Samtliga analyser är gjorda enligt standardmetoder. För mer information se ([http://info1.ma.slu.se/ma/www_ma.acgi\\$Analysis?ID=AnalysisList](http://info1.ma.slu.se/ma/www_ma.acgi$Analysis?ID=AnalysisList))

2.2. Statistiska metoder

LOESS

LOESS står för "Locally weighted scatter plot smooth", och är en metod för att jämna ut tidsserier (Cleveland, 1988). LOESS kan liknas med ett glidande medelvärde, men med fördelen att effekten av enstaka extrema värden jämnas ut. Vid LOESS beräknas för varje angiven tidpunkt en lokal regressionslinje. Vid varje LOESS-applikation anges ett "fönster", hur många av de omgivande mätpunkterna som ska användas i regressionen, vilket bestämmer graden av hur utjämnad tidsserien blir. I detta fall användes ett fönster på 0,75, d.v.s att 75 % av mätpunkterna inkluderas i varje lokal regression.

LOESS-anpassningarna har använts för att ange trendriktningen för de konstituenterna som undersökts. Vid varje tidpunkt har LOESS-kurvan en antingen positiv eller negativ lutning. Andelen vattendrag

som uppvisar en ökande/minskande trend av en viss konstituent vid en viss tidpunkt ger då en bild av den generella utvecklingen av trenden för populationen av vattendrag.

Seasonal Kendall och Theils

Trendanalyser gjordes på tidsserier 1994 – 2005. Analysen gjordes med icke-parametriska metoder för att undvika påverkan av enskilda extremvärden. Icke-parametriska metoder kräver inte heller att trenderna är linjära eller att variansen är konstant med tiden. Metoder valdes också så att säsongsvariationen hanterades på ett korrekt sätt. Det enda kravet som ställs på tidsserierna är att förändringen är monoton. Om tidsserien vid okulär bedömning visade sig inte vara monoton, d.v.s. omfattade både ökade och minskande trender, beräknades lutningen, men inget signifikanstest utfördes och förändringen betecknades som icke signifikant.

Lutningen beräknades med Theils slope (Helsel och Hirsch, 1992). Theils slope beräknas som medianvärdet av lutningen för samtliga parvisa linjer i tidsserien. I denna studie gjordes beräkningen av Theils slope enbart på värdepar från samma månad.

Trendernas statistiska signifikans beräknades med Seasonal.Kendall (Loftis et al, 1991).

Trendanalysen gjordes med excelmakrot SK_THEILS.xls.

Transportberäkningar

Vattenföringarna finns i regel som dygnsvärden eller veckovärden och vattenkemi som månadsvärden. Samtliga data linjärinterpolerades till dygnsvärde varpå dygnstransporter beräknades som halt multiplicerat med flöde. Transporterna räknades sedan ihop årsvis för vardera av de fem recipienterna Bottenviken, Bottenhavet, Norra Östersjön, Södra Östersjön samt Västerhavet, definierade enligt vattendistriktet. Transportberäkningar har utförts för perioden 1985-2005, med undantag för Södra Östersjön där beräkningarna skett för perioden 1987-2005, p.g.a att mätserien för Gothemsån påbörjades 1987. Kävlingeån (mätningar sedan 1996) inkluderades ej i transportberäkningarna.

Flödesnormering

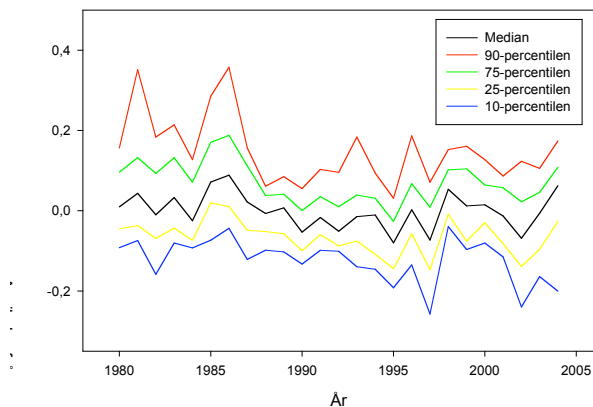
Transporterna flödesnormerades med en semiparametrisk modell (Stålnacke and Grimvall, 2001). Modellen normaliserar för den variation i transport som beror av variationen i flöde och tar hänsyn till säsongsvariationen. Sambandet mellan transport och flöde antas vara linjärt eller loglinjärt och konstant med tiden. Beräkningarna utfördes med programmet ”Flownorm”.

3. Resultat

3.1. Långsiktiga förändringar i halter

Tot-N – flodmynningar

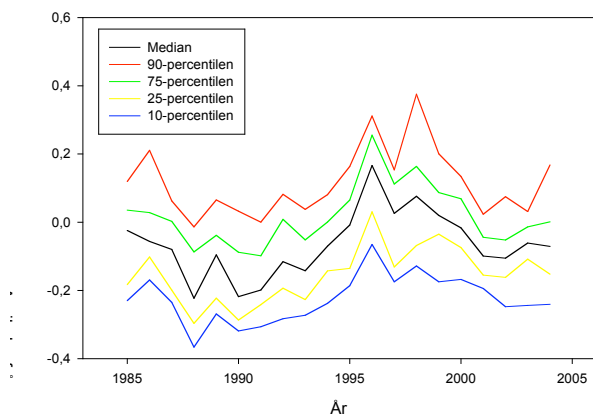
Halten tot-N är minskande i början av mätperioden, medan halterna är i stort sett konstanta från 1990 och framåt (figur 34). Mellanårsvariationen tycks vara något större än för Oorg-N.



Figur 3. Avvikelser från medelvärde för Tot-N för de 41 flodmynningarna med mätserier från 1981. Avvikelsen för det årliga medianvärdet från medelvärdet för hela tidsserien är beräknad för de 41 flodmynningarna. I figuren visas medianen, samt 10, 25, 75 och 90:e percentilen för populationen.

Tot-N – referensvattendrag

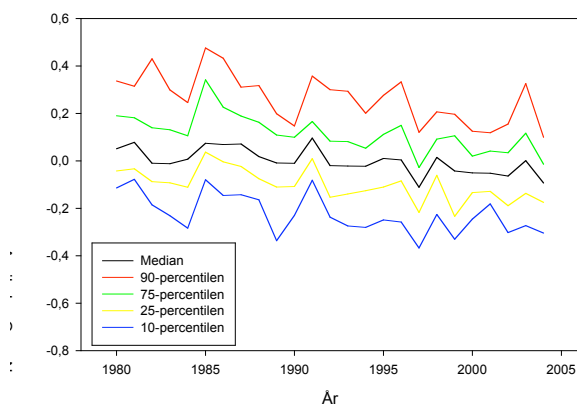
För referensvattendragen skiljer sig bilden av Tot-N betydligt från flodmynningarna (figur 4). Halterna ökar från 1988 för att nå en topp år 1998, därefter har halterna sjunkit något.



Figur 4. Avvikelser från medelvärde för Tot-N för 28 referensvattendrag med mätserier från 1986. Avvikelsen för det årliga medianvärdet från medelvärdet för hela tidsserien är beräknad för de 28 referensvattendragen. I figuren visas medianen, samt 10, 25, 75 och 90:e percentilen.

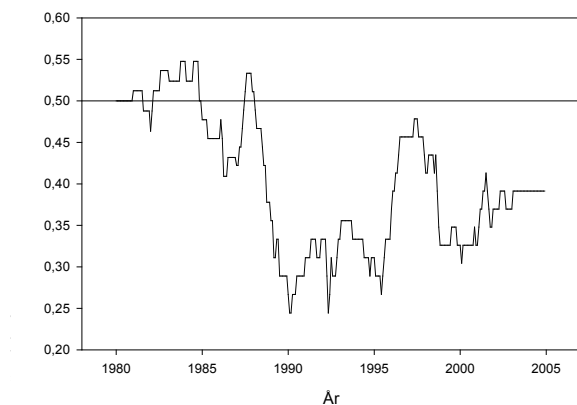
Oorg-N - flodmynnningar

Oorganiskt kväve uppvisar relativt små variationer tidsperioden 1980-2004 (figur 5). År med låga halter är 1984, 1989-1990 och 1997. År med höga halter är 1985, 1991 och 2003. Generellt sett pekar trenderna monotont men svagt nedåt.



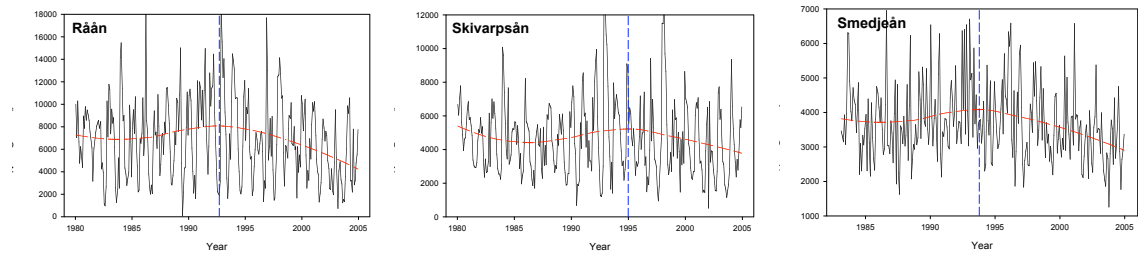
Figur 5. Avvikelse från medelvärde för Oorg-N för de 41 flodmynnningarna med mätserier från 1981. Avvikelsen för det årliga medianvärdet från medelvärdet för hela tidsserien är beräknad för de 41 flodmynnningarna. I figuren visas medianen, samt 10, 25, 75 och 90:e percentilen.

Betraktar man trendriktningen i Oorg-N för flodmynnningarna så ser man en tendens mot en större andel minskande trender (figur 6). Perioden 1980-1988 uppvisar ungefär lika många stationer sjunkande som stigande halter. Från 1989 och framåt har en ganska knapp majoritet av stationerna haft sjunkande trender.



Figur 6. Andel av de 46 flodmynnningarna med ökande trend i Oorg-N, 1980-2005, definierat enligt LOESS-anpassningar av tidsserierna.

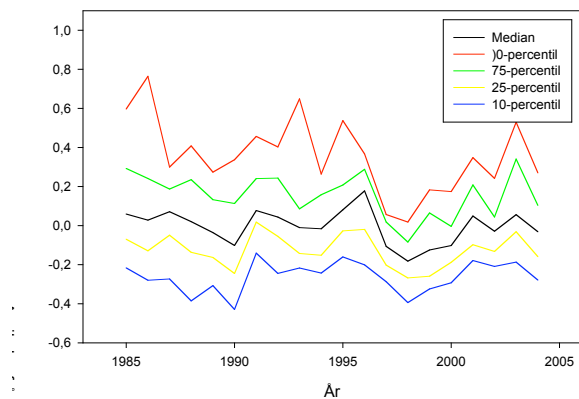
De enskilda vattendrag som sticker ut vad gäller trenden i Oorg-N är de 5 skånska jordbruksdominerade vattendragen. Dessa uppvisar maxima kring år 1994, och därefter sjunkande trender. Råån, Skivarpsån och Smedjeån har alla lokala maxima någon gång mellan 1993 och 1995 (figur 7). Rönneån har konstanta halter och börjar sjunka runt 1997. Kävlingeån saknar mätningar innan 1996, men sjunker efter 1998. Den sjätte jordbruksdominerade ån, Gothemsån på Gotland, visar däremot inget tydligt maximum.



Figur 78. Oorg-N för Råån, Skivarsån och Smedjeån, med maxima runt 1993, 1995 resp. 1994.

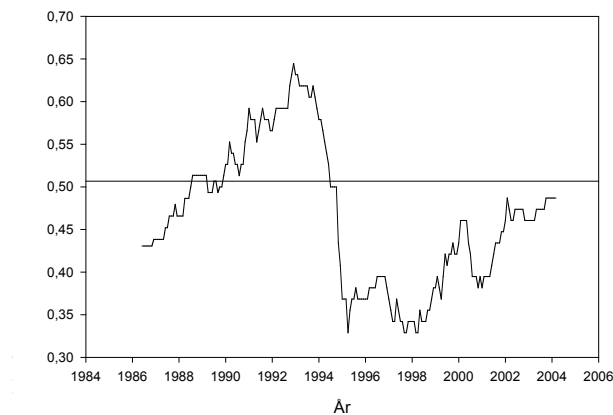
Oorg-N - referensvattendrag

Liksom för flodmynningarna är trenden för Oorg-N i referensvattendragen svagt sjunkande under perioden, dock med betydligt större mellanårsvariation (Figur 8). Man kan möjligen skönja två perioder i en cykel, med höga koncentrationer runt åren 1985, 1993-1995 och 2003, och låga koncentrationer kring 1990 och 1998.



Figur 8. Avvikelser från medelvärde för Oorg-N för 28 referensvattendrag med mätserier från 1986. Avvikelsen för det årliga medianvärdet från medelvärdet för hela tidsserien är beräknad för de 28 referensvattendragen. I figuren visas medianen, samt 10, 25, 75 och 90:e percentilen.

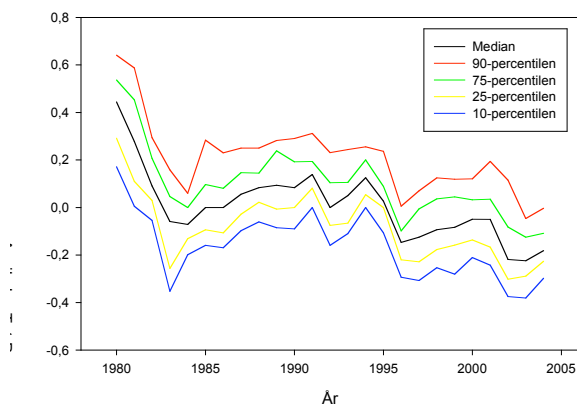
Studerar man trendriktningarna syns samma cykliska mönster, med ett abrupt skifte från stigande till sjunkande trender kring år 1994 (figur 9).



Figur 9. Andel av de 29 referensvattendragen med ökande trend i Oorg-N, 1985-2005, definierat enligt LOESS-anpassningar av tidsserierna.

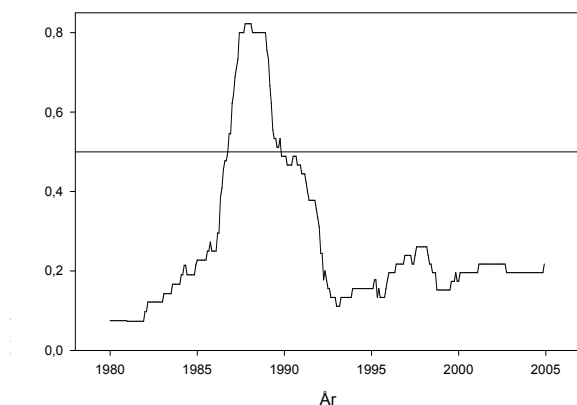
Tot-P flodmynningar

Totalfosforhalten är relativt sett mycket höga i början av tidsserien (1980), för att sedan sjunka till kraftigt till 1983 (figur 10). Därefter är halterna konstanta 1985-1994, och sedan åter en tydlig nedgång kring 1995. År med låga halter är 1983-1984, 1996-1997 och 2002-2003. År med höga halter är 1980-1981, 1994 samt 2000-2001. Den stegvisa minskningen 1996 kan till viss del bero på det analysfel som åtgärdades det året.



Figur 10. Avvikelse från medelvärde för Tot-P för de 41 flodmynningarna med mätserier från 1981. Avvikelsen för det årliga medianvärdet från medelvärdet för hela tidsserien är beräknad för de 41 flodmynningarna. I figuren visas medianen, samt 10, 25, 75 och 90:e percentilen.

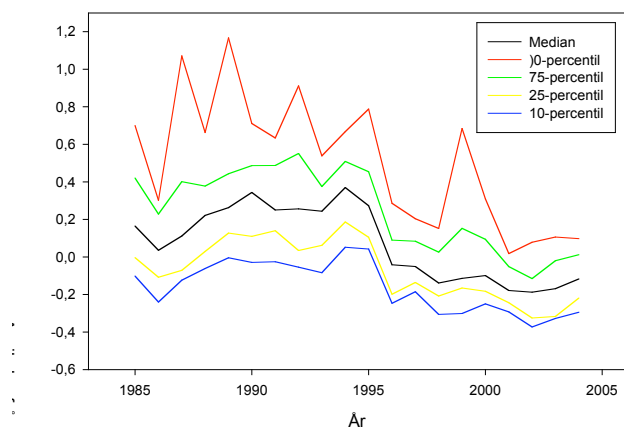
Riktningen i trenderna för de enskilda vattendragen är i regel negativ för en majoritet av stationerna för hela den studerade tidsperioden (figur 11). Dock med undantag för perioden 1986-1989, då en klar majoritet av flodmynningarna hade ökande trender i Tot-P.



Figur 11. Andel av de 46 flodmynningarna med ökande trend i Tot-P, 1980-2005, definierat enligt LOESS-anpassningar av tidsserierna.

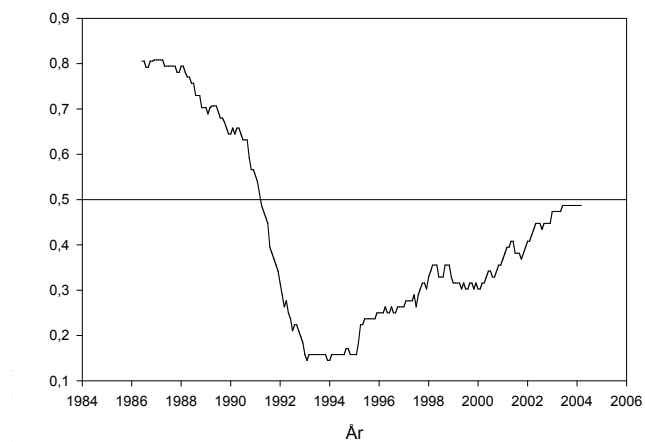
Tot-P - referensvattendrag

Referensvattendragen uppvisar i stora drag samma trendutveckling för Tot-P som flodmynningarna (figur 12). En svag uppgång under den senare halvan av 80-talet, sedan en kraftig minskning kring 1995. Den stegvisa minskningen 1996 kan till viss del bero på det analysfel som åtgärdades det året.



Figur 12. Avvikelser från medelvärde för Tot-P för 28 referensvattendrag med mätserier från 1986. Avvikelsen för det årliga medianvärdet från medelvärdet för hela tidsserien är beräknad för de 28 referensvattendragen. I figuren visas medianen, samt 10, 25, 75 och 90:e percentilen.

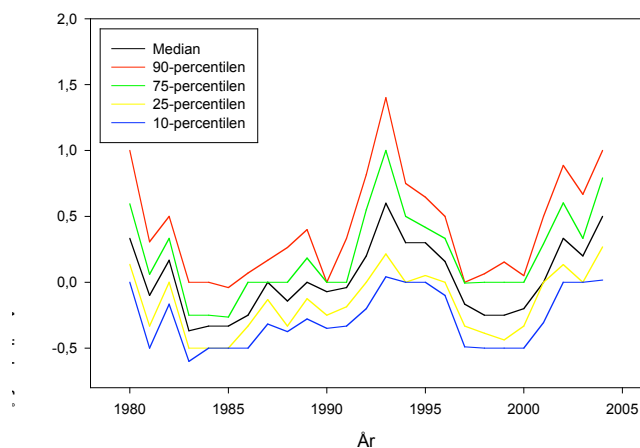
Även riktningen i trenderna är densamma hos referensvattendragen (figur 13). En skillnad är att i referensvattendragen tycks det återigen gå mot ökande trender i halterna av Tot-P.



Figur 13. Andel av de 29 referensvattendragen med ökande trend i Tot-P, 1985-2005, definierat enligt LOESS-anpassningar av tidsserierna.

PO₄ – flodmynningar

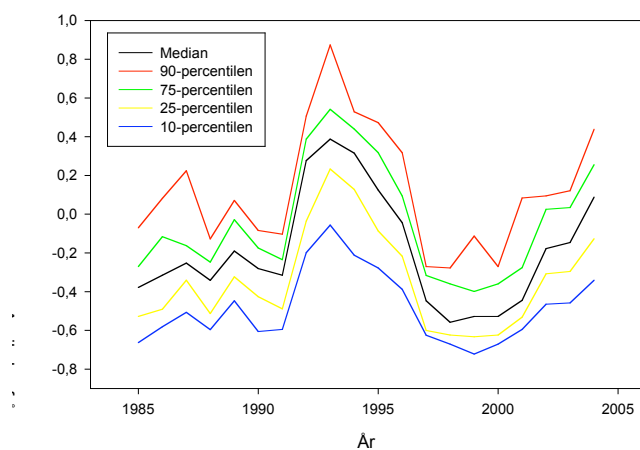
Fosfathalterna uppvisar ett cykliskt mönster för mätperioden (figur 14). Frekvensen tycks vara runt 12 år, och under perioden kan två fullbordade cykler synas. Toppar i fosfathalten finns i början av perioden kring 1980, runt år 1993, samt i slutet av perioden kring år 2004.



Figur 14. Avvikelser från medelvärde för PO₄ för de 41 flodmynningarna med mätserier från 1981. Avvikelsen för det årliga medianvärdet från medelvärdet för hela tidsserien är beräknad för de 41 flodmynningarna. I figuren visas medianen, samt 10, 25, 75 och 90:e percentilen.

PO₄ – referensvattendrag

Fosfathalten i referensvattendragen uppvisar exakt samma mönster som för flodmynningarna (figur 15). Det bör understrykas att fosfathalterna är mycket låga för referensvattendragen, ofta nära detektionsgränsen på 1 µg/l.

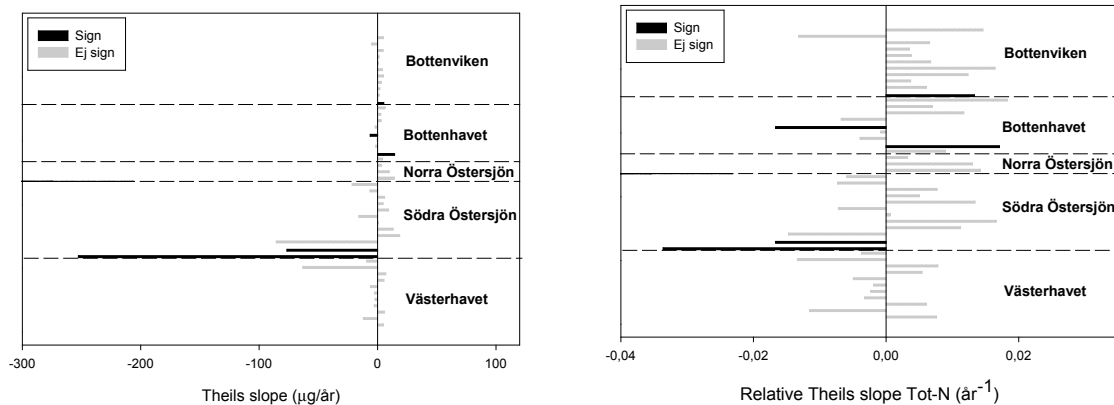


Figur 15. Avvikelser från medelvärde för PO₄ för 28 referensvattendrag med mätserier från 1986. Avvikelsen för det årliga medianvärdet från medelvärdet för hela tidsserien är beräknad för de 28 referensvattendragen. I figuren visas medianen, samt 10, 25, 75 och 90:e percentilen.

3.2. Trendtest med Seasonal-Kendall och Theils slope

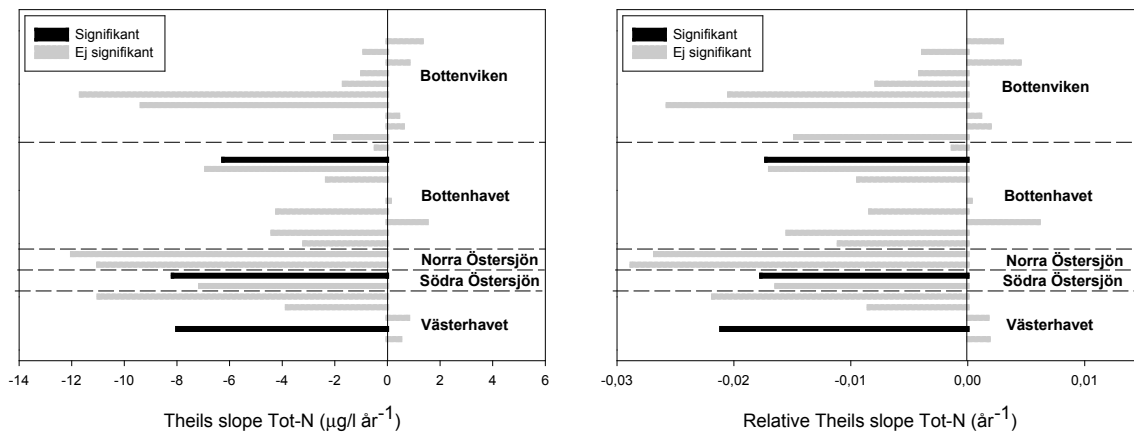
Tot-N

För tot-N i flodmyningarna är trenden oftast minskande under perioden 1994-2004 (figur 16). När det gäller signifikanta trender finns det dock 3 negativa jämfört med 2 positiva. Positiva trender tycks vara vanligare i Norrland än i södra Sverige.



Figur 16. Theils slope för Tot-N för de 46 flodmyningarna, perioden 1994-2005, absolut t.v., relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend.

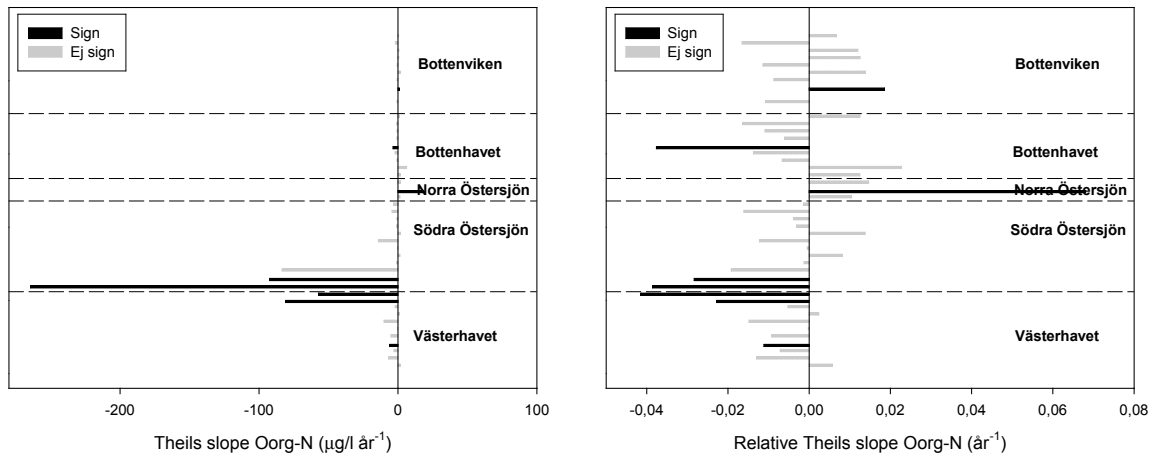
Referensvattendragen skiljer sig som tidigare påpekats från flodmyningarna. Eftersom halterna hade ett maximum kring 1998, och därefter sjunkande, blir trenderna för perioden 1994 - 2005 oftast negativa (figur 17).



Figur 17. Theils slope för Tot-N för de 29 referensvattendragen, perioden 1994-2005, absolut t.v., relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend.

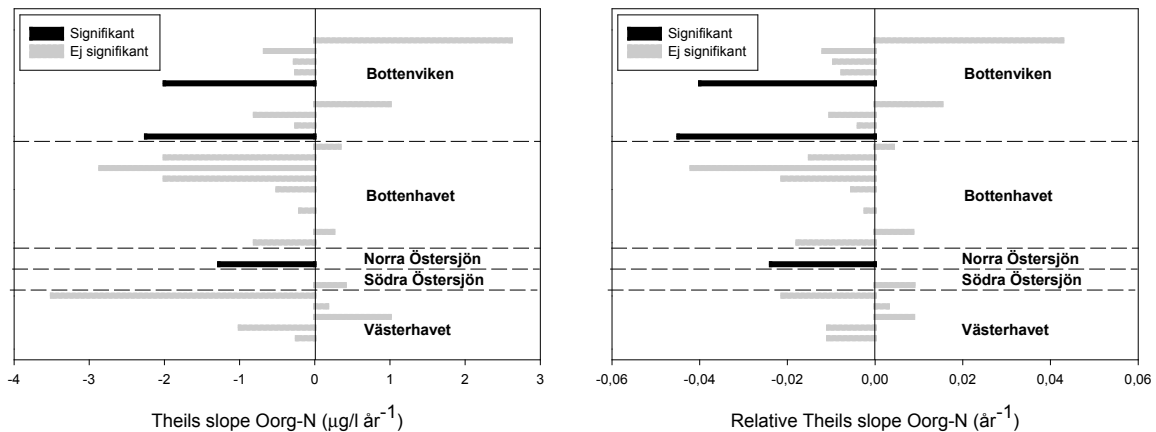
Oorg-N

Sex av flodmynningarna har en signifikant minskning i Oorg-N. Två av flodmynningarna har en signifikant ökning för perioden 1994-2005 (figur 18). I absoluta tal är minskningen klart störst för de skånska jordbruksåarna. De två andra stationerna med signifikant minskning är Göta Älv och Ljungan. Den största relativa förändringen är dock ökningen för stationen Stockholms Ström. Även Kvistforsen har en signifikant ökning.



Figur 18. Theils slope för Oorg-N för de 46 flodmynningarna, perioden 1994-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend.

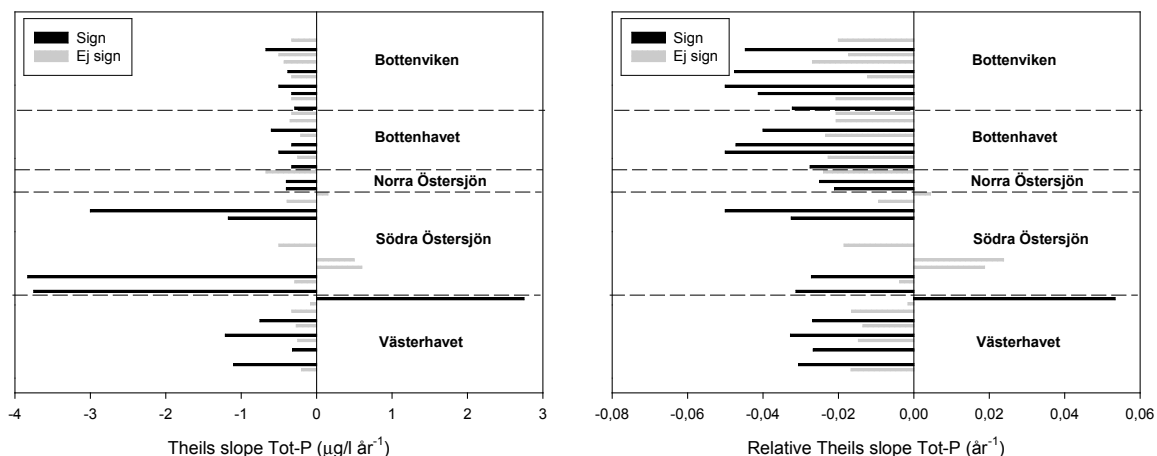
För referensvattendragen är bilden ungefär likadan (figur 19). Tre av 29 vattendrag har en signifikant minskning av Oorg-N under perioden 1994-2005. En del vattendrag uppvisar ökande trender, men inte signifikant i något fall. Många av referensvattendragen uppvisar icke-monotona trender, men minskande halter i början av perioden och ökande i slutet.



Figur 19. Theils slope för Oorg-N för de 29 referensvattendragen, perioden 1994-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend.

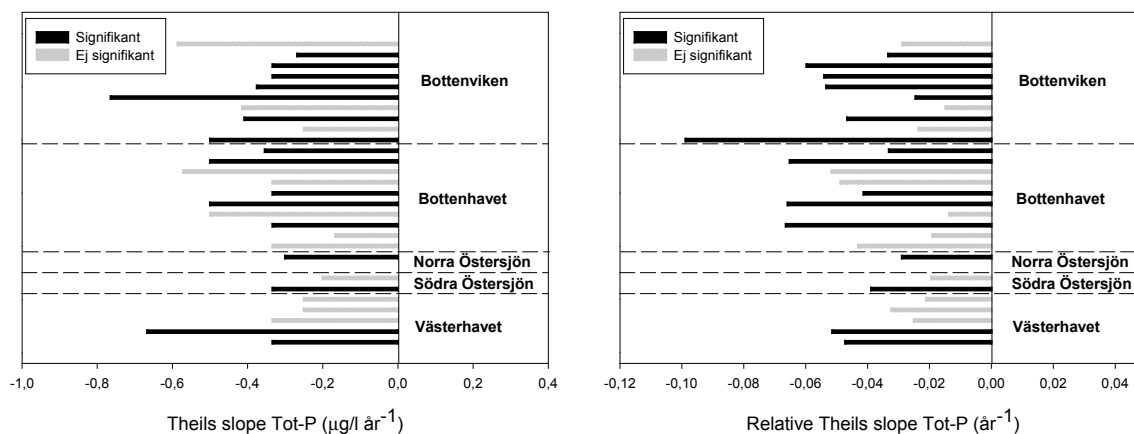
Tot-P

För Tot-P är trenden minskande för nästan samtliga flodmynningar för perioden 1994-2005 (figur 20). För 19 av stationerna är trenden signifikant negativ. För en station är den signifikant positiv. Tydligast är den negativa trenden för flodmynningarna norr om Dalälven, samt flodmynningarna i Västerhavet. Det enda undantaget är Rönneån, en av de skånska jordbruksåarna, som har en kraftig signifikant ökning.



Figur 20. Theils slope för Tot-P för de 46 flodmynnigarna, perioden 1994-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend.

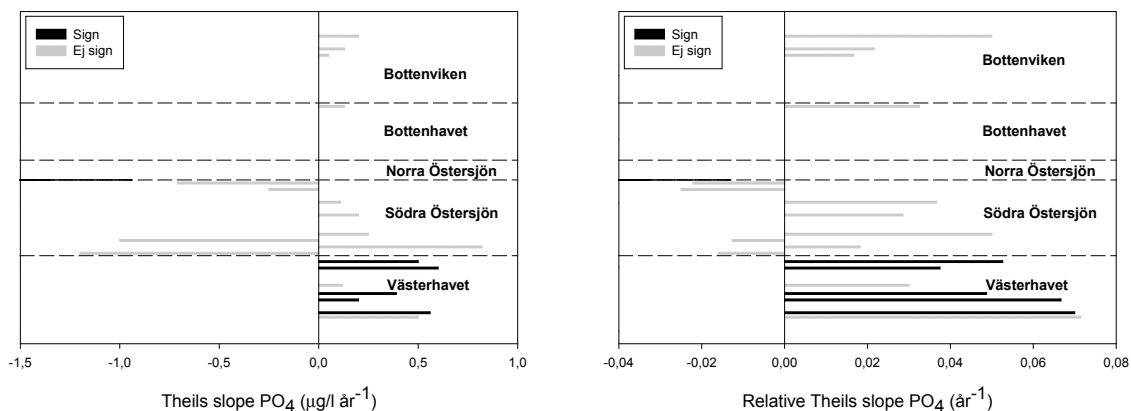
För referensvattendragen är trenderna för Tot-P minskande i samtliga fall (figur 21). För 16 av vattendragen är minskningen signifikant.



Figur 21. Theils slope för Tot-P för de 29 referensvattendragen, perioden 1994-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend.

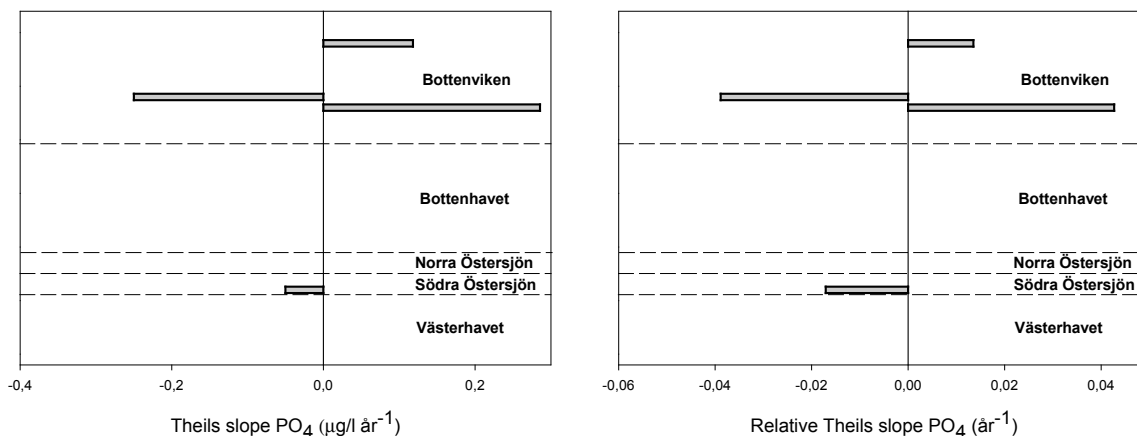
PO₄

För flodmyningarna finns signifikant positiva trender för PO₄ i södra och västra Sverige, i Västerhavets avrinningsområden (figur 22). Theils slope är oftast positiv, men trenderna 1994-2004 är sällan monotona.



Figur 22. Theils slope för PO₄ för de 46 flodmyningarna, perioden 1994-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend.

Referensvattendragen uppvisade i de flesta fallen inga trender och inga förändringar var signifikanta (figur 23). Många av tidsserierna uppvisar lokala maxima eller minima under perioden. Trenderna är därmed inte monotona och värdet av analysen är tveksamt. Dessutom ligger de flesta fosfathalterna mycket nära detektionsgränsen på 1 µg/l vilket gör resultaten osäkra.

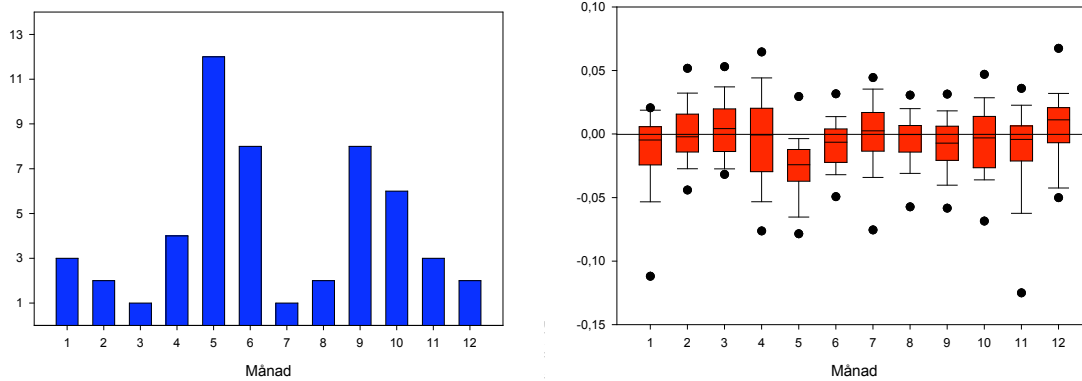


Figur 23. Theils slope för PO₄ för de 29 referensvattendragen, perioden 1994-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend.

3.3. Säsongsvariationen

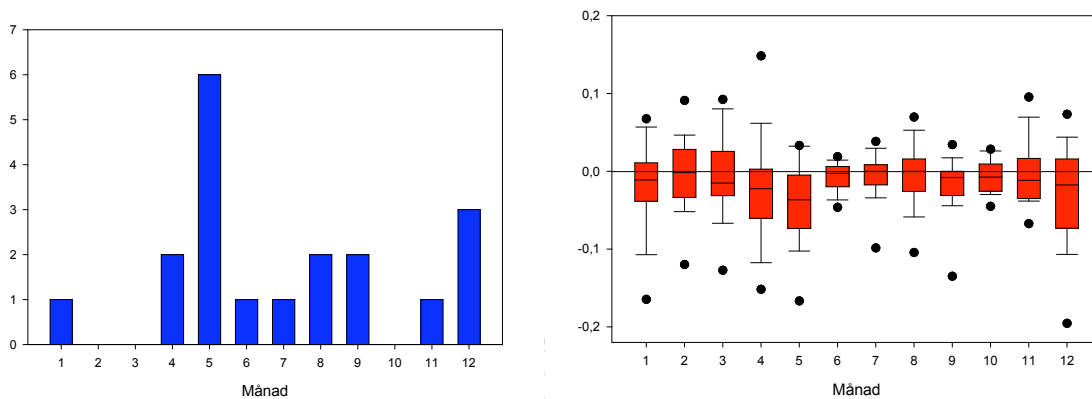
Oorg-N

Om man bryter ned trenderna till enskilda månader är det främst på senkvåren/försommaren man finner signifikanta minskningar av Oorg-N. Framför allt uppvisar maj månad de största trenderna (figur 24). För de 5 flodmynningar med signifikant negativ trend är trenderna signifikant minskande för maj och juni för 4 av de 5 stationerna. Även lutningarnas storlek är lägst för maj månad.



Figur 24. Säsongsvariationer i trenderna. T.v antal flodmynningsstationer med minskande trend i Oorg-N för varje månad. T.h distributionen av Theils slope månadsvis för Oorg-N för de 46 flodmynningsstationerna.

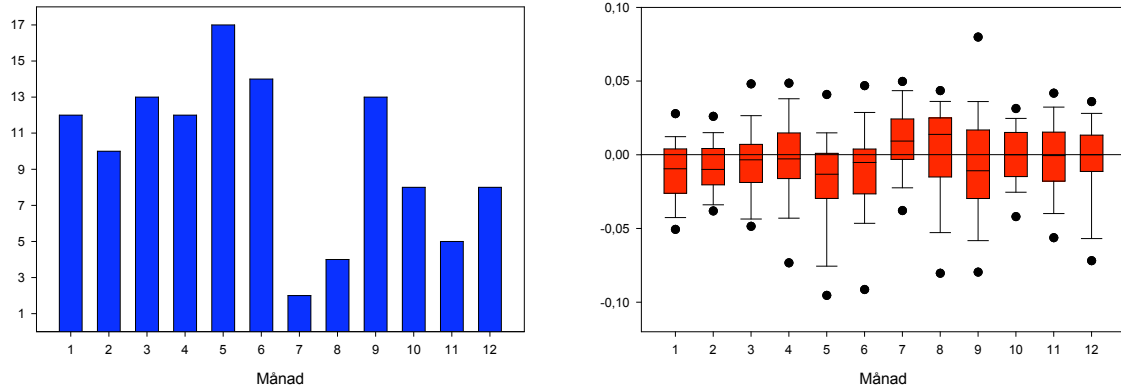
Även i referensvattendragen förekom de flesta signifikanta trenderna i maj månad och även tredernas storlek var störs då (figur 25).



Figur 25. Säsongsvariationer i trenderna. T.v antal referensvattendrag med minskande trend i Oorg-N för varje månad. T.h distributionen av Theils slope månadsvis för Oorg-N för de 29 referensvattendragen.

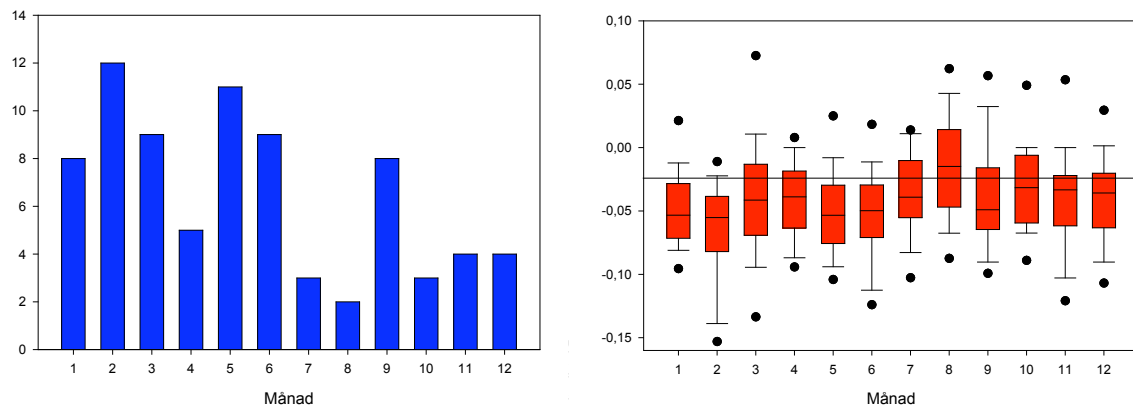
Tot-P

Även för Tot-P är det för maj månad som minskande trender är vanligast, dock inte lika tydligt som för kväve (figur 26). Minskande trender förekommer mer under första halvan av året. Juli och augusti avviker från det generella mönstret genom relativt få signifikant minskande trender.



Figur 26. Säsongsvariationer i trenderna. T.v antal flodmynningsstationer med minskande trend i Tot-P för varje månad. T.h distributionen av Theils slope månadsvis för Tot-P för de 46 flodmynningsstationerna.

För referensvattendragen är de säsongsvisa trenderna i Tot-P liknande som för flodmyningarna med undantag för ett stort antal signifikanta minskningar i februari (figur 27).



Figur 27. Säsongsvariationer i trenderna. T.v antal referensvattendrag med minskande trend i Tot-P för varje månad. T.h distributionen av Theils slope månadsvis för Tot-P för de 29 referensvattendragen.

3.4. Transporter

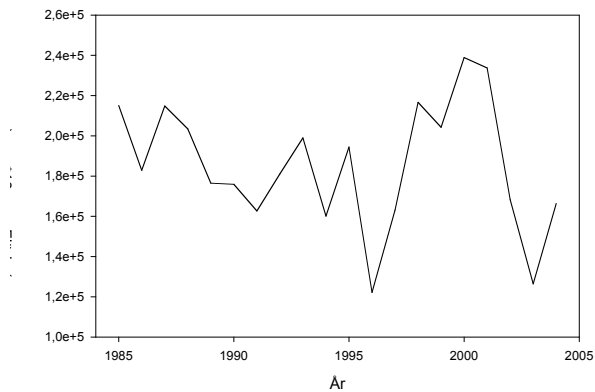
Transporter beräknades från 1985-2004 separat för de 5 recipienterna Bottenviken, Bottenhavet, Norra Östersjön, Södra Östersjön, samt Västerhavet. Gothemsån och Kävlingeån, där mätningarna startade 1987 respektive 1996, uteslöts ur beräkningarna.

Transporter av Oorg-N och Tot-P

Båda kväve och fosfor-transporterna tycks minska under perioden, men mellanårsvariationerna är mycket stora (figur 28). Det kan konstateras att transporterna i mycket hög grad är flödesstyrda (figur 29).

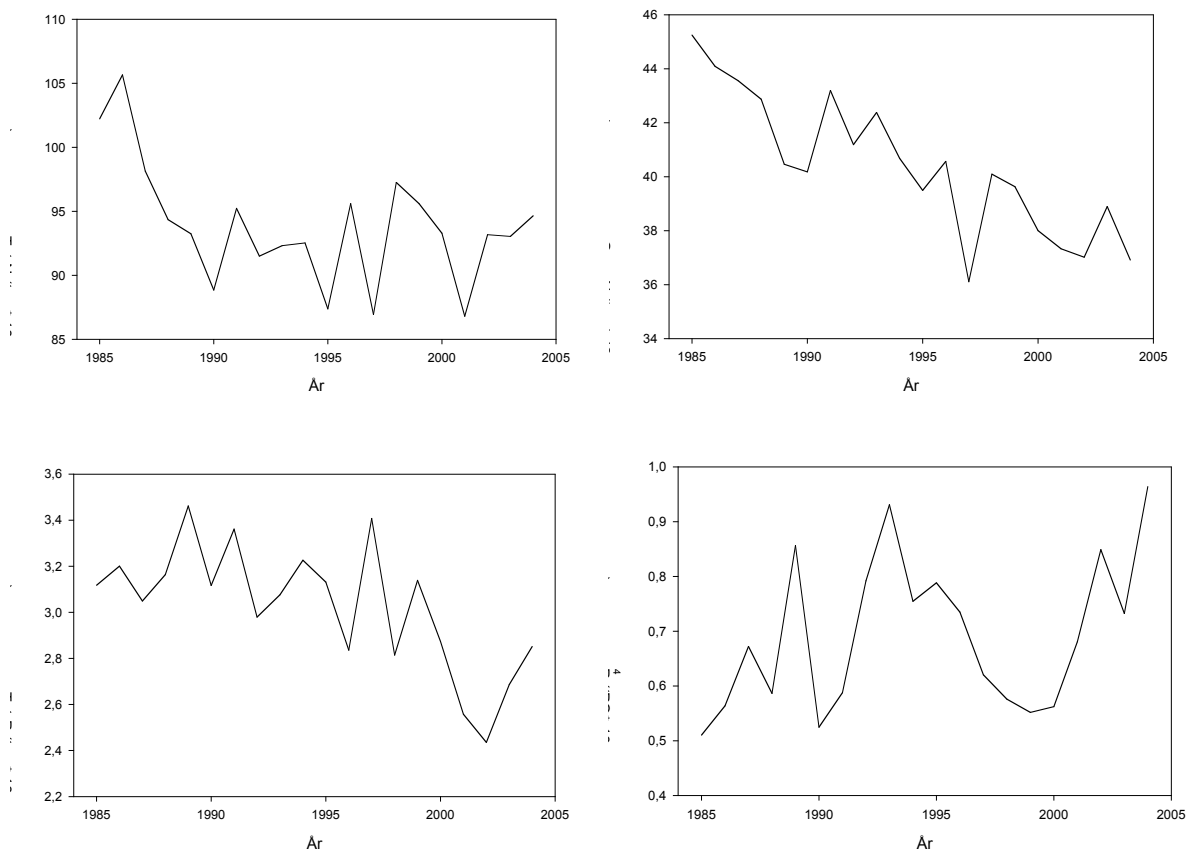


Figur 28. Total transport till havet från 44 flodmynningar av kväve (total och oorganisk) till vänster och fosfor (total och fosfat) till höger.



Figur 29. Summan av samtliga flöden under perioden 1987-2004.

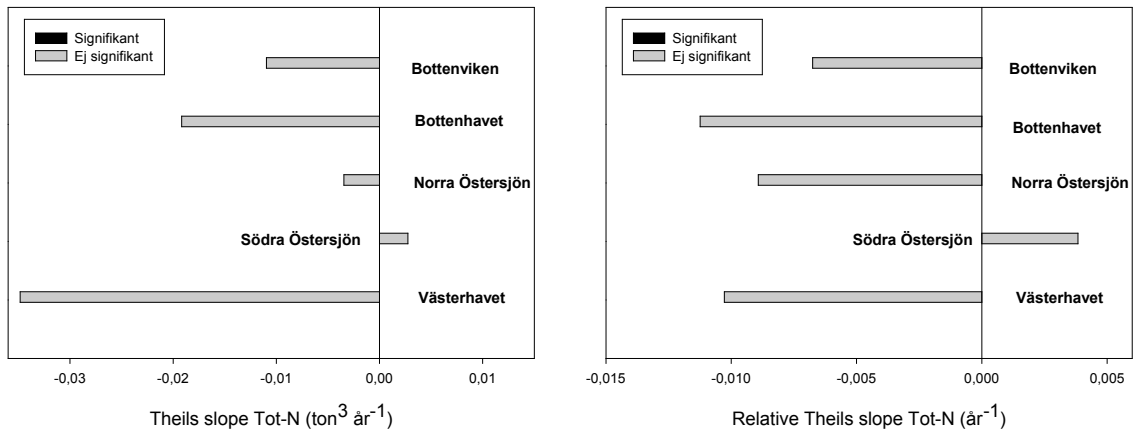
En flödesnormering av transportererna ger en annan bild, med en tydlig minskning av transportererna av Oorg-N och Tot-P. Tot-N minskar kraftigt 1986-1990 för att sedan vara konstant (figur 30). PO_4 är däremot ökande.



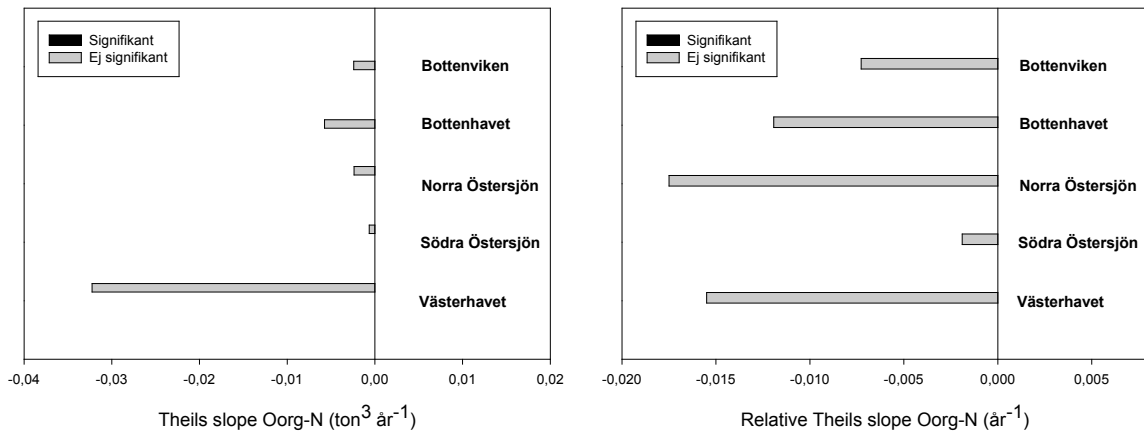
Figur 30. Total flödesnormerad transport av Tot-N (övre t. vänster), Oorg-N (övre t. höger), Tot-P (undre t. vänster) och $\text{PO}_4\text{-P}$ (undre t. höger) till havet från 44 flodmynningar.

Trendtest av transportererna

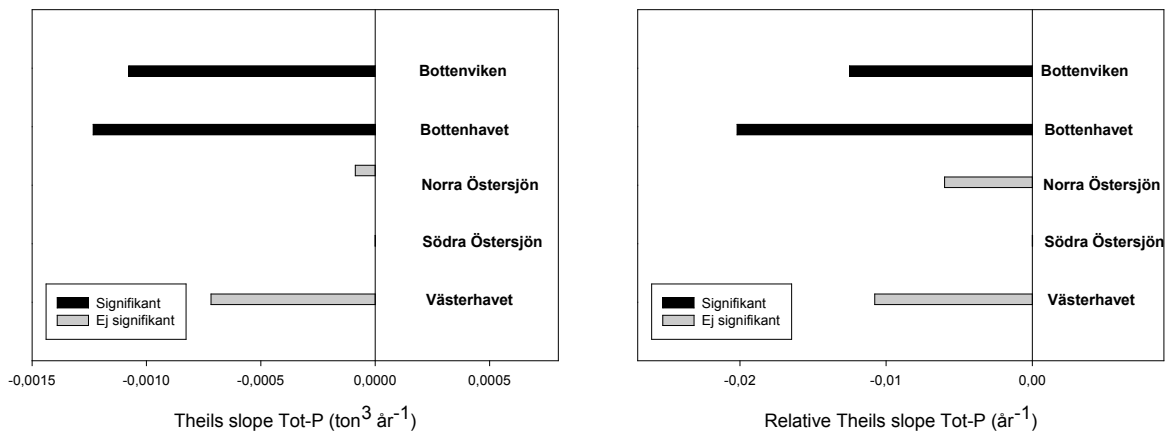
Flodmynningarna delades upp efter fem olika recipienter, Bottenviken, Bottenhavet, norra och södra Östersjön samt Västerhavet. För kväve finns inga signifikanta trender. De är dock i samtliga fall minskande för både Oorg-N och tot-N, med undantag för tot-N i Södra Östersjön (figurer 31, 32). För tot-P är trenden signifikant minskande för Bottenviken och Bottenhavet, medan den är signifikant ökande för PO_4 i Västerhavet (figurer 33, 34). Trenderna är dock minskande för både Oorg-N och Tot-P för samtliga recipienter, utom Oorg-N för Södra Östersjön. Trenden för Tot-P är minskande för samtliga recipienter, medan den är ökande för PO_4 för samtliga recipienter utom Norra Östersjön.



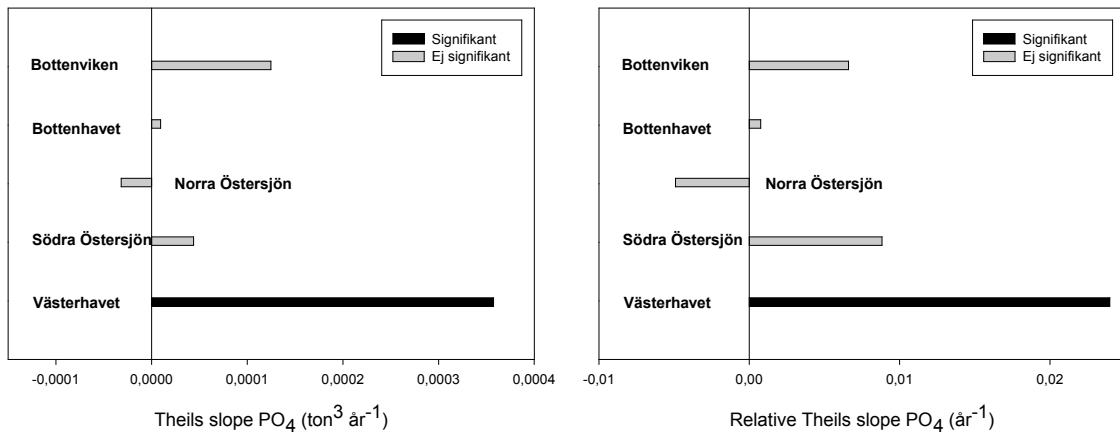
Figur 31. Theils slope för transport av Tot-N för de 5 recipienterna, perioden 1985-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend



Figur 32. Theils slope för transport av Oorg-N för de 5 recipienterna, perioden 1985-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend.



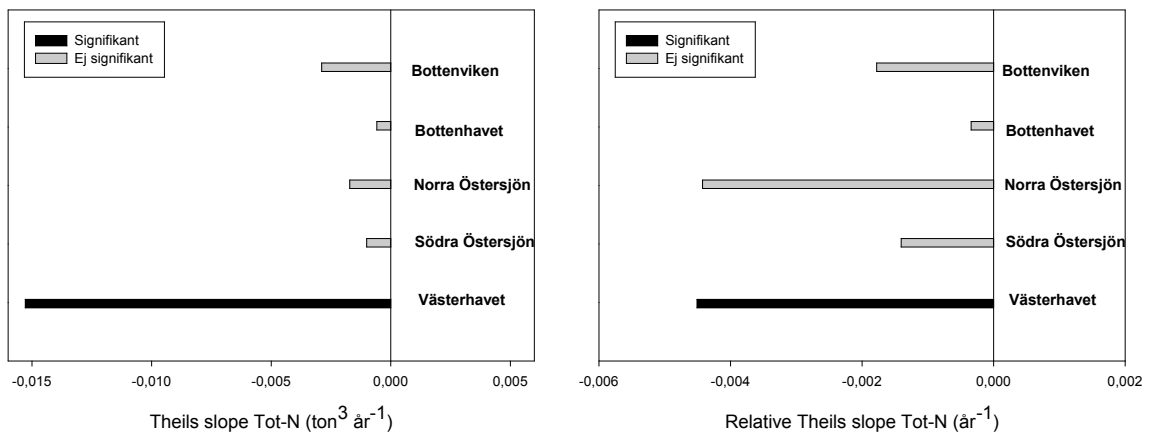
Figur 33. Theils slope för transport av Tot-P för de 5 recipienterna, perioden 1985-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend.



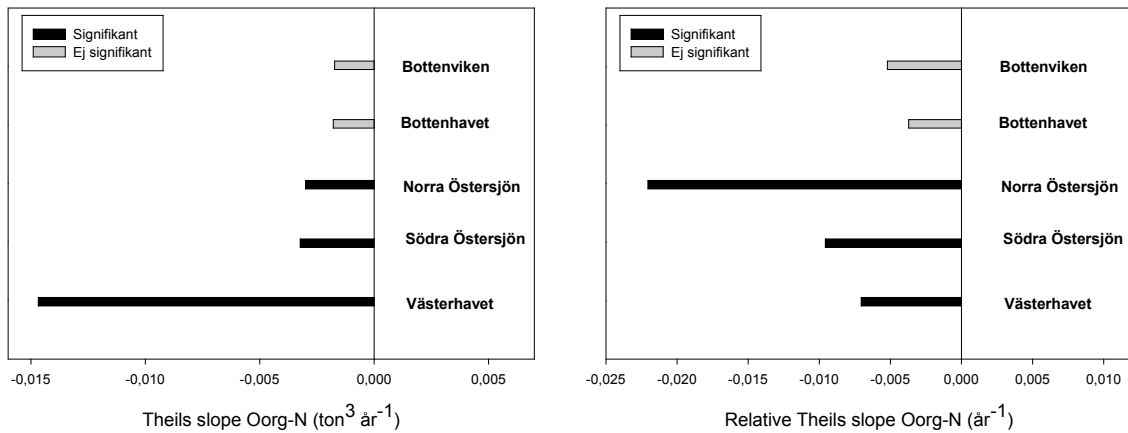
Figur 34. Theils slope för transport av PO₄-P för de 5 recipienterna, perioden 1985-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend

Trendtest efter flödesnormering

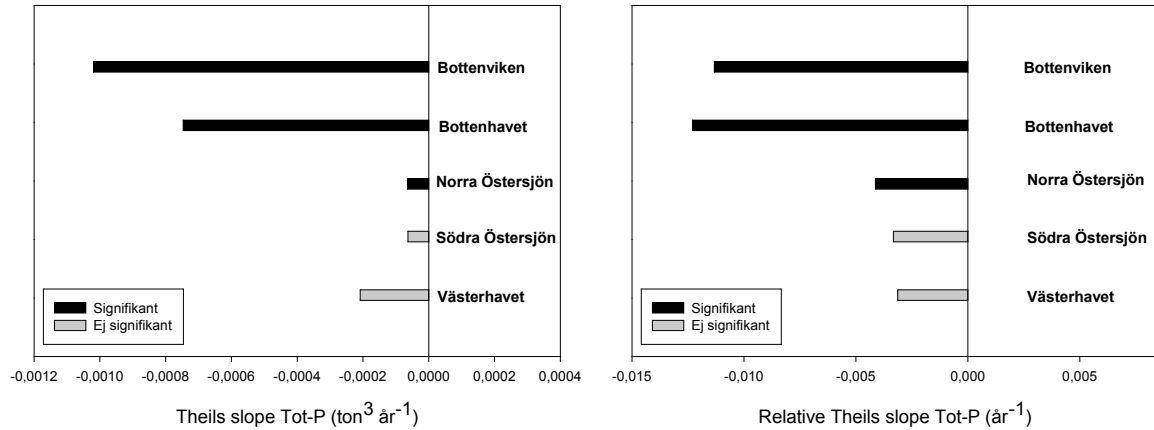
Efter flödesnormering är trenderna för transporter av Oorg-N Tot-N och Tot-P negativa för samtliga recipienter (figurer 35, 36, 37). För Oorg-N är trenden signifikant för Norra Östersjön, Södra Östersjön och Västerhavet, i absoluta tal störst för Västerhavet, i relativa störst för Norra Östersjön. För Tot-N är den signifikant endast för Västerhavet. För Tot-P är trenderna signifikanta för Bottenviken och Bottenhavet samt för Norra Östersjön, störst i Bottenviken och Bottenhavet i både relativa och absoluta tal. PO₄ har ökande trender, signifikant endast för Västerhavet, men undantag för Norra Östersjön där trenden är signifikant minskande (figur 38).



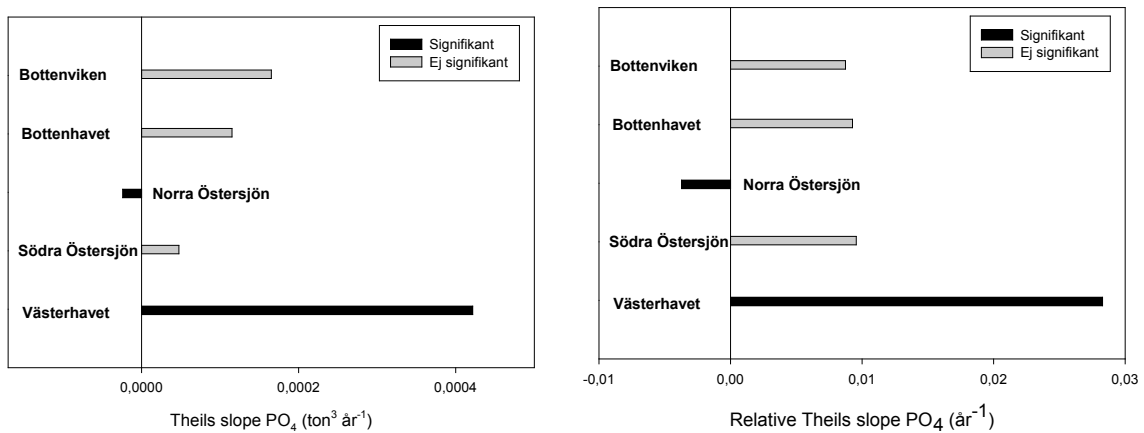
Figur 35. Theils slope för flödesnormerad transport av Tot-N för de 5 recipienterna, perioden 1985-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend



Figur 36. Theils slope för flödesnormerad transport av Oorg-N för de 5 recipienterna, perioden 1985-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend



Figur 37. Theils slope för flödesnormerad transport av Tot-P för de 5 recipienterna, perioden 1985-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend



Figur 38 Theils slope för flödesnormerad transport av PO₄-P för de 5 recipienterna, perioden 1985-2005, absolut t.v, relativ t.h. Svarta staplar indikerar signifikant trend enligt test med Seasonal Kendall, gråa staplar indikerar icke-signifikant eller icke-monoton trend

Avslutande kommentarer

Organiskt material

Variationen i halterna organiskt material har stor betydelse för att förklara variationen i Tot-N och Tot-P. Halten av organiskt material uppvisar en stor naturlig variation som främst styrs av väderförhållanden och klimatets svängningar. Halten av organiskt material påverkas också av försurningen så att halterna minskade under den tilltagande försurningen för att sedan minska under återhämtningen (Erlandsson m.fl., 2007).

Tot-N

Totalhalten kväve har minskat sedan 1985, framförallt i Västerhavets avrinningsområde. Sedan 1994 kan dock inte konstateras någon trend i koncentrationerna för flodmynningarna. För referensvattendragen ser det annorlunda ut, med en uttalad topp i koncentrationer kring 1998. Totalkväve utgörs i de flesta fallen av organiskt bundet kväve, och halten styrs då av variationen av halten naturligt organiskt kol.

Oorg-N

Minskningar i Oorg-N är tydliga för de jordbruksdominerade vattendragen i Skåne. I de övriga vattendragen är bilden mer diffus, men minskande trender är vanligare än ökande trender. Den flödesnormerade transporten av Oorg-N är signifikant minskande för två av recipienterna, Västerhavet och Norra Östersjön. Då dessa är dominerade av två större sjöar, Vänern respektive Mälaren, är det tänkbart att minskad direkt deposition av nitrat eller en ökad retention i sjöarna är orsaken till minskningen. Något generellt samband mellan sjöarea och minskande trender i Oorg-N kan dock inte synas, vare sig i flodmynningarna eller referensvattendragen.

Det kan noteras att det kan verka motsägelsefullt att Stockholms ström uppvisar en signifikant ökande trend i Oorg-N 1994-2004, medan transporten av Oorg-N till Norra Östersjön är minskande 1985-2004. Det beror på att Oorg-N i Stockholms ström tillfälligt ökade under senare halvan av 90-talet.

Tot-P

Tot-P är minskande för i stort sett samtliga flodmynningar, och även för samtliga referensvattendrag, vilket indikerar att det är en effekt av den naturliga variationen. Minskningen är störst i norra Sverige, med signifikant minskande flödesnormerade transporter av Tot-P för Bottenhavet och Bottenviken. Under perioden 1992-2000 ökade även koncentrationen av TOC generellt (Erlandsson m.fl., 2007), vilket är en viktig transportör av fosfor, vilket alltså borde innebära en ökning även mängden Tot-P. Detta tyder på att sammansättningen av det organiska materialet förändrats under tidsperioden. Det analysfel som orsakade något förhöjda halter under början av 1990-talet har ingen betydelse för trendanalysen. En förnyad trendanalys för perioden 1997 till 2005 gav liknande resultat.

PO₄

Koncentrationen PO₄ 1980-2005 beskriver en icke monoton förändring, med toppar i början av perioden, i mitten (kring 1993) och i slutet av perioden. Förändringarna i PO₄ är svårtolkade. Halterna är mycket låga, oftast är nära detektionsgränsen. Det gör att påverkan av mindre förändringar i den kemiska analysen inte kan uteslutas, men åtminstone toppen kring 1993 har bekräftats i data från andra laboratorier.

4. Referenser

- Cleveland, W. S. and S. J. Devlin (1988). "Locally Weighted Regression - An Approach To Regression-Analysis By Local Fitting." Journal Of The American Statistical Association **83**(403): 596-610.
- Cronström, A. (1986). Stockholms tekniska historia. Vattenförsörjning och avlopp. Stockholms va-
verk och kommitén för Stockholmsforskning.
- Erlandsson, M., I. Buffam, J. Folster, H. Laudon, J. Temnerud, G. A. Weyhenmeyer and K. Bishop
(2007). "Thirty-five years of synchrony in the organic matter concentrations of Swedish rivers
explained by variation in flow and sulphate." Global Change Biology *InPress*.
- Helsel, D. R. and R. M. Hirsch (1992). "Statistical measures in water research. Amsterdam. 1992.
Elsevier Science Publishers B.V." 529.
- Loftis, J. C., C. H. Taylor, A. D. Newell and P. L. Chapman (1991). "Multivariate trend testing of lake
water quality." Water Resources Bulletin **27**(3): 461-473.
- Naturvårdsverket (2000). Effekter av kvävenedfall på skogsekosystemet. Rapport 5066.
- Odén, S. and T. Ahl (1970). Försurning i skandinaviska vatten. - Ymer, Årsbok 103-122.
- Sonesten, L. and S. Engblom (2001). Totalfosforanalyser vid institutionen för Miljöanalys 1965 -
2000.
- Stålnacke, P., Grimvall, A., Sundblad, K., and Wilander, A. (1999), Trends in nitrogen transport in
Swedish rivers, *Environ. Monit. Assess.*, **59**, 47-72.
- Stålnacke, P. and Grimvall, A.: 2001, 'Semiparametric approaches to flow normalization and source
apportionment of substance transport in rivers', *Environmetrics* **12**, 233-250.
- Ulén, B. and J. Fölster (2007). "Recent trends in nutrient concentrations in Swedish agricultural
rivers." Science of The Total Environment **373**(2-3): 473-487.
- Wilander, A. and G. Persson (2001). "Recovery from eutrophication: Experiences of reduced
phosphorus input to the four largest lakes of Sweden." Ambio **30**: 475-485.
- Willén, E. (2001). "Four decades of research on the Swedish large lakes Mälaren, Hjälmaren, Vättern
and Vänern: the significance of monitoring and remedial measures for a sustainable society. ." Ambio
30: 458-466.