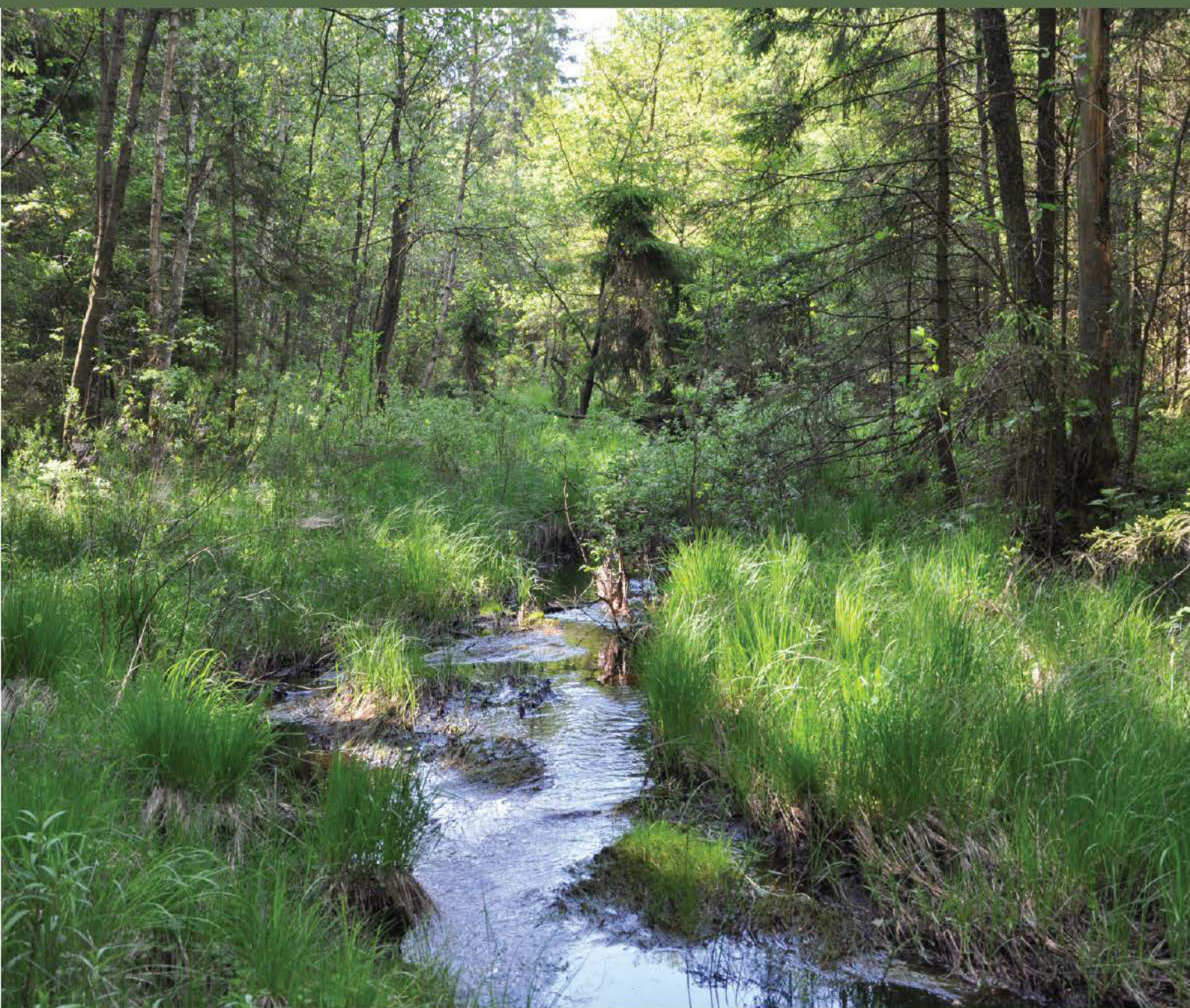




Länsstyrelserna



**Regional övervakning av avrinningen från
brukad skogsmark i Västra Götalands,
Hallands och Jönköpings län.**

Utvärdering av perioden 1996-2009 och förslag till framtida utformning

Rapportnummer Länsstyrelsen VG län: 2012:02

ISSN: 1403-168X

Meddelandenummer Länsstyrelsen Halland: 2012:03

Utvärdering och rapport: Stefan Löfgren, Institutionen för vatten och miljö, SLU

Foto omslag: Hans Schibli

För mer information kontakta:

Mikael Ljung, Katrina Envall Länsstyrelsen Västra Götalands län Tel. 031-60 50 00

Lars Stibe Länsstyrelsen Hallands län Tel. 035-13 20 00

Maria Carlsson Länsstyrelsen Jönköpings län Tel. 036-39 50 00

Rapporten finns som pdf på respektive länsstyrelses webbplats www.lansstyrelsen.se

Innehåll

Sammanfattning	2
Summary	4
Inledning	6
Bakgrund och syfte	6
<i>Utvärderingens omfattning</i>	<i>7</i>
Övervakningsområdenas läge och egenskaper	8
Material och metoder	11
<i>Vattenkemi</i>	<i>11</i>
<i>Avrinning</i>	<i>11</i>
<i>Transportberäkningar</i>	<i>12</i>
<i>Flödesvägd medelhalt</i>	<i>12</i>
<i>Skogsbruksåtgärder</i>	<i>12</i>
Resultat och diskussion	13
<i>Avrinning</i>	<i>13</i>
<i>Transporter och flödesvägda medelhalter</i>	<i>14</i>
Kväve och fosfor	14
Surhetsrelaterade variabler	19
Organiskt material, kisel, järn, mangan och aluminium	24
Övriga metaller	28
<i>Skogsbrukets effekter på vattenkvaliteten</i>	<i>34</i>
Förslag till framtida regional övervakning av avrinningen från brukad skogsmark	38
Referenser	40

Sammanfattning

I denna rapport utvärderas och redovisas avrinningskemin från brukad skog i de fem skogsbäckar där undersökningarna finansierats av Västra Götalands (Falla-bäcken, Sågebäcken och Kvarnebäcken), Hallands (Näverbäcken) och Jönköpings län (Ramsjöbäcken). Utvärderingen omfattar data från det att mätningarna startades 1996 - 2000 och fram till och med år 2009. Syftet med arbetet är att dokumentera den vattenkemiska variationen i skogsbäckar i sydvästra Sverige och att analysera om olika skogsbruksåtgärder, främst slutavverkning, påverkat denna variation. I uppdraget har även ingått att lämna förslag på hur övervakningen av avrinning från brukad skog bör utformas i framtiden.

Avrinningsområdenas area varierar mellan 331 och 698 ha och andelarna skogs- och myrmark ligger i intervallet 82-95% respektive 5-13%. Samtliga områden är följaktligen utpräglade skogsområden med visst inslag av myr och små tjärnar. Under perioden 2004/05 till 2009/10 slutavverkades 4-14% av avrinningsområdena bl.a. p.g.a. skador orsakad av stormarna Gudrun (2005) och Per (2007). Grenar och toppar (GROT) skördades på en stor del av den avverkade arealen i tre områden (76-92%) och även markberedning var vanligt i tre områden (80-83%).

Medelårsavrinningen under mätperioden varierade påtagligt mellan områdena (279-765 mm) och den mellanårliga variationen var stor. Beroende på område skilde det 2-4 gånger mellan torra och blöta år. Exporten av kväve och fosfor från avrinningsområdena följde i stort sett samma rangordning som avrinningen. De uppmätta medelårstransporterna låg i huvudsak inom de intervall (1,4-4,2 kg N/ha, år respektive 0,01-0,18 kg P/ha, år) som tidigare uppmäts i brukad skog och naturskog i Sverige och Finland. Andelen oorganiskt kväve varierade mellan 17 och 39% och huvuddelen utgjordes av nitrat (76-84%). Andelen fosfat varierade mellan 22 och 33%. De flödesvägda årsmedelhalterna för totalkväve, och nitrat låg i intervallen 419-667 µg/l respektive 64-115 µg/l och för totalfosfor och fosfat 6-14 µg/l respektive 2-5 µg/l.

Samtliga områden uppvisade som årsmedelvärde export av buffertkapacitet (ANC) d.v.s. det exporterades mer baskatjoner (kalcium, magnesium, natrium och kalium) än anjoner kopplade till mineralsyrorna (svavelsyra, salpetersyra och saltsyra). Exporten av ANC dominerades av organiska anjoner (humus) medan vätekarbonat (alkalinitet) antingen saknades helt eller endast utgjorde en mycket liten andel ($\leq 13\%$). Buffring av svaga organiska syror ledde till låga pH-värden (4,8-5,7) och export av protoner. Områdenas närhet till havet återspeglades i transporten av natrium och klorid. Återhämtningen från försurning kopplat till det minskade nedfallet av svavel har sannolikt bromsats av ett ökat havssaltnefallo. Betydelsen av svaga organiska syror (humus) för ANC och pH har ökat över tiden.

Transporten av totalt organiskt kol varierade påtagligt mellan områdena (faktor 2-3) och i grova drag följde metallerna järn, mangan och aluminium samma mönster. Utlakningen av dessa ämnen låg på liknande nivåer som i naturskogsområdena Gårdsjön och Aneboda. Transporten av oorganiskt aluminium, vilken är den giftigaste formen för fisk och andra organismer som andas med gälar, utgjorde 12-37% av aluminiumexporten i de tre områden där oorganiskt aluminium analyserats. De flödesvägda medelhalterna för totalt organiskt kol, järn och aluminium var generellt något högre i slutet på tidsserierna, vilket sammanfaller med den generella

trenden av ökande humushalter i svenska sjöar och vattendrag. Baserat på data från 1-5 år låg de flödesvägda medelhalterna för oorganiskt aluminium över (högsta halt ca 100 µg/l) eller inom det intervall om 30-50 µg/l som betraktas som skadligt för bl.a. fisk. Den 5-åriga tidsserien från Ramsjöbäcken indikerar sjunkande halter oorganiskt aluminium, vilket överensstämmer med observationer från flera andra skogsbäckar i södra Sverige. Ett 10-tal andra metaller har analyserats i tre av områdena och transporter och halter låg där på ungefär samma nivåer som i naturskogsområdena Gårdsjön och Aneboda. Halterna var generellt betydligt lägre än de lägsta halterna där negativa biologiska effekter kan förväntas.

Skogsbruksåtgärderna har påverkat en så liten andel av avrinningsområdena att effekterna av dem inte med säkerhet kan särskiljas från bäckvattenkemins naturliga variation. Resultaten överensstämmer med tidigare studier där brukade områden jämförts med naturskog i södra Sverige. Resultatet är glädjande i och med att det på en rumslig skala av några hundra hektar inte finns några indikationer på att skogsbruket påtagligt ökat utlakningen av näringsämnen eller på annat sätt påverkat det vattenkemiska tillståndet t.ex. surheten. Skogsbruket ger därför primärt upphov till mycket lokala effekter på vattenmiljön.

De regionala programmen för övervakning av avrinningen från brukad skogsmark i Västra Götalands, Hallands och Jönköpings län har sedan start genererat mycket värdefull data. Resultaten blir än mer värdefulla i takt med att tidsserierna förlängs. Den stora areella utbredningen av skogs- och myrmark i sydvästra Sverige innebär att övervakning av vattenkvaliteten i sådana områden bör ha hög prioritet för att studera trender och utgöra underlag till olika modeller. Mätningarna i Fallabäcken, Kvarnebäcken, Sågebäcken, Näverbäcken och Ramsjöbäcken bör därför fortsätta. Mätprogrammen kan i viss mån förbättras bl.a. genom införande av enhetlig analysmetodik för oorganiskt aluminium och genom att komplettera mätningarna med provtagning i direkt anslutning till utförda skogsskötselåtgärder främst slutavverkning.

Summary

In this report, the runoff chemistry in five forest streams draining managed forests has been evaluated. The monitoring has been funded by the county administrations in Västra Götaland (Fallabäcken, Sågebäcken and Kvarnebäcken), Halland (Näverbäcken) and Jönköping (Ramsjöbäcken). The assessment includes data from surveys beginning in 1996 - 2000 and ending in 2009. The aim of this work is to document the water chemical variations in forest streams in southwestern Sweden and to analyze how various forestry measures, mainly clear-felling, influenced this variation. The commission also includes proposals on how to conduct runoff monitoring in managed forest in the future.

The catchment areas range from 331-698 hectares and the shares of forest and peat lands vary in the ranges of 82-95% and 5-13%, respectively. All the catchments are thus typical forest areas including elements of peat lands and small ponds. During the period 2004/05 to 2009/10, 4-14% of the catchment areas were clear-felled partly due to damages caused by the storms Gudrun (2005) and Per (2007). Branches and tops (slash, GROT) were harvested on a large proportion of the harvested areas in three catchments (76-92%) and scarification was also common in three catchments (80-83%).

The average annual discharge during the investigation periods varied significantly between areas (279-765 mm) and the inter-annual variability was large. Depending on catchment it differed 2-4 times between dry and wet years. The export of nitrogen and phosphorus from the catchment areas broadly followed the same ranking as runoff. The measured average annual transports were mainly within the ranges (1.4 to 4.2 kg N/ha year and 0.01 to 0.18 kg P/ha, year, respectively) previously measured in managed and natural forests in Sweden and Finland. The proportion of inorganic nitrogen ranged from 17-39% and the majority consisted of nitrate (76-84%). The proportion of phosphate varied between 22-33%. The flow-weighted annual average concentrations for total nitrogen and nitrate were in the ranges 419-667 µg/l and 64-115 µg/l, respectively, and for total phosphorus and phosphate 6-14 µg/l and 2-5 µg/l, respectively.

All catchments showed an annual average export of buffer capacity (ANC), i.e. it exported more base cations (calcium, magnesium, sodium and potassium) than anions associated with mineral acids (sulfuric, nitric and hydrochloric acid). The export of ANC was dominated by organic anions (humus) while bicarbonate (alkalinity) were either missing completely or only represented a very small fraction ($\leq 13\%$). The buffering of weak organic acids led to low pH values (4.8 to 5.7) and the export of protons. The catchments vicinity to the sea was reflected in the transports of sodium and chloride. The recovery from acidification linked to the reduced sulfur deposition has likely slowed down due to an increased sea salt deposition. The importance of weak organic acids (humus) for the ANC and pH has increased over time.

The transport of total organic carbon varied significantly between catchments (factor 2-3) and the metals iron, manganese and aluminum roughly followed the same patterns. The leaching of these substances was at similar levels as in the non-managed forests of Lake Gårdsjön and Aneboda. In the three catchments where it was estimated, the transport of inorganic aluminum accounted for 12-37% of the

aluminum exports. Inorganic aluminum is the most toxic form for fish and other organisms that breathe with gills. The flow-weighted average concentrations of total organic carbon, iron and aluminum were generally slightly higher at the end of the time series, which coincides with the general trends of increasing humus levels in Swedish lakes and streams. Based on data from 1-5 years, the flow-weighted average concentrations of inorganic aluminum were over (maximum level ca 100 µg/l) or within the range of 30-50 µg/l, which are considered harmful to e.g. fish. The 5-year time series from Ramsjöbäcken indicates decreasing concentrations of inorganic aluminum, which is consistent with observations from several other forest streams in southern Sweden. Some 10 other metals were analyzed in three of the areas. The transports and concentrations were at about the same levels as in the non-managed forest streams of Gårdsjön and Aneboda. The concentrations were generally much lower than the lowest levels where adverse biological effects can be expected.

Forestry measures affected too small proportions of the catchment areas to safely distinguish their effects from the natural stream water chemistry variation. These results are consistent with previous studies, which compared data from streams in managed and non-managed forests in southern Sweden. The results are gratifying in that, on a spatial scale of a few hundred hectares, there were no indications on that forestry measures significantly increased the leaching of nutrients or otherwise affected the water-chemical state such as acidity. Forestry primarily seems to cause very local effects on the aquatic environment.

The regional monitoring of the runoff chemistry from managed forests in the counties of Västra Götaland, Halland and Jönköping have since start generated a large amount of valuable data. The results will be even more valuable as the time series are extended. The large spatial distribution of forests and peat lands in southwestern Sweden motivate why monitoring of the water quality in such areas should have high priority in order to study trends and provide a basis for various models. The monitoring of Fallabäcken, Kvarnebäcken, Sågebäcken, Näverbäcken and Ramsjöbäcken is therefore recommended to continue. The monitoring programs can to some extent be improved through the introduction of uniform methodology for analyzing inorganic aluminum and by supplementing the measurements with sampling in direct connection to silvicultural measures primarily harvesting.

Inledning

Undertecknad har på uppdrag av länsstyrelserna i Västra Götalands, Hallands och Jönköpings län utvärderat den regionala övervakningen av avrinningen från brukad skogsmark i fem områden i sydvästra Sverige. Skogsproduktionen såväl som nedfallet av kväve och svavel är som högst i denna del av landet och det har i många sammanhang uttalats farhågor om att läckaget av kväve, försurande ämnen och metaller till sjöar och vattendrag kan komma att öka på grund av det intensiva skogsbruket. Det var därför med stort intresse jag tog mig an detta uppdrag, som komplement till den forskning som jag normalt bedriver inom området. Utvärderingen har visat att insamlad data håller god kvalitet och att den mycket väl kan komma till användning både inom vattenvårdsarbete och forskning.

Jag vill tacka Mikael Ljung, Lars Stibe och Bernhard Jaldemark för deras hjälp med att bistå med data, kartor och värdefulla synpunkter på manuskriptet.

Stefan Löfgren

Uppsala 14 december 2011

Bakgrund och syfte

Skogsbruket påverkar de akvatiska ekosystemen på många olika sätt, vilket kan ge upphov till negativa effekter för vattenlevande organismer bl.a. genom fysisk störning och/eller kemisk påverkan i form av t.ex. tillförsel av organiskt material, näringsämnen, aciditet och/eller metaller. Detta har föranlett samhället, naturvårdsorganisationer m.fl. att ställa krav på en utveckling av skötselmetoder som minskar störningarna på den akvatiska miljön. Dessa krav manifesteras bl.a. i de skogspolitiska målen för produktion och miljö (Prop. 1992/93:226), de svenska Miljömålen (Prop. 2001/02:130) och EU:s ramdirektiv för vatten (2000/60/EG).

Trots samhällets målsättning att minska påverkan på vattenmiljön har det aldrig funnits ett nationellt miljöövervakningsprogram (MÖ) med syfte att följa upp de akvatiska effekterna av skogsbruk (Löfgren and Olofsson, 2002). Däremot har flera län, bl.a. Västra Götalands, Hallands och Jönköpings län, sedan 1990-talet finansierat regionala miljöövervakningsprogram (RMÖ) med målet att följa upp avrinningskemin i tämligen små och skogsdominerade avrinningsområden med pågående skogsbruk. När dessa program utformades följde man i stora drag Naturvårdsverkets numera upphävda undersökningstyp ”Ytvattenkemi i skogsbäckar inklusive vattenföringsmätningar”

Syften med undersökningstypen:

- beskriva ytvattnets haltvariationer i skogsmark; mellanårsvariationer samt långsiktiga trender i halterna av växtnäringsämnen och andra ämnen som uttrycker syra/bas-status.
- med hjälp av halter i ytvatten och vattenföringsdata beräkna transporten av olika ämnen i vattendraget.
- använda ytvattenkvalitet som mått på skogsmarkens miljötillstånd och omgivningspåverkan, samt att beskriva effekterna av skogsbruk.

Det vattenkemiska tillståndet i de av länen undersökta skogsbäckarna i sydvästra Sverige har tidigare utvärderats för kortare tidsperioder (Jaldemark 2001, Zetterberg & Westling 2006). Data från de RMÖ-programmen har även använts som del i större studier, baserade på resultat även från andra områden, med syfte att mer specifikt analysera näringsförluster (Westling et al. 2001, Löfgren & Westling 2002, Ugglå & Westling 2003) och surhetstillstånd (Löfgren et al., 2008a; Löfgren et al., 2008b) i bäckar med skogsdominerade tillrinningsområden. Resultaten från sådana studier har fått bred användning i samhället bl.a. som underlag för att upprätta källfördelningsmodeller för att skatta förluster av kväve (N) och fosfor (P) från skog (Brandt et al., 2008) och som beslutsunderlag för skogsmarkskalkning (Naturvårdsverket, 2011; Skogsstyrelsen, 2009). Vissa data har även publicerats i vetenskapliga tidskrifter (Löfgren et al., 2010; Löfgren et al., 2009) och ingått i kunskapsöversikter riktade mot skogsnäringen (Ring et al., 2008).

I denna rapport utvärderas och redovisas avrinningskemin från brukad skog i de fem skogsbäckar där undersökningarna finansierats av Västra Götalands, Hallands och Jönköpings län. Utvärderingen omfattar data från det att mätningarna startades 1996 - 2000 och fram till och med år 2009. Syftet med arbetet är att dokumentera den vattenkemiska variationen i skogsbäckar i sydvästra Sverige och att analysera om olika skogsbruksåtgärder, främst slutavverkning, påverkat denna variation.

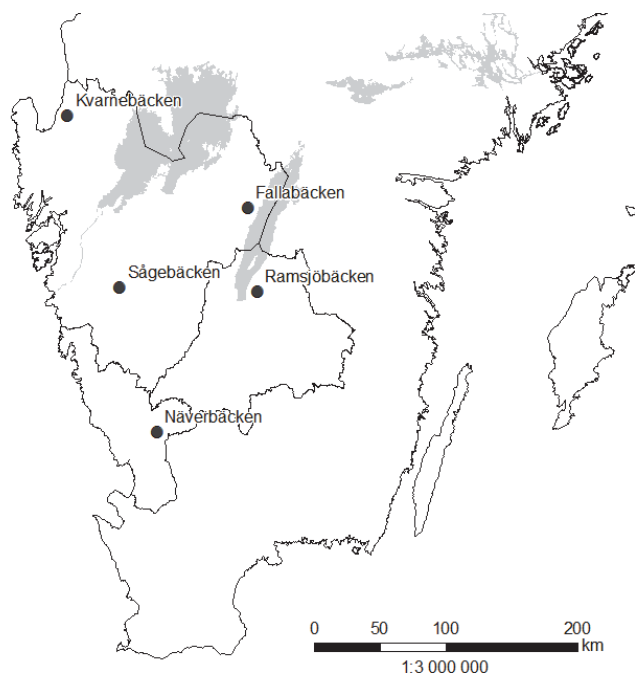
Utvärderingens omfattning

Följande moment ingår i utvärderingen:

- Transportberäkningar för alla kemiska ämnen som analyseras på prover insamlade månadsvis eller oftare
- Hela mätperioden omfattas
- Skogsbrukets påverkan på vattenkvaliteten
- Förslag på hur övervakning av avrinning från brukad skog bör utformas i framtiden.

Övervakningsområdenas läge och egenskaper

De områden som ingår i utvärderingen är Fallabäcken, Sågebäcken och Kvarnebäcken i Västra Götalands län samt Ramsjöbäcken i Jönköpings län och Näverbäcken i Hallands län (Figur 1). Avrinningsområdenas area varierar mellan 331 och 698 ha och andelarna skogs- och myrmark ligger i intervallet 82-95% respektive 4-13% (Tabell 1). Andelen öppet vatten och jordbruksmark varierar mellan 0 och 6% respektive 0 och 1% i samtliga områden. Samtliga områden är följaktligen utpräglade skogsområden med visst inslag av myr och små tjärnar. Figur 2 visar avrinningsområdena med gröna kartans markslag som bakgrund.



Figur 1. Avrinningsområdenas läge för övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

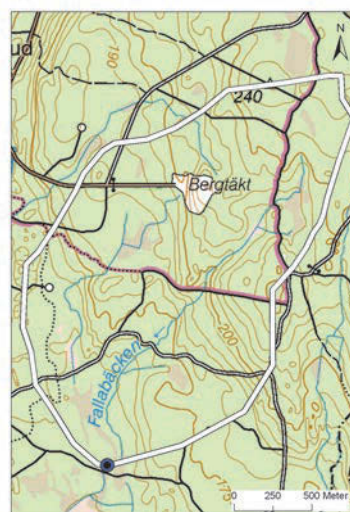
Tabell 1. Utloppspunktens läge, avrinningsområdet area, markslagsfördelning och medelavrinningen under mätperioden i områdena som används för övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Källa: länsstyrelserna

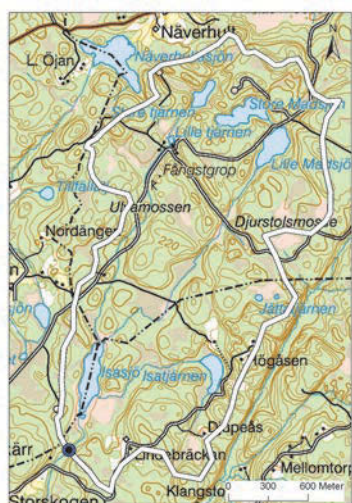
	Falla- bäcken	Kvarne- bäcken	Näver- bäcken	Ramsjö- bäcken	Såge- bäcken
X-koord RT90	647876	654809	630825	641490	641822
Y-koord RT90	141039	127352	134158	141775	131310
Län	O	O	N	F	O
Area (ha)	340	698	331	460	442
Skog (%)	95	82	87	95	82
Myr (%)	4	11	11	5	13
Vatten (%)	0	6	1	0	4
Jordbruksmark/ övrigt (%)	1	0	1	0	1



A



B



C



D



E

Figur 2. Kartor över avrinningsområdena med provtagningspunkt för övervakning av avrinning från brukad skogsmark.

- A) Kvarnebäcken,
- B) Fallabäcken,
- C) Sågebäcken,
- D) Ramsjöbäcken
- E) Näverbäcken.

Länsstyrelsen. © Lantmäteriet

Material och metoder

Vattenkemi

Respektive länsstyrelse har levererat de vattenkemiska data som ingår i utvärderingen. Proverna har insamlats månadsvis till varannan vecka och analyserats vid olika laboratorier. Provtagningarna 2007 och 2008 i Fallabäcken var ofullständiga och innehåller så stora luckor att årstransporter inte kan beräknas. Närsalter, surhetsvariabler, organiskt material och metaller har analyserats under hela mätperioden medan tungmetaller endast insamlats i Kvarnebäcken, Sågebäcken och Ramsjöbäcken under den senare delen av mätperioden. För dessa områden är transportberäkningar möjliga med start 1999-2002. Analysvärdena har grovt kvalitetsgranskats och uppenbart orimliga värden har efter kontroll med länsstyrelserna antingen rättats eller strukits. För transportberäkningarna har mindre än värden ersatts med halva det uppgivna värdet.

Organiskt bundet kväve (Org-N) har beräknats som skillnaden mellan totalkväve (Tot-N) och summan kväve i ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) och nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) där den senare i praktiken består av summan kväve i nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) och nitrat. Residualfosfor (Res-P) beräknas på motsvarande sätt som skillnaden mellan totalfosfor (Tot-P) och fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$).

Buffertkapaciteten (ANC) har beräknats som skillnaden mellan baskatjoner ($\text{BC}=\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}+\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$) och mineralsyrornas anjoner ($\text{MA}=\text{SO}_4^{2-}+\text{Cl}^{-}+\text{NO}_3^{-}$). Vätekarbonat (HCO_3^{-}) har antagits föreligga om alkaliniteten varit större än noll ($\text{Alk}/\text{Ac}>0$) och $\text{pH}>5,6$. Organiska anjoner (RCOO^{-}) har beräknats utgående från totalt organiskt kol (TOC) och pH i enlighet med Oliver et al (1983).

Aluminium har vid olika tidpunkter analyserats med olika metoder, dels som syralösligt och dels som totalaluminium. Skillnaderna i resultat mellan dessa båda metoder är vanligtvis små i skogsvatten (Stephan Köhler, in prep), vilket innebär att resultaten aggregerats och samlats under benämningen totalaluminium (Alt). I den mån organiskt bundet aluminium (Alo) analyserats har även oorganiskt aluminium (Ali) beräknats som skillnaden mellan Alt och Alo. Två olika metoder har använts för att bestämma Alo, vilket innebär att resultaten för samtliga aluminiumfraktioner (Alt, Alo och Ali) är uppskattningar som anger ungefärliga nivåer på halter och transporter.

Avrinning

Respektive länsstyrelse har levererat de avrinningsdata som ingår i utvärderingen. Vid Ramsjöbäcken mäts vattenståndet kontinuerligt i en bestämmande sektion och den dygnsvisa vattenföringen beräknas av SMHI. I övriga områden har SMHI beräknat avrinningen med PULS-modellen. För Kvarnebäcken och Fallabäcken finns simulerad vattenföring med dygnsupplösning medan den för Sågebäcken och Näverbäcken redovisats på veckobas.

Transportberäkningar

För Kvarnebacken, Fallabacken och Ramsjöbacken har den dygnsvisa vattenföringen och interpolerade dagliga halter använts för att beräkna årliga ämnestransporter (ekv. 1). För Sågebacken och Näverbäcken har den veckovisa vattenföringen och interpolerade veckovisa halter använts (ekv. 2).

$$T_{\text{år}} = \sum_{d=1}^{365} C_d * Q_d \quad (\text{ekv. 1})$$

där $T_{\text{år}}$ är den årliga transporten av ett ämne, C_d är den uppmätta eller interpolerade dagliga ämneshalten och Q_d är den uppmätta eller PULS-simulerade dagliga vattenföringen.

$$T_{\text{år}} = \sum_{v=1}^{52} C_v * Q_v \quad (\text{ekv. 2})$$

där $T_{\text{år}}$ är den årliga transporten av ett ämne, C_v är den uppmätta eller interpolerade veckovisa ämneshalten och Q_v är den PULS-simulerade veckovisa vattenföringen.

Flödesvägd medelhalt

Utgående från den årliga transporten ($T_{\text{år}}$) och summan för den årliga avrinningen ($Q_{\text{år}}$) har den flödesvägda, årliga medelhalten ($C_{\text{år}}$) beräknats för varje ämne (ekv. 3).

$$C_{\text{år}} = \frac{T_{\text{år}}}{Q_{\text{år}}} \quad (\text{ekv. 3})$$

$$\text{där } Q_{\text{år}} = \sum_{d=1}^{365} Q_d \text{ eller } Q_{\text{år}} = \sum_{v=1}^{52} Q_v$$

Skogsbruksåtgärder

Skogsbruksåtgärder i form av avverkning, skärmställning, markberedning, GROT-uttag och plantering i respektive avrinningsområde har sammanställts av Karin Ask, Skogsstyrelsen. Uppgifterna har sammanställts från och med december 2004, men för Näverbäcken från och med 1994. Det är oklart vilken metodik som använts i Näverbäcken, men för övriga områden har arealerna automatiskt tagits fram från satellit- och flygbilder med hjälp av Skogsstyrelsens bildanalyssystem Enforma och manuellt då denna metod inte var tillräckligt noggrann. Stormfällningar orsakade av bl.a. stormarna Gudrun (2005) och Per (2007) har i flera fall lett till för små avverkade arealer för att med bildanalys kunna skatta arealen med någon säkerhet. Områdena har då manuellt mätts in efter vad som bedömts som faktiskt avverkat. Då avverkningarna utförts på båda sidorna om vattendelaren har endast den del medräknats som ligger inom avrinningsområdet.

Resultat och diskussion

Avrinning

Avrinningen under mätperioden varierade påtagligt mellan områdena med lägst vattenflöden i Kvarnebäcken (279 mm) och med nästan tre gånger så hög avrinning i Näverbäcken (765 mm) som uppvisade högst vattenföring (Tabell 2). Även Sågebäcken uppvisade hög medelårsavrinning (581 mm) medan de övriga två områdena var mer lika Kvarnebäcken med en avrinning på drygt 300 mm (Tabell 2).

Även den mellanårliga variationen var stor (Tabell 2, Figur 3). Trots att samtliga områden ligger i sydvästra Sverige uppvisade de tämligen hög variation mellan varandra beträffande när torra respektive blöta år uppträdde. Begränsar man sig till tidsperioden 2000-2008, då mätdata föreligger från samtliga områden, så är inledningen (2000) och senare delen (2007-2008) av perioden tämligen blöt i samtliga områden förutom Kvarnebäcken där 2007 och 2008 karaktäriserades av tämligen låg avrinning (Figur 3). Låg avrinning uppmättes en bit in på mätperioden med den lägsta vattenföringen vanligtvis 2003 eller 2005. Fallabäcken var dock ett undantag med den lägsta avrinningen redan 2002.

Eftersom avrinningen under mätperioden inte för något område uppvisade en tydligt monoton trend uppåt eller nedåt är det inte meningsfullt att utföra trendanalyser. Avrinningen påverkar även ämnestransporterna och istället för att statistiskt beräkna trender för dessa har flödesvägda årsmedelvärden beräknats och grafiskt presenterats (se nedan).

Tabell 2. Medelvärden för årlig avrinning (mm/år) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Variabel	Falla-bäcken	Kvarne-bäcken	Näver-bäcken	Ramsjö-bäcken	Såge-bäcken
Mätperiod, år	2000-2009	1996-2008	2000-2009	2000-2009	1996-2009
Avrinning*, mm	366 (259-483)	279 (158-528)	765 (457-1006)	309 (127-574)	581 (329-843)

*Intervallet inom parantes anger min och maxflöde.

Tabell 3. Medelvärden för årliga transporter (kg/ha, år) av olika kväve- och fosforfraktioner under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Variabel	Falla-bäcken	Kvarne-bäcken	Näver-bäcken	Ramsjö-bäcken	Såge-bäcken
Mätperiod, år	2000-2009	1996-2008	2000-2009	2000-2009	1996-2009
NH ₄ -N kg/ha, år	0,05	0,06	0,18	0,07	0,12
NO ₃ -N kg/ha, år	0,27	0,19	0,84	0,35	0,38
Org-N kg/ha, år	1,53	0,93	3,00	1,69	2,24
Tot-N kg/ha, år	1,85	1,18	4,02	2,10	2,74
PO ₄ -P kg/ha, år	0,016	0,004	0,021	0,009	0,013
Res-P kg/ha, år	0,031	0,012	0,044	0,029	0,043
Tot-P kg/ha, år	0,048	0,016	0,066	0,040	0,055

Tabell 4. Flödesvägda medelhalter (µg/l) av olika kväve- och fosforfraktioner under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Variabel	Falla-bäcken	Kvarne-bäcken	Näver-bäcken	Ramsjö-bäcken	Såge-bäcken
NH ₄ -N µg/l	15	22	24	21	22
NO ₃ -N µg/l	77	67	111	115	69
Org-N µg/l	442	330	394	540	393
Tot-N µg/l	534	419	529	667	485
PO ₄ -P µg/l	5	2	3	3	2
Res-P µg/l	9	4	6	10	7
Tot-P µg/l	14	6	9	13	10

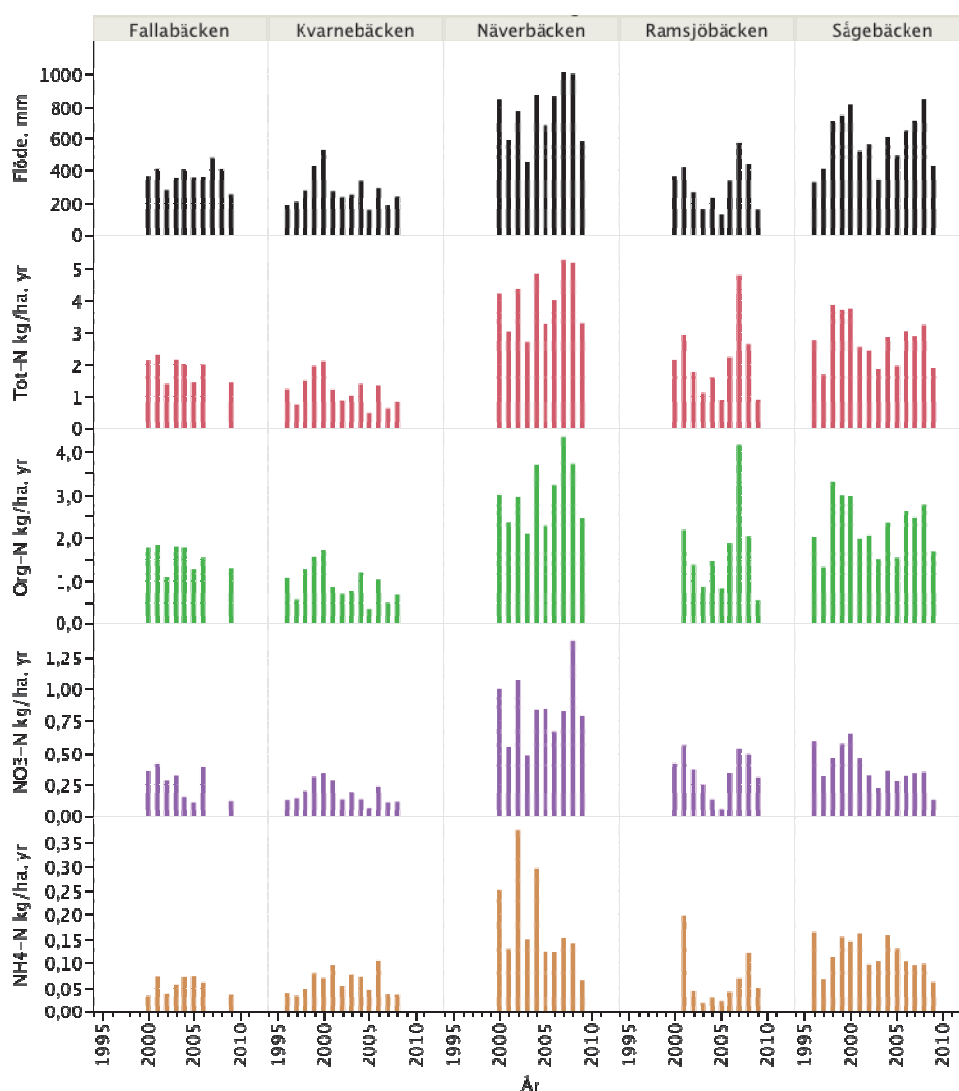
Transporter och flödesvägda medelhalter

Kväve och fosfor

Exporten av kväve och fosfor (Tabell 3) ut från avrinningsområdena följer i stort sett samma rangordning som avrinningen (Tabell 2) med störst årstransporter i Näverbäcken (ca 4,0 kg N/ha, år och 0,07 kg P/ha, år) och Sågebäcken (ca 2,7 kg N/ha, år och 0,06 kg P/ha, år). Från de övriga områdena varierade transporten i intervallen 1,2-2,1 kg N/ha, år respektive 0,02-0,05 kg P/ha, år. De uppmätta transporterna ligger inom de intervall (1,4-4,2 kg N/ha, år respektive 0,01-0,18 kg P/ha, år) som tidigare uppmäts i brukad skog och naturskog i Sverige och Finland (Ring et al., 2008). Andelen oorganiskt kväve (NH₄-N + NO₃-N, Tabell 3) varierade mellan 17 och 25% förutom i Kvarnebäcken (39%) där den höga andelen främst förklaras av de låga transporterna av Tot-N (1,2 kg N/ha, år). Huvuddelen av det oorganiska kvävet utgjordes av nitrat (76-84%). Andelen fosfat varierade mellan 22 och 33% med högst andel i Fallabäcken och Näverbäcken.

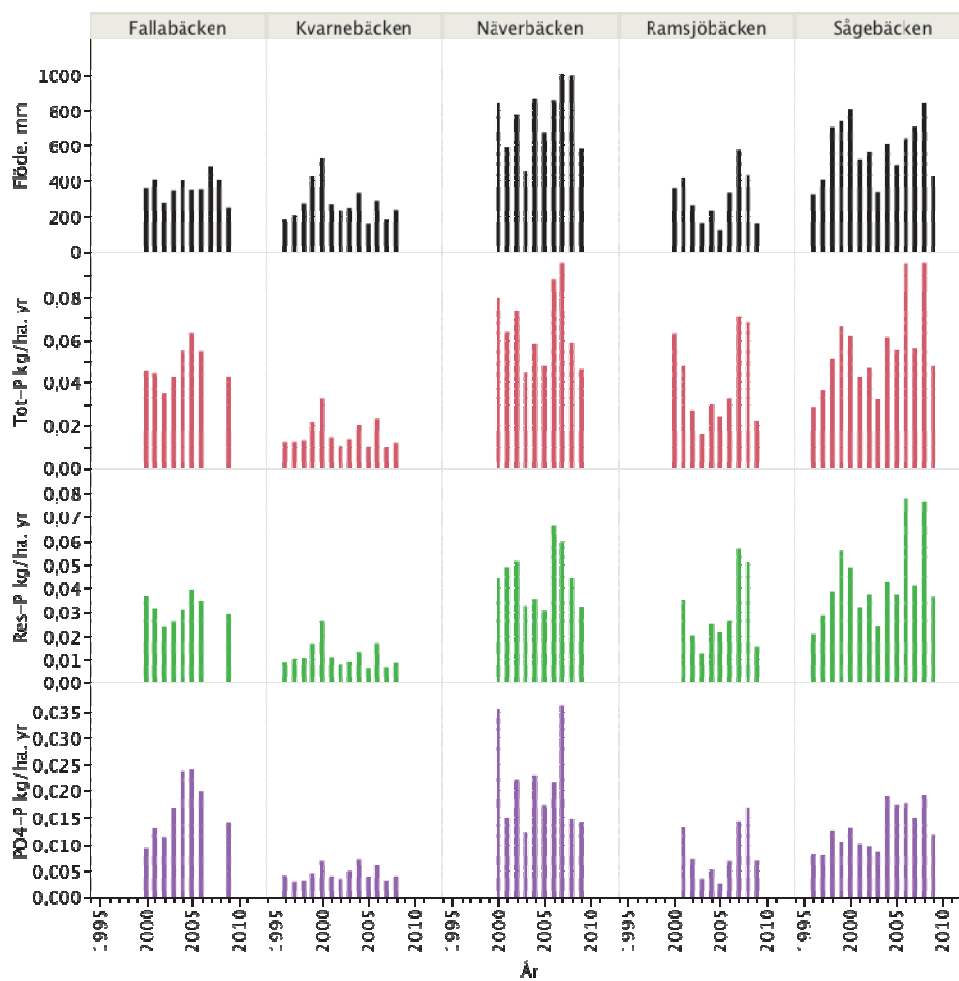
Den mellanårliga variationen i transporterna av kväve och fosfor var stor, men liknar i hög grad variationen i avrinning särskilt med avseende på Tot-N, Org-N, Tot-P och Res-P (Figur 3 och 4). Även de oorganiska kväve- och fosforfraktionerna uppvisar, men i lägre grad, likheter med avrinningsmönstret. Arealförlusterna av Tot-N, NO₃-N, Tot-P och PO₄-P varierade inom intervallen 0,5-5,3 kg Tot-N/ha, år, 0,1-1,4 kg NO₃-N/ha, år, 0,01-0,10 kg P/ha, år respektive 0,003-0,036 kg PO₄-P/ha, år. Man kan följaktligen konstatera att även baserat på enskilda år ligger huvuddelen av observationerna inom de intervall som uppmätts inom brukad skog och naturskog i Sverige och Finland (Ring et al., 2008). Det är endast Näverbäcken och Ramsjöbäcken som i samband med hög årsavrinning uppvisar kväveförluster som överstiger 4,2 kg Tot-N/ha, år.

De flödesvägda medelhalterna i Kvarnebäcken och Sågebäcken indikerar att halterna Tot-N, Org-N och NO₃-N sjunkit något sedan mätningarna startades, men i båda områdena styrs trenden av enstaka höga värden i början på mätserien (Figur 5). I båda fallen härstammar data från 1996, vilket är ett år med bland de lägsta värdena för avrinning under hela tidsperioden. Det är därför troligt att de höga halterna är en effekt av låga grundvattennivåer och därmed liten utlakning och utspädning av de förråd av vattenlösliga kvävefraktioner som finns i marken. Det har tidigare visats att kvävehalterna kan bli mycket höga under sådana förhållanden i södra Sverige (Löfgren et al., 2011b).

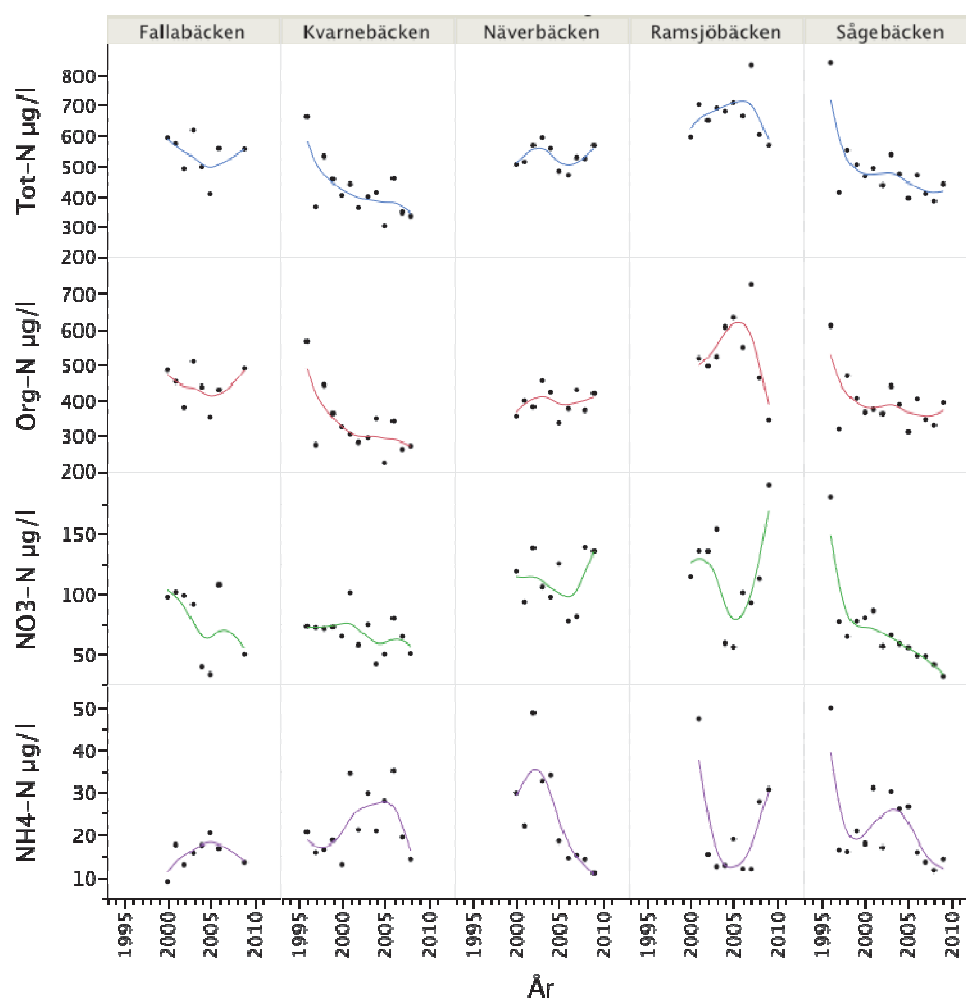


Figur 3. Årlig avrinning (mm) och transport (kg/ha, år) av olika kvävefraktioner under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

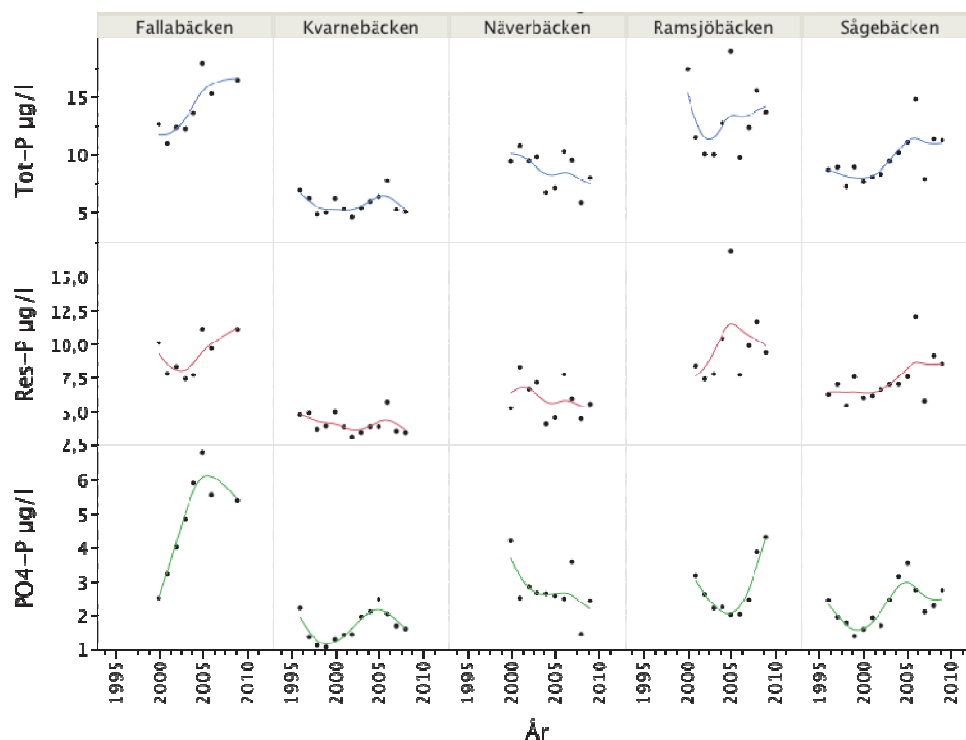
För de olika fosforfraktionerna är de flödesvägda medelhalterna låga och därmed osäkra. Resultaten indikerar dock att halterna Tot-P ökat i Fallabäcken och Sågebacken med 2-4 µg P/l. Ökningen i Fallabäcken är tydligt relaterad till ökande $\text{PO}_4\text{-P}$ halter, vilket skulle kunna vara en effekt kopplad till de avverkningar, markbehandlingar och GROT-uttag som skett i området (se nedan). Ungefär 10% av arealen omfattas av sådana åtgärder, vilket innebär kraftiga störning av marken och risk för körsador i anslutning till hydrauliskt aktiva områden. Å andra sidan syns inga effekter på kvävefraktionerna och Näverbacken uppvisar inte motsvarande haltökningar (Figur 6) trots att 14% av området avverkats (se nedan). De ökande $\text{PO}_4\text{-P}$ halterna i Fallabäcken bör därför utredas ytterligare. I Sågebacken är de ökande Tot-P halterna främst förknippade med ökande Res-P troligtvis kopplat till ökande halter humus (TOC, se nedan).



Figur 4. Årlig avrinning (mm) och transport (kg/ha, år) av olika fosforfraktioner under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.



Figur 5. Flödesvägda medelhalter ($\mu\text{g/l}$) av olika kvävefraktioner under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.



Figur 6. Flödesvägda medelhalter (µg/l) av olika fosforfraktioner under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Surhetsrelaterade variabler

Samtliga områden uppvisade som årsmedelvärde för mätperioden export av buffertkapacitet (ANC) d.v.s. det exporterades mer basatjoner (BC) än anjoner kopplade till mineralsyror (MA, svavelsyra, salpetersyra och saltsyra). Exporten av ANC varierade mellan 12 och 84 meq/m², år med Kvarnebäcken och Näverbäcken som minst respektive mest välbuffrade (Tabell 5). Exporten av ANC dominerades av organiska anjoner (RCOO⁻, humus) medan vätekarbonat (HCO₃⁻, alkalinitet) antingen saknades helt (Fallabäcken, Kvarnebäcken, Sågebäcken) eller endast utgjorde en mycket liten andel av buffertkapaciteten (13% Näverbäcken, 4% Ramsjöbäcken). Buffring av primärt svaga organiska syror (humus) leder till låga pH-värden och export av protoner (H⁺), vilken var högst i Sågebäcken och Näverbäcken (Tabell 5).

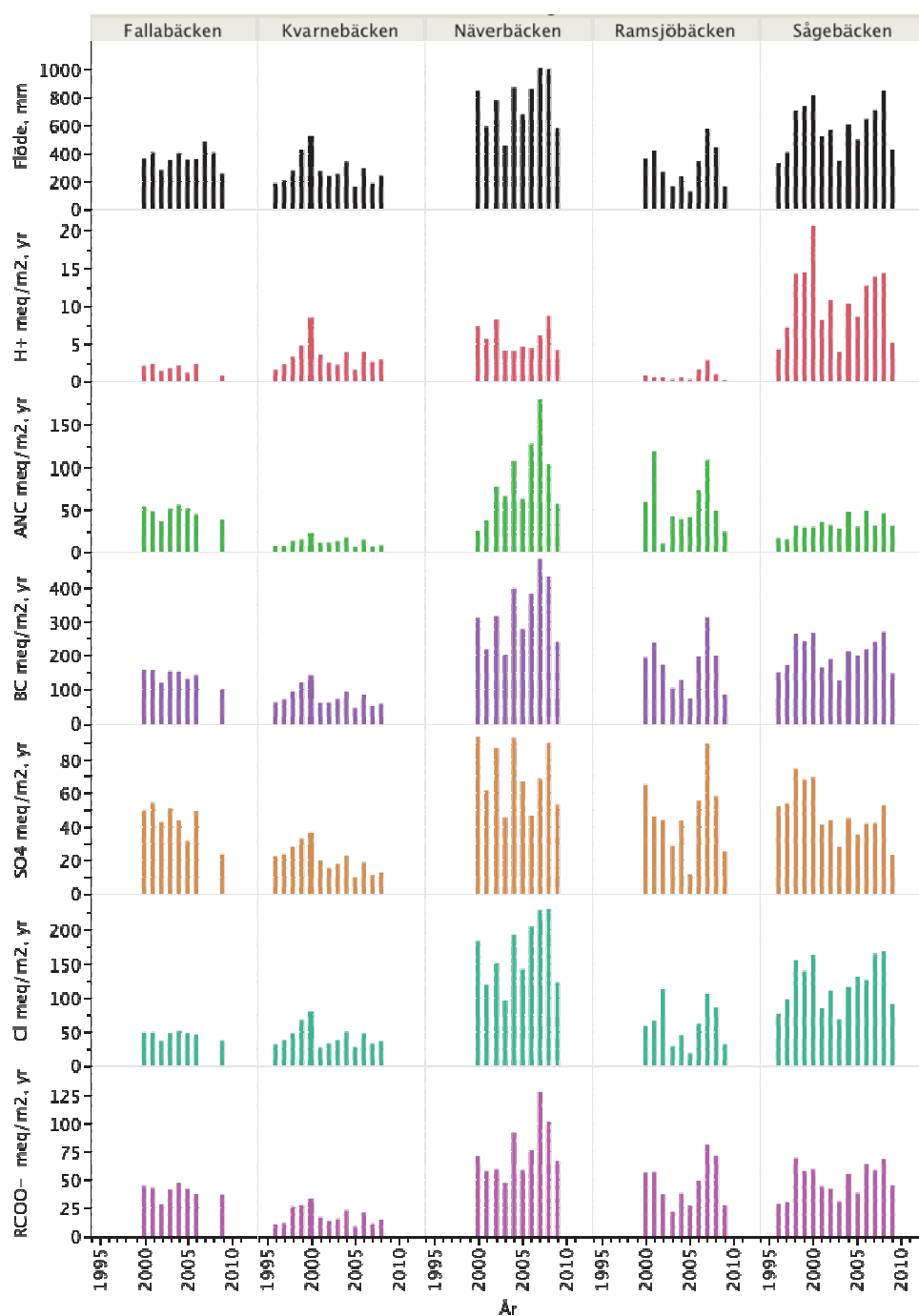
Näverbäckens och Sågebäckens närhet till havet återspeglas i den, jämfört med de andra områdena, höga transporten av natrium (Na⁺) och klorid (Cl⁻), d.v.s. havssalt (Tabell 5). Däremot var påverkan av havssalter betydligt lägre i Kvarnebäcken trots att området ligger tämligen nära kusten (Figur 1). I samtliga områden var exporten av Cl⁻ högre än transporten av sulfat (SO₄²⁻) och Na⁺ dominerar basatjonflödet (Tabell 5). Depositionen av havssalt var därför kvantitativt betydelsefullt för vattnens surhetstillstånd. Jonbyte av Na⁺ med H⁺ i marken leder till en omfördelning av sura ämnen från marken till bäckvattnet, vilket ger surare ytvatten.

Baserat på data från ett skogsområde i Gårdsjön (integrerad monitoring) har det visats att den minskade svaveldepositionen under perioden 1996-2009 inte lett till

någon påtaglig återhämtning från förorening i bäckvattnet med avseende på pH och ANC på grund av ökad depositionen av havssalt och oförändrad jonstyrka. Den minskade surheten i marken har dock lett till lägre halter aluminium i bäckvattnet (Löfgren et al., 2011a). Näverbäcken, Sågebäcken hade precis som Gårdsjön ökande uttransport av Cl^- från 2003 till 2008 och på betydligt högre nivåer än utlakningen av SO_4^{2-} (Figur 7). Detta indikerar att återhämtningen från förorening även i dessa bäckar bromsats av nedfallet av havssalt. Det är troligt att även Ramsjöbäcken påverkats, men där är exporten av Cl^- och SO_4^{2-} på ungefär samma nivåer (Tabell 5, Figur 7), vilket innebär att ändringen i jonstyrka blir relativt sett mindre. Orsaken är att den tvåvärda sulfatjonen påverkar jonstyrkan mer än den envärda kloridjonen. Utflödet av nitrat (NO_3^-) är lågt i samtliga områden (Tabell 5) och påverkar bäckvattnets surhetstillstånd i mycket liten grad.

Tabell 5. Medelvärden för årliga transporter (kg/ha, år) av baskatjoner (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), mineralsyrornas anjoner (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), buffertkapacitet (ANC), vätejoner (H^+), vätekarbonat (HCO_3^-) och organiska anjoner (RCOO^-) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Variabel	Falla-bäcken	Kvarne-bäcken	Näver-bäcken	Ramsjö-bäcken	Såge-bäcken
Ca^{2+} meq/m ² , år	48	18	73	64	53
Mg^{2+} meq/m ² , år	27	14	66	40	34
Na^+ meq/m ² , år	58	43	177	59	110
K^+ meq/m ² , år	6	3	9	5	7
ΣBC meq/m², år	138	77	325	168	203
SO_4^{2-} meq/m ² , år	43	21	70	46	48
Cl^- meq/m ² , år	46	43	167	62	120
NO_3^- meq/m ² , år	2	1	6	2	3
ΣMA meq/m², år	91	65	243	111	171
ANC meq/m ² , år	48	12	84	57	32
H^+ meq/m ² , år	2	3	6	1	11
HCO_3^- meq/m ² , år	0	0	11	2	0
RCOO^- meq/m ² , år	40	18	75	46	49



Figur 7. Årlig avrinning (mm) och transporter (meq/m², år) av baskatjoner (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺), mineralsyrornas anjoner (SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻), buffertkapacitet (ANC), vätejoner (H⁺), vätekarbonat (HCO₃⁻) och organiska anjoner (RCOO⁻) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

I Näverbäcken, Sågebäcken, Fallabäcken och Kvarnebäcken dominerades baskatjonflödet av Na^+ , medan det var på samma nivåer som kalcium (Ca^{2+}) i Ramsjöbäcken (Tabell 5). Vittring och jonbyte i marken är de huvudsakliga källorna till Ca^{2+} , vilken är den baskatjon som näst efter Na^+ , uppvisar den största utlakningen i samtliga områden (Tabell 5). Exporten av magnesium (Mg^{2+}), som tillförs via vittring, jonbyte och viss mån via havssalt, var på samma nivå som transporten av Ca^{2+} i Näverbäcken och Kvarnebäcken och drygt hälften så stor i de övriga tre områdena. Transporten av kalium (K^+) var låg och av marginell betydelse för det totala baskatjonflödet (Tabell 5). Samtliga områden uppvisade positiv ANC-transport under samtliga år (Figur 7), vilket visar att baskatjonflödet kunde kompensera för exporten av de försurande mineralsyrornas anjoner.

Sett till det totala jonflödet rangordnade sig områdena enligt följande: Kvarnebäcken < Fallabäcken < Ramsjöbäcken < Sågebäcken < Näverbäcken. Kvarnebäcken utmärker sig följaktligen som det mest jonsvaga området med minst förmåga att leverera baskatjoner mot försurning medan Näverbäcken hade högst sådan kapacitet. Även utflödet av ANC indikerar detta, men Sågebäcken är enligt denna indikator det näst sämst buffrade området (Tabell 5).

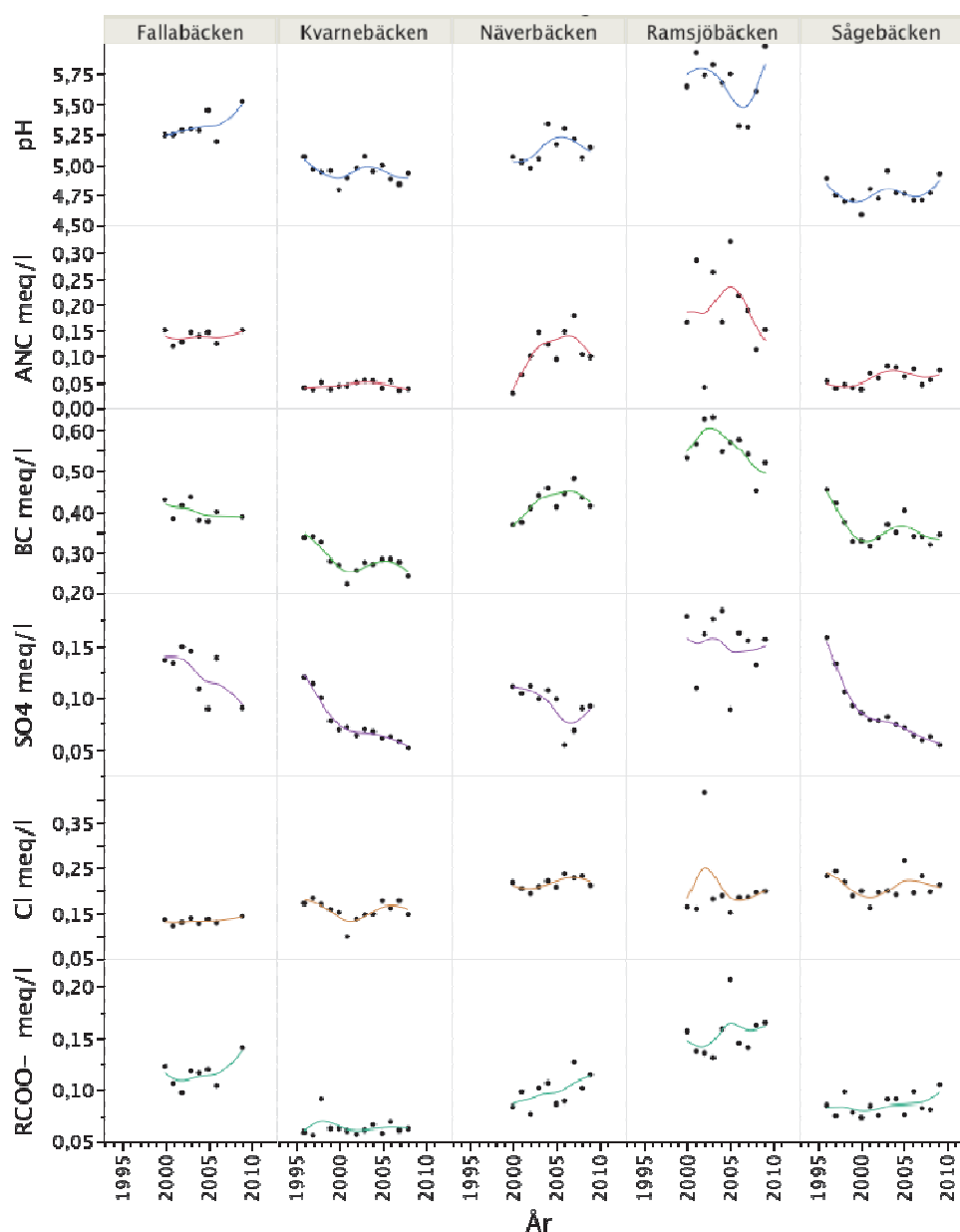
Baserat på de flödesvägda medelhalterna (Tabell 6) har pH beräknats från H^+ och resultaten visar att Kvarnebäcken och Sågebäcken var de suraste områdena med ett flödesvägt $\text{pH} < 5$. Även de övriga tre områdena var tämligen sura med flödesvägda pH-värden i intervallet 5,1-5,7 där högst pH noterades för Ramsjöbäcken. Ramsjöbäcken och Näverbäcken var de områden som hade högst flödesvägt ANC och även periodvis förekomst av alkalinitet (HCO_3^-). Detta förklarar det höga flödesvägda pH-värdet i Ramsjöbäcken. Bortser man från Cl^- med sitt primära ursprung i havssalt, domineras anjonerna av SO_4^{2-} och RCOO^- i samtliga områden. De flödesvägda halterna av dessa båda anjoner var i stort sett identiska i respektive område (Tabell 6). Nitrathalterna var däremot låga ($\leq 0,008$ meq/l) i samtliga områden. Resultaten indikerar därför att surhetstillståndet i de övervakade bäckarna var ungefär till lika delar påverkat av sur deposition (SO_4^{2-}) respektive tillförsel av humus (RCOO^-) och uppe på det påverkades tillståndet periodvis av tillförsel av havssalt (Cl^-).

Det flödesvägda pH-värdet och ANC uppvisade inga tydliga monotona trender vare sig uppåt eller nedåt trots att halterna SO_4^{2-} minskade påtagligt i samtliga områden förutom Ramsjöbäcken (Figur 7). Orsaken till de tämligen stabila ANC-halterna var svagt sjunkande halter baskatjoner och ökande halter Cl^- , vilket är trender som tidigare observerats i skogsbäckar i södra Sverige (Löfgren et al., 2011a; Löfgren et al., 2009). Resultaten indikerar också att betydelsen av svaga organiska syror (RCOO^-) för ANC och pH ökat svagt över tiden (Figur 7).

De höga och under undersökningsperioden tämligen stabila flödesvägda halterna av SO_4^{2-} i Ramsjöbäcken indikerar tillförsel av svavel från andra källor än dagens svaveldeposition. En möjlig källa kan vara mineralisering och oxidation av organiskt bundet svavel, vilket visats vara betydelsefullt i andra skogsområden i södra Sverige (Giesler et al., 1996; Löfgren et al., 2001).

Tabell 6. Flödesvägda medelhalter (meq/l) av baskatjoner (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), mineralsyornas anjoner (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), buffertkapacitet (ANC), vätejoner (H^+), vätekarbonat (HCO_3^-) och organiska anjoner (RCOO^-) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Variabel	Falla- bäcken	Kvarne- bäcken	Näver- bäcken	Ramsjö- bäcken	Såge- bäcken
pH	5,3	4,9	5,1	5,7	4,8
Ca^{2+} , meq/l	0,138	0,067	0,094	0,214	0,094
Mg^{2+} , meq/l	0,077	0,049	0,086	0,132	0,060
Na^+ , meq/l	0,167	0,155	0,230	0,192	0,191
K^+ , meq/l	0,017	0,009	0,012	0,017	0,013
ΣBC , meq/l	0,399	0,280	0,422	0,555	0,358
SO_4^{2-} , meq/l	0,124	0,076	0,094	0,150	0,086
Cl^- , meq/l	0,132	0,156	0,216	0,203	0,209
NO_3^- , meq/l	0,006	0,005	0,008	0,008	0,005
ΣMA , meq/l	0,262	0,237	0,318	0,361	0,300
ANC, meq/l	0,138	0,044	0,109	0,191	0,058
HCO_3^- , meq/l	0	0	0,013	0,009	0
RCOO^- , meq/l	0,115	0,063	0,098	0,153	0,085



Figur 8. Flödesvägda medelhalter (meq/l) av baskatjoner (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), mineralsyrornas anjoner (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), buffertkapacitet (ANC), vätejoner (H^+), vätekarbonat (HCO_3^-) och organiska anjoner (RCOO^-) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Organiskt material, kisel, järn, mangan och aluminium

Organiskt material (TOC) har stor betydelse för vattenkvaliteten i skogsbäckar. Huvuddelen (>95%) utgörs vanligtvis av lösta organiska ämnen (DOC, Löfgren et al., 2010) som förutom att påverka vattnets surhetstillstånd och näringsstatus (se ovan) även kan utgöra bärare av mängd olika metaller. Orsaken är att humusen har

negativ ytladdning, vilket attraherar de vanligtvis positivt laddade metalljonerna. Med undantag av arsenik, som förekommer i anjonisk form (arsenat, AsO_4^{3-}) i ytvatten, är följaktligen de flesta metaller mer eller mindre hårt bundna till det organiska materialet och särskilt de trevärda metallerna järn (Fe^{3+}) och aluminium (Al^{3+}) binds starkt (Lydersen et al., 2002). Även tvåvärda metaller som bly (Pb^{2+}) och koppar (Cu^{2+}) binds starkt medan andra tvåvärda metaller som zink (Zn^{2+}) och kadmium (Cd^{2+}) är mindre starkt bundna. För samtliga metaller är bindningsstyrkan till det organiska materialet kopplad till pH och med svagare komplexbildning vid lägre pH d.v.s. högre halter fria metaller kan förekomma vid lågt pH. Vissa metaller som Fe, Mn och krom (Cr) förekommer antingen i reducerad eller oxiderad form, vilket gör att halterna och förekomstformen är beroende av vattnets syrgashalt (Lydersen et al., 2002). Bäckvatten är vanligtvis väl syresatt i skogsområden och de flesta metaller förekommer därför i oxiderad form.

Kisel (Si) härstammar från vittringen av mineral i marken och låga halter indikerar att jordarna och berggrunden i avrinningsområdet domineras av svårvittrade mineraler. Kisel omsätts dock biologiskt och särskilt kiselalger har stort behov för uppbyggnaden av sina skal. Kisel uppvisar därför vanligtvis en utpräglad säsongsvariation med högre halter före och efter vegetationssäsongen. Sjörika vattensystem har vanligtvis lägre kiselhalter än sjöfattiga eftersom kiselalgernas skal sedimenterar ut ur och hamnar i sjöarnas botten.

Transporten av organiskt material (TOC) varierade påtagligt mellan områdena och Kvarnbäcken uppvisade lägst export med 31 kg TOC/ha, år. Fallabäcken och Ramsjöbäcken hade ungefär dubbelt så stor utlakning som Kvarnbäcken medan Sågebäcken och Näverbäcken hade tre gånger så stora transporter (Tabell 7). I grova drag följer Fe, Mn och Al samma mönster med lägst export i Kvarnbäcken och högst i Näverbäcken och Sågebäcken, vilka också har den högsta avrinningen (Tabell 2 och 7). Generellt följer utlakningen av organiskt material och metaller avrinningsmönstret tämligen väl (Figur 9). Utlakningen av TOC, Fe, Mn och Al ligger på liknande nivåer som uttransporten via bäckarna i naturskogsområdena Gårdsjön och Aneboda (integrerad monitoring, <http://info1.ma.slu.se/IM/data.html>).

Förekomsten av oorganiskt (Ali) och organiskt bundet aluminium (Alo) har enbart analyserats i Kvarnbäcken, Ramsjöbäcken och Sågebäcken. I Näverbäcken har det monomera aluminiumet olyckligtvis inte separerats i de båda förekomstformerna (Tabell 7). Sågebäcken, med ett flödesvägt medel-pH på 4,8, uppvisade den största transporten av oorganiskt aluminium, vilken är den giftigaste formen för fisk och andra organismer som andas med gälar. Ungefär 37% av aluminiumet exporterades i oorganisk form. I de båda andra områdena utgjorde Ali 12-13% av Al-transporten. Den i absoluta tal högre transporten av Ali i Ramsjöbäcken än Kvarnbäcken är oväntad med tanke på lägre pH och TOC (Tabell 6 & 7) i den senare, men kan eventuellt förklaras av att Kvarnbäcken hade något lägre avrinning (30 mm, Tabell 2) och ett flertal sjöar i avrinningsområdet (6% av avrinningsområdets yta). Ramsjöbäcken saknar helt sjöar och har därmed låg potential för sedimentation (Tabell 1 och Figur 2).

Tabell 7. Medelvärden för årliga transporter (kg/ha, år) av organiskt material (TOC), kisel (Si) och metallerna järn (Fe), mangan (Mn) och aluminium (Alt) samt organiskt bundet aluminium (Alo), oorganiskt aluminium (Ali) och totalt monomert aluminium (Al monomert) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Variabel	Falla-bäcken	Kvarne-bäcken	Näver-bäcken	Ramsjö-bäcken	Såge-bäcken
TOC, kg/ha, år	58	31	108	57	90
Si, kg/ha, år	11,8	4,0		12,9	10,7
Fe, kg/ha, år	2,8	1,2	15,3	2,2	5,6
Mn, kg/ha, år	0,25	0,07	0,54	0,41	0,40
Alt, kg/ha, år	1,24	0,75	1,58	1,22	1,80
Alo*, kg/ha, år		0,68		0,44	1,42
Ali*, kg/ha, år		0,10		0,15	0,67
Al monomert*, kg/ha, år			0,89**	0,59**	

* Baserat på data enbart från ett fåtal år

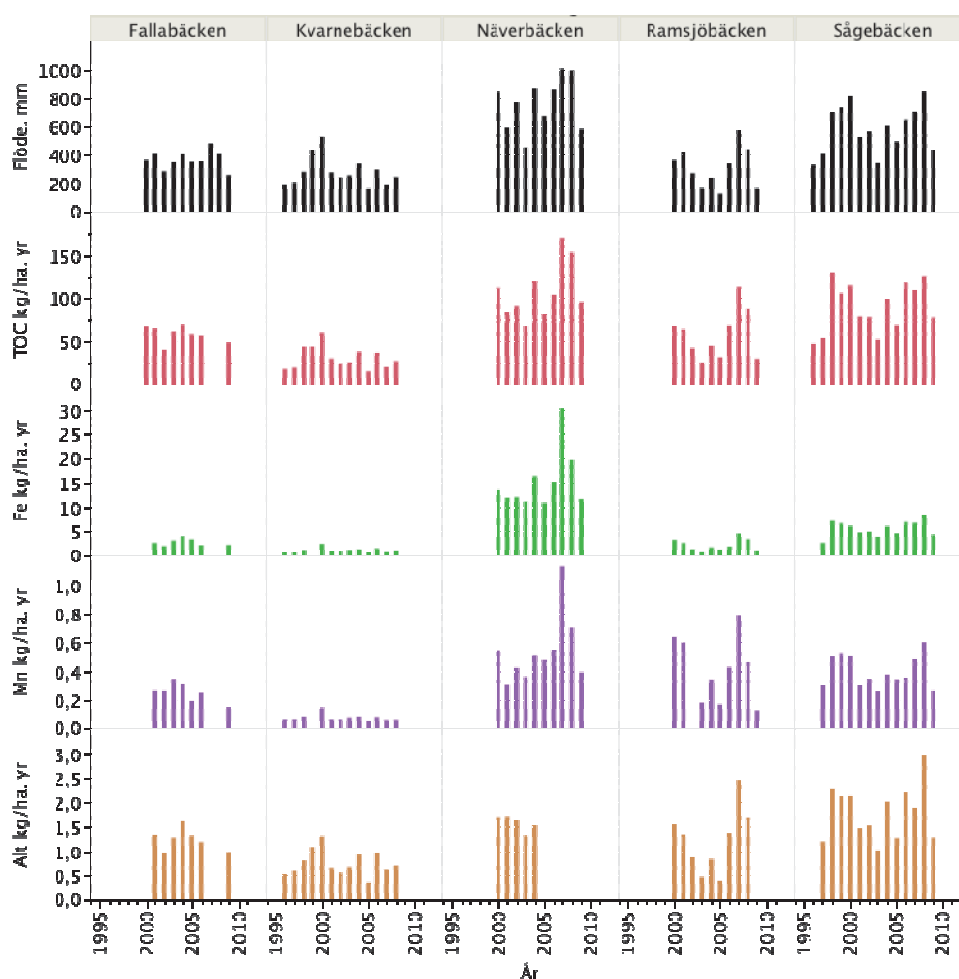
**Al monomert = Alo+Ali

Tabell 8. Flödesvägda medelhalter (mg/l) av organiskt material (TOC), kisel (Si) och metallerna järn (Fe), mangan (Mn) och aluminium (Alt) samt organiskt bundet aluminium (Alo), oorganiskt aluminium (Ali) och totalt monomert aluminium (Al monomert) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Variabel	Falla-bäcken	Kvarne-bäcken	Näver-bäcken	Ramsjö-bäcken	Såge-bäcken
TOC, mg/l	16,9	10,9	14,1	18,6	15,4
Si, mg/l	3,4	1,5		4,3	1,8
Fe, µg/l	827	433	1988	725	934
Mn, µg/l	73	28	69	128	66
Alt, µg/l	360	272	233	359	298
Alo*, µg/l		230		134	214
Ali*, µg/l		35		42	101
Al monomert*, µg/l			111**	176**	

* Baserat på data enbart från ett fåtal år

**Al monomert = Alo+Ali

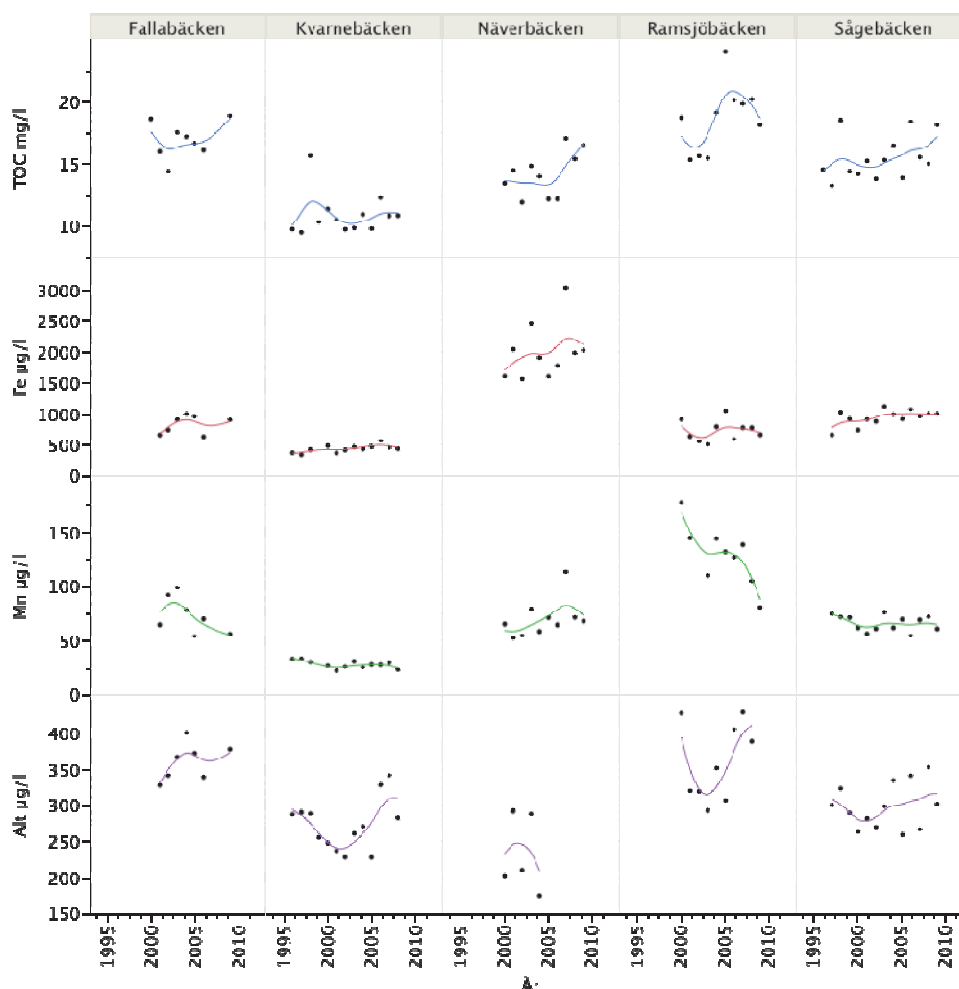


Figur 9. Årlig avrinning (mm) och transporter (kg/ha, år) av organiskt material (TOC) och metallerna järn (Fe), mangan (Mn) och aluminium (Al) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

De flödesvägda medelhalterna visar att Kvarnebäcken och Ramsjöbäcken är det minst (11 mg TOC/l) respektive mest (19 mg TOC/l) humösa vattendraget av de fem övervakningsområdena. De övriga tre bäckarna hade TOC-halter i intervallet 14-17 mg/l (Tabell 8). Även för Si, Fe, Mn och Al hade Kvarnebäcken de lägsta halterna, vilket sannolikt är en effekt av sedimentation i de uppströms belägna sjöarna. Särskilt Kvarnekastjärnet, belägen strax uppströms provtagningsstationen (Figur 2), har troligtvis påtaglig inverkan på vattenkemin. Få tidsserier visar på monotona uppåt- eller neråtgående trender, men TOC, Fe och Al förefaller generellt vara något högre i slutet på tidsserierna (Figur 10). Detta stämmer väl överens med den generella trenden av ökande humushalter i svenska sjöar och vattendrag (Erlandsson et al., 2008; Erlandsson et al., 2010).

De flödesvägda medelhalterna för oorganiskt aluminium, som enbart kan beräknas för ett fåtal år, låg i den sura Sågebäcken på ca 100 µg/l (2 års data), vilket är klart över de nivåer om 30-50 µg/l som betraktas som skadliga för fisk och andra organismer som andas med gälar (Lydersen et al., 2002). Även Kvarnebäcken (1 års data) och Ramsjöbäcken (5 års data) ligger inom detta intervall. De senaste fyra årens

data från Ramsjöbäcken indikerar sjunkande halter Ali, vilket överensstämmer med observationer från flera andra skogsvattendrag i södra Sverige (Löfgren et al., 2009) och i markvatten i krondropps nätet (Löfgren and Zetterberg, 2011).



Figur 10. Flödesvägda medelhalter (mg/l) av organiskt material (TOC) och metallerna järn (Fe), mangan (Mn) och aluminium (Al) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Övriga metaller

Data för koppar (Cu), zink (Zn), kadmium (Cd), bly (Pb), krom (Cr), nickel (Ni), kobolt (Co), arsenik (As) och Vanadin (V) föreligger endast från Kvarnebäcken (7 år), Ramsjöbäcken (9 år) och Sågebäcken (10 år). Molybden (Mo) har endast analyserats i Ramsjöbäcken (7 år) medan kvicksilver (Hg) analyserats i Ramsjöbäcken (3 år) och Sågebäcken (8 år).

Av de tre övervakade områdena hade Sågebäcken den största utlakningen av metaller med undantag av koppar där utflödet från Ramsjöbäcken var ungefär lika stort. Vanligtvis var exporten från Sågebäcken 3-4 ggr högre än från de övriga områdena (Tabell 9), vilket delvis förklaras av större avrinning (Tabell 2), men

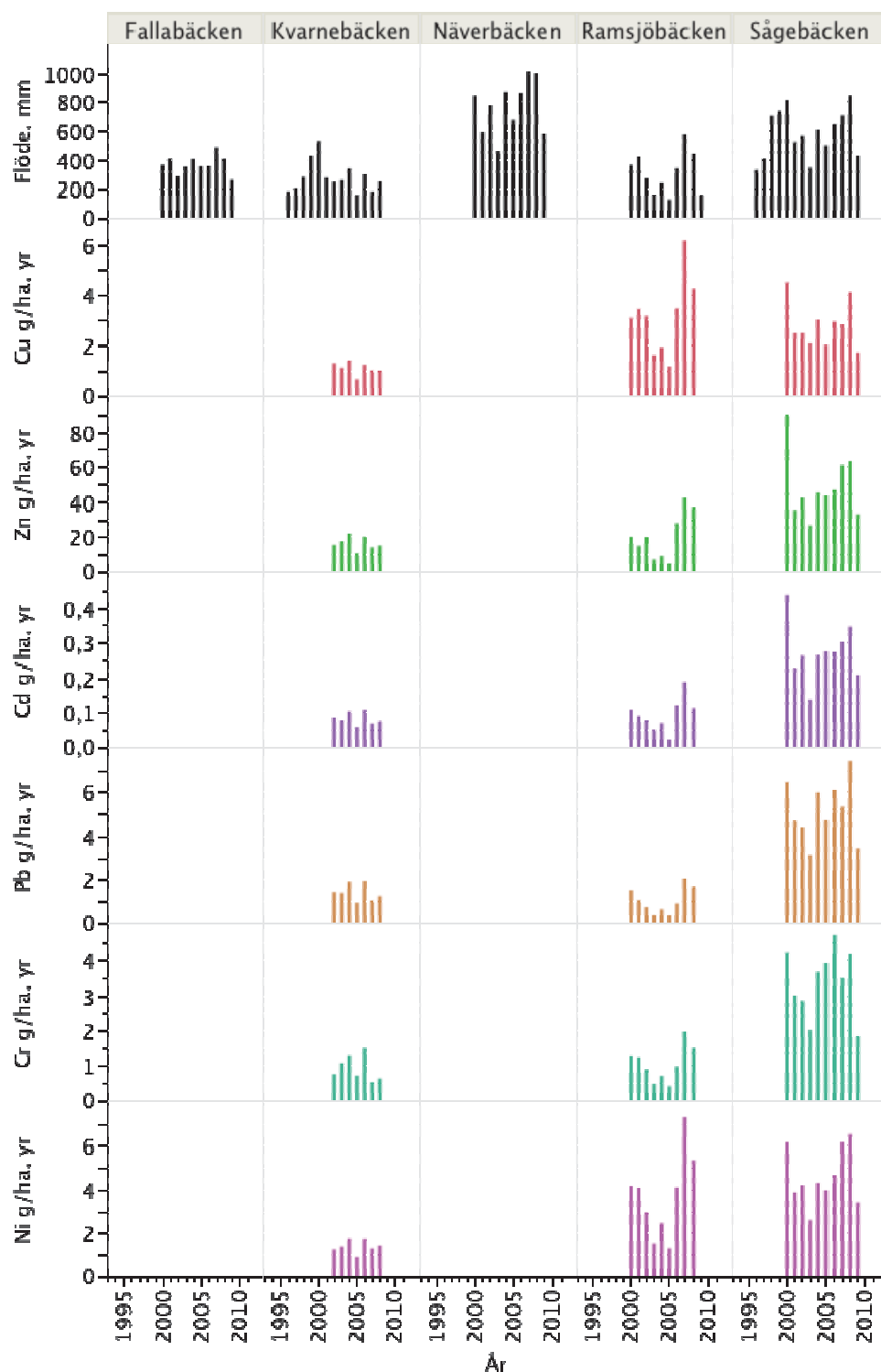
även av högre halter. De flödesvägda medelhalterna var, med undantag av Cu och Ni där Ramsjöbäcken hade högst halter, betydligt högre i Sågebäcken jämfört med de båda andra vattendragen (Tabell 10). De mellanårliga variationerna i utlakningen varierade i likhet med övriga ämnen i stort med avrinningen (Figur 11 och 12) och inga tydliga trender i flödesvägda medelhalter kunde dokumenteras (Figur 13 och 14). Metallhalterna ligger på likartade nivåer som i bäckarna till de naturskogsdominerade integrerad monitoring-områdena Gårdsjön och Aneboda (<http://info1.ma.slu.se/IM/data.html>) och de var oftast betydligt lägre än de lägsta halterna där negativa biologiska effekter kan förväntas (Lydersen et al., 2002).

Tabell 9. Medelvärden för årliga transporter (g/ha, år) av metallerna koppar (Cu), zink (Zn), kadmium (Cd), bly (Pb), krom (Cr), nickel (Ni), kobolt (Co), arsenik (As), vanadin (V), molybden (Mo) och kvicksilver (Hg) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

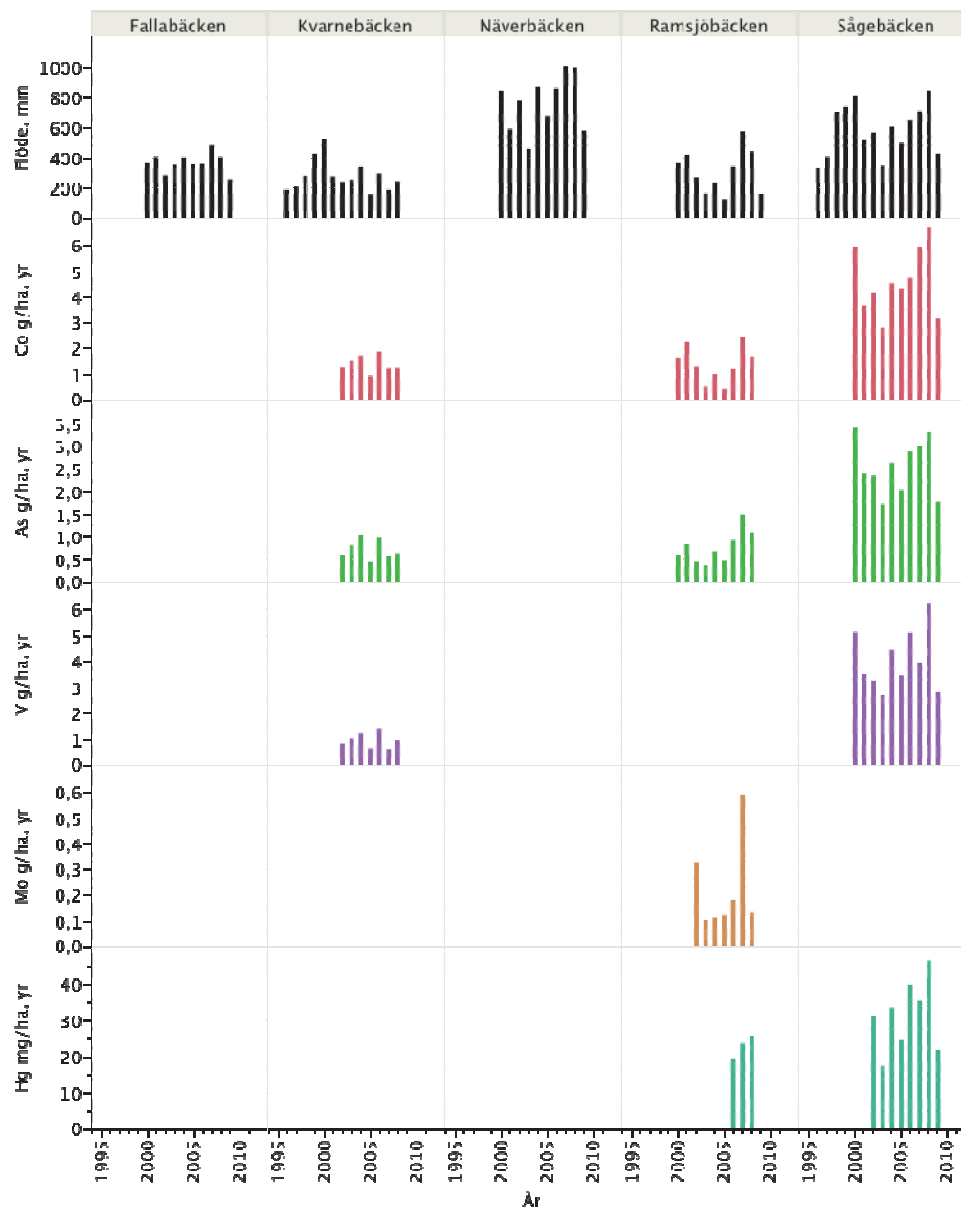
Variabel	Falla-bäcken	Kvarne-bäcken	Näver-bäcken	Ramsjö-bäcken	Såge-bäcken
Cu g/ha, år		1,1		3,1	2,8
Zn g/ha, år		16,4		20,3	48,6
Cd g/ha, år		0,08		0,09	0,27
Pb g/ha, år		1,4		1,0	5,2
Cr g/ha, år		0,9		1,0	3,4
Ni g/ha, år		1,4		3,7	4,6
Co g/ha, år		1,4		1,4	4,6
As g/ha, år		0,7		0,8	2,6
V g/ha, år		1,0			4,0
Mo g/ha, år				0,22	
Hg mg/ha, år				23	31

Tabell 10. Flödesvägda medelhalter (µg/l och ng/l för Hg) av metallerna koppar (Cu), zink (Zn), kadmium (Cd), bly (Pb), krom (Cr), nickel (Ni), kobolt (Co), arsenik (As), vanadin (V), molybden (Mo) och kvicksilver (Hg) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

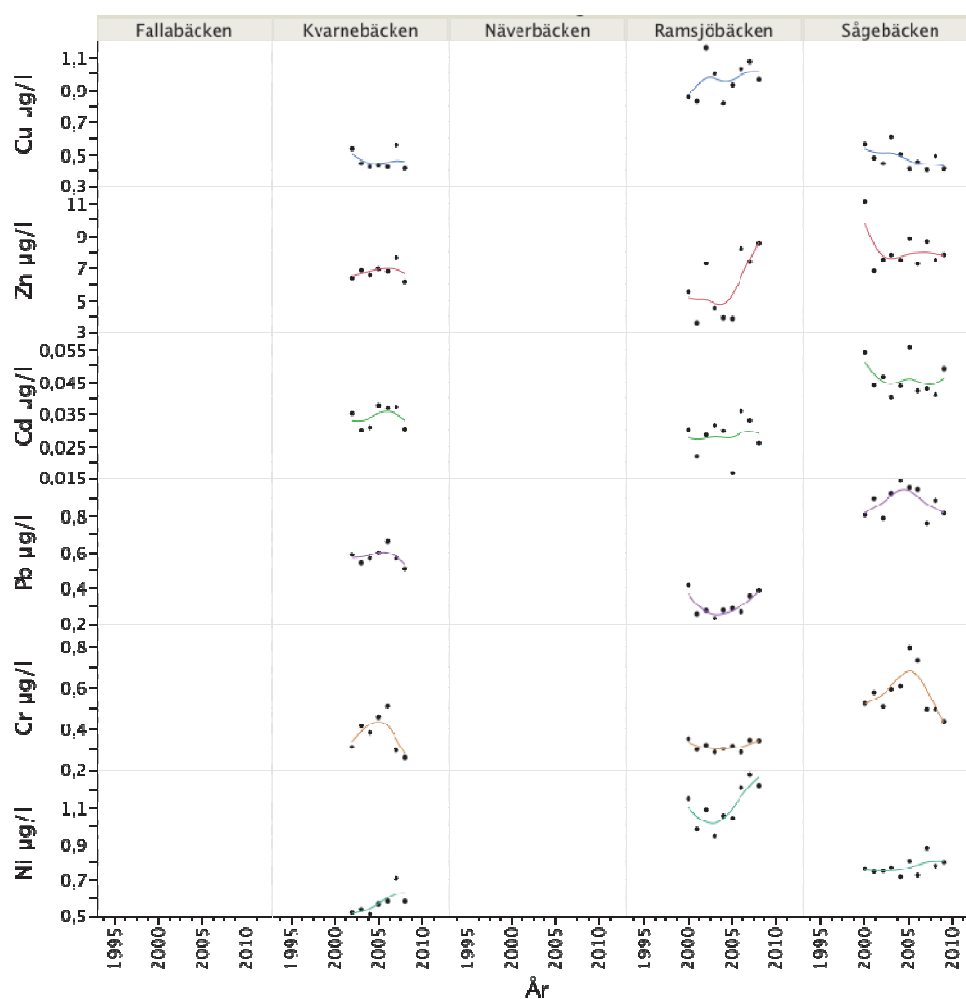
Variabel	Falla-bäcken	Kvarne-bäcken	Näver-bäcken	Ramsjö-bäcken	Såge-bäcken
Cu, µg/l		0,46		0,96	0,47
Zn, µg/l		6,7		5,8	8,0
Cd, µg/l		0,03		0,03	0,05
Pb, µg/l		0,57		0,30	0,87
Cr, µg/l		0,37		0,31	0,57
Ni, µg/l		0,57		1,10	0,77
Co, µg/l		0,57		0,41	0,77
As, µg/l		0,29		0,24	0,43
V, µg/l		0,38			0,68
Mo, µg/l				0,07	
Hg, ng/l				5,2	5,4



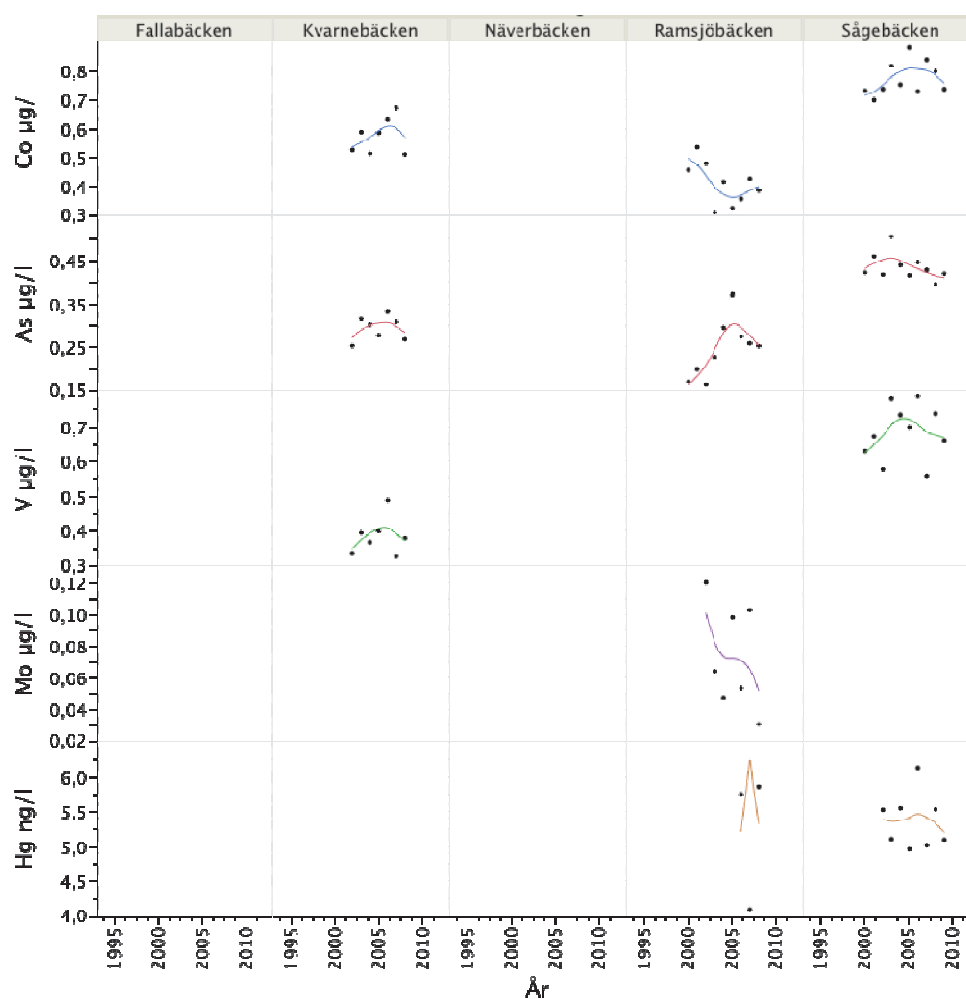
Figur 11. Årlig avrinning (mm) och transporter (g/ha, år) av metallerna koppar (Cu), zink (Zn), kadmium (Cd), bly (Pb), krom (Cr) och nickel (Ni) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.



Figur 12. Årlig avrinning (mm) och transporter (g/ha, år eller mg/ha, år för Hg) av metallerna kobolt (Co), arsenik (As), vanadin (V), molybden (Mo) och kvicksilver (Hg) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.



Figur 13. Flödesvägda medelhalter (µg/l) av metallerna koppar (Cu), zink (Zn), kadmium (Cd), bly (Pb), krom (Cr) och nickel (Ni) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.



Figur 14. Flödesvägda medelhalter (µg/l eller ng/l för Hg) av metallerna kobolt (Co), arsenik (As), vanadin (V), molybden (Mo) och kvicksilver (Hg) under mätperioden i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

Skogsbrukets effekter på vattenkvaliteten

Skogsbruksåtgärder (avverkning, skärmställning, markberedning och GROT-uttag) i avrinningsområdena till de studerade bäckarna under perioden 2004/2005 till 2009/2010 framgår av Tabell 11. Under den karterade 6-årsperioden avverkades 4-14% av avrinningsområdets areal med störst andel i Näverbäcken (14%) och Fallabäcken (11%). En betydande andel av avverkningarna utfördes åren 2005/2006 (Fallabäcken, Näverbäcken och Ramsjöbäcken), 2006/2007 (Fallabäcken) och 2007/2008 (Fallabäcken, Näverbäcken, Ramsjöbäcken och Sågebäcken), vilket indikerar att områdena drabbades av stormfällningar i samband med stormarna Gudrun (2005) och Per (2007). Skogen i Kvarnebäckens avrinningsområde förefaller inte ha drabbats av dessa stormar och där skedde huvuddelen av avverkningarna 2009/2010 d.v.s. eventuell påverkan på vattenkemin kan inte spåras i detta projekt. I samband med avverkningarna skördades även GROT (grenar och toppar) på en stor del av den avverkade arealen i Fallabäcken Ramsjöbäcken och Sågebäcken (Tabell 11). I Kvarnebäcken lämnades grenar och toppar kvar och även i Näverbäcken var GROT-uttaget lågt (14% av avverkad areal).

Avverkningarna förefaller i huvudsak ha varit kalhyggesbruk med få kvarlämnade skärmställningar ($\leq 1\%$, tabell 11), vilket är att förvänta i bestånd periodvis utsatta för kraftig vind och stor risk för stormfällning. En stor del av de avverkade arealerna markbereddes innan plantering i Fallabäcken (82% av avverkad areal), Näverbäcken (80%) och Ramsjöbäcken (83%). I Kvarnebäcken och Sågebäcken var dock markberedning ovanlig ($\leq 36\%$ av avverkad areal, Tabell 11).

Det har tidigare visats att slutavverkning inklusive de åtgärder (markberedning, skyddsdikning etc.) och körsador som uppstår i samband med den utgör den fas i en skogsgeneration som ger störst påverkan på vattenkvaliteten i små skogsbäckar (Ring et al., 2008). Effekter kan observeras bl.a. i form av ökad avrinning, ökade närsalthalter (N och P), ökad slamtransport och försurning förutsatt att utlakningen av nitrat (nitrifiering) ökar. Effekterna är dock beroende av ett stort antal faktorer som bl.a. påverkas av klimatet (större effekt under kortare period i södra Sverige jämfört med i norr), markens bördighet (större effekt på bördiga marker) och hän-synen till vatten i samband med skötselåtgärdernas utförande (hög effekt av störningar i hydrauliskt aktiva områden som t.ex. strandkanter).

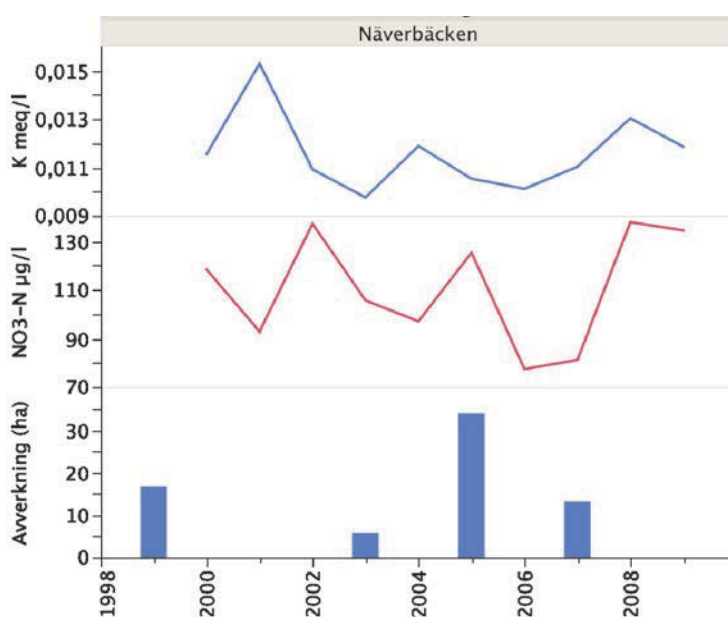
En viktig variabel för att upptäcka påverkan är andelen av avrinningsområdet som påverkas av skötselåtgärderna. Baserat på rimliga antagen för kväveutlakning från växande skog och hyggen har man t.ex. beräknat att ca 20% av avrinningsområdet måste avverkas för att man med någorlunda säkerhet ska kunna skilja effekten av slutavverkning från den naturliga variationen (Ring et al., 2008). Utlakningen av kväve och fosfor förefaller vara förhöjd i ca 5 år respektive 3 år i södra Sverige (Brandt et al., 2008; Löfgren and Olsson, 1990). Man har också gjort troligt att skärmställningar med mer än 200 stammar/ha kan minska utlakningen av kväve (Akselsson et al., 2007).

Tabell 11. Skogsbruksåtgärder utförda under perioden 2004/2005 till 2009/2010 i områden med övervakning av avrinning från brukad skogsmark i Västra Götalands, Jönköpings och Hallands län.

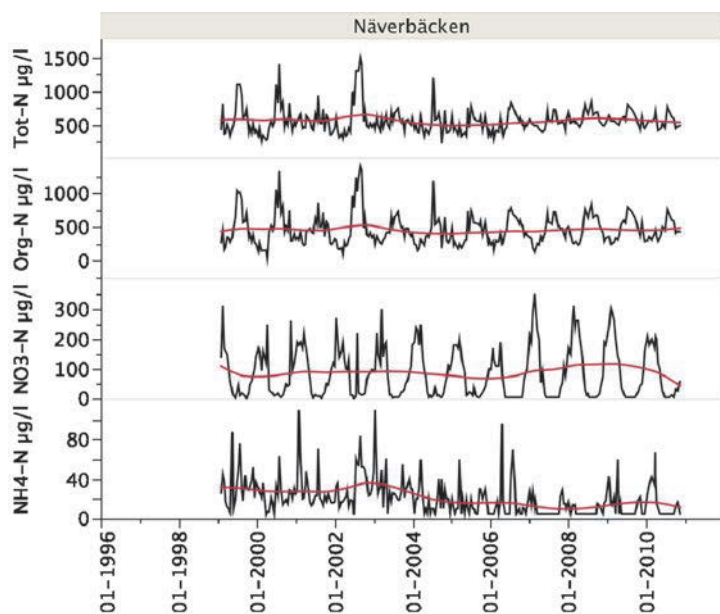
År	Skötselåtgärd	Falla- bäcken	Kvarne- bäcken	Näver- bäcken	Ramsjö- bäcken	Såge- bäcken
2004/2005	Avverkning, ha	6,7	6,0	0	2,2	2,1
	Skärm, ha	0	3,0		0	0,3
	Markberedning, ha	3,8	0	5,8	1,5	0
	GROT, ha	6,7	0	0	1,5	1,2
2005/2006	Avverkning, ha	9,5	1,9	34,1	7,1	0
	Skärm, ha	0	0,2		0	0
	Markberedning, ha	7,7	0	2,0	7,0	0
	GROT, ha	9,4	0	0	7,0	0
2006/2007	Avverkning, ha	8,2	0	0	0	4,7
	Skärm, ha	0	0		0	0
	Markberedning, ha	6,8	0	16	0	0
	GROT, ha	6,6	0	0	0	3,3
2007/2008	Avverkning, ha	8,4	0,5	13,3	14,6	10,5
	Skärm, ha	0	0		0	0,7
	Markberedning, ha	7,7	0	0	11,0	0
	GROT, ha	8,0	0	0	13,1	8,6
2008/2009	Avverkning, ha	5,8	0	0	0,6	0
	Skärm, ha	0	0		0	0
	Markberedning, ha	5,0	0	2,5	0	0
	GROT, ha	4,9	0	0	0,6	0
2009/2010	Avverkning, ha	0	19,9	0	3,0	0
	Skärm, ha	0	1,9		0	0
	Markberedning, ha	0	10,2	11,5	2,1	0
	GROT, ha	0	0	6,8	2,7	0
Σ Avverkning, ha		38,6	28,3	47,4	27,5	17,3
Σ Skärm, ha		0	5,1		0	1,0
Σ Markberedning, ha		31,0	10,2	37,8	21,5	0
Σ GROT, ha		35,6	0,0	6,8	24,9	13,1
Σ Avverkning, % av ARO		11%	4%	14%	6%	4%
Σ Skärm, % av ARO		0%	1%		0%	0%
Σ Markberedning, % av ARO		9%	1%	11%	5%	0%
Σ GROT, % av ARO		10%	0%	2%	5%	3%

Överför man ovanstående tumregler till avrinningsområdena i denna studie är det mindre troligt att man ska kunna spåra effekterna av slutavverkning, GROT-uttag, markberedning etc. i de studerade bäckarna. Andelen slutavverkning var för låg ($\leq 14\%$) i avrinningsområdena och i några få bestånd fanns även skärmställningar kvarlämnade. Trots låg sannolikhet för att spåra effekter av skogsbruksåtgärderna har ett försök gjorts att koppla avverkad areal i Näverbäcken, det mest skogsbrukspåverkade området, mot utlakningen av $\text{NO}_3\text{-N}$ och K^+ . Dessa båda ämnen brukar öka påtagligt i samband med slutavverkning (Ring et al., 2008). Baserat på de flödesvägda årsmedelhalterna för $\text{NO}_3\text{-N}$ och K^+ föreligger dock inget samband med avverkad areal (Figur 14). Det är även problematiskt att påvisa signifikanta effekter i de faktiskt uppmätta tidsserierna (Figur 15 och 16). Det finns dock en antydning till svagt förhöjda halter $\text{NO}_3\text{-N}$ och K^+ från 2006 och ett par tre år därefter. Under 2005 slutavverkades betydande arealer skogsmark efter stormen Gudrun, vilket kan vara orsaken. De förhöjda halterna $\text{NO}_3\text{-N}$ motverkades dock av lägre halter $\text{NH}_4\text{-N}$ (Figur 15), vilket indikerar att nitrifikationen ökat. Svagt ökande halter Org-N gör att nettoeffekten blev tämligen oförändrade halter av Tot-N (figur 15).

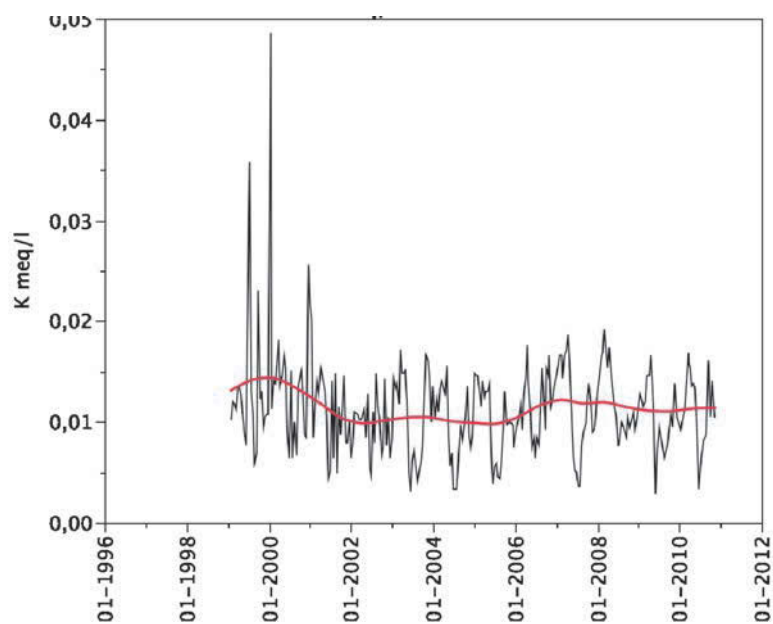
Ovanstående resultat indikerar följaktligen att skogsbruksåtgärderna påverkat en så liten andel av avrinningsområdena att effekterna av dem inte kan särskiljas från den naturliga variationen i bäckvattenkemin. Liknande resultat har erhållits tidigare då brukade områden jämförts med naturskog i södra Sverige (Löfgren and Westling, 2002; Ugglå and Westling, 2003; Westling et al., 2001). Resultatet är glädjande i och med att det på en rumslig skala av några hundra hektar inte finns några indikationer på att skogsbruket påtagligt ökat utlakningen av näringsämnen eller på annat sätt påverkat det vattenkemiska tillståndet. På en mindre rumslig skala och i direkt anslutning till slutavverkningar skulle däremot tydliga effekter sannolikt kunna påvisas. Skogsbruket ger därför primärt upphov till mycket lokala effekter på vattenmiljön.



Figur 14. Avverkad areal (ha) och de flödesvägda årsmedelhalterna $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g/l}$) och K^+ (meq/l) under perioden 1999-2010 i Näverbäcken, Hallands län.



Figur 15. Halterna Tot-N, NO₃-N och NH₄-N (µg/l) under perioden 1999-2010 i Näverbäcken, Hallands län.



Figur 16. Halterna K⁺ (meq/l) under perioden 1999-2010 i Näverbäcken, Hallands län.

Förslag till framtida regional övervakning av avrinningen från brukad skogsmark

Utgående från det faktum att det inte med säkerhet går att urskilja skogsbrukets effekter på vattenkemin i de studerade bäckarna skulle man kunna dra slutsatsen att övervakningen är överflödig. Å andra sidan visar resultaten från denna studie att skogs- och myrområden på några hundra hektar och med slutavverkning under 5 år på upp till 14% av arealen fortfarande är tämligen slutna system och har kapacitet att upprätthålla en vattenkvalitet i skogsbäckarna som liknar den som återfinns i naturskogsliknande områden i sydvästra Sverige. Depositionen av kväve är t.ex. i storleksordningen 10-20 kg N/ha, år i denna region medan utlakningen till de studerade bäckarna uppgick till ca 1-4 kg Tot-N/ha, år (Tabell 3). Skogsekosystemet binder följaktligen kväve mycket effektivt och fungerar som ett filter för vattensystemen. Det finns dock uttalade farhågor om att ackumuleringen av kväve i skogsekosystemen på sikt kan leda till ökad nitrutlakning och att det i kombination med det ökade uttaget av skogsbiomassa kan leda till ökad förurning av mark och vatten (Bertills et al., 2007).

Dessa farhågor är i hög grad baserade på resultat från massbalanser och dynamisk modellering. I båda exemplen används data från mätningar som input, men eftersom framtiden simuleras behövs mätdata för att verifiera eller förkasta ”prognoserna”. Källfördelningar är en annan typ av modeller som används för att skatta tillförseln av t.ex. näringsämnen från olika källor (Brandt et al., 2008) och för att beräkna hur mycket belastningen bör minska på vattenförekomsterna i inlandet och omgivande hav. Även för dessa modeller krävs mätdata för att kalibrera och verifiera utfallet även om syftet ofta är att skatta tillstånd och påverkan i områden där mätdata saknas.

Det senare är inte minst viktigt sedan EU kommissionens direktorat för miljö kraftigt kritiserat Sverige bl.a. för att under den första förvaltningscykeln (Vattendirektivet, 2000/60/EG) baserat statusklassningen på allt för undermålig miljöövervakning. Man konstaterar bl.a. att endast 10-20% av vattenförekomsterna till Skagerrak och Kattegatt övervakats medan 95% av dem statusbedömts. Direktoratet slår fast att ”The classification of ecological status therefore seems to lack sufficient data for its assessment leading to highly uncertain results for the planning of the programme of measures” (Ref. Ares(2011)993737 - 20/09/2011).

Det föreligger följaktligen ett fortsatt behov av att följa upp vattenkvaliteten i bl.a. brukade skogsområden för att bedöma framtida, potentiellt miljöhot samt för att uppfylla Vattendirektivets krav på miljöövervakning och relevanta åtgärdsprogram. Med tanke på den stora areella utbredningen av skogs- och myrmark borde övervakning av vattenkvaliteten i sådana områden ha hög prioritet både regionalt och nationellt. Ett nationellt miljöövervakningsprogram saknas idag, vilket gör de regionala programmen med långa tidsserier särskilt värdefulla.

Min bedömning är att de regionala programmen för övervakning av avrinningen från brukad skogsmark i Västra Götalands, Hallands och Jönköpings län sedan start genererat mycket värdefull data. Resultaten har hittills använts på många olika sätt inom vattenvårdsarbetet (se Bakgrund och syfte) och de har potential att bli än mer värdefulla i takt med att tidsserierna förlängs. Mitt råd till länen blir därför att så

långt möjligt fortsätta mätningarna i Fallabäcken, Kvarnebäcken, Sågebäcken, Näverbäcken och Ramsjöbäcken.

Följande möjligheter att förbättra mätprogrammets kvalitet har identifierats:

1. En ny höjddatabas kommer inom en snar framtid (senast 2015) att levereras av Lantmäteriet. Höjddatabasen (precision <0,5 m, 2 m grid) bör användas för att med förbättrad precision fastställa vattendelaren till respektive avrinningsområde.
2. Markslagsfördelningen bestäms med de nya vattendelarna som avgränsning baserat på SMD-data.
3. Modellerad dygnsvis vattenföring bör införskaffas för hela mätperioden. Eftersom SMHI bytt beräkningsmodell (från PULS till S-HYPE) behövs nya skattningar bakåt i tiden för samtliga områden förutom Ramsjöbäcken där vattenföringen mäts.
4. Vid nästa utvärdering bör nya transportberäkningar utföras för hela mätperioden baserade på nya dygnsvisa avrinningsdata.
5. Länen bör använda samma metodik för att analysera oorganiskt aluminium (Ali).

För att förbättra möjligheterna att belysa skogsbrukets lokala inverkan på vattenkvaliteten kan mätprogrammen kompletteras med följande:

- A. Information om utförda skogsskötselåtgärder (slutavverkning, markberedning, skärmställning och GROT-uttag) bör årligen inhämtas från Skogsstyrelsen.
- B. I slutavverkade bestånd insamlas vattenprover från dikessystemet som avvattnar den avverkade ytan. Prover insamlas 4 gånger per år (vår, sommar, höst och vinter) med start året efter slutavverkning och med uppföljning under 5 år eller så länge tydliga effekter kan registreras. Proverna analyseras med avseende på närsaltsfraktioner, försurningsrelaterade variabler, TOC och aluminiumfraktioner (se ovan). Vid varje provtagningsstillfälle skattas avrinningen med lämplig, enkel metod.

Överväganden och förslag till mer generell utformning av mätprogram för övervakning av avrinning från brukad skogsmark framgår av Löfgren och Olofsson (2002).

Referenser

- Akselsson C, Westling O, Öhrlander G. Skogsskötsel och vattenkvalitet - En sammanställning av resultat från skärm- och bårdförsök inom SUFOR. IVL rapport. B1752, 2007, pp. 36.
- Bertills U, Fölster J, Lager H. Nara naturlig försurning - Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet. Naturvårdsverket. rapport 5766, Stockholm, Sverige, 2007, pp. 116.
- Brandt M, Ejhed H, Rapp L. Näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2006 - Sveriges underlag till HELCOMs femte Pollution Load Compilation. Naturvårdsverket rapport. 5815, Bromma, 2008, pp. 95.
- Erlandsson M, Buffam I, Fölster J, Laudon H, Temnerud J, Weyhenmeyer GA, et al. Thirty-five years of synchrony in the organic matter concentrations of Swedish rivers explained by variation in flow and sulphate. *Global Change Biology* 2008; 14: 1191-1198.
- Erlandsson M, Cory N, Kohler S, Bishop K. Direct and indirect effects of increasing dissolved organic carbon levels on pH in lakes recovering from acidification. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences* 2010; 115: 8 pp.
- Giesler R, Moldan F, Lundström U, Hultberg H. Reversing acidification in a forested catchment in southwestern Sweden: Effects on soil solution chemistry. *Journal of Environmental Quality* 1996; 25: 110-119.
- Lydersen E, Löfgren S, Arnesen RT. Metals in Scandinavian surface waters: Effects of acidification, liming, and potential reacidification. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 2002; 32: 73-295.
- Löfgren S, Aastrup M, Bringmark L, Hultberg H, Lewin-Pihlblad L, Lundin L, et al. Recovery of soil water, groundwater and streamwater from acidification at the Swedish Integrated Monitoring catchments. *Ambio* 2011a; 40: nn-nn.
- Löfgren S, Bringmark L, Aastrup M, Hultberg H, Kindbom K, Kvarnäs H. Sulphur balances and dynamics in three forested catchments in Sweden. *Water Air and Soil Pollution* 2001; 130: 631-636.
- Löfgren S, Cory N, Zetterberg T. Aluminium concentrations in Swedish forest streams and co-variations with catchment characteristics. *Environmental Monitoring and Assessment* 2010; 166: 609-624.
- Löfgren S, Cory N, Zetterberg T, Larsson P-E, Kronnäs V. The long-term effects of catchment liming and reduced sulphur deposition on forest soils and runoff chemistry in southwest Sweden. *Forest Ecology and Management* 2009; 258: 567-578.
- Löfgren S, Nisell J, Yu J, Ranneby B. Förbättrade skattningar av N- och P-förlusterna från skog, myr och fjäll inför PLC6 - pilotprojekt. SMED Rapport. 52, 2011b, pp. 35.
- Löfgren S, Olofsson H. Övervakning av akvatiska system i brukad skog – nuvarande status och förslag till framtida program. Institutionen för miljöanalys, SLU rapport. 2002:20, Uppsala, 2002, pp. 39.
- Löfgren S, Olsson H. Tillförsel av kväve och fosfor till vattendrag i Sveriges inland. Naturvårdsverket rapport. 3692, 1990, pp. 100.

- Löfgren S, Westling O. Modell för att beräkna kväveförluster från växande skog och hyggen i Sydsverige. Institutionen för miljöanalys, SLU rapport. 2002:1, 2002, pp. 23.
- Löfgren S, Zetterberg T. Decreased DOC concentrations in soil water in forested areas in southern Sweden during 1987-2008. *Science of The Total Environment* 2011; 409: 1916-1926.
- Löfgren S, Zetterberg T, Hellsten S, Nisell J. Aluminiumhalter i skogsbäckar och variationen med avrinningsområdenas egenskaper. Skogsstyrelsen rapport. 12:2008, Jönköping, 2008a, pp. 45.
- Löfgren S, Zetterberg T, Larsson P-E, Cory N, Malin K, Kronnäs V, et al. Skogsmarkskalkningens effekter på kemin i mark, grundvatten och ytvatten i SKOKAL-områdena 16 år efter behandling. Skogsstyrelsen rapport. 16:2008, Jönköping, 2008b, pp. 124.
- Naturvårdsverket. Nationell plan för kalkning 2011-2015. Naturvårdsverket rapport. 6449, Bromma, 2011, pp. 72.
- Oliver BG, Thurman EM, Malcolm RL. The contribution of humic substances to the acidity of colored natural-waters. *Geochemica Et Cosmochemica Acta* 1983; 47: 2031-2035.
- Ring E, Löfgren S, Sandin L, Högbom L, Goedkoop W. Skogsbruk och vatten - en kunskapsöversikt. Redogörelse från Skogforsk. 3:2008, Gävle, 2008, pp. 64.
- Skogsstyrelsen. Fastställande av Skogsstyrelsens ståndpunkter rörande kalkning av skogsmark. Protokoll nr 106, Jönköping, 2009, pp. 2.
- Uggla E, Westling O. Utlakningen av fosfor från brukad skogsmark. IVL rapport. B1549, 2003, pp. 21.
- Westling O, Löfgren S, Akselsson C. Arealförluster från skogliga avrinningsområden i Västra Götaland. Skogsstyrelsen rapport. 2, 2001, pp. 78.

Undersökningstyp "Ytvattenkemi i skogsbäckar inklusive vattenföringsmätningar" återfinns på
http://www.naturvardsverket.se/upload/02_tillstandet_i_miljon/Miljoovervakning/tidigare_metoddokument/yth2okemi_back_arb.pdf



Länsstyrelserna

Hallands län
Västra Götalands län
Värmlands län

*Rapporten 2012:02 ingår i Länsstyrelsen i Västra Götalands läns rapportserie,
och finns att hämta på www.lansstyrelsen.se/vastragotaland under publikationer.*