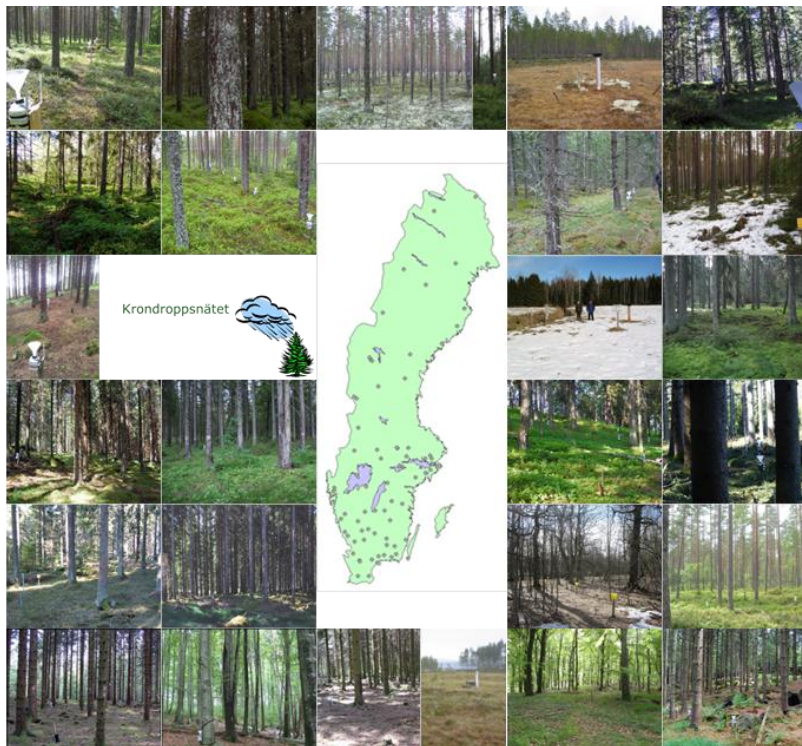


Uppdragsgivare: Luftvårdsförbunden i: Skåne, Blekinge, Jönköpings, Kalmar, Kronobergs, Östergötlands, Västmanlands, Södermanlands och Värmlands län och Länsstyrelserna i: Norrbottens, Västerbottens, Västernorrlands, Jämtlands, Stockholms, Dalarnas, Örebro, Hallands och Västra Götalands län samt Swedavia och Tranemo kommun

## Krondroppsnetets övervakning av luftföroreningar i Sverige – mätningar och modellering

Resultat t.o.m. september 2012



Gunilla Pihl Karlsson, Per Erik Karlsson,  
Cecilia Akselsson<sup>1)</sup>, Veronika Kronnäs & Sofie Hellsten

B 2095

Maj 2013

<sup>1)</sup> Lunds universitet

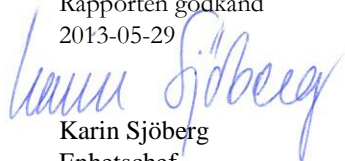


## Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	3
1. Inledning.....	6
2. Krondroppsnetz - koppling till miljömålsarbetet .....	9
2.1. Krondroppsnetz i miljömålsarbetet.....	9
2.2. Kvävenedfallet till skogen – risker för kväveläckage och biodiversitet.....	12
2.3. Försurning – effekter av nedfall och uttag av biomassa från skogen.....	14
3. Prognoser för framtida luftföroreningsbelastning .....	17
4. Ytterligare användningsområden för Krondroppsnetz.....	20
4.1. Koppling mellan markvatten och ytvatten .....	20
4.2. Krondroppsnetzets roll vid riskbedömning och effektuppföljning av gödsling .....	23
5. Krondroppsnetzets mätningar 2011/12.....	25
5.1. Nederbörd/krondroppsmängd .....	25
5.2. Svavelföreningar.....	26
5.3. pH, ANC.....	28
5.4. Kväveföreningar .....	31
5.5. Fosfor .....	36
5.6. Klorid/natrium – havssalt.....	37
5.7. Övriga kationer.....	39
5.8. Organiskt kol.....	42
5.9. Marknära ozon .....	43
5.10. Övriga ämnen.....	44
6. Aktuella publikationer och aktiviteter inom Krondroppsnetz.....	46
7. Tack till Karol Koos, sedan 1989 i Krondroppsnetzets tjänst.....	48
8. Referenser.....	49

Rapporten godkänd

2013-05-29



Karin Sjöberg  
Enhetschef

## Sammanfattning

Krondroppsnätets årliga rapport 2013 är en gemensam nationell rapport. Målsättningar har varit att ge en aktuell bild av situationen vad gäller försurning och övergödning i Sveriges skogsmark idag, tillsammans med en del prognoser för framtiden. Kartor visas med aktuella resultat vad gäller lufthalter, nedfall och markvattenkemi för det hydrologiska året 2011/2012 för alla ämnen som mäts inom Krondroppsnätet.

Nedfallet till skogen i Sverige beror till stor del på långväga transporterade luftföroreningar. Utsläppen av svavel från länderna inom EU har under de senaste drygt 20 åren minskat med 80 %. Motsvarande minskning är 47 % för oxiderat kväve (NO<sub>x</sub>) och 28 % för reducerat kväve (NH<sub>y</sub>). Som ett resultat av detta har svavelnedfallet till Sveriges skogar minskat kraftigt, medan det har varit svårt att påvisa någon minskning av kvävenedfallet.

Trots den stora minskningen av svavelnedfallet drar 19 av total 21 län slutsatsen att man inte kommer att nå det regionala miljömålet *Bara naturlig försurning* till år 2020. Dessa slutsatser baseras delvis på Krondroppsnätets länsvisa mätningar som används för att bedöma de olika preciseringarna inom miljömålet. En bidragande orsak till att de regionala målen för försurning inte uppnås är att flera andra faktorer än svavelnedfallet bidrar till försurningen av skogsmark och sjöar. Kväve bidrar till försurningen främst när kvävet börjar läcka till markvattnet under rotzonen. Skogsbrukets bidrar till försurning av skogsmarken genom trädens upptag av näringsämnen som kompenseras med att sura joner avges. Försurningen blir permanent när biomassa skördas och tas ut från skogsekosystemen.

Mätningarna av markvattenkemin inom Krondroppsnätet visar att skogsmarken i många fall är på väg att återhämta sig från försurning, men att återhämtningen går långsamt och ibland inte alls. I Naturvårdsverkets fördjupade utvärdering 2012 användes koncentrationen 0,4 mg oorganiskt aluminium per liter markvatten som en kritisk gräns för försurning. En analys av Krondroppsytorna visade att 68 % av ytorna överskred denna gräns i sydvästra Sverige. Motsvarande andel i mellersta/sydöstra Sverige var 28 % och i norra Sverige 10 %. Även beräkningar av kritisk belastning för försurning av sjöar visar att det finns många sjöar med överskridande i stora delar av landet, men mest i sydvästra Sverige.

Prognoser för framtiden säger att svavelnedfallet kommer att fortsätta minska till år 2050. Samtidigt ökar uttaget av biomassa från skogen i samband med ökad skörd av grenar och toppar (GROT). Kvävenedfallet kommer att förbli på en hög nivå, vilket innebär fortsatt kväveupplagring i skogsmarken, med ökad risk för läckage av nitrat och därmed ytterligare markförsurning som följd.

Kvävenedfallet till skogen ingår inte som en precisering till miljömålet *Ingen övergödning*. Kvävenedfallet kan ändå användas för att bedöma övergödningen av skogsmarken. Nyligen utförda beräkningar inom forskningsprogrammet SCARP visar att nedfallet av kväve i hela Götaland och i de södra delarna av Svealand överskrider den kritiska belastning som Sverige har antagit som målvärde för att skydda biodiversiteten hos markvegetationen. Kvävebalansberäkningar visar att det sker en kontinuerlig upplagring av kväve i skogsmarken, och förhöjda halter av nitratkväve i markvatten på ett antal krondroppsytor i de skogar där kväveupplagringen är som störst, i sydvästra Sverige, visar att skogens

förmåga att ta upp kväve överskrids. Hur mycket som lagras upp beror främst på hur stort kvävenedfallet är, men också på hur mycket kväve som tas ut från skogsekosystemen i samband med avverkning.

Krondroppsnetzets strävar kontinuerligt efter att utveckla och anpassa verksamheten utifrån nya behov som uppstår. Frågan om sambanden mellan vattenkemi i markvatten och bäckvatten har blivit aktuell. Många län har en omfattande övervakning av bäckvatten. Några första analyser från mätningar i olika delar av landet tyder på att tidsutvecklingen vad gäller förändringar i mark- och bäckvattenkemi uppvisar stora likheter, i synnerhet vad gäller försurningsrelaterade parametrar.

Skogsstyrelsen har under 2012 aviserat att man utreder om det finns skäl att revidera de allmänna råden för skogsgödsling. Krondroppsnetzets mätningar bidrog redan till den förra revideringen 2007. Hur mycket man kan kvävegödsla skogen hänger i stor utsträckning samman med storleken på det atmosfäriska nedfallet av kväve. Även denna gång har forskare inom Krondroppsnetzets varit involverade och gett synpunkter på det kunskapsunderlag som tagits fram inom revideringsprocessen. Budskapet har varit att skogsgödsling med kväve ej bör vara tillåtet i områden i södra Sverige där mätningar visar på ett betydande atmosfäriskt nedfall av kväve till skogen samt ett frekvent läckage av nitrat till markvattnet.

En krondroppsytta i Jämtlands län med lågproduktiv tallskog gödslades under 2012 med 150 kg N/ha. Med finansiering från C.F. Lundströms Forskningsstiftelse intensifierades mätningarna av markvattenkemi vid krondroppsytan och Länsstyrelsen i Jämtland bidrog med parallella ytvattenmätningar i en närliggande tjärn och dess utlopp. Mycket höga halter av nitrat i markvattnet på 50 cm djup uppmättes tre veckor efter gödsling och under resten av sommaren. Ytvattenmätningarna visade dock inte någon tydlig förhöjning av nitrathalterna i tjärnen. Dessa mätningar fortsätter även under 2013, nu också med stöd från Havs- och Vattenmyndigheten.

Fartygsemissioner står för en betydande andel av de svavelutsläpp som ligger bakom det nuvarande svavelnedfallet till skogarna i Sverige. Fartygsbranschen (IMO) har beslutat att svavelhalten i fartygsbränslen skall minskas succesivt. År 2006/2007 beslutades att svavelhalten i fartygsbränslen vid trafik på Nordsjön, Skagerack, Kattegatt och Östersjön får vara högst 1.0 % och år 2015 planeras en ny sänkning från 1.0 till 0.1 %. Utredning pågår om hur nedfallsmätningarna inom Krondroppsnetzets skulle kunna användas för att påvisa minskade svavelnedfall till skogarna i Sverige och hur detta i så fall skulle finansieras.

Resultaten som kommit fram inom Krondroppsnetzets har under de senaste åren utnyttjats inom ett flertal vetenskapliga artiklar. De viktigaste resultaten från de tre senaste artiklarna sammanfattas i rapporten.

**Uppdragsgivare:**

Luftvårdsförbunden i Skåne, Blekinge, Jönköpings, Kalmar, Kronobergs, Östergötlands, Västmanlands, Södermanlands och Värmlands län och Länsstyrelsen i Norrbottens, Västerbottens, Västernorrlands, Jämtlands, Stockholms, Dalarnas, Örebro, Hallands och Västra Götalands län samt Swedavia och Tranemo kommun

**Utförare:**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB  
Box 53021  
SE-400 14 Göteborg

**Författare:** G. Pihl Karlsson, P.E. Karlsson, C. Akselsson, V. Kronnäs & S. Hellsten

**Nyckelord:** Krondroppsnetz, deposition, svavel, kväve, skogsytor, försurning, övergödning, miljömålsuppföljning, markvatten, öppet fält, krondropp, lufthalter, Sverige

IVL rapport B 2095

**Beställs från nedanstående:**

IVL, Publikationsservice  
Box 21060  
SE-100 31 Stockholm  
Tel: 08-598 563 00  
Fax: 08: 598 563 90 [publikationsservice@ivl.se](mailto:publikationsservice@ivl.se)

# 1. Inledning

## Krondroppsnätets roll

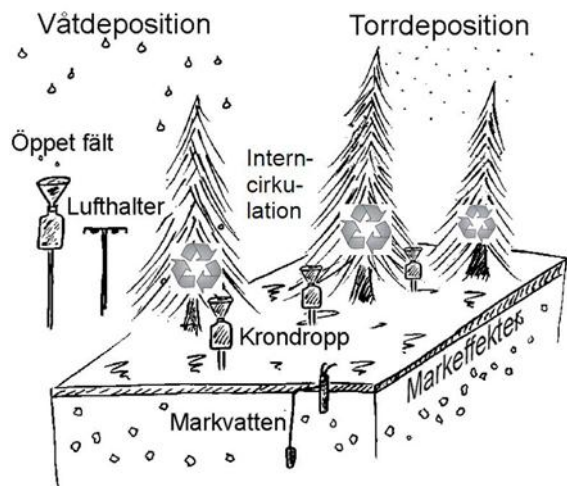
Sveriges skogar täcker 56 % av Sveriges landareal, och mycket av avrinningen till sjöar och vattendrag härstammar från skogsmark. Därför är det viktigt att följa upp effekter av luftföroreningar i skogslandskapet. Inom Krondroppsnätet övervakas försurande och övergödande föroreningar, från lufthalter och nedfall till effekter på markvattnet, vid ett stort antal platser i brukad skogsmark runt om i Sverige. Samma metoder har använts sedan mätningarna började 1985. På så sätt kan åtgärder i form av t ex utsläppsminskningar kopplas till effekter, vilket leder till ökad kunskap om fortsatta åtgärdsbehov. Mätningarna har resulterat i många långa tidsserier, i ett nätverk där nya ytor kontinuerligt startas när äldre ytor avverkas.

Resultat från Krondroppsnätets mätningar bidrar till det regionala och nationella miljömålsarbetet på flera sätt, och det finns potential till att använda dem mer. Resultat från nedfallsmätningarna används årligen för att följa upp miljömålet *Bara naturlig försurning* genom indikatorerna: Nedfall av svavel och Nedfall av kväve. I den senaste fördjupade utvärderingen av miljömålet *Bara Naturlig Försurning* användes de långa tidsserierna för markvattenkemi inom Krondroppsnätet för att komplettera Markinventeringens markkemiska data. Markinventeringens markkemiska data ger en bra geografisk överblick medan Krondroppsnätets markvattenkemiska data är bättre lämpade för trendanalyser. Mått på markvattnets surhetsstatus, t ex pH, oorganiskt aluminium och ANC (syraneutraliserande förmåga) skulle också kunna användas som indikatorer i den årliga uppföljningen av miljömålet *Bara naturlig försurning*. Halterna av oorganiskt kväve i markvatten skulle kunna bidra till uppföljningen av miljömålet *Ingen övergödning*, eftersom förhöjda kvävehalter i markvatten är det första tecknet på att skogens förmåga att ta upp kvävet överskrids, med kväveutlakning som följd.

De långa tidsserierna i brukad skogsmark i Krondroppsnätet gör det möjligt att på ett tidigt stadium upptäcka förändringar, som t ex om nedfallet ökar i något län eller om frekvensen av förhöjda halter av kväve i markvattnet ökar. Detta är speciellt viktigt i en tid där klimatet förändras och skogsbruket blir mer och mer intensivt. Samarbete med nedfalls- och ekosystemmodellering bidrar till modellutvecklingen och gör att mer långtgående slutsatser kan dras.

På uppdrag av främst luftvårdsförbund och länsstyrelser genomför IVL Svenska Miljöinstitutet AB sedan 1985 länsbaserade undersökningar med regional upplösning av luftföroreningar och dess effekter med avseende bland annat på försurning, övergödning och marknära ozon. Målsättningen med nuvarande samarbetsprogram, "Program 2011", är att utifrån depositions-, markvatten- samt lufthaltsmätningar ge kunskap om belastning av luftföroreningar och dess effekter på vegetation, mark och vatten. Mätningarna kompletteras med modellberäkningar för att kunna ta ett samlat grepp främst för utvärdering av

miljömålen *Bara naturlig försurning*, *Ingen övergödning* och *Frisk luft* på regional nivå. Förutom ovan nämnda miljömål berör aktiviteterna inom Krondroppsnätet även miljömålen: *Levande sjöar och vattendrag*, *Grundvatten av god kvalitet*, *Levande skogar* samt *Storslagen fjällmiljö*.



**Figur 1.** Principskiss för mätningarna. Nedfallet till skogsytorna består av våtdeposition och torrdeposition. Vissa ämnen interncirkuleras i trädkronorna, vilket innebär att det som uppmäts i krondroppet är våtdeposition + torrdeposition  $\pm$  interncirkulation.

De metoder som används för att mäta lufthalter, deposition samt markvatten illustreras i Figur 1. De 75 aktiva provytorna inom Krondroppsnätet 2011/12 visas i Figur 2.

**Deposition** av luftföroreningar mäts inom Krondroppsnätet på månadsbasis, dels på öppet fält, dels i skogen under krontaket (krondropp). Mätningarna på **öppet fält**, som bedrevs vid 32 lokaler i landet under 2011/12, speglar huvudsakligen våtdeposition, det vill säga föroreningarna som följer med nederbörden ner. **Krondroppsmätningarna**, som gjordes vid 60 lokaler, speglar utöver våtdepositionen även torrdepositionen, det vill säga luftföroreningar som transporteras med vinden och fastnar i trädkronorna. För vissa ämnen finns dock en betydande interncirkulation i trädkronorna, vilket gör att det som mäts upp i krondroppet behöver justeras för att representera den totala depositionen.

**Lufthaltsmätningar** av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon bedrevs vid 20 lokaler med hjälp av diffusionsprovtagare som kvantitativt absorberar den gas som skall mätas. **Markvattenmätningar** bedrevs vid 65 lokaler med undertryckslysimetrar som suger vatten från 50 cm djup via ett fint, keramiskt filter. Markvattenprovtagning utförs tre gånger per år för att representera förhållandena före, under samt efter vegetationsperioden.

Rapportering i år görs, som står i avtalen, i form av en nationell rapport som omfattar resultat från hela landet. Vanligtvis brukar endast ett urval av alla parametrar som mäts presenteras i rapporterna, men i årets rapport redovisas samtliga uppmätta parametrar för det hydrologiska året 2011/2012 (oktober 2011 till september 2012). I rapporten finns även en samlad analys av luftföroreningssituationen över Sverige samt några kapitel om olika aktuella frågeställningar och en förteckning av nya viktiga publikationer och händelser inom Krondroppsnätet.





**Figur 2.** Krondropps nätet under 2011/12. Samordnade mätningar av luftföroreningar i 75 skogliga observationsytor.

Undersökningarna är resultat av ett lagarbete där provtagning utförts av ett flertal personer ute i landet. På IVL har K. Koos skött kontakter med provtagare medan främst L. Björnberg, P. Bengtsson, P. Andersson, S. Kuikka, S. Honkala och V. Andersson har analyserat proverna. Granskning av data har huvudsakligen utförts av P. E. Karlsson, G. Pihl Karlsson. Databehandling och rapportering av resultaten har utförts av C. Akselsson, P. E. Karlsson, V. Kronnäs samt G. Pihl Karlsson.

## 2. Krondroppsnätet - koppling till miljömålsarbetet

### 2.1. Krondroppsnätet i miljömålsarbetet

Inom Krondroppsnätet bedrivs regional miljöövervakning med nationell samordning. Detta innebär att fokus är på den regionala skalan, men att samma metodik används så att resultaten kan användas överallt även på nationell skala. Krondroppsnätets verksamhet omfattar både övervakningen av miljön vad gäller luftföroreningar och den skogliga miljöövervakningen. Det huvudsakliga målet med Krondroppsnätets mätningar är att utifrån depositions-, markvatten- samt lufthaltsmätningar kvantifiera belastningen av luftföroreningar och dess effekter på skog och mark, som underlag till det regionala och nationella miljömålsarbetet. Genom att dessutom kombinera mätningarna med resultat från ekosystemmodellering förstärks underlaget för miljömålsuppföljningen ytterligare.

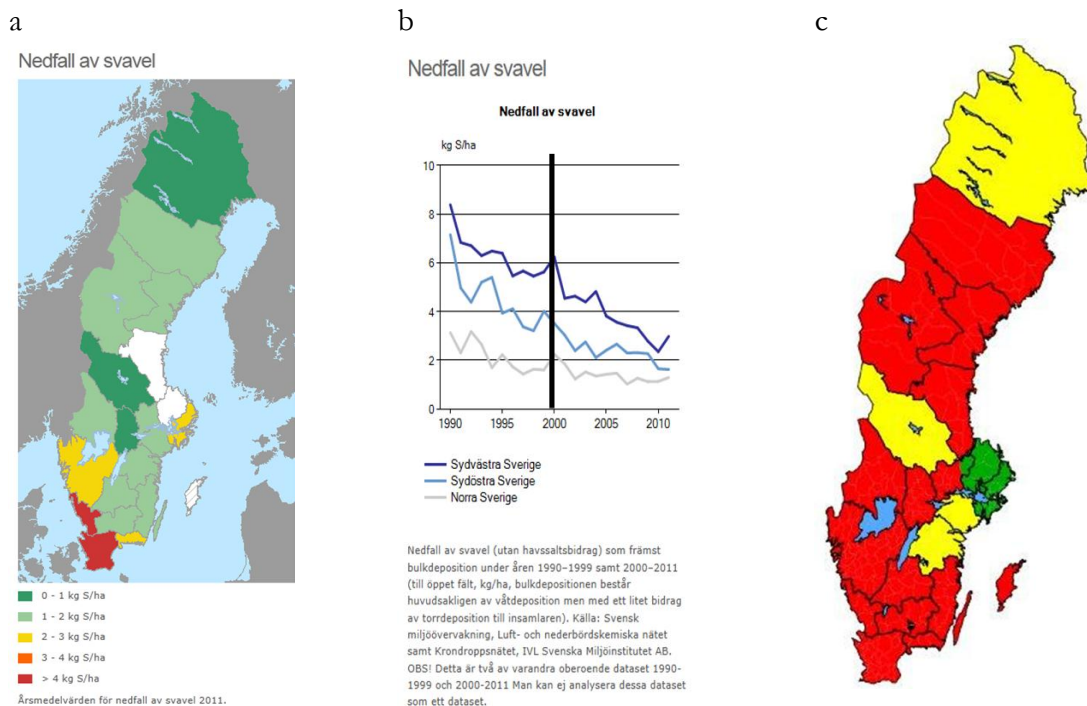
Miljöövervakning har flera olika inriktningar, Figur 3. Krondroppsnätet bidrar till alla aspekter i figuren nedan.



**Figur 3.** Bild från Naturvårdsverket som illustration av miljöövervakningens olika funktioner.

När det gäller **uppföljning av miljömål** ingår data från Krondroppsnätet i både den regionala och den nationella miljömålsuppföljningen, främst med inriktning på miljömålet *Bara naturlig försurning* och indikatorerna nedfall av svavel och nedfall av kväve, Figur 4a, b. De flesta länen i Sverige anger att de inte klarar att nå miljömålet *Bara naturlig försurning* till år 2020, Figur 4c, delvis baserat på resultaten från Krondroppsnätets mätningar.

Vad gäller den nationella uppföljningen av indikatorn nedfall av svavel används Krondroppsnätets data från öppet fält, medan krondroppsdata används för den regionala uppföljningen. När det gäller indikatorn nedfall av kväve används data från öppet fält för både regional och nationell miljömålsuppföljning. Markvattendata från Krondroppsnätet, i form av oorganiskt aluminium, användes i den senaste fördjupade utvärderingen för miljömålet *Bara naturlig försurning*.



**Figur 4.** Två exempel på regional (a) samt nationell (b) miljömålsuppföljning från [www.miljomal.nu](http://www.miljomal.nu). Kartan (a) är klickbar och leder vidare till berört län, med mer utförlig information. Färgerna i karta a står för depositionen av svavel. Kartan (c) visar hur länen räknar med att nå det regionala miljömålet *Bara naturlig försurning* till år 2020. Rött = når ej miljömålet, gult = nära att nå miljömålet, grönt = når miljömålet.

För miljömålet *Bara naturlig försurning* finns fyra preciseringar:

1. Påverkan genom atmosfäriskt nedfall: *Nedfallet av luftburna svavel- och kväveföreningar från svenska och internationella källor medför inte att den kritiska belastningen för försurning av mark och vatten överskrids i någon del av Sverige.*
2. Påverkan genom skogsbruk: *Markanvändningens bidrag till försurning av mark och vatten motverkas genom att skogsbruket anpassas till växtplatsens försurningskänslighet.*
3. Försurade sjöar och vattendrag: *Sjöar och vattendrag uppnår, oberoende av kalkning, minst god status med avseende på försurning enligt förordning om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön (2004:660)*
4. Försurad mark: *Försurning av marken påskyndar inte korrosion av tekniska material och arkeologiska föremål i mark och skadar inte den biologiska mångfalden i land- och vattensystem.*

Krondroppsnätets data används idag, årligen eller i den fördjupade utvärderingen, till att följa upp tre av de fyra preciseringarna. För precisering 1 används Krondroppsnätets data till trender i kväve- och svaveldeposition samt underlag till totaldeposition av svavel, kväve och baskatjoner till trender och för modellering, för precisering 2 till underlag genom baskatjondeposition, som används för att påvisa skogsbrukets miljöpåverkan, samt för precisering 4 där Krondroppsnätets data utgör underlag för trender och prognos för bland annat pH, syraneutraliserande förmåga (ANC och nitrat ( $\text{NO}_3$ )) i markvatten samt koppling mellan mark och markvatten- (ytvatten).

Nedfall av svavel och nedfall av kväve är indikatorer för flera miljömål, utöver miljömålet *Bara naturlig försurning: Grundvatten av god kvalitet, Storslagen fjällmiljö, Levande sjöar och vattendrag* samt *Levande skogar*. När det gäller miljömålet *Ingen övergödning* används i dagsläget inga data från Krondroppsnätet. Nedfall av kväve är inte en indikator inom miljömålet *Ingen övergödning*. Markvattendata används inte i den årliga miljömålsuppföljningen, men användes i den senaste fördjupade utvärderingen av miljömålet *Bara naturlig försurning*. Det finns mycket data som skulle kunna utnyttjas betydligt mer inom miljömålsuppföljningen. Exempelvis ger upplagring av kväve i skogsmarken upphov till NO<sub>3</sub> i markvattnet, vilket skulle kunna vara en potentiell indikator i det regionala och nationella miljömålsarbetet inom miljömålen *Bara naturlig försurning* och *Ingen övergödning*. pH och ANC i markvatten skulle även kunna fungera som en indikator för miljömålet *Bara naturlig försurning*.

När det gäller att **utveckla miljömål, bedömningsgrunder samt miljökvalitetsnormer** använder Naturvårdsverket data från Krondroppsnätet i detta arbete.

Data används även flitigt i olika typer av **miljötillståndsrapporter** som kan utgöra underlag till miljökonsekvensbeskrivningar och andra utredningar. Dessa skrivs exempelvis av IVL, länsstyrelser, luftvårdsförbund eller företag.

Krondroppsnätet ger stora möjligheter att på ett tidigt stadium fånga upp effekter på miljön i skogen orsakade av såväl lokal påverkan som långväga föroreningar, vilket gör att det passar bra till att användas för **tidig varning**. Exempel på händelser där effekter utretts är:

- Stormfällning, avverkning och angrepp av skadeinsekter, som ofta leder till förhöjda nitrathalter i markvattnet.
- Skogsbränder, till exempel de i Ryssland, och vulkanutbrott som kan påverka nedfallet.
- Skogsgödsling eller annan intensifiering av skogsbruket.
- Förändrade sjöfartsemissioner. Emissionerna kan minska i söder på grund av minskade svavelhalter i bränslet samt eventuellt öka i norr på grund av ökad sjöfartstrafik i nordostpassagen, vilket i sin tur kan förändra nedfallet.

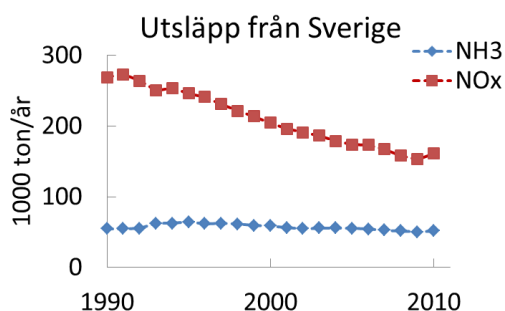
När det gäller **internationell rapportering** rapporteras data från Krondroppsnätet årligen till ICP Forest och därigenom vidare till "Luftkonventionen" (LRTAP). Data används även inom ICP Vegetation. ICP Forest och ICP Vegetation är samarbetsorgan inom Luftkonventionen. En gemensam vetenskaplig artikel håller på att skrivas inom ICP Forest om depositionsdata där Krondroppsnätets mätningar ingår, och ett stort intresse har visats även för Krondroppsnätets markvattendata, där eventuellt ytterligare en vetenskaplig artikel kommer att skrivas. Data från Krondroppsnätet finns med i Technical Report 2012 från ICP Forest (<http://www.icp-forests.org/pdf/TR2012.pdf>).

När det gäller **forskningsstöd** samarbetar Krondroppsnätet idag med olika FORMAS-projekt till exempel "Kväveretention i skogsmark – ökad förståelse av kvävedynamik i marken för förbättrade ekosystemmodeller" som drivs av C. Akselsson, LU.

Krondroppsnätets data ingår även i forskningsprogrammet CLEO, "Klimatförändringen och miljömålen" (<http://www.cleoresearch.se/>), som leds av IVL och finansieras av Naturvårdsverket. Ytterligare samarbeten finns och data används av många olika forskare, exempelvis finns det sedan 2010 minst åtta vetenskapliga artiklar där data från Krondroppsnätet använts.

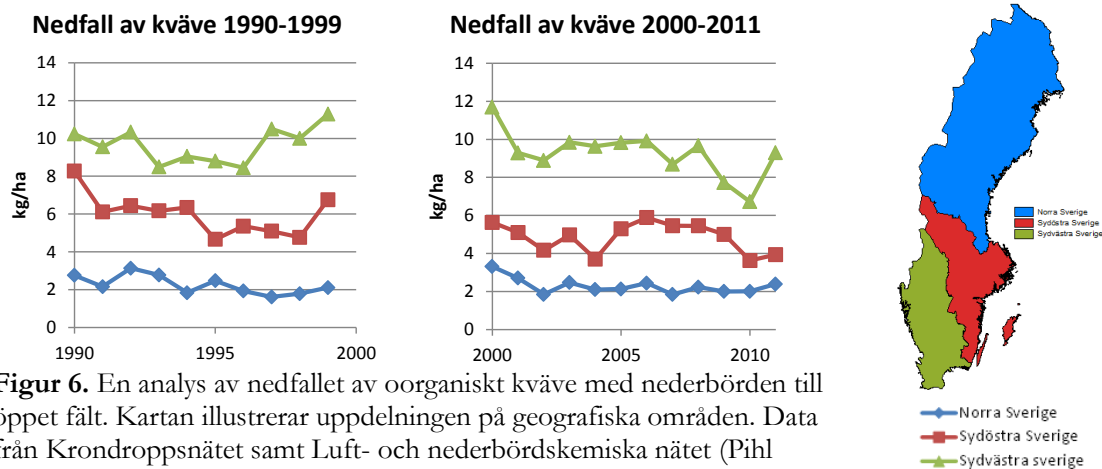
## 2.2. Kvävenedfallet till skogen – risker för kväveläckage och biodiversitet

De rapporterade utsläppen av reaktivt kväve ( $\text{NO}_x$  &  $\text{NH}_3$ ) från Europa har under perioden 1990-2010 minskat  $\sim 47\%$  vad gäller oxiderat kväve, men endast  $\sim 28\%$  vad gäller ammoniak (Figur 5). Motsvarande minskningar vad gäller utsläppen från Sverige rapporteras som  $40\%$  för  $\text{NO}_x$  och  $6\%$  för  $\text{NH}_3$ . Det skall påpekas att de rapporterade utsläppen från olika länder är behäftade med stora osäkerheter.



**Figur 5.** Tidsutvecklingen vad gäller årliga utsläpp av oxiderat ( $\text{NO}_x$ ) och reducerat ( $\text{NH}_3$ ) kväve, så som det rapporteras av EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme, [www.emep.int](http://www.emep.int)), april 2013.  $\text{NO}_x$  rapporteras i det här fallet som  $\text{NO}_2$ .

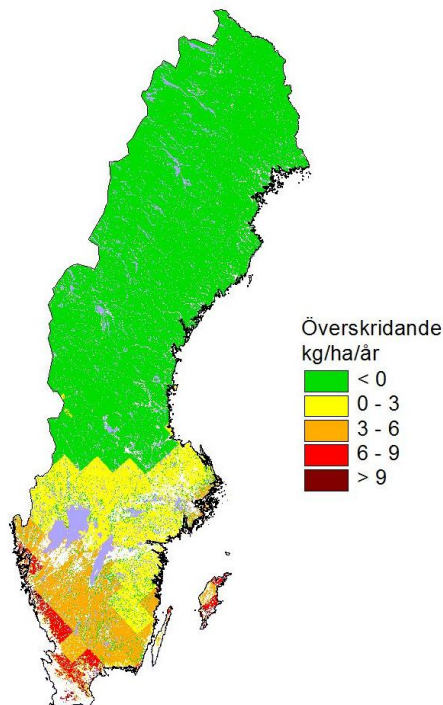
Har då Europas minskade utsläpp av reaktivt kväve resulterat i ett minskat kvävenedfall till Sveriges skogar? Det finns en problematik runt metoderna för att mäta kvävenedfall via krondropp, eftersom det sker ett direkt upptag av kväve till trädkronorna (Karlsson m. fl., 2011). Förändringar av kvävenedfallet till skogen i Sverige kan därför ännu så länge endast uppskattas vad gäller våtdepositionen. Resultatet av en ny studie, finansierad av Naturvårdsverket, som innefattar Krondroppsnätet samt Luft- och Nederbördskemiska nätet (Pihl Karlsson m. fl., 2012) visade inte på någon statistiskt säkerställd nedgång för nedfallet av oorganiskt kväve under perioderna 1990-1999 eller 2000-2011, Figur 6. Det är mycket svårt att vidmakthålla mätningar under en så lång period som 20 år, därför fick analyserna delas upp i två 10-års perioder. Det pågår fortsatta analyser, finansierade av Naturvårdsverket, men det står klart att kvävenedfallet till skogen i Sverige inte minskar i samma utsträckning som Europas rapporterade emissioner av kväve. Det finns atmosfärskemiska förklaringar till varför nedfallet inte minskar i samma utsträckning som Europas emissioner.



**Figur 6.** En analys av nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält. Kartan illustrerar uppdelningen på geografiska områden. Data från Krondroppsnätet samt Luft- och nederbördskemiska nätet (Pihl Karlsson m. fl., 2012).

Hur mycket kväve tål då skogsekosystemen? Det beror på vilken aspekt som avses. Det finns både risker för att kväve skall börja läcka ut i avrinnande vatten och risker för att nedfallande kväve skall påverka markvegetationen i skogen. Troligen inträffar en påverkan på markvegetationen innan risken för kväveläckage uppstår, därför behandlar vi endast den här. Sverige har till luftkonventionen angivit kritiska belastningsgränser för kvävenedfallets inverkan på biodiversiteten i svenska ekosystem, för barrskog 5 kg N/ha/år, för lövskog 10 kg N/ha/år, för myrmark 5 kg N/ha/år samt för fjällvärlden 3 kg N/ha/år (Moldan, 2011).

En kartläggning av kvävenedfallet till mark med blandad markanvändning visar överskridandet av målvärdet 5 kg N/ha/år (Figur 7). Det sker ett överskridande av den kritiska belastningsgränsen för markvegetation i hela södra och mellersta Sverige upp till Dalarna och Gästrikland. I Skåne är överskridandet högt, mer än 8 kg N/ha/år.



**Figur 7.** Överskridandet av målvärdet för kvävenedfall, 5 kg N/ha/år.

Källa: Moldan, 2011.

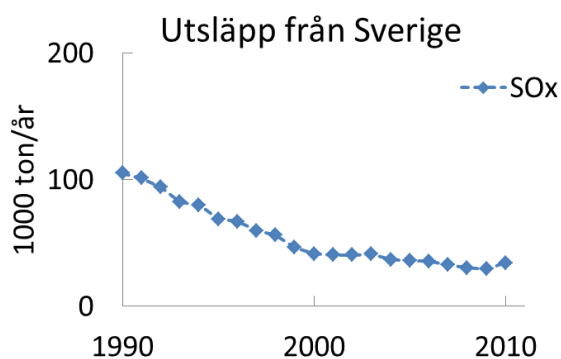
Miljöproblemen kring utsläpp och nedfall av kväve röner ett stort intresse på såväl svensk som internationell nivå. För den intresserade finns en omfattande sammanställning av kunskap och policy runt frågan om kvävenedfall på Europaskalan (<http://www.nine-esf.org/ENA-Book>).

**Kvävenedfallet över Sverige ligger fortsatt över eller mycket över den kritiska belastningsgränsen för inverkan på markvegetationen i södra och mellersta Sverige.**

## 2.3. Försurning – effekter av nedfall och uttag av biomassa från skogen

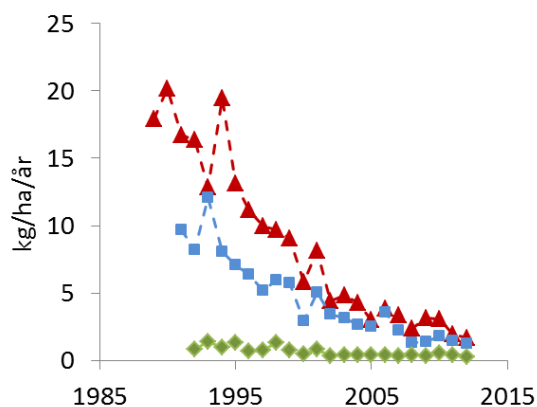
Försurning av mark och vatten är fortfarande ett betydande problem i stora delar av Sverige. Historiskt sett är svavelnedfallet den kraftigt dominerande källan, men i takt med att svavelnedfallet minskat kraftigt, samtidigt som kvävenedfallet legat kvar på ungefär samma nivå och skogsbrukets intensitet ökat, har kvävet och skogsbrukets roll ökat i betydelse. Kväve bidrar till försurningen främst när det finns mer kväve än vad skogs-ekosystemen behöver, så att kväve börjar läcka till markvattnet under rotzonen. Skogsbrukets försurning beror på att den försurning av marken som alltid sker när träden växer blir permanent när biomassa skördas. Påverkan blir mycket större om inte bara stammar, utan även grenar, toppar och barr tas ut.

De rapporterade utsläppen av svavel ( $\text{SO}_x$ ) från Europa har under perioden 1990-2010 minskat med  $\sim 80\%$  (Figur 8). Motsvarande minskningar vad gäller utsläppen från Sverige är  $67\%$ . För kväve är minskningen avsevärt mindre (Figur 5).

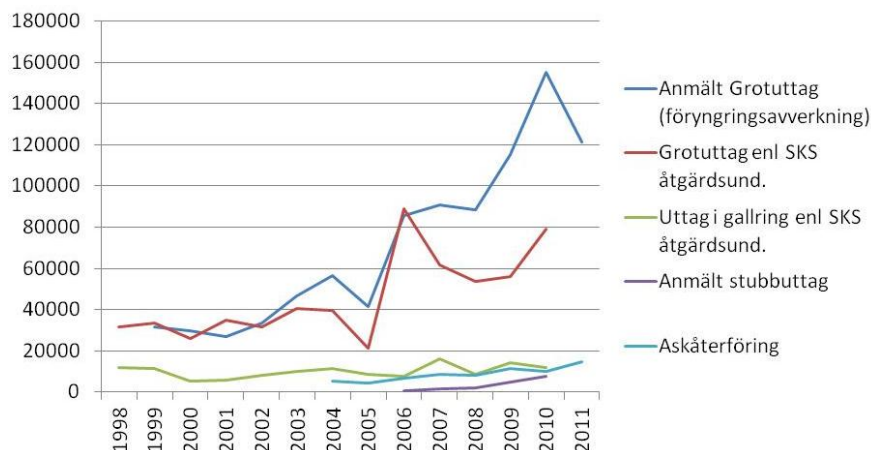


**Figur 8.** Tidsutvecklingen vad gäller årliga utsläpp av svavel ( $\text{SO}_x$ ), så som det rapporteras av EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme, [www.emep.int](http://www.emep.int)), april 2013.

Minskningen i emissioner återspeglas i minskat nedfall av svavel (Figur 9), medan det är svårt att påvisa någon säker trend för kväve (Figur 6). Skogsbrukets ökade påverkan kan illustreras med det ökade uttaget av grenar och toppar (GROT) (Figur 10). I den fördjupade utvärderingen 2012 beräknades skogsbrukets bidrag till försurningen i granskog till  $30\text{-}70\%$  (Naturvårdsverket, 2012).

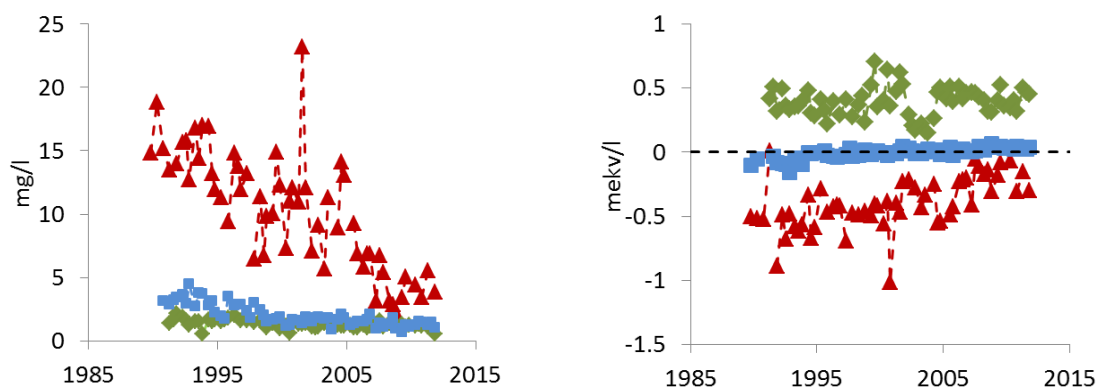


**Figur 9.** Tidsutvecklingen för nedfall av svavel vid tre platser i olika delar av Sverige; Arkelstorp i Skåne (▲), Södra Averstad i Värmland (■) och Ammarnäs i Västerbotten (◆).



**Figur 10.** Förändringen i uttag av grenar och toppar (GROT) och stubbar samt askåterföring. Data från Skogsstyrelsen.

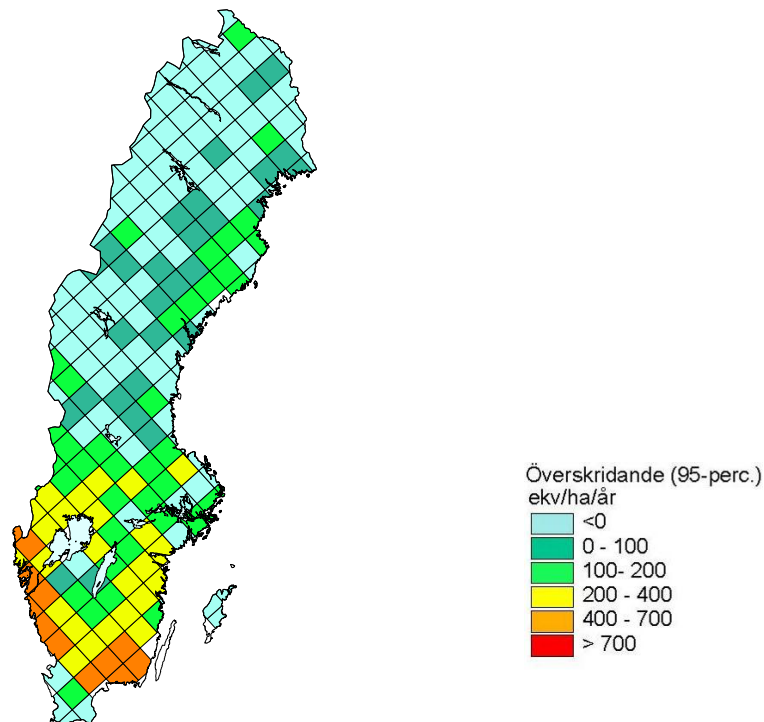
Nedgången i svavelnedfall har lett till att koncentrationen av svavel i markvattnet minskat signifikant på många ytor inom Krondroppsnätet (Figur 11a). Förbättringen av försurningstillståndet går dock långsamt. I den fördjupade utvärderingen 2012 (Naturvårdsverket, 2012) användes 0,4 mg oorganiskt aluminium per liter markvattnet som en kritisk gräns, och en analys av krondroppsytorerna visade att 68 % av ytorna överskred denna gräns i sydvästra Sverige. Motsvarande andel i mellersta/sydöstra Sverige var 28 % och i norra Sverige 10 %. Figur 11b visar hur den syraneutraliserande förmågan, ANC, ökar på två försurade ytor, men att ANC på dessa ytor fortfarande är lågt. ANC under rotzonen bör vara över 0 för att det ska finnas en buffrande förmåga i det avrinnande vattnet.



**Figur 11.** Tidsutvecklingen för sulfatsvavel (a) och syraneutraliserande förmåga - ANC (b) i Arkelstorp i Skåne (▲), Södra Averstad i Värmland (■) och Ammarnäs i Västerbotten (◆).

Hur mycket som kan tillåtas av var och en av de tre olika påverkansfaktorerna svavel, kväve och skogsbruk beror på hur mycket de andra bidrar. Kritisk belastning för sjöar har, under antagandet att enbart stammar tas ut, beräknats för internationell rapportering inom luftkonventionen. Beräkningarna visar att det finns sjöar med överskridande i stora delar av landet, men mest i sydvästra Sverige (Figur 12). Den generella trenden stämmer överens med markvattenkemin från Krondroppsnätet, där ANC är under 0 i sydvästra Sverige. Om GROT-uttag skulle tas med i beräkningarna skulle överskridandet bli större.





**Figur 12.** Överskridande av kritisk belastning för försurning av sjöar. 95-percentilen anges för varje ruta. Källa: Moldan (2011).

Mark och vatten är fortfarande försurade i stora delar av Sverige. Den kritiska belastningen för sjöar överskrids framför allt i sydväst, men även i Mellansverige och längs Norrlandskusten. Bilden stämmer överens med uppmätt markvattenkemi inom Krondroppsnätet. Skogsbruket står för i storleksordningen hälften av försurningsbidraget. Av nedfallet är det fortfarande framför allt svavel som är försurande, men kvävetts roll kan öka om skogsekosystemen mäts på kväve.

### 3. Prognoser för framtida luftföroreningsbelastning

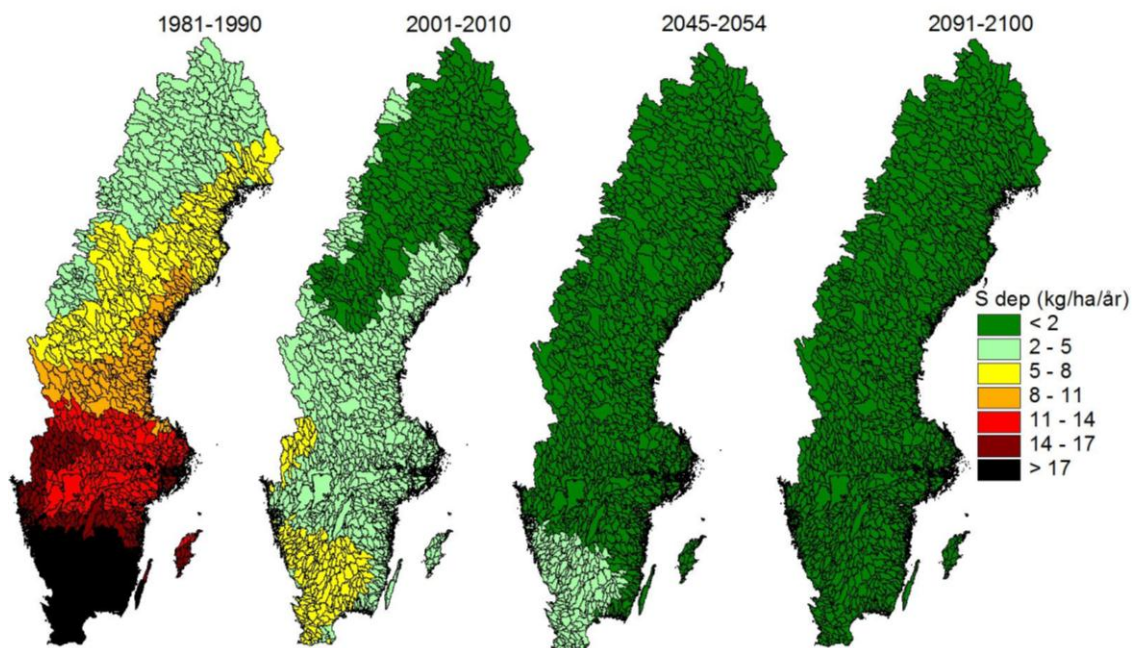
Den framtida belastningen av olika luftföroreningar över Sverige, såsom svavel, kväve och marknära ozon, beror i huvudsak av två olika aspekter. Klimatförändringen kan påverka belastningen genom förändrade transportvägar för långväga transporterade luftföroreningar från kontinental och södra Europa och genom att vissa atmosfärskemiska reaktioner är temperaturberoende, t ex vad gäller bildningen av marknära ozon. Det andra som givetvis spelar roll är storleken på de framtida utsläppen av luftföroreningar i Sverige, från övriga Europa samt från hela norra halvklotet.

Det har genomförts ett flertal vetenskapliga program för att utreda sambanden mellan framtida utsläpp, klimatförändringar och luftföroreningsbelastningen över Sverige. De flesta är överens om att det som är viktigast är storleken på de framtida utsläppen och att klimatförändringarna spelar mindre roll.

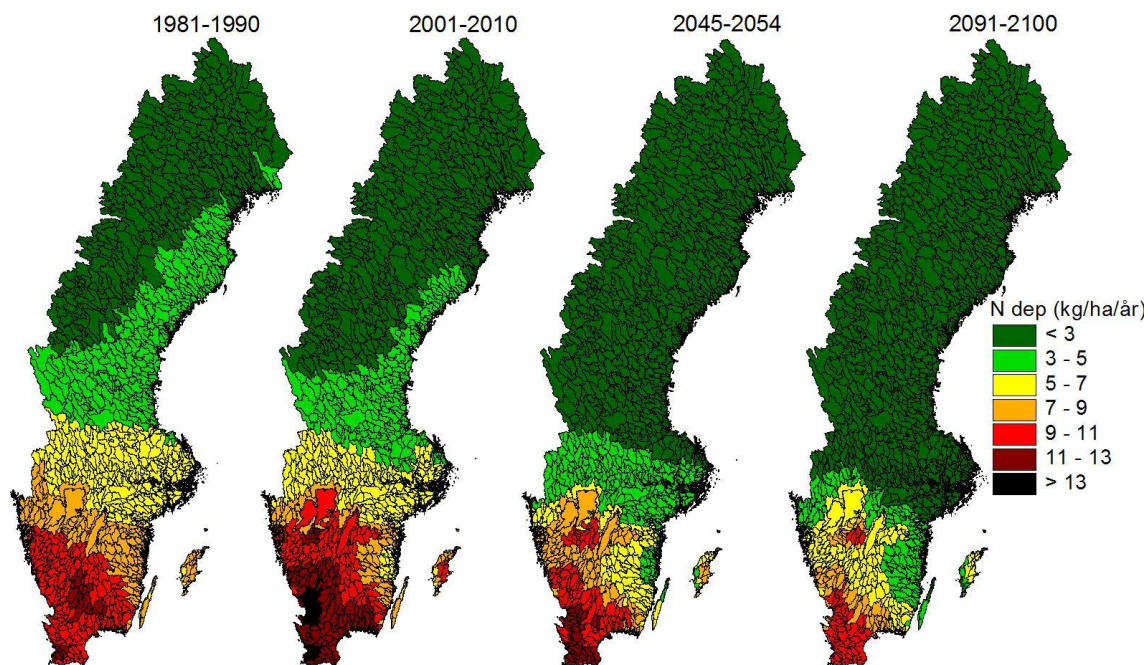
Inom forskningsprogrammet CLEO (Climate change and Environmental Objectives, <http://www.cleoresearch.se>) har SMHI tagit fram modellsimuleringar för framtida nedfall av svavel och kväve (Figur 13 och 14). Vid simuleringen har indata från en nedskalad ECHAM5 A1B-r3 klimatprojektion och RCP4.5 emissionsscenarier använts. Medelnedfallet för ca 2000 avrinningsområden har beräknats och nedfallet gäller för den blandning av markanvändningsslag som finns i respektive område. Modelleringen har inte justerats utifrån nedfallsmätningar.

Mätningar inom Krondroppsnätet har i detta sammanhang använts för att i efterhand validera att de simulerade värdena för nutid överensstämmer med det uppmätta nedfallet. Överensstämmelsen mellan modellerade och uppmätta värden var generellt god.

Enligt modellens förutsägelser, som är baserade bland annat på de utsläpps begränsningar som redan är beslutade inom konventionen om gränsöverskridande luftföroreningar (LRTAP) samt inom EU, förväntas svavelnedfallet minska ytterligare under hela 2000-talet. Kvävenedfallet förväntas minska i långt mindre omfattning och kommer i södra Sverige ligga kvar i storleksordningen runt 10 kg N/ha/år under hela 2000-talet. Modellsimuleringarna uppvisar, precis som mätningarna, bilden av att kvävenedfallet till den svenska skogen inte har minskat under de senaste 20 åren, mer än marginellt i norra halvan av Sverige. Enligt modelleringen har nedfallet snarare ökat i södra Sverige.



**Figur 13.** Nedfall av antropogent svavel under fyra tioårsperioder från en simulering med MATCH-modellen. Kartorna är framtagna av SMHI (Magnuz Engardt m.fl.) inom CLEO-programmet.

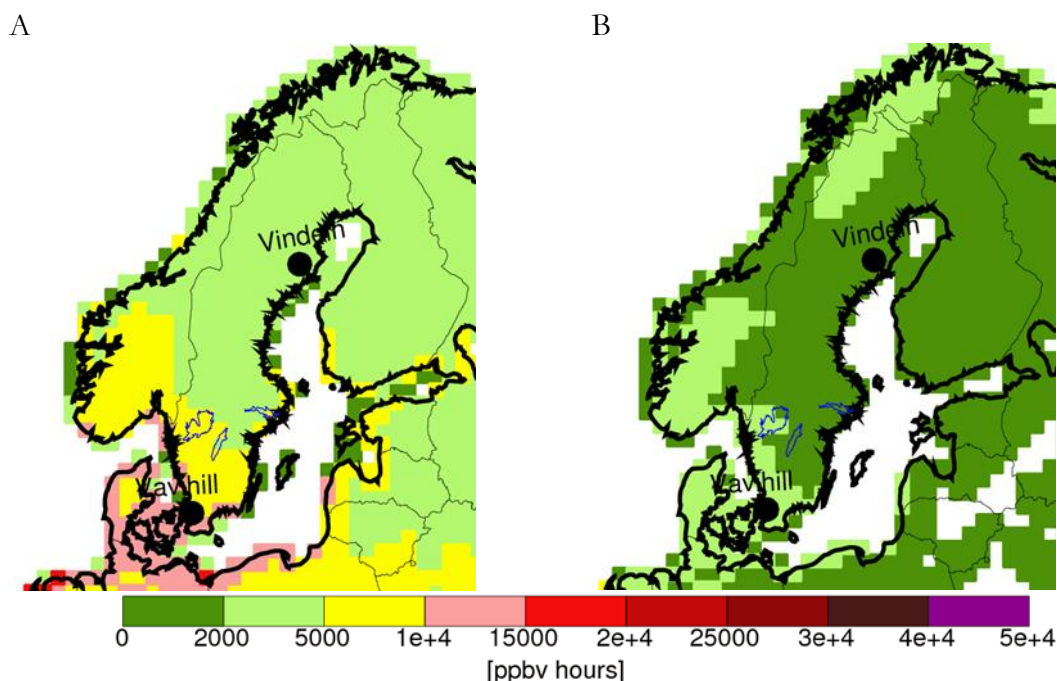


**Figur 14.** Nedfall av oorganiskt kväve under fyra tioårsperioder från en simulering med MATCH-modellen. Kartorna är framtagna av SMHI (Magnuz Engardt m.fl.) inom CLEO-programmet.

Prognoserna för framtiden ser bättre ut för marknära ozon, jämfört med kväve. Ozonbelastningen beräknad som AOT40 förväntas utifrån beslutade åtgärder om

utsläpps begränsningar vad gäller ozonbildande ämnen, att till år 2050 ligga under gällande målvärden (Figur 15). Det målvärde som gäller inom miljömålet *Frisk Luft* är att AOT40 dagtid under perioden april-september inte får överskrida 5000 ppb timmar. Beräkningarna för framtiden tar hänsyn till de minskningar av utsläppen av ozonbildande ämnen som redan är beslutade av Europas länder samt till förändringar av klimatet.

Modellberäkningarna har gjorts av Magnuz Engardt, SMHI, i samarbete med forskare vid IVL och Göteborgs Universitet inom ramen för forskningsprogrammet CLEO ([www.cleoresearch.se](http://www.cleoresearch.se)), finansierat av Naturvårdsverket. För dessa figurer har MATCH använt regionala klimatdata från RCA3. RCA3 har drivits av den globala klimatmodellen ECHAM5. RCA3 och ECHAM5 har båda använt SRES A1B-scenariot för växthusgaser. MATCH har använt RCP4.5-scenariot för att beskriva framtida utsläpp av luftföroreningar inklusive NO<sub>x</sub> och andra ozongenererande ämnen.



**Figur 15.** Nuvarande och framtida modellerad ozonbelastning av växtligheten. Ozonbelastningen är beräknad som AOT40 under den årliga växtsäsongen, som medelvärde för en 20-årsperiod, 1990-2009 (A) och 2040-2059 (B). Det målvärde som gäller inom miljömålet *Frisk Luft* är att AOT40 inte får överskrida 5000 ppb timmar. Modellberäkningarna har gjorts av Magnuz Engardt, SMHI, i samarbete med forskare vid IVL och Göteborgs Universitet inom ramen för forskningsprogrammet CLEO ([www.cleoresearch.se](http://www.cleoresearch.se)), finansierat av Naturvårdsverket.

**Prognoserna för framtida luftföroreningsbelastning av skogen i Sverige till år 2050 tyder på att svavelnedfallet kommer att fortsätta att minska betydligt, medan kvävenedfallet kommer att fortsatt ligga på en hög nivå. Ozonbelastningen kommer sannolikt att minska till en nivå under nu gällande målvärden för ozonets inverkan på skog.**

## 4. Ytterligare användningsområden för Krondroppsnätet

### 4.1. Koppling mellan markvatten och ytvatten

Miljöövervakningen av bäck- och sjövattnen bedrivs inom Riksinventeringen av sjöar (t ex Wilander & Fölster, 2007). Provtagning sker i flera tusen sjöar med oregelbundna mellanrum. Provtagning av bäckvatten sker vid betydligt färre provplatser. Parallellt bedrivs undersökningar av markvattenkemi inom Krondroppsnätet vid ett 60-tal mätplatser över Sverige. Resultaten från dessa olika undersökningar – ytvatten å ena sidan och markvatten å andra - har dock sällan jämförts.

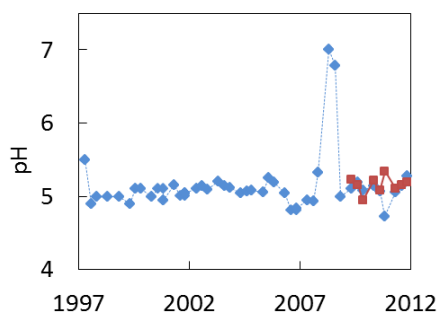
Effekter av försurande och övergödande ämnen är mest utpräglade i markvatten och i mindre vattendrag. Mellan markvatten och de mindre vattendragen finns en bäcknära zon som har en betydande inverkan på vattenkemin. Dessutom förändras vattenkemin under vattnets väg till större vattendrag och sjöar bland annat genom att vatten från många små vattendrag med olika kemiska förhållanden blandas.

Fördelen med att övervaka markvattenkemi i skogsmarken ligger i att få en tidig varning om förändringar av skogsmarken innan de har blivit så genomgripande att de syns ända ut i de vattendrag som ingår i miljöövervakningen. Nackdelen ligger i svårigheten att bedöma konsekvenserna i ytvattnet av förändringarna i markvattnet.

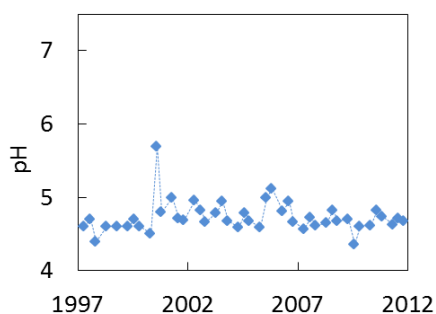
Krondroppsnätet har som långsiktig målsättning att förbättra kunskaperna vad gäller samband mellan mark- och bäckvatten. Detta kan ske på två sätt. Det ena är att etablera nya krondroppsytor, när gamla ytor måste ersättas, i väl definierade avrinningsområden och att få till stånd en provtagning och analys av bäckvattnet som kommer ur dessa områden. Avsikten är inte att alla krondroppsytor skall vara förenade med bäckvattenytor, utan att detta skall vara fallet för ett mindre antal representativa ytor. En första etablering av en ny krondroppsyta inom ett lämpligt avrinningsområde är på gång inom Västra Götalands län, i ett område som kallas Sågebäcken, där provtagning av avrinningen ut från området skett sedan slutet av 1990-talet. Bäckvattnet är fortfarande kraftigt försurat.

Ett annat sätt är att jämföra mätningar av mark- och bäckvattenkemi från närliggande platser. Exempel på detta visas i Figur 16 och 17, där pH och nitrat från markvattenmätningar vid två krondroppsytor med granskog i Hallands län jämförs med pH och nitrat i tre referensbäckar från små avrinningsområden som provtagits inom det s.k. Nissanprojektet (Kronnäs m. fl., 2012). Det finns en viss överensstämmelse vad gäller pH i markvatten och i bäckvatten vid dessa platser i Halland, både vad gäller absolutvärden och utveckling över tiden. pH ligger mellan 4 och 5 och visade ingen förändring eller i något fall på en mycket svag ökning under de senaste 15 åren. Även halterna av sulfat visade en god överensstämmelse (data visas ej), medan halterna av oorganiskt aluminium var högre i markvatten än i bäckvatten, där det dock ändå var höga halter för att vara i ytvatten. Mätningarna visade på lite varierande utveckling över tid, från minskande i två bäckar, över oförändrade halter i bäck och markvatten, till signifikant ökande i markvatten från Borgared (data visas ej).

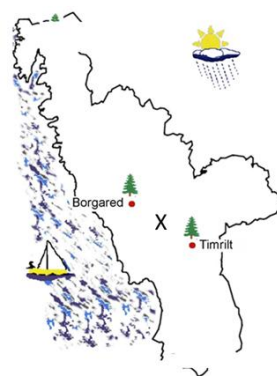
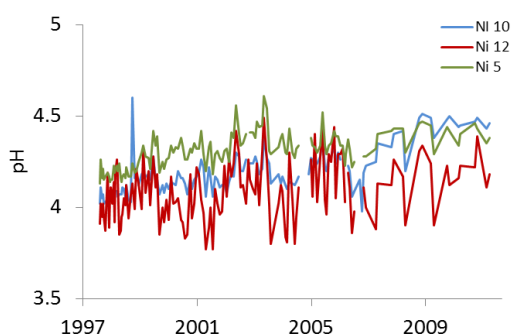
a Timrilt (mätningar vid två ytor sedan 2009)



b Borgared

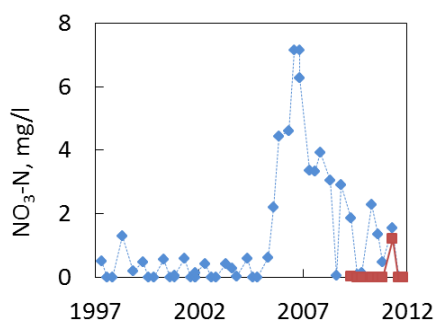


c Referensbäckar Nissan

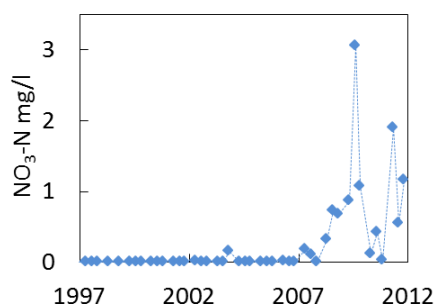


**Figur 16.** En jämförelse av pH i markvatten på 50 cm djup vid Timrilt (a) och Borgared (b) med pH i bäckvatten i tre referensbäckar (c) inom det s.k. Nissanprojektet i Hallands län. Positionerna för de olika platserna visas i kartan till höger, där ett svart kryss markerar referensbäckarna vid Nissan. OBS! skalorna i figurerna skiljer sig åt.

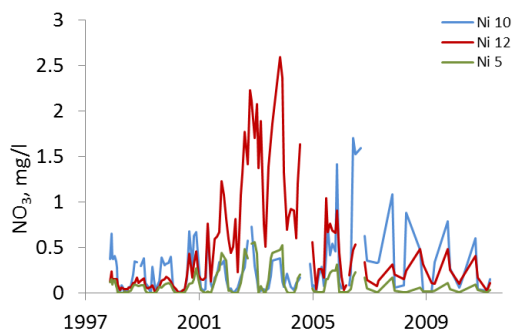
a Timrilt (mätningar vid två ytor sedan 2009)



b Borgared



c Referensbäckar Nissan

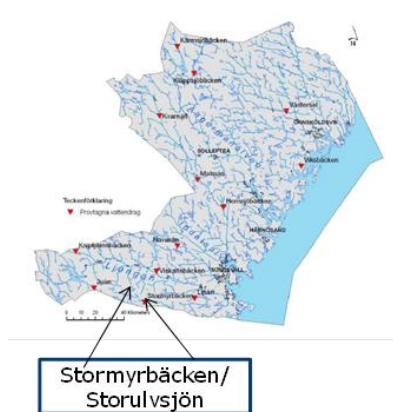
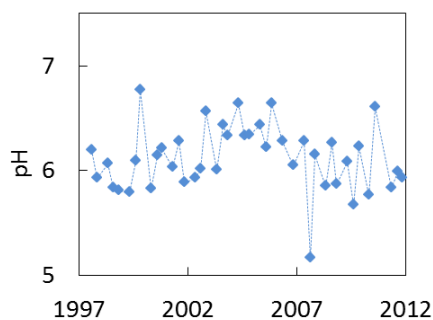


**Figur 17.** En jämförelse av nitrat i markvatten på 50 cm djup vid Timrilt (a) och Borgared (b) med nitrat i bäckvatten i tre referensbäckar (c) inom det s.k. Nissan-projektet i Hallands län. OBS! skalorna i figurerna skiljer sig åt.

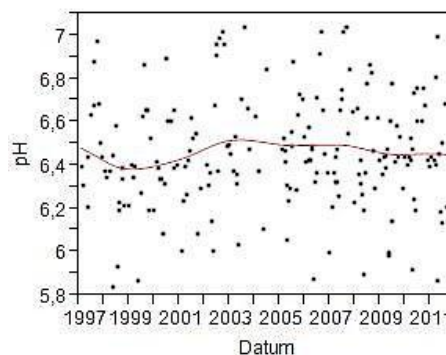
Nitrat i markvattnet förekom stundtals i halter runt 0,5 mg/l vid Timrilt redan i slutet av 1990-talet, men med kraftigt ökande halter efter stormarna Gudrun 2005 och Per 2007. I Borgared var halterna låga fram till 2007, då de ökade till följd av stormen Per. I referensbäckarna vid Nissan förekom också halter av nitrat på upp till 0,5 mg/l redan före stormen Gudrun. I en bäck var halterna avsevärt högre, sannolikt orsakade av avverkningar. Efter Gudrun förekom kraftigt förhöjda nitrathalter i ytterligare en bäck.

En jämförelse har genomförts av markvattenkemi vid krondroppsytan Storulvsjön och bäckvattenkemi i vattendraget Stormyrbäcken från den regionala miljöövervakningen, belägna relativt nära varandra i Västernorrlands län, Figur 18. Bäckvattenkemin är hämtad från en rapport "Utvärdering av vattenkemidata från miljöövervakningen 1983-2011" som kom 2013 (Länsstyrelsen Västernorrland, Rapport nr 2012:15). pH i mark- och bäckvatten visar en relativt god överensstämmelse både vad gäller absolutvärden och vad gäller utveckling över tiden.

a Storulvsjön



b Bäckvatten Stormyrbäcken



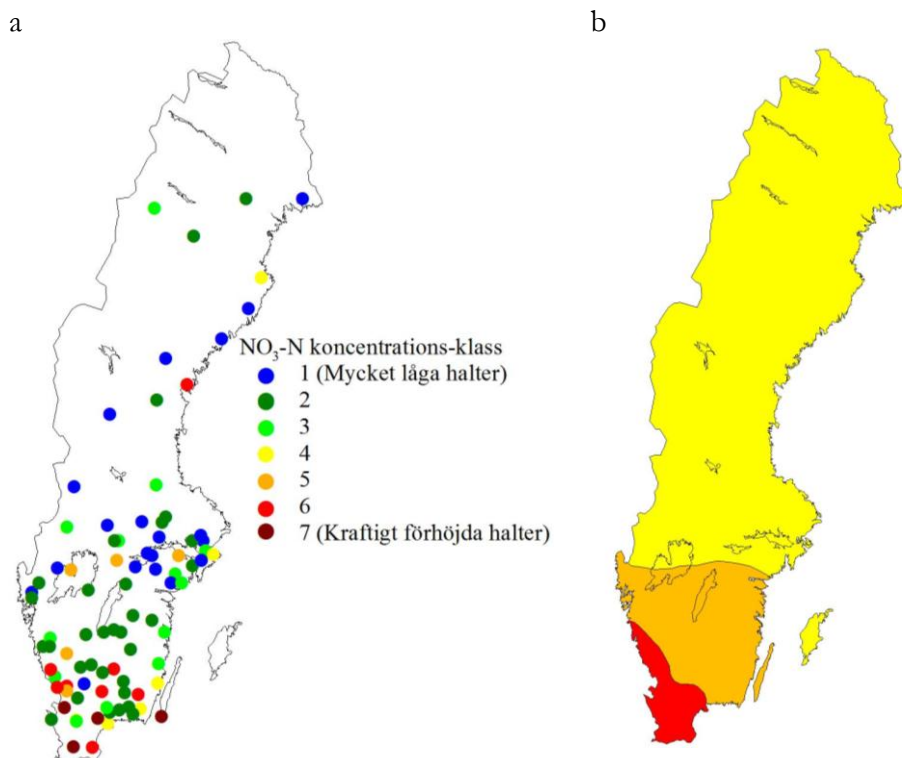
**Figur 18.** En jämförelse av pH i markvatten på 50 cm djup vid Storulvsjön (a) med pH i bäckvatten vid Stormyrbäcken (b) i Västernorrlands län. I figur b visar linjen en utjämnad kurva (spline). Positionerna för de två platserna visas i kartan till vänster, med pilar där den vänstra pilen markerar Storulvsjöns ungefärliga position. Källa för bäckvattenmätningarna: Länsstyrelsen Västernorrland, Rapport nr 2012:15. OBS! skalan skiljer sig åt mellan a och b.

Ytterligare analyser för fler platser får avgöra kvantitativt hur relationerna ser ut mellan mark- och bäckvattenkemi. Vi avser att söka finansiella medel för att ytterligare undersöka detta med data från fler län.

**De inledande analyserna tyder på att det finns relativt goda samband mellan vattenkemin i markvatten och bäckvatten vid närliggande platser, i synnerhet vad gäller försurningsrelaterade parametrar.**

## 4.2. Krondroppsnätets roll vid riskbedömning och effektuppföljning av gödsling

I takt med att efterfrågan på biomassatillväxt för virkesproduktion, kolinlagring och skogsbränsleproduktion ökar, ökar också trycket på tillväxthöjande åtgärder som t.ex. gödsling. Både ökad omfattning av konventionell gödsling och införande av behovsanpassad gödsling (BAG) diskuteras. Krondroppsnätets data kan användas för att bedöma risker för kväveutlakning i olika delar av landet vid ökad gödsling. I ett arbete utfört åt Naturvårdsverket åren 2008 till 2009 gjordes en riskbedömning för kväveutlakning i olika delar av Sverige, där underlaget för bedömning var Krondroppsnätets data (Figur 19a), tillsammans med data från Markinventeringen, massbalansberäkningar och dynamisk modellering. Detta resulterade i en indelning i Sverige i tre risk-regioner (Figur 19b). Genom att studera Krondroppsnätets tidsserier närmre, och även inkludera avslutade ytor, kan ytterligare detaljer fås, till exempel kopplingar till skogliga parametrar såsom ståndortsindex.

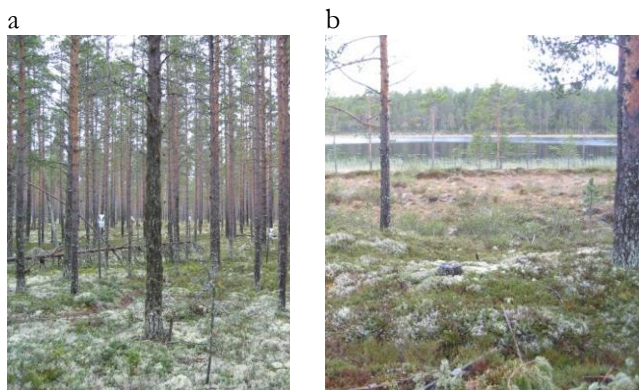


**Figur 19.** Klassning av 88 krondroppsnätsytor med mätdata fram till 2006 eller 2007, baserat på nitratkväveinnehåll i markvattnet (a). Klass 1 innebär att koncentrationen alltid är lägre än 0,01 mg/l, medan klass 7 innebär en medelkoncentration större än 1 mg/l. Indelning av Sverige i tre riskklasser för kväveutlakning från röd (hög risk) till gul (låg risk), baserat på Krondroppsnätets data och andra underlag (b).

Resultatet från denna studie finns publicerad i en vetenskaplig artikel (Akselsson m.fl., 2010), som även finns tillgänglig via open access i sin accepterade men ej slutredigerade form: [www.lu.se/lup/publication/1687930](http://www.lu.se/lup/publication/1687930).



En provyta med lågproduktiv tallskog (T 16) inom Krondroppsnätet i Jämtlands län, Sör-Digertjärnen, (Figur 20) gödslades den 6 juni 2012 med 150 kg N/ha. Genom finansiering från C.F. Lundströms Stiftelse, samt från Länsstyrelsen i Jämtlands län, intensifierades pågående mätningar av markvattenkemi samt startades nya mätningar av ytvattenkemi i en närbelägen tjärn samt i dess utlopp. Tidigare mätningar av markvattenkemi vid provytan inom Krondroppsnätet sedan 1997 hade inte visat några förhöjda halter av nitrat eller ammonium.



**Figur 20.** Fotografi av krondroppsytan (A) vid Sör-Digertjärnen i Jämtlands län samt av den närliggande tjärnen (B)

Tre veckor efter gödsling uppmättes mycket höga halter av både nitrat och ammonium i markvattnet. De höga halterna av nitrat i markvattnet kvarstod åtminstone september ut. Under sommarens mätningar vid den närbelägna tjärnen kunde inte några tydligt förhöjda halter av nitrat eller ammonium detekteras, varken i sjökanten närmast det gödslade området eller i sjöns utlopp.

Fortsatt finansiering från C.F. Lundströms Stiftelse samt från Havs- och Vattenmyndigheten möjliggör fortsatta mätningar under 2013. Då först kan vi göra en samlad bedömning av effekterna av skogsgödslingen på ett lågproduktivt tallbestånd och dess avrinning i norra Sverige.

Skogsstyrelsen tog under 2012 initiativ till att revidera de allmänna råden för skogsgödsling i Sverige. Forskare inom Krondroppsnätet är involverade i processen genom att ge synpunkter på ett kunskapsunderlag som tagits fram av SLU samt att ge svar på den remiss som Skogsstyrelsen skickat ut under våren 2013. Ståndpunkten från forskare inom Krondroppsnätet är att skogsgödsling med kväve ej bör vara tillåtet i områden i södra Sverige där mätningar visar på ett betydande atmosfärsikt nedfall av kväve till skogen samt ett frekvent läckage av nitrat till markvattnet.

**Mätningar inom Krondroppsnätet har en betydande potential att användas vad gäller inverkan av olika skogsbruksåtgärder, såsom t ex gödsling, på markvattenkemi samt genom kompletterande mätningar även på närliggande ytvatten. Krondroppsnätet medverkar även som anlita expertis till myndigheterna när det gäller t ex revidering av Skogsstyrelsens allmänna råd för skogsgödsling.**

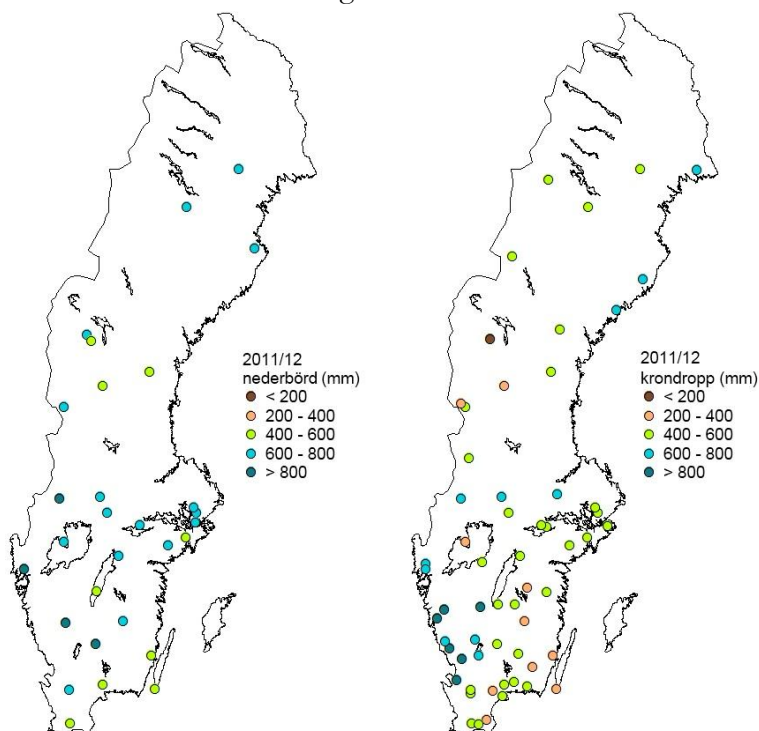
## 5. Krondroppsnätets mätningar 2011/12

I det följande redovisas resultaten från Krondroppsnätets mätningar under det hydrologiska året 2011/2012 för i stort sett alla de ämnen som mäts inom Krondroppsnätet. Förekomst och nedfall av luftföroreningar är starkt beroende av vädret. Därför beskrivs inledningsvis vädersituationen under perioden.

Vädermässigt var hösten 2011 varmare än normalt i praktiskt taget hela Sverige, i norra Norrland till och med rekordvarm. Fram till mitten av november var det dåligt med snö i hela landet. I och för sig var hösten mycket nederbördsrik i norr, men det mesta kom i form av regn. Södra och östra Götaland var däremot mycket torrt under hösten. Efter några ordentligt kalla veckor i slutet av januari och början av februari följde torrt och för årstiden mycket varmt väder i slutet av februari och i mars. Därefter inleddes en lång ostadig period som med bara kortare avbrott varade året ut. Som resultat blev 2012 ett av de allra nederbördsrikaste åren med nya rekord vid några stationer (Källa: [www.smhi.se](http://www.smhi.se)).

### 5.1. Nederbörd/krondroppsmängd

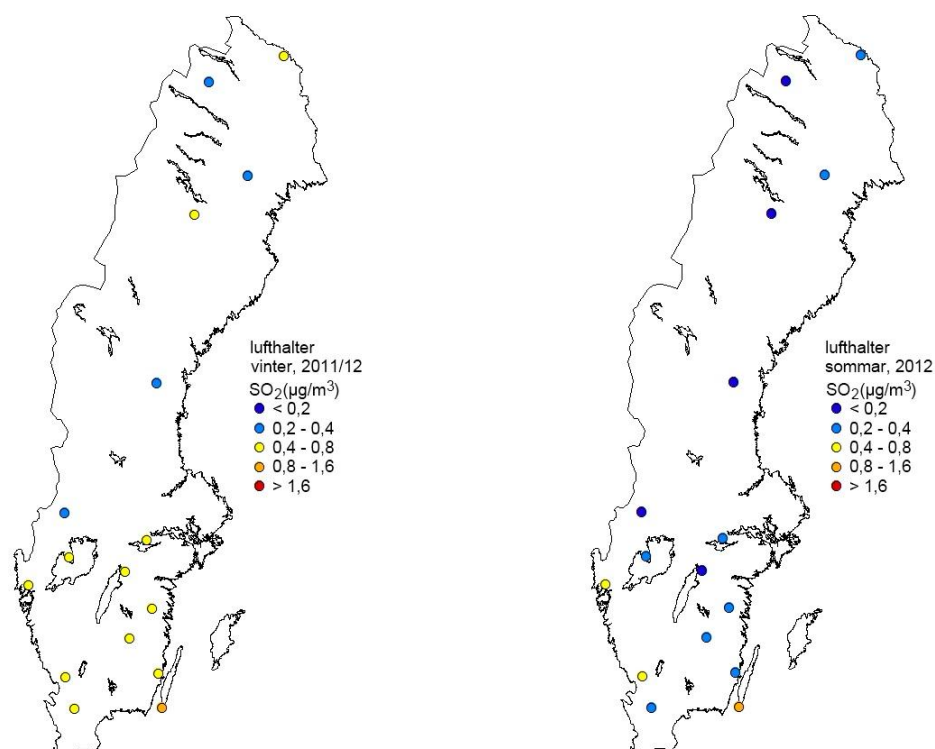
I Figur 21 visas nederbördsmängd och krondroppsmängd under det hydrologiska året 2011/12. Nederbördsmängden har en mycket stor betydelse för nedfallet av luftföroreningar till skogen, i synnerhet för våtdepositionen. I en utvärdering av förändringar över tiden måste man ta hänsyn till om nederbörden förändrats. Av figuren framgår att nederbörden är högst i sydvästra Sverige och lägst i de sydöstra samt mellersta delarna av landet. Krondroppsmängderna är normalt lägre än nederbörden på grund av att det sker en viss avdunstning från trädkronorna.



**Figur 21.** Nederbördsmängd och krondroppsmängd under det hydrologiska året 2011/12 inom Krondroppsnätet.

## 5.2. Svavelföreningar

Den fortsatta försurningen av skogsmark, vattendrag och sjöar beror främst av tre faktorer; svavelnedfallet, läckage av kväve från skogsmarken samt uttaget av baskatjoner med biomassan i samband med avverkning. Svavelnedfallet har således en fortsatt betydelse för återhämtningen från försurning. Nedan redovisas resultat i kartform vad gäller lufthalter och nedfall av svavel från det hydrologiska året 2011/2012 samt svavelhalter i markvattnet som medianvärde från de senaste tre årens mätningar, Figur 22, 23 samt 24.

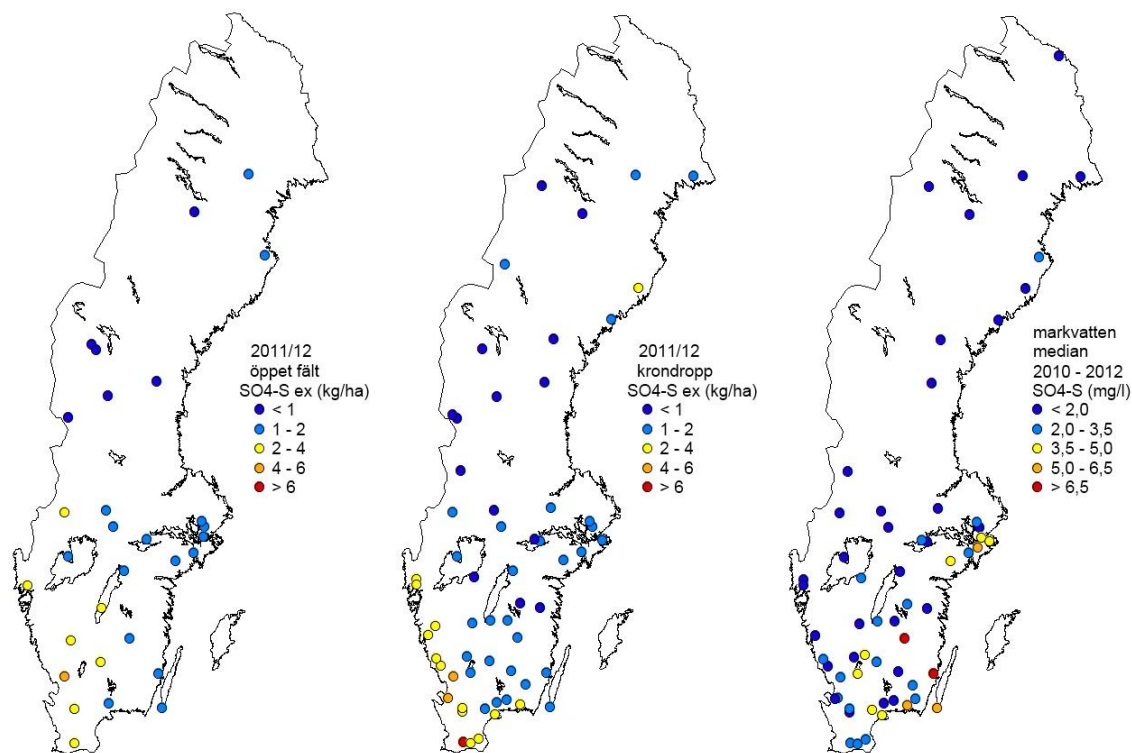


**Figur 22.** Lufthalter av SO<sub>2</sub> som vinterhalvårsmedelvärde (okt.- dec. 2011 samt jan-mars 2012) och sommarhalvårsmedelvärde (april – september).

De uppmätta lufthalterna av SO<sub>2</sub> var inte så höga att de har betydelse för människors hälsa. De utgör dock tillsammans med nederbörds mängderna grunden för svavelnedfallet, i synnerhet vad gäller torrdepositionen. Torrdepositionen kan i södra Sverige fortfarande utgöra så mycket som 20-40 % av det samlade svavelnedfallet (Karlsson m. fl., 2011). Vintertid var förhöjda svavelhalter i luften relativt jämnt fördelade över södra och mellersta Sverige men även vid några platser i Norrland, möjligen beroende av utsläpp från exempelvis kraftvärmeproduktion. Sommartid var förhöjda SO<sub>2</sub>-halter begränsade till några kustnära platser, sannolikt beroende på bl.a. fartygsemissioner.

Nedfallsmätningarna på öppet fält speglar i huvudsak våtdepositionen av svavel, medan krondroppsmätningarna ger ett mått på det samlade nedfallet av svavel till skog. Det samlade svavelnedfallet (exklusive bidrag från havssalt) under 2011/2012 låg mestadels under 6 kg S/ha. Undantaget var Stenshult beläget uppe på Romeleåsen i södra Skåne. Denna plats förefaller på många sätt vara en av de för närvarande mest förorenade inom

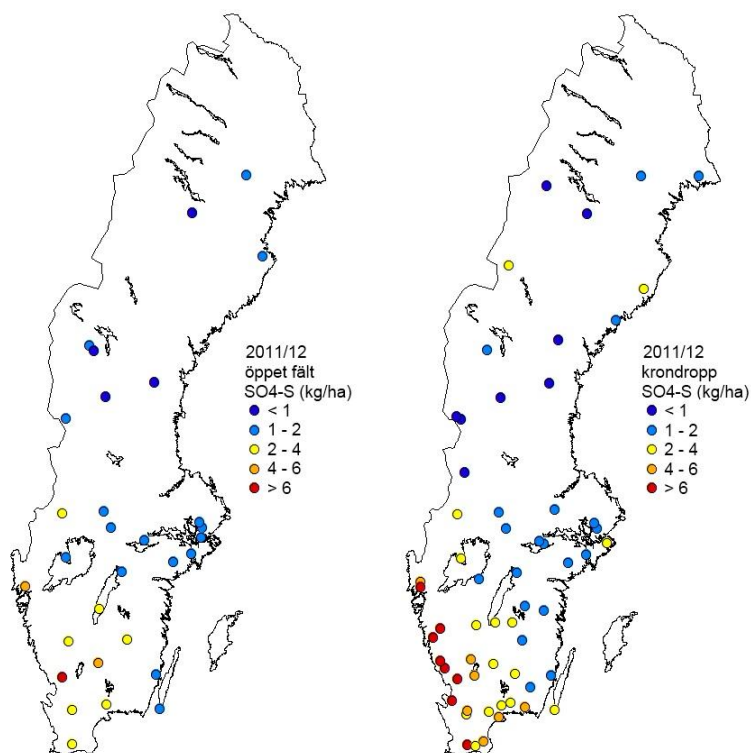
Krondroppsnätet. Svavelnedfallet har i nuläget en mycket tydlig geografisk fördelning till länen i söder och väster. Dock finns fortfarande en plats med förhållandevis högt svavelnedfall längs Norrlandskusten.



**Figur 23.** Nedfall av sulfatsvavel (exklusive bidraget från havssalt) till öppet fält samt via krondropp under det hydrologiska året 2011/2012 vid olika platser inom Krondroppsnätet. Nedfallsmätningarna på öppet fält speglar i huvudsak våtdepositionen av svavel, medan krondroppsmätningarna ger ett mått på det samlade nedfallet av svavel. Dessutom visas halter av sulfatsvavel i markvattnet på 50 cm djup som medianvärde för 2010-2012.

Medianhalterna av svavel i markvattnet under de senaste tre åren uppvisar en annorlunda geografisk fördelning, jämfört med nedfallet, med höga halter även i de östra länen samt i Stockholmstrakten. Skillnader i lokala markförhållanden spelar sannolikt stor roll för utvecklingen av svavelhalterna i markvattnet nu när nedfallet minskat kraftigt.

I kartorna nedan visas även svavelnedfall inklusive bidraget från havssalt.

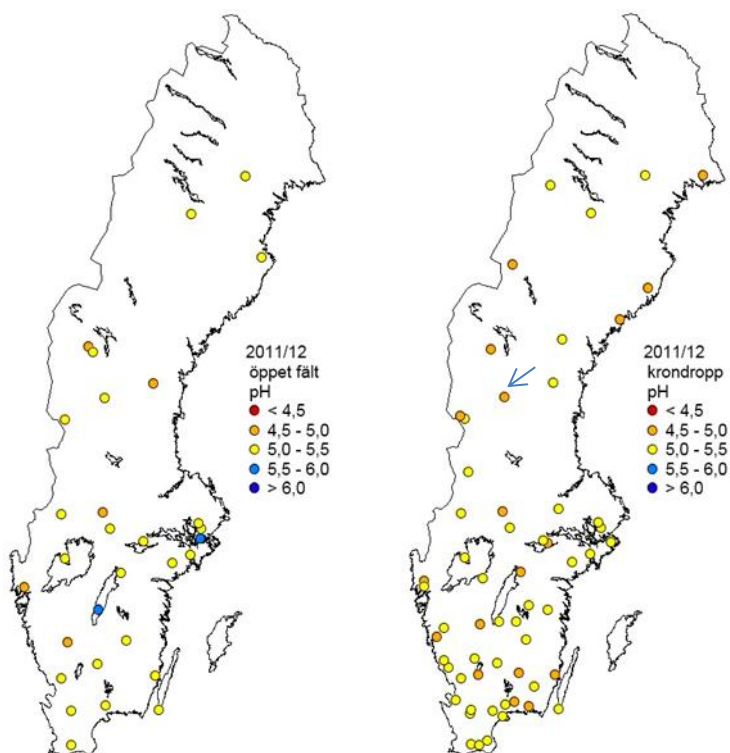


**Figur 24.** Nedfall av sulfatsvavel (inklusive bidraget från havssalt) till öppet fält samt via krondropp under det hydrologiska året 2011/2012 vid olika platser inom Krondroppsnätet. Nedfallsmätningarna på öppet fält speglar i huvudsak våtdepositionen av svavel, medan krondroppsmätningarna ger ett mått på det samlade nedfallet av svavel.

### 5.3. pH, ANC

Den försurande effekten från atmosfäriskt nedfall kan beräknas på olika sätt. Den försurning som sker via nederbörden (våtdeposition) kan beskrivas till exempel som nedfall av vätejoner ( $H^+$ ), pH och den buffrande kapaciteten (ANC) i nederbörden. Det sker en torrdeposition av ämnen som verkar både försurande (svavel och kväve) och buffrande (baskatjonerna magnesium, kalcium, kalium och natrium). Det kan, som tidigare diskuterats, ske ett utbyte av ämnen med trädskronorna, vilket gör att krondroppsmätningar av kväve och baskatjoner inte rakt av avspeglar nedfallet. pH och buffrande förmåga i krondroppet är därför svårtolkade värden. Bläcker det ut stora mängder kalcium och kalium från granbarr, vilket i viss mån kan neutralisera det sura nedfallet. Dock läcker det även ut ett antal organiska ämnen från barren som kan påverka pH.

Vad gäller försurning av markvattnet kan även detta redovisas på olika sätt med delvis olika innebörd. I kartorna nedan redovisas pH och syraneutraliserande förmågan (ANC) i markvattnet. En annan viktig försurningsparameter är halterna av oorganiskt aluminium, vilket visas i sektion 5.10 nedan.

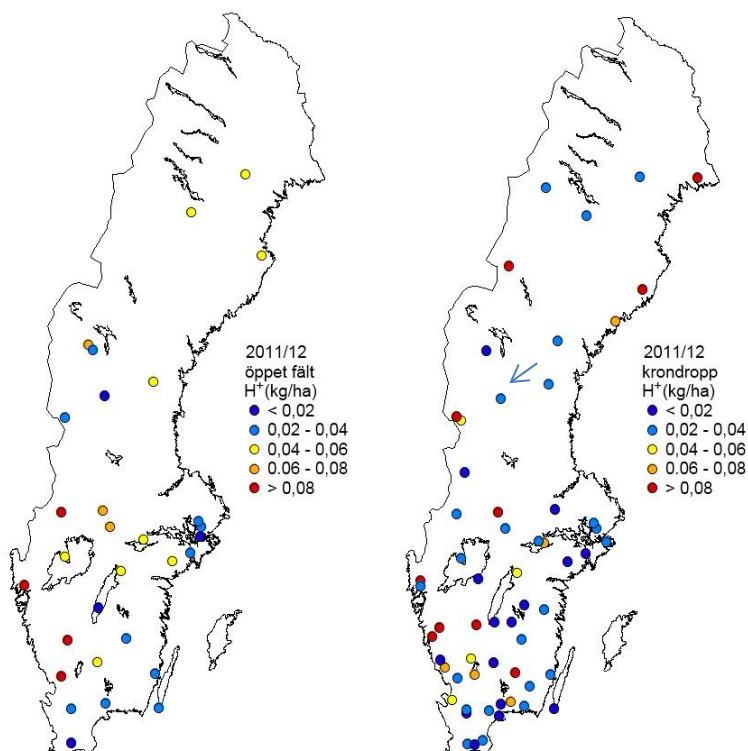


**Figur 25.** pH i nederbörden som uppmätts på öppet fält samt i krondropp under det hydrologiska året 2011/2012. En krondroppsyta i Jämtlands län, Sör-Digertjärnen (markerad med en pil) gödslades under 2012, vilket påverkade det uppmätta värdet för pH i krondroppet.

pH i nederbörden låg under 2011/2012 förhållandevis jämnt mellan olika platser i landet, i området 4,5 – 5,5, Figur 25. Ett par platser uppvisade ett något högre pH. pH i krondropp låg under 2011/2012 generellt något lägre än pH i nederbörden (Figur 25). Det är dock delvis olika platser, eftersom relativt få platser har mätningar av både krondropp och nederbörd på öppet fält.

Depositionen av försurande vätejoner ( $H^+$ ) (Figur 26) beror både av pH och av nederbördsmängd/ krondroppsmängd. Det nedfall av  $H^+$  som mäts via krondropp är, som nämnts ovan, svårtolkat på grund av interaktioner med trädkronorna. Vid platser med mätningar av både nederbörd på öppet fält och krondropp är ofta nedfallet av  $H^+$  i krondropp lägre.

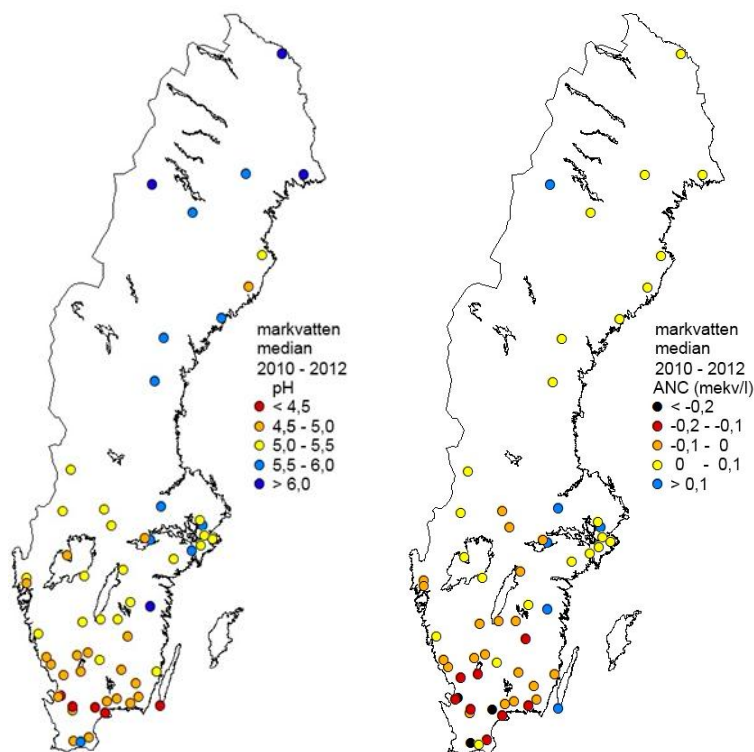
Nedfallet av  $H^+$  med nederbörden uppvisar en större variation över landet, jämfört med pH i nederbörden, vilket reflekterar olika nederbördsmängder i olika delar av landet. Störst är nedfallet av  $H^+$  i nederbörden i de västra delarna av landet.



**Figur 26.** Nedfallet av vätejoner (H<sup>+</sup>) under det hydrologiska året 2011/2012, mätt via nederbörd till öppet fält samt via krondropp. En krondroppsytta i Jämtlands län, Sör-Digertjärnen (markerat med en pil) gödslades under 2012, vilket påverkade det uppmätta värdet för H<sup>+</sup> i krondroppet.

Mycket lågt pH i markvattnet (<4,5) uppmättes under 2010-2012 vid platser i norra Skåne, i Blekinge samt vid Ölands södra udde (Figur 27). Många platser i södra delarna av Götaland och längs kusterna har ett pH mellan 4,5 och 5,0, vilket även det är lågt.

ANC, "Acid Neutralising Capacity" (syranutraliserande förmåga) beräknas som starka basers katjoner (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) minus starka syror anjoner (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>) räknat i ekvivalenter. Positivt värde utgörs av syrabuffrande vätekarbonat och organiska anjoner. Negativt värde uttrycker aciditet. ANC i markvattnet bör ha ett positivt värde. ANC i markvattnet var negativt på nästan alla provvytor i Götaland samt på flera av ytorna i Svealand, medan Norrland genomgående uppvisade positiva ANC. Denna bild överensstämmer i hög grad med pH och oorganiskt aluminium (Figur 27).



**Figur 27.** pH och syreneutraliserande förmåga (ANC) analyserat i markvattnet som medianvärde från mätningar under 2010-2012.

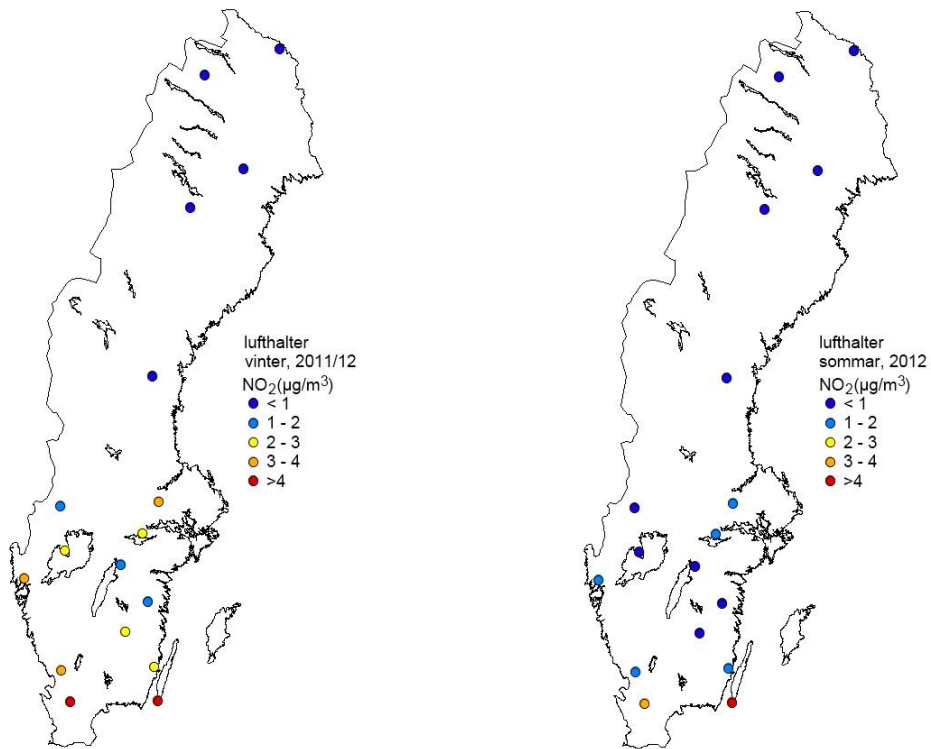
## 5.4. Kväveföreningar

Nedfallet av oorganiskt kväve till skogen i Sverige består i stora drag av lika delar av kväve från nitrat och ammonium. Dessutom finns ett mindre nedfall av organiskt kväve. Nitrat bildas från utsläpp av kvävedioxid,  $\text{NO}_2$ , medan ammonium bildas från ammoniak,  $\text{NH}_3$ .  $\text{NH}_3$  har en mycket hög depositionshastighet, vilket gör att den inte transporteras särskilt långt innan den deponeras om den inte omvandlas till ammonium,  $\text{NH}_4$ . Detta gör att lufthalterna av  $\text{NH}_3$  generellt är mycket låga.

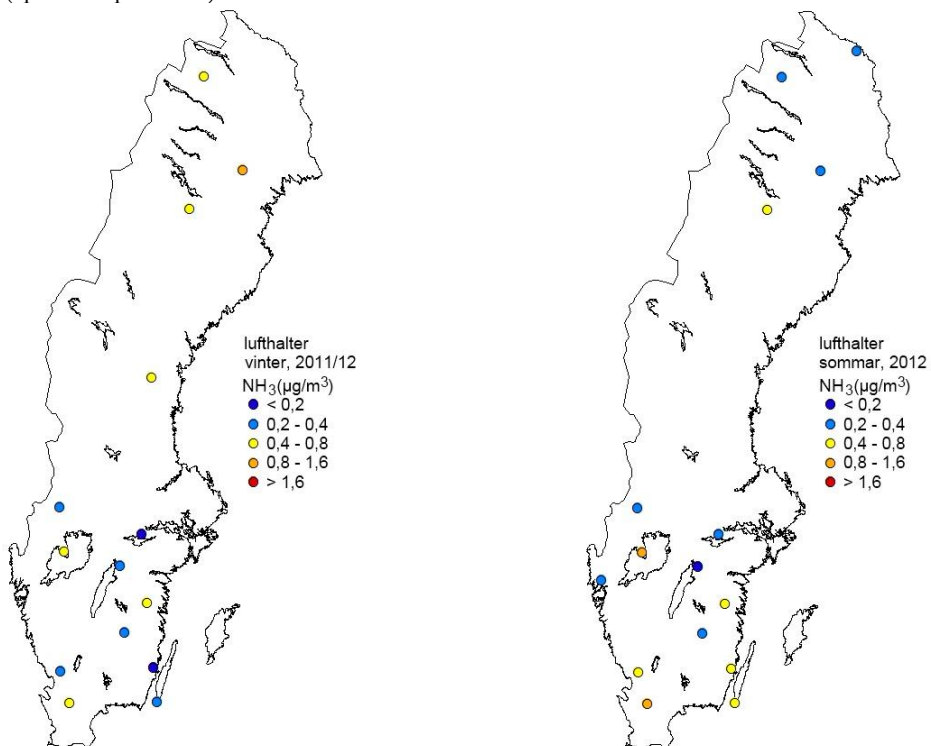
Nedan visas lufthalterna av  $\text{NO}_2$  och  $\text{NH}_3$  i bakgrundsluft vid krondroppsytor som medelvärden för vinterhalvår och sommarhalvår 2011/2012 (Figur 28 och 29). Liksom lufthalterna av  $\text{SO}_2$  är lufthalterna av  $\text{NO}_2$  inte så höga att de påverkar människors hälsa. Men  $\text{NO}_2$  omvandlas till  $\text{HNO}_3$ , som sedan deponeras till skogen. Halterna av  $\text{NO}_2$  är generellt högre vintertid, främst beroende högre utsläpp från Europa i samband med uppvärmning etc., men även på grund av att en stabil luftskiktning kan medföra att lokala utsläpp från trafik m.m. inte transporteras bort i samma utsträckning. Högst halter av  $\text{NO}_2$  såväl vinter- som sommartid förekommer i södra Sverige, i Skåne och på Ölands södra udde. De höga halterna på södra Öland påverkas troligen av utsläpp från fartygstrafiken.

Lufthalterna av  $\text{NH}_3$  är generellt betydligt lägre jämfört med  $\text{NO}_2$ . Möjligen är halterna något högre sommartid än vintertid. Fördelningen av halterna över Sverige är svårtolkad.





**Figur 28.** Lufthalter av NO<sub>2</sub> som medelvärden vintertid (oktober – mars) 2011/12 och sommartid (april – september) 2012.



**Figur 29.** Lufthalter av NH<sub>3</sub> som medelvärden vintertid (oktober – mars) 2011/12 och sommartid (april – september) 2012.

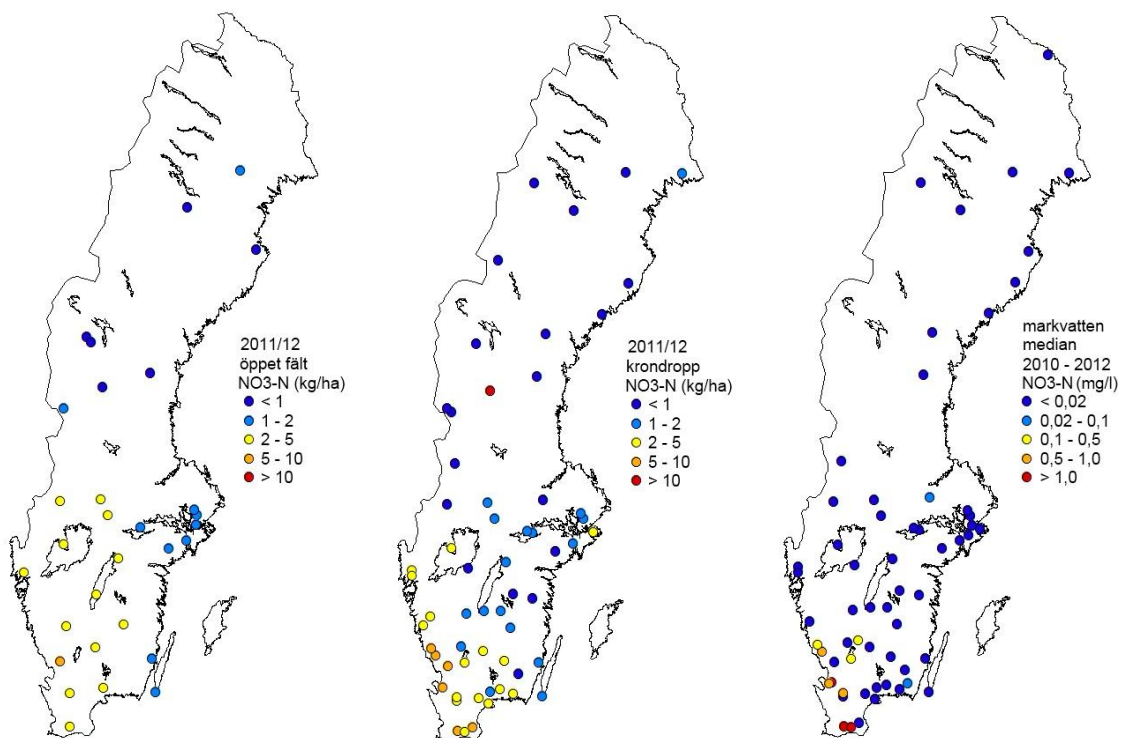
I Figur 30 visas årligt nedfall av nitrat för det hydrologiska året 2011/2012 vid olika platser i Sverige, mätt som nedfall med nederbörden till öppet fält samt via krondropp. Som diskuterats tidigare i rapporten finns det problem med att mäta totaldepositionen av oorganiskt kväve till skog, eftersom en del kväve tas upp direkt till trädkronorna. På grund av detta är nedfallet mätt via krondropp i de flesta fall, utom längst i sydväst, lägre än nedfallet med nederbörden till öppet fält. Längst i sydväst, vid platser där det finns parallella mätningar till öppet fält och krondropp, är dock kvävenedfallet mätt via krondropp högre än nedfallet på öppet fält. Detta kan bero på att träden i denna del av landet är på väg att bli mättade med kväve och därför inte längre tar upp det lika mycket direkt till trädkronorna alternativt att torrdepositionen är mycket hög.

En röd markering för nedfallet av nitrat i krondropp för en plats i Jämtlands län, Sör-Digertjärnen, Figur 30, beror på att ytan gödslades med 150 kg N i form av ammoniumnitrat under 2012. Detsamma gäller för ammoniumnedfall i krondropp i Figur 31. Ett beslut togs om att vidmakthålla mätningarna under gödningen för att kunna följa förloppen med hur kväve läcker ut till markvattnet och eventuellt till närliggande ytvatten, se kapitel 4.2.

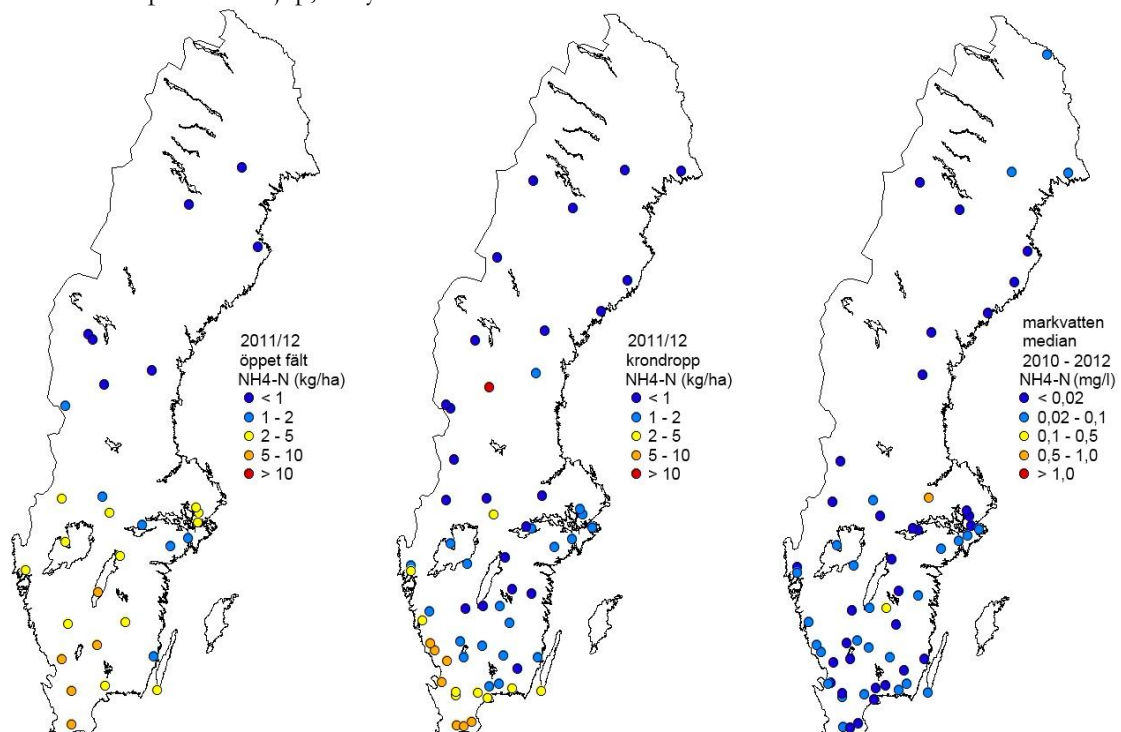
Nedfallet av ammonium till öppet fält och via krondropp liknar det för nitrat (Figur 31). Det finns emellertid en skillnad i att ett relativt högt nedfall av ammonium i nederbörd uppmäts i Stockholmsområdet. Anledningen till detta är ännu okänd.

Det samlade nedfallet av oorganiskt kväve (nitrat + ammonium) med nederbörden till öppet fält ligger över 10 kg N/ha/år i sydvästligaste delarna i landet, Figur 32. Relativt många platser i Götaland, samt någon plats i västra Svealand, uppvisade under 2011/2012 ett kvävenedfall med nederbörden till öppet fält högre än 5 kg N/ha/år. I skog tillkommer ytterligare nedfall som torrdeposition. Således överskrids den kritiska nivån för kvävenedfall till skydd för biodiversiteten med råge vid dessa platser.

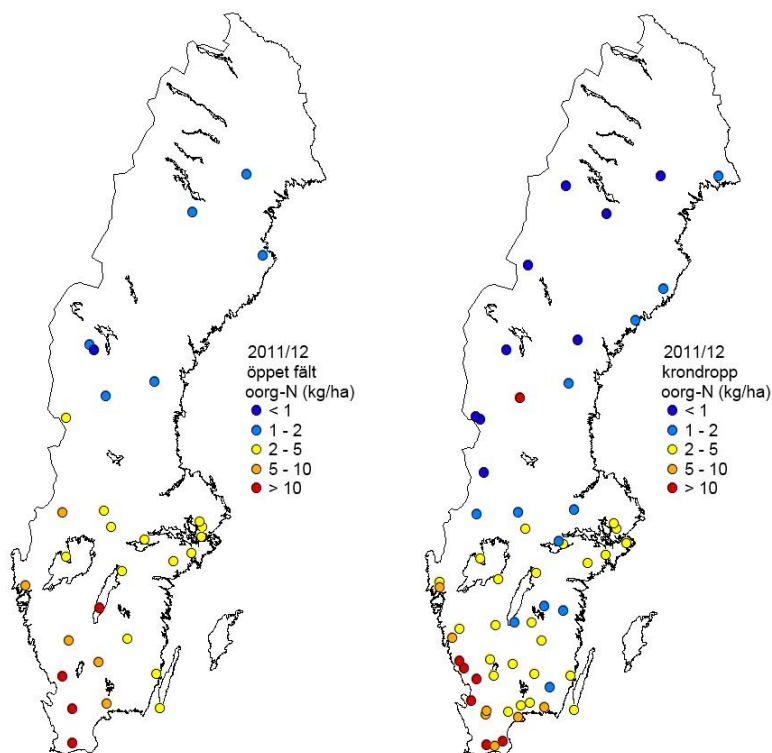
Höga halter av nitrat i markvattnet förekommer som diskuterats ovan främst i sydvästra Sverige, vilket framgår även för de senaste åren i Figur 30. Höga halter av ammonium i markvattnet är sällsynt och förekommer under de senaste tre åren endast vid ett fåtal platser.



**Figur 30.** Årligt nedfall av nitrat för hydrologiska året 2011/2012 vid olika platser i Sverige, mätt via nedfall med nederbörden till öppet fält samt via krondropp. Dessutom visas halterna av nitrat i markvattnet på 50 cm djup, uttrycks som medianvärde för 2010-2012.



**Figur 31.** Nedfall av ammonium för hydrologiska året 2011/2012 vid olika platser i Sverige, mätt via nedfall med nederbörden till öppet fält samt via krondropp. Dessutom visas halterna av ammonium i markvattnet på 50 cm djup, uttrycks som medianvärde för 2010-2012.

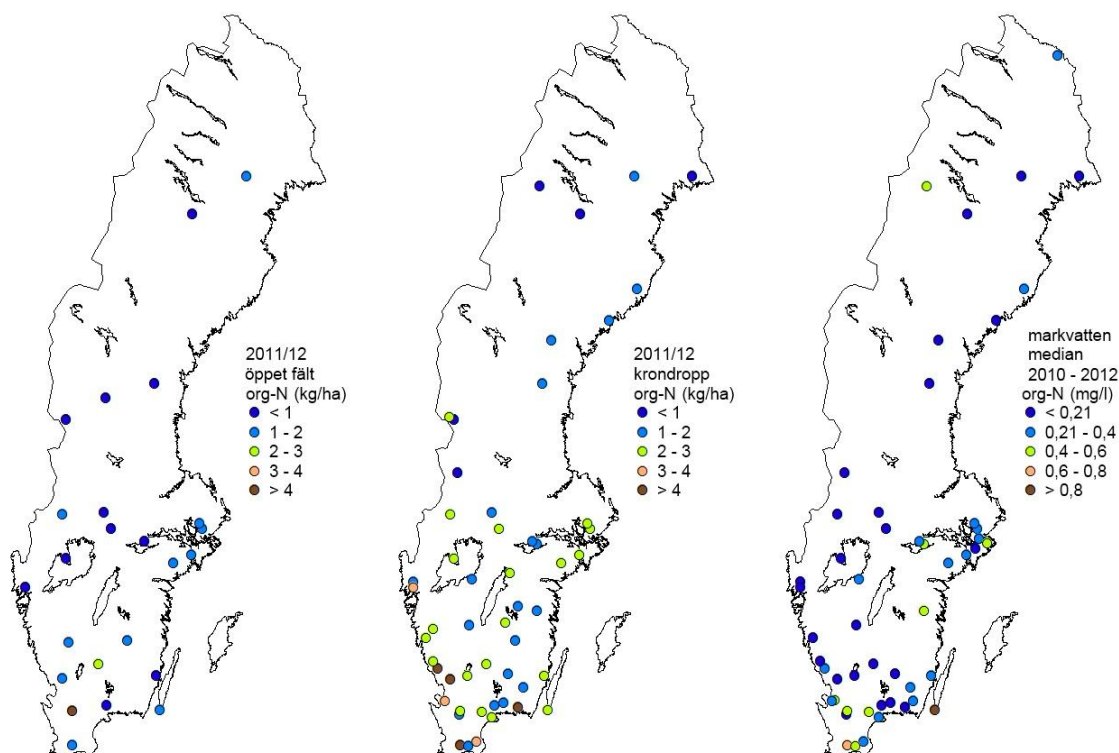


**Figur 32.** Årligt nedfall av oorganiskt kväve (nitrat + ammonium) för hydrologiska året 2011/2012 vid olika platser i Sverige, mätt via nedfall med nederbörden till öppet fält samt via krondropp.

Mätning av organiskt kväve krävs för att få en helhetsbild över hela kvävedynamiken. Ett förändrat klimat innebär att detta är viktigare än tidigare. Förändrad temperatur och förändrade nederbördsmonster kan påverka markens förmåga att binda kol och kväve, vilket i sin tur påverkar koncentrationerna av organiskt kol och kväve i markvattnet. Detta har konsekvenser för kolinbindning i skogsekosystemet och kan även påverka miljö kvalitetsmålen *Ingen övergödning* och *Bara Naturlig försurning*.

Nedfallet av organiskt kväve med nederbörden till öppet fält under 2011/2012 överskred 1 kg N/ha/år vid vissa platser i södra Sverige och bidrog därmed väsentligt till det totala nedfallet av kväve till skogen, Figur 33. De högre halterna av organiskt kväve i krondropp kan till stor del bero på att oorganiskt kväve omvandlas till organiskt kväve i trädskronorna, kanske framför allt av de epifyter som växer på utsidan av blad och barr. När kvävet tagits upp till barr och bladen utsöndras det sannolikt inte igen (Bengt Nihlgård, Lunds universitet, personlig kommunikation).

Halterna av organiskt kväve i markvattnet visas i Figur 33. Förekomsten av organiskt kväve i markvattnet anses inte vara påverkat av antropogena aktiviteter, utan utgör en "naturlig" bakgrunds nivå för transport av kväve ut från skogsekosystemen.



**Figur 33.** Årligt nedfall av organiskt kväve (nitrat + ammonium) för hydrologiska året 2011/2012 vid olika platser i Sverige, mätt som nedfall med nederbörden till öppet fält och via krondropp. Dessutom visas halter av organiskt kväve i markvattnet på 50 cm djup som ett medianvärde för 2010-2012. Organiskt kväve beräknas som skillnaden mellan Kjeldahl-kväve och ammoniumkväve.

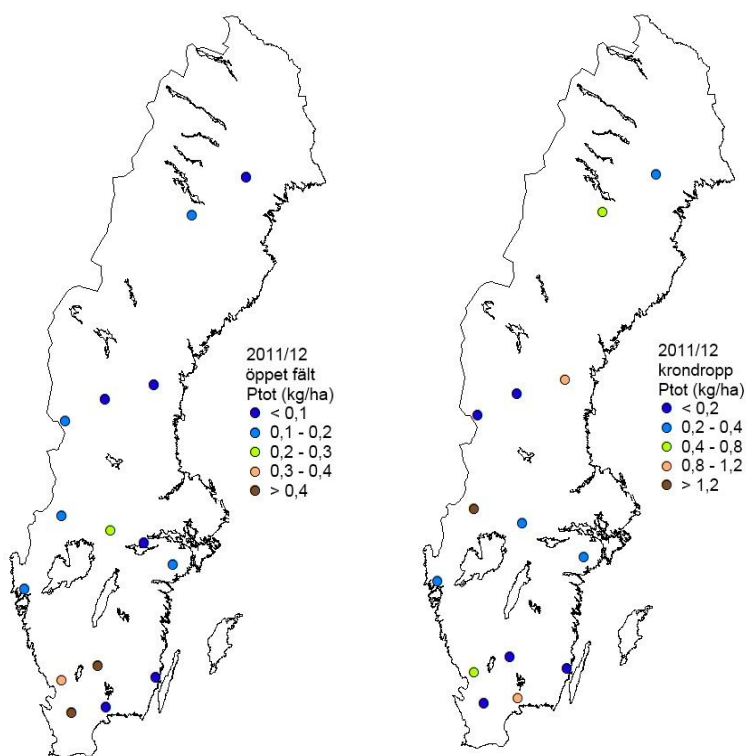
## 5.5. Fosfor

Det ämne som vanligtvis begränsar skogstillväxten på våra breddgrader är kväve, men i kväverika områden med små mängder fosfor i marken kan fosfor bli det begränsande ämnet. Vid stora uttag av näringsrika grenar och toppar (grot) ökar risken för fosforbrist. Detta innebär i sin tur ökad risk för kväveutlakning, eftersom träden inte längre kan ta upp lika mycket kväve, vilket i sin tur kan påverka både övergödning och försurning. I sjö- och havsekosystem är i stället för mycket fosfor, främst från jordbruket, ett stort problem.

För att kunna göra budgetberäkningar för fosfor och bedöma risken för fosforbrist i skogen behövs bra data på nedfall. Dock finns inte mycket data från tidigare år. I Akselsson et al. (2008) gjordes budgetberäkningar för fosfor, och depositionen som användes var ett medelvärde från 24 platser (öppet fält) i Sverige, Norge och Danmark, varav enbart fem var i Sverige. Medeldepositionen på dessa platser varierade mellan 0,05 och 0,27 kg per hektar och år, och ingen tydlig geografisk trend kunde påvisas. Nedfallet till skog antogs i studien vara 40 % högre. Under 2006 och 2007 provtogs fosfor, på uppdrag av Naturvårdsverket, på ca 20 platser över Sverige inom Krondroppsnätet, IM och Luft- och nederbördskemiska nätet (Pihl Karlsson, 2008). Budgetberäkningar av fosfor har genomförts för mätningarna

2006 & 2007 (Hellsten et al, 2010). Mot bakgrund av det bristande underlaget vad gäller fosfordnedfall, och ett ökat fokus på fosfor som en potentiellt begränsande faktor för tillväxt, startades i januari 2011 mätningar av fosfordnedfall inom Krondroppsnätet på 15 ytor på öppet fält och på 14 av dessa även i krondropp.

Mätningarna under det hydrologiska året 2011/12 visade att nedfallet på öppet fält var lägre än 0,2 kg per hektar och år på samtliga provytor i Norrland, på en av fyra ytor i Svealand samt på tre av sex ytor i Götaland (Figur 34). På två ytor i Götaland översteg nedfallet 0,4 kg per hektar och år. En slutsats som kan dras är att det inte finns några lika tydliga geografiska gradienter som för svavel och kväve, men att det är vanligare med högre nedfall i södra Sverige. Nedfallet via krondropp var generellt runt 67 % högre än på öppet fält. På de två platser som hade högst nedfall på öppet fält, i södra Sverige, var dock nedfallet mätt via krondropp avsevärt lägre.



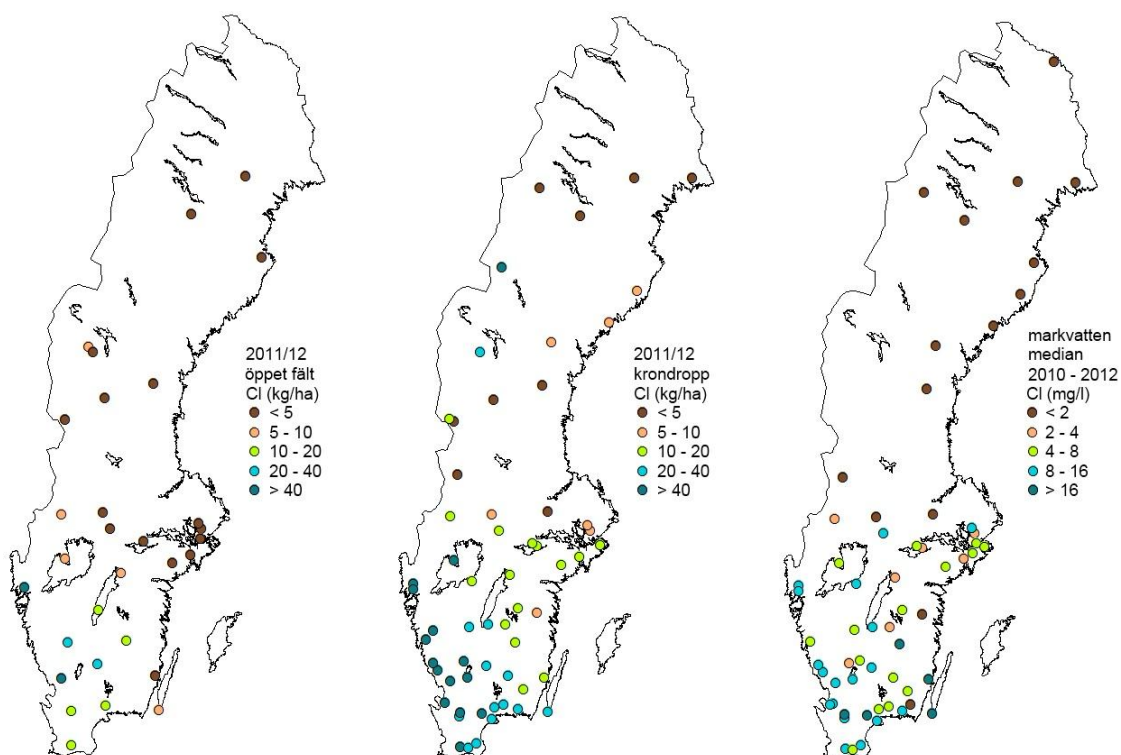
**Figur 34.** Årligt nedfall av totalfosfor för hydrologiska året 2011/2012 vid olika platser i Sverige, mätt som nedfall med nederbörden till öppet fält samt via krondropp.

## 5.6. Klorid/natrium – havssalt

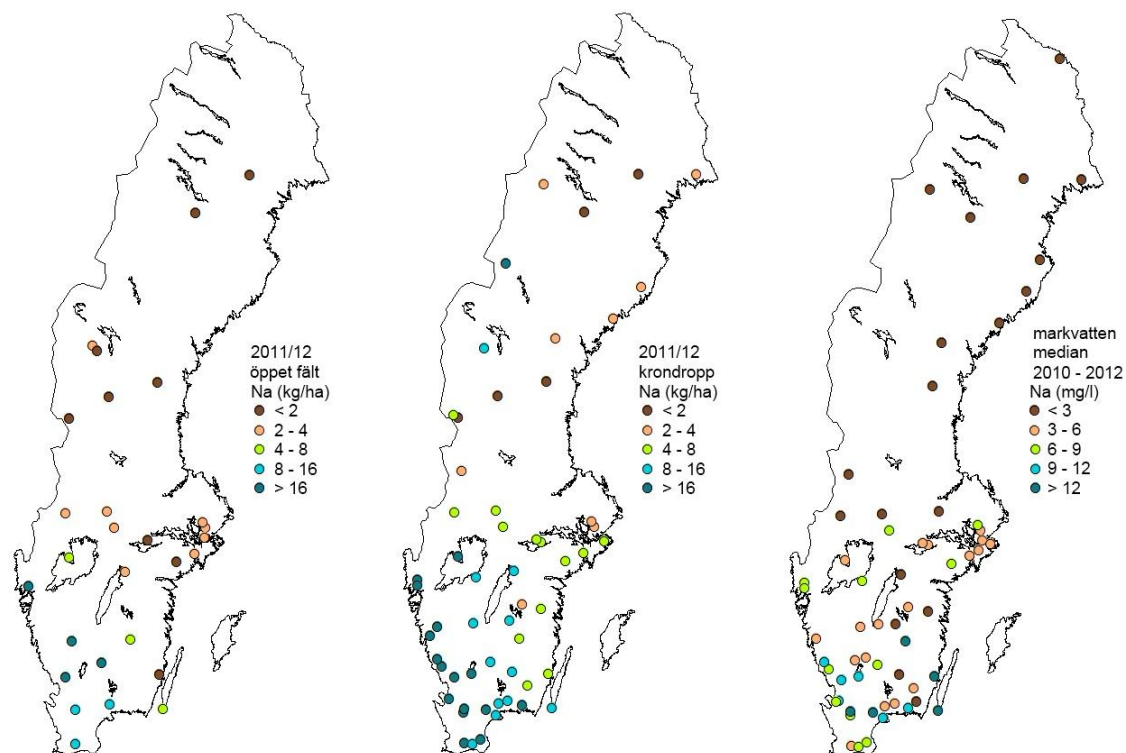
Havssalt är neutralt och leder därmed inte till någon försurning på lång sikt. Episoder av havssalt kan dock leda till jonbytesprocesser som i sura jordar kan innebära att natrium ersätter vätejoner på markpartiklarna, vilket leder till surt avrinningsvatten under en period, en så kallad surstöt. Havssalt består till stor del av natrium (Na) och klorid (Cl), men även av andra ämnen såsom magnesium (Mg) och svavel (S). Mätningar av Na och Cl i nedfall

och markvatten är viktigt för att kunna följa dessa episoder och deras effekter på markvattenkemin.

Kloridnedfallet under det hydrologiska året 2011/12 var högt i jämförelse med tidigare år i mätserierna. Kartbilderna visar att hela södra Sverige är påverkat av havssaltsnedfall, medan nedfallet är relativt lågt i norra Sverige, med undantag av två krondroppsytor på hög höjd i Jämtlands län där exponeringen för västliga vindar är stor (Figur 35 & 36). I södra Sverige är gradienten skarp från sydväst till öster, vilket syns tydligast i krondroppet. Gradienten för natrium och klorid i markvattnet följer tydligt nedfallsgradienten.



**Figur 35.** Årligt nedfall av klorid för hydrologiska året 2011/2012 vid olika platser i Sverige, mätt som nedfall med nederbörden till öppet fält och via krondropp. Dessutom visas halter av klorid i markvattnet på 50 cm djup som ett medianvärde för 2010-2012.



**Figur 36.** Årligt nedfall av natrium för hydrologiska året 2011/2012 vid olika platser i Sverige, mätt som nedfall med nederbörden till öppet fält och via krondropp. Dessutom visas halter av natrium i markvattnet på 50 cm djup som ett medianvärde för 2010-2012.

## 5.7. Övriga baskatjoner

Nedfallet av baskatjoner utgör, tillsammans med vittringen, en betydelsefull faktor när det gäller att bedöma om baskatjonerna räcker till för att kompensera den bortförsel som sker i samband med uttag av biomassa från de svenska skogsekosystemen. Nedfallet av baskatjoner till skogen utgör även en betydelsefull faktor vad gäller att neutralisera det sura nedfallet och därmed för att bedöma denna kritiska belastning för försurning av de svenska skogarna.

Utsläpp av baskatjoner kan ha både antropogent och naturligt ursprung (Westling, Lövsblad, 2004). Natrium och magnesium kommer huvudsakligen från havssalt, medan merparten av kalium och kalcium kommer från antropogena aktiviteter. Partiklar innehållande baskatjoner släpps ut i samband med förbränning av kol och ved samt i samband med olika industriella processer. Också ”naturliga” emissioner påverkas av mänsklig aktivitet i samband med förändrad markanvändning etc.

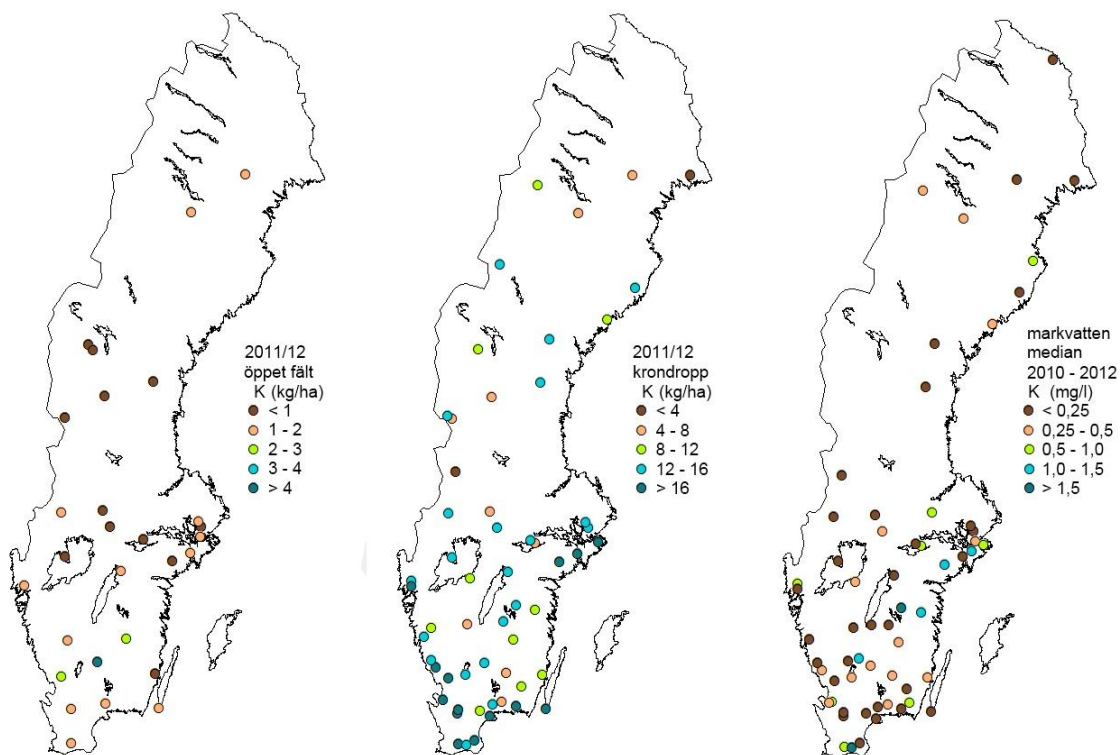
Det finns indikationer på att nedfallet av baskatjoner över Europa har minskat under de senaste decennierna (Westling & Lövsblad, 2004).



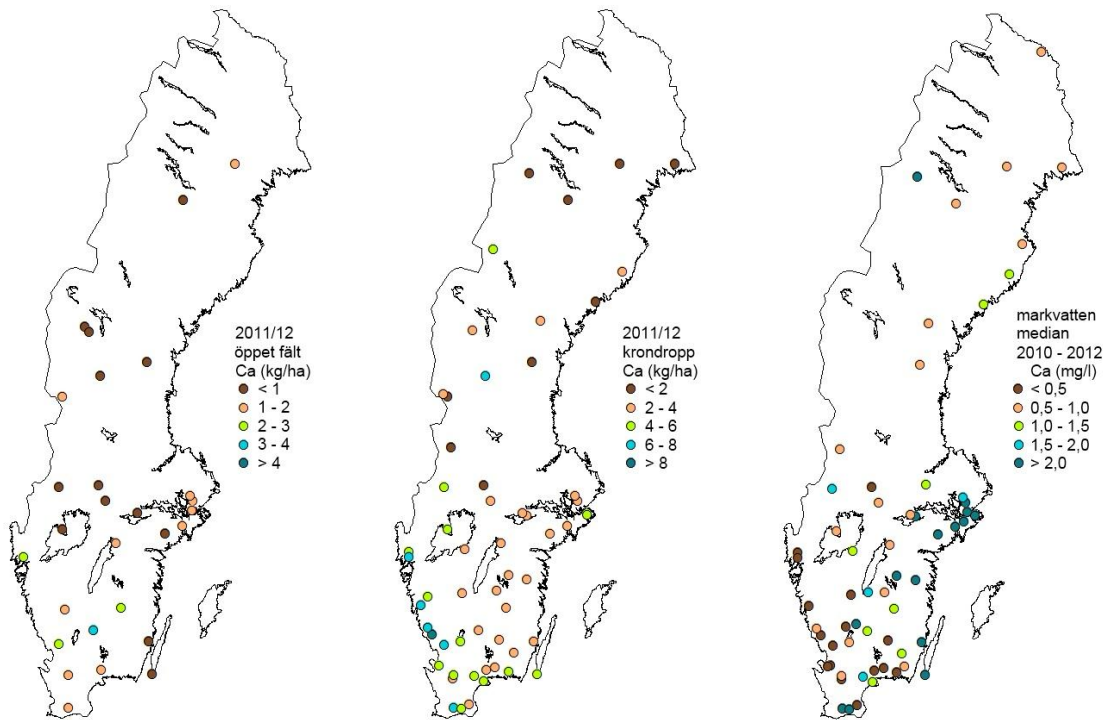
Liksom för kväve finns det betydande interaktioner mellan innehållet i nederbörden som faller ner och trädkronorna. Både kalcium och kalium kan trädkronorna i stor utsträckning läcka ut från beroende på en stor interncirkulation inom skogsekosystemen. Man ser därför i figurerna nedan att nedfallet mätt via krondropp är mycket högre jämfört med via nederbörd på öppet fält vad gäller kalium (Figur 37, observera olika färgskalor). Nedfallet av kalcium och magnesium visas i Figur 38 respektive Figur 39.

En rapport har nyligen tagits fram, med finansiering av Naturvårdsverket, där torr- och våtdeposition av baskatjoner till granskog har beräknats för olika delar av Sverige baserat på mätningar inom Krondroppsnetet i kombination med mätningar med s.k. strängprovtagare (Karlsson m. fl., 2013a).

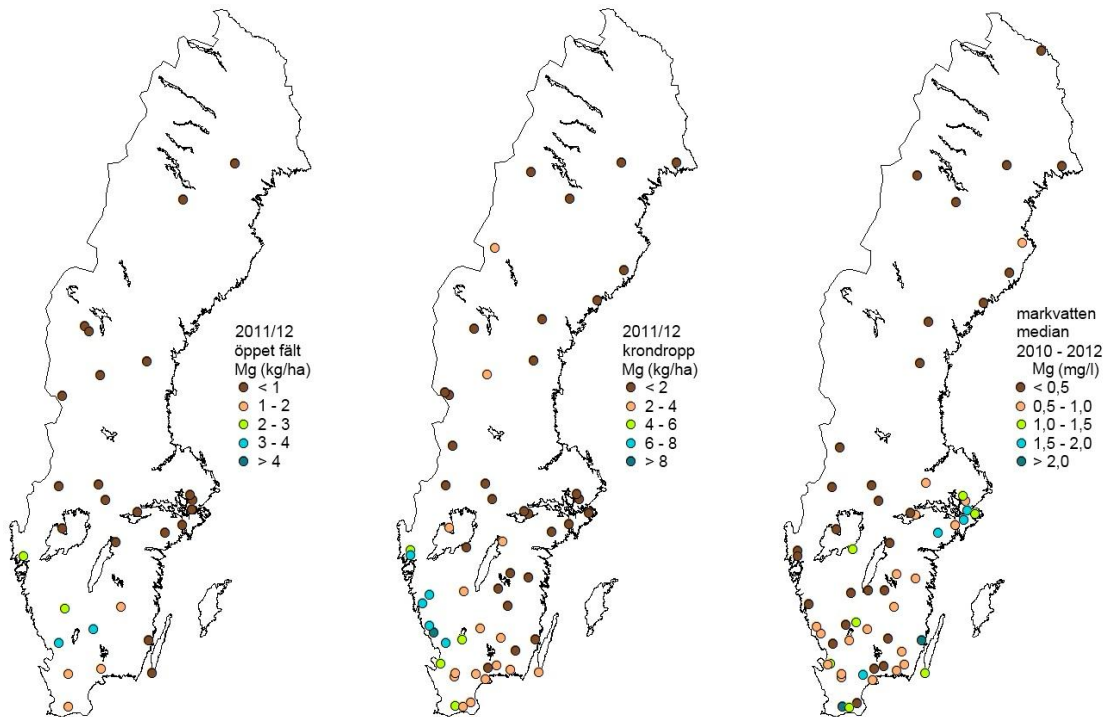
Förekomsten av baskatjoner i markvattnet följer i viss mån förekomsten av sulfatsvavel, beroende på markkemiska villkor om laddningsneutralitet. När halterna av sulfatsvavel går ned går ofta halterna av t ex kalcium ner.



**Figur 37.** Nedfallet av kalium under hydrologiska året 2011/2012 mätt via nederbörd till öppet fält samt via krondropp. Dessutom visas halter av kalium i markvattnet på 50 cm djup som ett medianvärde för 2010-2012.



**Figur 38.** Nedfallet av kalcium under hydrologiska året 2011/2012 mätt via nederbörd till öppet fält samt via krondropp. Dessutom visas halter av kalcium i markvattnet på 50 cm djup som ett medianvärde för 2010-2012.

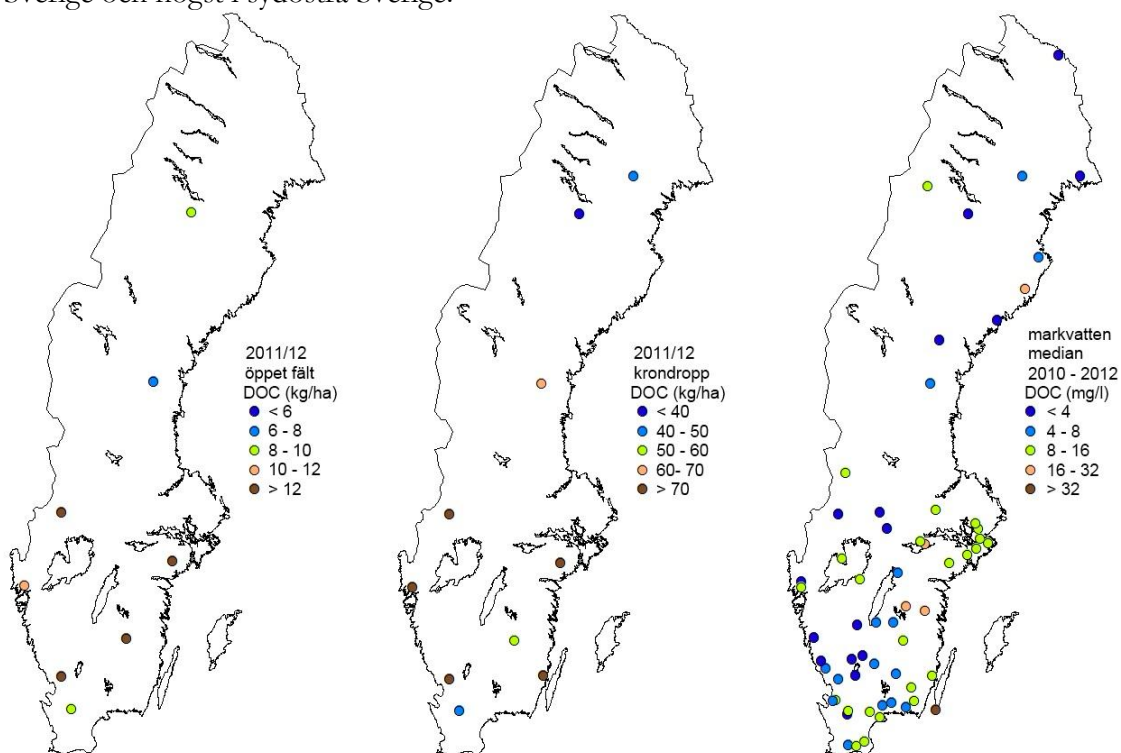


**Figur 39.** Nedfallet av magnesium under hydrologiska året 2011/2012 mätt via nederbörd till öppet fält samt via krondropp. Dessutom visas halter av magnesium i markvattnet på 50 cm djup som ett medianvärde för 2010-2012.

## 5.8. Organiskt kol

Ett förändrat klimat med förändrad temperatur och förändrade nederbördsmönster kan påverka markens förmåga att binda kol och kväve, vilket i sin tur påverkar koncentrationerna av organiskt kol och kväve i markvattnet. Detta har konsekvenser för kolinbindning i skogsekosystemet och kan även påverka miljökvalitetsmålen *Ingen övergödning* och *Bara Naturlig försurning*. Organiskt kol är ett mått på kolinnehållet både i löst och partikulärt organiskt material i vattnet. Däremot ger det inte någon information om typen av organiskt material.

Inom Krondroppsnätet filtreras alla prover med en filterstorlek på 0,8 µm. I många sammanhang filtreras organiskt kol (DOC) med en filterstorlek på 0,45 µm, medan total mängd organiskt kol (TOC) analyseras på ofiltrerade prover. I Figur 40 visas nedfallet, krondroppet samt markvatteninnehållet av organiskt kol (DOC) under 2011/12. Mätningarna på öppet fält och i krondropp visar inget direkt nedfallsmönster, medan markvattnet visar lägst halter i sydvästra och norra Sverige och högst halter i sydöstra Sverige. Riksinventeringen av sjöar 2000 visade att i sjöar var TOC-halterna lägst i norra Sverige och högst i sydöstra Sverige.



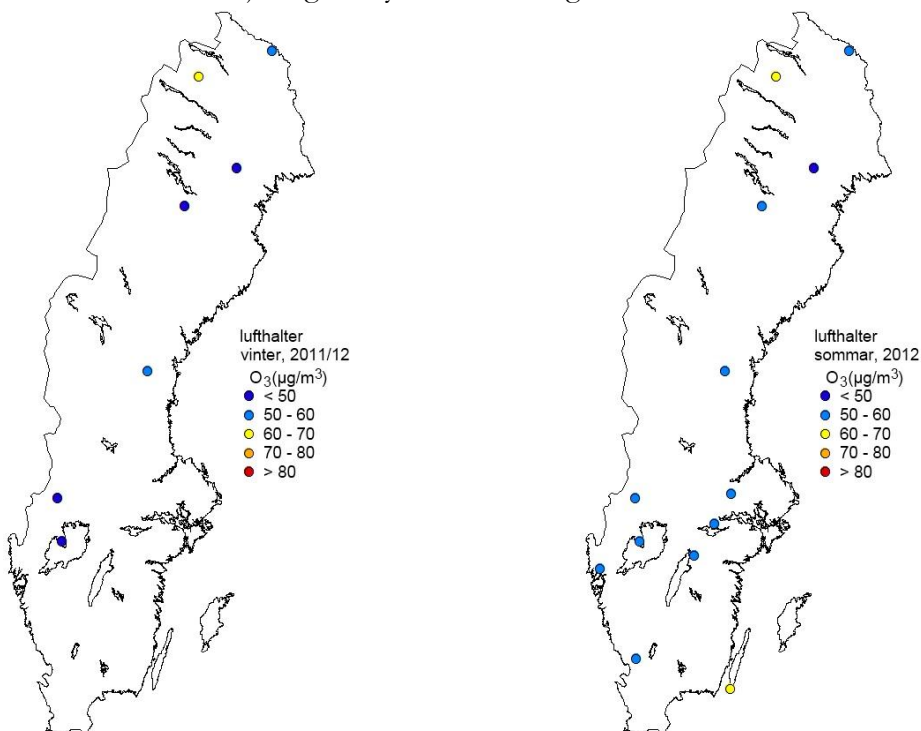
**Figur 40.** Nedfallet av organiskt kol (DOC) under hydrologiska året 2011/2012, mätt via nederbörd till öppet fält samt via krondropp. Dessutom visas halter av DOC i markvattnet på 50 cm djup som ett medianvärde för 2010-2012.

## 5.9. Marknära ozon

Marknära ozon ( $O_3$ ), inandas av människor och tränger in i växternas blad och barr. Ozonupptag till växternas blad leder bl. a. till minskad fotosyntes och för tidigt åldrande med åtföljande bladavfall. Denna påverkan av ozon ger stora konsekvenser för produktiviteten i jord- och skogsbruk. Hos människor ger ozon främst irritation av ögon och slemhinnor. Näst efter partiklar är ozon den förorening som orsakar störst skador på människors hälsa. Förutom negativa effekter på vegetationen och på människors hälsa innebär ozonets starka oxidationsförmåga att många material bryts ner (Pleijel, 2007).

Ozonepisoder, d.v.s. en kraftigt förhöjd ozonhalt under någon eller några dagar, uppstår regelbundet sommartid beroende på vädersituation, lokal ozonbildning samt långväga transport av ozonbildande ämnen.

2009 startade ”Ozonmättnätet i södra Sverige”, vilket fick till följd att ett antal av de mätstationer som tidigare mätt ozon inom Krondroppsnätet i södra Sverige administrativt flyttades till det nya projektet. Inom Ozonmättnätet i södra Sverige mäts ozon mellan mars – september. I Figur 41 visas vinter- respektive sommarhalvårsmedelvärden för ozon för de platser som ingår i Krondroppsnätet samt de som ingår i Ozonmättnätet som mäter på krondroppsytor. Ozonhalterna är högst på sommaren då ozon bildas av kväveoxider och kolväten under inverkan av solljus. På våren är oftast ozonhalterna som högst i norra Sverige, en s.k. vårtopp, medan ozonhalterna är högst i södra Sverige under resten av säsongen, speciellt då förorenad luft kommer in till Sverige från kontinenten. Under 2012 var ozonhalterna mycket låga beroende på det molniga/regniga vädret, varför ozonhalterna över landet inte skiljer sig så mycket åt vare sig under vinter- eller sommarhalvåret.



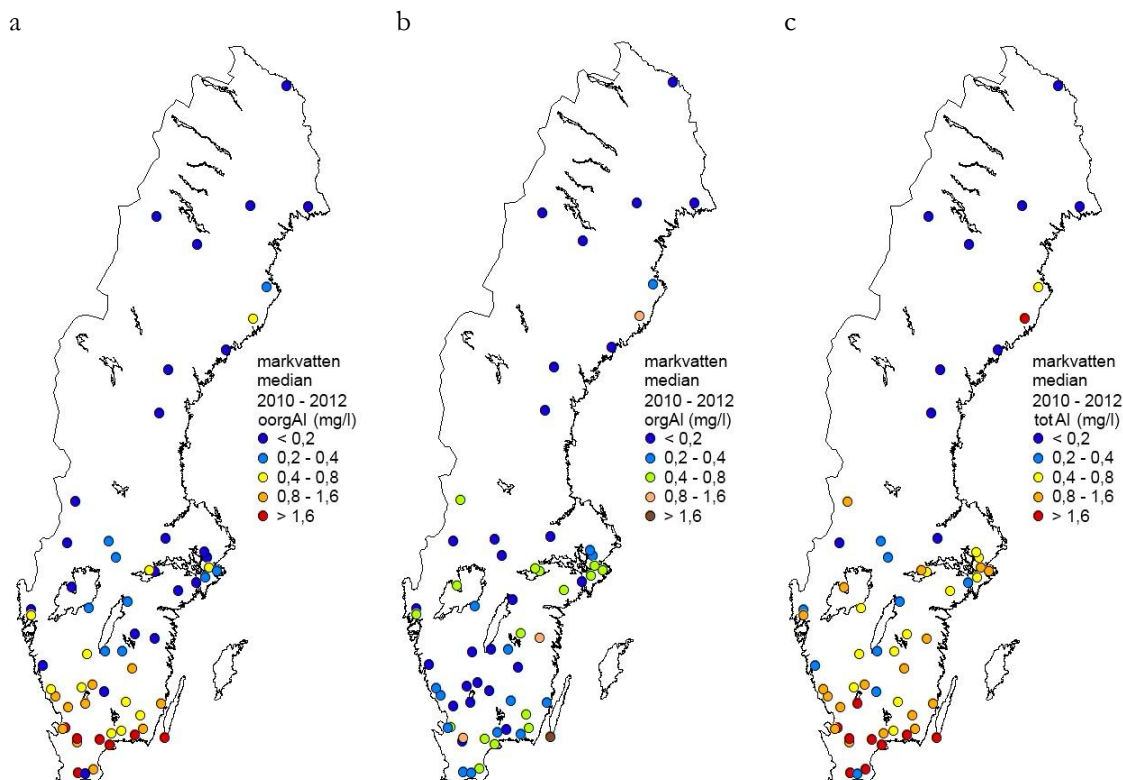
**Figur 41.** Lufthalter av  $O_3$  som medelvärde vintertid (oktober – mars) 2011/12 och sommartid (april – september) 2012.

## 5.10. Övriga ämnen

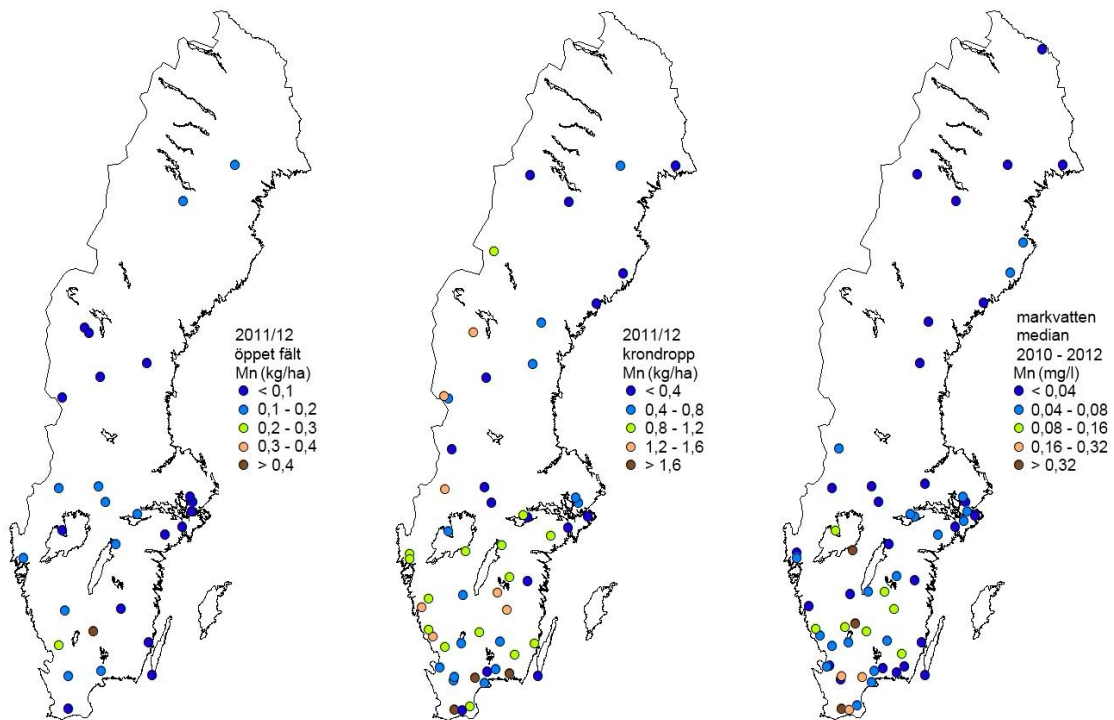
Den totala halten aluminium i markvatten består av organiskt och oorganiskt aluminium (Figur 42a-c). Halten organiskt aluminium samvarierar i hög grad med halten organiskt kol. Halten oorganiskt aluminium är däremot starkt pH-beroende. Oorganiskt aluminium, som är toxiskt för växter och djur, frigörs vid låga pH. Halten oorganiskt aluminium är hög i större delen av Götaland, framför allt längst i söder. I Norrland finns en provyta vid kusten med en halt över 0,4 mg/l. Den totala aluminiumhalten i markvatten domineras stort av oorganiskt aluminium i södra Sverige, medan de två formerna är ungefär lika stora i norr.

Mangan förekommer i nederbörden och i markvattnet särskilt tydligt i Norrland, med en förhöjning runt millenieskiftet och en annan under perioden 2005-2008. Mangan förekommer normalt i marken som svårslöslig manganoxid. Låga syrehalter samt lågt pH gynnar förekomsten av fria manganjoner ( $Mn^{2+}$ ). Orsakerna bakom manganförekomsten i markvattnet är ännu okända, men exempelvis har surstötter i manganrika områden i fjällbäckar orsakat höga manganhalter i sjöar och andra vattendrag. Det är intressant att det för samma tidsperioder uppträder förhöjda nivåer av nedfall av mangan, främst i nederbörden över öppet fält. Mangan kan läcka ut från blad och barr, varför mätningarna av mangan i krondropp är svårbedömda. Nedfall och markvattenhalter av mangan för 2011/12 visas i Figur 43.

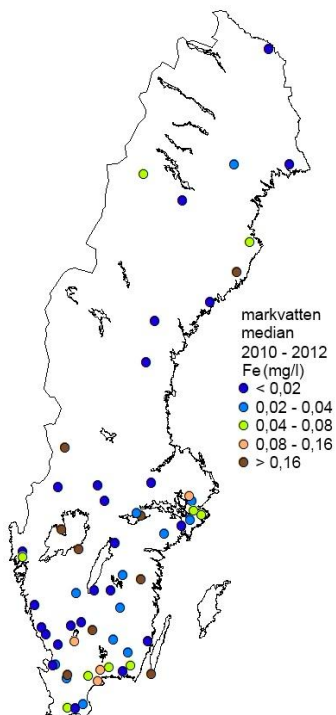
Järnhalten i markvattnet är generellt låg, Figur 44, och samvarierar i hög grad med DOC.



**Figur 42.** Halter av oorganiskt aluminium (a), organiskt aluminium (b) samt summan av organiskt och oorganiskt aluminium i markvattnet på 50 cm djup som ett medianvärde för 2010-2012.



**Figur 43.** Nedfallet av mangan under hydrologiska året 2011/2012, mätt via nederbörd till öppet fält samt via krondropp. Dessutom visas halter av mangan i markvattnet på 50 cm djup som ett medianvärde för 2010-2012.



**Figur 44.** Halter av järn i markvattnet på 50 cm djup som ett medianvärde för 2010-2012.

## 6. Aktuella publikationer och aktiviteter inom Krondroppsnätet

### Hur har det minskade svavelnedfallet påverkat återhämtningen från försurningen i södra Sverige?

För att svara på denna fråga har nio krondroppsytor med tidsserier längre än 20 år studerats i detalj. Alla ytor utom en visade tecken på återhämtning, men återhämtningen gick långsamt, och markvattnet var i de flesta fall fortfarande påtagligt försurat i slutet av perioden. På flertalet ytor försenades återhämtningen av havssaltepisoder, som genom jonbytesprocesser kan leda till temporär försurning av markvatten i sura jordar. En annan process som bromsar återhämtningen är att svavel som tidigare adsorberats nu frigörs, vilket är en försurande process. Detta syns då man jämför svavelnedfallsminskningen med minskningen i svavelhalt i markvattnet – svavelnedfallet minskar generellt mer än halterna i markvattnet. En av de nio ytorna visade på kraftigt förhöjda nitrathalter i markvattnet, vilket resulterade i mycket lågt pH. Slutsatser av studien var att markerna i sydvästra Sverige befinner sig i ett tidigt stadium av återhämtning, att havssaltepisoder kommer att kunna leda till temporär försurning av markvatten och potentiellt även ytvatten, och att upptag av tillgängligt kväve är en förutsättning för fortsatt återhämtning.

Studien har finansierats av Naturvårdsverkets miljömålsarbete samt via forskningsprogrammet CLEO, och resulterade i en vetenskaplig artikel som är tillgänglig även via ”open access” i en accepterad men ej slutredigerad version på [www.lu.se/lup/publication/3439100](http://www.lu.se/lup/publication/3439100).

*Akselsson, C., Hultberg, H., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., 2013. Acidification trends in south Swedish forest soils 1986-2008 – slow recovery and high sensitivity to sea-salt episodes. Science of the Total Environment 444, 271-287.*

### Kan det högre kvävenedfallet i södra Sverige påverka trädens symbios med svampar negativt, och kan det i så fall påverka kväveutlakningen?

Nästan alla trädarter i boreala och tempererade skogar lever i en symbios, som kallas ektomykorrhiza, med svampar. Trädet transporterar via rötterna kol (från fotosyntesen) till svampen i utbyte mot näringsämnen och vatten. När skogsmark gödslas med kväve minskar tillväxten av ektomykorrhizasvampar då träden kan ta upp kvävet själva och inte längre har någon vinning av att transportera kol till svampen. Detta kan även leda till en ökning av kväveläckaget. Det finns dock inte många studier i naturliga kvävenedfallsgradienter och därför startades 2009 ett projekt där 29 krondroppsytor i en kvävegradient från Skåne till Västmanland ingick. ”Svampinväxningspåsar” las ut under markens organiska lager på ytorna i maj 2009, och samlades in i oktober 2010 för att analysera tillväxten av ektomykorrhizasvampar. Resultaten visade att kvävenedfall var den viktigaste påverkansfaktorn för svamptillväxten. Det är troligt att den minskade ektomykorrhizaproduktionen vid hög kvävebelastning kan påverka kväveretentionen, men det gick i denna studie inte att skilja den direkta effekten av kvävenedfall på kväveutlakningen från effekten av minskad ektomykorrhizaproduktion. Produktionen av ektomykorrhiza bidrog till en betydlig kolinlagring, 320 kg per hektar och år, och är därför en viktig komponent i kolbalansberäkningar.

Studien utfördes på Lunds Universitet av Adam Bahr med kollegor, med finansiering från forskningsprogrammet LUCI och från FORMAS.

*Bahr, A., Ellström, M., Akselsson, C., Ekeblad, A., Mikusinska, A. and Wallander, H., 2013. Growth of ectomycorrhizal fungal mycelium along a Norway spruce forest nitrogen deposition gradient and its effect on nitrogen leakage. Soil Biology and Biochemistry 59, 38-48*

### **Kan kvävedofallet över Sverige påverkas av storskaliga biomassabränder i avlägsna länder?**

Under våren och sommaren 2006 rasade biomassabränder på ca 2 miljoner hektar i Ryssland och angränsande länder. Under våren rådde ett starkt högttrycksbetonat väder över Ryssland, vilket gjorde att de förorenade luftmassorna från bränderna transporterades ut över hela norra Europa. I månadsskiftet april-maj 2006 transporterades en särskilt förorenad luftmassa åt nordväst, över Jämtland och till Svalbard där snön färgades svart i vissa områden. Krondroppsmätningarna i Nymyran, en krondropplokal i östra Jämtland, visade under juni 2006 ett nedfall av ammonium på ca 0,7 kg N/ha/mån. Detta är långt högre än vad som någonsin noterats under den period mätningarna pågått, från 1997 tills nu. Eftersom en del ammonium tas upp direkt i trädskronorna måste den mängd ammonium som deponerades till granskogen i Nymyran varit långt högre än de 0,7 kg N/ha som uppmättes. Det regnade ytterst lite vid Nymyran under maj, vilket förklarar att nedfallet av ammonium detekterades först under juni månad. Höga lufthalter av ammonium detekterades vid flera EMEP-stationer i Finland och Norge, samt även vid mätningar på hög höjd i fjällområdet i Sverige. Mätningarna visade ett särskilt tydligt exempel på hur förorenad luft från avlägsna, storskaliga biomassabränder kan orsaka kvävedofall över norra Fennoscandia. Storskaliga bränder har ägt rum vid många andra tillfällen, särskilt under 2000-talet och sannolikt även då bidragit till ett ökat kvävedofall vid nordliga breddgrader.

Publiceringen av resultaten finansierades av Nordiska Ministerrådet. Djupgående analyser av resultaten har även finansierats av Länsstyrelsen i Jämtland (mätningarna vid Nymyran samt i krondropp på hög höjd i Jämtland) samt av Naturvårdsverket (mätningar av lufthalter på hög höjd i norra Sverige).

*Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Tommervik, Lars R. Hole, Gunilla Pihl Karlsson, Tuja Ruoho-Airola, Wenche Aas, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Teis Nørgaard Mikkelsen, and Bengt Nihlgård. 2013b. Biomass burning in eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia. Environmental Pollution, 176, 71–79.*

### **Kan minskade utsläpp av svavel från fartygstrafiken detekteras som ett minskat svavelnedfall vid kustnära Krondroppsytor?**

Fartygsbranschen, IMO, har beslutat att svavelhalterna i fartygsbränslen skall minskas succesivt. År 2006/2007 beslutades att svavelhalten i fartygsbränslen vid trafik på Nordsjön, Skagerack, Kattegatt och Östersjön får vara högst 1,0 % och år 2015 planeras en ny sänkning från 1,0 till 0,1 %. Innan 2006/2007 var svavelhalter typiskt 2,7 %.

Fartygsemissionerna står för en betydande andel av de svavelutsläpp som ligger bakom det nuvarande svavelnedfallet till skogarna i Sverige. Därför borde minskade fartygsemissioner



avspegla sig i ett minskat svavelnedfall mätt via krondropp, i synnerhet vad gäller kustnära platser i södra Sverige, men kanske även för kustnära platser längs Norrlandskusten. Svårigheten är att utskilja dessa effekter från de som orsakas av annan långväga transport av svavel från kontinentala och södra Europa. Detta kan analyseras med statistiska metoder i kombination med spridningsmodeller som klassificerar ursprunget av det svavel som faller ned till skogen vid en viss plats.

Krondroppsnetzets planerar att söka finansiering för att genomföra dessa analyser av effekter av minskat svavelutsläpp från fartygstrafiken samt eventuellt även för att öppna några nya krondroppsytor av särskild strategisk betydelse för att studera dessa frågeställningar.

## **7. Tack till Karol Koos, sedan 1989 i Krondroppsnetzets tjänst**

I december 2012 gick Karol Koos officiellt i pension. Han arbetar dock vidare på deltid under 2013 vilket vi är glada för. I samband med hans pensionering vill vi uppmärksamma och tacka honom för det enorma arbete, entusiasm och uppfinningsrikedom som han lagt ner på Krondroppsnetzets. Om inte provtagningen och utrustningen fungerar på rätt sätt så analyseras inte rätt saker och fel slutsatser kan dras. Bland annat tack vare Karols arbete så har Krondroppsnetzets den potential det har idag med en enorm databas och underlag som kan vara med och svara på många olika frågeställningar i miljö- och skogssverige.



Karol Koos som vi önskar att livet blir i framtiden ☺.

## 8. Referenser

- Akselsson, C., Westling, O., Alveteg, M., Thelin, G., Fransson, A-M. and Hellsten, S., 2008. The influence of N load and harvest intensity on the risk of P limitation in Swedish forest soils. *Science of the Total Environment* 404, 284-289.
- Akselsson, C., Belyazid, S., Hellsten, S., Klarqvist, M., Pihl-Karlsson, G., Karlsson, P.E. and Lundin, L., 2010. Assessing the risk of N leaching from Swedish forest soils across a steep N deposition gradient in Sweden. *Environmental Pollution* 158, 3588-3595.
- Akselsson, C., Hultberg, H., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., 2013. Acidification trends in south Swedish forest soils 1986-2008 – slow recovery and high sensitivity to sea-salt episodes. *Science of the Total Environment* 444, 271-287.
- Bahr, A., Ellström, M., Akselsson, C., Ekblad, A., Mikusinska, A. and Wallander, H., 2013. Growth of ectomycorrhizal fungal mycelium along a Norway spruce forest nitrogen deposition gradient and its effect on nitrogen leakage. *Soil Biology and Biochemistry* 59, 38-48.
- Hellsten, S, Akselsson, C., Hagberg, L & Fuhrman F., 2010. Effekter av skogsbränsleuttag på näringsämnesbalanser som underlag för avvägning mellan miljömål. IVL Rapport B1880.
- Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson. 2011. Totaldeposition av kväve till skog. IVL Rapport B1952.
- Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson, Hansen, K. 2013a. Totaldeposition av baskatjoner till skog. IVL Rapport B 2058.
- Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Tømmervik, Lars R. Hole, Gunilla Pihl Karlsson, Tuija Ruoho-Airola, Wenche Aas, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Teis Nørgaard Mikkelsen, and Bengt Nihlgård. 2013b. Biomass burning in eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia. *Environmental Pollution*, 176, 71–79.
- Kronnäs, V., Westerberg, I., Zetterberg, T., Pröjts, J., Holmström, C. & Stibe, L. (2012). Långsiktiga effekter på vattenkemi, öringsbestånd och bottenfauna efter ask- och kalkbehandling i hela avrinningsområden i brukad skogsmark - utvärdering 13 år efter åtgärder mot försurning. Skogsstyrelsen Rapport 6 2012.
- Länsstyrelsen Västernorrland, Sjöar och vattendrag i Västernorrland. Utvärdering av vattenkemidata från miljöövervakningen 1983-2011. Rapport nr 2012:15
- Moldan, F. 2011. Swedish NFC Report. I ”Modelling Critical Thresholds and Temporal changes of Geochemistry and Vegetation Diversity (Posch m. fl red.). CCE Status Report 2011. ISBN 978-90-6960-254-7.
- Naturvårdsverket (2012). Steg på vägen. Länk till fördjupad utvärdering: [http://www.miljomal.se/Global/24\\_las\\_mer/rapporter/malansvariga\\_myndigheter/2012/fordjupad-utvardering-2012-webb.pdf](http://www.miljomal.se/Global/24_las_mer/rapporter/malansvariga_myndigheter/2012/fordjupad-utvardering-2012-webb.pdf).
- Pihl Karlsson, G. 2008. Fosfor i nederbörd i Sverige 2007. IVL Rapport U 2198.

- Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Karlsson, P.E. Akselsson, C., & Ferm, M. 2012. Kvävedepositionen till Sverige - Jämförelse av depositionsdata från Krondropps nätet, Luft- och nederbördskemiska nätet samt EMEP. IVL Rapport B 2030.
- Pleijel H. (red) 2007. Transboundary air pollution: scientific understanding and environmental policy in Europe. Studentlitteratur AB, Sverige. (ISBN: 9144004710).
- Westling, O., Lövblad, G. 2004. Emission, transport, dispersion and effects of base cations in relation to acidification. Report from an UNECE LRTAP workshop in Gothenburg in november 2003. IVL Report 1585.
- Wilander, A. & Fölster, J. 2007. Sjöinventeringen 2005. En synoptisk vattenkemisk undersökning av Sveriges sjöar. Institutionen för miljöanalys. SLU Rapport 2007:16.

Websidor:

[www.cleoresearch.se/](http://www.cleoresearch.se/)  
[www.emep.int](http://www.emep.int)  
[www.icp-forests.org/pdf/TR2012.pdf](http://www.icp-forests.org/pdf/TR2012.pdf)  
[www.lu.se/lup/publication/1687930](http://www.lu.se/lup/publication/1687930).  
[www.lu.se/lup/publication/3439100](http://www.lu.se/lup/publication/3439100).  
[www.miljomal.nu](http://www.miljomal.nu)  
[www.nine-esf.org/ENA-Book](http://www.nine-esf.org/ENA-Book)  
[www.smhi.se](http://www.smhi.se)