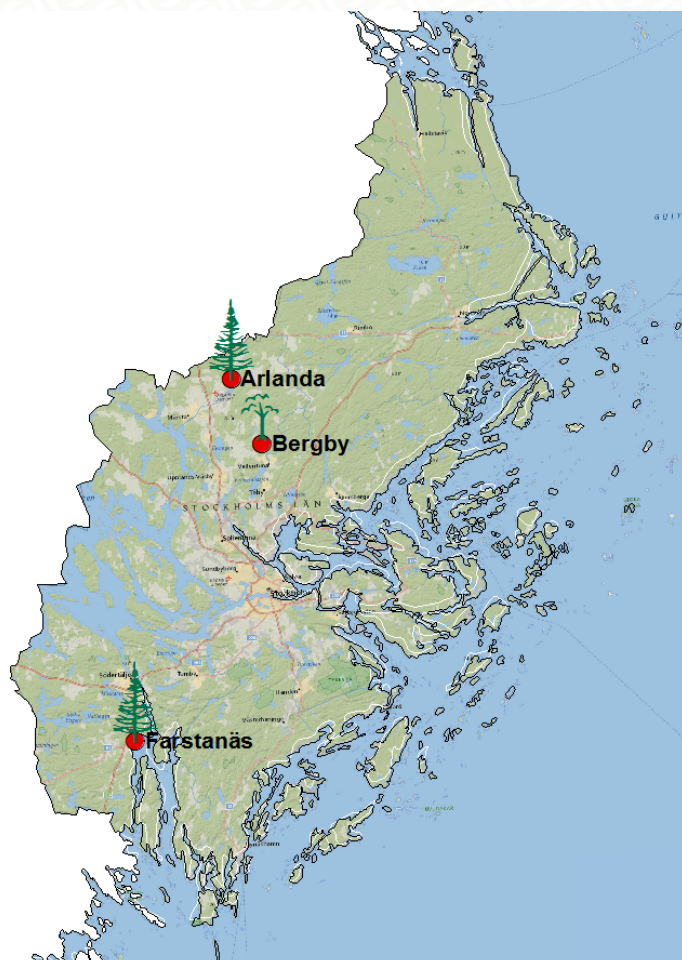




Nr C 316  
Maj 2018



## Tillståndet i skogsmiljön i Stockholms län

### Resultat från Krondroppsnetet till och med 2016/17

Gunilla Pihl Karlsson, Cecilia Akselsson, Sofie Hellsten, Per Erik Karlsson



I samarbete med: Lunds universitet



**Författare:** Gunilla Pihl Karlsson, Sofie Hellsten, Per Erik Karlsson (IVL), Cecilia Akselsson (Lunds universitet)

**Medel från:** Länsstyrelsen i Stockholms län

**Karta:** Sofie Hellsten. Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

**Rapportnummer** C 316

**ISBN** 978-91-88787-58-3

**Upplaga** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

**© IVL Svenska Miljöinstitutet 2018**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

## Förord

På uppdrag av Länsstyrelsen i Stockholms län genomför IVL Svenska Miljöinstitutet i samarbete med Lunds universitet mätningar inom Krondroppsnätet.

Stockholms län har haft mätningar inom Krondroppsnätet under 26 år. I denna rapport redovisas resultaten från 2016/17 års mätningar, tillsammans med tidigare års resultat. Även resultat från samtliga mätlokaler som någon gång varit aktiva i länet redovisas. Utöver det redovisas även lufthaltsmätningar vid Svenska Högarna som också finansieras av Länsstyrelsen i Stockholms län.

Vidare redovisas resultaten i förhållande till övriga svenska mätningar inom Krondroppsnätet och europeiska mätningar inom ICP Forest.

I rapporten redovisas även andra relaterade projekt, samt aktuella händelser från 2017, som är relevanta ur Krondroppsnätets synvinkel.

# Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	6
1 Krondroppsnetets mätningar .....	7
2 Bakgrund – skogsmiljön i Stockholms län.....	9
3 Försurning.....	9
3.1 Försurning av mark och vatten – ett resultat av svavel- och kvävednedfall samt skogsbruk .....	9
3.2 Lufthalter av svaveldioxid.....	10
3.3 Nedfall av svavel.....	11
3.4 Försurning av markvattnet.....	15
4 Kvävednedfall och dess effekter på övergödning.....	21
4.1 Kvävednedfallet påverkar biodiversitet och vattenkvalitet .....	21
4.2 Lufthalter av kvävedioxid och ammoniak.....	21
4.3 Nedfall av kväve .....	23
4.4 Kväve i markvattnet .....	27
5 Aktuellt & notiser.....	29
5.1 Reviderat Takdirektiv .....	29
5.2 Nya miljömålsindikatorer .....	30
5.2.1 Ny indikator för totalt kvävednedfall till skog inom miljökvalitetsmålet <i>Ingen övergödning</i> ...	30
5.2.2 Ny indikator för skogsbrukets försurningspåverkan .....	31
5.2.3 Markvattendata från Krondroppsnetet i miljömålsindikatorn Försurad skogsmark .....	31
5.3 Utvärderingar .....	32
5.3.1 Fortsatt utvärdering inom PO Luft efter 2017 .....	32
5.3.2 Förstudie 2017 - Regional utvärdering av Krondroppsnetet .....	32
5.3.3 Generell översyn av svensk miljöövervakning under 2018.....	32
5.4 Aktuella möten 2017 .....	33
5.4.1 Krondroppsdagen, 29:e november 2017, Göteborg.....	33
5.4.2 Miljöövervakningsdagarna, 27-28 september 2017, Tranås .....	33
5.4.3 Representation från Krondroppsnetet vid konferensen BIOGEOMON .....	34
5.5 Aktuell forskning/specialprojekt som berör Krondroppsnetet .....	35
5.5.1 Påverkan av marknära ozon och kvävednedfall på den årliga tillväxten hos skog i södra Sverige.....	35
5.5.2 Slutavverkning – hur påverkas avrinnande vatten?.....	36
5.5.3 Mätning av torrdeposition till mätutrustningen på öppet fält - RUT-försöket.....	36
5.5.4 Nedfallet med nederbörden sedan 1955.....	36
5.6 Vetenskapliga artiklar 2013-2018.....	37
6 Tack.....	38
7 Referenser.....	38

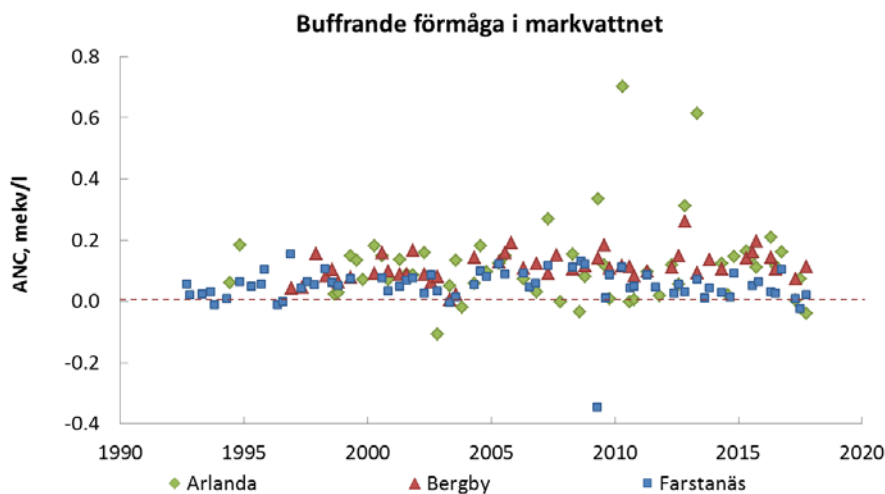
Bilaga 1. Stationsvis redovisning.....	41
--	----

## Sammanfattning

Lufthalterna av svaveldioxid, SO<sub>2</sub>, vid Farstanäs i länets södra delar var i mitten av 1990-talet höga, väl i nivå med områden utanför tätorter i Skåne och på västkusten. SO<sub>2</sub>-halterna vid Farstanäs har dock minskat avsevärt både under sommar- och vinterhalvår och låg som årsmedelvärde 2016/17 på 0,3 µg/m<sup>3</sup>. Lufthalterna av SO<sub>2</sub> vid Bergby i länets nordvästra delar har legat på samma nivå som vid Farstanäs. Lufthalterna av SO<sub>2</sub> vid Svenska Högarna, långt ut i Stockholms skärgård, var som sommar- och vintermedelhalter 2016/17 båda på 0,4 µg/m<sup>3</sup>, vilket var något högre jämfört med både Bergby och Farstanäs, sannolikt beroende på utsläpp från fartygstrafiken på Östersjön. Även lufthalterna av kvävedioxid, NO<sub>2</sub>, vid Farstanäs har varit höga. Som ett årsmedelvärde för de senaste tre åren var halten av NO<sub>2</sub> vid Farstanäs fortfarande relativt hög, 3,8 µg/m<sup>3</sup>.

Årsmedelhalterna av NO<sub>2</sub> vid Farstanäs har minskat 43 % under perioden 1994-2017. De rapporterade utsläppen av NO<sub>x</sub> (som NO<sub>2</sub>) från EU28 har under perioden 1994-2015 minskat med 50 %.

Svavelnedfallet i krondropp har minskat signifikant sedan mätstarten vid samtliga nu aktiva ytor i länet. I början av 1990-talet låg svavelnedfallet mellan 6 och 12 kg S/ha och år. Det hydrologiska året 2016/17 låg svavelnedfallet mellan 0,4 och 0,8 kg S/ha och år. Markvattnets buffrande förmåga, ANC, har vid de flesta mätplatser i länet varit positiv (se figur), det vill säga att markvattnet har motverkat försurning av sjöar och vattendrag. Det har dock funnits tidigare aktiva mätplatser med ett klart negativt ANC. pH i markvattnet vid nu aktiva mätplatser ligger mellan 4,7 och 6,2. Ett pH under 4,5 är ett tecken på betydande försurning.



Beräknade värden för totaldeposition av oorganiskt kväve till barrskog i länet uppgick under det hydrologiska året 2016/17 till mellan 2,1 och 3,2 kg N per hektar och år. Detta är under den kritiska belastningsgränsen för övergödande kväve för Sveriges barrskogar, 5 kg N per hektar och år. Det har dock skett överskridanden i länet tidigare år. I huvudsak har halterna av oorganiskt kväve i markvattnet varit relativt låga, vilket indikerar att kväveupplagringen i skogsmarken i Stockholms län inte nått den nivå där risken för läckage till markvattnet ökar. Vid störningar av skogsmarken kan dock halterna av nitrat i markvattnet tillfälligt öka.

# 1 Krondroppsnetets mätningar

Krondroppsnetet omfattar över 60 provytor i skog och på öppet fält fördelade över hela landet. Här mäts lufthalter, våtdeposition, torrdeposition, krondropp och markvattenkemi. Ett stort antal ämnen och parametrar mäts, däribland svavel- och kväveföreningar, som har stor betydelse för försurnings- och övergödningsproblematiken.

Genom åren har antalet mätplatser inom Krondroppsnetet varierat, som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 ytor. Då övervakningen sker i brukad skog har ytor flyttats vid avverkning eller andra händelser. Idag bedriver Krondroppsnetet mätningar på 62 platser i Sverige och numera är mätserierna mer än 30 år på några ytor, Figur 1.

Nedfall och lufthalter mäts månadsvis, medan markvattenkemi mäts tre gånger om året för att representera förhållandena före, under respektive efter vegetationsperioden. Mätningarna bedrivs både på öppet fält och i skogen under träd-kronorna, Figur 2. Alla länets mätningar presenteras i mer detalj i Bilaga 1.



Figur 1. Samtliga ytor inom Krondroppsnetet 2016/17.

## Mätningar i skogen

Under trädkronorna i skogen mäts krondropp, som ger ett summerat mått på både våt- och torrdeposition, vilket dock för vissa ämnen måste korrigeras för samverkan med trädkronorna. Kemin i markvattnet mäts under trädens rötter för att undersöka skogsmarkens reaktion på nedfallet. Mätningarna görs med hjälp av undertryckslysimetrar som suger vatten i mineraljorden på 50 centimeters djup.



Foto: krondroppsprovtagare



markvattenutrustning

## Mätningar på öppet fält

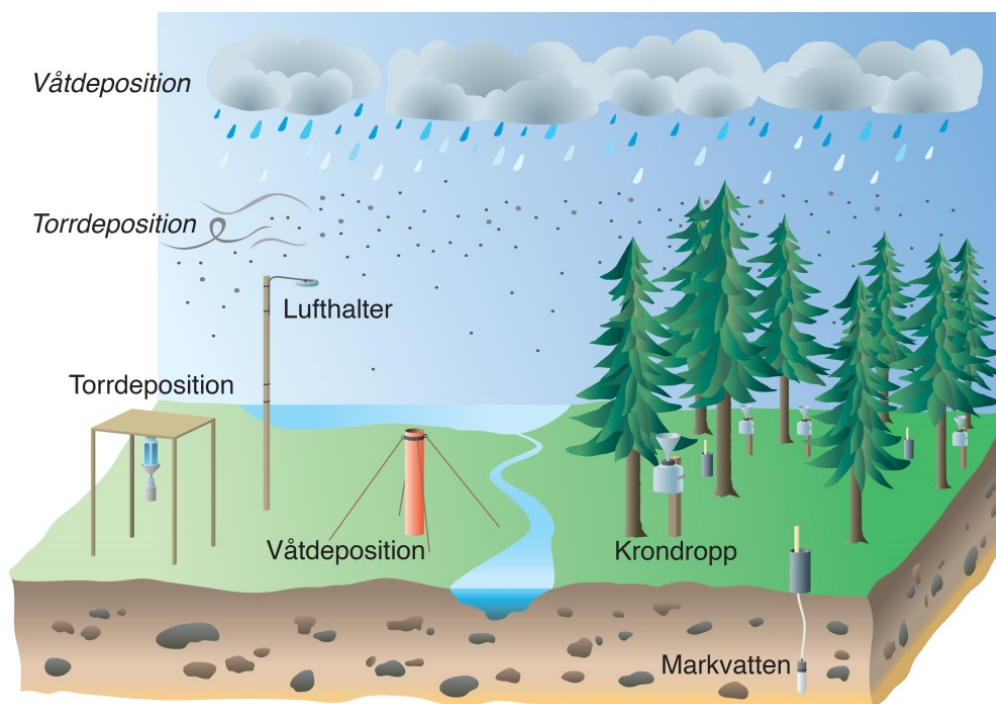
Våtdeposition av flera olika ämnen mäts med nederbördsprovtagare på öppet fält, där även torrdeposition mäts med hjälp av strängprovtagare. Likaså mäts lufthalterna av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon på öppet fält på vissa platser i landet.



Foto: öppen fältprovtagare



lufthaltsprovtagare



**Figur 2. Inom Krondroppsnätet mäts lufthalter, våt- och torrdeposition samt markvattenkemi. Nedfallet mäts dels på öppet fält och dels under trädkronorna som krondropp. Vissa ämnen samverkar med trädkronorna, och därför används även strängprovtagare för att kunna bestämma torrdepositionen av dessa ämnen. (Illustration: Bo Reinerdahl)**

Allt arbete inom Krondroppsnätet från provtagning till kemisk analys, validering och databearbetning utförs enligt väl utarbetade rutiner, och laboratorerna innehar ackreditering för de kemiska analyserna. Detta ger en hög kvalitet på data, och garanterar att data från olika platser och från olika år är direkt jämförbara.

### Våt- respektive torrdeposition



**Foto: Strängprovtagare**

Det samlade nedfallet av olika ämnen till skog involverar flera olika processer. En del av nedfallet sker via nederbörden, vilket kallas våtdeposition. En annan del sker genom att gaser och partiklar "fastnar" i trädkronorna, vilket kallas torrdeposition. Det som avsatts som torrdeposition sköljs med nederbörden till skogsmarken i form av krondropp. Krondropp ger därför i teorin ett samlat mått på summan av våt- och torrdeposition. Torrdepositionen skulle därför kunna beräknas som skillnaden mellan nedfall som krondropp och nedfall via nederbörd på öppet fält.

Dock kan vissa ämnen tas upp direkt i trädkronorna, alternativt läcka ut från trädkronorna. Detta gör att krondroppsmätningarna ger ett bra mått på det samlade nedfallet endast för ämnen som inte samverkar med trädkronorna, såsom svavel, natrium och klorid. För övriga ämnen, exempelvis kväve och baskatjoner, krävs kompletterande mätningar, till exempel med strängprovtagare, för att korrekt kunna beräkna torrdepositionen.



## 2 Bakgrund – skogsmiljön i Stockholms län

Inom Stockholms län finns ca 300 000 ha produktiv skogsmark. Under perioden 2012-2016 bestod skogsmarken av bl.a. cirka 24 % granskog, 26 % tall och 17 % barrblandskog. Andelen lövskog var 12 % och ädellövskog 2 %.

Utsläppen av svaveldioxid i Stockholms län var drygt 1500 ton år 2015, vilket placerar länet på övre halvan av andra län i Sverige. Svavelutsläppen i Sverige har sedan 1990 minskat med 84 % (Naturvårdsverket, 2018). Kvarvarande utsläpp kommer främst från industrin och från produktionen av el och fjärrvärme. Svavelnedfallet i länet beror till mer än 80 % på utsläpp från områden utanför Sveriges gränser. Utsläppen av kväveoxider (NO<sub>x</sub>) från länet var 2015 över 12000 ton vilket placerar länet bland de tre högsta länen i landet. Utsläppen av ammoniak var strax under 2000 ton vilket är lågt jämfört med andra län. Utsläppen av NO<sub>x</sub> i Sverige har minskat med drygt 53 % sedan 1990 och ammoniakutsläppen har minskat med ca 12 % under motsvarande tidsperiod (Naturvårdsverket, 2018).

Problemen vad gäller försurning av sjöar och vattendrag är relativt små i Stockholms län. I norra halvan av Stockholms län är skogsmarken mindre känslig för försurning bl.a. till följd av sitt kalkinnehåll. I södra halvan av länet är markernas känslighet mot försurning något större, bl.a. till följd av starkt svallande moräner samt en betydande frekvens av hållmarker. Även kvävenedfallet är förhållandevis lågt i länet. Förmodligen sker det dock en långsam, men kontinuerlig, upplagring av kväve i skogsmarken (Akselsson m. fl., 2010).

## 3 Försurning

### 3.1 Försurning av mark och vatten – ett resultat av svavel- och kvävenedfall samt skogsbruk

Utsläpp av svavel, främst från förbränning av kol och olja samt olika industriella processer, är den främsta orsaken till försurningen av mark och vatten i Sverige. En annan bidragande faktor kan vara kvävenedfall, som kan ha fått en större relativ betydelse på senare år eftersom svavelutsläppen har minskat mycket mer än kväveutsläppen. En tredje bidragande faktor är skogsbruket, eftersom träd tillväxt innebär försurning, och denna försurning permanentas när biomassa skördas och buffrande ämnen förs bort från systemet. Även skogsbrukets påverkan har ökat i betydelse då uttaget av grenar och toppar (grot) i skogsbruket ökat för att möta behoven av förnybar energi.

Surt nedfall leder till att marken utarmas på baskatjonerna kalcium, magnesium, kalium och natrium, genom att vätejoner byter plats med dessa på markpartiklarna. Det gör att

motståndskraften i marken mot ytterligare försurning minskar. Vid låga pH omvandlas även aluminium till en giftig trevärd jon, som i för höga doser kan skada trädens rötter.

Det mesta av vattnet, på sin väg från regn till sjö, passerar genom trädkronorna och skogsmarken. När vattnet väl når fram till bäck och sjö är det önskvärt att det bidrar med positiv syraneutraliserande förmåga, så kallad ANC ("Acid Neutralizing Capacity"), så att det kan bidra till att höja pH i försurade sjöar. ANC beräknas som skillnaden mellan de negativa jonerna till starka syror,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  samt  $\text{Cl}^-$  och de positiva jonerna till starka baser,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  samt  $\text{Na}^+$ . Om vattnet rinner genom sur mark kan det dock ha mycket låg eller ingen syraneutraliserande förmåga. Detta leder till sänkt pH i sjöar och vattendrag liksom förhöjda halter trevärd aluminium, som kan leda till att fiskar och vattenlevande organismer skadas eller till och med dör. Populationen av lax minskar vid  $\text{pH} < 5,6$  och reproduktionen av öring minskar med 50 % vid  $\text{pH} 5,2$  till följd av ökade halter av den toxiska aluminiumformen (Degerman m.fl., 2015).

Inom Krondroppsnätet mäts bl.a. lufthalter och nedfall av svavel och kväve, samt markvattenkemi, som kan ses som ett mellansteg mellan mark och ytvatten. Nedfall av kväve redovisas i kapitel 4 medan nedfall av svavel och effekter i markvattnet redovisas nedan.

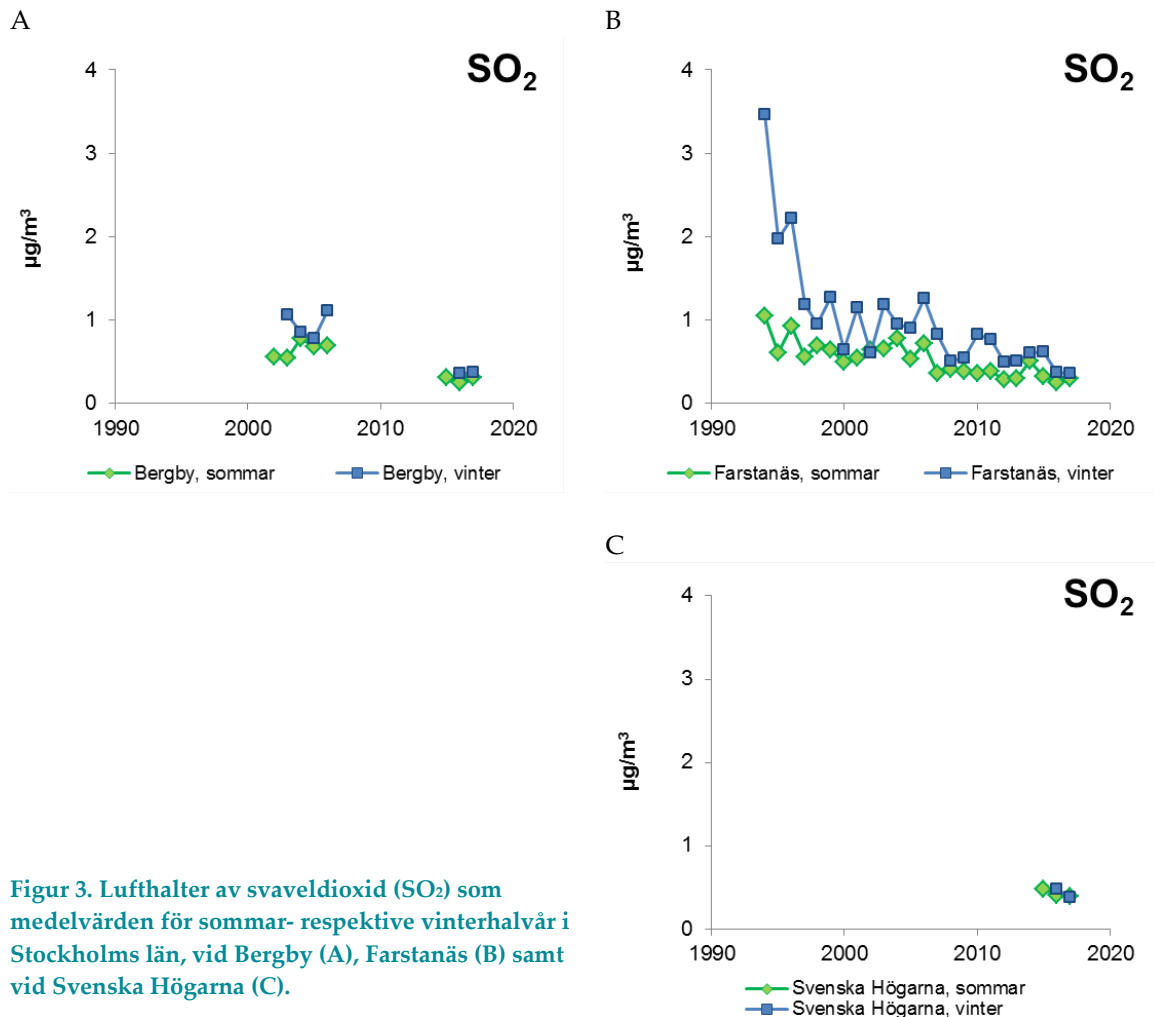
## 3.2 Lufthalter av svaveldioxid

I grunden har försurningen orsakats av transporten av svavel med vindarna från utsläppskällorna till svensk skogmark. Mätningar av lufthalter av svavel på månadsbasis har bedrivits vid Farstanäs, sydväst om Stockholm, sedan 1994, vilket är en av de längsta tidsserierna med lufthalter inom Krondroppsnätet, och vid Bergby, nordväst om Stockholm, sedan 2002. I Figur 3 visas lufthalter av svaveldioxid ( $\text{SO}_2$ ) från dessa platser som medelvärden för sommar- och vinterhalvår. Dessutom visas för jämförelse lufthalter av  $\text{SO}_2$  från Svenska Högarna, belägen långt ut i Stockholms skärgård. Mätningarna vid Svenska Högarna finansieras av Länsstyrelsen i Stockholms län.

Lufthalterna av  $\text{SO}_2$  vid Farstanäs var i mitten av 1990-talet höga, Figur 3, väl i nivå med motsvarande halter uppmätta utanför tätorter i Skåne och på västkusten.  $\text{SO}_2$ -halterna vid Farstanäs har minskat och låg som årsmedelvärde, för 2016/17, på  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Under perioden 1994 till 2017 har lufthalterna av  $\text{SO}_2$  som årsmedelvärde vid Farstanäs minskat med 70 %. Både medelhalter sommar- och vinterhalvår har minskat. Som jämförelse har de rapporterade utsläppen av oxiderat svavel från EU-28 under motsvarande period (1994-2015) minskat med 87 % (CEIP, 2018). Lufthalterna av  $\text{SO}_2$  vid Bergby låg under de år i början av 2000-talet då det fanns mätningar på bägge platserna på samma nivå som Farstanäs. Sommar- och vintermedelhalterna 2016/17 var också på samma nivå. Sedan 2002 finns ingen statistiskt säkerställd förändring av årsmedelvärdena för lufthalterna av  $\text{SO}_2$  vid Bergby. Inte heller medelhalterna för sommar- respektive vinterhalvår har minskat. Som jämförelse har de rapporterade utsläppen av oxiderat svavel från EU-28 under motsvarande period (2002-2015) minskat med 74 % (CEIP, 2018). Lufthalterna av  $\text{SO}_2$  vid Svenska Högarna var som sommar- och vintermedelhalter, 2016/17,  $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vilket var något högre jämfört med både Bergby och Farstanäs. Detta beror sannolikt på utsläpp från fartygstrafiken på Östersjön.

I mitten av 2000-talet sänktes halterna av svavel i bränsle för fartyg som trafikerar Östersjön från 1,5 till 1,0 %. År 2015 genomfördes en ny, större sänkning av svavelhalten från 1,0 till 0,1 %. Före 2005 var svavelhalter i fartygsbränsle typiskt 2,7 % (Matthias m. fl., 2010). Vidare påverkades lufthalterna av  $\text{SO}_2$  under sommaren 2014 och vintern 2015 av omfattande svavelutsläpp från ett

vulkanutbrott på Island (Hellsten m. fl., 2017). Det är svårt att direkt utvärdera den samlade inverkan av dessa händelser på lufthalterna av SO<sub>2</sub> vid mätplatserna i Stockholms län. Sänkningen av svavelhalterna i mitten av 2000-talet förefaller ha gett tydligast utslag på lufthalterna vid Farstanäs.



Figur 3. Lufthalter av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår i Stockholms län, vid Bergby (A), Farstanäs (B) samt vid Svenska Högarna (C).

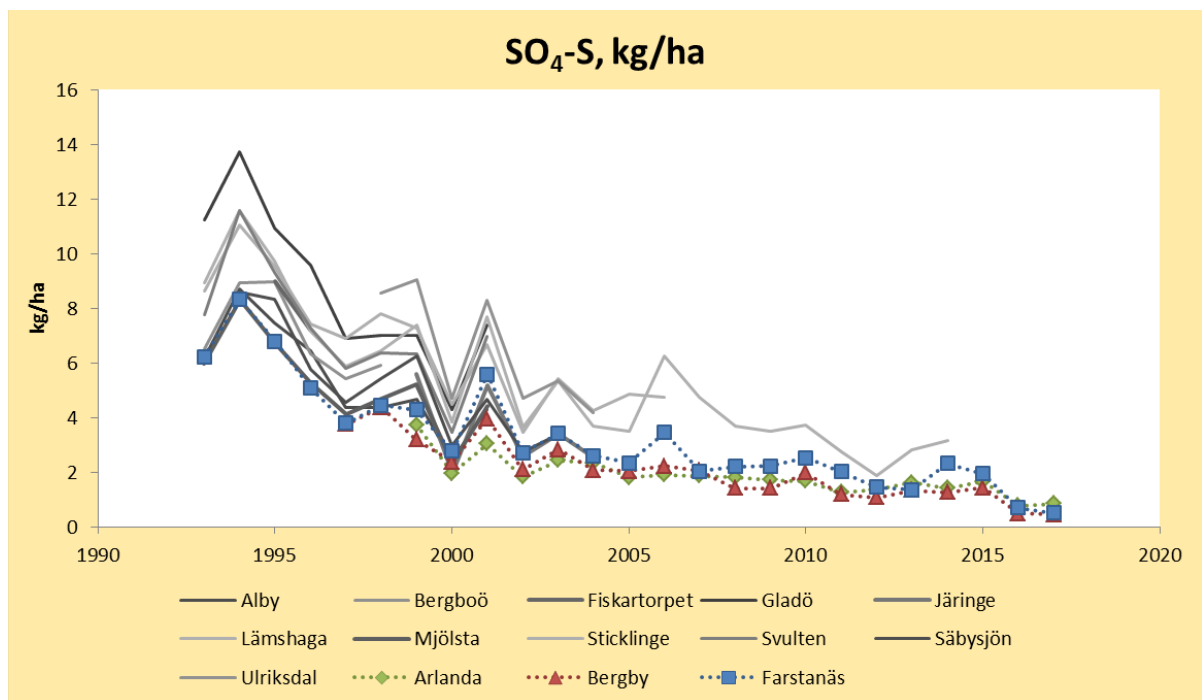
### 3.3 Nedfall av svavel

Metodiken med att beräkna det totala nedfallet av svavel till skog baserat på mätningar av krondropp fungerar väl, eftersom det inte finns någon påtaglig interaktion med trädkronorna. I årets rapport har vi sammanställt alla förekommande mätningar av svavelnedfall via krondropp i länet, Figur 4. Svavelnedfallet redovisas med bidraget från havssalt exkluderat, eftersom havssalt anses bidra med en syraneutraliserande förmåga motsvarande dess svavelinnehåll.

Resultaten i Figur 4 visar på den omfattande nedgång i svavelnedfall som skett sedan mätningarna i Stockholms län startade 1993. I början av 1990-talet låg svavelnedfallet som krondropp mellan 6 och 12 kg svavel per hektar och år. År 2017 låg svavelnedfallet mellan 0,4 och 0,8 kg S per hektar och år. Vid Farstanäs i länets södra del har svavelnedfallet minskat med 87 %, under perioden

1993-2017. Svavelnedfallet för de tre första mätåren var 7,1 kg S/ha och år för att nu under de tre senaste åren vara nere på 1,0 kg S/ha och år. Svavelutsläpp från länder som förorenar Sverige har 1990-2014 minskat med 93 %, vilket ligger i samma storleksordning som det minskade svavelnedfallet vid Farstanäs. Vid Bergby i länets norra del har svavelnedfallet minskat med 81 % under perioden 1997-2017. Motsvarande värden för Arlanda var 63 % minskning under perioden 1999-2017.

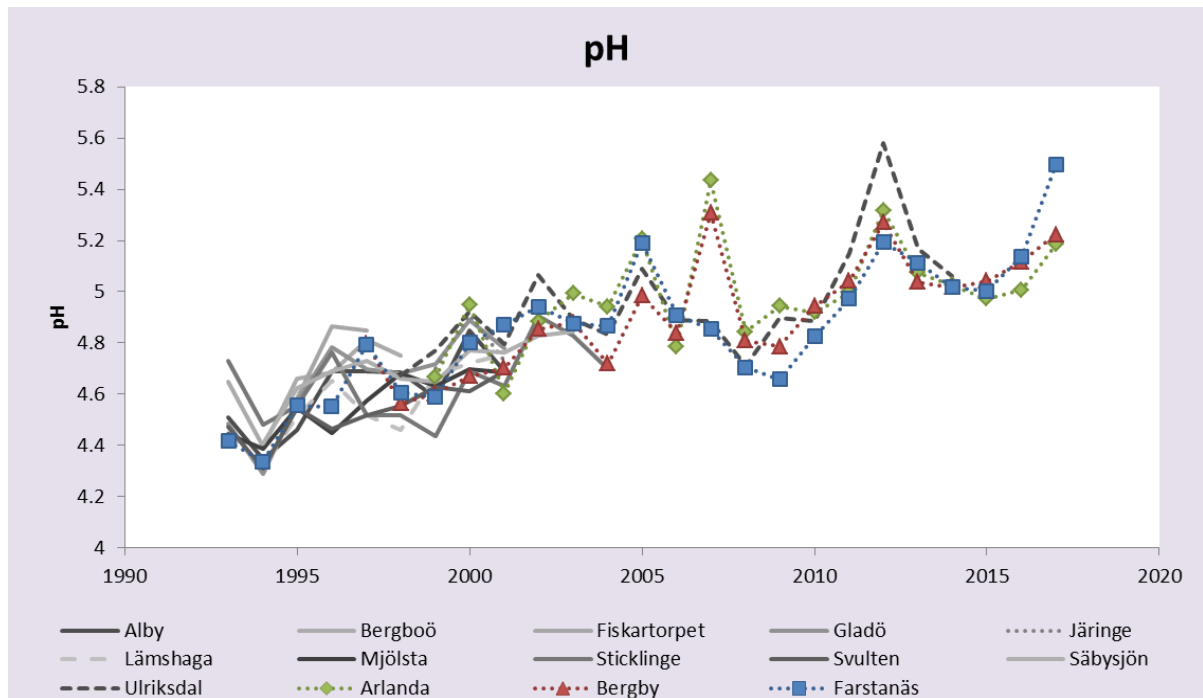
Det framgår av resultaten i Figur 4 att svavelnedfallet vid nu aktiva mätplatser låg i undre delen av det spann i svavelnedfallet som fanns vid olika mätplatser i länet i mitten och slutet av 1990-talet samt i början av 2000-talet. Det har således funnits mätplatser med ett avsevärt högre svavelnedfall jämfört med nu aktiva platser.



**Figur 4. En sammanställning av alla förekommande mätningar av svavelnedfall (exklusive havssaltsbidrag) som krondropp i länet. Nedfallet mäts månadsvis och summeras för hydrologiskt år. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med linjer i grått och svart.**

I Figur 5 visas pH i nederbörden som medelvärde för hydrologiska år, för alla förekommande mätningar i länet. Som ett resultat av minskade svavelhalter i luften har pH i nederbörden ökat kraftigt, från värden på pH i slutet av 1980-talet mellan 4,4 och 4,7 till i nuläget värden över 5,0 vid de tre nu aktiva platserna med mätningar av nederbörden till öppet fält.

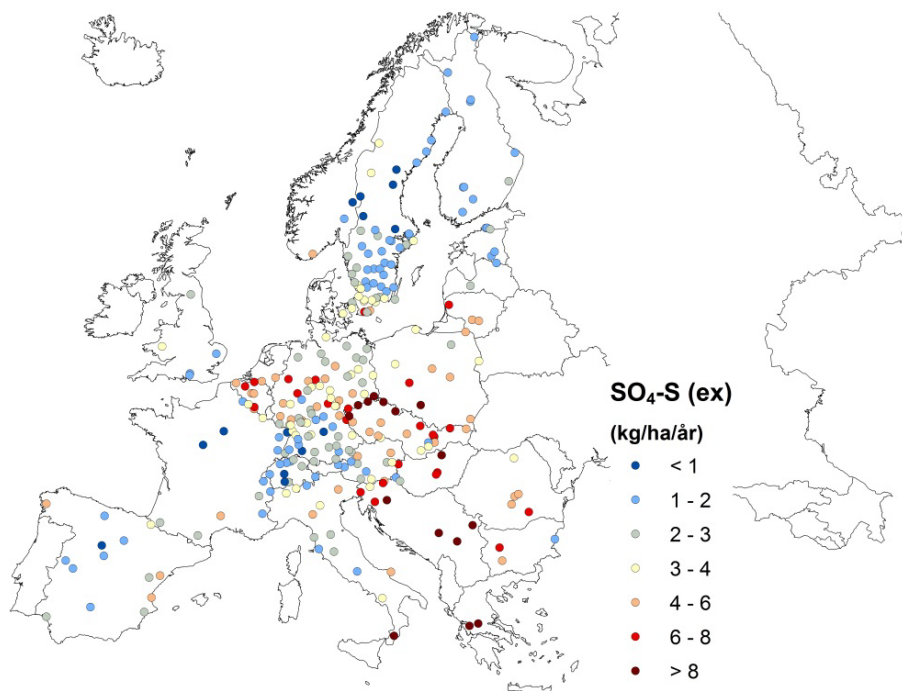
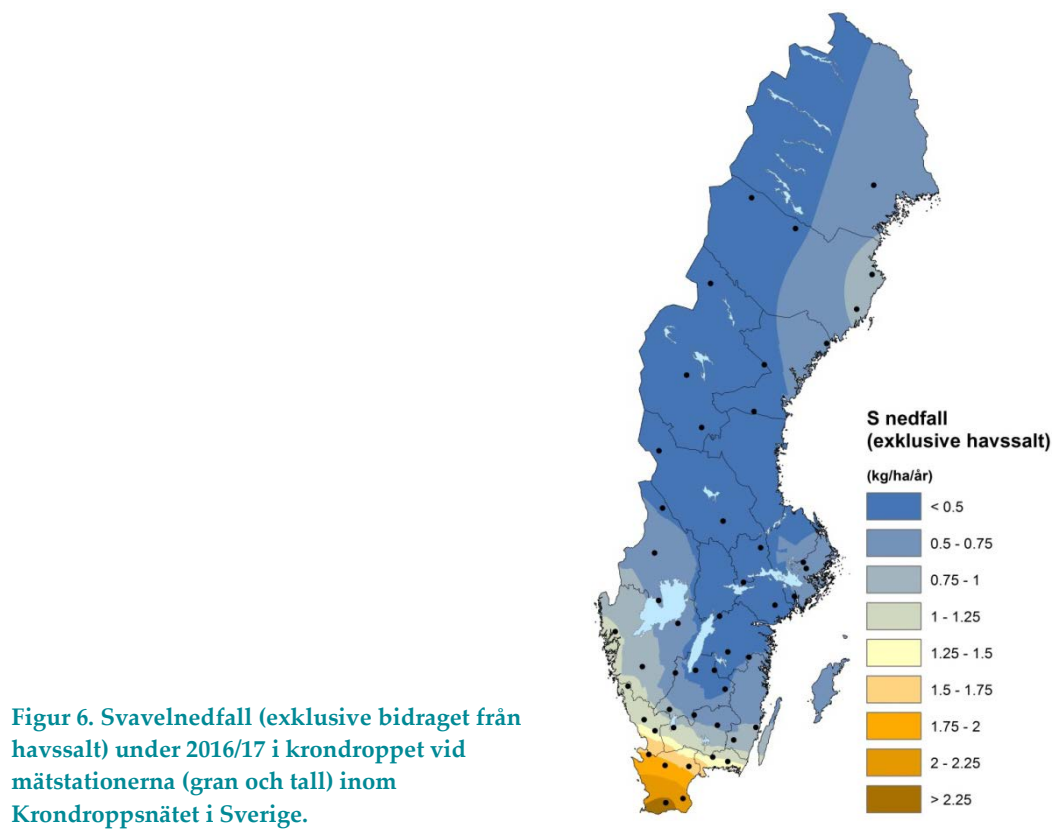
pH i "ren", antropogent opåverkad nederbörd, ligger mellan 5,0 och 5,5, beroende på att koldioxid löser sig i nederbörden och bildar kolsyra.



**Figur 5. En sammanställning av alla förekommande mätningar av pH i nederbörden. Nedfallet mäts månadsvis och medelvärdesbildas för hydrologiskt år. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med linjer i grått och svart.**

Svavelnedfallet över Stockholms län kan jämföras med svavelnedfallet i andra delar av Sverige (Figur 6). Svavelnedfallet över Sverige var generellt lågt under hydrologiska året 2016/17, från under 0,5 kg per hektar och år i norr till strax över 2 kg per hektar i söder. Den geografiska gradienten över landet är dock relativt konstant mellan åren. Svavelnedfallet (exklusive bidraget från havssalt) över Stockholms län under 2016/17 var jämförbart med motsvarande nedfall över Värmlands, Jönköpings, Kronobergs och Kalmar län, samt delar av Norrlandskusten.

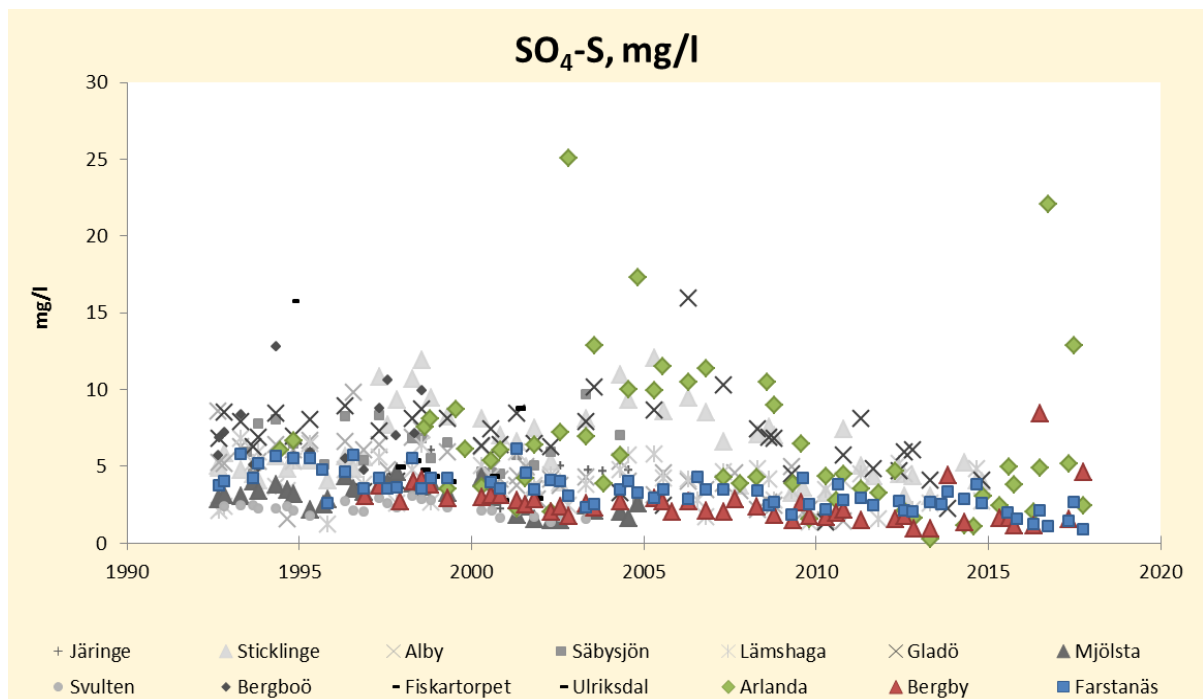
Nedfallet av svavel över Stockholms län kan även jämföras med svavelnedfallet till skog i andra delar av Europa. Krondroppsnetet levererar data om atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi till ICP Forest, en verksamhet inom konventionen om långväga transporterade luftföroreningar, CLRTAP. I och med detta samarbete kan vi även ta del av resultaten från mätningar av nedfall i andra delar av Europa. Det är lätt att tro att det låga svavelnedfallet över stora delar av Sverige är unikt, men resultaten i Figur 7 visar att svavelnedfallet numera även är lågt i andra delar av Europa såsom till exempel södra Tyskland, Schweiz och de östra delarna av Frankrike. I norra Tyskland, Belgien, Nederländerna och de östra delarna av Europa uppgår dock svavelnedfallet fortfarande till 10 kg per hektar på vissa håll (2014/2015, Figur 7). Lägg dock märke till att skalorna är olika mellan figurerna 6 och 7.



## 3.4 Försurning av markvattnet

Tidsutvecklingen i markvattnet kan visa om det minskade svavelnedfallet leder till återhämtning från försurning i marken. Halten sulfatsvavel ( $\text{SO}_4\text{-S}$ ) i markvattnet är den parameter som närmast kopplar till svavelnedfallet, men adsorptions/ desorptionsprocesser i marken, samt andra källor till svavel, gör att kopplingen inte alltid är tydlig. Försurning i vatten kan beskrivas utifrån olika typer av mätningar, såsom svavelhalter, pH, syraneutraliserande förmåga (ANC) samt halter av toxiskt oorganiskt aluminium. Dessa parametrar visar lite olika aspekter på försurning. Dessutom är halterna av havssalt av intresse, representerat av kloridhalter, eftersom episoder med högt nedfall av havssalt kan ge upphov till surstötter i markvattnet.

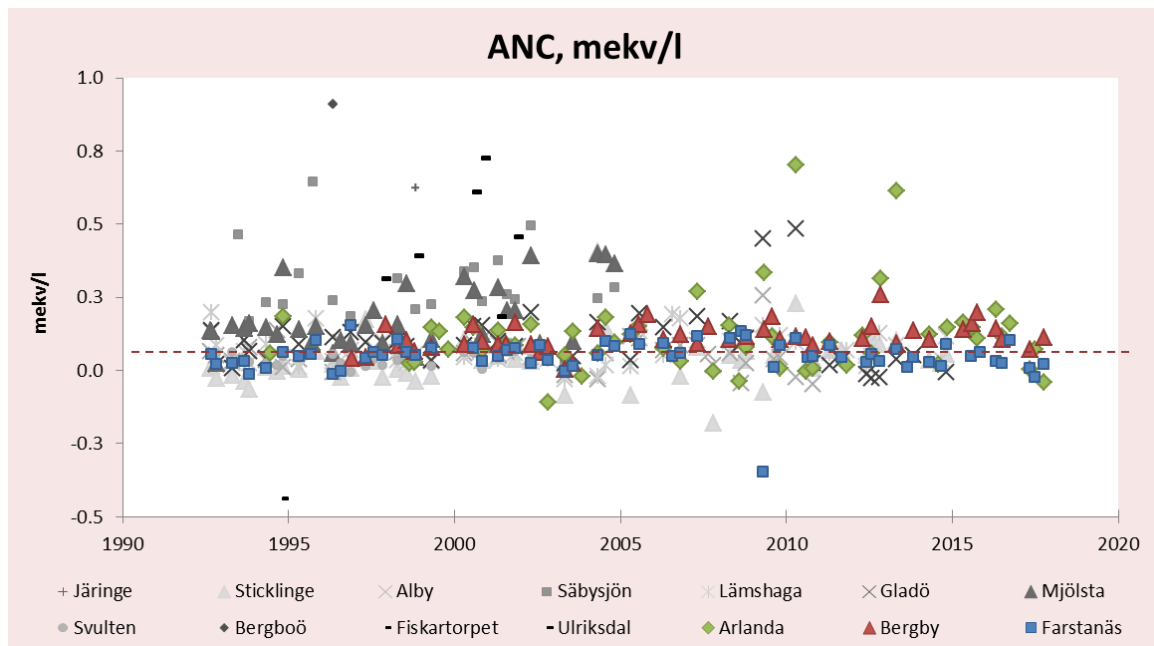
Halter av svavel i markvattnet (Figur 8) har minskat på ett statistiskt säkerställt sätt under respektive mätperiod vid Farstanäs och Bergby, men inte vid Arlanda. Vid Farstanäs har svavelhalterna i markvattnet minskat med 60 % mellan 1992 och 2017, vilket är mindre än vad svavelnedfallet minskat (87 %). Övergripande har svavelhalterna i markvattnet minskat vid de flesta mätplatser med längre tidsserier. Vid några platser har det dock uppträtt mycket höga halter av  $\text{SO}_4\text{-S}$  i markvattnet som inte är proportionerliga mot svavelnedfallet, till exempel vid Arlanda, Gladö och Sticklinge, alla ytorna med granskog. Även vid tallskogen i Bergby har höga svavelhalter förekommit de senaste åren. Svavel kan förekomma i berggrunden som sulfider, vilka kan oxideras till sulfater. Svavel kan också förekomma i organiskt bunden form. Betydande mängder av svavel kan finnas i svavelrika organiska sediment på sjö- och havsbottnar. Orsakerna bakom de höga halterna av  $\text{SO}_4\text{-S}$  vid vissa av provytorna i Stockholms län behöver utredas vidare.



**Figur 8. En sammanställning av alla förekommande mätningar av svavelhalter i markvattnet i länet. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växetsäsongen. Vid vissa tillfällen saknas prov när det varit torrt i marken. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart.**

ANC i markvattnet har vid de flesta mätplatser i länet varit tydligt positivt (Figur 9), det vill säga att markvattnet har haft en tydlig buffrande förmåga. Ett undantag har bl.a. varit ytan vid Sticklinge, med drygt 100-årig granskog i ett relativt kuperat skogsområde på nordvästra Lidingö, där ANC stundtals varit negativ. ANC har även stundtals varit negativ vid Lämshaga, Gladö, Alby, Arlanda samt Farstanäs

ANC har ökat med tiden över mätperioden vid Bergby, men inte förändrats vid varken Farstanäs eller Arlanda.

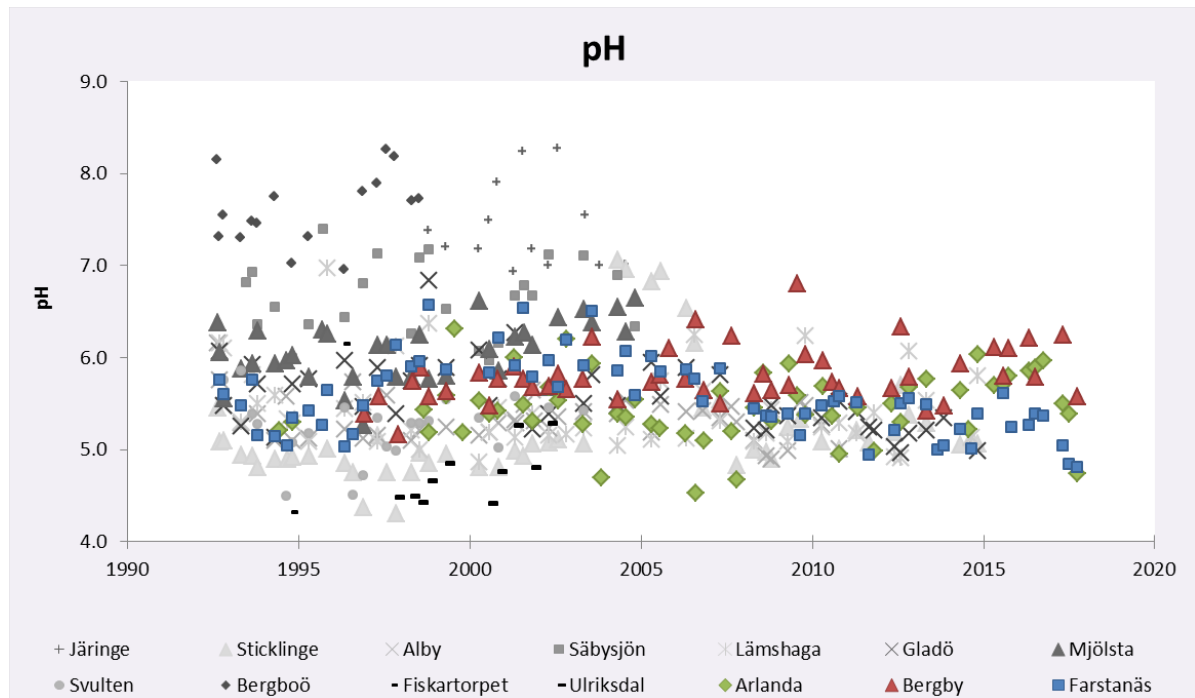


**Figur 9. En sammanställning av alla förekommande mätningar av ANC i markvattnet i länet. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vid vissa tillfällen saknas prov när det varit torrt i marken. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart. Några höga mätvärden, ANC>1, från Bergboö (maxvärde: 5,1 mekv/l) och Järinge (maxvärde: 3,1 mekv/l) visas inte i figuren.**

pH i markvattnet påverkas, förutom av svavelnedfall, även av halterna av lösta organiska ämnen (TOC) samt vid kväveöverskott av produktionen av protoner i samband med mikroorganismernas nitrifikation. pH blir därmed något svårare att tolka jämfört med ANC.

pH i markvattnet har historiskt sett varierat kraftigt vid platserna i länet och låg i början av 1990-talet vid majoriteten av mätplatser mellan 5 och 8 (Figur 10). Vid ett fåtal platser har det förekommit pH-värden under 5. Vid nu aktiva mätplatser ligger pH i markvattnet mellan 4,7 och 6,2. Ett pH under 4,5 är ett tecken på betydande försurning. Det finns en statistiskt säkerställd ökning av pH vid Bergby och en minskning vid Farstanäs under respektive mätperiod, men ingen förändring vid Arlanda.

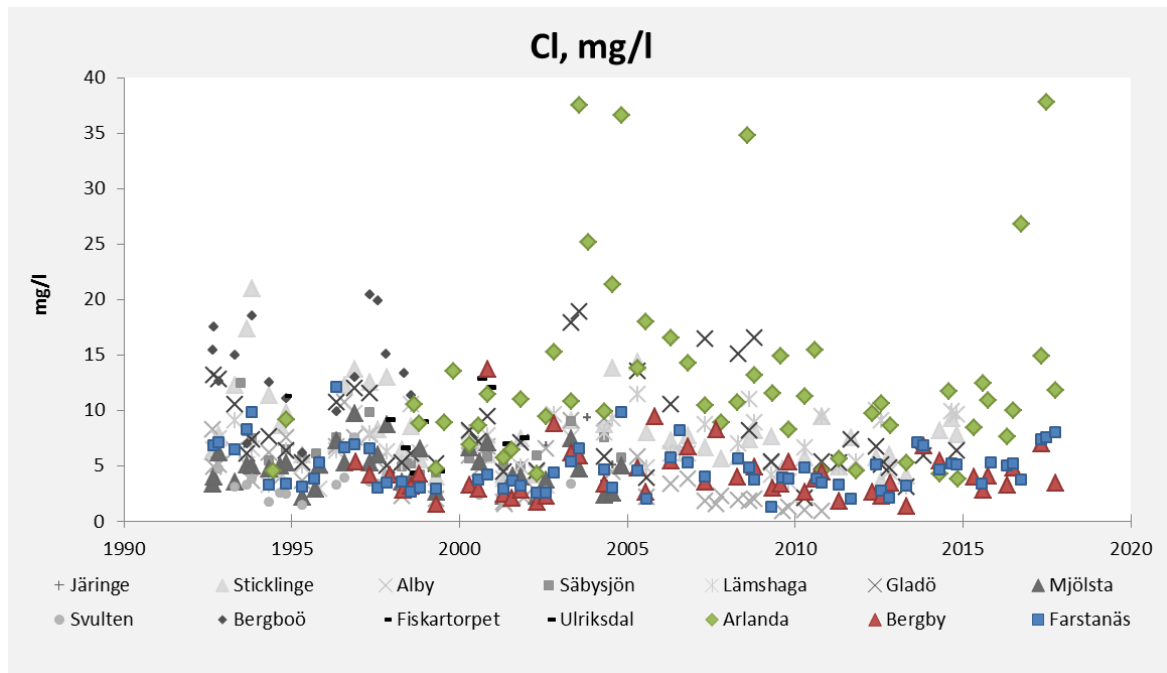




**Figur 10.** En sammanställning av alla förekommande mätningar av pH i markvattnet i länet. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen saknas när det varit torrt i marken. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart.

Även om havssalt är neutralt kan havssaltsnedfall medföra surstötter i mark- och ytvatten, då framför allt natriumjoner byter plats med vätejoner, som sänker pH i markvattnet. Kloridhalten i markvattnet visar hur mycket havssalt som nått markvattnet, och kan användas för att i viss mån förklara de försurningsrelaterade parametrarna i markvattnet.

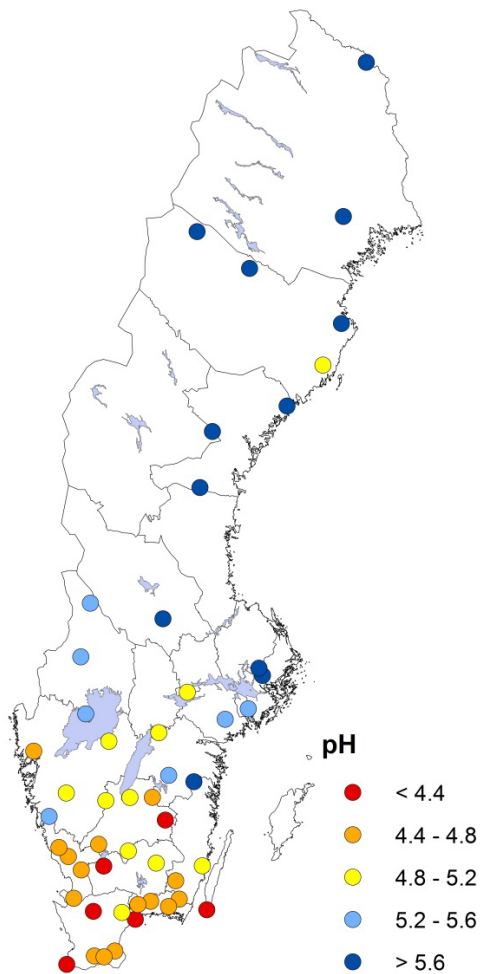
Halterna av klorid har varierat avsevärt mellan åren vid länets mätplatser (Figur 11). Det har stundtals varit höga kloridhalter i markvattnet vid Gladö och Arlanda, vilket till en del kan förklara den stora variationen i ANC vid dessa platser (Figur 9).



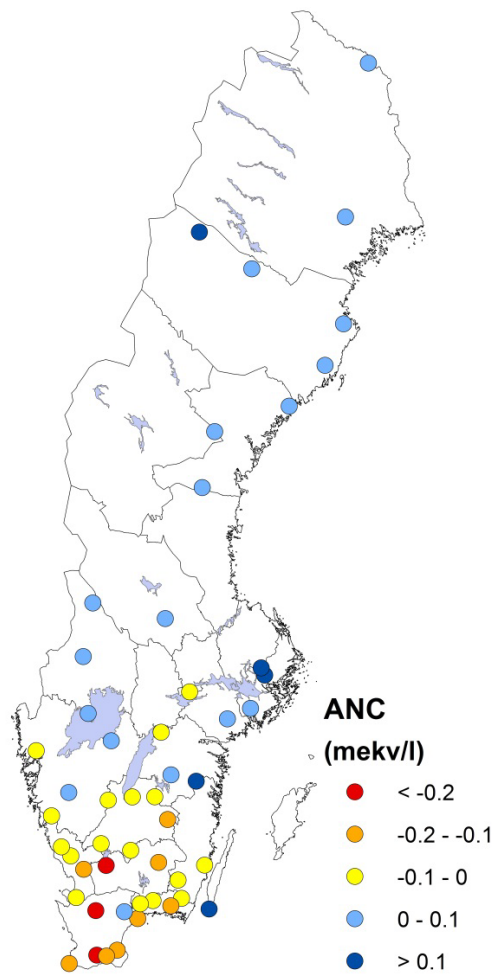
**Figur 11. En sammanställning av alla förekommande mätningar av klorid i markvattnet i länet. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen saknas när det varit torrt i marken. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart.**

I Figur 12 visas värden för pH och ANC för alla aktiva ytor inom Krondroppsnetet som medianvärden för de tre senaste åren. Den geografiska fördelningen över landet vad gäller försurningsproblematiken i markvattnet framträder, oberoende av vilken försurningsparameter som används, med störst problem i sydvästra Sverige. Försurningsgradienten i markvatten i Sverige följer nedfallsgradienten från sydväst till nordost, med pH från <4,4 till >5,6 och ANC från <0,2 till >0,1 (Figur 12). Det finns även en hel del variation på regional nivå, vilket beror på skillnader i markegenskaper. Provytorna i östra Svealand ligger genomgående på höga värden vad gäller både pH och ANC.

A



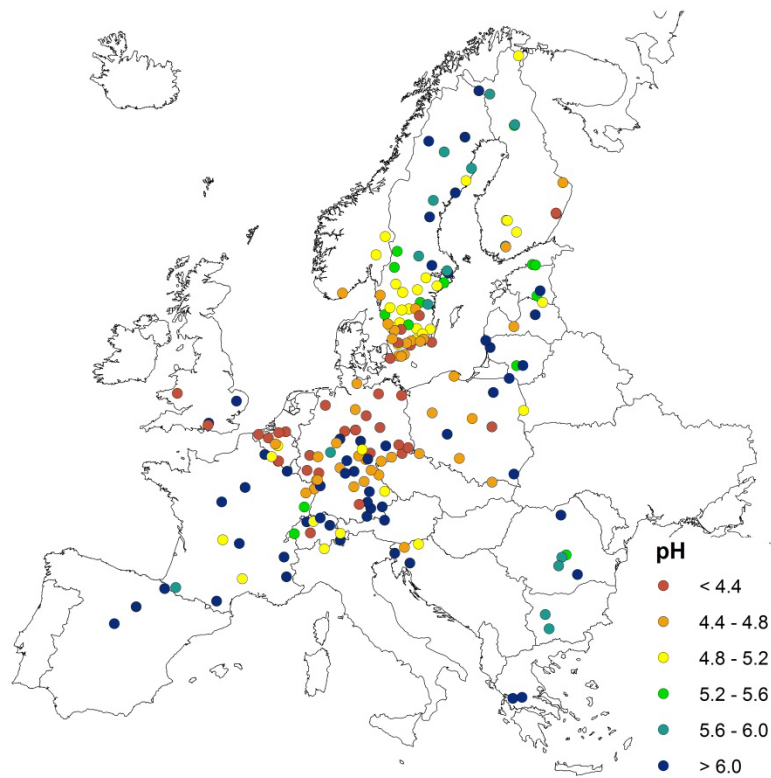
B



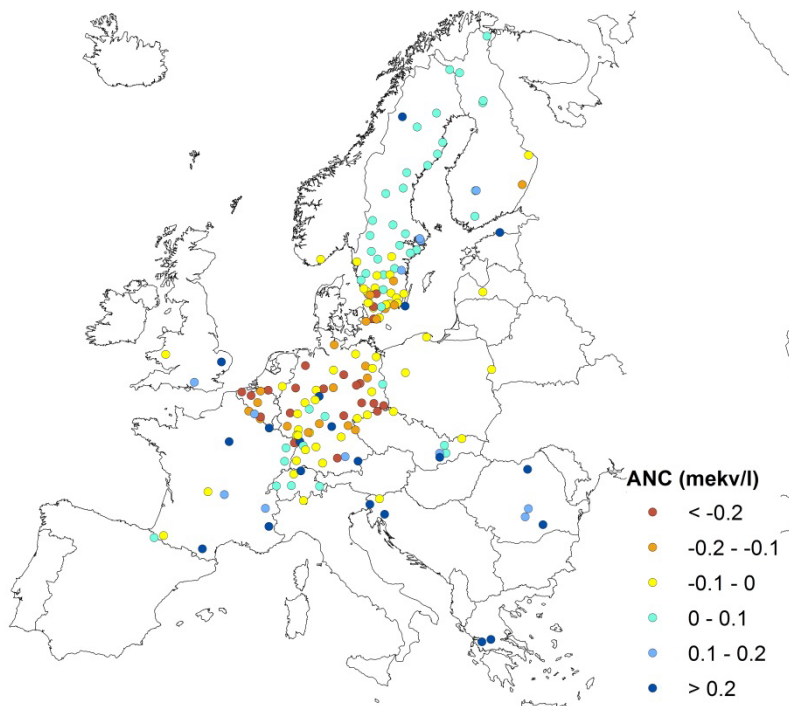
Figur 12. pH (A) och ANC (B) hos markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnetet. Det värde som anges är medianvärdet under de senaste tre åren (2015-2017). Ett värde på ANC < 0 har diskuterats som en indikator för försurning av skogsmarken. Ytor med mindre än 3 mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats eller gödslats har tagits bort.

Baserat på kartorna i Figur 13 kan försurningssituationen i Sverige jämföras med motsvarande situation för skogsytor i övriga Europa. Data kommer även här från ICP Forest och gäller som median för månadsvisa provtagningar under tre år, 2014-2016. Data för Sverige är från Krondroppsnetet och gäller en median för åren 2014-2016. Inom ICP Forest provtas markvattnen på varierande djup mellan 40-80 cm och även trädslagen på provytorna varierar. Generellt ligger pH från norra Götaland och norrut på högre värden, jämfört med stora delar av kontinentala Europa. Vad gäller ANC är skillnaderna mindre uppenbara. Dock är variationen större i Centraleuropa, med mätplatser som uppvisar mycket surt markvatten varvade med mätplatser med höga pH och ANC. Det beror på att variationen i markegenskaper är större, beroende på en mer varierande geologi än i Sverige, där moräner med granit- och gnejssammansättning dominerar stort.

A



B



Figur 13. pH (A) och ANC (B) hos markvattnet (median för tre mätningar/år under 2014-2016, 50 cm djup) vid olika platser inom Krondroppsnetet, samt ICP-Forestdata (median för månadsvärden under 2014-2016, 40-80 cm djup).

## 4 Kvävenedfall och dess effekter på övergödning

### 4.1 Kvävenedfallet påverkar biodiversitet och vattenkvalitet

Nedfall av kväve kan bidra till både övergödning och försurning av mark och vatten. Förenklat kan man säga att den del av kvävenedfallet som tas upp av skogsekosystemen kan leda till övergödning av marken, medan det kväve som inte tas upp kan bidra till övergödning av vatten och försurning av mark och vatten. En risk med ett högt kvävenedfall är att det kan leda till en förändring av markvegetationen i skogsekosystemen. Kvävegynnade arter, t ex gräs, kan komma att öka i förekomst på bekostnad av mindre kvävegynnade arter, t ex blåbär. Täckningen av blåbärsris mellan perioderna 1993-2002 och 2003-2010 har minskat i norra Sverige men ingen förändring har påvisats för övriga landet (SLU, 2011). Kvävebelastningen på skogsekosystemen i södra Sverige har varit hög under lång tid och visar små tecken på förändring. Den kritiska belastningen för övergödande kväve som används för Sveriges gran- och tallskogar är satt till 5 kg per hektar och år (Moldan, 2011).

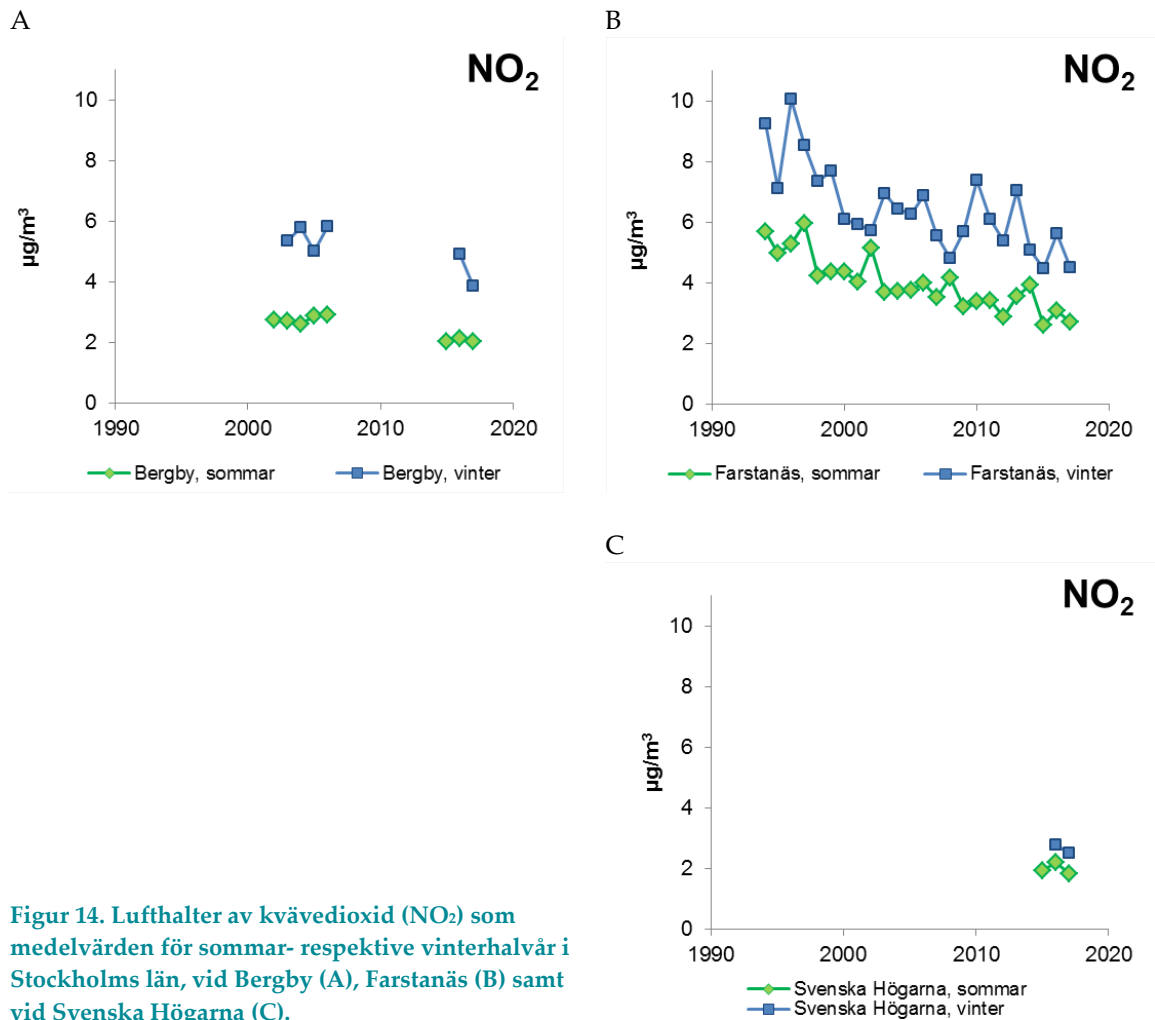
Det kväve som inte tas upp kan läcka ut i markvattnet, främst i form av nitrat, och en del av detta kan sedan transporteras vidare och bidra till förhöjda nitrathalter i grundvatten och övergödning av ytvatten. I Sveriges skogar tas oftast allt kväve upp i skogsekosystemen. Om nitratkvävehalterna är förhöjda är det ett tecken på att marken är mättad på kväve. Detta är vanligast förekommande i sydvästligaste Sverige, men förekommer även vid enstaka tillfällen, eller efter olika former av störningar i skogen, i andra delar av landet. Detta påverkar även försurning, se kapitel 3.

### 4.2 Lufthalter av kvävedioxid och ammoniak

Lufthalterna av kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ) vid Farstanäs var i mitten av 1990-talet höga för att vara i bakgrundsmiljö, Figur 14. Som ett treårigt årsmedelvärde för de första åren i mätserien var halten av  $\text{NO}_2$  vid Farstanäs ca  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Som ett årsmedelvärde för de senaste tre åren var halten av  $\text{NO}_2$  vid Farstanäs lägre, men fortfarande relativt hög,  $3,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Årsmedelhalterna av  $\text{NO}_2$  vid Farstanäs har minskat 43 % under perioden 1994-2017. De rapporterade utsläppen av  $\text{NO}_x$  (som  $\text{NO}_2$ ) från EU28 har under perioden 1994-2015 minskat med 50 % (CEIP, 2018). Medelhalterna av  $\text{NO}_2$  vid Farstanäs har legat ca 63 % högre vintertid jämfört med sommartid. Vid Bergby har årsmedelhalterna av  $\text{NO}_2$ , baserat på kalenderår, minskat med 28 % under perioden 2002-2017. De rapporterade utsläppen av  $\text{NO}_x$  (som  $\text{NO}_2$ ) från EU28 har under motsvarande period 2002-2015 minskat med 41 % (CEIP, 2018).

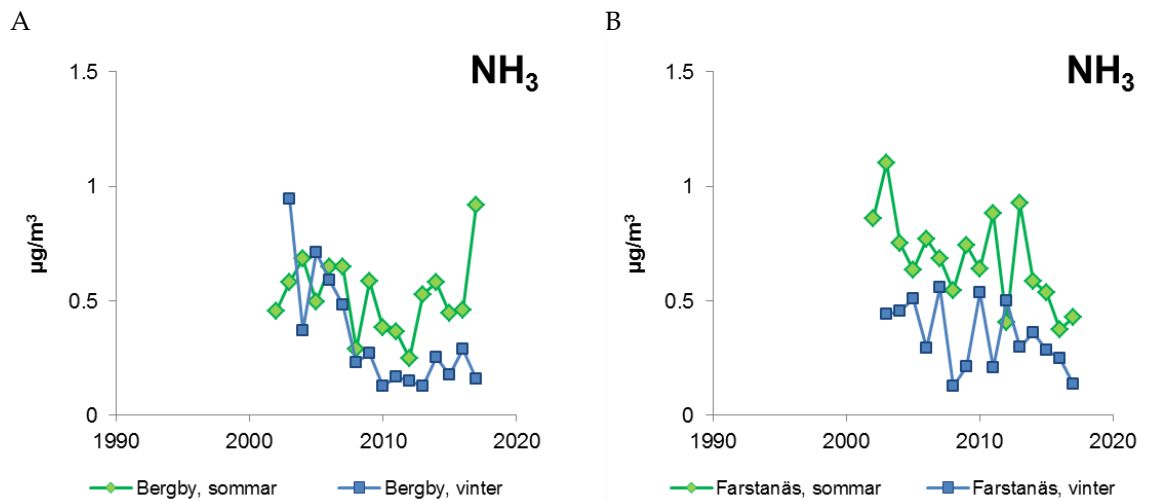
Den genomsnittliga årsmedelhalten av  $\text{NO}_2$  för åren 2003-2006, då det fanns mätningar vid båda platserna, var något lägre vid Bergby,  $4,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , jämfört med Farstanäs,  $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Figur 14. Sommarmedelhalten av  $\text{NO}_2$  2017 var  $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vid Bergby jämfört med  $2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vid Farstanäs. Sommarmedelhalten av  $\text{NO}_2$  2017 vid Svenska Högarna var nästan lika hög som vid Bergby,  $1,8$

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sannolikt beroende på inverkan från fartygsemissioner. Det var dock inte lika stor skillnad mellan sommar och vinter vad gäller halterna av  $\text{NO}_2$  vid Svenska Högarna.



Figur 14. Lufthalter av kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår i Stockholms län, vid Bergby (A), Farstanäs (B) samt vid Svenska Högarna (C).

Ammoniak,  $\text{NH}_3$ , släpps inte bara ut från jordbruket utan även från trafiken. Transporten av reducerat kväve i luft är komplicerad eftersom  $\text{NH}_3$  i gasform övergår till  $\text{NH}_4$  i partikelform. Halterna av  $\text{NH}_3$  låg under första hälften av 2000-talet vid de båda platserna Bergby och Farstanäs runt  $0,5 - 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vid Farstanäs har halterna varit högre sommartid, medan det inte var någon klar skillnad vid Bergby under perioden 2000 - 2006. Under de senaste åren har halterna av  $\text{NH}_3$  varit högre sommartid jämfört med vintertid vid båda platserna. Sedan 2002 har ammoniakhalterna i luften på årsbasis minskat vid Farstanäs med 48 %, medan någon statistiskt säkerställd förändring av ammoniakhalterna vid Bergby inte har skett för samma tidsperiod. De samlade emissionerna av  $\text{NH}_3$  från EU28 har under motsvarande period (2002-2015) minskat med 10 % (CEIP, 2018).



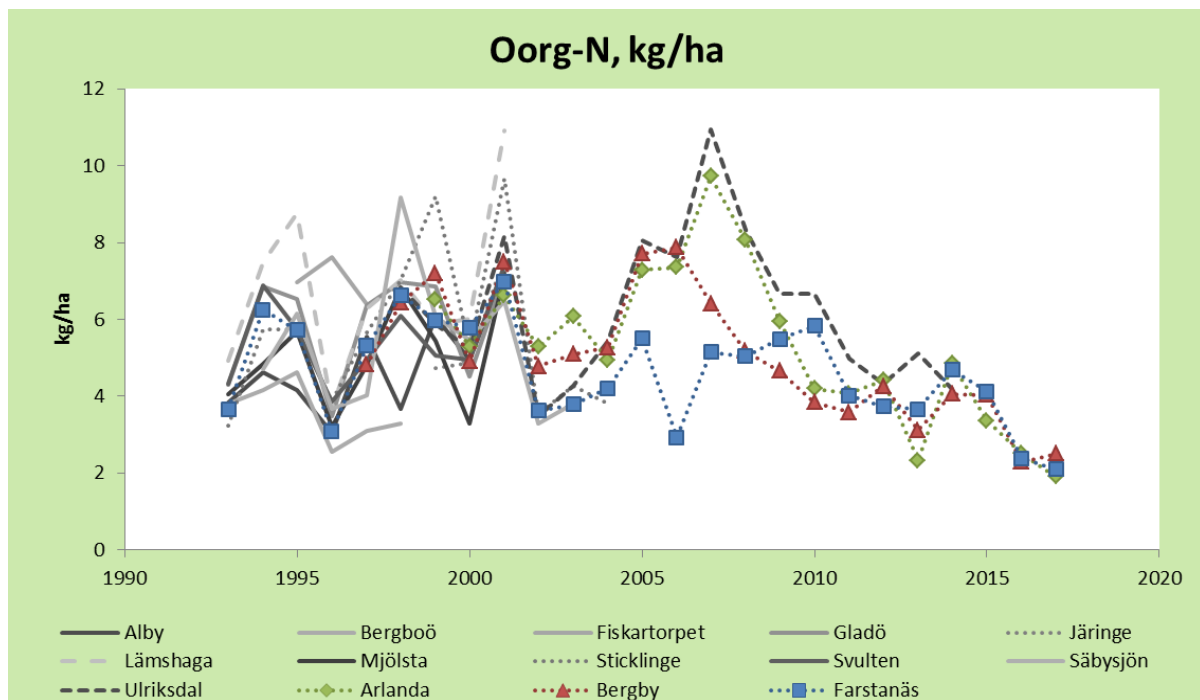
Figur 15. Lufthalter av ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår i Stockholms län, vid Bergby (A) och Farstanäs (B).

## 4.3 Nedfall av kväve

Metodiken med krondropp kan inte användas rakt av för att uppskatta nedfallet av kväve till skog på grund av att en viss andel kväve tas upp direkt till trädkronorna och därmed inte når provtagarna i marknivå. Inledningsvis redovisar vi därför nedfallet av oorganiskt kväve i länet endast som våtdeposition med nederbörden till öppet fält. I Figur 16 visas en sammanställning av alla förekommande mätningar av nedfall av oorganiskt kväve ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) med nederbörden till öppet fält.

Nedfall av oorganiskt kväve som våtdeposition med nederbörden mättes vid ett stort antal platser i Stockholms län under 1990-talet (Figur 16). Variationen mellan både platser och år var betydande, från cirka 3 till cirka 10 kg N per hektar och år. Till detta kommer en betydande torrdeposition av kväve, som vi dock tyvärr inte kunnat kvantifiera.

Det finns en statistiskt säkerställd minskning av nedfallet av oorganiskt kväve som våtdeposition vid alla tre mätplatserna i länet under respektive mätperiod. Under perioden 1993-2017 minskade kvävenedfallet med nederbörden vid Farstanäs med 38 %. Vid Farstanäs har även nedfallet av nitrat minskat med 41 % under samma period, däremot fanns ingen statistiskt säkerställd förändring för ammoniumnedfallet. Vid Bergby har kvävenedfallet minskat statistiskt säkerställt med 53 % under perioden 1997-2017. Vid Bergby har både nitrat och ammonium minskat signifikant under mätperioden, för nitrat med 68 % och för ammonium med 38 %. Vid Arlanda minskade kvävenedfallet med nederbörden med 55 % under mätperioden, 1999-2017. Även vid Arlanda minskade både nitrat- och ammoniumnedfallet signifikant, för nitrat med 61 % och för ammonium med 53 %.



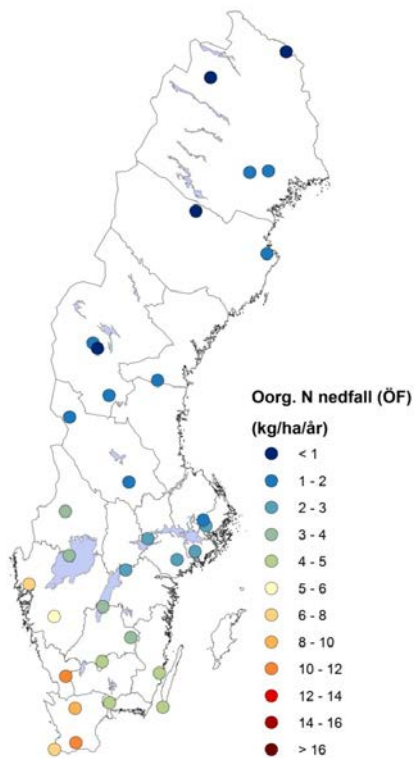
**Figur 16. En sammanställning av alla förekommande mätningar av nedfall av oorganiskt kväve ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) med nederbörden till öppet fält, i länet. Nedfallet mäts månadsvis och summeras för hydrologiskt år. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med linjer i grått och svart.**

Det totala kvävenedfallet till barrskog, inklusive både torr- och våtdeposition, kan beräknas baserat på kombinerade mätningar av nedfall med nederbörden till öppet fält, nedfall som krondropp samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare placerade under tak. Mätningarna med strängprovtagare bedrivs med finansiering från Naturvårdsverket vid tio platser i landet, dock finns det inte någon plats i Stockholms län med dessa mätningar. Metodiken bakom beräkningarna beskrivs i detalj i en rapport till Havs och Vattenmyndigheten (IVL Rapport C 286, Karlsson m. fl., 2018b).

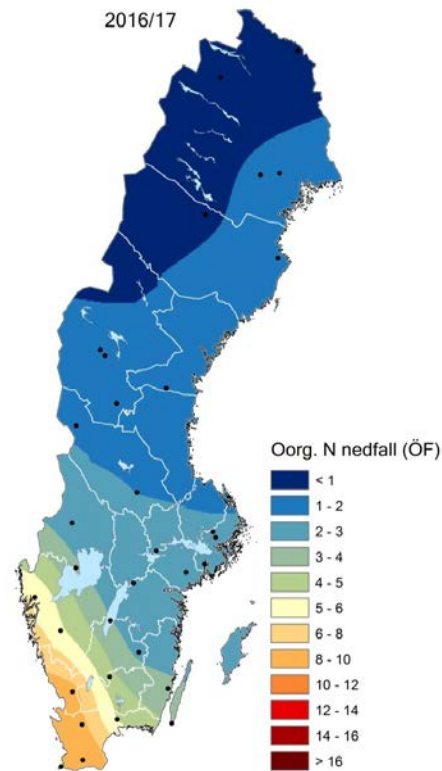
I Figur 17 illustreras betydelsen av att inkludera torrdepositionen i uppskattningarna av det totala kvävenedfallet till barrskog i olika delar av Sverige. I Figur 17A visas för det hydrologiska året mätresultat för kvävenedfallet med nederbörden till öppet fält, vilket i stort motsvarar våtdepositionen, för olika mätplatser inom Krondroppsnätet. I Figur 17B visas en geografiskt interpolerad karta över nedfall med nederbörden till öppet fält, baserad på data som visas i Figur 17A. I Figur 17C visas en geografiskt interpolerad karta över beräknat totalt kvävenedfall till barrskog, baserat på metoden med mätningar med strängprovtagare som beskrivs ovan. I kartorna i Figurerna 17 B och 17 C används samma färgskala för olika intervaller av kvävenedfall. Om uppskattningar av kvävenedfallet för hydrologiska året 2016/17 baseras endast på mätningar av nedfall med nederbörden till öppet fält (Figur 17B) överskrids den kritiska belastningen för kvävenedfall till barrskog på 5 kg N/ha/år (gulmarkerat område i Figur 17 B och C) söder om en gräns som går genom Västra Götaland, västra Småland samt västra Blekinge. Om uppskattningen baseras på det beräknade totala kvävenedfallet (Figur 17C) går gränsen för överskridande istället genom norra Värmland, sydvästra delen av Örebro län samt genom norra Östergötland.



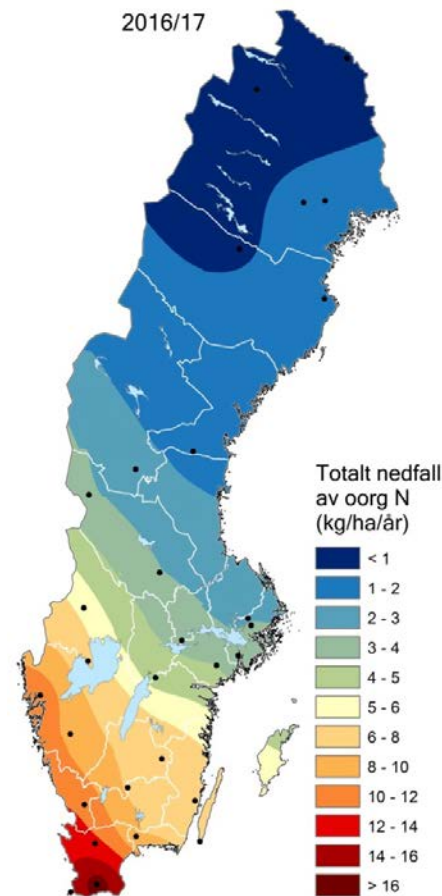
A



B



C

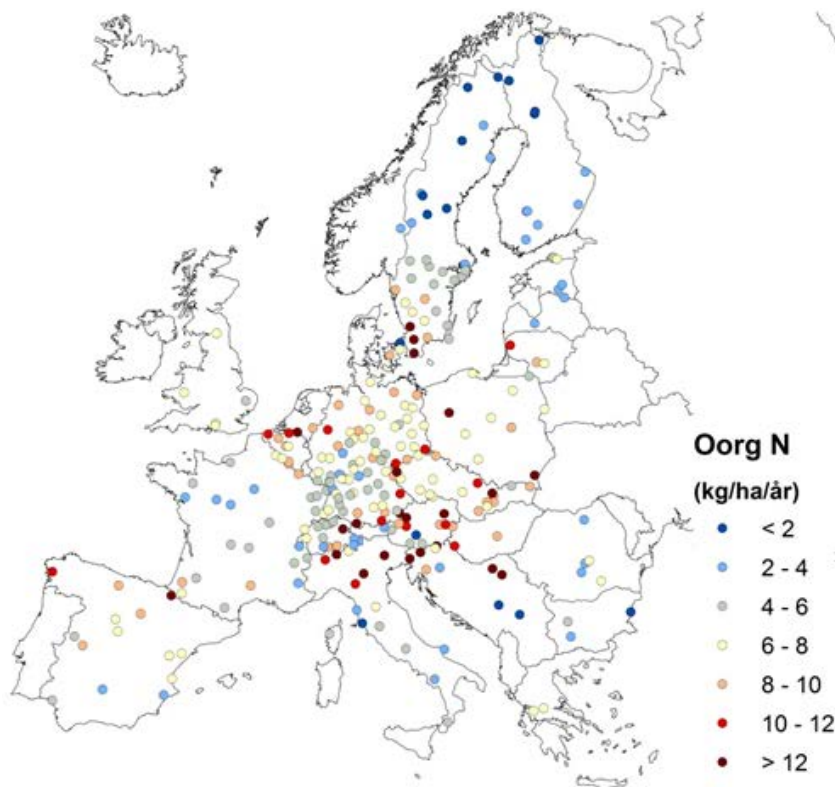


Figur 17. Nedfall av oorganiskt kväve ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) under det hydrologiska året 2016/17. A. Uppmätt nedfall till öppet fält. B. En geografiskt interpolerad karta över nedfall till öppet fält, baserad på data som visas i A. Interpolering har gjorts med Kriging-metodik. C. En geografiskt interpolerad karta över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition). Metoden baserar sig på kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2018b).

Vid Bergby var under hydrologiska året 2016/17 det uppmätta nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden 2,5 kg N/ha/år medan det beräknade totala nedfallet var 3,2 kg N/ha/år. Vid Fastanäs var motsvarande värden 2,1 kg N/ha/år för nedfallet med nederbörden medan det beräknade totala nedfallet var 3,0 kg N/ha/år. Vid Arlanda slutligen var motsvarande värden 1,9 kg N/ha/år för nedfallet med nederbörden medan det beräknade totala nedfallet var 2,7 kg N/ha/år.

Detta innebär att vid länets tre mätplatser överskreds inte den kritiska belastningen för kvävenedfall till barrskog, 5 kg N/ha/år, för det hydrologiska året 2016/17 varken som våt- eller som total deposition av oorganiskt kväve. Under tidigare år har dock överskridanden förekommit (Karlsson m. fl., 2018b). I sydöstra Sverige minskade det totala kvävenedfallet till barrskog på ett statistiskt säkerställt sätt med 37 % under perioden 2001 – 2016 (Karlsson m. fl., 2018b).

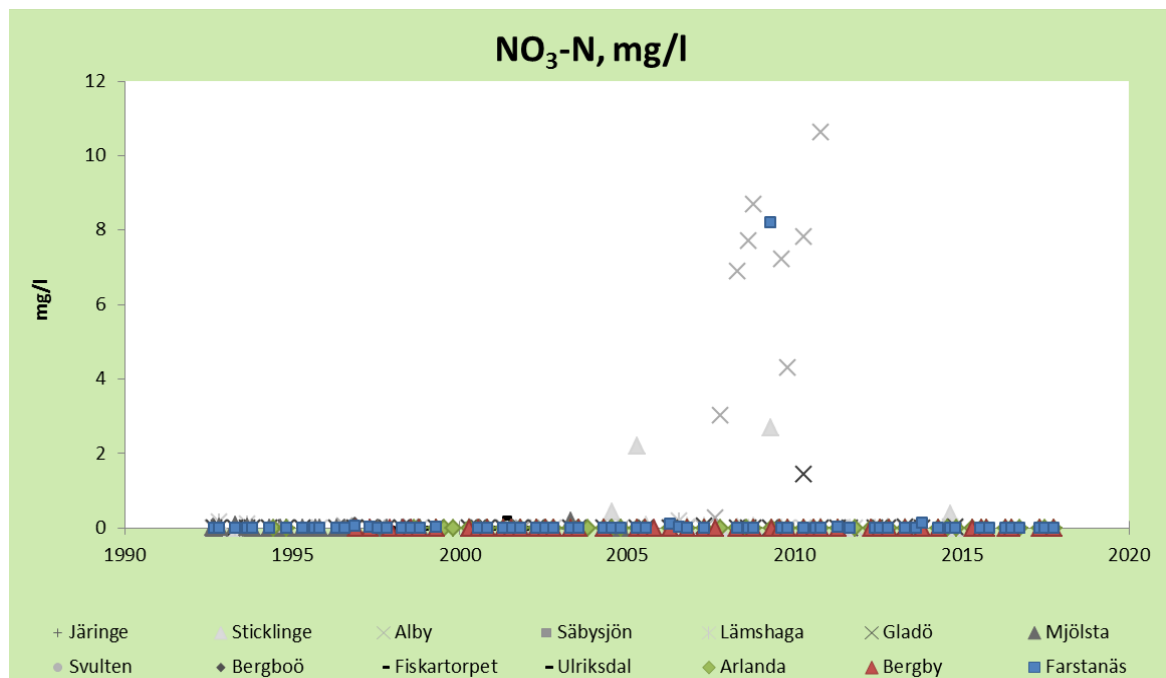
Nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält för Stockholms län kan jämföras med motsvarande värden för övriga Europa (Figur 18). Det kan ibland framställas som att kvävenedfallet över Sverige är lågt, jämfört med kontinentala och södra Europa. Data som visas i Figur 18 visar att det inte är fallet generellt. Det finns idag stora områden i Frankrike och södra Tyskland där kvävenedfallet med nederbörden ligger i samma storleksordning som i mellersta och norra Sverige. Dock kan det betonas att från ett historiskt perspektiv är skogsekosystemen i mellersta och norra Sverige unika i ett Europeiskt perspektiv, eftersom kvävenedfallet aldrig har varit särskilt högt. En rekonstruktion av gamla mätserier sedan 1955 tyder på att det årliga kvävenedfallet med nederbörden som medelvärde för norra Sverige aldrig har överskridit ca 4 kg N/ha/år (Ferm m. fl., manuskript). Kvävenedfallet som våtdeposition i Stockholms län under åren 2014/15 låg i nivå med motsvarande nedfall i bland annat i södra Tyskland och i delar av Frankrike och delar av Medelhavsområdet.



Figur 18. En jämförelse av nedfall av oorganiskt kväve ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) med nederbörden till öppet fält över Europa. Värdena utgör årligt nedfall som medelvärde för kalenderåren 2014 och 2015. Data utanför Sverige kommer från ICP Forest, en verksamhet inom konventionen om gränsöverskridande luftföroreningar, CLRTAP. I de flesta fall ligger provtagningen på öppet fält belägen i ett skogslandskap.

## 4.4 Kväve i markvattnet

I Stockholms län har halterna av nitratkväve i markvattnet i växande skog genomgående varit mycket låga (Figur 19). Det finns dock några undantag. Vid granytan Alby blåste bland annat en stor gran ner och i augusti 2008 rensades ytan upp, vilket innebar att skogsmaskiner körde i ytan. Detta kan ha orsakat de höga halterna av nitrat i markvattnet som förekom vid ytan under denna tid. Detta skulle i så fall tyda på att det fanns stora mängder kväve bundet i marken vid ytan, som frigjordes till markvattnet efter en störning av marken. Vid ytan i Sticklinge fanns misstankar om kontaminering av proven från mänsklig aktivitet. Det finns ett högt värde för nitrat i markvattnet från Farstanäs från 2009, men någon förklaring till detta finns inte.



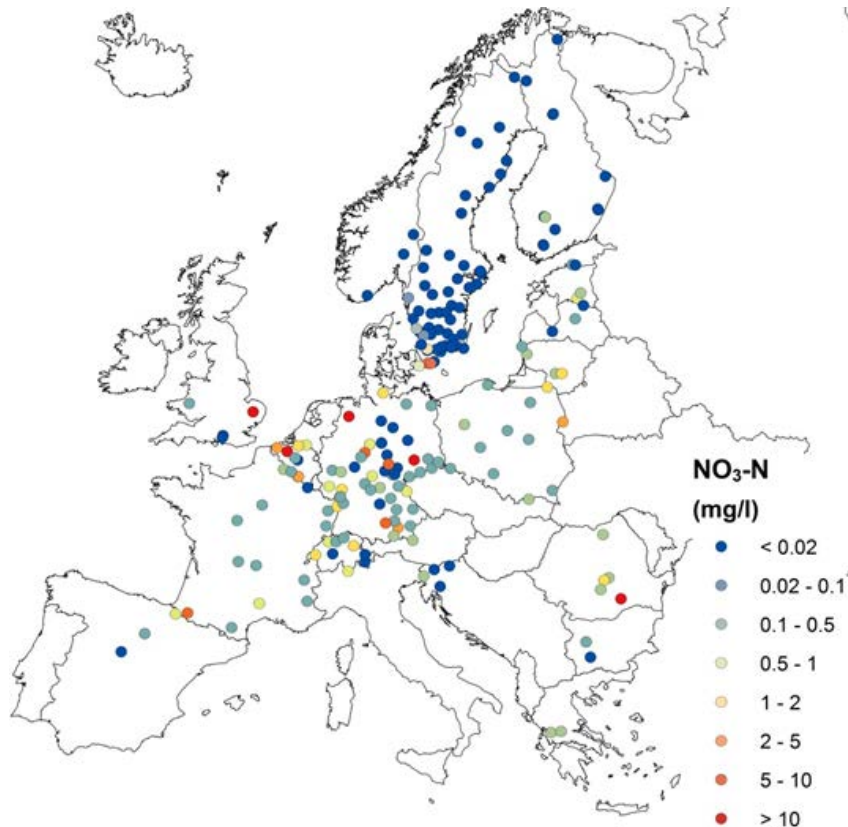
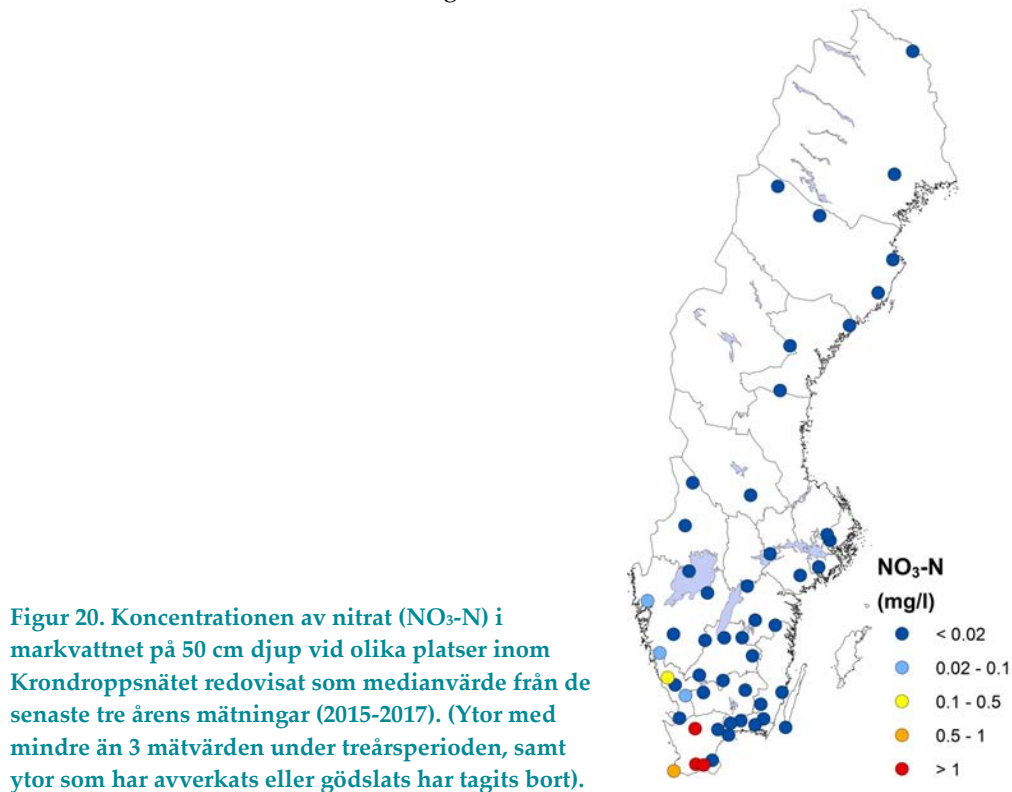
**Figur 19. En sammanställning av alla förekommande mätningar av nitralter i markvattnet i länet. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart. Vid granytan Alby under 2007 blåste bland annat en stor gran ner, och i augusti 2008 rensades ytan upp vilket innebar att skogsmaskiner körde i ytan.**

Halterna av ammonium i markvattnet har generellt varit låga i länet, men under en period från mitten av 1990-talet till slutet av 2000-talet var halterna av ammonium förhöjda vid Farstanäs (data visas ej). Någon förklaring till detta finns inte.

Mycket tyder på att kväve kontinuerligt lagras upp i skogsmarken i södra Sverige (Akselsson m. fl., 2010). Trots detta förekommer nitrat sällan i markvattnet i svensk skogsmark, förutom längst ner i sydvästra Sverige (Figur 20). På den absoluta merparten av Krondroppsnetets ytor i Sverige är halterna av nitrat i markvattnet mycket låga, vilket visar att växande skog tar upp det mesta av det kväve som tillförts med nedfallet.

Förekomsten av nitrat i markvattnet i Västra Götaland och övriga Sverige kan jämföras med förekomsten av nitrat i skogsmarken i övriga Europa (Figur 21). Variationen i hur nitrat uppträder i markvattnet i skogsmarken är stor också för Europa som helhet. Större delen av Sverige har mycket låga halter vilket inte är lika vanligt i kontinentala Europa. Dock finns det några mätplatser, främst

i Skåne och Halland, där halterna av nitrat i markvattnet nått höga halter, i nivå med halterna vid vissa platser i Centraleuropa. Det finns dock även i kontinentala Europa ett betydande antal platser där nitrathalten i markvattnet är låga.



## 5 Aktuellt & notiser

### 5.1 Reviderat Takdirektiv

#### Nya begränsningar av utsläpp

Den 31 december 2016 trädde EU:s reviderade Takdirektiv i kraft (EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2016/2284 av den 14 december 2016 om minskning av nationella utsläpp av vissa luftföroreningar mm.). I direktivet finns nya begränsningar av Sveriges utsläpp av SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC, NH<sub>3</sub> och PM<sub>2,5</sub> vilket kommer att få konsekvenser för industrier i Sverige. Nationella reduktionsåtaganden finns för år 2020 och 2030 med 2005 som basår, se Tabell 1 nedan.

**Tabell 1. Sveriges åtagande enligt det nya Takdirektivet för år 2020 och 2030 i procent med 2005 som basår.**

Luftförorening	Minskning 2020 %	Minskning 2030 %
NO <sub>x</sub>	36	66
SO <sub>2</sub>	22	22
NMVOC	25	36
NH <sub>3</sub>	15	17
PM <sub>2,5</sub>	19	19

#### Ekosystemövervakning

I Takdirektivet ingår nu för första gången även krav på ekosystemövervakning. Inom ramen för EU:s Takdirektiv har vägledning utvecklat för hur effekterna av luftföroreningar ska övervakas av medlemsländerna i framtiden (Ecosystem monitoring under Article 9 and Annex V of Directive 2016/2284 (NECD)). Enligt artikel 9 ska medlemsstaterna om möjligt övervaka luftföroreningars negativa effekter på akvatiska och terrestra ekosystem. Medlemsstaterna ska se till att deras nät av övervakningsstationer är representativt för sötvattensystem, naturliga och halvnaturliga ekosystem samt skogsekosystem. En huvudindikator är nitratutlakning från marken som bör mätas årligen. Vidare finns stödindikatorer; pH, sulfat, nitrat, baskatjoner och aluminiumhalter i markvatten, vilka bör mätas varje år (i tillämpliga fall).

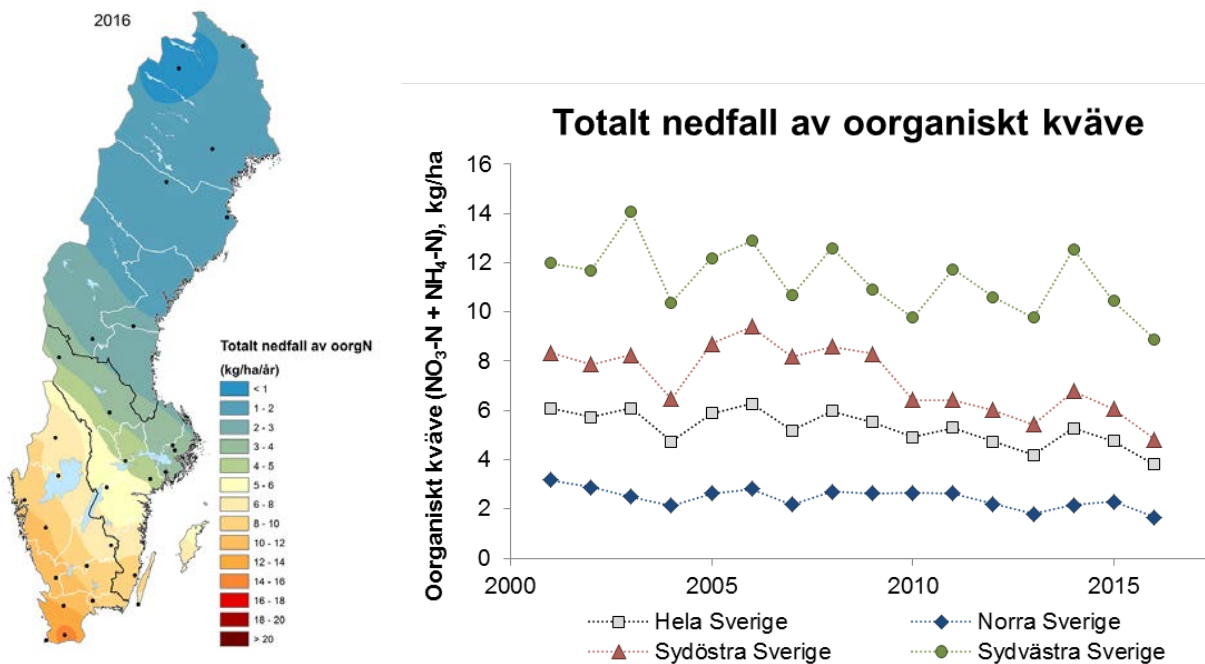
Det påpekas inom Takdirektivet att fokus ska ligga på områden med hög föroreningsbelastning och att depositionens påverkan ska kunna särskiljas från annan påverkan. Det innebär att mätprogrammets huvudfokus bör ligga i södra Sverige. Den geografiska fördelningen och avsaknaden av annan påverkan än klimat och luftdeposition på de allra flesta mätplatserna inom Krondroppsnetet uppfyller därmed väl de kriterier som Takdirektivet ställer för valet av mätstationer. Vår förhoppning är därför att Krondroppsnetets markvattenmätningar kommer att ingå. Ett nationellt kontrollprogram ska vara klart senast 31 Mars 2019.

Det är Naturvårdsverket tillsammans med Havs- och vattenmyndigheten som ska ansvara för att övervakningen av olika ekosystemeffekter utförs inom sina respektive miljöövervakningsprogram. För att säkerställa att miljöövervakningen genomförs på ett effektivt och ändamålsenligt sätt och att samordning underlättas tillsatte Naturvårdsverket i början av året en nationell expertgrupp med berörda aktörer. I början av februari 2018 hölls ett expertgruppsmöte på Naturvårdsverket där även representanter för Krondroppsnetet deltog.

## 5.2 Nya miljömålsindikatorer

### 5.2.1 Ny indikator för totalt kvävedeposition till skog inom miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning*

IVL Svenska Miljöinstitutet har tillsammans med Lunds universitet haft i uppdrag för Havs- och vattenmyndigheten (HaV) att utveckla en indikator för totalt nedfall av oorganiskt kväve (oorg-N) till skog (Karlsson m.fl. 2018b). Arbetet slutfördes i början av 2018 och indikatorn presenteras under miljömålet *Ingen övergödning* på <http://sverigesmiljomal.se/>. Beräkningarna av totalt nedfall av oorg-N, inklusive torr- och våtdeposition, baseras på mätningar med strängprovtagare, krondropp och nederbörd till öppet fält inom Krondroppsnetet mellan 2001-2016. Mätningarna med strängprovtagare används för att beräkna torrdepositionen. En systematisk variation i torrdepositionen av oorg-N över landet från sydväst mot nordost användes för att beräkna torrdepositionen vid platser där endast våtdepositionen av oorg-N mättes. Totaldepositionen beräknades som summan av torr- och våtdeposition vid alla tillgängliga mätplatser och utifrån dessa värden beräknades totaldepositionen av kväve över hela landet med geografisk interpolation, Figur 22. IVL-rapporten C286 kan hämtas via IVLs hemsida: <http://www.ivl.se>



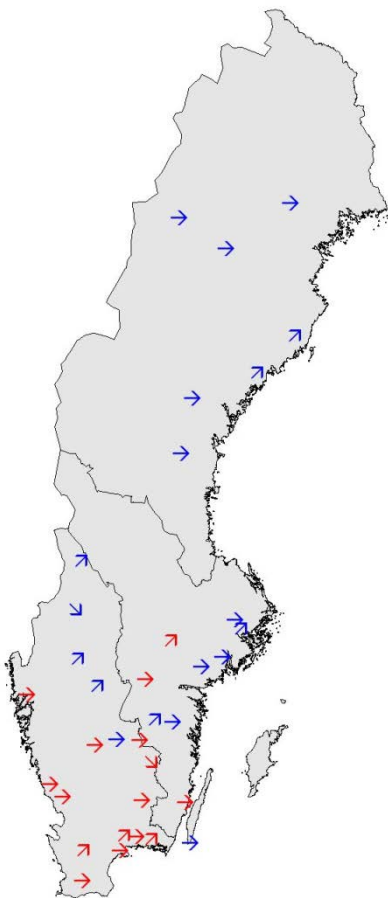
Figur 22. A. En karta över geografiskt interpolerade värden för totalt nedfall av kväve till barrskog för kalenderåret 2016. Svarta punkter indikerar mätplatser. Sverige är indelat i tre geografiska områden som används inom uppföljningen av miljökvalitetsmålen. Dessa områden används i figuren med tidsserier. B. Tidsserier för årligt nedfall av oorganiskt kväve (NO<sub>3</sub>-N + NH<sub>4</sub>-N) till barrskog för tre olika geografiska områden över Sverige, norra Sverige, sydöstra Sverige samt sydvästra Sverige. Beräkningarna inkluderar summan av torr- och våtdeposition och baseras på kalenderår.

## 5.2.2 Ny indikator för skogsbrukets försurningspåverkan

En ny indikator för skogsbrukets försurning, "Överskridande av kritiskt baskatjonuttag i gran-skog", har tagits fram (Akselsson & Belyazid, 2017), och finns sedan våren 2018 på miljömålshemsidan för första gången (<http://www.sverigesmiljomal.se/>). Indikatorn bygger på samma koncept som kritisk belastning för försurande ämnen, men i stället för att beräkna hur stort nedfallet av försurande ämnen kan vara utan att skada ekosystemet (vid en bestämd nivå av biomassa-uttag), beräknas det maximala biomassa-uttaget som kan göras (vid en bestämd nedfallsnivå) utan att ANC (syranutraliserande förmåga) i markvattnet understiger 0. Detta, tillsammans med information om areal med uttag av grenar och toppar (grot) samt areal med askåterföring, används för en länsvis bedömning av skogsbrukets försurning.

## 5.2.3 Markvattendata från Krondroppsnetet i miljömålsindikatorn Försurad skogsmark

Under andra halvan av 2017 och i början av 2018 har tidsutvecklingen av ANC (syranutraliserande förmåga) presenterats i indikatorn för "Försurad skogsmark" för miljömålet *Bara naturlig försurning*, tillsammans med markkemi från markinventeringen. En karta som visar signifikanta förändringar i ANC mellan 1996 och 2013, motsvarande Figur 23, har visats på miljömålshemsidan. En omfattande omarbetning av indikatorsystemet slutfördes under våren 2018, och "Försurad skogsmark" är inte längre med som en av huvudindikatorerna, och kartan presenteras därmed inte längre på miljömålshemsidan. Dock planeras den att ingå i den fördjupade utvärderingen 2019.



Figur 23. Nivåer och trender för ANC (syranutraliserande förmåga) i markvattnet under rotzonen, baserat på data från Krondroppsnetet. Röda pilar indikerar att  $ANC < 0$  medan blåa pilar visar  $ANC > 0$  (beräknat som medianen för perioden 1996-2017).  $ANC > 0$  innebär att markvattnet har en buffrande förmåga. Pilar upp eller ner visar på en signifikant ökning respektive minskning, mellan åren 1996 och 2017 (med vissa mindre avvikelser). Horisontella pilar innebär att ingen signifikant förändring kunnat påvisas. Indelningen i tre landsdelar baseras på indelningen i försurningsregioner som ofta används vid uppföljning av miljömålet *Bara naturlig försurning*.

## 5.3 Utvärderingar

### 5.3.1 Fortsatt utvärdering inom PO Luft efter 2017

Under 2015-2017 utvärderades Naturvårdsverkets Programområde Luft (PO Luft). Efter utvärderingen avser Naturvårdsverket att under kommande programperiod (2017- 2020, med två 2-åriga avtalsperioder) genomföra ett projekt för effektivisering/samordning av verksamheterna Luft- och nederbördskemiska nätet (LNKN), EMEP, Krondropps nätet och MATCH-modellering. Modelleringens möjligheter och begränsningar kommer då att belysas. Under programperioden planeras även att bl.a. se över möjligheterna att samordna nationella mätningar, med annan övervakning. Naturvårdsverket har indikerat att utredningen kommer att ske med en internationell utredare med målsättningen att utredningen ska vara klar till 2020. Naturvårdsverket har även indikerat att det är viktigt att det redan under 2020 är klart med utformningen av innehållet för nästkommande programperiod, där det är tydligt vilka prioriteringar Naturvårdsverket kommer att ha inför 2021.

### 5.3.2 Förstudie 2017 - Regional utvärdering av Krondropps nätet

Som ett led i den fortsatta utvärderingen av PO Luft genomfördes redan 2017 en förstudie (Pihl Karlsson m.fl., 2017) av främst regionala behov när det gäller miljöövervakning av lufthalter, atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi inom Krondropps nätet efter 2020. Studien omfattade alla deltagande län inom Krondropps nätet. I förstudien ingick även en enkätundersökning, till Krondropps nätet's medlemmar, som innehöll frågor om mätmetodik och provtagning, vad data används till samt vilka frågor som är viktiga i den kommande utvärderingen 2018. Förstudien utgör en del av en kommande större gemensam nationell och regional utvärdering av bl.a. Krondropps nätet.

I förstudierapporten beskrivs nuvarande mätplatser inom Krondropps nätet i detalj. Generella kriterier med mätplatser inom Krondropps nätet tas upp och i rapporten diskuteras även Krondropps nätet's mätningars betydelse för den regionala (och nationella) miljöövervakningen inom främst miljömålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning*. Vidare diskuteras förbättringsförslag med avseende på den regionala indikatoruppföljningen (indikatorerna; nedfall av svavel och nedfall av kväve) av ovan nämnda miljömål, där Krondropps nätet's mätningar har en avgörande roll. Förbättringen avser att avsevärt förbättra beräkningen av det länsvisa nedfallet samt förbättra beskrivningen av den geografiska variationen av svavel- och kvävenedfall i de olika länen. IVL-rapporten C261 kan hämtas via IVLs hemsida: <http://www.ivl.se>.

### 5.3.3 Generell översyn av svensk miljöövervakning under 2018

En kommitté ledd av Åsa Romson har fått i uppdrag av Miljö- och energidepartementet att göra en översyn av hela den svenska miljöövervakningen på lokal, regional och nationell nivå. Vidare ska man föreslå en lämplig avgränsning mellan miljöövervakning och närliggande verksamheter samt bedöma behovet av framtida miljöövervakning. Syftet är att identifiera synergier och lösningar



som kan leda till en mer kostnads- och resurseffektiv miljöövervakning. Utredaren ska bland annat:

- se över och lämna förslag på hur miljöövervakningen bör organiseras och finansieras,
- se över och lämna förslag på hur övrig och kompletterande miljöövervakning och miljöinformation bör organiseras och finansieras,
- se över strukturen för de nationella datavärdena, och
- utreda förutsättningarna för en finansieringsmodell som möjliggör för offentliga lokala aktörer att leverera in data som uppfyller kvalitetskraven för nationell miljöövervakning.

Uppdraget ska redovisas senast den 30 november 2018.

## 5.4 Aktuella möten 2017

### 5.4.1 Krondroppsdagen, 29:e november 2017, Göteborg

Resultat från Krondroppsnetet presenterades på Krondroppsdagen den 29 november 2017, och under dagen avhandlades även en mängd intressanta presentationer och diskussioner angående emissioner, takdirektivet, kalkning, skogsbrukets förurning, marknära ozon och åtgärdsprogram för kvävedioxid i Göteborgsregionen. Dessutom diskuterades behov och utvecklingsmöjligheter av Krondroppsnetet.

Luftvårdsförbund, länsstyrelser och myndigheter (bl.a. Naturvårdsverket, Havs- och vattenmyndigheten och Skogsstyrelsen) närvarade och bidrog med intressanta presentationer och diskussioner.

Krondroppsdagen arrangerades i Göteborg av IVL i samarbete med länsstyrelsen i Västra Götalands län.

### 5.4.2 Miljöövervakningsdagarna, 27-28 september 2017, Tranås

Under 2017 års miljöövervakningsdagar i Tranås, med temat "Vart är vi på väg? Nya lösningar 50 år senare", samlades över 200 deltagare för att lyssna på intressanta föreläsningar och delta i workshops och diskussioner om nuvarande och framtida miljöövervakning i Sverige.

Krondroppsnetet bidrog med två poster:

- **Krondroppsnetet - tre decennier med övervakning av luftföroreningar och dess effekter i skogsmark**
  - Denna poster omfattande en övergripande beskrivning av mätningar och resultat från Krondroppsnetet under 30 år.
- **Air quality impacts in Sweden of SO<sub>2</sub> emissions from the 2014-2015 eruption of Bárðarbunga volcano, Iceland**
  - Denna poster beskrev hur luftkvalitet och nedfall i Sverige påverkades av vulkanutbrottet på Island 2014-2015, baserat både på mätningar inom Krondroppsnetet och på modellberäkningar med EMEP-modellen.

### 5.4.3 Representation från Krondroppsnetet vid konferensen BIOGEOMON

Gunilla Pihl Karlsson, Per Erik Karlsson och Cecilia Akselsson från Krondroppsnetets projektledningsteam deltog tillsammans med flera kollegor från IVL och Lunds universitet vid konferensen BIOGEOMON i Litomyšl, Tjeckien 21-24 augusti, 2017. Flera postrar och föredrag innehöll data från Krondroppsnetet:

#### Postrar:

***Deposition of sulphur, inorganic nitrogen and base cations to Norway spruce forests in Sweden: The role of canopy exchange (Per Erik Karlsson)***

Här beskrevs metoder för att beräkna den totala depositionen till barrskog för ämnen där det finns direkta interaktioner med trädkronorna.

***Dynamic modelling of the effects of nitrogen fertilisation on forest soil organic carbon and nitrogen leaching (Klas Lucander, doktorand vid Lunds universitet)***

Kvävegödsling simulerades med ForSAFE-modellen i Västra Torup i Skåne. Resultaten visade att gödslingen endast innebar en mycket liten effekt på träd tillväxten, men att utlakningen av kväve ökade markant. Detta förklaras av att marken i Västra Torup har tagit emot mycket kväve under lång tid.

***Air quality impacts of SO<sub>2</sub> emissions from the 2014-2015 eruption of Bárðarbunga volcano, Iceland, observed in Sweden (Sofie Hellsten)***

Den 31 augusti 2014 till 27 februari 2015 pågick ett vulkanutbrott på Island med utsläpp av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) i samma storleksordning som de dubbla antropogena utsläppen från Europa under ett år. Vulkanutbrottet påverkade periodvis luftkvaliteten i Sverige, framför allt under september och oktober 2014, och i synnerhet i norra Sverige som normalt har en relativt ren miljö utan större föroreningskällor.

***Comparing steady-state and dynamic modelling of weathering rates (Veronika Kronnäs, doktorand vid Lunds universitet)***

De två Krondroppsytorna Västra Torup och Hissmossa i Skåne har använts för att modellera vittring med två olika modeller: PROFILE samt den mer dynamiska modellen ForSAFE. Modellerna gav liknande årsmedelvärden, men ForSAFE visar till skillnad från PROFILE hur vittringen varierar inom och mellan åren, till exempel beroende på temperatur och fuktighet. Detta är viktigt vid till exempel studier av effekter av klimatförändringar.

#### Föredrag:

***Impacts of ozone exposure, nitrogen deposition, meteorological parameters and stand characteristics on annual stem growth of Norway spruce in southern Sweden (Per Erik Karlsson)***

I föredraget beskrevs forskning, finansierad av Naturvårdsverket, som syftar till att beräkna hur mycket den årliga stamtillväxten hos gran i södra Sverige påverkas av exponering för marknära ozon samt det atmosfäriska nedfallet av kväve. Forskningen beskrivs i detalj nedan i Kapitel 5.5.1.

***Evaluation of the incorporation of the phosphorus cycle in the dynamic forest model ForSAFE (Lin Yu, post doc på Max Planck-institutet i Jena, tidigare doktorand vid Lunds universitet)***

Krondroppsytan Klintaskogen på Romeleåsen i Skåne har använts för att utveckla en fosformodul i ForSAFE-modellen, som tidigare innehöll kväve och baskatjoner men inte fosfor. Klintaskogen visar tecken på fosforbegränsning, både enligt modelleringen och enligt mätningarna av barrkemi. Resultaten presenteras mer ingående i en vetenskaplig artikel: Yu, m.fl. (2018).

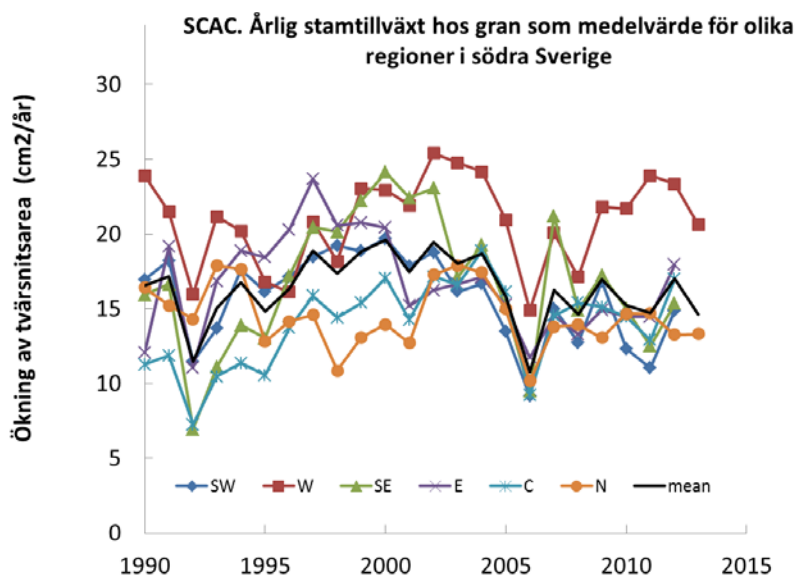
*Identifying soil parameters decisive for nitrogen leaching in forests through a combined empirical and modelling approach (Jörgen Olofsson, post doc vid Lunds universitet)*

De två Krondroppsytorna Västra Torup och Hissmossa modellerades med avseende på kväveutlakning, för att svara på frågan varför Hissmossa läcker nitratkväve kontinuerligt, medan Västra Torup började läcka först efter avverkning. Modelleringen gav liknande resultat som mätningarna, och en skillnad som konstaterades var att jorden i Hissmossa är grövre. En modelltest där jordegenskaperna från Hissmossa användes i Västra Torup gav modellerad utlakning även i Västra Torup, vilket talar för att skillnaden i kornstorleksfördelning kan vara förklaringen.

## 5.5 Aktuell forskning/specialprojekt som berör Krondroppsnetet

### 5.5.1 Påverkan av marknära ozon och kvävenedfall på den årliga tillväxten hos skog i södra Sverige

Naturvårdsverket finansierar ett forskningsprogram, "Swedish Clean Air and Climate Research Programme", SCAC. Ett delprogram är inriktat på att uppskatta inverkan av kvävenedfall och marknära ozon på den årliga stamtillväxten hos skogar i södra och mellersta Sverige och därtill kopplad kolinbindning till skog. Som ett led i detta har prover med borkkärnor tagits på träd vid ca 25 provytor inom Krondroppsnetet. Beräknade värden för ozonexponeringen vid dessa platser tillsammans med uppgifter om årligt kvävenedfall, nederbördsmängder samt olika meteorologiska parametrar ska användas för en statistisk analys av hur dessa faktorer påverkar den årliga tillväxten för perioden 1990-2013. Som ett mått på den årliga tillväxten används ökningen av stammens tvärsnittsarea, den s.k. grundytan. I Figur 24 visas den årliga ökningen i grundytan hos granskog, uppdelat i några olika geografiska regioner. Det framgår att det finns en avsevärd samvariation mellan olika regioner när det gäller variationer i den årliga tillväxten mellan olika år. En preliminär statistisk analys tyder på att det årliga kvävenedfallet har en positiv inverkan på den årliga tillväxten, medan exponeringen för marknära ozon har en negativ inverkan. Datamaterialet kommer att analyseras vidare med avancerade statistiska metoder.



Figur 24. Den årliga tillväxten hos granskog vid olika krondroppsytor i södra och mellersta Sverige mätt som ökningen i grundytan, uppdelat i några olika geografiska regioner.

## 5.5.2 Slutavverkning – hur påverkas avrinnande vatten?

Med finansiellt stöd från Havs- och Vattenmyndigheten och Länsstyrelsen i Västra Götalands län samt med arbetskraft från Skogsstyrelsen, har det sedan våren 2014 etablerats två provtagningsdammar i en skogsback i ett mindre avrinningsområde som innefattar krondroppsytan Storskogen belägen mellan Alingsås och Borås. Parallella månadsvisa mätningar av kemin i mark-, grund- och bäckvatten har bedrivits under tre år, vilket utgör bakgrundsmätningar inför fortsatta mätningar när granskogen i området nu under 2018 kommer att avverkas. Mätningarna kommer att ge ett bra underlag för att kvantitativt beräkna i vilken utsträckning en slutavverkning i västra Sverige påverkar den kemiska kvaliteten i avrinnande vatten. Ett relativt tunt jordtäckte i området innebär en förväntad relativt stor påverkan vad gäller aciditet och halter av nitrat i avrinnande vatten.

## 5.5.3 Mätning av torrdeposition till mätutrustningen på öppet fält - RUT-försöket



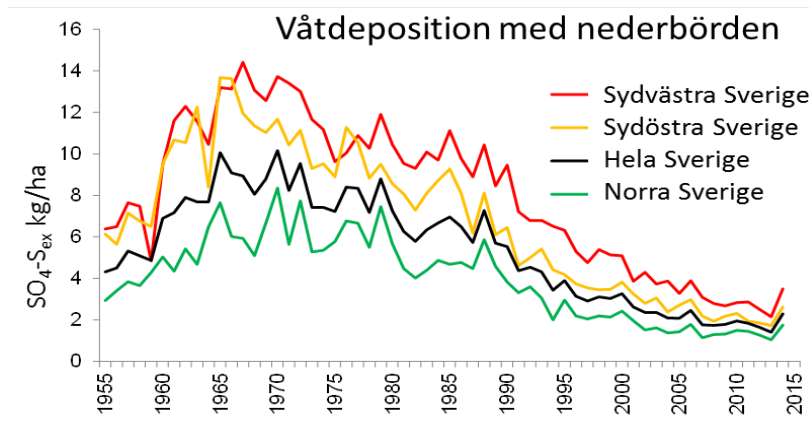
Sommaren 2017 har mätningarna vid de 10 platser som idag har en strängprovtagare utökats. En ny öppet fält provtagare (WoF-provtagare) har satts upp under taket bredvid strängprovtagaren, samtidigt som taket har utökats.

Krondroppsnetet har fått finansiering från Naturvårdsverket för att uppskatta hur stor torrdepositionsandelen är till själva nederbördsprovtagaren över öppet fält, som är ny sedan 2013. Mätningen under tak jämförs med den vanliga WoF-provtagaren för att få ett mått på torrdepositionsandelen. Projektet är planerat att pågå under tre år.

Vår förhoppning är att projektet ska bidra till att minska osäkerheterna i nederbörds-mätningarna för en mängd parametrar, och att vi därigenom kan få ett mer representativt värde på våtdepositionen.

## 5.5.4 Nedfallet med nederbörden sedan 1955

Baserat på en rad tidigare projekt finansierade av Naturvårdsverket, har en vetenskaplig artikel skickats in för granskning som beskriver det svenska nedfallet av svavel och kväve med nederbörden (bulkdepositionen) sedan 1955 (Ferm m.fl., manuskript). En databas har skapats med månadsvisa värden på nedfall från alla nationella och internationella nederbördsnätverk, inklusive Krondroppsnetet, verksamma i Sverige under sex decennier 1955-2014. Resultaten visade att nedfallet av sulfat exklusive havssaltbidraget ( $\text{SO}_4\text{-S}_{\text{ex}}$ ) kulminerade i slutet av 1960-talet (Figur 25) och ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) och nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) kulminerade i mitten på 1980-talet. Minskningen av nedfallet kunde till stor del förklaras av minskade utsläpp från länder med störst påverkan på Sverige. Artikeln diskuterar även relationer mellan nedfallet av nitrat och ammonium.



Figur 25. Våtdepositionen av sulfatsvavel med nederbörden över Sverige. Ferm m.fl. Manuskript.

## 5.6 Vetenskapliga artiklar 2013-2018

Under de senaste åren har ett flertal artiklar med anknytning till Krondroppsnetet publicerats. Nedan presenteras de artiklar som publicerats de senaste sex åren (sedan 2013).

### 2013:

- **Akselsson m.fl. (2013)** studerade markvattenkemi vid nio ytor i södra Sverige under en 20-årsperiod, och kom fram till att återhämtningen är långsam, och att havssaltepisoder har stor inverkan på tidsförloppet.
- **Bahr m.fl. (2013)** konstaterade att kvävenedfall reducerar mängden mycorrhiza i marken, vilket skulle kunna innebära minskad kolinlagring och ökad kväveutlakning.
- **Karlsson m.fl. (2013)** kopplade ihop kraftigt förhöjd ammoniumdeposition i norra Sverige 2006 med skogsbränder i Ryssland, bland annat genom att studera trajektorier över hur luftpaketen förflyttade sig i samband med bränderna.

### 2014:

- **Zanchi m.fl. (2014)** använde ForSAFE-modellen i Västra Torup, Skåne, för att jämföra effekten av skogsbruk med olika intensitet på olika ekosystemtjänster i skogen. Jämförelsen visade bland annat att helträdsuttag är positivt för produktionen av skogsbränsle och minskar utlakningen av näringsämnen, men också att kolinlagringen i marken minskar. Effekten på försurning visade sig vara olika under olika delar av skogens omloppstid, enligt modellen.
- **Waldner m.fl. (2014)** analyserade data från krondropp och öppet fält vid flera hundra lokaler från Krondroppsnetet och den Europeiska luftkonventionens ICP Forest för perioden 1999-2010. Resultaten visade att långa tidsserier krävs för att göra trendberäkningar. Det var även lättare att få signifikanta trender om månadsvisa data användes istället för årsvisa.

### 2015:

- **Hellsten m.fl. (2015)**, visade på hög nitratkväveutlakning efter stormen Gudrun, speciellt i de värst drabbade bestånden.
- **Waldner m.fl. (2015)**, visade i en studie där data från Krondroppsnetet och ICP Forest använts att förhöjda halter av oorganiskt kväve i markvattnet tenderade att vara relaterat till sämre näringsstatus.

#### 2016:

- Lin Yu, som disputerade i Lund 2016, har använt skogsekosystemmodellern ForSAFE i Klintakogen, Skåne, för att studera hur stormar kan påverka försurningsstatusen i skogsmark och avrinnande vatten (**Yu m.fl., 2016**). Modelleringen visade att Klintaskogen är i en återhämtningsfas från försurning. Både modellering och mätningar indikerade att stormarna Lothar 1999 och Gudrun 2005 orsakade störningar i återhämtningen, både på grund av stormfällning och högt havssaltnedfall.
- **Pleijel m.fl. (2016)**, använde en metodik som enkelt kan beskrivas genom att bl.a. nedfallet av sulfat, nitrat och ammonium justerades till att visa hur det skulle ha varit om vädret under hela den analyserade perioden varit genomsnittligt. Metodiken använde en justering utifrån ett vädertypssystem, Lamb Weather Types (LWT) och applicerades på en krondroppsyta (Hensbacka) i mellersta Bohuslän.

#### 2018:

- **Yu m.fl., (2018)** (se ovan) har använt data från Klintaskogen för att utveckla ForSAFE-modellen genom att lägga till fosforcykeln, vilket kan förbättra modelleringsresultaten framför allt i skogsområden med hög kvävebelastning, där fosfor kan begränsa tillväxten.
- **Karlsson m.fl. (2018a)**, visade på hög nitratkväveutlakning följt av minskning av pH, och ANC i markvattnet efter att granbarkborre dödat granarna trots att de flesta träden stod kvar vid en krondroppsyta, Klippan utanför Göteborg.
- **Johnson m.fl. (2018)**, studerade förändringar av markvattenkemin under perioden 1996-2012 i 171 skogar från 10 Europeiska länder. Resultaten visade på en kraftig minskning av sulfathalten i markvattnet som kunde relateras till emissionsminskningarna i Europa under samma period.

## 6 Tack

Vi vill uttrycka vårt tack till samtliga provtagare inom Krondroppsnätet som utför ett mycket ovärderligt arbete i fält. Vi vill även passa på att tacka ICP Forest som tillhandahållit europeiska mätdata som vi kunnat använda som jämförelse.

## 7 Referenser

- Akselsson, C., Belyazid, S., 2017. Critical biomass harvesting – Applying a new concept for Swedish forest soils. *Forest Ecology and Management* 409, 67-73. DOI 10.1016/j.foreco.2017.11.020
- Akselsson, C., Belyazid, S., Hellsten, S., Klarqvist, M., Pihl-Karlsson, G., Karlsson, P.E., 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., 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.

CEIP, 2018. Nationella emissioner:

[http://www.ceip.at/ms/ceip\\_home1/ceip\\_home/webdab\\_emepdatabase/reported\\_emissiondata/](http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/reported_emissiondata/)

Degerman, E., Petersson, E. och Bergquist, B. 2015. Effekter av kalkning på fisk i rinnande vatten - Resultat från 30 år av elfisken i kalkade vattendrag. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2015:23. ISBN 978-91-87025-96-9.

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2016/2284

Ferm, M., Granat, L., Engardt, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E., and Hansen, K. manuskript. Wet deposition of inorganic nitrogen and sulphur compounds in Sweden during six decades, 1955-2014. Submitted to Atmospheric Environment.

Hellsten, S., Stadmark, J., Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E., Akselsson, C., 2015. Increased concentrations of nitrate in forest soil water after windthrow in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*. 356, 234-242.

Hellsten, S., Gustafsson, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E. & Akselsson C. 2017. Påverkan på atmosfäriskt nedfall och luftkvaliteten i Sverige av SO<sub>2</sub>-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014-2015 IVL Rapport C234.

Johnson, J., Graf Pannatier, E., Carnicelli, S., Cecchini, G., Clarke, N., Cools, N., Hansen, K., Meesenburg, H., Nieminen, T.M., Pihl Karlsson, G., Titeux, H., Vanguelova, E., Verstraeten, A., Vesterdal, L., Waldner, P. & Jonard, M. 2018. The response of soil solution chemistry in European forests to decreasing acid deposition. *Global Change Biology*. Accepterad för publicering april 2018.

Karlsson, P.E., Ferm, M., Tømmervik, H., Hole, L., Pihl Karlsson, G., Ruoho-Airola, T., Aas, W., Hellsten, S., Akselsson, C., Nørgaard Mikkelsen, T., Nihlgård, B., 2013. Biomass burning in eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia. *Environmental Pollution* 176: 71-79.

Karlsson, P.E., Akselsson, C., Hellsten, S. & Pihl Karlsson, G. 2018a. A bark beetle attack caused elevated nitrate concentrations and acidification of soil water in a Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management*

Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C. 2018b. Utveckling av en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog inom miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning*. IVL Rapport C 286.

Matthias, V, Bewersdorff, I., Aulinger, A & Quante, M. 2010. The contribution of ship emissions to air pollution in the North Sea regions, *Environmental Pollution*, 158, 2241-2250.

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. 2018. Informative Inventory Report Sweden 2018 – Submitted under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Swedish Environmental Protection Agency.

Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Karlsson, P.E., Akselsson, C. 2017. Utvärdering av Krondroppsnätet ur ett regionalt perspektiv. IVL Rapport C 261

Pleijel, H., Grundström, M., Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E. & Chen, D. 2016. A method to assess the inter-annual weather-dependent variability in air pollution concentration and deposition in south-west Sweden based on weather typing. *Atmospheric Environment* 126, 200-210.



- SLU, 2011. Skogsdata 2011 – Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen - Tema: Fält- och bottenskiiktsvegetation i Sveriges skogar. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. ISSN 0280-0543.
- Waldner, P., Marchetto, A., Thimonier, A., Schmitt, M., Rogora, M., Granke, O., Mues, V., Hansen, K., Pihl Karlsson, G., Zlindra, D., Clarke, N., Verstraeten, A., Lazdins, A., Schimming, C., Jacoban, C., Lindroos, A.-J., Vanguelova, E., Benham, S., Meesenburg, H., Nicolas, M., Kowalska, A., Apuhtin, V., Nappa, U., Lachmanov, Z., Kristoefel, F., Bleeker, A., Ingerslev, M., Vesterdal, L., Molina, J., Fischer, U., Seidling, W., Jonard, M., O'Dea, P., Johnson, J., Fischer, R. & Lorenz, M. 2014. Detection of temporal trends in atmospheric deposition of inorganic nitrogen and sulphate to forests in Europe. *Atmospheric Environment* 95, 363-374.
- Waldner, P., Thimonier, A., Graf Pannatier, E., Eitzvold, S., Schmitt, M., Marchetto, A., Rautio, P., Derome, K., Nieminen, T., Nevalainen, S., Lindroos, A.-J., Merilä, P., Kindermann, G., Neumann, M., Cools, N., De Vos, B., Roskams, P., Verstraeten, A., Hansen, K., Pihl Karlsson, G., Dietrich, H.-P., Raspe, S., Granke, O., Fischer, R., Iost, S., Lorenz, M., Sanders, T.G.M., Michel, A., Nagel, H.-D., Scheuschner, T., Simoncic, P., Von Wilpert, K., Meesenburg, H., Fleck, S., Ingerslev, M., Gundersen, P., Stupak, I., Vesterdal, L., Jonard, M., Clarke, N., Benham, S., Vanguelova, E., Potocic, N. & Minaya, M. 2015. Exceedance of critical loads and of critical limits impacts tree nutrition across Europe. *Annals of Forest Science*, Volume 72, Issue 7, pp 929-939.
- Yu, L., Belyazid, S., Akselsson, C., van der Heijden, G., Zanchi, G., 2016. Storm disturbances in a Swedish forest - A case study comparing monitoring and modelling. *Ecological Modelling* 320, 102-113.
- Yu, L., Zanchi, G., Akselsson, C., Wallander, H., Belyazid, H., 2018. Modeling the forest phosphorous nutrition in a southwestern Swedish forest site. *Ecological Modelling* 369, 88-100.
- Zanchi, G., Belyazid, S., Akselsson, C., Yu, L., 2014. Modelling the effects of management intensification on multiple forest services: a Swedish case study. *Ecological Modelling* 284, 48-59.

Webbplatser:

<http://krondroppsnatet.ivl.se/>

<https://www.ivl.se/>

<http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/>

<http://www.naturvardsverket.se/Kalendarium/Dokumentation-fran-seminarier/Miljoovervakningsdagarna-27-28-september/>

<http://www.scac.se/>

[http://www.ceip.at/ms/ceip\\_home1/ceip\\_home/webdab\\_emepdatabase/reported\\_emissiondata/](http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/reported_emissiondata/)



## Bilaga 1. Stationsvis redovisning

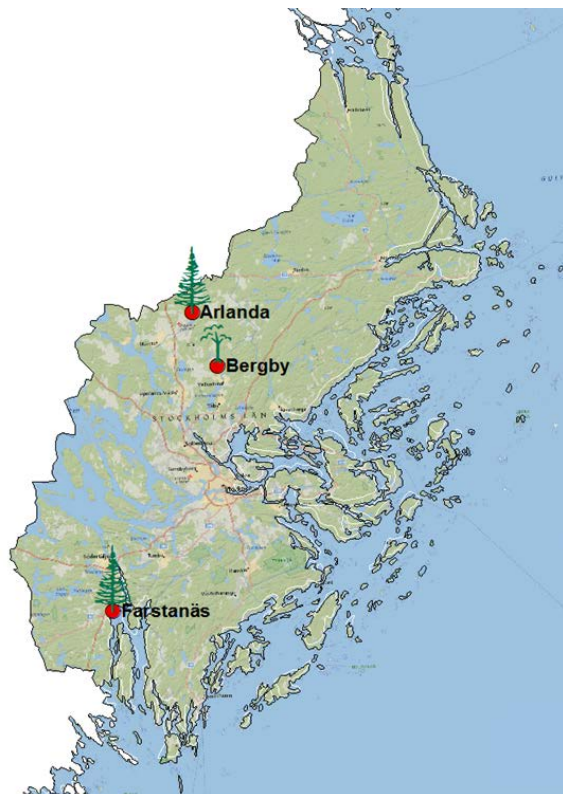
I Stockholms län fanns under 2016/17 tre aktiva lokaler inom Krondroppsnetet (Tabell B1). Här presenteras resultat från årets mätningar vid de tre lokalerna i Stockholms län tillsammans med resultat från tidigare års mätningar. Nedan visas även lufthaltsdata från Svenska Högarna.

För deposition redovisas data som medelvärde för hydrologiskt år. För markvattendata visas alla tre markvattenprovtagningarna som genomförs årligen och som avses representera förhållandena före, under samt efter vegetationsperioden. Lufthaltsdata redovisas halvårsvis. Data från Krondroppsnetet är fritt tillgängliga från Krondroppsnetets webbplats: <http://www.krondroppsnetet.ivl.se/>. På webbplatsen finns även kontaktuppgifter.

Undersökningarna är ett resultat av ett lagarbete där provtagning utförs av Katrine Andersson och Henrik Larsson. På IVL har P. Andersson skött kontakter med provtagare medan främst J. Ekström, L. Björnberg, C. Hållinder-Ehrencrona, P. Andersson, S. Honkala och V. Andersson har analyserat proverna. Databasen har skötts av G. Malm. Datagranskning, databehandling och rapportering av resultaten har utförts av C. Akselsson, P. E. Karlsson, S. Hellsten samt G. Pihl Karlsson.

**Tabell B1.1.** Aktiva ytor i Stockholms län 2016/17.

Lokal	Dominerande trädslag	Öppet fält	Kron-dropp	Mark-vatten	Lufthalter			
					SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>
Bergby (A 01)	Tall	X	X	X	X	X	X	X
Farstanäs (A 35)	Gran	X	X	X	X	X	X	X
Arlanda (A 92)	Gran	X	X	X				



Mätplatser som ingår i denna rapportering för Stockholms län. Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

**Nedan presenteras kort de olika mätplatserna:**

---

**Bergby (A 01):** Provyta med tallskog med inslag av gran, planterad 1930, Vallentuna kommun. Marktypen, är en sandig-moig morän och jordmån av övergångstyp. Mätningar av deposition och markvatten i skogsytan samt deposition i en närliggande yta på öppet fält startade i oktober 1996.

---

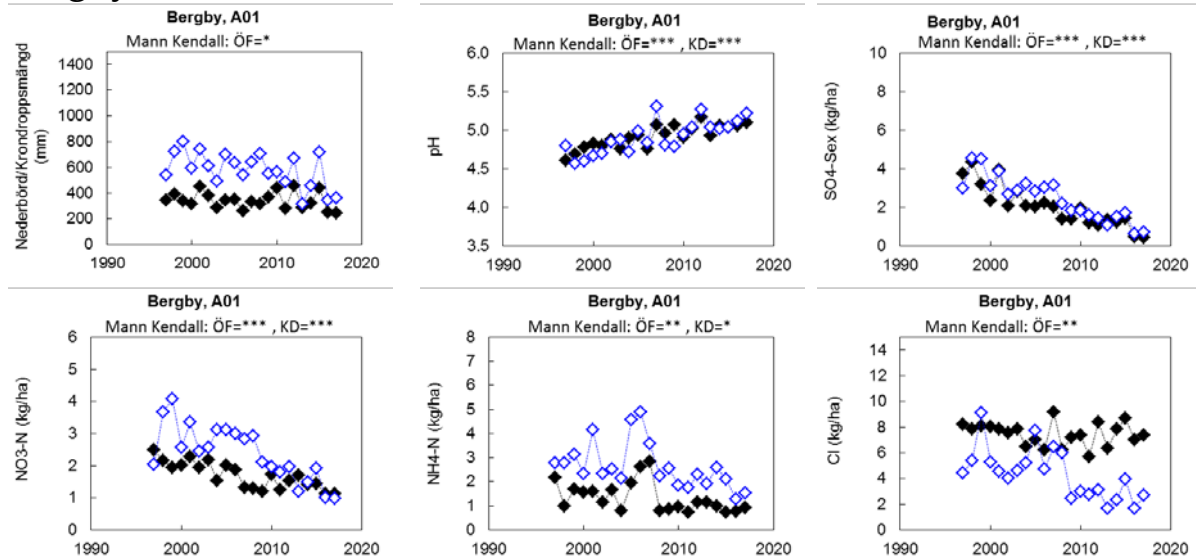
**Farstanäs (A 35):** Granskog i Södertälje kommun, planterad ca 1900. Provytan ligger i sluttning mot norr, jordarten är svallsand och jordmånen brunjord av övergångstyp. Jämfört med övriga granytor i länet har beståndet hög bonitet. Mätning av deposition och markvatten startade 1992.

---

**Arlanda (A 92):** Skog med ett blandbestånd av tall och gran, planterad ca 1935. Provytan är belägen på plan mark i Sigtuna kommun nordost om Arlanda flygplats. Mätningarna ingår i Swedavias omgivningskontroll. Mätningarna av deposition (krondropp och över öppet fält) och markvattenkemi startade 1994.

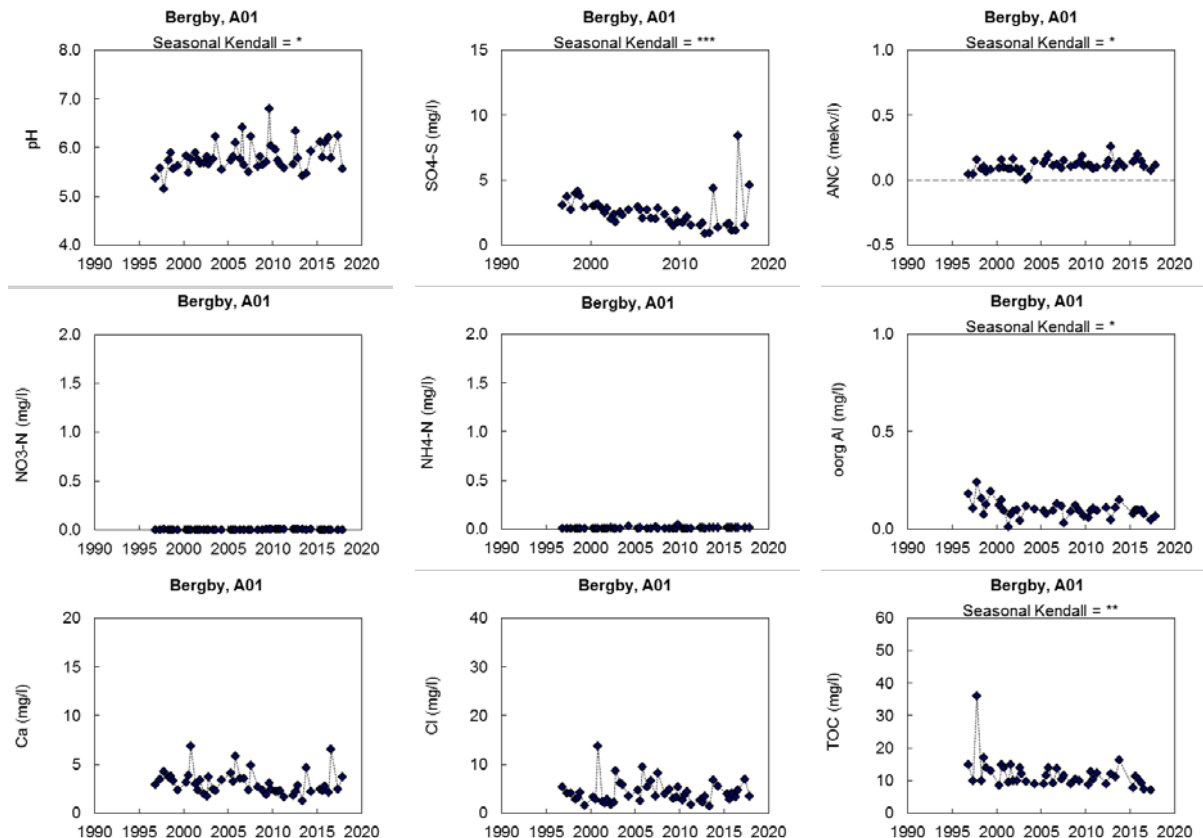
---

## Bergby (A 01):

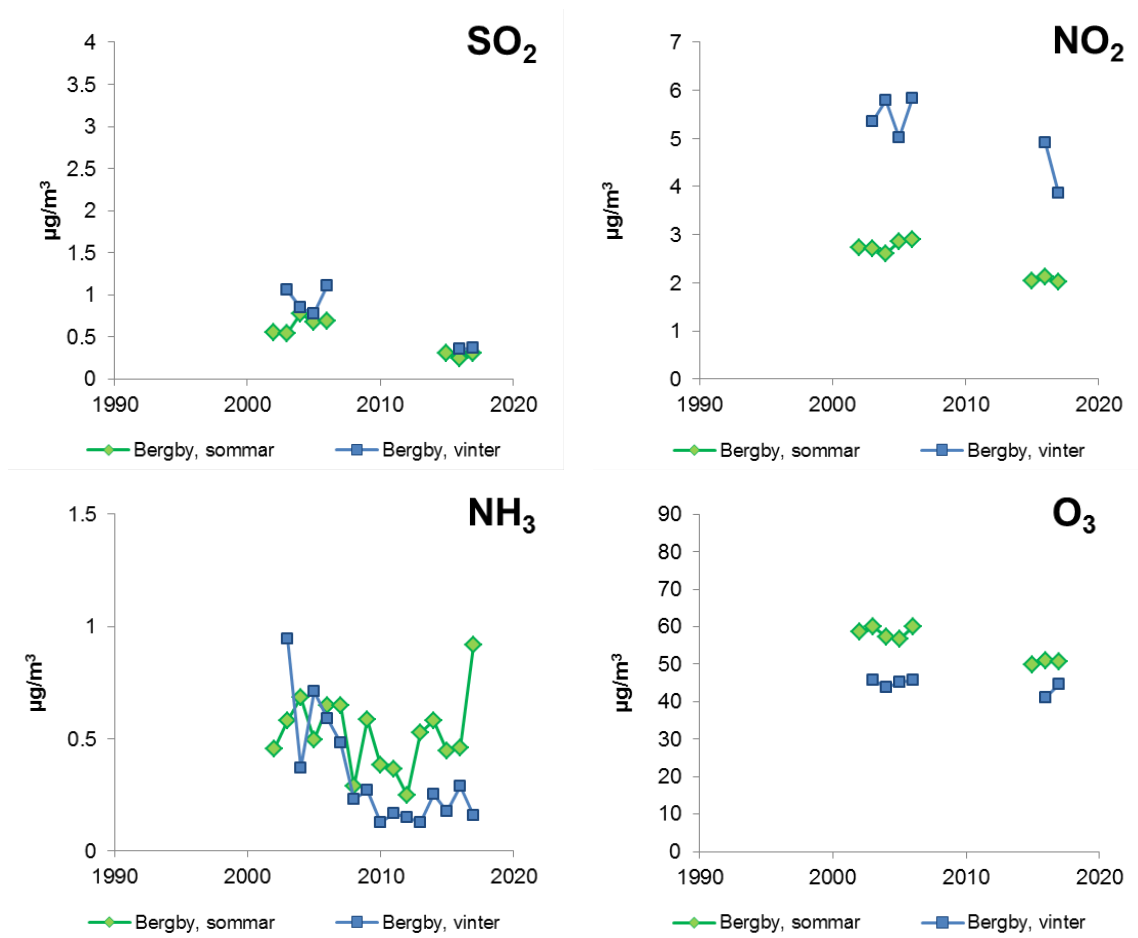


- ◆ - Krondropp (KD)
- ◇ - Öppet fält (ÖF)

**Figur B1.1.** Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Bergby, A 01. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag ( $\text{SO}_4\text{-S ex}$ ), nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ); ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

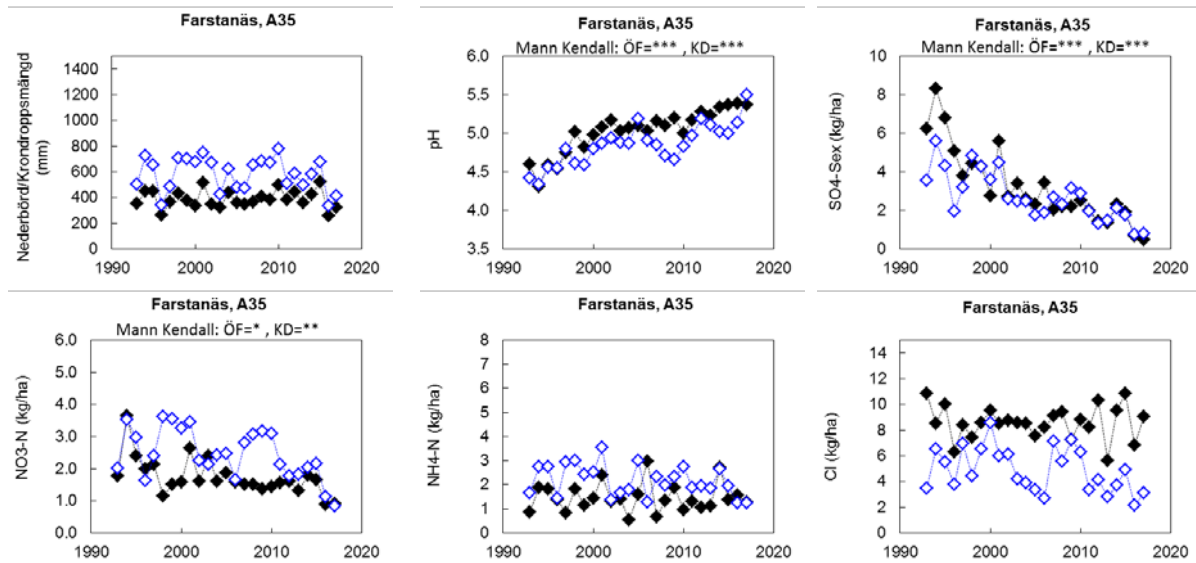


**Figur B1.2.** Markvattenkemi vid Bergby, A 01: pH, sulfatsvavel ( $\text{SO}_4\text{-S}$ ), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt ( $\text{Ca}^{2+}$ ), klorid (Cl) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



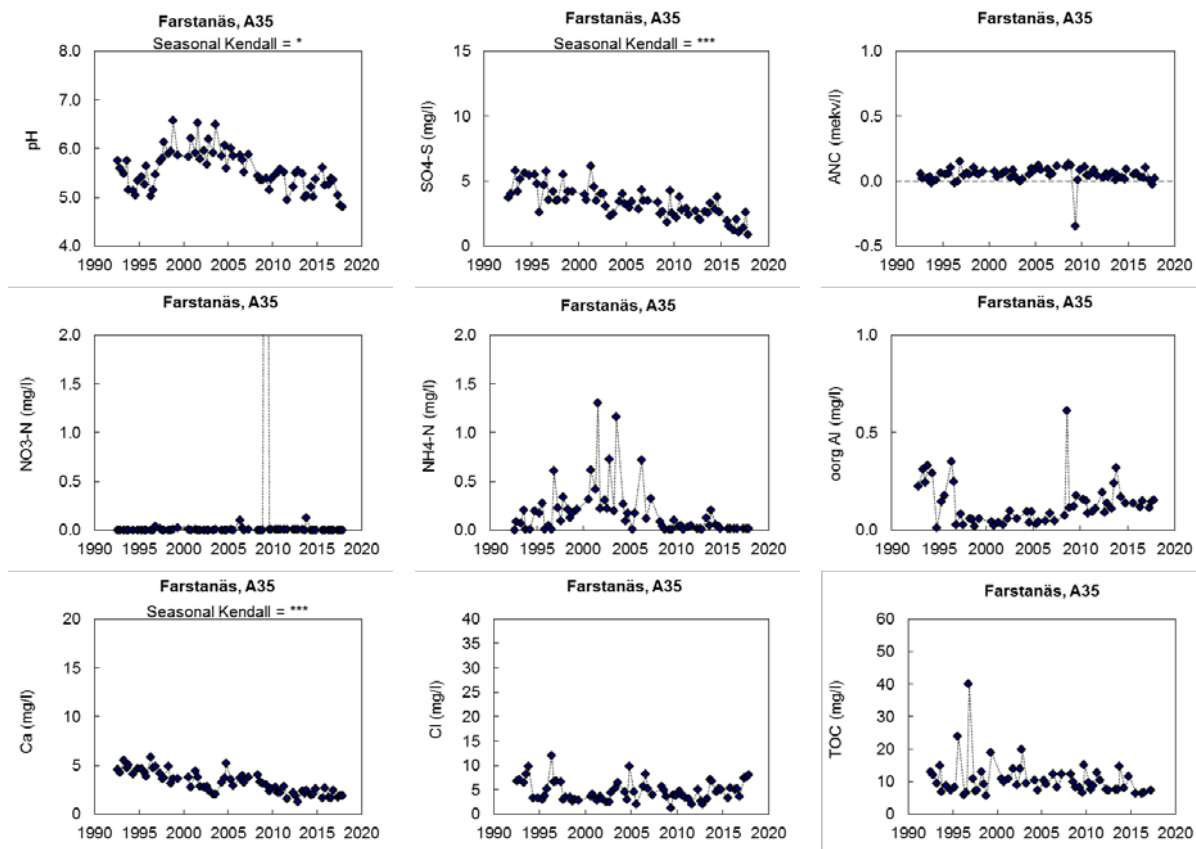
**Figur B1.3.** Lufthalter vid Bergby (A 01). Värden anges för svaveldioxid (SO<sub>2</sub>), kvävedioxid (NO<sub>2</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) och ozon (O<sub>3</sub>).

## Farstanäs (A 35):

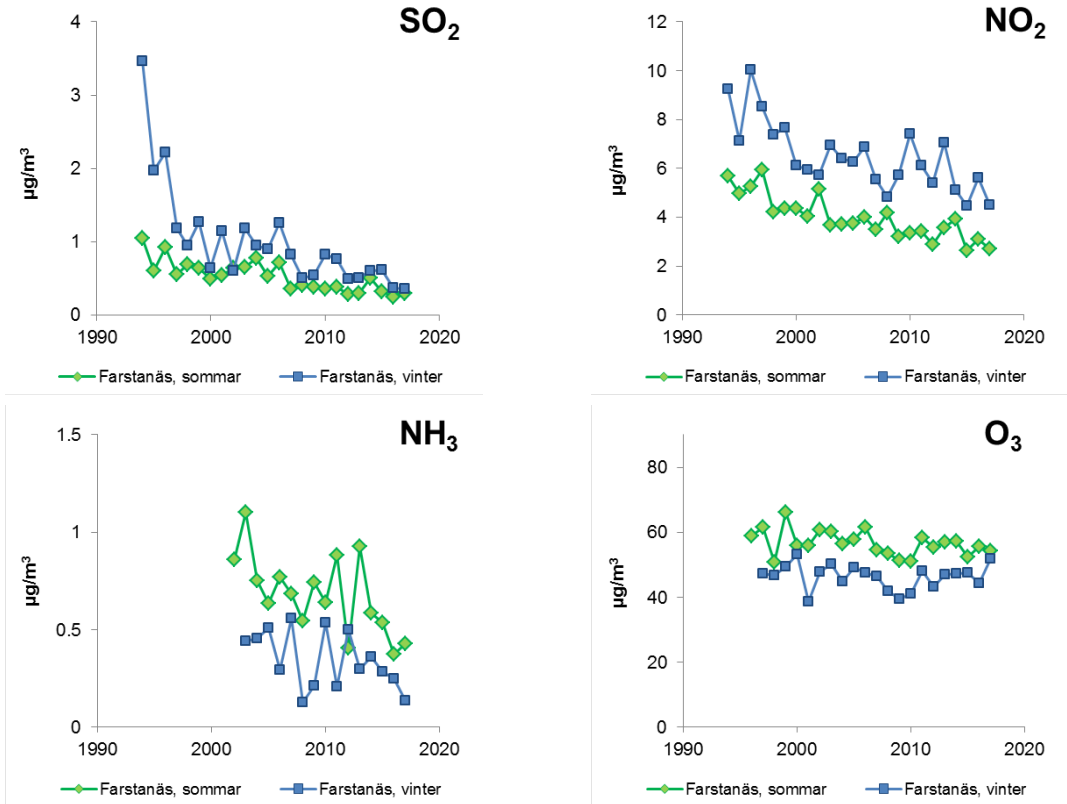


- ◆ - Krondropp (KD)    - ◇ - Öppet fält (ÖF)

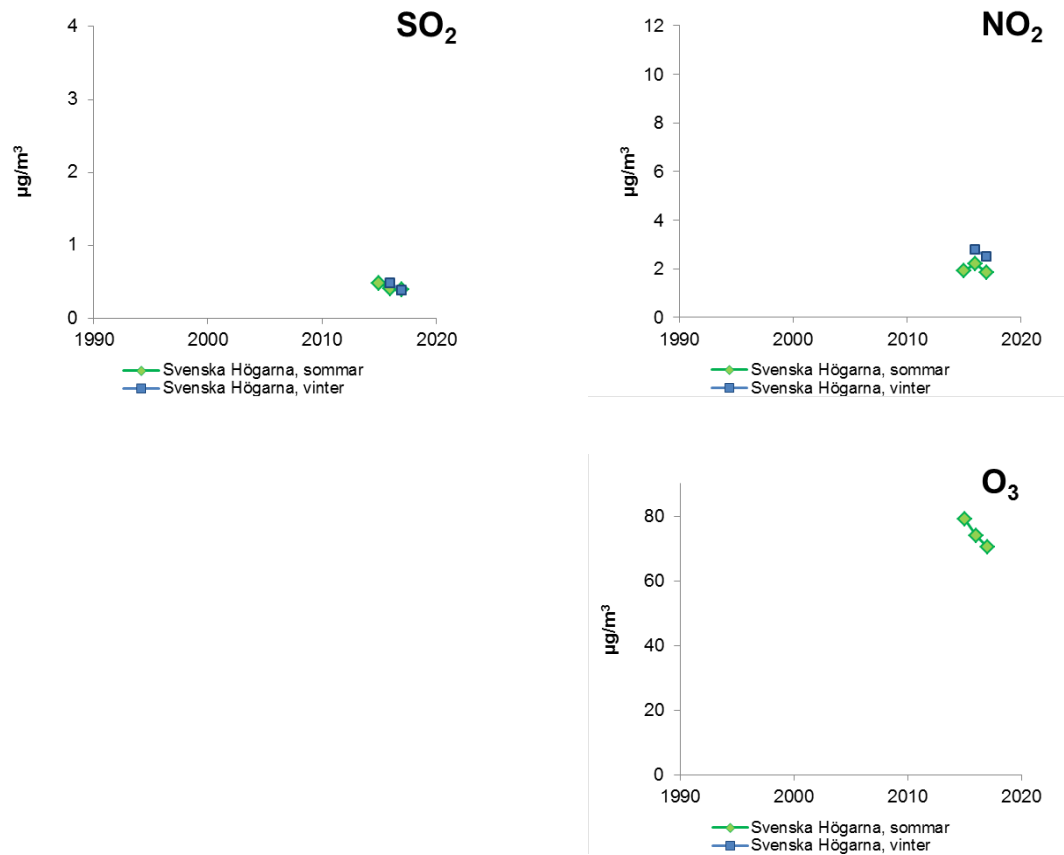
**Figur B1.4.** Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Farstanäs, A 35. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag ( $\text{SO}_4\text{-S ex}$ ), nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ); ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ); kloridjoner ( $\text{Cl}$ ). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



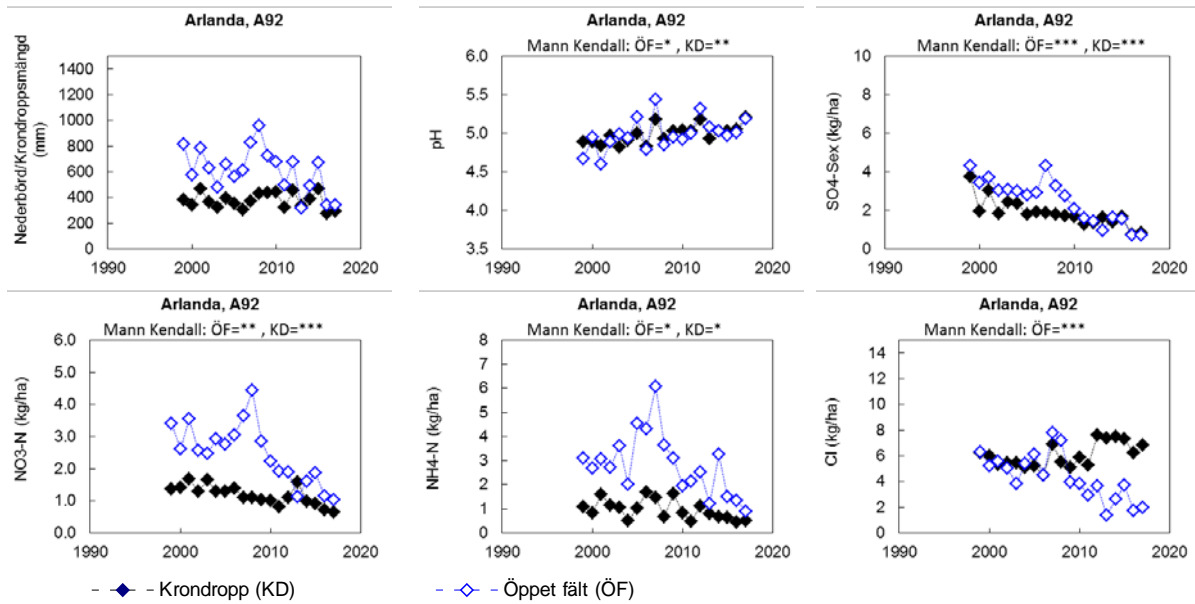
**Figur B1.5.** Markvattenkemi vid Farstanäs, A 35: pH, sulfatsvavel ( $\text{SO}_4\text{-S}$ ), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt ( $\text{Ca}^{2+}$ ), klorid ( $\text{Cl}$ ) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



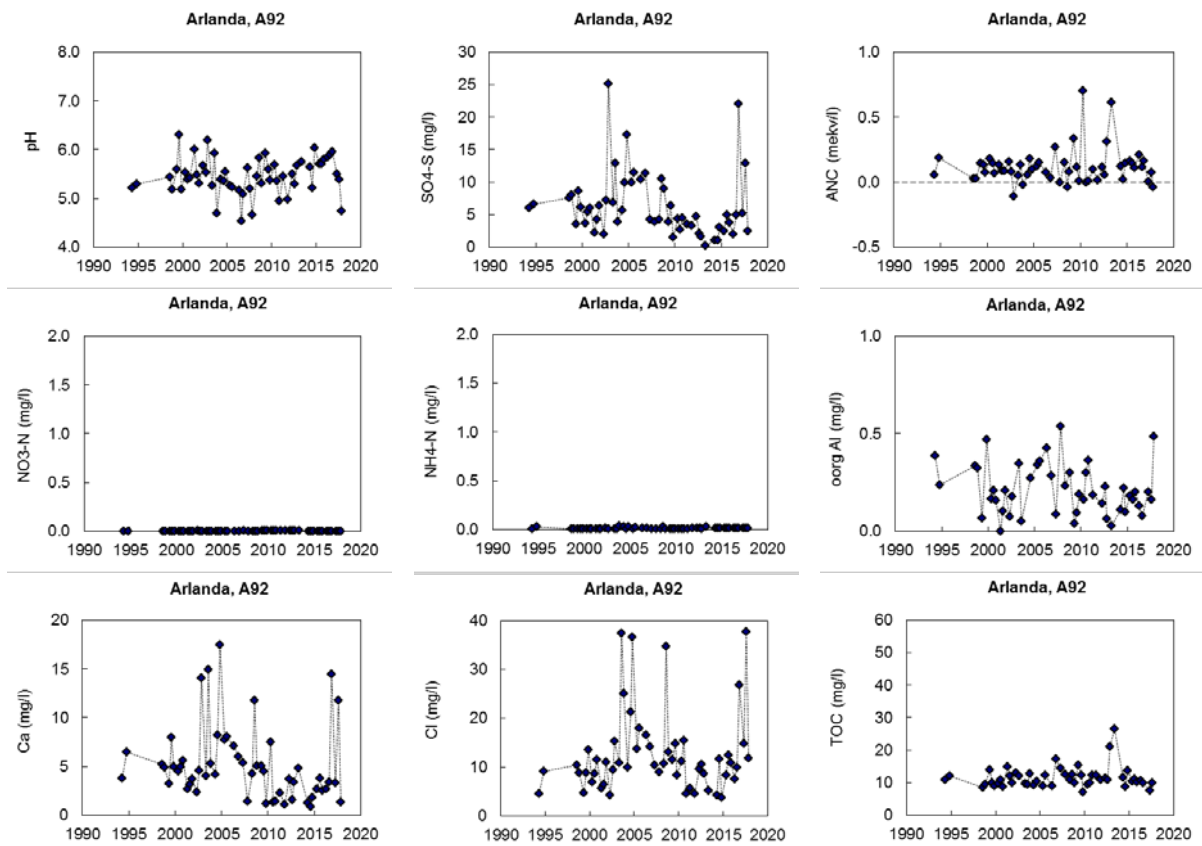
Figur B1.6. Lufthalter vid Farstanäs (A 35). Värderna anges för svaveldioxid (SO<sub>2</sub>), kvävedioxid (NO<sub>2</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) och ozon (O<sub>3</sub>). Som jämförelse visas nedan halvårsmedel för SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> och O<sub>3</sub> vid Svenska Högarna.



## Arlanda (A 92):



**Figur B1.7.** Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Arlanda, A 92. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO<sub>4</sub>-S ex), nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N); ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



**Figur B1.8.** Markvattenkemi vid Arlanda, A 92: pH, sulfatsvavel (SO<sub>4</sub>-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N), ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca<sup>2+</sup>), klorid (Cl) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



LUNDS  
UNIVERSITET



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm  
Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)