

Nr C 319
Maj 2018

Tillståndet i skogsmiljön i Skåne 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: Skånes luftvårdsförbund samt Länsstyrelsen i Skåne

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

Rapportnummer C 319

ISBN 978-91-88787-62-0

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

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

Förord

På uppdrag av Skånes Luftvårdsförbund och Länsstyrelsen i Skåne genomför IVL Svenska Miljöinstitutet i samarbete med Lunds universitet mätningar inom Krondroppsnetet.

Skåne län har haft mätningar inom Krondroppsnetet under 30 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.

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

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

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	6
1 Krondroppsnetzets mätningar	7
2 Kvävenedfall och dess effekt på övergödning.....	9
2.1 Kvävenedfallet påverkar markvegetation och vattenkvalitet	9
2.2 Lufthalter av kvävedioxid och ammoniak.....	9
2.3 Kvävenedfall i Skåne	11
2.4 Kvävenedfall i Sverige & Europa.....	13
2.5 Nitrat i markvattnet i Skåne	15
2.6 Nitrat i markvatten i Sverige och Europa	16
3 Försurning.....	18
3.1 Försurning av mark och vatten – en effekt av svavel- och kvävenedfall samt skogsbruk.....	18
3.2 Lufthalter av svaveldioxid.....	19
3.3 Svavelnedfall i Skåne	19
3.4 Svavelnedfall i Sverige och Europa.....	20
3.5 Försurning av markvattnet i Skåne.....	22
3.6 Försurning av markvattnet i Sverige och Europa	26
4 Aktuellt & notiser.....	28
4.1 Reviderat Takdirektiv	28
4.2 Nya miljömålsindikatorer	29
4.2.1 Ny indikator för totalt kvävenedfall till skog inom miljö kvalitetsmålet <i>Ingen övergödning</i> ...	29
4.2.2 Ny indikator för skogsbrukets försurningspåverkan	30
4.2.3 Markvattendata från Krondroppsnetzets i miljömålsindikatorn Försurad skogsmark	30
4.3 Utvärderingar	31
4.3.1 Fortsatt utvärdering inom PO Luft efter 2017	31
4.3.2 Förstudie 2017 - Regional utvärdering av Krondroppsnetzets	31
4.3.3 Generell översyn av svensk miljöövervakning under 2018.....	31
4.4 Aktuella möten 2017	32
4.4.1 Krondroppsnetzets, 29:e november 2017, Göteborg	32
4.4.2 Miljöövervakningsdagarna, 27-28 september 2017, Tranås	32
4.4.3 Representation från Krondroppsnetzets vid konferensen BIOGEOMON	33
4.5 Aktuell forskning/specialprojekt som berör Krondroppsnetzets	34
4.5.1 Påverkan av marknära ozon och kvävenedfall på den årliga tillväxten hos skog i södra Sverige.....	34
4.5.2 Slutavverkning – hur påverkas avrinnande vatten?.....	35
4.5.3 Mätning av torrdeposition till mätutrustningen på öppet fält - RUT-försöket	35
4.5.4 Nedfallet med nederbörden sedan 1955.....	35
4.6 Vetenskapliga artiklar 2013-2018.....	36
5 Tack.....	37
6 Referenser.....	37

Bilaga 1. Stationsvis redovisning.....	40
----------------------------------------	----

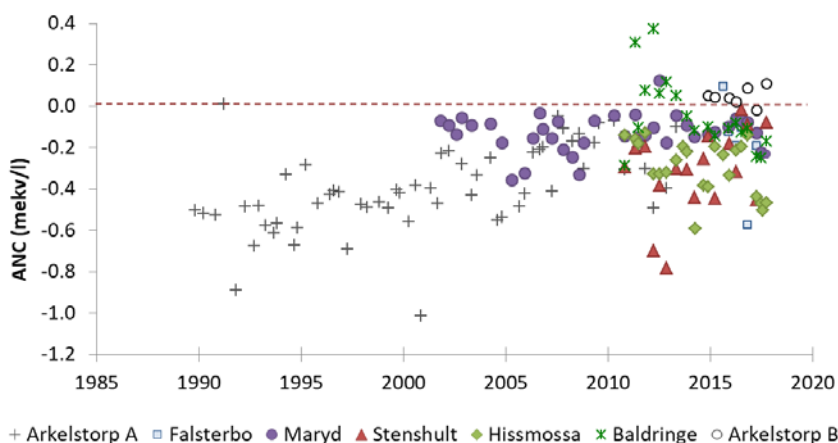
Sammanfattning

Utsläpp av svavel och kväve i Europa under många decennier har orsakat försurning av mark och vatten i Sverige, och även bidragit till övergödningen. Skåne tillhör den del av Sverige som tagit emot mest nedfall. Sveriges utsläpp av svavel har minskat med 84 % mellan 1990 och 2016, medan motsvarande minskning för nitrat- och ammoniumkväve varit 53 % respektive 12 %. Inom Krondroppsnetet följs effekterna på lufthalter, nedfall och markvattenkemi upp.

Svavelnedfallet till skog har minskat kraftigt i Skåne, i enlighet med utsläppsminskningarna, från mellan 20 och 30 kg per hektar och år i mitten av 1980-talet, till mellan knappt 2 och 5 kg per hektar och år de senaste två åren. Dagens nivåer är avsevärt lägre än i Centraleuropa, där nedfallet också minskat kraftigt men fortfarande uppgår till mer än 10 kg per hektar och år på vissa platser. Även lufthalterna av svaveldioxid har minskat signifikant, med cirka 60 % under de senaste 20 åren.

Det totala nedfallet av kväve till skogsmark i Skåne har beräknats till mellan 8 och över 16 kg per hektar och år för 2016/17, och nedfallet överstiger därmed kritisk belastning av kväve både för barrskog, 5 kg per hektar och år, och lövskog, 10 kg per hektar och år, vid vissa platser. Det förhöjda kvävenedfallet har ökat risken för kväveutlakning från skogsmark, vilket även kan bidra till försurningen. När det gäller lufthalterna av kvävedioxid har de minskat signifikant med i storleksordningen 35 % under den senaste 20-årsperioden.

Markvattnet i Skåne visar vissa svaga tecken på återhämtning från försurning. På flertalet aktiva och gamla ytor har ANC varit negativt vid de flesta mätningar (aktiva ytor samt gamla ytan i Arkelstorp visas i figuren nedan), och pH har generellt visat på hög till måttlig surhet enligt bedömningsgrunderna för markförsurning. Vattnet som rinner av från skogsmarken bör ha ett positivt värde för den syraneutraliserande förmågan (ANC), för att bidra till buffringskapacitet i ytvattnet. I Maryd, där mätningar startade 2001, kan ingen signifikant ökning påvisas varken för pH eller för ANC. I den gamla ytan i Arkelstorp, med mätserie från 1989 till 2013, har dock både pH och ANC ökat signifikant, men ANC var fortfarande negativt innan avverkning och pH låg ofta på en nivå som motsvarar hög surhet enligt bedömningsgrunderna för markförsurning. Ytterligare återhämtning krävs för att avrinnande vatten ska kunna förse ytvattnet med buffringskapacitet.



Av de fem ytor som har pågående markvattenprovtagning uppvisar tre bestående förhöjda nitratkvävehalter. Även tidigare år har det funnits ett flertal platser med förhöjda halter, men även platser där halterna varit konstant mycket låga. Mätningar på en avverkad yta, Västra Torup, har visat att avverkning i ett kvävebelastat område kan leda till mycket höga halter av nitratkväve i markvattnet, upp till över 20 mg/l, under ungefär fem år. De höga halterna efter avverkning, och det faktum att det har funnits flera platser med förhöjda nitratkvävehalter i markvattnet, visar att skogsmarken är nära kvävemättnad, och att det finns risk för förhöjd kväveutlakning framöver, framför allt efter störningar.

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 trädkronorna, 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

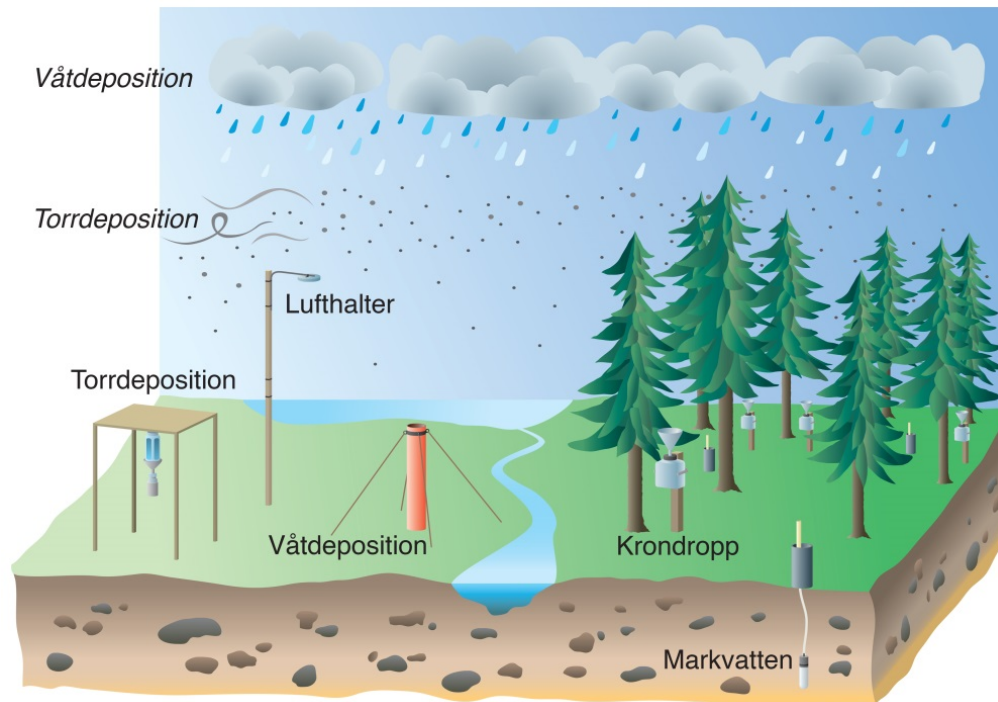
Våtdeposition av flera olika ämnen mäts med nederbördsprovtagare på öppet fält, där även torrdeposition mäts med hjälp av strängprovtagare. Likaså mäts lufthalterna av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon på öppet fält på vissa platser i landet.



Foto: öppet fältprovtagare



lufthaltsprovtagare



Figur 2. Inom Krondroppsnetet 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 Krondroppsnetet 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 Kvävenedfall och dess effekt på övergödning

2.1 Kvävenedfallet påverkar markvegetation och vattenkvalitet

Utsläpp av kväve i form av kväveoxider (NO_x), framför allt från vägtransporter och industrin, och ammoniak (NH_3), som kommer främst från jordbruket, leder till nedfall av kväve som 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. Utsläppen av NO_x i Sverige har minskat med 53 % mellan 1990 och 2016 och ammoniakutsläppen har minskat med 12 % under motsvarande tidsperiod (Naturvårdsverket, 2018). Inom Krondroppsnetet görs årliga uppföljningar av vad detta fått för effekter på lufthalter, nedfall och markvattenkemi.

Övergödning av marken 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 medan ingen förändring har noterats i södra Sverige (SLU, 2011). I södra Sverige har kvävenedfallet varit på en relativt hög nivå under lång tid, och det är troligt att förändringar i markvegetation skett tidigare.

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 till grund- och ytvatten, och bidra till förhöjda nitrathalter i grundvatten och övergödning av ytvatten. I växande skog i Sverige tas oftast i princip allt kväve upp i skogsekosystemen (Akselsson m.fl., 2010). 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 vidare kapitel 3.

Inom Krondroppsnetet mäts lufthalter och nedfall av kväve samt markvattenkemi, som kan ses som ett mellansteg mellan mark och ytvatten. Markvattnet provtas på ett djup av 50 cm, och har alltså lämnat rotzonen och är på väg ut mot ytvattnet, även om det utsätts för olika processer på sin väg mot ytvattnet. På enstaka platser mäts även bäckvattenkemi i anslutning till provytorna, men inga sådana mätningar finns i Skåne.

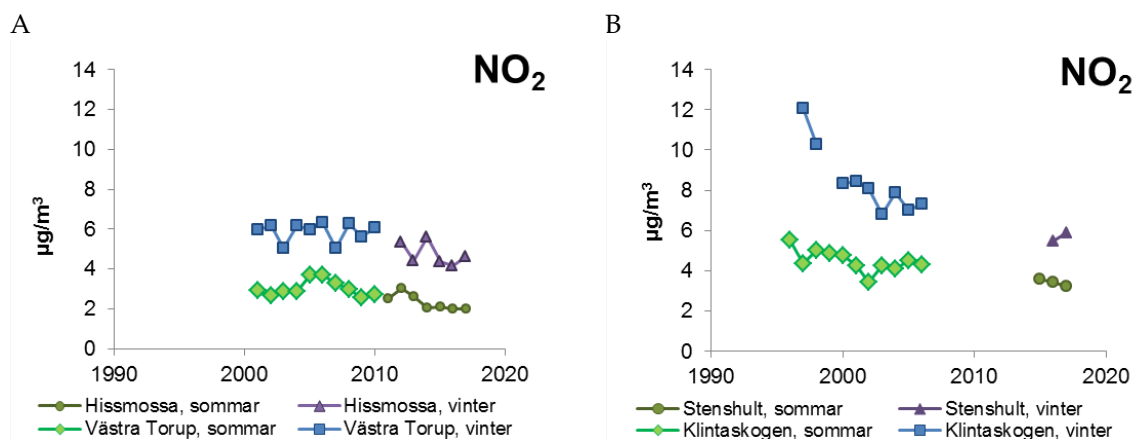
2.2 Lufthalter av kvävedioxid och ammoniak

Månadsvisa mätningar för lufthalter av kvävedioxid (NO_2) och ammoniak (NH_3) har genomförts vid Västra Torup/Hissmossa och Klintaskogen/Stenshult. I Västra Torup flyttades mätutrustningen till den närliggande platsen Hissmossa i samband med att krondroppsytan flyttades på grund av avverkning av skogen 2010. Platsernas karaktär är likartad, vilket gör att lufthalterna är jämförbara, men flytten av mätutrustningen måste beaktas när tidsserien analyseras.

I Klintaskogen/Stenshult avslutades mätningarna i Klintaskogen efter 2006, och mätningarna på den nya ytan i Stenshult påbörjades först 2015. Både Klintaskogen och Stenshult är lokaliserade högt i terrängen på Romeleåsen. Det är ett något längre avstånd mellan Klintaskogen och Stenshult, jämfört med mellan Västra Torup och Hissmossa, men även i detta fall är platsernas karaktär likartad vilket gör att lufthalterna är jämförbara.

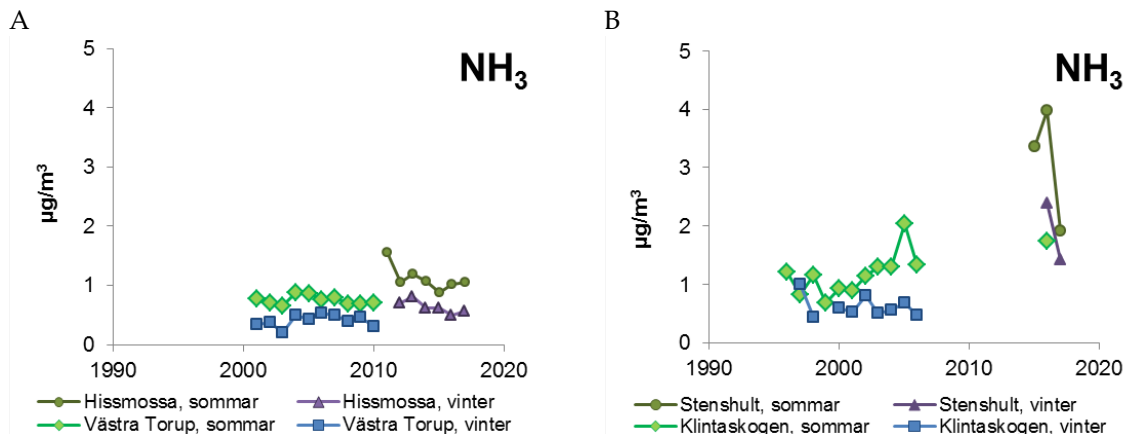
I januari 2017 påbörjades även nya mätningar av kväveoxid (NO) vid Hissmossa samt Stenshult. Detta för att man, tillsammans med NO₂-mätningarna (som skett under lång tid), även skall kunna räkna ut lufthalterna av kväveoxider (NO_x). Resultaten från NO₂-mätningarna visas nedan medan resultaten för NO och NO_x visas i Bilaga 1.

I Figur 3 visas lufthalter av kvävedioxid (NO₂) som medelvärden för sommar- och vinterhalvår för de två mätplatserna. Under perioden 2001-2017 har årsmedelhalter av NO₂ baserat på kalenderår vid Västra Torup/Hissmossa minskat med 34 %. Motsvarande analys för Klintaskogen/Stenshult för perioden 1997-2017 visar på en minskning av kvävedioxidhalten i luften på 36 %. De rapporterade utsläppen av NO_x (som NO₂) från EU-28 har under perioden 2001-2015 minskat med 41 % och under perioden 1997-2015 med 46 % (CEIP, 2018).



Figur 3. Lufthalter av kvävedioxid (NO₂) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår för de två mätplatserna i länet med långa tidsserier. A, Västra Torup/Hissmossa; B, Klintaskogen/Stenshult.

Ammoniak har en hög depositionshastighet och deponeras därför relativt nära utsläppskällan, varvid själva mätplatsens lokalisering spelar en stor roll. Ammoniak förekommer därför sällan med höga halter i bakgrundsluften. Halterna av ammoniak har mätts vid samma platser och tidsperioder som kvävedioxid. Inga nedåtgående trender, motsvarande de för kvävedioxid, finns för ammoniak (Figur 4), i stället har årsmedelhalterna mätt som kalenderår ökat för både Västra Torup/Hissmossa samt Klintaskogen/Stenshult. Detta beror dock troligtvis på flytten av mätutrustningen då de nya platserna är mer exponerade för lokala utsläpp av ammoniak från jordbruksverksamhet. De rapporterade utsläppen av NH₃ från EU-28 har minskat med 11 % under 2001-2015 och med 14 % under perioden 1997-2015 (CEIP, 2018).



Figur 4. Lufthalter av ammoniak (NH₃) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår för de tre mätplatserna i länet med långa tidsserier. A, Västra Torup/Hissmossa; B, Klintaskogen/Stenshult.

2.3 Kvävenedfall i Skåne

Krondroppsmätningar 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. Därför redovisas här nedfallet av oorganiskt kväve i länet som våtdeposition med nederbörden till öppet fält. Vid beskrivningen av nedfall på nationell nivå visas även totaldeposition till skog, beräknat med hjälp av mätningar med strängprovtagare (se nedan).

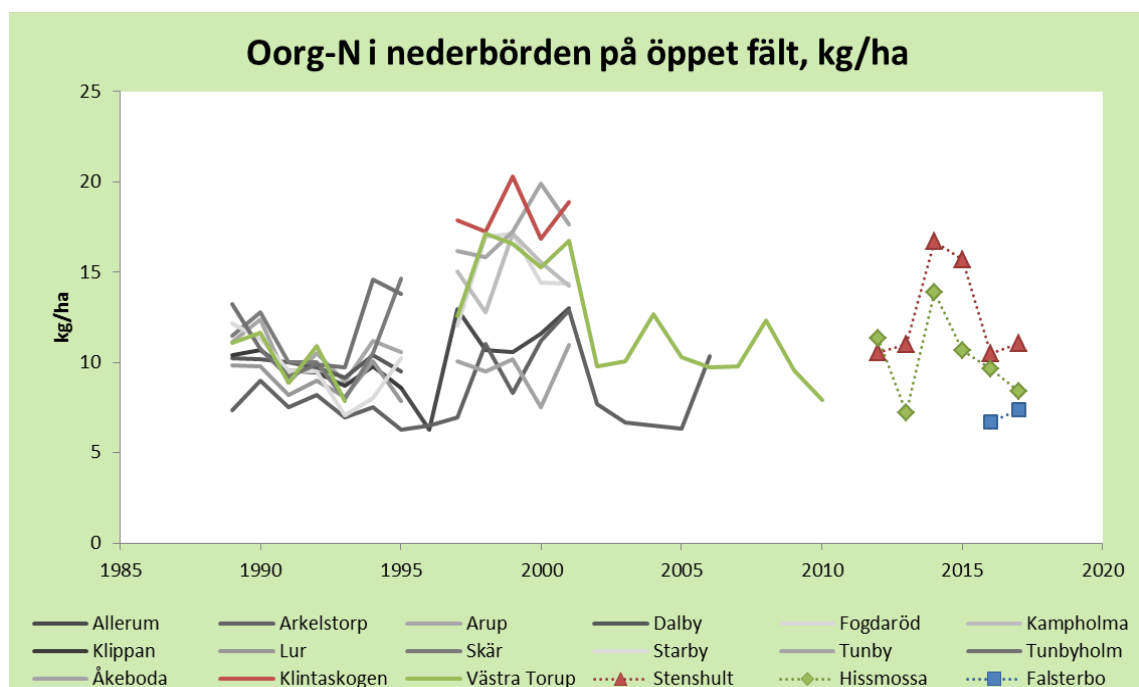
I Skåne gjordes under 2016/17 mätningar på öppet fält på tre platser i Skåne, Hissmossa, Stenshult och Falsterbo. Ingen av dessa platser har själva så långa mätserier att en trendanalys för att se långsiktiga förändringar bör göras. Dock kan en trendanalys göras för mätningarna vid Hissmossa tillsammans med mätningarna vid Västra Torup, då platserna ligger mycket nära varandra, vilket gör att en tidsserie på 29 år kan analyseras. Trendanalysen för de senaste 29 åren visar att det oorganiska kvävenedfallet med nederbörden inte har förändrats signifikant vid Västra Torup/Hissmossa.

En jämförelse av nedfallsnivåer på samtliga platser där mätningar gjorts i länet indikerar att nedfallet varierar mellan åren och mellan platser (mellan 6 och 20 kg per hektar och år), men att det inte finns några tydliga indikationer på förändring över tiden (Figur 5). Mycket av kvävenedfallets variation mellan år och mätplatser beror på variation i nederbördsmängder. År med stora nederbördsmängder har ofta förhållandevis högt nedfall (Figur 6).

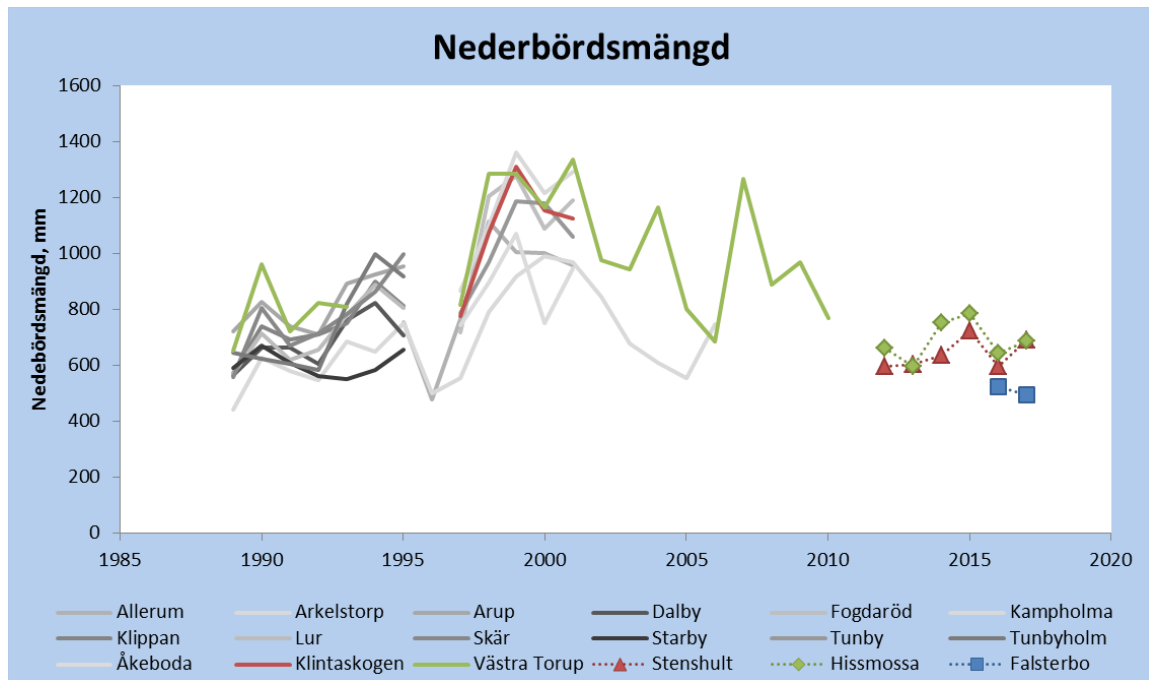
Nedfallet av kväve via krondropp beror på våtdeposition, torrdeposition och interncirkulation. På flertalet mätplatser i Sverige är nedfallet via krondropp lägre eller ungefär lika stort som på öppet fält, eftersom torrdepositionen är förhållandevis låg men mycket av kvävet som hamnar på träden tas upp i kronorna. I Skåne finns två platser där nedfall via krondropp kan jämföras med nedfall på öppet fält, Hissmossa och Stenshult (Bilaga 1). I Hissmossa var kvävenedfallet via krondropp i samma storleksordning som på öppet fält, medan nedfallet via krondropp i Stenshult var högre än nedfallet på öppet fält. Detta kan förklaras av att Stenshult, belägen på Romeleåsen, är extremt exponerad, och att därmed torrdepositionen är högre än upptaget av kväve, vilket innebär högre nedfall via krondropp än på öppet fält.

Totaldepositionen av kväve till skog har beräknats genom att kombinera mätningar med strängprovtagare, mätningar av våtdeposition och mätningar av krondropp, enligt metodik i Karlsson m.fl. (2018b) (Figur 7C). I Skåne beräknades totaldepositionen till mellan 8 och över 16 kg per hektar för 2016/2017, vilket kan jämföras med nedfallet vid de tre aktiva ytorna på öppet fält, Hissmossa, Maryd och Falsterbo, som var mellan 7 och 11 kg per hektar under samma tidsperiod. Skillnaden visar att det är viktigt att beräkna totaldepositionen, för att få ett mått på det totala nedfallet av kväve till skog. Den kritiska belastningen för övergödande kväve som används för Sveriges gran- och tallskogar är satt till 5 kg per hektar och år, medan motsvarande gräns till lövskog är 10 kg N/ha/år (Moldan, 2011).

En trendanalys på beräknad totaldeposition av kväve visar att det totala kvävenedfallet till barrskog i sydvästra Sverige har minskat signifikant under perioden 2001 – 2016, med i storleksordningen 20 % (<http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/>). I arbetet med trendanalysen kunde man se att det totala kvävenedfallet vid Västra Torup varierat mellan 11 och 21 kg per ha och år (kalenderår) under perioden 2001-2010. Att kvävenedfallet inte förändrats så mycket över tid visar de senare mätningarna, under perioden 2011 och 2017, vid den närliggande mätplatsen Hissmossa, där det totala kvävenedfallet varierat mellan 12-22 kg per ha och år. Vid Stenshult varierade det totala kvävenedfallet mellan 15 och 27 kg per ha och år under perioden 2011-2017. Sedan länge finns alltså ett kraftigt överskridande av den kritiska belastningsgränsen till länets löv- och barrskogar, vilket med stor sannolikhet påverkat markvegetationens sammansättning.



Figur 5. Nedfall av oorganiskt kväve (nitrat och ammonium) över öppet fält, vid samtliga ytor i länet inom Krondroppsnetet sedan 1988/89. Nedfallet mäts månadsvis och summeras för hydrologiskt år. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med linjer i grått och svart. Grön linje indikerar att mätningarna vid Västra Torup kan jämföras med mätningarna vid Hissmossa, då de är mycket närliggande. På samma sätt indikerar röd linje för Klintaskogen att mätningarna kan jämföras med mätningarna vid Stenshult.



Figur 6. Nederbördsmängd (mm) vid samtliga mätningar på öppet fält i Skåne län sedan 1988/89. Mätningarna sker månadsvis och summeras för hydrologiskt år. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med linjer i grått och svart. Grön linje indikerar att mätningarna vid Västra Torup kan jämföras med mätningarna vid Hissmossa, då de är mycket närliggande. På samma sätt indikerar röd linje för Klintaskogen att mätningarna kan jämföras med mätningarna vis Stenshult.

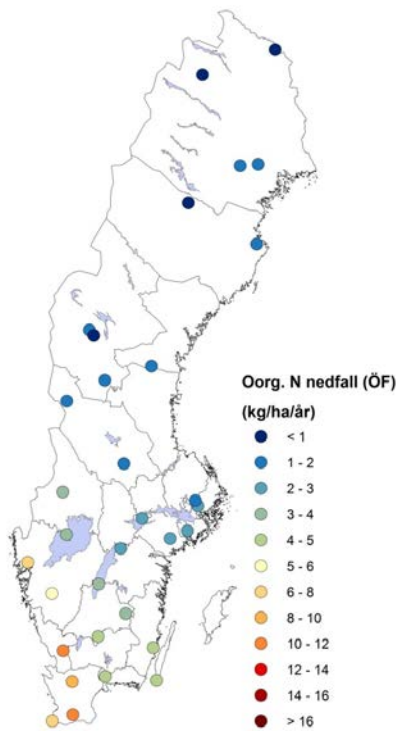
2.4 Kvävenedfall i Sverige & Europa

Nedfallet av kväve i Sverige är högst i sydväst och minskar mot norr. I Skåne och Halland deponerades över 10 kg kväve per hektar under 2016/17 på de värst drabbade platserna. Gradienten i sydvästra Sverige är skarp, och i nordostligaste Götaland var nedfallen mindre än 5 kg per hektar. I mellersta och norra Sverige understeg nedfallet på många platser 2 kg per hektar på (Figur 7A och B).

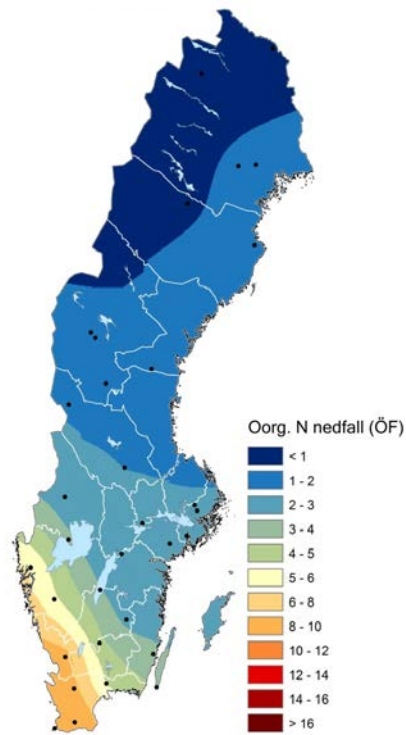
Beräkningarna av det totala kvävenedfallet till barrskog, där både torr- och våtdeposition inkluderas, visar att totaldepositionen i Sverige varierar mellan 1 och 16 kg per hektar och år, vilket är betydligt högre än nedfallet på öppet fält, framför allt i södra Sverige. Enligt beräkningarna av totaldeposition överskreds den kritiska belastningen för övergödande kväve, 5 kg per hektar och år, i nästan hela Götaland och större delen av Värmland under det hydrologiska året 2016/17.

I Figur 8 jämförs nedfallet av oorganiskt kväve på öppet fält i Sverige med övriga Europa (medelvärden för 2014 och 2015). Nedfallet i Skåne och Halland var ovanligt högt under 2014, vilket innebär att det var i nivå med de värst drabbade platserna i Centraleuropa, t.ex. Nederländerna, Schweiz och Österrike. Norra Sverige och hela Finland karakteriseras av ett lågt kvävenedfall, liksom delar av södra Europa samt Baltikum. 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 på öppet fält i norra Sverige aldrig har överskridit ca 4 kg kväve per hektar och år (Ferm m.fl., manuskript). Våtdepositionen av kväve, både nitrat- och ammoniumkväve, kulminerade i mitten av 1980-talet (Ferm m.fl. manuskript).

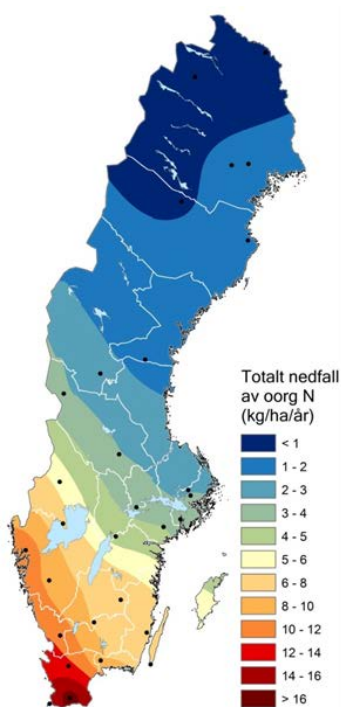
A.



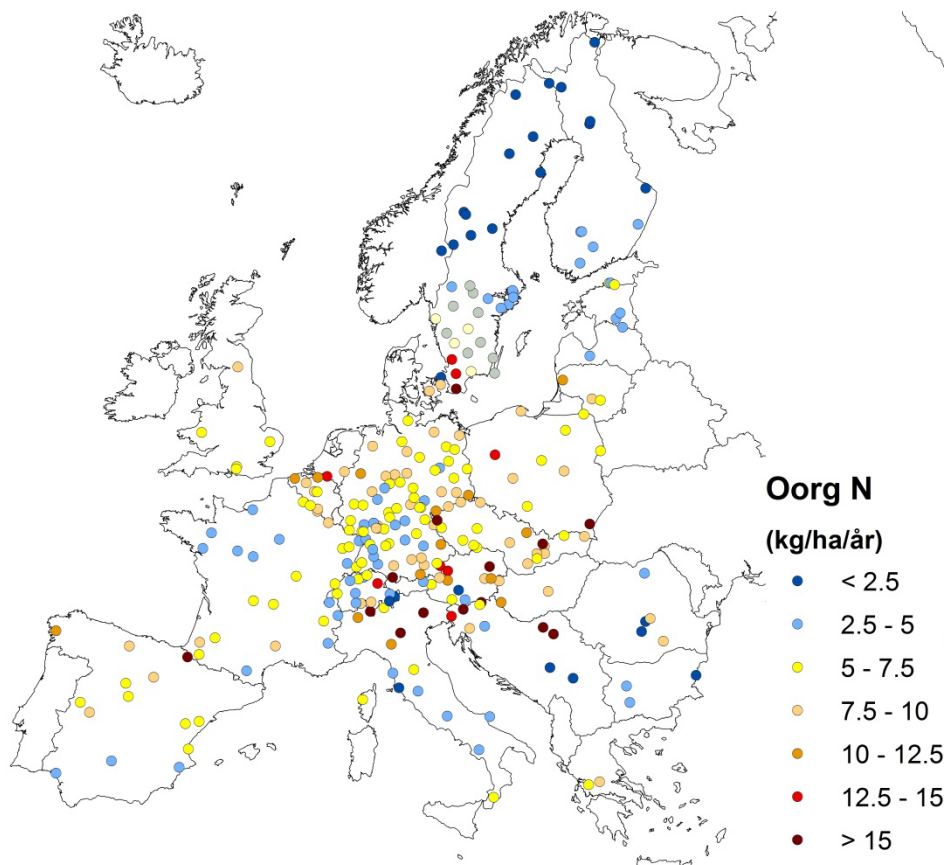
B.



C.



Figur 7. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_3$) 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 resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare (Karlsson m.fl., 2018b).



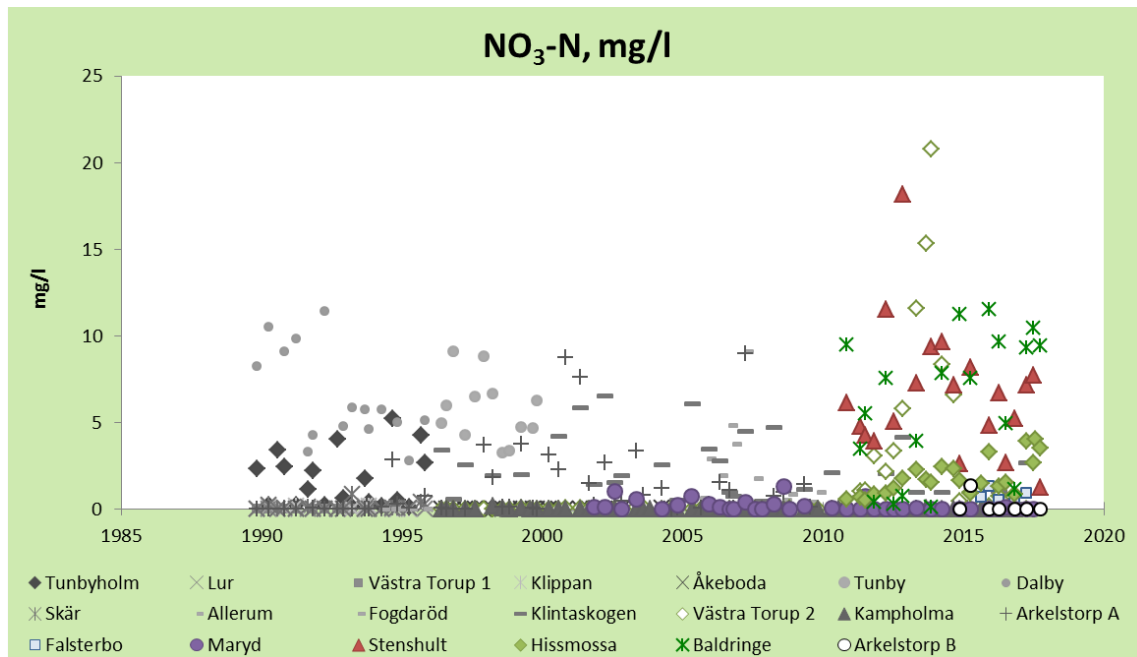
Figur 8. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) till öppet fält i Europa, medelvärden för kalenderåren 2014 och 2015. Data utanför Sverige kommer från ICP Forest, en verksamhet inom konventionen om gränsöverskridande luftföroreningar, CLRTAP. I de flesta fall ligger provtagningen på öppet fält belägen i ett skogslandskap.

2.5 Nitrat i markvattnet i Skåne

Förhöjda halter av nitratkväve i markvattnet kan innebära risk för utlakning till ytvatten och därigenom ge ett bidrag till övergödningen. Dessutom innebär utlakning av nitratkväve försurning, eftersom vätejoner frigörs vid nitrifieringsprocessen.

Av de fem aktiva ytorna med markvattenmätningar i Skåne uppvisar tre förhöjda nitratkvävehalter, Stenshult, Hissmossa och Baldringe (Figur 9). Stenshult uppvisar högst halter, upp till 18 mg/l. Halten nitratkväve i markvattnet vid Stenshult är därmed nästan lika hög som nitrattoppen efter avverkning i den tidigare ytan i Västra Torup.

Drygt hälften av de tidigare mätplatserna har också uppvisat förhöjda nitratkvävehalter: Granytorna Arkelstorp (A-ytan), Allerum, Dalby, Tunby, Tunbyholm och Klintaskogen. Detta kan förklaras av höga halter kväve i marken på grund av högt kvävenedfall. På några av ytorna finns dock även andra bidragande orsaker. I Allerum var halterna låga innan stormen Gudrun 2005, då ytan skadades med förhöjda halter som följd. Även i Klintaskogen kan stormskador från olika stormar ha spelat en roll. I Arkelstorp (A-ytan) var halterna låga i början, men ökade sedan, vilket skulle kunna vara en effekt av gallring som utförts i ytan.

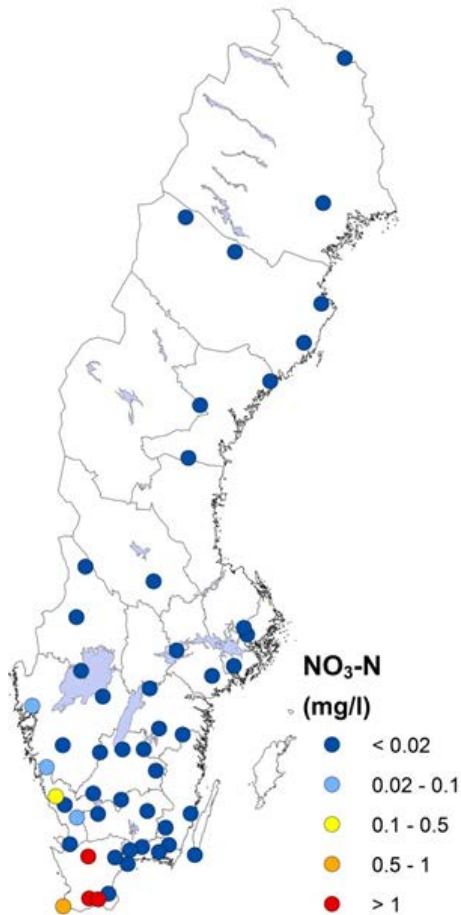


Figur 9. Nitrathalter i markvattnet vid samtliga ytor inom Krondroppsnetet sedan 1989. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växetsäsongen. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart.

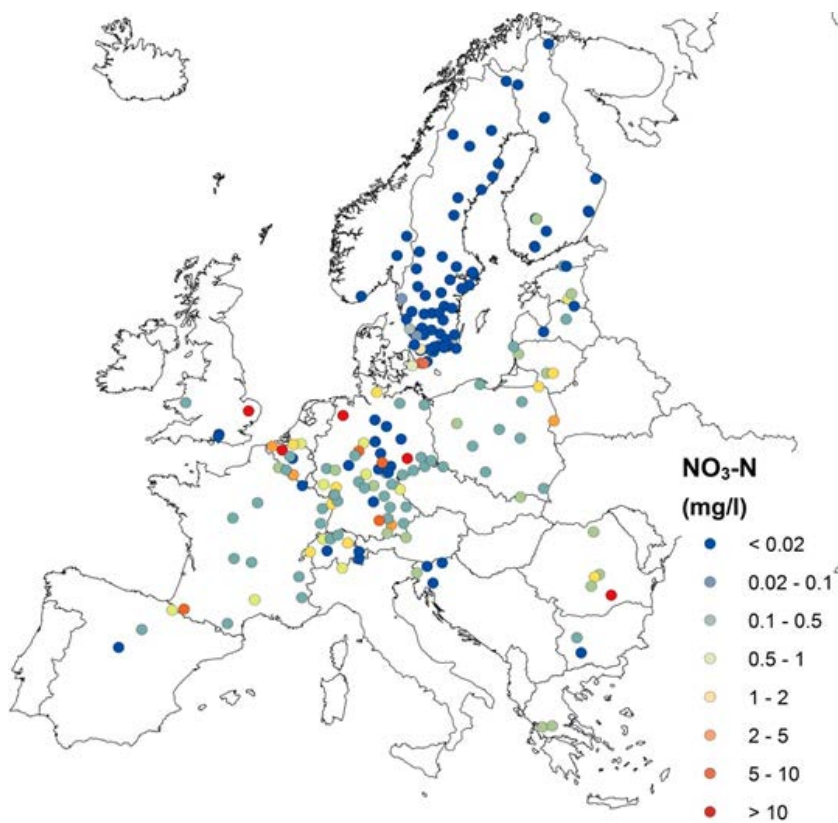
2.6 Nitrat i markvatten i Sverige och Europa

Krondroppsnetets mätningar i Sverige visar att nitratkvävehalterna i markvattnet var mycket låga under perioden 2015-2017 förutom på vissa mätplatser i Skåne och Halland, vilket visar att det kväve som tillförs via nedfall tas om hand av träd och övrig vegetation eller ackumuleras i skogsmarken (Figur 10). Det är dock troligt att det finns andra platser i sydvästra Sverige där marken är mättad eller nära mättad på kväve, bland annat baserat på de förhöjda halter som uppmättes under 1980- och 1990-talen även i andra delar av södra Sverige.

I övriga Europa uppmäts ofta förhöjda halter av nitratkväve, men variationen är stor (Figur 11). Höga halter är vanligast i de centrala delarna av Europa, där nedfallet av kväve varit som störst, men där finns också mätplatser med mycket låga halter. Detta beror troligtvis på skillnader i mark- och skogsegenskaper.



Figur 10. Koncentrationen av nitrat (NO₃-N) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnetet redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar (2015-2017). Ytor med mindre än 3 mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats eller gödslats har tagits bort.



Figur 11. Koncentrationen av nitrat (NO₃-N) i markvattnet (median för 3 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). Observera att skalan är en annan än i Figur 10.

3 Försurning

3.1 Försurning av mark och vatten – en effekt av svavel- och kvävenedfall samt skogsbruk

Utsläpp av svavel (SO_x), främst från förbränning av kol och olja samt olika industriella processer, är den största orsaken till försurningen av mark och vatten som skett i Sverige. En annan bidragande faktor är kvävenedfall (kapitel 2), som har större relativ betydelse nu eftersom svavelemissionerna minskat mycket mer än kväveemissionerna. Utsläppen av SO_x har minskat med 84 % mellan 1990 och 2016 (Naturvårdsverket, 2018). 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. Detta har föranlett en ny indikator inom miljömålet *Bara naturlig försurning* som används från och med 2018. I Krondropps nätet följs nedfall av svavel och kväve upp, samt dess effekter på markvattenkemi. Nedfall av kväve redovisas i kapitel 2.3-2.4 medan nedfall av svavel och effekter i markvattnet redovisas nedan.

Surt nedfall leder till att marken utarmas på kationerna kalcium, magnesium, kalium och natrium, genom att vätejoner byter plats med dessa på markpartiklarna. Det gör att marken blir försurad, och motståndskraften mot ytterligare försurning minskar. Kalcium, magnesium och kalium är även viktiga näringsämnen, och en utarmning av dessa kan på sikt leda till negativa effekter på träd och vegetation. Vid låga pH omvandlas även aluminium till en giftig trevärd jon, som i för höga halter kan skada trädens rötter. En ytterligare effekt av låga pH är att vissa metaller, t. ex kadmium och bly, blir mer lösliga i marken och kan läcka ut till ytvattnet.

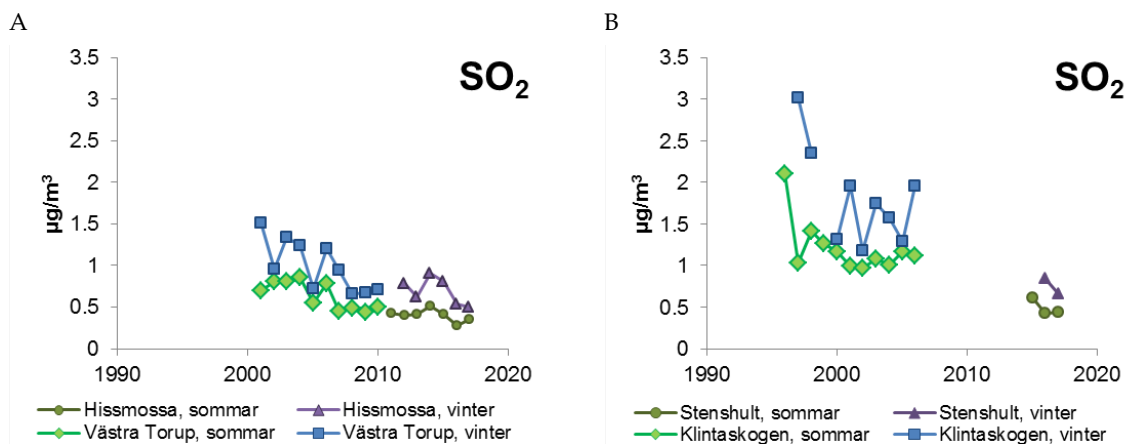
Effekterna i sjöar och vattendrag har varit mer påtagliga än effekterna i mark i Sverige. När vattnet som rinner genom skogsmarken når ytvattnet bör det ha en betydande syraneutraliserande förmåga (ANC – Acid Neutralizing Capacity), så att det finns en buffringskapacitet i ytvattnet och pH inte sjunker. Om vattnet rinner genom sur mark kan det dock ha mycket låg eller ingen syraneutraliserande förmåga. Detta leder till sänkt pH och förhöjda halter av trevärt 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 $\text{pH} 5,2$ (Degerman m.fl., 2015), till följd av ökade halter av den toxiska aluminiumformen.

Inom Krondropps nätet mäts lufthalter, nedfall av svavel och kväve, samt markvattenkemi, som kan ses som ett mellansteg mellan mark och ytvatten. Lufthalter, nedfall och markvattenkemi för kväve presenteras i kapitel 2, medan lufthalter och nedfall av svavel samt effekter på försurning i markvattnet presenteras nedan.

3.2 Lufthalter av svaveldioxid

I grunden har förurningens orsakats av transporten av svavel med vindarna från utsläppskällor till svensk skogsmark. Liksom för kväveoxider finns det långa värdefulla tidsserier av lufthalter av svavel (SO_2) på månadsbasis inom länet om man lägger ihop resultat från närliggande mätplatser. Långa tidsserier av lufthaltsmätningar på månadsbasis finns precis som för kvävedioxid och ammoniak vid Västra Torup/Hissmossa och Klintaskogen/Stenshult (se kapitel 2.2).

I Figur 12 visas lufthalter av svaveldioxid (SO_2) som medelvärden för sommar- och vinterhalvår för de två mätplatserna där det finns tidsserier i länet. Under perioden 2001-2017 har årsmedelhalterna av SO_2 baserat på kalenderår vid Västra Torup/Hissmossa minskat med 59 %. Motsvarande analys för Klintaskogen/Stenshult visar också på en minskning av svaveldioxidhalten i luften på 59 % fast under perioden 1997-2017. De rapporterade utsläppen av svaveloxider (SO_x) från EU-28 har under perioden 2001-2015 minskat med 76 % och under perioden 1997-2015 med 81 % (CEIP, 2018).



Figur 12. Lufthalter av svaveldioxid (SO_2) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår för de två mätplatserna i länet med långa tidsserier. A, Västra Torup/Hissmossa; B, Klintaskogen/Stenshult.

Halterna av svavel i fartygsbränsle sänktes 1 januari 2015 från 1 till 0,1 %, vilket bör ha påverkat lufthalterna av svavel över hela södra Sverige. Det är dock svårt att utvärdera effekterna av denna sänkning baserat enbart på tidsserierna i Skåne. En statistisk analys av månadsvisa data på fler platser i södra Sverige, i relation till väderförhållanden och vindriktning, skulle möjligen kunna reda ut i vilken mån sänkta svavelhalter i fartygsbränsle påverkat lufthalterna av SO_2 .

3.3 Svavelnedfall i Skåne

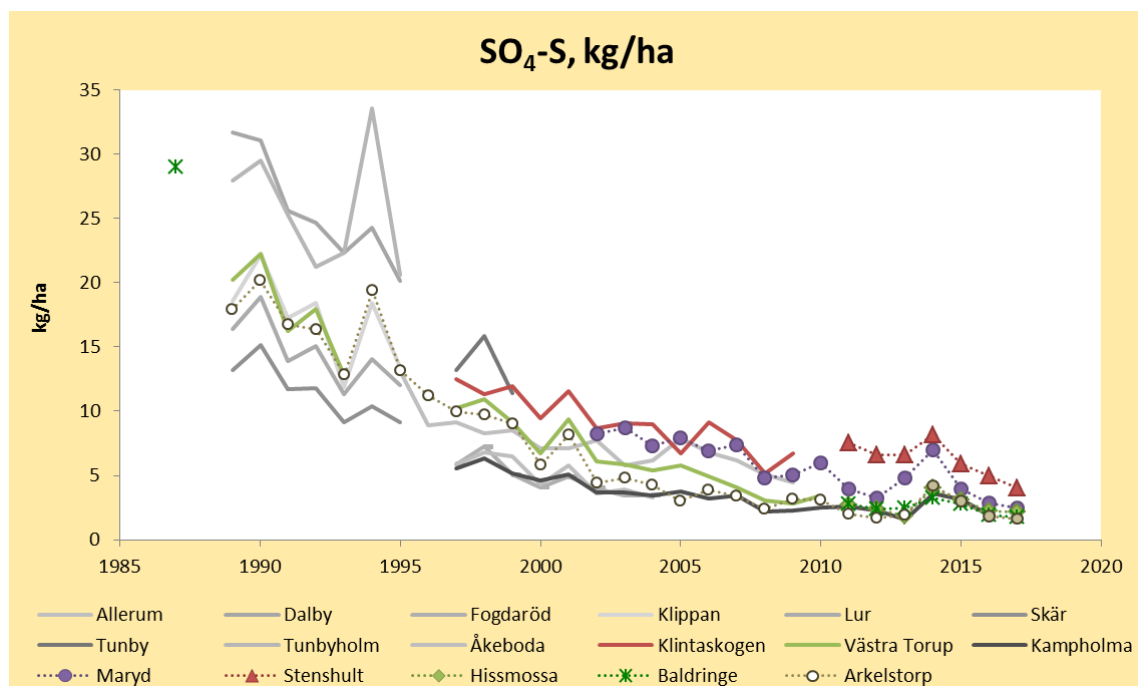
Svavelnedfallet via krondropp bedöms ge ett bra mått på det totala nedfallet till skog, eftersom det inte sker något betydande upptag i trädkronorna. I Skåne finns flera långa tidsserier av svavelnedfall via krondropp som kan användas för trendanalyser: Arkelstorp (A- och B-ytan), Maryd, Västra Torup/Hissmossa och Klintaskogen/Stenshult (Figur 13).

Vid Arkelstorp startade mätningarna redan 1989 vid A-ytan. Mätningarna avslutades i samband med avverkning i slutet av 2013, men fortsatte på B-ytan belägen endast några 100 meter från A-ytan, varför tidsserieanalysen av krondroppsmätningarna kan göras för hela perioden. I Arkelstorp har nedfallet minskat från omkring 20 kg per hektar och år omkring 1990 till mindre än 2 kg per hektar och år de senaste åren. Minskningen är statistiskt säkerställd.

Vid Maryd, som ligger längre söderut, startades krondroppsmätningarna 2002. Även här har nedfallet minskat signifikant, från cirka 8 kg per hektar och år omkring början av 2000-talet till under 3 kg per hektar och år de senaste åren.

En trendanalys för svavelnedfallet vid de båda närliggande ytorna Västra Torup/Hissmossa visar att nedfallet minskat signifikant från omkring 1990, då svavelnedfallet var över 20 kg per hektar och år till de senaste åren då nedfallet var strax över 2 kg per hektar och år. Även vid de båda närliggande ytorna Klintaskogen/Stenshult har en kraftig minskning av svavelnedfallet skett sedan slutet av 1990-talet fram till idag. 1996/97 var svavelnedfallet vid Klintaskogen omkring 12,5 kg per hektar för att nu det senaste året vara 4 kg per hektar vid Stenshult.

Nedfallet i granskogen i Hissmossa i norra Skåneboks-kogen och i Baldringe i söder har varit på samma nivå som Arkelstorp. Att nedfallet i Baldringe inte är högre, trots det sydliga läget, kan förklaras av att bokskogar tar emot mindre torrdeposition än granskogar. Granskogen i Stenshult, som ligger utsatt på Romeleåsen, är den yta som tar emot mest svavelnedfall i Sverige, 4-5 kg de två senaste hydrologiska åren. Två mätplatser utmärkte sig i början av 1990-talet med högre svavelnedfall än övriga platser, mellan 20 och över 30 kg per hektar och år, granytorna Dalby i sydväst och Tunby i sydost. Det höga nedfallet kan förklaras av hög torrdeposition i granskogarna i den södra delen av Skåne.



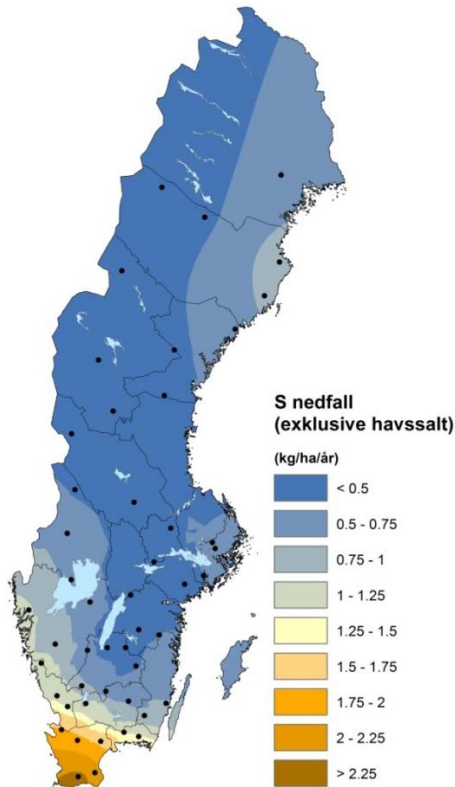
Figur 13. En sammanställning av alla förekommande mätningar av svavelnedfall (exklusive havssaltsbidrag) som krondropp i länet. Nedfallet mäts månadsvis men är summerat per hydrologiskt år. Vid Arkelstorp indikeras B-ytan med fyllda symboler. Resultaten från nu aktiva mätplatser visas med färgade symboler medan resultaten från avslutade mätplatser visas med linjer i olika nyanser av grått och svart.

3.4 Svavelnedfall i Sverige och Europa

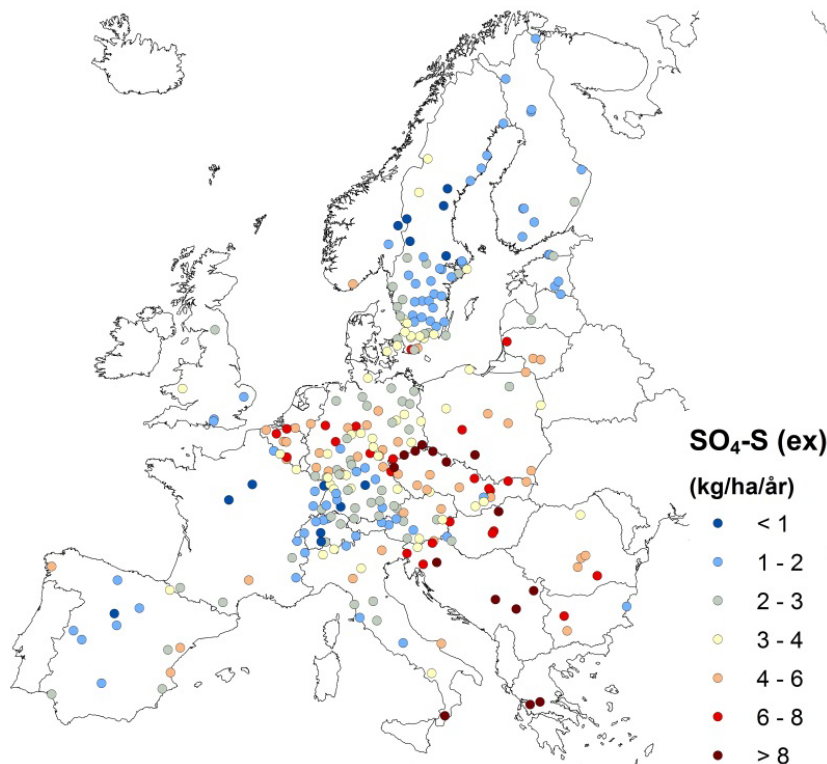
Precis som för kväve finns en tydlig gradient med högst svavelnedfall i sydväst och lägst i norr (Figur 14). Nedfallet 2016/17 var dock generellt mycket lågt i hela landet, från under 0,5 kg per hektar och år i norr till strax över 2 kg i söder (exklusive havssalt), förutom vid Stenshult där

nedfallet uppgick till 4 kg. Nedfallet i Skåne var, liksom tidigare år, något högre än i Halland, Blekinge och Småland.

Nedfallet i Sverige är generellt lägre än i Centraleuropa och de östra delarna av Europa, där nedfallet fortfarande uppgår till 10 kg per hektar på vissa håll (2014-2015, Figur 15). Det är dock på samma nivå som i södra Tyskland, Österrike, Schweiz, Spanien, Frankrike och Italien.



Figur 14. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) under 2016/17 i krondroppet vid mätstationerna (gran och tall) inom Krondroppsnetet i Sverige.

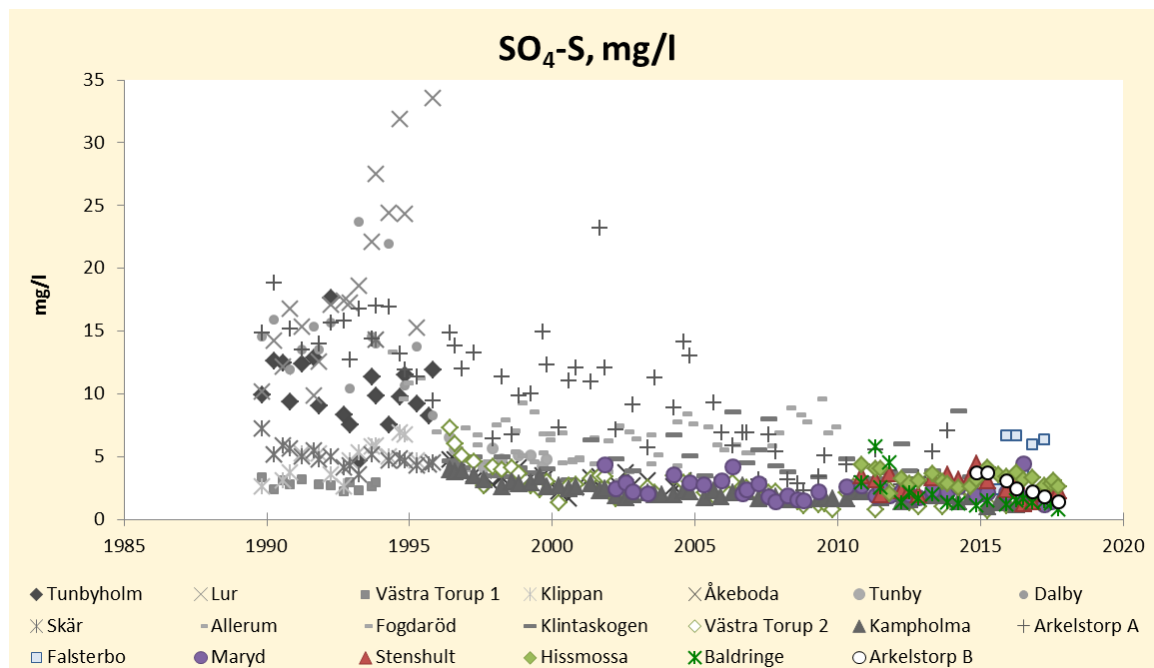


Figur 15. Årligt svavelnedfall till skog som krondropp som medelvärde för de två kalenderåren 2014-2015 vid provytor med varierande trädslag inom ICP Forest, en verksamhet inom konventionen om långväga transporterade luftföroreningar, CLRTAP. Notera att skalan inte är den samma som i Figur 14.

3.5 Försurning av markvattnet i Skåne

Tidsutvecklingen i markvattnet kan visa om det minskade svavelnedfallet leder till återhämtning i marken. Halten **sulfatsvavel (SO₄-S)** i markvattnet är den parameter som närmast kopplar till svavelnedfallet, men adsorptions-/desorptionsprocesser i marken gör att kopplingen inte alltid är tydlig. Om det inte finns någon trend för sulfatsvavelhalten kan heller ingen trend förväntas för försurningsrelaterade parametrar som pH och ANC (syraneutraliserande förmåga).

Halten sulfatsvavel minskade signifikant i Maryd, som är den enda aktiva ytan med lång tidsserie (16 år), från 4 mg/l 2001 till mellan 1 och 1,5 mg/l det senaste året (Figur 16). Den tidigare ytan i Arkelstorp, som avverkades 2013 (Arkelstorp A), har generellt haft högre halter, ofta över 15 mg/l i början av 1990-talet, och mellan 2 och 7 mg/l åren innan avverkning. Haltskillnaderna mellan platserna har varit stora, men har minskat med tiden, och kan inte enbart förklaras av skillnader i svavelnedfall. Olika jordar kan adsorblera olika mycket svavel, vilket händer under försurningsfasen, och detta svavel desorberas sedan under återhämtningsfasen. Detta förklarar att minskningen i svavelhalter i markvattnet ofta är mindre än minskningen i svavelnedfall.

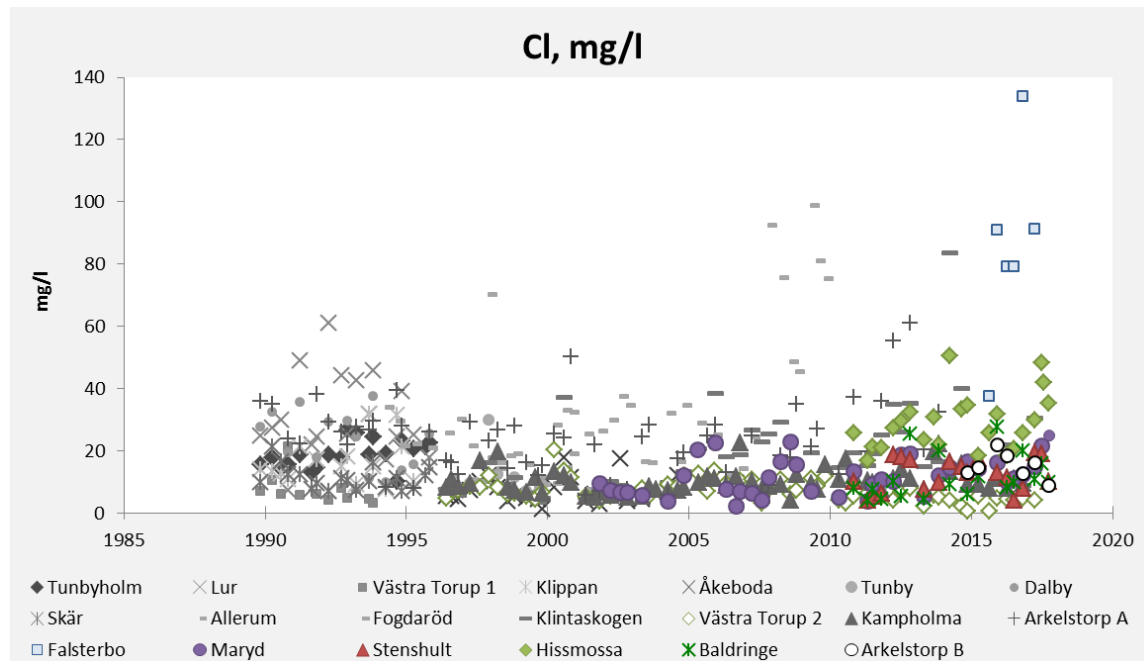


Figur 16. En sammanställning av alla förekommande mätningar av svavelhalter i markvattnet i länet sedan 1989. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Resultaten från nu aktiva mätplatser visas med färgade symboler medan resultaten från avslutade mätplatser visas med symboler i olika nyanser av grått och svart.

Halten **klorid (Cl⁻)** i markvattnet är viktig att titta på vid tolkning av försurningstrender, eftersom det ger en indikation på havssaltsepisoder, som kan orsaka surstötter. Det beror framför allt på natrium (Na⁺) i havssaltet byter plats med vätejoner, vilket leder till sänkt pH i markvattnet, och potentiellt även i ytvattnet om inte vattnet buffras på vägen mellan mark och vattendrag. Kloridhalten har varierat mycket över tiden (Figur 17), vilket till stor del kan förklaras av variationer i havssaltspåslag. Halterna är generellt något högre nu än i början av 2000-talet. I början av 1990-talet ledde ett flertal stormar till havssaltsepisoder (Akselsson m.fl., 2013), som påverkade

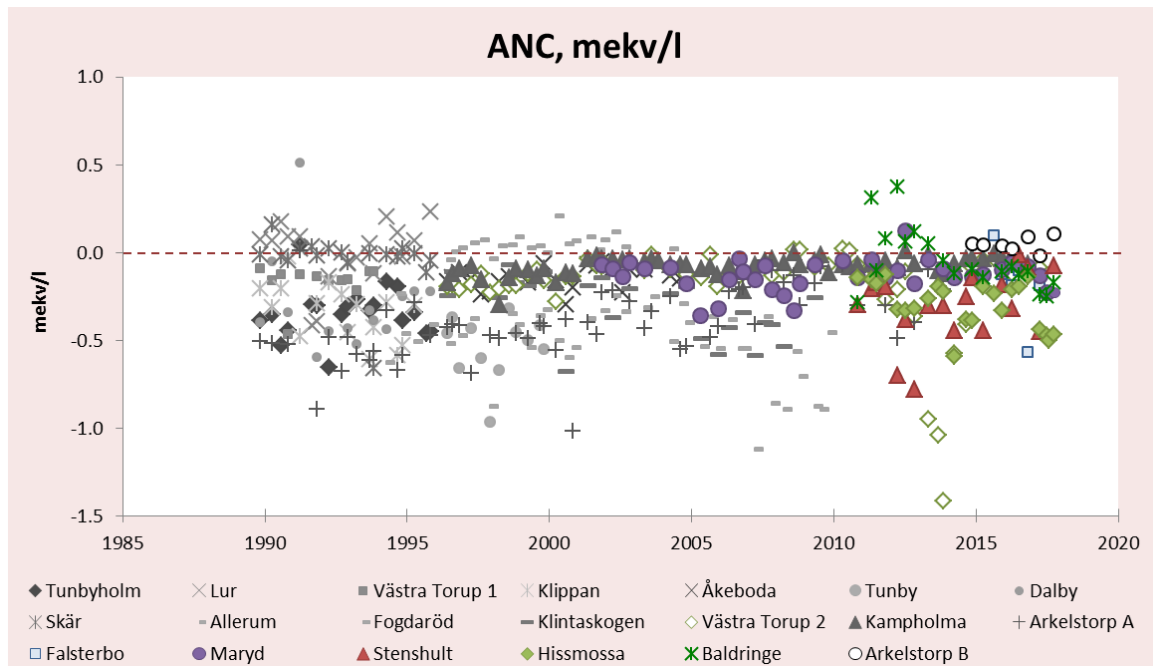
många ytor i södra Sverige, till exempel granytan i Lur i nordöstra Skåne. Falsterbo längst i sydväst, utmärker sig med mycket höga kloridhalter, över 100 mg/l som högst.

Skillnader mellan platser beror till stor del på utsattheten för havssaltsnedfall, och Skåne tillsammans med övriga sydvästra Sverige har därmed högre halter än övriga delar av Sverige. En del av variationen kan inte förklaras av skillnader i havssaltspåslag, utan förklaringen kan troligtvis förklaras av skillnader i markegenskaper som påverkar de markprocesser där klorid ingår. Forskning kring dessa markprocesser pågår, och data från Krondroppsnetet är användbar i denna forskning.



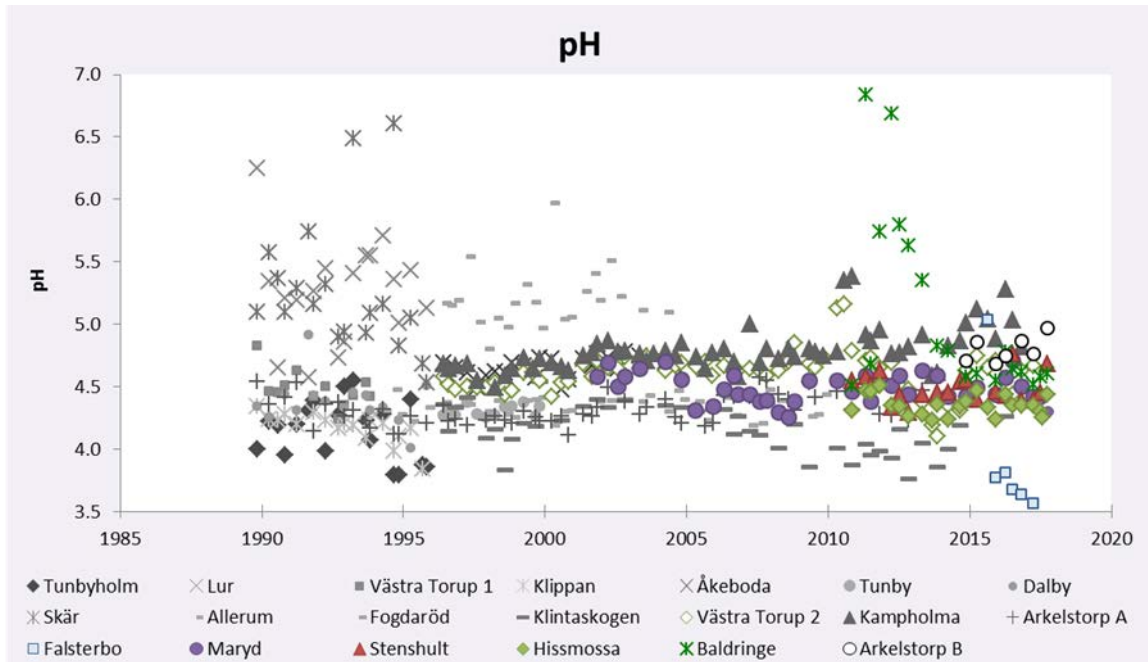
Figur 17. En sammanställning av alla förekommande mätningar av klorid i markvattnet i länet sedan 1989. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Resultaten från nu aktiva mätplatser visas med färgade symboler medan resultaten från avslutade mätplatser visas med symboler i olika nyanser av grått och svart.

Den syraneutraliserande förmågan, ANC, har oftast varit under 0 på mätplatserna i Skåne, och trots att svavelnedfall och svavelhalter i markvattnet minskat sedan 1990 är det inte vanligare med positiva ANC nu än 1990 (Figur 18). I Maryd kan ingen signifikant ökning av ANC påvisas sedan mätstart 2001, medan den nyligen avslutade granytan i Arkelstorp uppvisar signifikant ökat ANC, från -0,5 mekv/l, 1989, till mellan -0,1 och -0,2 mekv/l, 2013. De låga värdena i Västra Torup 2, -1,5 mekv/l som lägst, är en effekt av avverkningen 2010, som orsakade en kraftig, men temporär förhöjning av nitratkvävehalten. Nitrifiering, som sker när det finns ett överskott av kväve efter avverkning, är en försurande process då vätejoner frigörs. Stenshult, som är den av de aktiva ytorna som tar emot mest nedfall av svavel och kväve, är också den yta där ANC är som lägst, ner till -0,8 mekv/l hösten 2012. Av de aktiva ytorna är den nya ytan i Arkelstorp den mätplats i Skåne som har högst ANC, oftast över 0. Trots att ytan ligger mycket nära den gamla ytan i Arkelstorp skiljer sig markvattenkemin åt avsevärt, vilket visar på betydelsen av de lokala markförhållandena.



Figur 18. En sammanställning av alla förekommande mätningar av ANC i markvattnet i länet sedan 1989. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Resultaten från nu aktiva mätplatser visas med färgade symboler medan resultaten från avslutade mätplatser visas med symboler i olika nyanser av grått och svart.

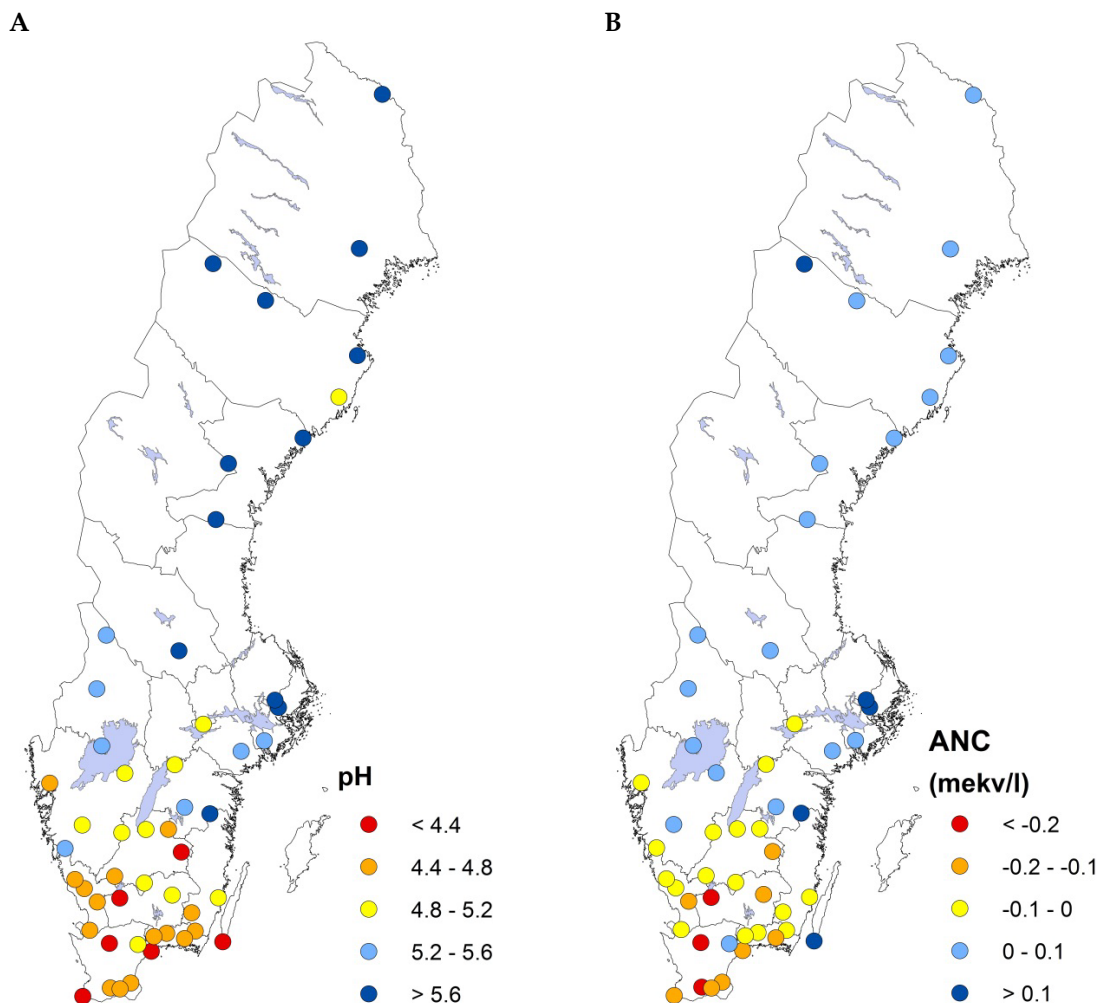
Markvattnets **pH** har varierat mellan 4,3 och 4,6 på de aktiva ytorna i Skåne under 2017, bortsett från B-ytan i Arkelstorp där pH varit högre, 4,8 - 5,0 (Figur 19). Ingen signifikant ökning har skett sedan 2001 i Maryd, däremot ökade pH signifikant vid A-ytan i Arkelstorp innan avverkningen (Figur 19). Variationen mellan ytorna har ökat över tiden, under större delen av 1990-talet var pH på merparten av ytorna mellan 4,2 och 4,5, medan motsvarande intervall under slutet av 1990-talet och fram till nu varit 4,2 - 4,8. Några ytor utmärker sig med förhållandevis höga pH-värden, Skär (bokskog), Lur (granskog), Fogdaröd (ekskog) och Baldringe (bokskog). Markens pH är ofta högre i lövskog, vilket kan förklara att pH är högt i tre av dessa ytor. Falsterbo har pH varit mycket lågt, under 4 vid fyra av de fem mätningarna. Falsterbo avviker även på andra sätt, bland annat genom mycket höga kloridhalter. Höga kloridhalter indikerar havssaltspåverkan, som kan orsaka jonbyte och därmed surstötter.



Figur 19. En sammanställning av alla förekommande mätningar av pH i markvattnet i länet sedan 1989. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Resultaten från nu aktiva mätplatser visas med färgade symboler medan resultaten från avslutade mätplatser visas med symboler i olika nyanser av grått och svart.

3.6 Försurning av markvattnet i Sverige och Europa

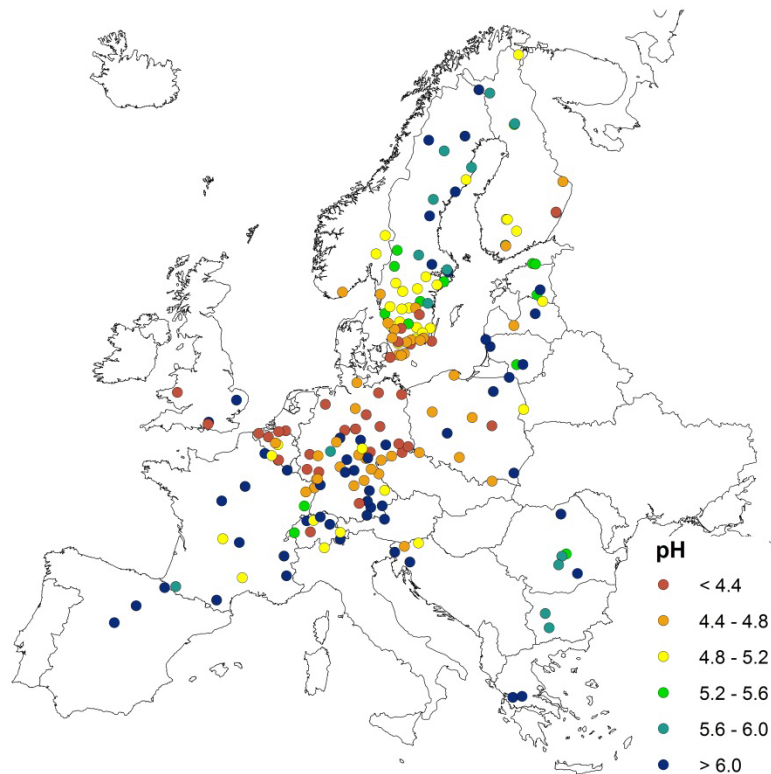
Försurningsgradienten i markvattnet i Sverige följer nedfallsgradienten från sydväst till nordost, med pH från <4,4 till >5,6 och ANC från <-0,2 till >0,1, som medianvärde för åren 2015-2017 (Figur 20). Det finns även en hel del variation på regional nivå, vilket beror på skillnader i markegenskaper. Markvattnets pH i Skåne har varit på ungefär samma nivå som i Halland och Blekinge, mellan <4,4 och 4,8 (median för 2015-2017), förutom för nya ytan i Arkelstorp där pH varit något högre. ANC har varit negativt på alla ytor utom i Arkelstorp.



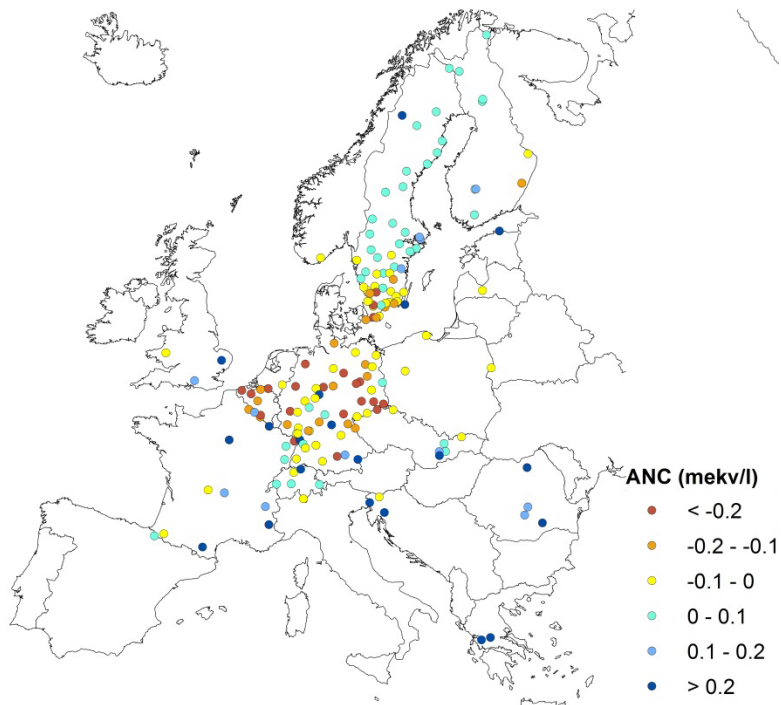
Figur 20. pH (A) och ANC (B) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnetet. Det värde som anges är medianvärdet under de senaste tre åren (2015-2017). ANC i avrinnande vatten bör vara betydligt över 0 när det når vattendragen. Ytor med mindre än 3 mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats eller gödslats har tagits bort.

Försurningsgradienten fortsätter i viss mån ner till Centraleuropa, där mycket låga pH och ANC är vanligt (Figur 21). 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 gnejsammansättning dominerar stort.

A



B



Figur 21. pH (A) och ANC (B) i markvattnet (median för 3 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 Aktuellt & notiser

4.1 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 SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃ och PM_{2,5} 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 _x	36	66
SO ₂	22	22
NMVOC	25	36
NH ₃	15	17
PM _{2,5}	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 sötvattenssystem, 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).

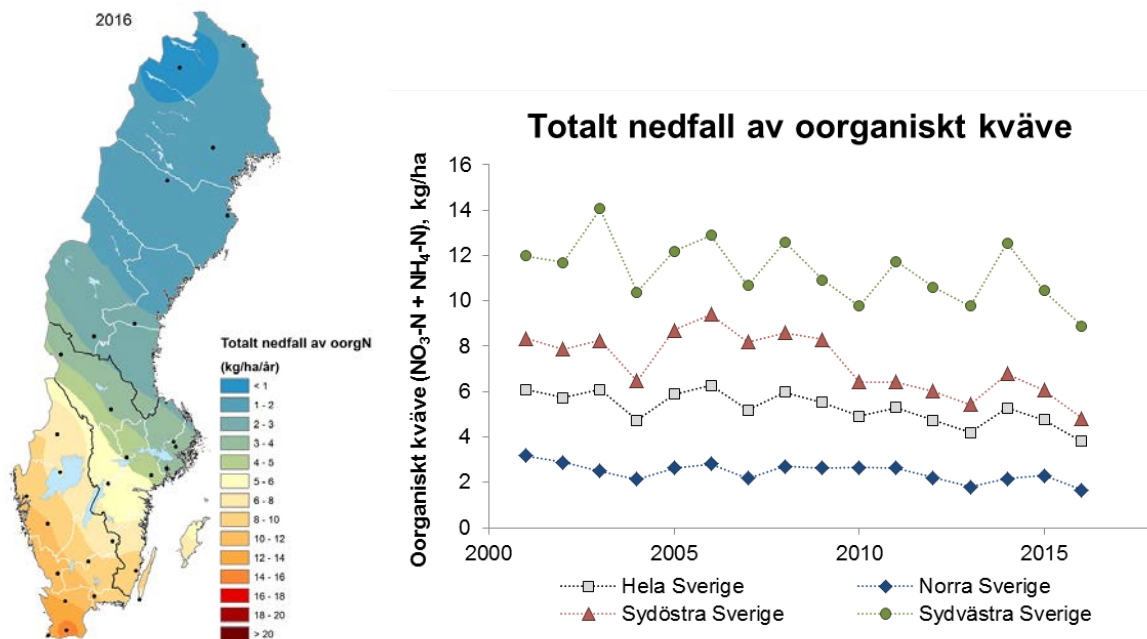
Det påpekas inom Takdirektivet att fokus ska ligga på områden med hög föroreningsbelastning och att depositionens påverkan ska kunna särskiljas från annan påverkan. Det innebär att mätprogrammets huvudfokus bör ligga i södra Sverige. Den geografiska fördelningen och avsaknaden av annan påverkan än klimat 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.

4.2 Nya miljömålsindikatorer

4.2.1 Ny indikator för totalt kvävedefall 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>



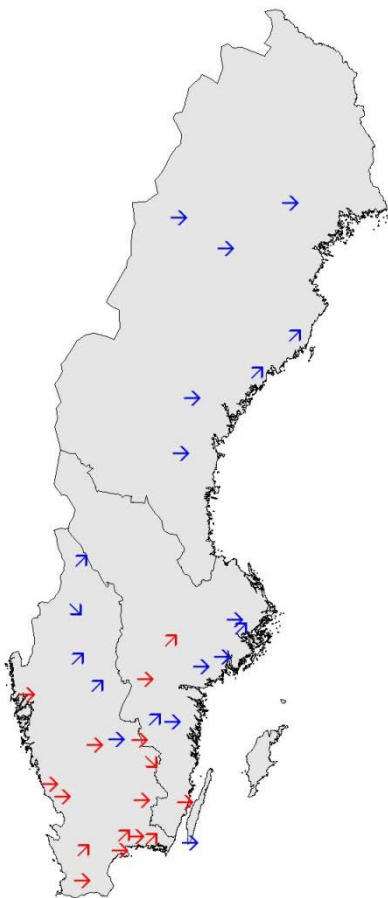
Figur 22. A. En karta över geografiskt interpolerade värden för totalt nedfall av kväve till barrskog för kalenderåret 2016. Svarta punkter indikerar mätplatser. Sverige är indelat i tre geografiska områden som används inom uppföljningen av miljökvalitetsmålen. Dessa områden används i figuren med tidsserier. B. Tidsserier för årligt nedfall av oorganiskt kväve (NO₃-N + NH₄-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.

4.2.2 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.

4.2.3 Markvattendata från Krondropps nätet 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 Krondropps nätet. 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*.

4.3 Utvärderingar

4.3.1 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.

4.3.2 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>.

4.3.3 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.

4.4 Aktuella möten 2017

4.4.1 Krondropps dagen, 29:e november 2017, Göteborg

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

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

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

4.4.2 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.

Krondropps nätet bidrog med två poster:

- **Krondropps nätet - tre decennier med övervakning av luftföroreningar och dess effekter i skogsmark**
 - Denna poster omfattande en övergripande beskrivning av mätningar och resultat från Krondropps nätet under 30 år.
- **Air quality impacts in Sweden of SO₂ 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 Krondropps nätet och på modellberäkningar med EMEP-modellen.

4.4.3 Representation från Krondropps nätet vid konferensen BIOGEOMON

Gunilla Pihl Karlsson, Per Erik Karlsson och Cecilia Akselsson från Krondropps nätet 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 Krondropps nätet:

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 SO₂ 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 (SO₂) 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 4.5.1.

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).

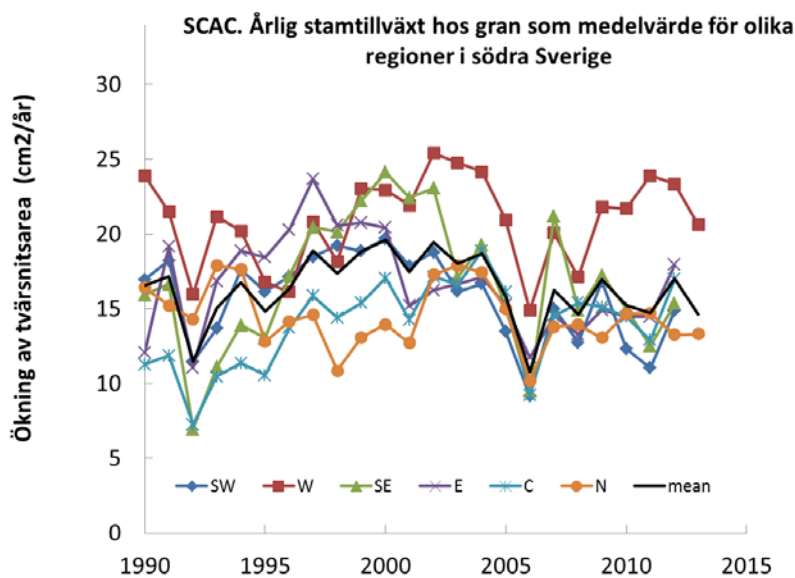
Identifying soil parameters decisive for nitrogen leaching in forests through a combined empirical and modelling approach (Jörgen Olofsson, post doc vid Lunds universitet)

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.

4.5 Aktuell forskning/specialprojekt som berör Krondroppsnetet

4.5.1 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 borrhävar 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.

4.5.2 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.

4.5.3 Mätning av torrdeposition till mätutrustningen på öppet fält - RUT-försöket



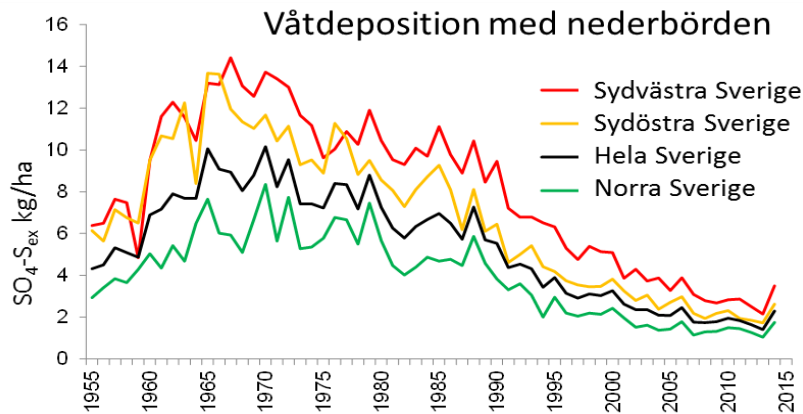
Sommaren 2017 har mätningarna vid de 10 platser som idag har en strängprovtagare utökats. En ny öppet fält provtagare (WoF-provtagare) har satts upp under taket bredvid strängprovtagaren, samtidigt som taket har utökats.

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.

4.5.4 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 (NH_4^+) och nitrat (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.

4.6 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 krondroppsytta (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 krondroppsytta, 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.

5 Tack

Vi vill uttrycka vårt tack till samtliga provtagare inom Krondroppsnetet 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.

6 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/
- 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.
- 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 miljö kvalitetsmålet *Ingen övergödning*. IVL Rapport C 286.
- 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
- Plejfel, 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., Iacoban, 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/

Bilaga 1. Stationsvis redovisning

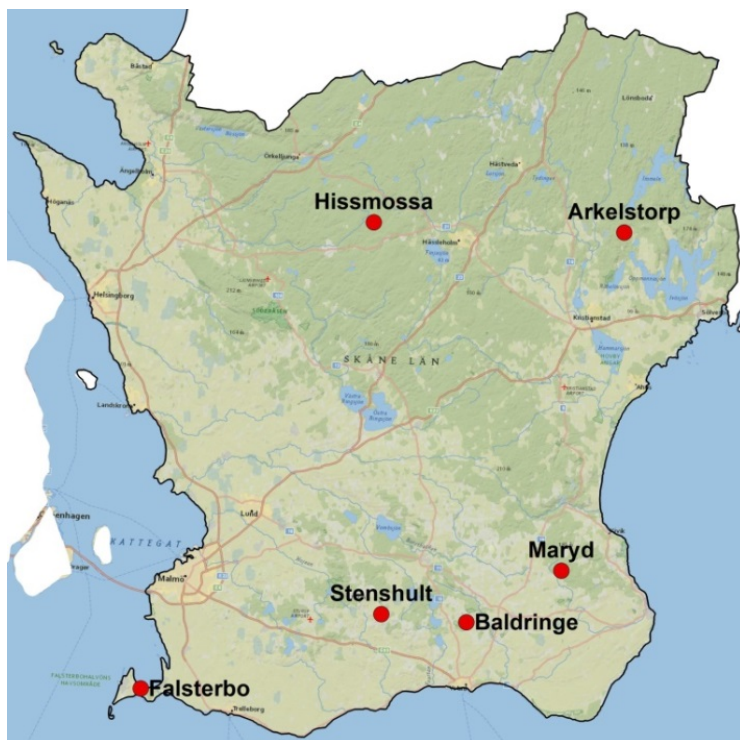
Här presenteras årets mätningar vid de sex aktiva mätplatserna i Skåne, tillsammans med tidigare års mätningar (Tabell B.1). Mätningarna vid två ytor avslutades 1 januari 2017, bokytan i Kampholma och ytan på öppet fält i Videlycke, och data för dessa presenteras därmed inte i denna rapport. Utöver det avslutades lufthaltsmätningarna vid Maryd och Falsterbo i januari 2017 samt markvattenmätningarna vid Falsterbo som avslutades i december 2016 (data visas ej). 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 men för NO_x-mätningarna redovisas data (NO_x, NO₂, NO) även månadsvis, halvårsvis samt som årsmedelhalt. Data från Krondroppsnetet är fritt tillgängliga från Krondroppsnetets webbplats: <http://www.krondroppsnetet.ivl.se/>. På webbplatsen finns även kontaktuppgifter.

Tabell B1. Aktiva mätplatser i Skåne 2016/17.

Lokal	Domi- nerande trädslag	Öppet fält	Kron- dropp	Sträng- prov	Mark- vatten	Lufthalter		
						SO ₂	NO _x *	NH ₃
Arkelstorp (L 05B)	Gran		X		X			
Maryd (L 15)	Gran		X		X			
Hissmossa (L 18)	Gran	X ¹⁾	X	X ¹⁾	X	X	X	X ²⁾
Stenshult (M 16)	Gran	X	X	X ¹⁾	X	X	X	X ²⁾
Baldringe (M 17)	Bok		X ²⁾		X ²⁾			
Falsterbo (M 22)	Tall	X ²⁾						

* Mätningar inkluderar NO_x, NO₂ och NO ¹⁾ Finansieras av Naturvårdsverket ²⁾ Finansieras av Länsstyrelsen i Skåne

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



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

Nedan presenteras de olika mätplatserna:

Arkelstorp (L 05 B): Ytan etablerades år 2013 mindre än 200 meter sydost om den tidigare ytan, L05A, på toppen av Hallabjåret, i 30-40 årig granskog. Krondroppsmätningarna startade i november 2013, men markvattenmätningarna startade först ett år senare (november 2014). Ytan är ganska nyligen gallrad, och det finns stickvägar i nordsydlig riktning med ca 20 m mellanrum vid ytan. För nedfall visas även data från den gamla ytan, **L05A**, i samma diagram som för L05B, eftersom nedfallet bedöms vara jämförbart mellan ytorna. Markvattenkemin visas även för L05A fram till avverkning, men i separata diagram som alltid efter flytt av lysimetrar. **L05A** var belägen i granskog planterad 1955.

Maryd (L 15): Granskog på bördig mark i sydöstra Skåne, planterad 1959. Mätning av nedfall (krondropp) och markvattenkemi i Maryd startade i oktober 2001.

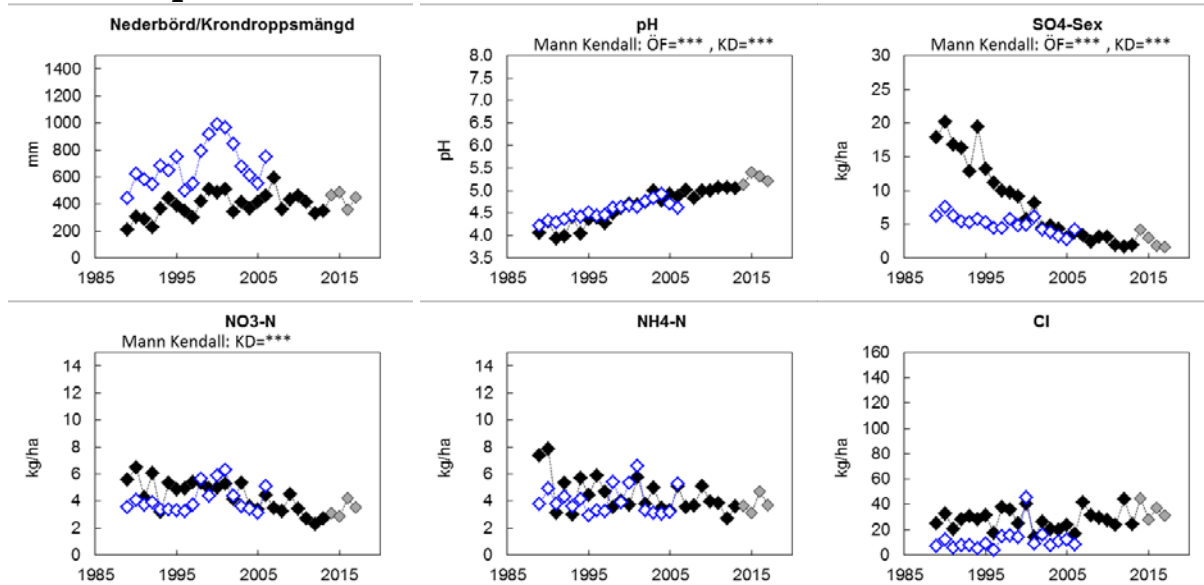
Hissmossa (L 18): 40 - 50-årig granskog i norra Skåne. Ytan är tänkt som ersättningsyta för Västra Torup, som avverkades i augusti 2010. Hissmossa ligger ungefär 5 km norr om Västra Torup. Mätningarna i krondroppsytan i Hissmossa startade i augusti 2010. Nedfallsmätningarna på öppet fält och lufthaltsmätningarna startade i november 2010.

Stenshult (M 16): 40 - 50-årig granskog på relativt plan mark längst uppe på östra delen av Romeleåsen. Ytan startades som ersättning för den avslutade ytan Klintaskogen, som också var belägen på Romeleåsen, 12 km sydväst om Stenshult. Platsen är mycket öppet exponerad åt söder. Krondroppsmätningar startade i maj 2010, och markvattenmätningarna samt mätningarna på öppet fält i november samma år. Lufthaltsmätningarna startade i januari 2015.

Baldringe (M 17): Ungefär 70-årig bokyta på relativt kuperad mark. Krondroppsmätningar i Baldringe startade i maj 2010 och markvattenmätningarna i november samma år.

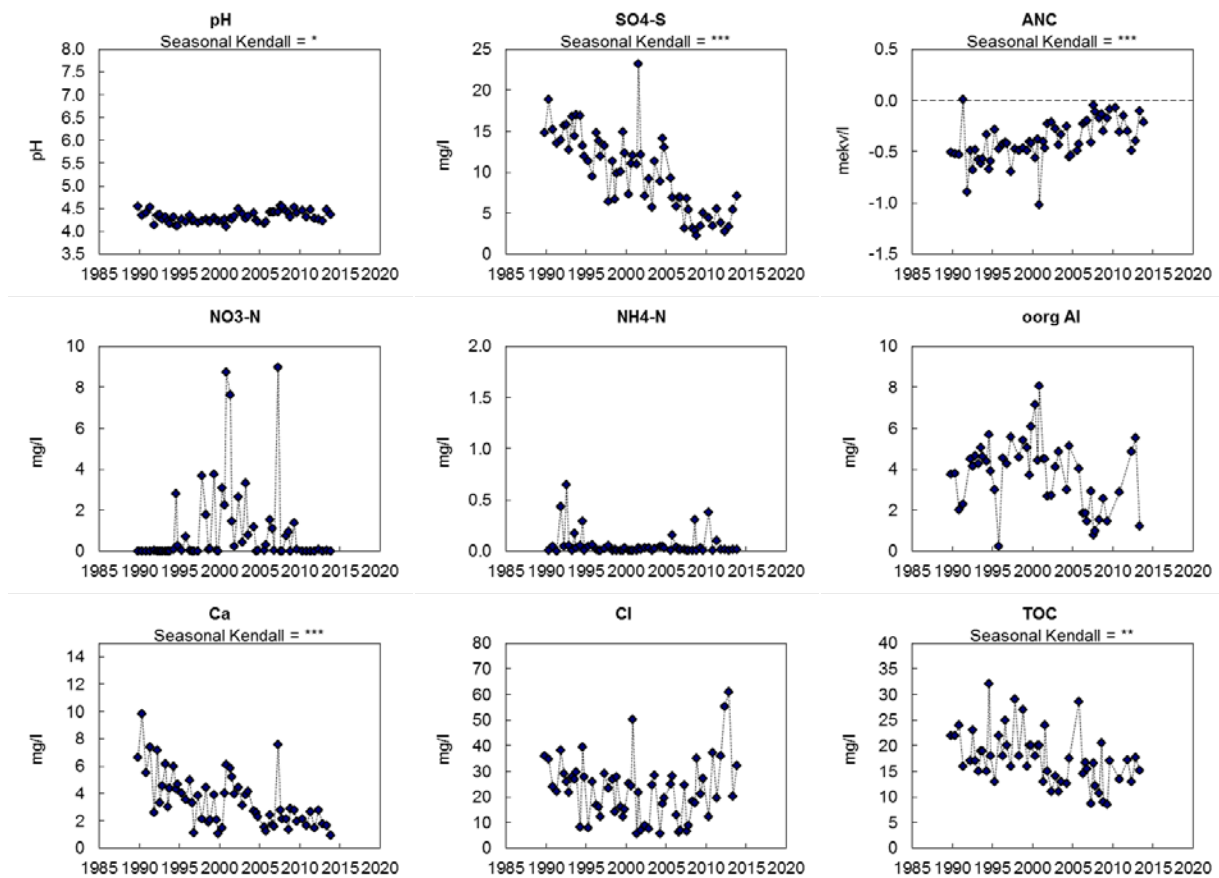
Falsterbo (M 22): Mätningar på öppet fält samt av markvattenkemi startade vid Falsterbo i juli 2015. Markvattenmätningarna, i en tallskog mellan Höllviken och Skanör-Falsterbo, avslutades 1 januari 2017. Nederbördsmätningarna bedrivs på ett öppet område strax väster om markvattenmätningarna.

Arkelstorp (L 05):

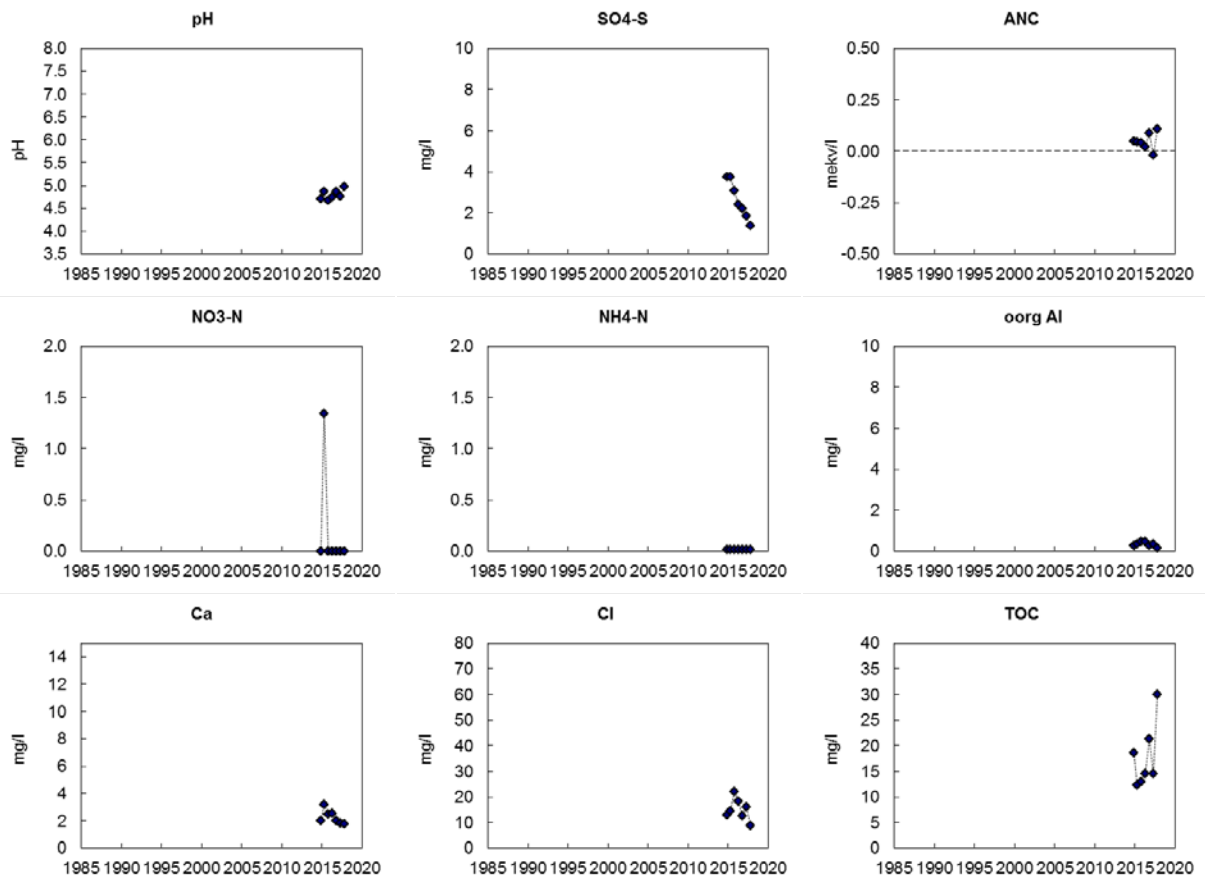


- ◆ - Krondropp (KD)
- ◇ - Öppet fält (ÖF)

Figur B1.1. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Arkelstorp, L 05. 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 ($\text{NH}_4\text{-N}$) och klorid (Cl). Mätningarna flyttades 2014 varför de senaste mätningarna anges med en grå symbol. Trendanalys har genomförts med Mann-Kendall-analys. Signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

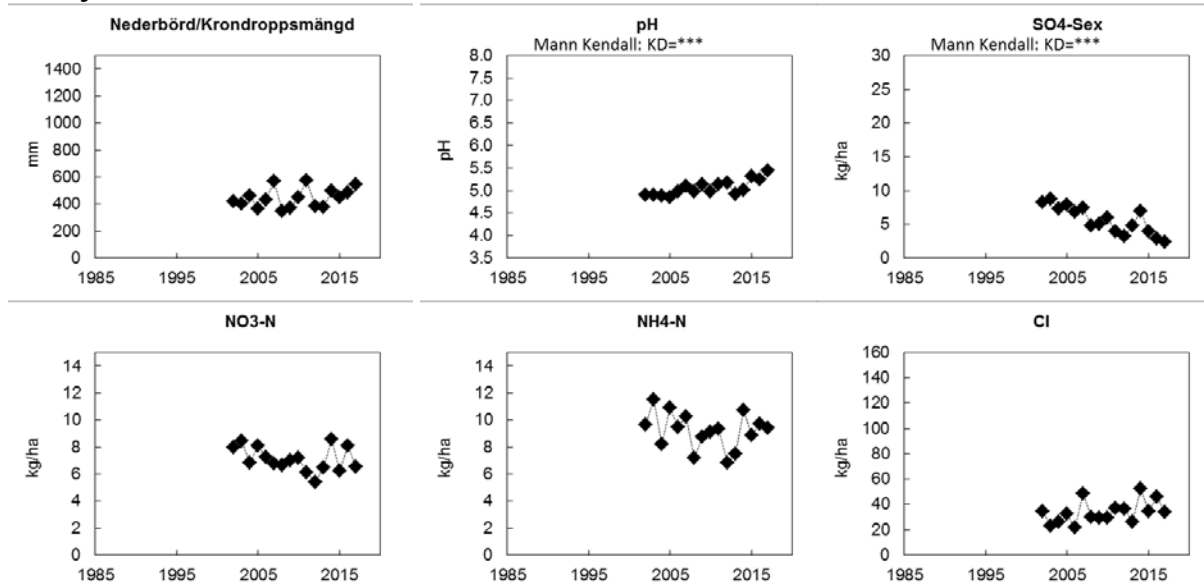


Figur B1.2. Markvattekemi vid Arkelstorp, L 05A: pH, sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$), markvattnets syranutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl -) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, då signifikanta trender påvisats.

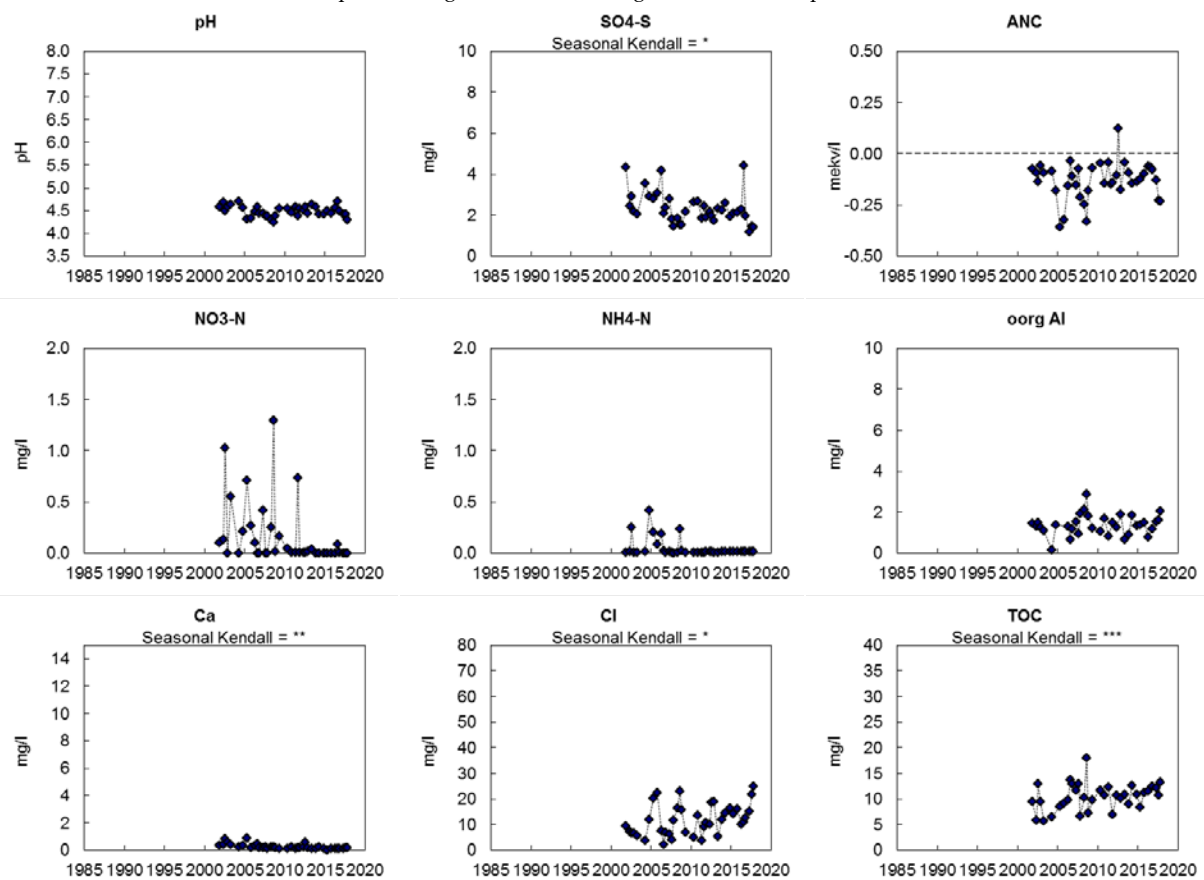


Figur B1.3. Markvattenkemi vid **Arkelstorp, L 05B**: pH, sulfatsvavel (SO₄-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca²⁺), klorid (Cl⁻) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

Maryd (L 15):

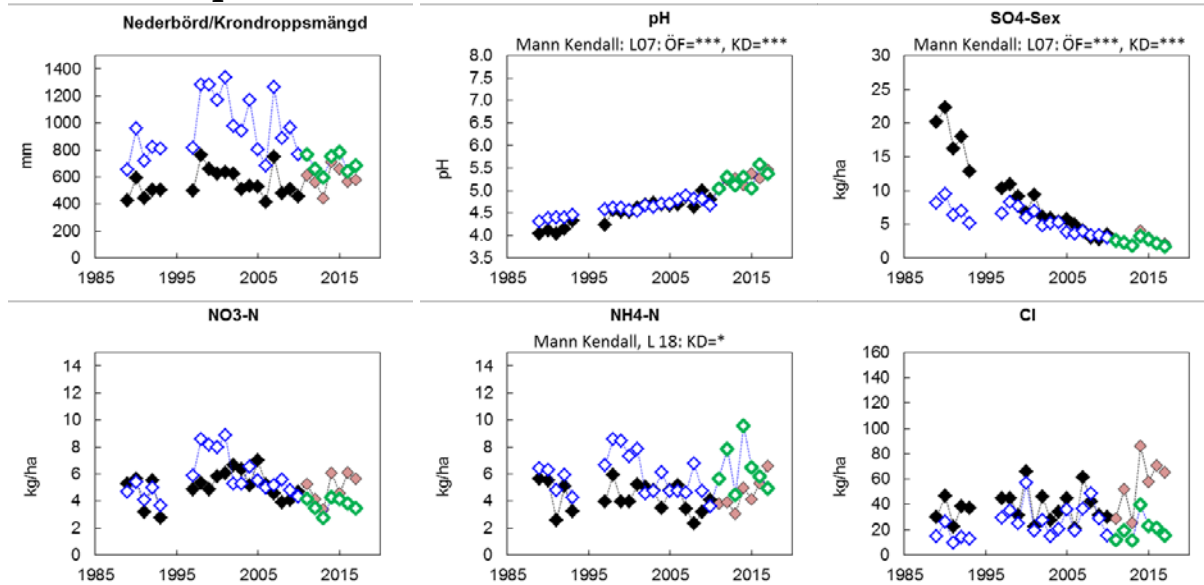


- ◆ - Krondropp (KD) **Figur B1.4.** Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Maryd, L 15. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO₄-S ex); nitratkväve (NO₃-N); ammoniumkväve (NH₄-N) och klorid (Cl). Trendanalys har genomförts med Mann-Kendall-analys. Signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



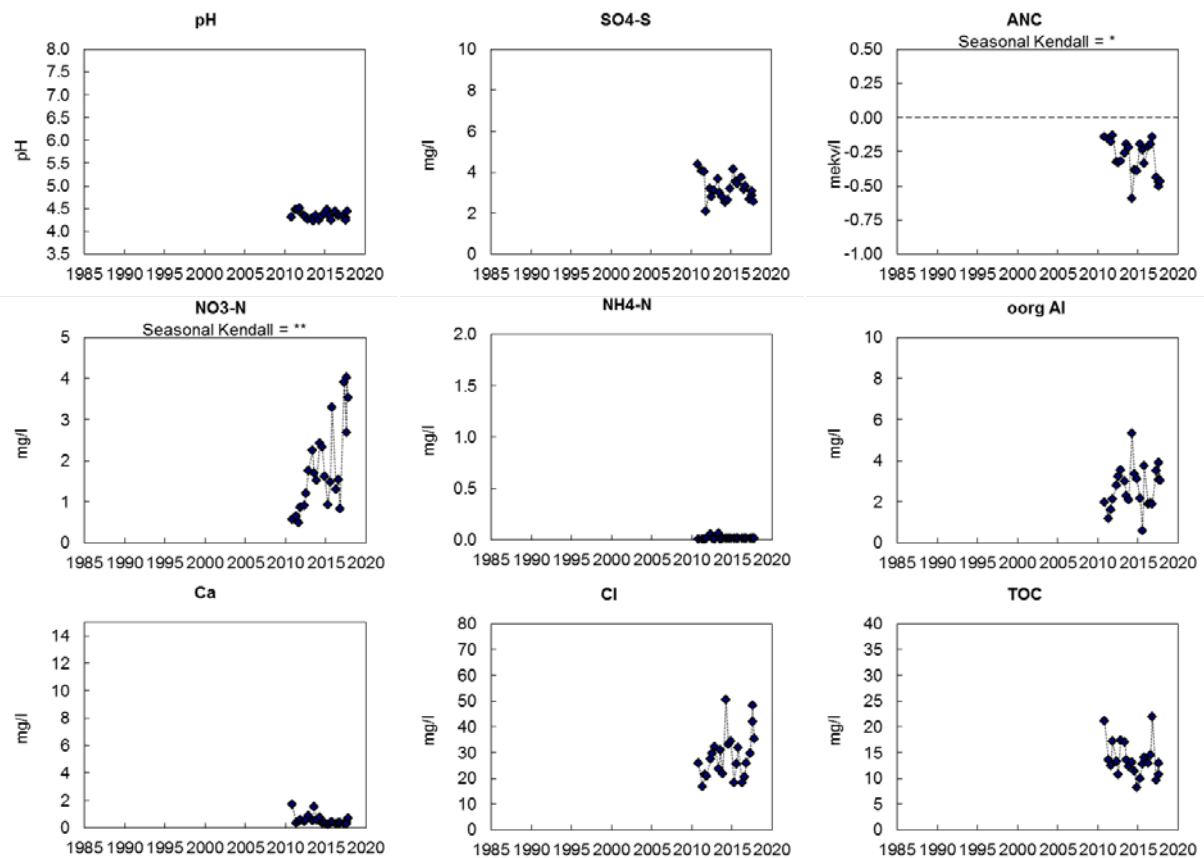
Figur B1.5. Markvattenkemi vid Maryd, L 15: pH, sulfatsvavel (SO₄-S), markvattnets syranutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca²⁺), klorid (Cl-) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

Västra Torup (L 07) och Hissmossa (L 18):

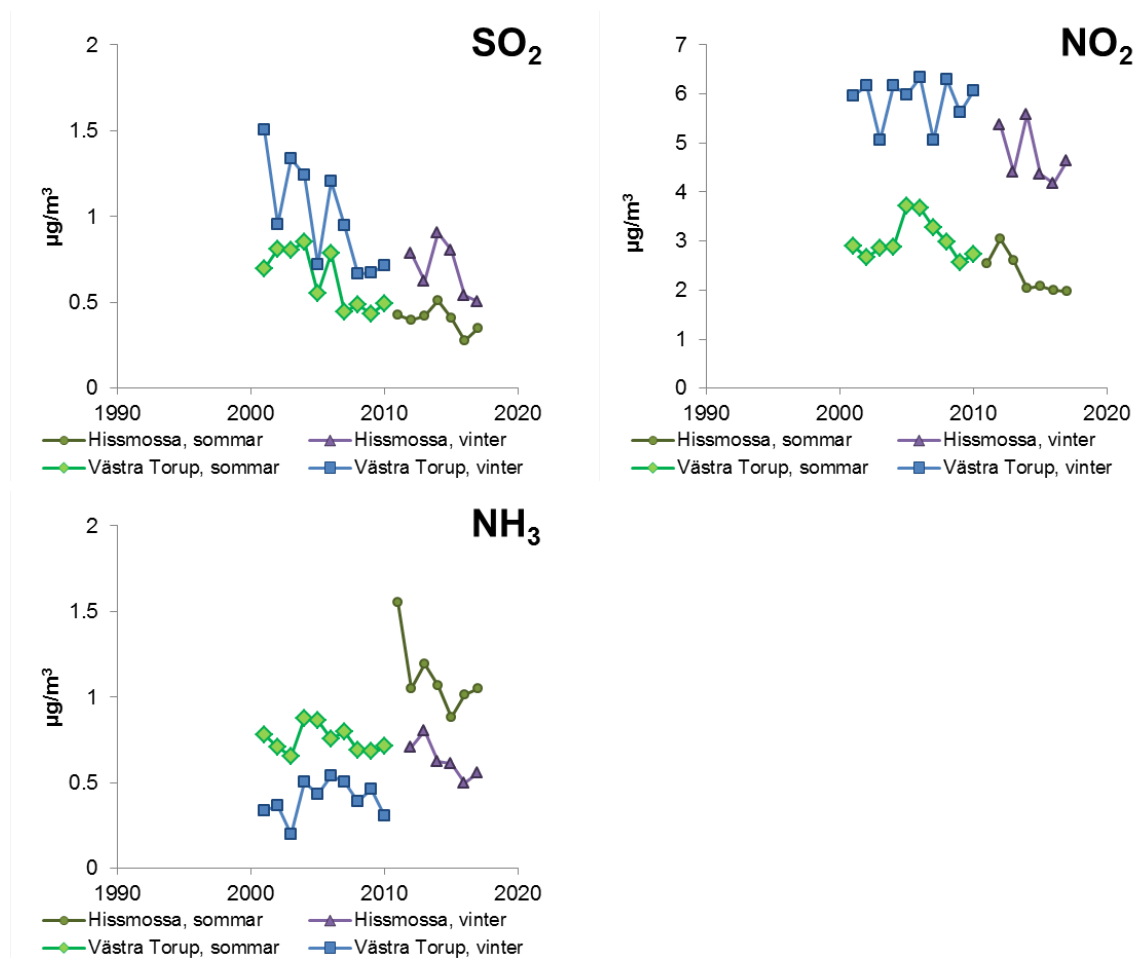


- ◆ - Krondropp (KD)
- ◇ - Öppet fält (ÖF)

Figur B1.6. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och på öppet fält vid Hissmossa, L 18 och Västra Torup, L 07. Mätningarna vid Hissmossa anges med rosa (KD) resp. grön (ÖF) symbol. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondropps-mängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfat-svavel utan havssaltsbidrag ($\text{SO}_4\text{-S ex}$); nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$); ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) och klorid (Cl). Trendanalys har genomförts med Mann-Kendall-analys. Signifikansnivåer anges, ovanför resp. diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



Figur B1.7. Markvattenkemi vid Hissmossa, L 18: 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 (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.



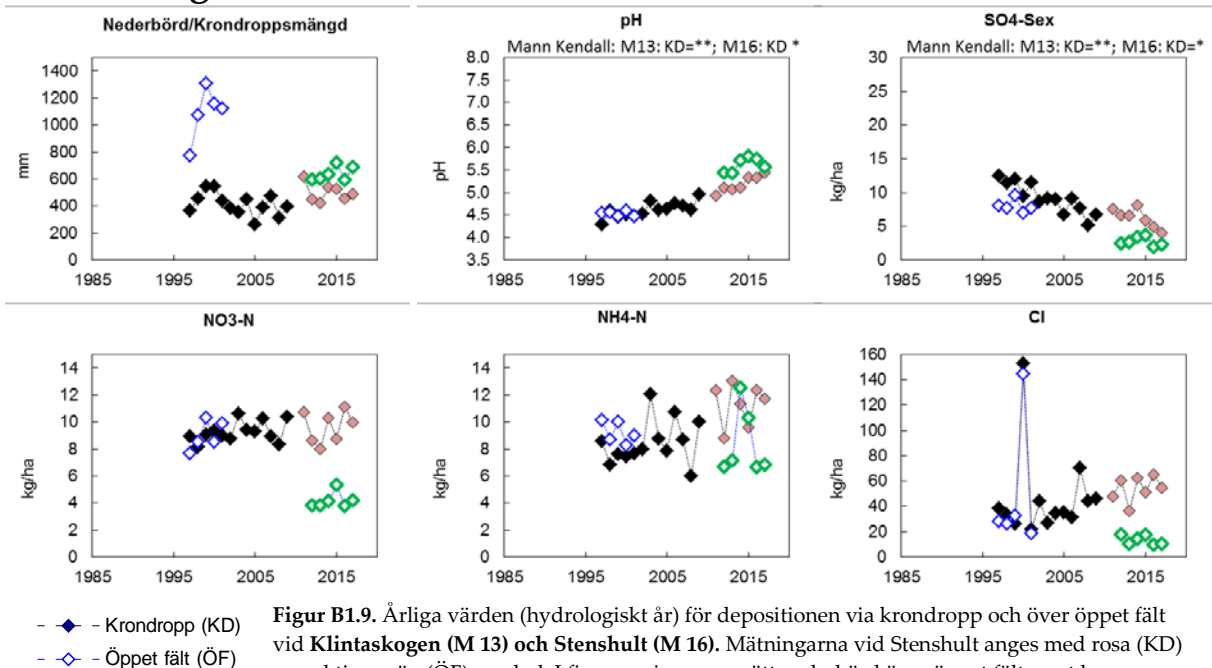
Figur B1.8. Lufthalter vid Västra Torup (L 07) och Hissmossa (L 18). Värden anges för svaveldioxid (SO₂), kvävedioxid (NO₂) och ammoniak (NH₃).

Tabell B2. Lufthalter av NO_x, NO₂ och NO vid Hissmossa under 2017.

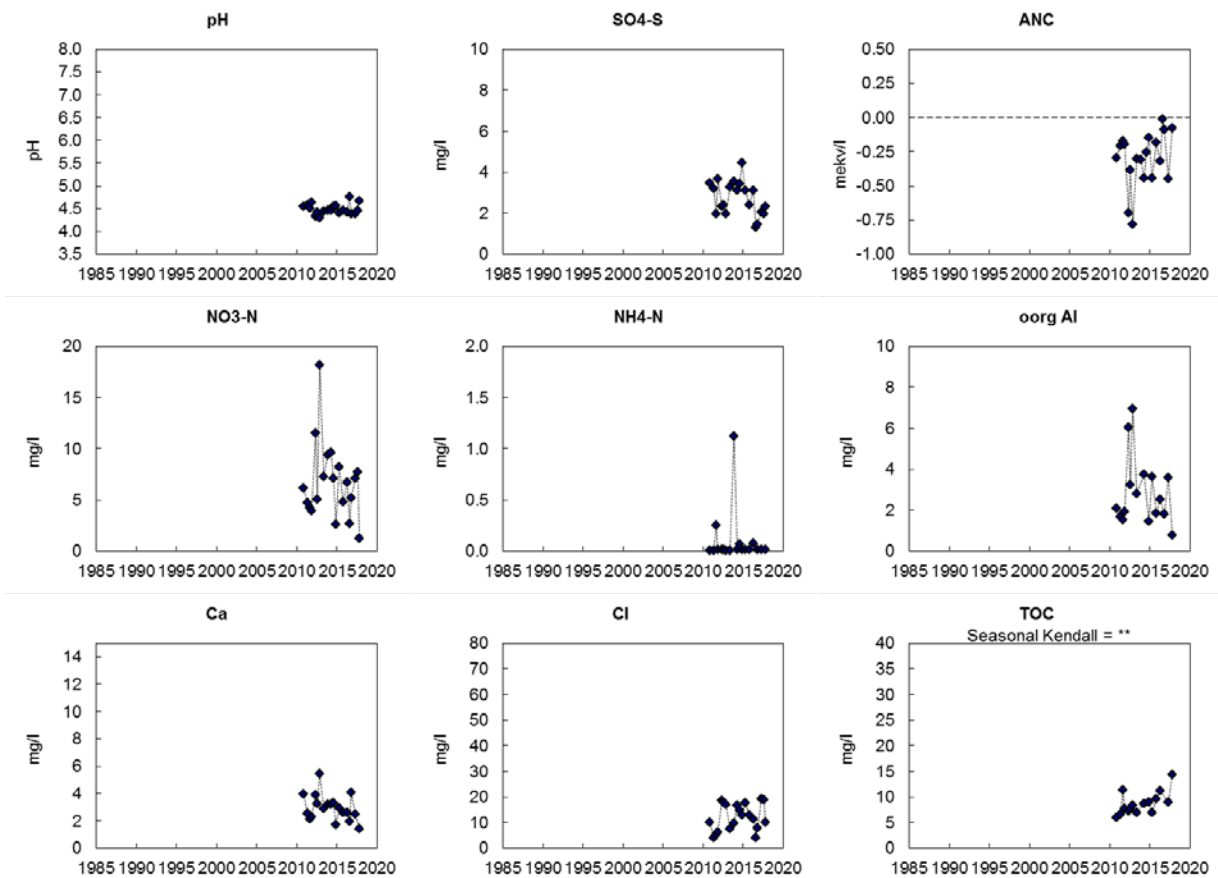
Månad	NO _x *	NO ₂	NO
Januari	8.53	6.36	1.42
Februari	6.75	4.74	1.31
Mars	5.71	3.92	1.17
April	3.87	2.21	1.09
Maj	3.38	2.09	0.84
Juni	3.55	2.18	0.89
Juli	3.51	1.95	1.02
Augusti	4.03	1.72	1.50
September	3.31	1.75	1.02
Oktober	3.70	2.66	0.68
November	4.17	2.97	0.78
December	4.07	3.04	0.68
Medel sommarhalvår	3.61	1.98	1.06
Medel vintermånader**	5.49	3.95	1.01
Årsmedelvärde	4.55	2.96	1.03

* NO_x redovisas som NO₂ **jan, feb, mar, okt, nov, dec 2017

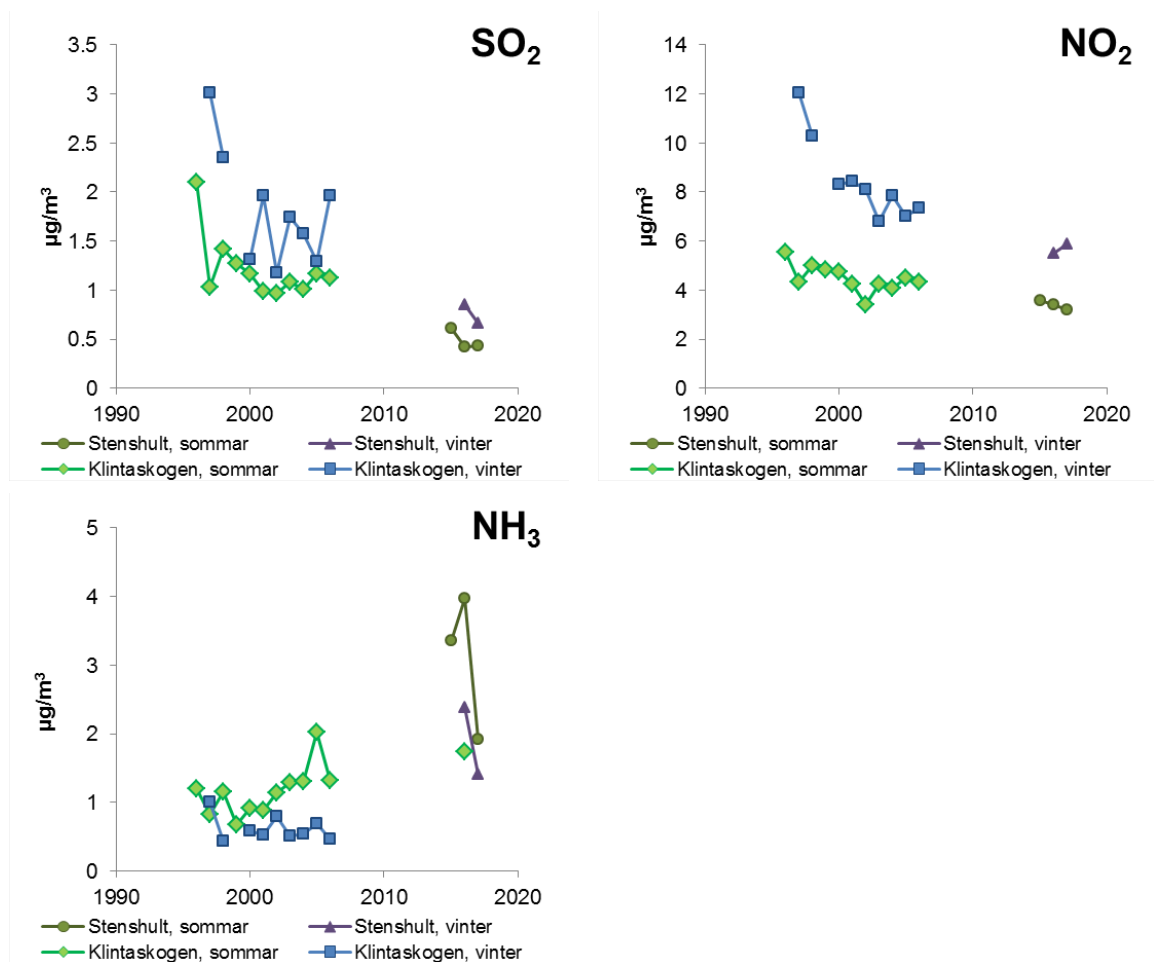
Klintaskogen (M 13) och Stenshult (M 16):



Figur B1.9. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Klintaskogen (M 13) och Stenshult (M 16). Mätningarna vid Stenshult anges med rosa (KD) respektive grön (ÖF) symbol. 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 (SO₄-Sex); nitratkväve (NO₃-N); ammoniumkväve (NH₄-N) och klorid (Cl). Trendanalys har genomförts med Mann-Kendall-analys. Signifikansnivåer anges, ovanför resp. diagram, där signifikanta trender påvisats.



Figur B1.10. Markvattenkemi vid Stenshult (M 16): pH, sulfatsvavel (SO₄-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca²⁺), 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.



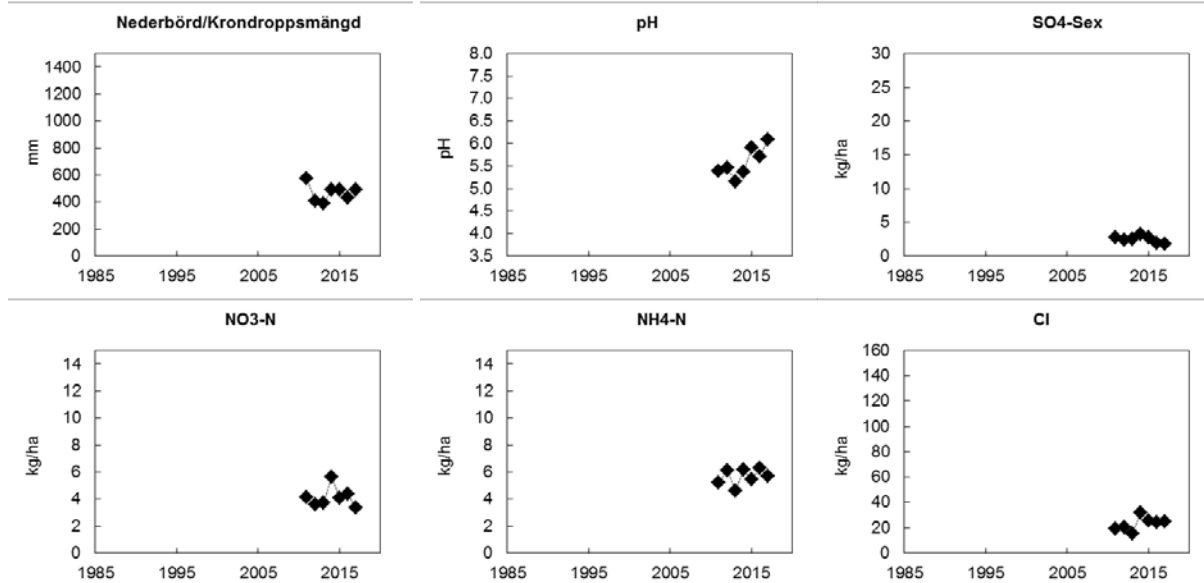
Figur B1.11. Lufthalter vid Klintaskogen (M 13) och Stenshult (M 16). Värden anges för svaveldioxid (SO₂), kvävedioxid (NO₂) och ammoniak (NH₃).

Tabell B3. Lufthalter av NO_x, NO₂ och NO vid Stenshult under 2017.

Månad	NO _x , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂ , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Januari	11.38	7.72	2.39
Februari	8.42	6.17	1.47
Mars	9.79	6.45	2.18
April	6.39	3.28	2.03
Maj	4.78	3.67	0.72
Juni	4.74	3.31	0.93
Juli	5.02	3.25	1.16
Augusti	4.61	3.35	0.82
September	5.29	2.43	1.86
Oktober	6.86	5.54	0.86
November	8.84	6.41	1.59
December	6.37	4.31	1.34
Medel sommarhalvår	5.14	3.22	1.25
Medel vintermånader**	6.87	4.66	1.44
Årsmedelvärde	8.61	6.10	1.64

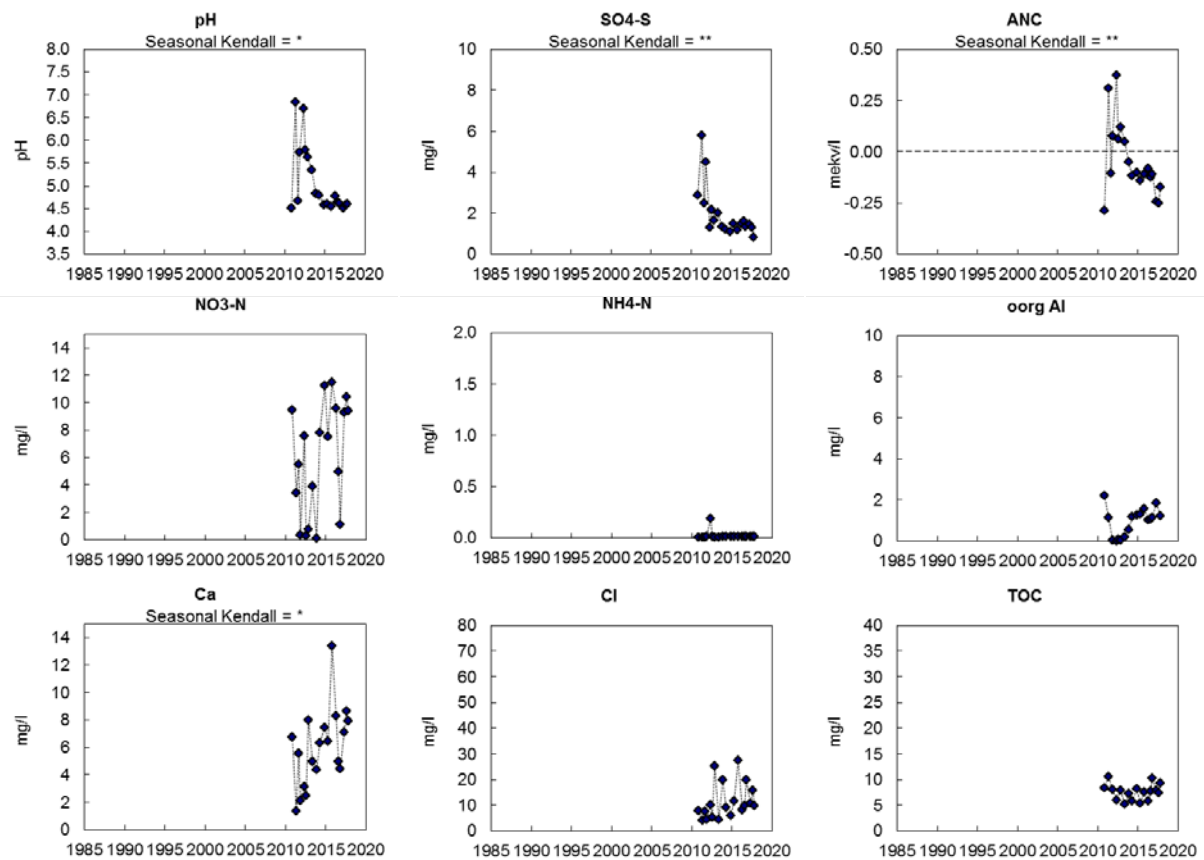
* NO_x är summan av NO och NO₂ och redovisas som om allt vore NO₂ **jan, feb, mar, okt, nov, dec 2017

Baldringe (M 17):



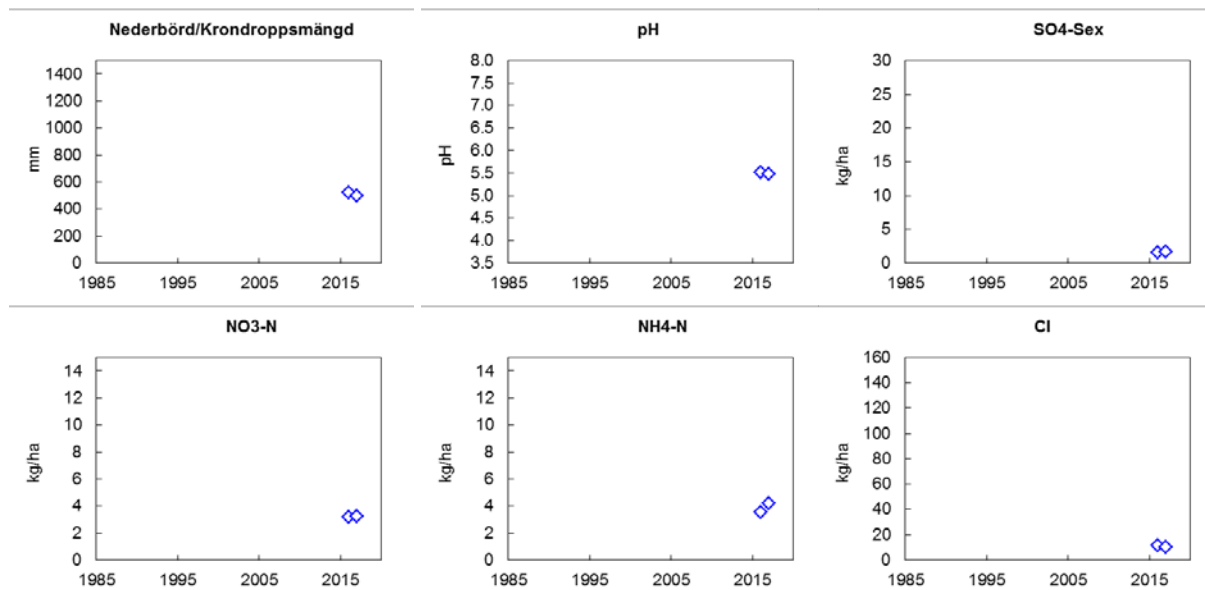
- ◆ - Krondropp (KD)
- ◇ - Öppet fält (ÖF)

Figur B1.12. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Baldringe, M 17**. 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 (SO₄-S ex); nitratkväve (NO₃-N); ammoniumkväve (NH₄-N) och klorid (Cl). Trendanalys har genomförts med Mann-Kendall-analys. Signifikansnivåer anges, ovanför resp. diagram, där signifikanta trender påvisats.



Figur B1.13. Markvattekemi vid **Baldringe, M 17**: Figuren visar pH, sulfatsvavel (SO₄-S), markvattnets buffringkapacitet (ANC), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca²⁺), 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 resp. diagram, där signifikanta trender påvisats.

Falsterbo (M 22):



- ◆ - Krondropp (KD) **Figur B1.14.** Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Falsterbo (M 22): 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 (SO₄-S ex); nitratkväve (NO₃-N); ammoniumkväve (NH₄-N) och klorid (Cl). Trendanalys har genomförts med Mann-Kendall-analys. Signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.





Skånes Luftvårdsförbund



LUNDS
UNIVERSITET



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se