



Nr 677
Juni 2022

Försurning och övergödning i Kronobergs län

Resultat från Krondroppsnätet till och med 2020/21

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



I samarbete med: Lunds universitet



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

Medel från: Kronobergs luftvårdsförbund

Fotograf framsida: Fälleshult, Per Erik Karlsson

Rapportnummer C 677

ISBN 978-91-7883-383-2

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2022**

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

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
1 Krondroppsnetets mätningar – var, när och hur?	6
2 Kväve och övergödning.....	9
2.1 Lufthalter av kväve	10
2.2 Kvävenedfall	11
2.3 Kväve i markvattnet	15
3 Försurning.....	17
3.1 Lufthalter av svaveldioxid.....	18
3.2 Nedfall av svavel.....	18
3.3 Försurningen i markvattnet.....	20
4 Aktuellt & notiser.....	25
4.1 Trender för ANC i markvatten 1996–2021	26
4.2 Ny rapport om depositionen av fosfor till skogsmark, öppen mark och sjöyta i Sverige	27
4.3 Uppdatering av kritisk belastning för kväve.....	29
4.4 Metaller och kväve i mossor undersökta under 2020 i hela landet.....	30
4.5 Tjugo år av luftvårdsforskning har sammanfattats i en rapport	31
4.6 Vetenskapliga artiklar där data från Krondroppsnetet använts	31
4.6.1 Artikel om kritiskt biomassauttag från skogen	31
4.6.2 Artikel med en internationell jämförelse av observerad och modellerad deposition.....	31
4.6.3 Artikel om totalt nedfall av oorganiskt kväve till granskog i Sverige under tjugo år	33
4.7 Ny avhandling om vittring och baskatjon-cirkulation i skogsmark i ett förändrat klimat.	33
5 Tack.....	34
6 Referenser.....	35
Bilaga 1. Mätplatserna i Kronobergs län.....	37

Sammanfattning

På uppdrag av Kronobergs luftvårdsförbund genomför IVL Svenska Miljöinstitutet, i samarbete med Lunds universitet, mätningar av atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi i Kronobergs län. Mätningarna sker inom ramen för Krondroppsnetet (<http://www.krondroppsnetet.ivl.se/>). Kronobergs län har varit medlem i Krondroppsnetet under 25 år.

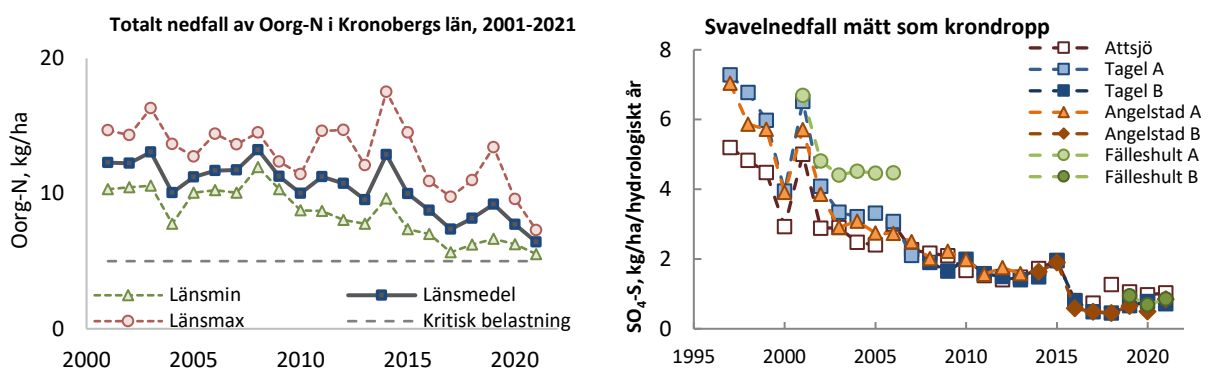
I denna rapport redovisas resultaten från aktiva mätningar under det hydrologiska året 2020/21 i Kronobergs län. Ett hydrologiskt år omfattar oktober till och med september påföljande år. Resultaten från mätningarna från 2020/21 analyseras, tillsammans med tidigare års mätningar, i relation till försurningsläget och kväve-situationen i Kronobergs län. Vidare analyseras resultaten i förhållande till mätningar i andra delar av Sverige inom Krondroppsnetet. I rapporten redovisas även andra Krondroppsnetetsrelaterade aktuella projekt och händelser från 2021, som är relevanta ur Krondroppsnetets synvinkel. I Bilaga 1 visas information om länets mätningar och mätplatser.

Mätningar av atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi har bedrivits inom Krondroppsnetet i Kronobergs län sedan 1996. Under det hydrologiska året 2020/21 gjordes mätningar på fyra platser i länet, vid granskogarna i Fälleshult, Angelstad och Tagel, samt vid tallskogen i Attsjö.

Kvävenedfallet överskrider kritisk belastning

Atmosfäriskt nedfall av oorganiskt kväve till barrskog i Kronobergs län har för det hydrologiska året 2020/21 beräknats till mellan 6 och 8 kg per hektar, med högst nedfall i länets sydvästra delar. Därmed överskrids den kritiska belastningsgränsen för barrskog i Sverige, 5 kg kväve per hektar och år, i hela länet. Kvävenedfallet, beräknat som ett yttäckande medelvärde för hela länet, har dock minskat med 38 % under tjuugoårsperioden 2001–2021, se figur nedan till vänster.

Halterna av nitrat i markvatten är genomgående låga i ostörd skog i länet. Stormskador har dock resulterat i perioder med ökade halter av nitrat i markvattnet. Det är viktigt att skogen fortsätter ta upp allt kväve som kommer med nedfallet för att minimera ett diffust kväveläckage till grund- och ytvatten i länet.



Totalt nedfall av oorganiskt kväve till barrskog som yttäckande medelvärde samt som minimalt och maximalt värde i länet under drygt tjuugo år, 2001–2021 (till vänster). Totalt nedfall av svavel mätt som krondropp vid nu aktiva mätplatser i länet (till höger). Mätningarna av krondropp har för vissa platser flyttats kortare sträckor, vilket visas med olika symboler (för A resp. B).

Svavelnedfallet har minskat kraftigt men återhämtningen från försurning går långsamt

Försurningen av sjöar och vattendrag i Kronobergs län är omfattande och förutsägs bestå under lång tid framöver. Det har dock skett en kraftig minskning av svavelnedfallet, med mellan 76 och 94 %, i länet under de senaste tjuugo åren, se figur ovan till höger. Detta beror på minskade utsläpp av svavel från Sverige och övriga Europa. Sänkt svavelhalt i fartygsbränsle för Östersjön och Västerhavet från 1 januari 2015 kan ha

spelat roll. Numera ligger det årliga svavelnedfallet på omkring 1 kg per hektar, jämfört med 5 till 8 kg per hektar i slutet av 1990-talet.

Det sker en varierande och otillräcklig återhämtning från försurning av markvatten i skogsmarken i länet, särskilt vid granytorna i Angelstad och Tagel. För att markvattnet ska bidra till en återhämtning från försurning i sjöar och vattendrag måste den syraneutraliserande förmågan (ANC) ligga på ett värde som är klart högre än noll. Vid länets provytor ligger ANC i markvattnet kring eller under noll, och särskilt i Angelstad beräknas kraftigt negativa värden. Vid Angelstad förekommer också förhöjda halter av toxiskt oorganiskt aluminium.

För att mark och vatten ska återhämta sig från försurning, och miljömålet *Bara naturlig försurning* ska uppnås, krävs fortsatt lågt svavelnedfall, att nedfallet av kväve inte överskrider vad skogen kan ta upp samt att skogsbrukets försurningspåverkan hålls på en låg nivå.



1 Krondroppsnetets mätningar – var, när och hur?

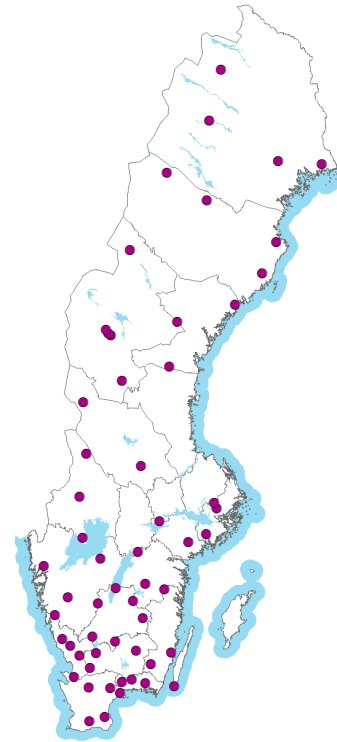
Storskogen-krondropp Fotograf: Magdalena Eriksson

Inom Krondroppsnetet genomfördes under det hydrologiska året 2020/21 mätningar vid 57 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 övergödningproblematiken.

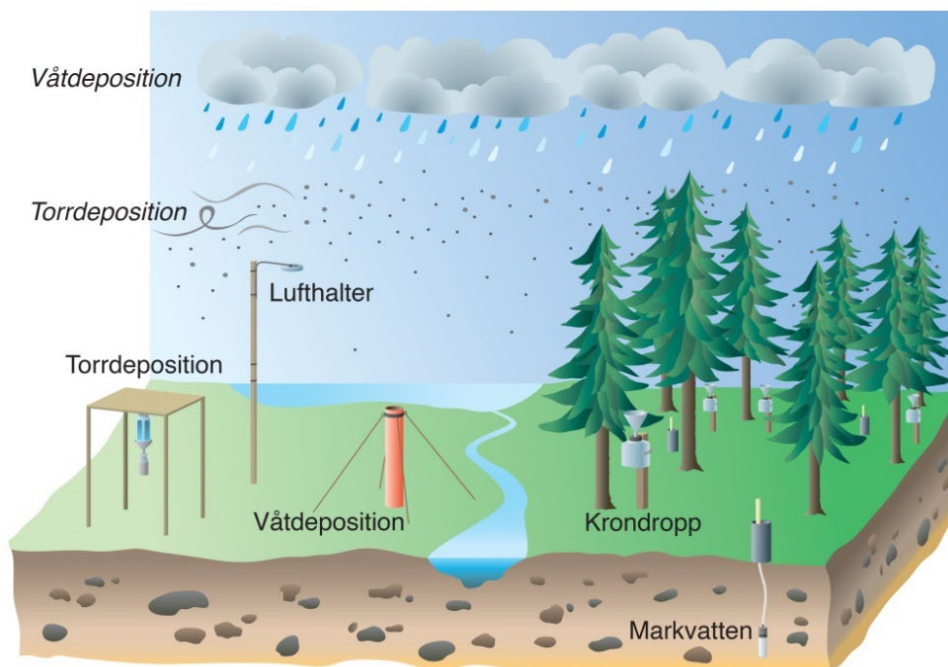
Genom åren har antalet mätplatser inom Krondroppsnetet varierat, som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 ytor. Då övervakningen sker i brukad skog har provytor flyttats vid avverkning samt efter kraftiga störningar, till exempel vid omfattande stormskador. Idag bedrivs mätningar på 57 platser i Sverige, Figur 1, och numera finns mätserier med mer än 30 års data på några ytor.

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

Allt arbete inom Krondroppsnetet från provtagning till kemisk analys, validering och databearbetning utförs enligt väl utarbetade rutiner, och laboratorierna 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.



Figur 1. Samtliga ytor inom Krondroppsnetet 2020/21.



Figur 2. Inom Krondroppsnetet mäts lufthalter, våt- och torrdeposition samt markvattenkemi. Nedfallet mäts dels på öppet fält, 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)

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 svavel-dioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon på öppet fält på tre meters höjd över marknivå på vissa platser i landet.



Foto: öppen fältprovtagare



lufthaltsprovtagare

Våt- respektive torrdeposition

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 träd-kronorna. 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 bas-kationer, krävs kompletterande mätningar med sträng-provtagare, för att korrekt kunna beräkna torr-depositionen.



Foto: strängprovtagare

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 effekter av nedfall på skogsmarkens reaktion. Provtagningen görs med hjälp av undertryckslysimetrar som suger vatten i mineraljorden på 50 centimeters djup.



Foto: krondroppsprovtagare



markvattenutrustning

Data från Krondroppsnetet är fritt tillgängliga från Krondroppsnetets webbplats: <http://www.krondroppsnetet.ivl.se/>. På webbplatsen finns även samtliga kontaktuppgifter.

2 Kväve och övergödning

Utsläpp till luft av kväveoxider (NO_x), främst från transporter och industri, tillsammans med utsläpp av ammoniak (NH₃), främst från jordbruket, leder till atmosfäriskt nedfall av kväve som kan bidra till både övergödning och försurning av mark och vatten. Övergödning av skogsmarken kan leda till en förändrad markvegetation. Det kväve som inte tas upp av skogsekosystemen, och som uppmäts som förhöjda halter av främst nitratkväve i markvattnet, kan transporteras vidare och bidra till förhöjda nitrathalter i grundvattnet och därmed försämrad dricksvattenkvalitet, samt övergödning av ytvatten.

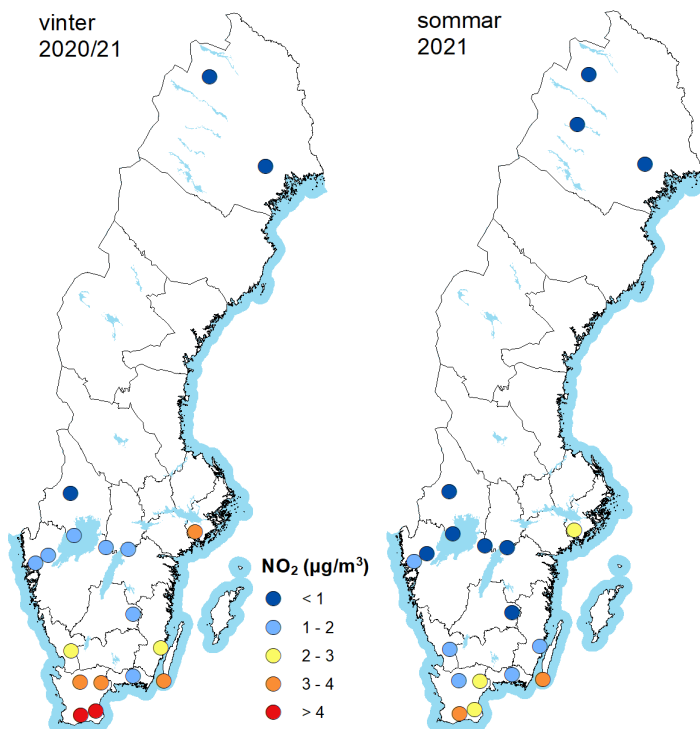
Komperskulla Fotograf: Per Erik Karlsson

Miljö kvalitetsmålet "Ingen övergödning" nås inte i Kronobergs län (Länsstyrelsen i Kronobergs län, 2021). Tjugo procent av sjöarna och vattendragen är övergödda och har sämre status än god vad gäller näringsämnen. Bedömningen av status för övergödning av sjöar och vattendrag grundas främst på förekomsten av fosfor men även kväve spelar roll. Nedfall av luftburet kväve med ursprung från svenska och internationella källor bidrar till övergödningen. Kvävenedfallet till skog i Kronobergs län har minskat men överskrider fortfarande den kritiska belastningsgränsen för granskog i Sverige, 5 kg kväve per hektar och år.

Skogarna i länet har en stor kapacitet till att lagra deponerat kväve i marken. Mätningar i granytorna vid Angelstad och Fälleshult i de västra delarna av länet visar dock att störningar av skogsekosystemen, såsom exempelvis stormskador, kan göra att kväve börjar läcka ut i markvattnet. Det kväve som inte tas upp av skogsekosystemen kan transporteras vidare och bidrar till ett diffust läckage av kväve till grund- och ytvatten.

2.1 Lufthalter av kväve

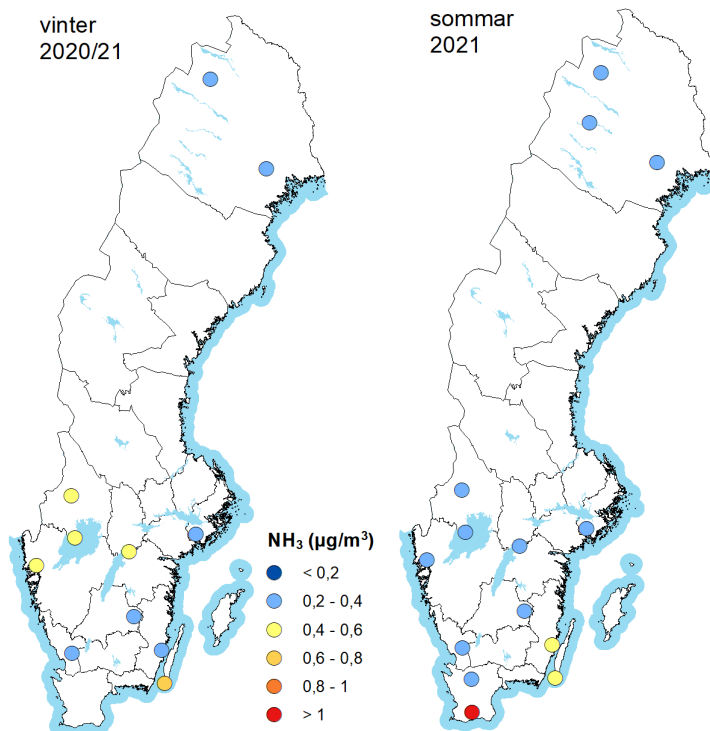
Mätningar av lufthalter i bakgrundsmiljön fyller en viktig funktion att bekräfta om luftföroreningarna över Sverige minskar i takt med rapporterade minskade utsläpp av långväga transporterade luftföroreningar från Europa. I Kronobergs län bedrivs dock inga mätningar av lufthalter i Krondropps nätets regi. I Figur 3 visas lufthalterna av kvävedioxid vid alla platser med lufthaltmätningar inom Krondropps nätet. Högst halter av kvävedioxid (NO₂) uppmättes vintertid i Skåne, Halland, Kalmar län samt i Stockholmsregionen. Halterna av NO₂ är generellt lägre sommartid men fördelningen över landet är likartad som på vintern.



Figur 3. Lufthalter av kvävedioxid (NO₂) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondropps nätet i Sverige. Vidare visas resultat från tre mätplatser inom det nationella mätnätet SveLod (två i Västra Götalands län och en i Blekinge). Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret oktober till mars.

Ammoniak (NH₃) har en hög depositions hastighet och deponeras därför nära utsläppskällorna. Lufthalterna i bakgrundsmiljön blir därför generellt låga. I Figur 4 visas halterna av NH₃ under vintern 2020/21 och

sommaren 2021 vid alla mätplatser inom Krondroppsnetet. Högst halter uppmättes sommaren 2021 i södra Skåne, på grund av utsläpp från djurhållning och gödsling inom jordbruket. Under vintern uppmättes högst halter av NH_3 vid Ölands södra udde samt i västra delarna av Götaland/Svealand.



Figur 4. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondroppsnetet i Sverige. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

2.2 Kvävenedfall

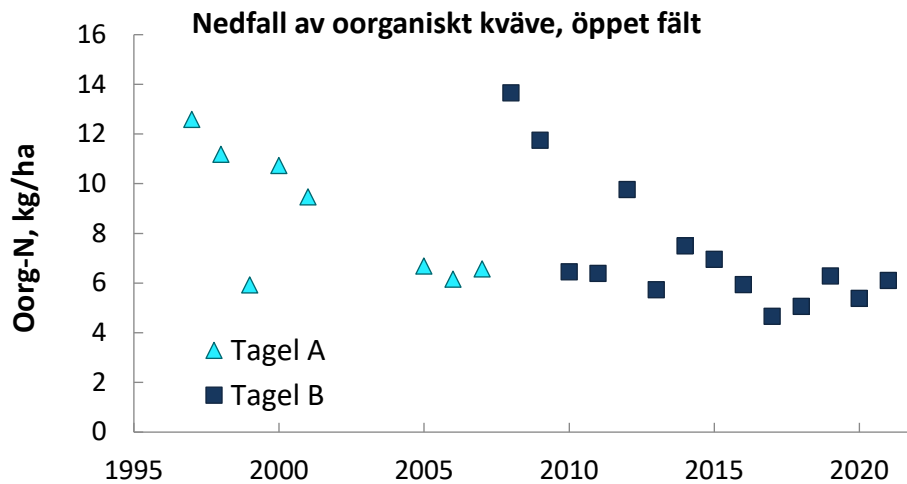
Kväve tillhör de ämnen där det inte går att beräkna totalt atmosfäriskt nedfall till skog, inkluderat både torr- och våtdeposition, baserat enbart på mätningar av krondropp, eftersom en del av det deponerade kvävet tas upp direkt i trädkronorna och därför inte når insamlarna för krondropp vid marken. För att beräkna det totala nedfallet av oorganiskt kväve (summan av nitrat och ammonium) till skog krävs samlokaliserad mätutrustning för nedfall med nederbörden till öppet fält, för nedfall som krondropp samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare (Karlsson m.fl., 2019, 2022). Denna typ av samlokaliserade mätningar finns vid elva mätplatser runt om i Sverige, dock inte i Kronobergs län, och bedrivs i huvudsak med finansiering från Naturvårdsverket.

Andelen torrdeposition av kväve följer ett geografiskt mönster över Sverige, från sydväst mot nordost (Karlsson m.fl., 2022). Utifrån detta mönster går det att uppskatta andelen torrdeposition av kväve för alla mätplatser där det mäts våtdeposition till öppet fält. Genom att summera beräknad torrdeposition och uppmätt våtdeposition får man en skattning av det totala nedfallet av oorganiskt kväve till granskog för alla platser med öppet fältmätningar, inklusive Tagel i norra delen av Kronobergs län.

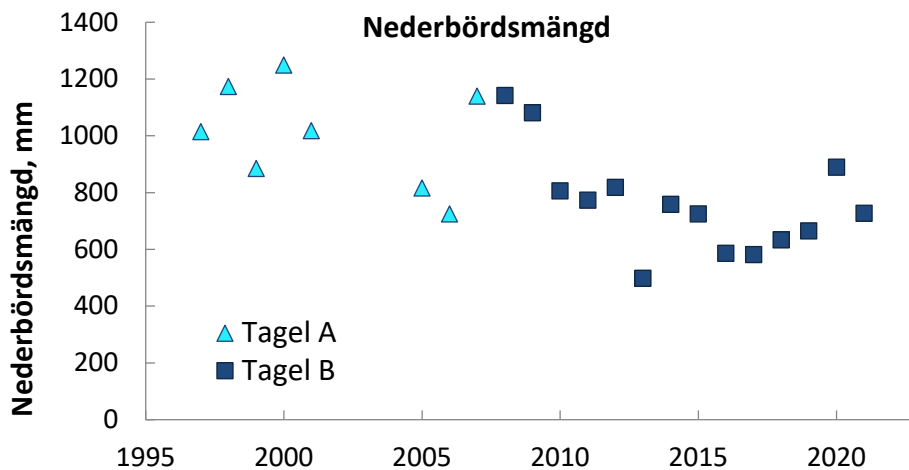
Nedfallsmätningarna på öppet fält vid Tagel har bedrivits sedan 1997. Mätningarna har flyttats en kortare sträcka vid ett tillfälle, vilket bedöms ha liten betydelse när det gäller mätningar av nedfall på öppet fält. Det saknas dock resultat för åren 2002–2004. Vid Tagel har nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält, vilket huvudsakligen motsvarar våtdepositionen, varierat mellan 4,7 och 13,7 kg per hektar och år under mätperioden 1997–2021, Figur 5. Under det hydrologiska året 2020/21 uppmättes ett nedfall på öppet fält på 6,1 kg oorganiskt kväve per hektar. Under de hydrologiska åren 2000/01–2020/21 minskade nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält vid Tagel med 32 %. De rapporterade utsläppen av

oorganiskt kväve ($\text{NH}_3 + \text{NO}_x$ (som NO_2)) har minskat med sammanlagt 31 % inom EU-27+UK och 25 % i Sverige under perioden 2001–2019 (CEIP, 2022). Minskning av nedfallet av oorganiskt kväve till öppet fält vid Tagel följer således minskningen av de rapporterade kväveutsläppen.

Nederbörds mängderna påverkar storleken på det atmosfäriska nedfallet och variationer i nederbörden kan därför förklara en del av tidsutvecklingen vad gäller kvävenedfallet. Nederbörds mängderna vid Tagel har under samma mätperiod minskat statistiskt säkerställt med 39 % (Figur 6).



Figur 5. Årligt nedfall av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält vid Tagel, G 22, baserat på hydrologiskt år. Mätningarna flyttades 1 oktober 2007, vilket indikeras med olika symboler för Tagel A och B.

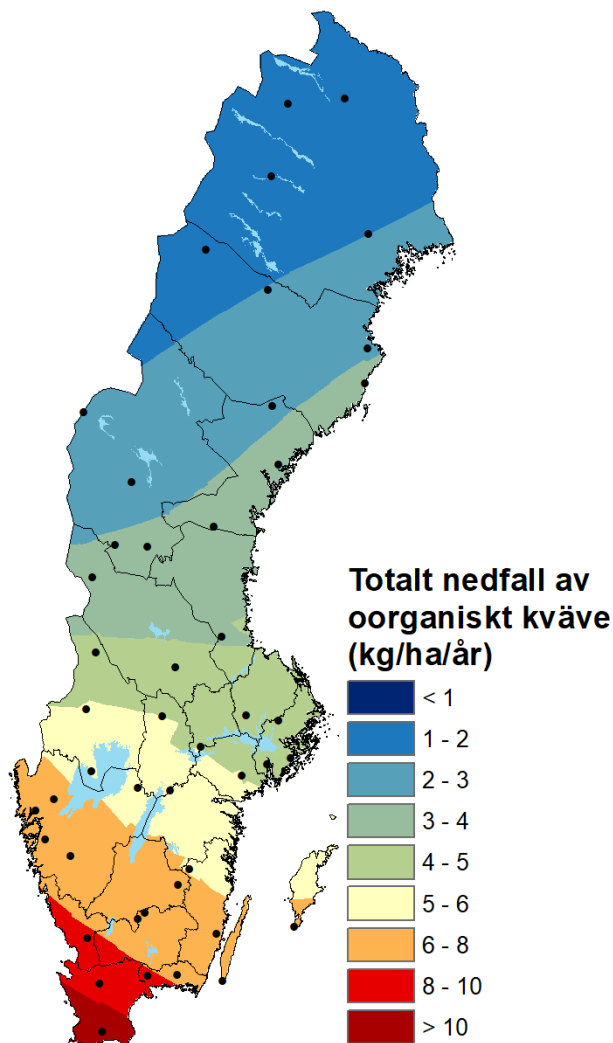


Figur 6. Uppmätta nederbörds mängder vid Tagel. Mätningarna flyttades 1 oktober 2007, vilket indikeras med olika symboler för Tagel A och B.

Genom att använda geografisk interpolation har det totala kvävenedfallet beräknats yttäckande för hela landet, inklusive Kronobergs län (Figur 7, Karlsson m.fl. 2022, samt <http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/>). Beroende på att en del av dessa analyser finansierats genom miljömålsuppföljningen inom Havs- och vattenmyndigheten, redovisas vissa analyser baserat på kalenderår.

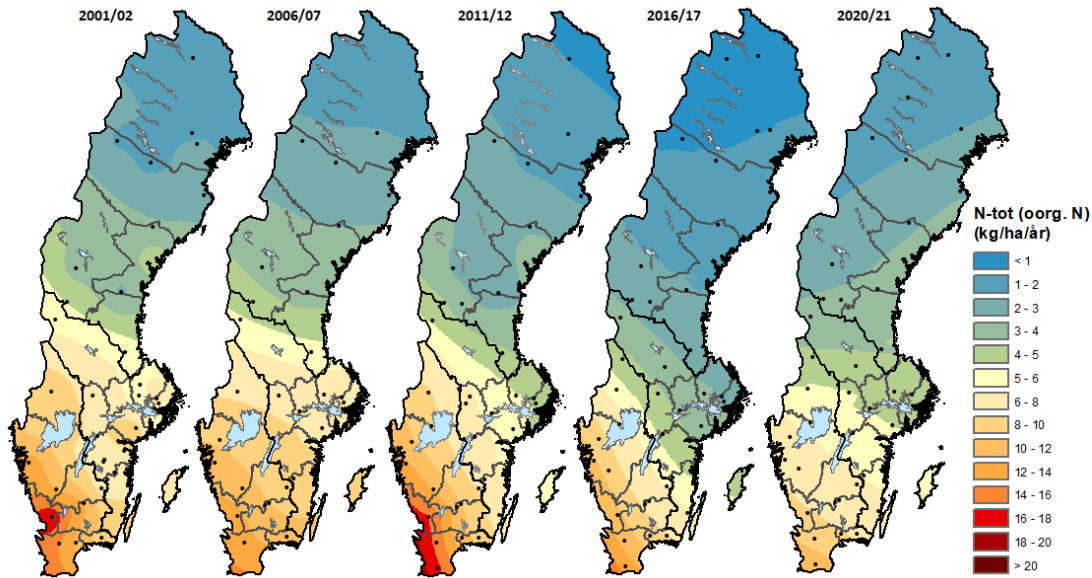
Det beräknade, årliga totala kvävenedfallet över Kronobergs län varierade under kalenderåret 2021 mellan 5,5 och 7,3 kg per hektar, med högst nedfall i de västra delarna. Det yttäckande medelvärdet för det totala kvävenedfallet till barrskog i Kronobergs län var för kalenderåret 2021 6,4 kg per hektar. Motsvarande värden för det hydrologiska året var minimum 6,4, maximum 8,8 och medelvärde 7,4 kg per hektar. Det platsspecifika, totala nedfallet av oorganiskt kväve vid provytan Tagel för kalenderåret 2021 beräknades till 7,2 kg per hektar. Den kritiska belastningen för övergödande kväve till gran- och tallskog i Sverige, 5 kg per hektar och år (Moldan m.fl., 2011) överskreds därmed i hela Kronobergs län under 2021 och har gjort så under lång tid.

Det totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog i Sverige, beräknat som geografiskt interpolerade värden under det hydrologiska året 2020/21, varierade mellan 1–2 kg per hektar och år i norr och >10 kg per hektar och år i sydväst (Figur 7). Observera att legenderna skiljer sig åt mellan Figureerna 7 och 8.

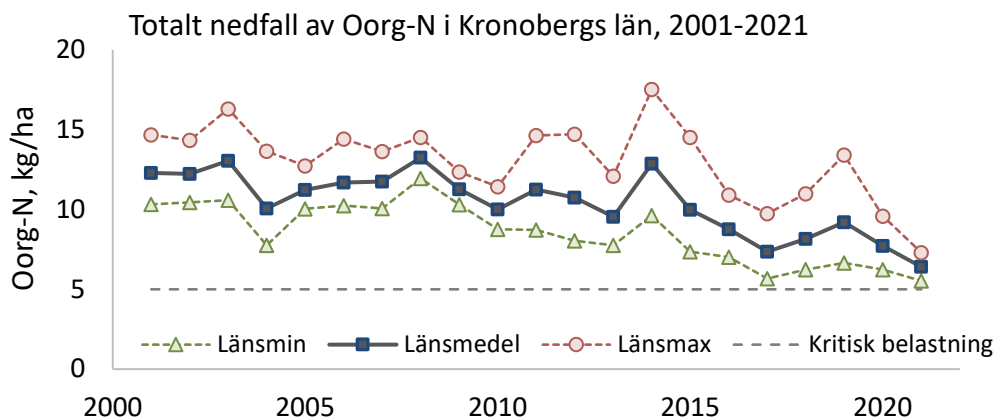


Figur 7. En geografiskt interpolerad karta över totalt nedfall av oorganiskt kväve (torr- och våtdeposition, $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) under det hydrologiska året 2020/21. Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2019; 2022). Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

I Figur 8 visas kartor över totaldepositionen av kväve för perioden 2001–2021 för hydrologiska år med fem års intervall och i Figur 9 visas ett diagram med tidsutvecklingen för länsvisa, yttäckande medel-, max- och minvärden för Kronobergs län baserat på kalenderår. En trendanalys visade att det beräknade, yttäckande, totala kvävenedfallet till barrskog i Kronobergs län har minskat signifikant med 38 %, under perioden 2001–2021. Det beräknade totala nedfallet av oorganiskt kväve vid provytan Tagel minskade under de hydrologiska åren 2004/05–2020/21 med 36 %. Som redan beskrivits ovan, minskade de rapporterade utsläppen av oorganiskt kväve ($\text{NH}_3 + \text{NO}_x$ (som NO_2)) med sammanlagt 31 % inom EU-27+UK och 25 % i Sverige under perioden 2001–2019 (CEIP, 2022). Det totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog i Kronobergs län minskade således i stort sett i takt med de rapporterade kväveutsläppen från Europa under samma period.



Figur 8. Geografiskt interpolerade kartor över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) med fyra/fem års mellanrum under perioden 2001/02–2020/21, baserat på hydrologiska år. Den geografiska interpoleringen har gjorts med Kriging-metodik. Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2022). Under perioden 2008–2013 bedrevs inga mätningar med strängprovtagare, så torrdepositionen har för denna period interpolerats över tid.



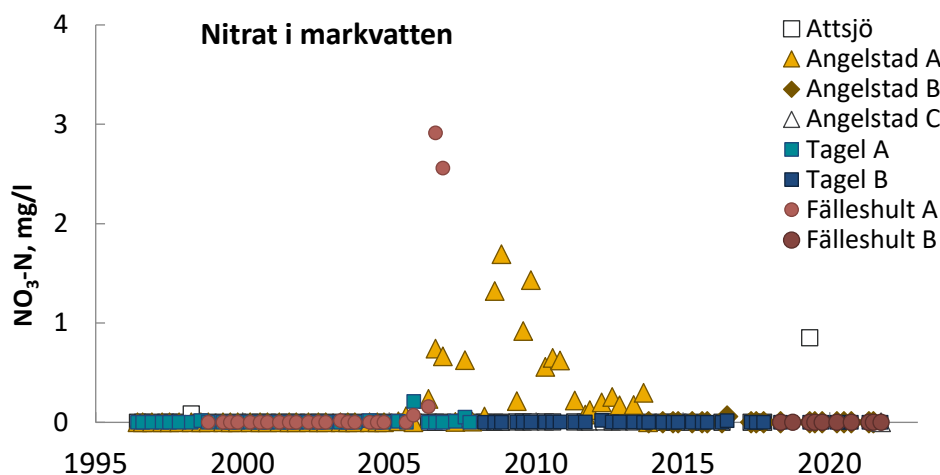
Figur 9. Totalt nedfall av oorganiskt kväve (summan av torr- och våtdeposition, $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) till barrskog under kalenderår mellan 2001 och 2021. Baserat på en geografiskt interpolerad karta över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) över Kronoberg. Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2022). Interpolering har gjorts med Kriging-metodik. Horisontell streckad grå linje indikerar den kritiska belastningen för kväve till barrskog i Sverige. Dessa beräkningar görs på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten och redovisas därför för kalenderår.

2.3 Kväve i markvattnet

Skogsekosystemen i Sverige tar vanligtvis upp allt oorganiskt kväve, i träd, övrig vegetation och markens mikroorganismer (Tamm, 1991). Utlakning av kväve från rotzonen blir därför i de flesta fall låg. I sydvästligaste Sverige, framför allt i Skåne och Halland, förekommer dock förhöjda halter av nitratkväve i markvattnet vid en del mätplatser (Akselsson m.fl., 2010). Även i andra delar av landet finns exempel på förhöjda halter i markvattnet, men då oftast i samband med störningar som avverkning, stormfällan eller insektsangrepp (Hellsten m.fl., 2015; Karlsson m.fl., 2018).

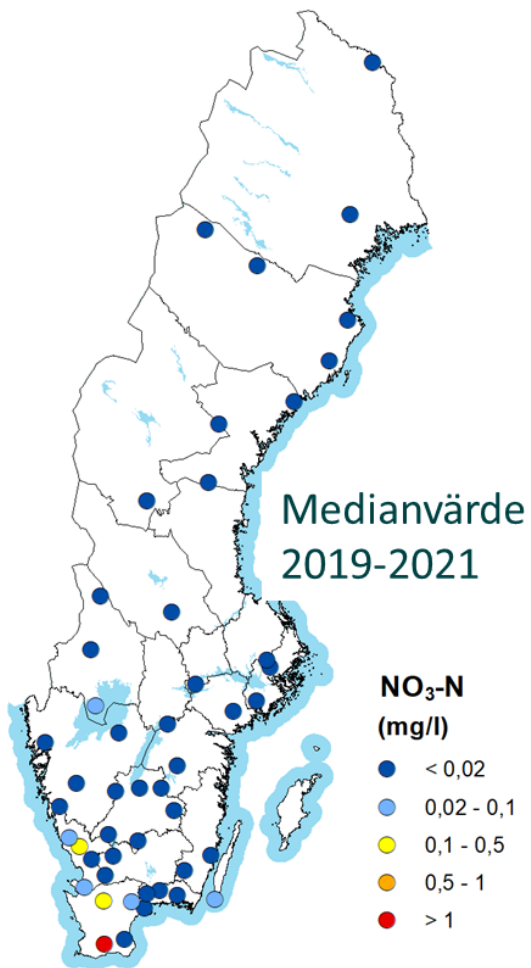
Markvattenmätningarna har vid vissa platser flyttats kortare sträckor, vilket indikeras med olika bokstavsbezeichnungar, se Figur 10. I motsats till nedfallsmätningarna, kan markvattenkemin variera avsevärt mellan närliggande platser. Därför analyseras tidsserier vad gäller flyttade platser separat. Detta begränsar möjligheterna till statistiska trendanalyser.

Resultaten från mätningar av nitratkvävehalter i markvatten fram till år 2021 visas i Figur 10 för alla nu aktiva mätplatser i Kronobergs län. Resultaten visar att det inte förekommer nitrat i markvattnet vid provytor i ostörd, växande skog i Kronobergs län. Störningar, såsom stormarna Gudrun, 2005, och Per, 2007, ledde dock under en period till tydligt förhöjda nitrathalter i markvattnet vid Angelstad och Fälleshult i länets västra delar. Resultat från de nya krondroppsytorna vid Angelstad och Fälleshult bekräftar att nitrat inte förekommer i markvattnet i ostörd granskog vid dessa platser, trots att de ligger i den del av länet som är mest utsatt vad gäller kvävenedfall.



Figur 10. Nitrathalter i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.

En sammanställning av data från samtliga nu aktiva krondroppsytor med markvattenmätningar i Sverige (Figur 11) visar att halterna av nitratkväve, angivet som median för åren 2019–2021, generellt har varit låga i hela Sverige under de senaste åren, med undantag av ett fåtal mätplatser i Skåne och Halland, där medianen översteg 0,1 mg per liter. För alla provytor i Kronobergs län var medianvärdet för denna period under detektionsgränsen.



Figur 11. Koncentrationen av nitrat (NO₃-N) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnätet redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar (2019–2021). Resultat från ytor med färre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats har tagits bort.

3 Försurning

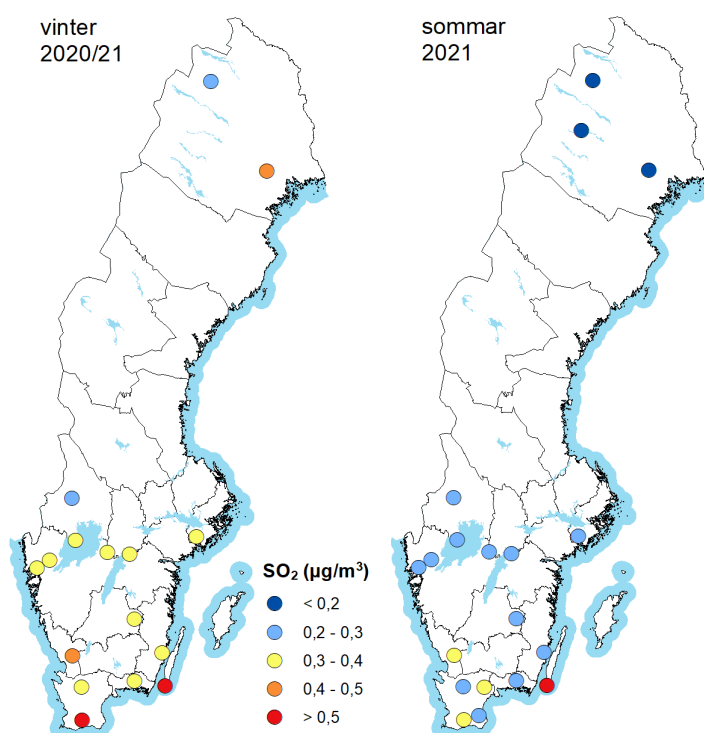
Försurning av mark och vatten orsakas av både svavel- och kvävednedfall, men även skogsbruket bidrar eftersom träd tillväxt innebär försurning, som permanentas när biomassa skördas och förs bort från skogen. Historiskt höga utsläpp av svaveloxider (SO_x) från industri och från förbränning av kol och olja är den främsta orsaken till försurning av mark och vatten i Sverige. Vid låga pH uppträder aluminium som en giftig trevärd jon, som kan skada fiskar och andra vattenlevande organismer samt även skada trädens rötter. En ytterligare effekt av lågt pH är att vissa andra metaller, t.ex. kadmium och bly, blir mer lätttrörliga i marken och kan läcka ut till ytvattnet.

Hundshögen L Fotograf: Leif Rodhe

Försurningen kvarstår som ett betydande miljöproblem i Kronobergs län (Länsstyrelsen i Kronobergs län, 2021). Det bedrivs en omfattande kalkningsverksamhet i länet. Nedfallet av svavel över Kronobergs län har minskat kraftigt sedan 1990-talet, men trots det minskade sura nedfallet går återhämtningen från försurning i markvattnet i länets skogar långsamt.

3.1 Lufthalter av svaveldioxid

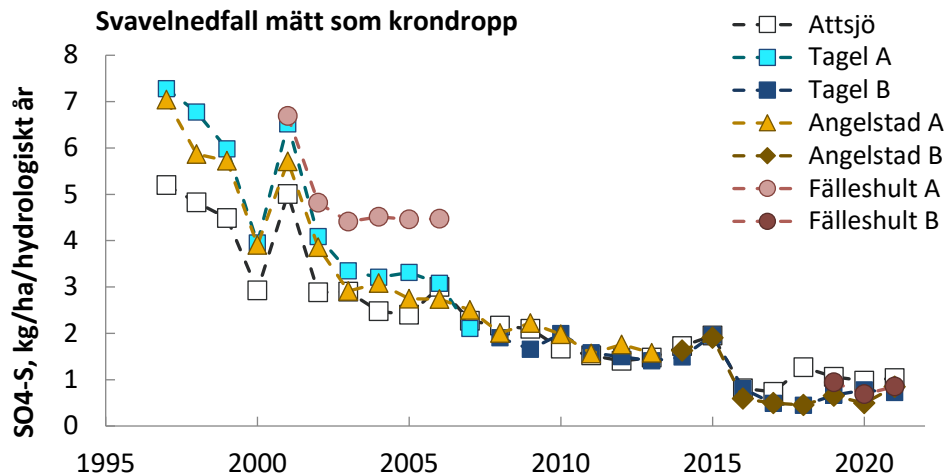
Det finns inga mätningar av lufthalter i Kronobergs län i Krondroppsnetets regi. I Figur 12 visas svaveldioxidhalterna under vinterhalvåret 2020/21 och sommarhalvåret 2021 vid nu aktiva mätplatser inom Krondroppsnetet. Under vintern 2020/21 uppmättes högst SO₂-halter vid de kustnära mätplatserna i södra Sverige, Stenshult, på Romeleåsen i södra Skåne, Timrilt öster om Halmstad samt Ottenby vid Ölands södra udde. Det finns även ett högt värde i Norrbottens län. Under sommaren 2021 var halterna generellt lägre, med högsta halterna vid Ottenby. I januari 2015 sänktes halterna av svavel i fartygsbränsle på Östersjön från 1 % till 0,1 %. Lufthaltsmätningarna av svavel inom Krondroppsnetet tyder dock på att fartygstrafiken har en fortsatt påverkan på lufthalterna vid kustnära områden i södra och mellersta Sverige.



Figur 12. Lufthalter av svaveldioxid (SO₂) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondroppsnetet i Sverige. Vidare visas resultat från tre mätplatser inom det nationella mätnätet SveLod (två i Västra Götalands län och en i Blekinge). Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

3.2 Nedfall av svavel

Svavelnedfall via krondropp ger ett samlat mått på det totala svavelnedfallet till skog. Svavelnedfallet till skogen i Kronobergs län har minskat kraftigt sedan mitten av 1990-talet och minskningen är statistiskt säkerställd för samtliga nu aktiva skogsytor i länet (Figur 13). Under det hydrologiska året 2020/21 varierade svavelnedfallet mellan 0,8 och 1,0 kg per hektar och år vid de fyra mätplatserna i länet. I jämförelse uppmättes vid Angelstad och Tagel 1997 ett svavelnedfall på 7–8 kg per hektar. De sex senaste åren har det totala svavelnedfallet vid mätplatserna i Kronobergs län varit runt eller strax under 1 kg per hektar.

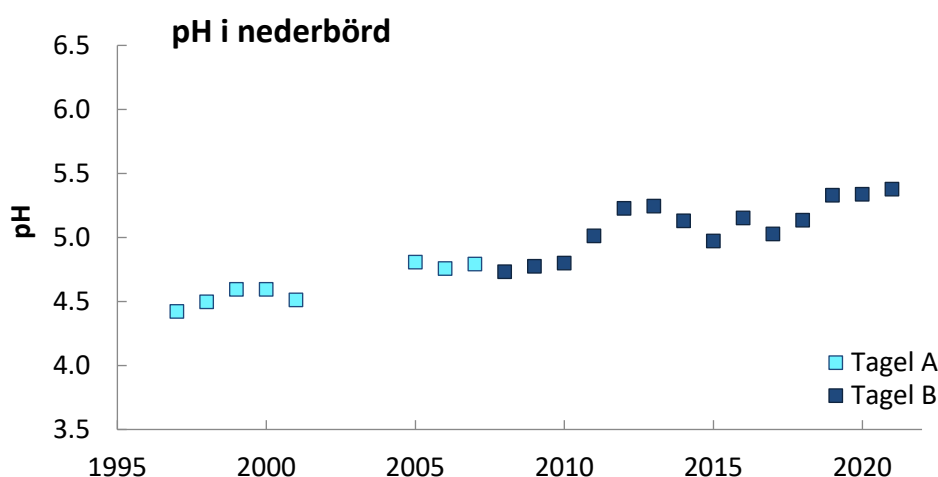


Figur 13. Årligt nedfall av svavel till aktiva provytor i Kronobergs län, mätt som krondropp. Bidraget från havssalt har exkluderats. Beräkningarna gäller hydrologiskt år, oktober-september. Mätningarna vid Tagel, Angelstad och Fälleshult har flyttats, vilket indikeras med olika symboler, A och B. Analyserna av tidsserier för nedfall för dessa platser görs utan hänsyn till dessa förflyttningar, eftersom de troligen har liten betydelse. Efter den sista flyttningen av mätplatsen Angelstad finns ännu inte tillräckligt med data för ett helt hydrologiskt år. Tagel, Angelstad och Fälleshult utgörs av granskog, medan ytan i Attsjö består av tallskog.

Svavelnedfallet vid länets mätplatser har sedan hydrologiska året 2000/01 minskat med 76–94 %. Dessa nedfallsminskningar kan jämföras med att utsläppen av svaveloxider (SO_x), mätt som SO_2 , har minskat mellan 2001 och 2019 med 88 % inom EU-27 + UK och med 67 % i Sverige (CEIP, 2022). Svavelnedfallet över Kronobergs län minskar således i stort sett i samma takt som minskningarna av svavelutsläppen i Europa.

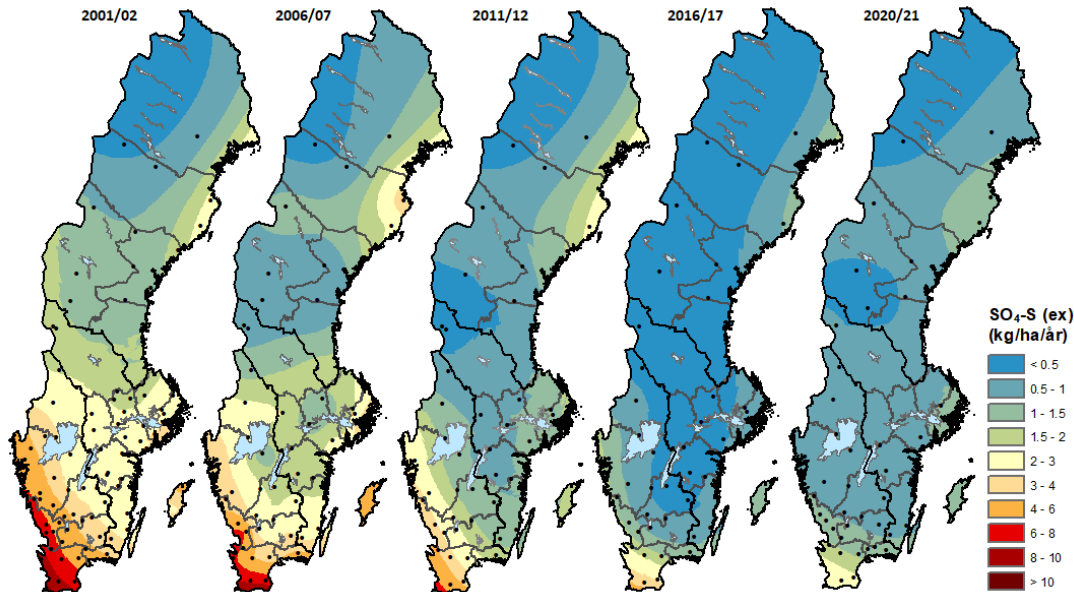
Under de senaste sex åren förefaller dock minskningen av svavelnedfallet ha stannat av. Svavelnedfallet under de hydrologiska åren 2014/15 och 2015/16 påverkades av svavelutsläpp från en vulkan på Island (Hellsten m.fl., 2017). I januari 2015 sänktes halterna av svavel i fartygsbränsle på Östersjön från 1 % till 0,1 %. Rapporterade utsläpp från EU-27 + UK har fortsatt att minska fram till och med 2019 (CEIP, 2022).

Minskat svavelnedfall återspeglas även i ökat pH i nederbörden. Under det senaste hydrologiska året uppmättes det högsta pH-värdet hittills i nederbörden vid Tagel sedan mätstarten, 5,4. Mellan 1996/97 och 2020/21 har pH-värdet vid Tagel ökat signifikant med 12 % (Figur 14).



Figur 14. pH i nederbörden vid Tagel. Nederbörden mäts månadsvis och pH-värdet medelvärdesbildas för hydrologiskt år, oktober-september. Mätningarna flyttades 1 oktober 2007, vilket indikeras med olika symboler för Tagel A och B.

Nedfallet av svavel till granskog i Sverige visas i Figur 15 för vart femte hydrologiskt år sedan 2001/02 (sista perioden är endast fyra år). Det framgår att den högsta belastningen av svavelnedfallet har varit i sydvästra Sverige. Skillnaderna över Sverige har dock minskat med åren.



Figur 15. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) med fyra/fem års mellanrum under perioden 2001/02–2020/21 i krondroppet vid mätstationerna (grandominerade) inom Krondroppsnetet i Sverige. Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

3.3 Försurningen i markvattnet

Markvattnets försurningsstatus vid Krondroppsnetets mätplatser beror i stor utsträckning på nuvarande och historiskt nedfall av svavel på platsen i kombination med markens buffringsförmåga. På vissa platser, och under vissa perioder, kan dock även försurningsstatus påverkas av ett överskott av kväve som inte tas upp av vegetationen, havssaltsnedfall som leder till jonbyte samt olika former av störningar i marken som kan påverka halten löst organiskt kol i marken (Akselsson m.fl., 2013). På längre sikt påverkar även skogsbruket markvattnets försurningsstatus (Akselsson & Belyazid, 2018; Akselsson, m.fl. 2021). Delar av Kronobergs län tillhör de områden i södra Sverige som har tagit emot störst nedfall av svavel och kväve, och är därmed ett av de mest försurningsdrabbade länen. Det bedrivs även ett omfattande skogsbruk i länet.

Markvattenmätningarna vid Tagel, Angelstad och Fälleshult har under årens lopp flyttats kortare sträckor. I motsats till nedfallsmätningarna, kan markvattenkemin variera avsevärt mellan närliggande platser. Därför behandlas tidsserierna vad gäller flyttade platser separat när det gäller statistiska analyser. Etablering av nya lysimetrar vid en ny mätplats innebär alltid en viss störning i marken, så resultaten för Angelstad under 2021 får tolkas med försiktighet.

Resultaten för några olika parametrar som beskriver försurningstillståndet i markvattnet vid nu aktiva mätplatser, fram till och med 2021, visas i Figur 16–18. Vid Attsjö kunde endast ett fåtal prover tas under senare år eftersom det varit torrt i marken, och för vissa parametrar, exempelvis oorganiskt aluminium, kunde provet inte analyseras på grund av för liten provvolym.

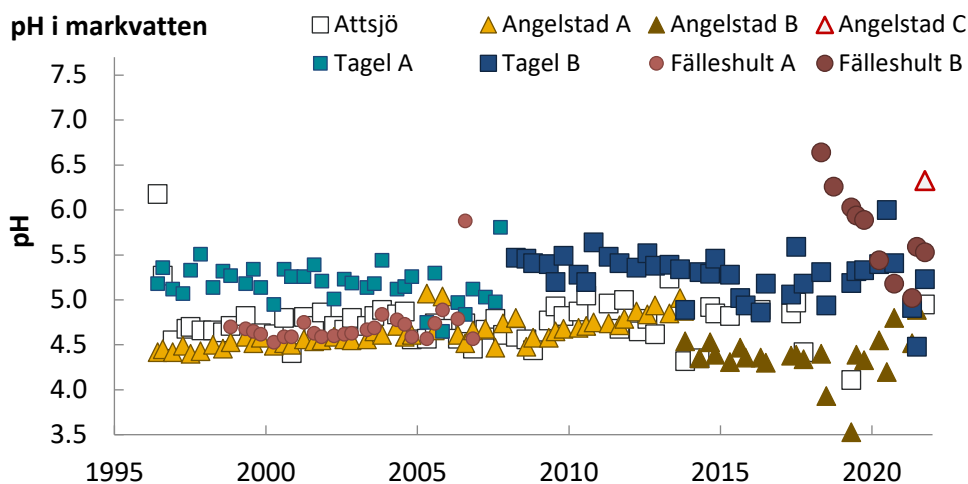
pH är ett av de mått som kan användas för att följa markvattnets återhämtningsförlopp efter försurning. Bedömningen av vid vilket pH som markvattnet kan anses försurat beror till viss del på jordens mineralinnehåll i området, halterna av organiska ämnen m.m. Enligt bedömningsgrunderna för försurad mark

innebär pH under 4,4 hög surhet, medan pH 4,4–5,5 innebär måttlig surhet. Även markvattnets ANC (syraneutraliserande förmåga) används för att följa markvattnets återhämtningsförlopp. Ett negativt värde på ANC innebär att det inte finns någon buffringskapacitet i markvattnet. Halterna av toxiskt, oorganiskt aluminium ökar vid ett lågt pH och kan därför användas som ett mått på försurningspåverkan.

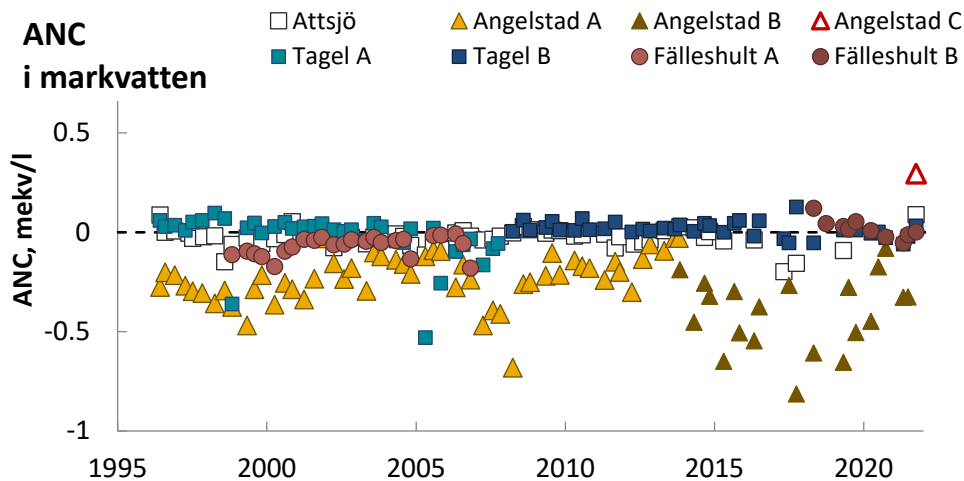
Markvattnet på mätplatserna i Kronobergs län har i flera fall låga värden för pH, lågt ANC och förhöjda halter av oorganiskt aluminium. Både Angelstad och Attsjö har uppvisat låga pH-värden i markvattnet under senare tid. Under 2021 var det endast vid den nyligen flyttade ytan Angelstad som pH klart överskred 5,5. En bidragande förklaring till de låga pH-värdena är höga kloridhalter vid Angelstad och höga halter av sulfatsvavel vid Attsjö (se nedan). En annan delförklaring skulle kunna vara påverkan från det torra vädret under senare år.

Bedömningen av tidsutvecklingen vad gäller försurningstillståndet i markvattnet i länet kompliceras av att tre mätplatser har flyttats och att det finns en lucka i mätningarna vid Fälleshult på 12 år. Mätplatsen vid Angelstad B uppvisar generellt en mycket sämre försurningsstatus jämfört med den gamla ytan Angelstad A. För den senaste ytan vid Angelstad C finns endast ett fåtal mätresultat, så bedömningen av försurningsstatus får vänta. Även vid Tagel var skillnaderna betydande mellan gamla och nya ytan, med högre pH vid den nya ytan. Den nya ytan Fälleshult uppvisar en relativt bra status i markvattnet ur försurningsynpunkt, med ett pH mellan 5,0 och 5,5, relativt positiva värden på ANC och låga halter av oorganiskt aluminium i markvattnet.

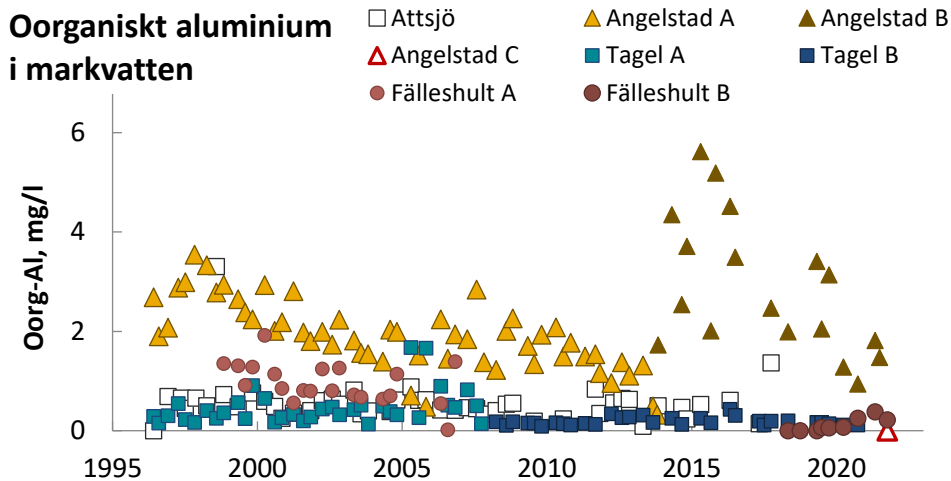
Det finns tecken på att försurningstillståndet i markvattnet vid tallytan i Attsjö försämrades under 2017, med lägre pH och ANC samt något förhöjda halter av oorganiskt aluminium. Under 2018 gick det inte att provta markvatten vid något tillfälle, och under 2019 kunde provtagningen bara göras vid ett tillfälle. Resultaten från en provtagning under 2021 tyder dock på en förbättrad försurningsituation.



Figur 16. pH i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.



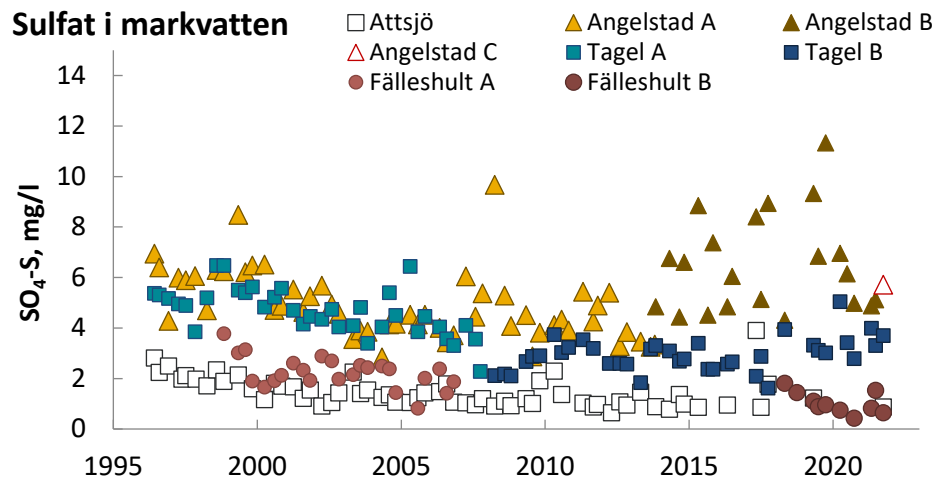
Figur 17. ANC (den syraneutraliserande förmågan) i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.



Figur 18. Oorganiskt aluminium i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.

För att förstå de långsiktiga trenderna för markvattnets försurningsstatus kan tidstrender för svavel-, klorid- och nitratkvävehalter i markvattnet vara en bra utgångspunkt, som mått på konsekvenserna av svavelnedfall, havssaltsepisoder med efterföljande jonbyte, respektive överskott av kväve.

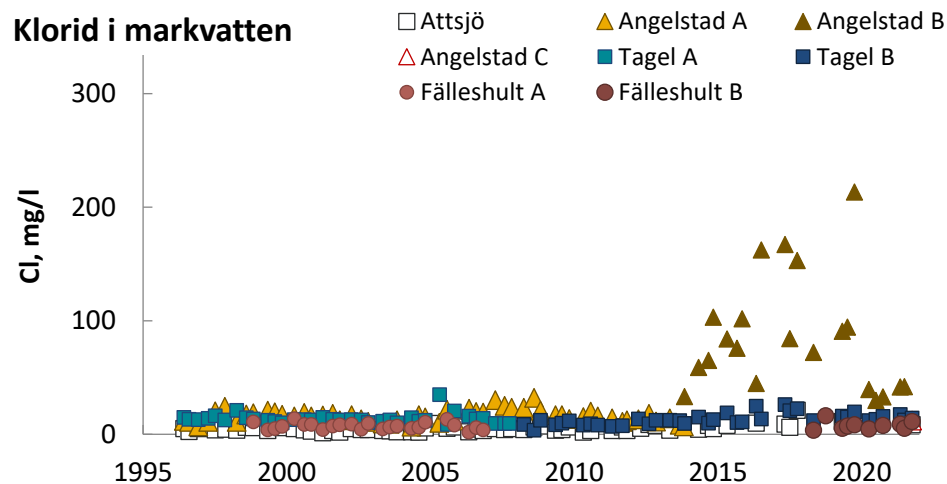
De fyra mätplatserna i länet uppvisar en varierad bild vad gäller svavelhalten i markvattnet, Figur 19. Generellt speglar tidsutvecklingen för svavelhalten i markvattnet det tidigare svavelnedfallet, och ofta finns det skillnader i trenderna för svavel i nedfall och i markvattnet, vilket till stor del beror på en fördröjning som orsakas av svaveladsorption/ desorption i marken. I tallskogen i Attsjö har halterna av svavel i markvattnet varit relativt låga och minskat från drygt 2 mg per liter 1996 till strax under 1 mg per liter 2021. I Tagel B var svavelhalterna i markvattnet omkring 3–4 mg per liter och till skillnad från den tidigare ytan vid Tagel så syns ingen nedgång. Provytan Angelstad B visar på varierande och höga halter av svavel (4–11 mg per liter). Innan ytan flyttades 2013 minskade svavelhalterna vid Angelstad A signifikant från omkring 6 mg per liter till 3 mg per liter (sedan 1996). Vid den nya ytan vid Fälleshult B har halterna av svavel i markvattnet varit mellan 0,4 och 1,8 mg per liter sedan mätstarten 2018. Detta är något lägre jämfört med mätvärdena vid den tidigare mätplatsen vid Fälleshult.



Figur 19. Svavelhalter i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällena kan saknas när det varit torrt i marken.

Kloridhalten i markvattnet ger en indikation på havssaltsepisoder, som kan orsaka surstötter. Främst orsakas detta av att natrium (Na^+) i havssaltet byter plats med vätejoner, som leder till sänkt pH i markvattnet, och potentiellt även i ytvattnet. Kloridhalter i markvattnet kan bli höga vid platser som utsatts för stormar som leder till havssaltsepisoder (Akselsson m.fl., 2013).

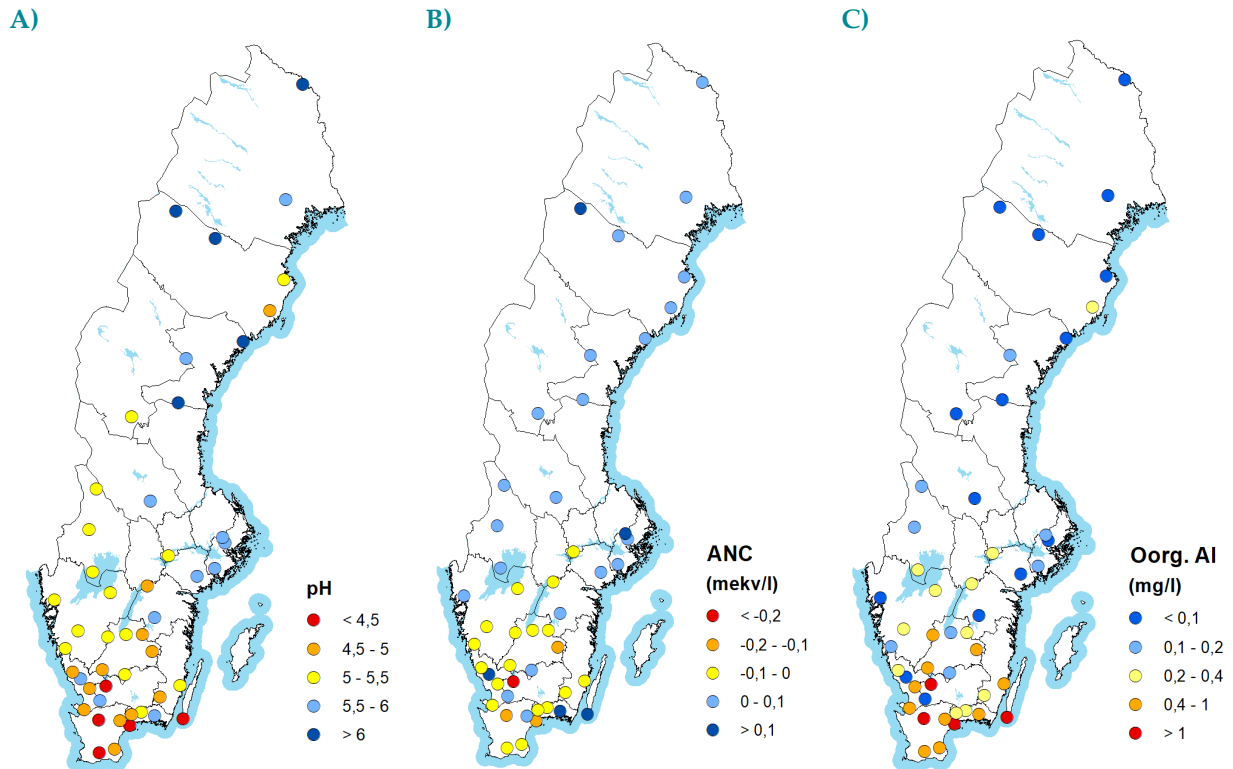
Halterna av klorid i markvattnet visas i Figur 20. Mätplatserna har uppvisat varierande kloridhalter, oftast mellan 5 och 25 mg per liter, med undantag av provytan Angelstad B där halterna av klorid i markvattnet har varit mycket höga och variabla. Detta bidrar till att förklara lågt pH i markvattnet vid denna provyta. Varför det varit så höga halter av klorid i markvattnet vid provytan Angelstad B, jämfört med den gamla provytan, är dock ännu okänt. Angelstad ligger dock längst västerut i länet och nedfallet av klorid i krondropp är ungefär tre gånger så högt vid Angelstad B, jämfört med Tagel B och Attsjö, och ungefär två gånger högre än vid Fälleshult.



Figur 20. kloridhalter i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällena kan saknas när det varit torrt i marken.

Sammantaget visar resultaten från analyserna av markvattnet i länet en varierande och ännu otillräcklig återhämtning från försurningen.

Markvattnets försurningsstatus i Kronobergs län, jämfört med resten av landet och angivet som median för åren 2019–2021, visar att Kronobergs län tillhör de län där markvattnet är försurningspåverkat (Figur 21). Mätplatserna i Kronobergs län har medianvärden för pH på samma nivå som flertalet mätplatser i Skåne, Blekinge Halland och Kalmar län, Figur 21A. ANC är negativt eller strax över noll för mätplatserna i Kronobergs län Figur 21B. De flesta av mätplatserna i Götaland uppvisar negativt ANC, i Svealand är ANC vanligtvis omkring noll, och i Norrland är det positivt. Även halten oorganiskt aluminium uppvisar en liknande gradient, Figur 21C. I Kronobergs län varierar medianvärdena 2019–2021 för oorganiskt aluminium med låga värden vid Tagel och Fälleshult samt höga värden vid Angelstad.



Figur 21. pH (A), ANC (B) och Oorg Al (C) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnätet. Det värde som anges är medianvärdet under de senaste tre åren (2019–2021). ANC i avrinnande vatten bör vara betydligt över noll för att motverka försurning i vattendrag och sjöar. Ytor med färre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats är ej inkluderade.

4 Aktuellt & notiser

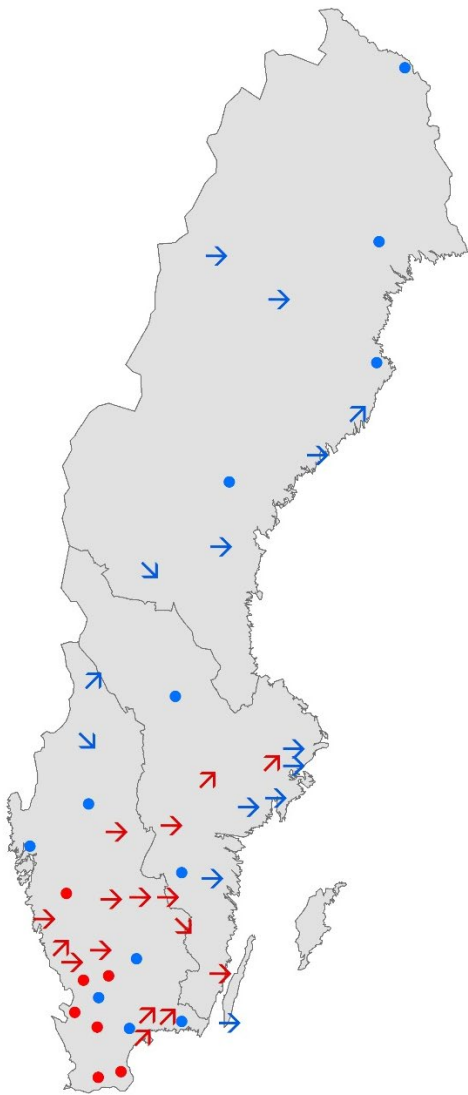


Grankölen. Fotograf: Mattias Eriksson

4.1 Trender för ANC i markvatten 1996–2021

Tidsserier för markvattnets ANC (syraneutraliserande förmåga) från Krondropps nätet har ofta använts vid uppföljning av miljömålet *Bara naturlig försurning*, eftersom det ger ett samlat mått på försurningspåverkan från atmosfäriskt nedfall och från skogstillväxten. Ett värde för ANC i markvattnet under rotzonen på 0 eller under innebär att det inte finns någon buffrande förmåga. Det vatten som exporteras från skogsmark bör ha ett värde för ANC över 0, för att ge en buffringskapacitet i ytvattnet.

I den fördjupade utvärderingen av miljömålet *Bara naturlig försurning* 2018 presenterades en karta som visade nivå och förändring på ANC på 35 provytor inom Krondropps nätet för perioden 1996–2017 (Naturvårdsverket 2019). Här presenteras uppdaterade resultat för perioden 1996–2021, Figur 22. Pilar upp eller ner i Figur 25 visar på en statistiskt signifikant ökning respektive minskning av ANC mellan 1996 och 2021. För bedömning av nuvarande nivå används medianen för perioden 2019–2021. Resultaten visar att markvattnet i sydvästra och delar av sydöstra Sverige fortsatt är kraftigt försurat, med $ANC < 0$ (markeras i kartan med röda pilar/punkter). Denna gradient stämmer väl överens med svavelnedfallsgradienten. Endast vid 38 % av ytorna med $ANC < 0$ kan en återhämtning påvisas i form av signifikant ökande ANC. Vid en av ytorna har ANC minskat signifikant vilket visar på ytterligare försurning. På ytorna med positivt ANC (markeras i kartan med blå pilar/punkter), som främst ligger i mellersta och norra Sverige, kan inte ökning av ANC förväntas i samma utsträckning som i söder, eftersom markvattnet redan nu är relativt välbuffrat. På dessa platser uppvisar 14 % en signifikant ökning och 14 % en signifikant minskning.



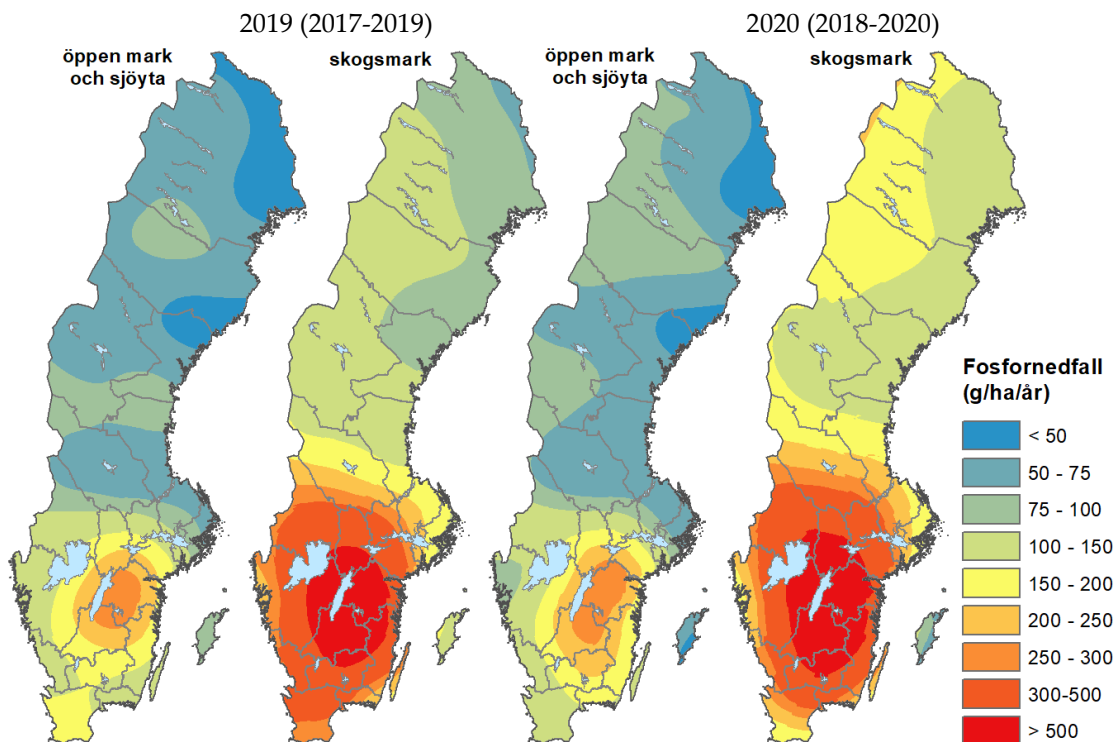
Figur 22. Nivåer och trender för ANC (syraneutraliserande förmåga) i markvattnet under rotzonen, baserat på data från Krondropps nätet. Röda pilar/punkter indikerar att $ANC < 0$ medan blåa pilar/punkter visar $ANC > 0$ (beräknat som medianen för perioden 2019–2021). $ANC > 0$ innebär att markvattnet har en buffrande förmåga. Pilar upp eller ner visar på en signifikant ökning respektive minskning (enligt Seasonal Kendall-testet), mellan 1996 och 2021*. 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*.

*Även tidsserier med start 1997, 1998 eller 1999 har tagits med, liksom tidsserier som slutade 2019 eller 2020.

4.2 Ny rapport om depositionen av fosfor till skogsmark, öppen mark och sjöyta i Sverige

På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten och inom ramen för samarbetet Svenska MiljöEmissionsData (SMED) har forskare inom Krondroppsnetet beräknat atmosfäriskt nedfall av fosfor (P) till öppen mark och sjöyta samt till skogsmark för olika delar av Sverige (Karlsson, m.fl. 2021).

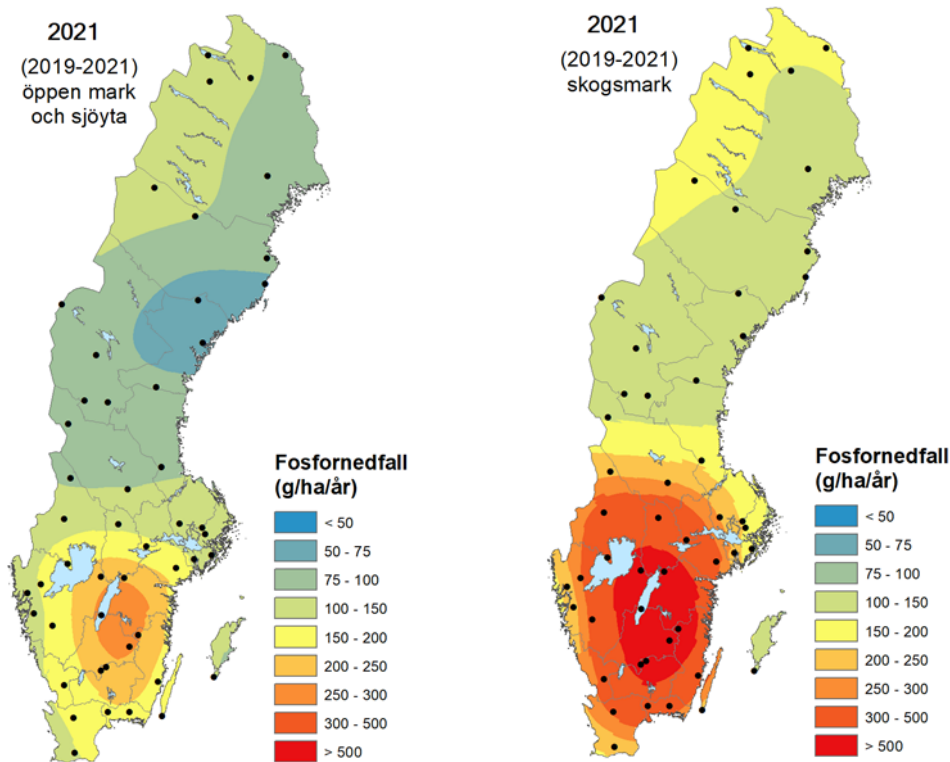
Huvuddelen av nedfallet av P sker som torrdeposition. I jämförelse med de flesta andra ämnen är nedfallet av P mycket lågt. Det låga nedfallet medför att problemen med till exempel kontamination av proverna relativt sett blir större, jämfört med för andra ämnen. Därför beräknades depositionen för ett visst år och mätplats baserat på ett glidande treårsmedelvärde. Från och med 2017 finns mätningar av P till öppen mark vid ett femtiotal olika mätplatser i Sverige. Sedan 2017 finns även beräkningar av torrdeposition av P till skog vid tio olika platser. Nedfallet av P till öppet fält och skogsmark visas i Figur 23 för åren 2019 (2017–2019) och 2020 (2018–2020).



Figur 23. Atmosfäriskt nedfall av fosfor till öppen mark/sjöyta och skogsmark för treårsperioderna motsvarande åren 2019 och 2020. För beräkningar av nedfallet till skogsmark användes en kombination av mätningar på öppen mark och särskilda torrdepositions-mätningar. Resultaten interpolerades geografiskt med Kriging-metodik.

Det högsta nedfallet av P till både öppen mark och skogsmark beräknades för de inre delarna av Götaland och Svealand. Det geografiska mönstret tyder på att endast en mindre del av depositionen av P i Sverige beror av långdistanstransport, med källor utanför Sveriges gränser. I stället beror nedfallet sannolikt till största delen av en intern cirkulation av biologiska fragment och abiotiska partiklar på landskapsnivå.

Under våren 2022 har motsvarande data och kartor för fosfornedfallet under 2021 (2019–2021) tagits fram i ett projekt inom SMED åt Havs- och vattenmyndigheten. I Figur 24 visas kartor med fosfornedfallet 2021 för öppen mark och sjöyta samt för skogsmark.



Figur 24. Atmosfäriskt nedfall av fosfor till öppen mark/sjöyta och skogsmark för 2021 motsvarande treårsperioden 2019–2021. För beräkningar av nedfallet till skogsmark användes en kombination av mätningar på öppen mark och särskilda torrdepositions mätningar. Resultaten interpolerades geografiskt med Kriging-metodik.

Områdesvisa medelvärden har i projektet tagits fram för depositionen av fosfor för landområden (öppen mark och sjöyta respektive skogsmark) som representerar de sex havsbassängerna, Bottenviken, Bottenhavet, Egentliga Östersjön, Skagerrak, Kattegatt och Öresund. Fosfordepositionen för de sex olika områdena visas i Tabell 1. I beräkningen för de olika områdena har fosfordepositionen till skogsmark summerats med fosfordepositionen till resterande delar av området. Andel av skogsmark är baserad på översiktskartan hämtad från Lantmäteriet 2021

Tabell 1. Områdesvisa medelvärden för det totala nedfallet av P i g/ha till de landområden (öppen mark och sjöyta respektive skogsmark) som representerar de sex havsbassängerna (Bottenviken, Bottenhavet, Egentliga Östersjön, Skagerrak, Kattegatt och Öresund), för treårsperioderna motsvarande 2019, 2020 och 2021. I tabellen anges också procenten skogsmark för respektive område.

Öppen mark och sjöyta (all övrig mark)				
Område	2019 (2017–2019) g P/ha	2020 (2018–2020) g P/ha	2021 (2019–2021) g P/ha	
Öresund	165	115	148	
Kattegatt	146	138	169	
Skagerrak	110	97	134	
Eg. Östersjön	170	172	185	
Bottenhavet	68	73	90	
Bottenviken	60	69	102	
Skogsmark				
Område	2019 (2017–2019) g P/ha	2020 (2018–2020) g P/ha	2021 (2019–2021) g P/ha	% skogsmark per område
Öresund	290	200	237	12%
Kattegatt	383	402	370	57%
Skagerrak	260	232	233	57%
Eg. Östersjön	427	464	433	59%
Bottenhavet	122	162	138	73%
Bottenviken	92	142	142	60%

4.3 Uppdatering av kritisk belastning för kväve

Sedan ett par år tillbaka pågår inom konventionen för gränsöverskridande luftföroreningar (LRTAP, även kallad "Luftvårdskonventionen") en process för att uppdatera kritisk belastning för inverkan av kväve på olika landecosystem i Europa. Här ingår att uppdatera det vetenskapliga underlaget som används för att motivera nya belastningsgränser, ett arbete som leds av det tyska Naturvårdsverket. I arbetet som inriktas på nordliga skogar deltar forskare från Sverige (Krondropps nätet), tillsammans med forskare från Finland och Norge.

Det finns nu ett färdigt förslag till nya, lägre värden för kritisk belastning av kväve till boreala och tempererade skogar. De nu föreslagna kritiska belastningsgränserna för boreala skogar är främst baserade på risker för negativ påverkan på mossor och lavar i dessa ekosystem. De föreslagna, nya värdena för kritisk belastning av kväve är 3–5 kg N ha⁻¹ år⁻¹ för boreal granskog ("dark taiga") och 2–5 kg N ha⁻¹ år⁻¹ för boreal tallskog ("light taiga"). Tidigare belastningsgränser för dessa skogsekosystem var 5–10 kg N ha⁻¹ år⁻¹.

För tempererade lövskogar föreslås 10–15 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (tidigare värde 10–20 kg N ha⁻¹ år⁻¹) och för tempererade barrskogar 3–15 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (tidigare värde 5–15 kg N ha⁻¹ år⁻¹). Beslut om förslagen väntas tas vid en rad olika möten inom Luftvårdskonventionen under 2022. Den geografiska omfattningen av boreala skogar i Sverige visas i Figur 25.



Figur 25. Boreala skogar i Sverige visas i kartan till vänster med lila färg. Källa: wikipedia.org

Sverige tillämpar sedan tidigare egna värden vad gäller kritisk belastning från kvävenedfall för olika ekosystem. För lövskog i Sverige gäller i nuläget en kritisk belastning i hela Sverige på $10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, för barrskog och myrmark $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, och för fjällvegetation $3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (Moldan m.fl., 2011). Om och i vilken utsträckning de nuvarande nationella värdena för kritisk kvävebelastning kommer att förändras återstår att se.

4.4 Metaller och kväve i mossa har undersökts under 2020 i hela landet

På uppdrag av Naturvårdsverket utförde IVL under 2020 en undersökning av metallhalter i mossprover från hela landet. Resultaten från den senaste undersökningen, som presenterades 2021, visade att halterna av bly och koppar i mossa har minskat i Sverige som helhet sedan 2015 (Danielsson m.fl., 2021). Däremot har halterna av arsenik, järn, krom, kvicksilver, nickel, vanadin, zink, aluminium och kobolt i mossa ökat något. Halterna i Sverige är dock fortsatt låga om man jämför med stora delar av övriga Europa. Orsaken till att halterna av flera metaller har ökat något sedan den senaste undersökningen är ännu okänd och behöver följas upp för att se om den håller i sig. Preliminära resultat från andra europeiska länder visar liknande resultat med ökade halterna mellan 2015 och 2020 för ett flertal metaller.

Metoden att använda mattbildande mossor som bioindikatorer är ett effektivt sätt att övervaka luftmiljön, både vad gäller metaller och kväve. Som en del av den nationella miljöövervakningen har Naturvårdsverket, vart femte år, sedan 1975, finansierat dessa undersökningar av metallhalter i mossprover insamlade i bakgrundsmiljö i hela landet. Den långa mätserien är en styrka och visar på tydliga trender för belastningen av metaller över tid.

Nedfallet av både metaller och kväve över Sverige uppvisar en tydlig gradient från söder till norr, med högst nedfall i sydväst som sedan avtar norröver, vilket återspeglar intransporten av utsläpp från kontinenten. På vissa platser bryts dock mönstret med förhöjda metallhalter vilket går att koppla till lokala och regionala utsläppskällor. Exempel på detta är förhöjda halter av koppar och krom utmed norrlandskusten samt förhöjda halter av järn i malmfälten i Norrbottens län. Även längre söderut i Sverige kan man se förhöjda halter, till exempel av kobolt i Mellansverige. De lägsta halterna av flertalet metaller finns i mossprover från fjälltrakterna och norra Sveriges inland.

De svenska utsläppen av metaller från trafiken, från förbränningsanläggningar och från industrin har minskat kraftigt från det att mossundersökningarna startade i mitten av 1970-talet. Under senare år har minskningen dock inte varit lika stor och mellan 2000 och 2020 var det endast halterna av bly och kadmium i mossa som minskat statistiskt signifikant för Sverige som helhet.

4.5 Tjugo år av luftvårdsforskning har sammanfattats i en rapport

Den internationella luftvårdsforskning som har finansierats av Naturvårdsverket under de senaste tjugo åren har sammanfattats i en rapport som kom ut under 2021, där forskare från Krondropps nätet deltog (Åström m.fl., 2021).

Förorenad luft var ett av de tidigast uppmärksammade och erkända miljöproblemen i såväl Europa som i Sverige. En rad åtgärder för lägre utsläpp har resulterat i bättre luftkvalitet på många platser. Man har också visat på de synergier som finns vad gäller minskade utsläpp av luftföroreningar och minskad klimatpåverkan. Man pekar dock på att vissa problem i stor utsträckning kvarstår, så som till exempel att vissa områden i sydvästra Sverige fortfarande är kraftigt försurade. Kvävenedfallet påverkar fortfarande biodiversiteten mot en minskad förekomst av vissa, ofta rödlistade växtarter. Risken för ozonskador på växtligheten, i förhållande till luftens ozonhalter, är större i norra Europa, jämfört med andra delar av Europa. Trots att Sverige har bland Europas lägsta halter av luftföroreningar beräknas omkring 7 600 personer dö i förtid varje år på grund av exponering för framför allt partiklar och kvävedioxid.

De svenska forskningsprogrammen har bidragit starkt till att öka samverkan mellan forskare och beslutsfattare. Den tillämpade luftvårdsforskningen kan bidra till fortsatt effektivt svenskt och internationellt miljöarbete även i framtiden.

4.6 Vetenskapliga artiklar där data från Krondropps nätet använts

4.6.1 Artikel om kritiskt biomassauttag från skogen

I en artikel publicerad 2021 i tidskriften *Sustainability* presenterar en grupp forskare, flera av dem verksamma inom Krondropps nätet, en studie där 26 provytor inom Krondropps nätet delas in i tre riskklasser med avseende på försurning vid helträdsuttag efter avverkning (Akselsson, m.fl. 2021). I studien har två olika faktorer kartlagts: (1) Uppmått försurningsstatus i markvattnet i form av syraneutraliserande förmåga (ANC) och (2) Överskridande av kritiskt biomassauttag vid helträdsuttag, beräknat med aciditetsbalansberäkningar. Provytor med $ANC < 0$ och med överskridande av kritiskt biomassauttag tilldelades den högsta riskklassen, provytor med $ANC > 0$ och utan överskridande hamnade i den lägsta riskklassen, och övriga provytor i den mellersta riskklassen. Studien visade på en geografisk gradient, med en koncentration av provytor i den högsta riskklassen i södra Sverige och mestadels provytor i den lägsta riskklassen i norra Sverige. Gradienten kan förklaras med att både försurande nedfall och bonitet är som högst i södra Sverige. Det innebär att markvattnet är mest försurat där, och även att mer biomassa förs bort vid helträdsuttag. Vissa provytor bryter dock det geografiska mönstret, till exempel provytor i södra Sverige med god mineralogi, och därmed hög vittring, som därmed hamnar i den lägsta eller mellersta riskklassen. Resultaten kan användas som en grund för formulering av policies för grot-uttag och askåterföring.

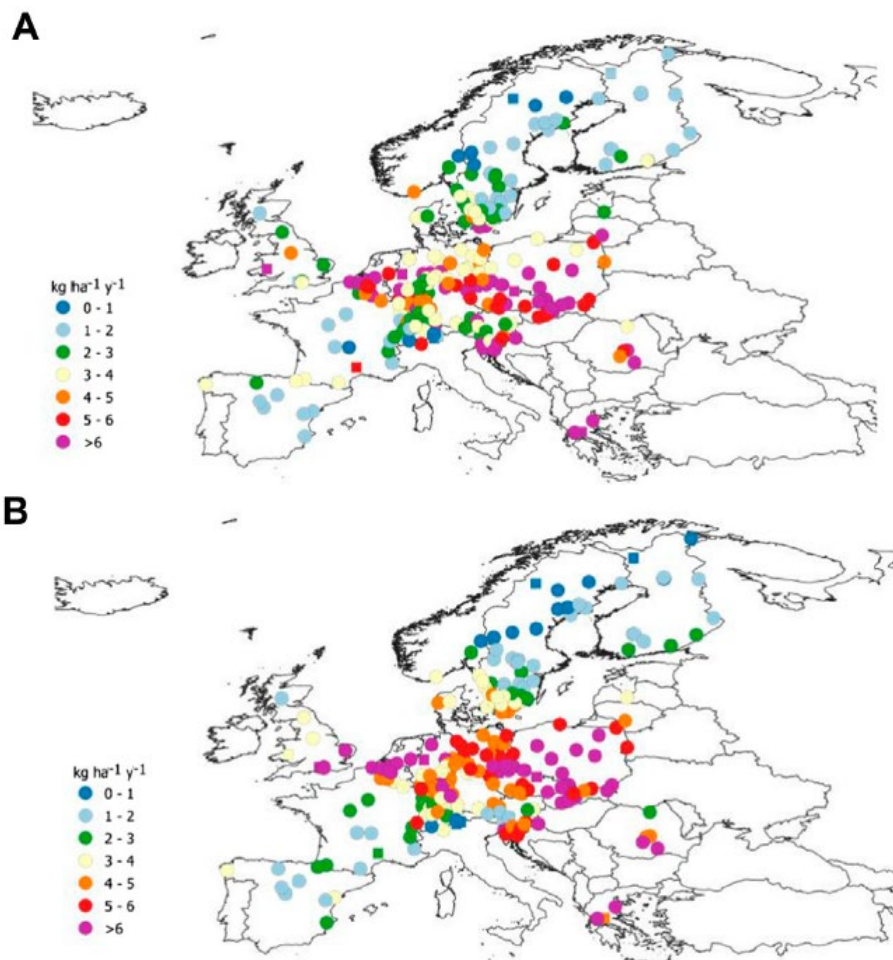
4.6.2 Artikel med en internationell jämförelse av observerad och modellerad deposition

Det europeiska arbetet med att minska utsläppen av luftföroreningar baseras i stor utsträckning på resultat från olika modeller vad gäller att förutsäga hur framtida minskade utsläpp resulterar i minskad påverkan på ekosystemen och människors hälsa. Modellerna förutsäger hur utsläpp av olika ämnen, till exempel svavel

och kväve, förs med vindarna och resulterar i ökade lufthalter och atmosfäriskt nedfall i områden som ofta kan ligga långt från utsläppskällorna. Det är av central betydelse för fortsatta politiska förhandlingar om ytterligare utsläppsminskningar att dessa modeller fungerar på ett korrekt sätt.

Den viktigaste modellen som används i det europeiska luftvårdsarbetet är den så kallade EMEP-modellen (<https://www.emep.int/mscw/>). I en internationell studie jämfördes uppmätta värden för nedfall av svavel och kväve till skog och öppet fält i olika delar av Europa med motsvarande modellerade värden från EMEP-modellen (Marchetto m.fl., 2021). Resultat från ett stort antal av Krondroppsnetets mätplatser användes i studien.

Resultaten från jämförelserna mellan uppmätta och modellerade värden visade på en god överensstämmelse vad gäller nedfallet av svavel och nitratkväve till öppet fält, vilket huvudsakligen motsvarar våtdepositionen, medan det var en lägre samstämmighet vad gäller nedfallet av ammoniumkväve till öppet fält, Figur 26. Det sistnämnda berodde sannolikt på betydelsen av lokala källor till utsläpp, framför allt i kontinentala Europa. Modellerat totalt nedfall av svavel (torr- + våtdeposition) överensstämde relativt väl med uppmätta värden för nedfall mätt som krondropp. Som väntat underskattade mätningarna av kvävenedfall mätt som krondropp det totala kvävenedfallet modellerat med EMEP-modellen, eftersom en del deponerat kväve tas upp direkt i trädkronorna och inte når insamlarna för krondropp. Det är därför det inom Krondroppsnetet drivs kompletterande mätningar av torrdepositionen av kväve med hjälp av så kallade strängprovtagare.

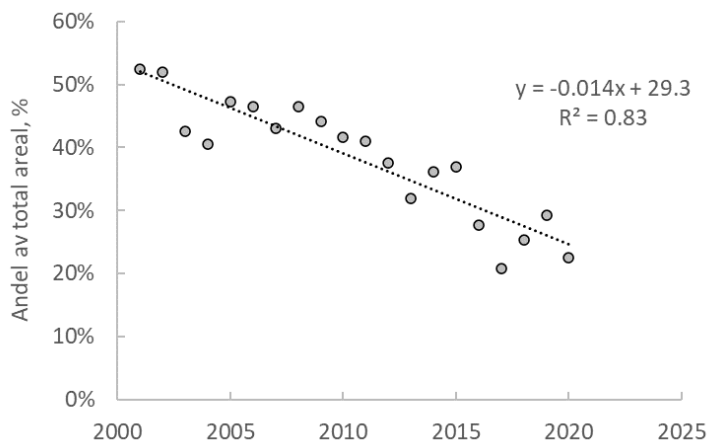


Figur 26. Årligt atmosfäriskt nedfall av sulfatsvavel, mätt som krondropp (A) och modellerat totalt nedfall av sulfatsvavel (summan av torr- och våtdeposition modellerat med EMEP-modellen) (B), i båda fallen exklusive bidrag från havssalt. Källa: Marchetto m.fl. (2021).

4.6.3 Artikel om totalt nedfall av oorganiskt kväve till granskog i Sverige under tjugo år

Med finansiering främst från Havs- och vattenmyndigheten har forskare inom Krondropps nätet tagit fram metodik för att beräkna det totala atmosfäriska nedfallet av oorganiskt kväve (N) till barrskog för olika delar av Sverige. Beräknade värden används nu som en av indikatorerna inom miljökvalitetsmålet *Ingen Övergödning*. Metodiken finns vetenskapligt publicerad sedan tidigare (Karlsson m.fl., 2019). En ny artikel har nu publicerats med en tjugoårig mätserie med yttäckande beräkningar av totalt nedfall av kväve till barrskog över Sverige (Karlsson m.fl., 2022).

Gradienten för kvävenedfallet över Sverige från sydväst mot nordost framträder tydligt. Storleken på nedfallet varierar dock avsevärt mellan olika år, framför allt i sydväst. I Sverige tillämpas en kritisk belastning vad gäller kvävenedfall till barrskog på 5 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Baserat på kartorna kan man beräkna storleken på den areal i Sverige där den kritiska belastningen överskrids (Figur 27). Arealen med överskridanden har minskat linjärt under tjugoårsperioden, i takt med minskade utsläpp av oorganiskt kväve från Europa, från cirka 50 procent i början av perioden till cirka 25 procent i slutet. Minskade kväveutsläpp i Europa har således resulterat i en betydande minskning av de arealer i Sverige där kritisk belastning av kväve överskrids.



Figur 27. Årliga värden för andelen av Sveriges skogsareal där den kritiska belastningen för nedfall av kväve till barrskog överskreds, 5 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Beräkningarna inkluderade inte arealerna för jordbruksmark, större sjöar, fjällområden samt bebyggd mark.

4.7 Ny avhandling om vittring och baskatjon-cirkulation i skogsmark i ett förändrat klimat.

Den 23 maj 2022 försvarade Veronika Kronnäs sin avhandling (Kronnäs, 2022) om vittring och baskatjon-cirkulation i skogsmark i ett förändrat klimat. Veronika använde ekosystemmodeller (PROFILE och ForSAFE) för att modellera hur vittringshastigheten förändras över tiden, och hur det påverkas av klimatförändring, försurande nedfall och skogsbruk. I samtliga fyra studier i avhandlingen använde hon sig av provytor från Krondropps nätet, sammanlagt 28 från Grankölen i norr till Stenshult i söder. Veronika visade att det är viktigt att ta hänsyn till säsongsdynamik vid studier av vittring kopplat till baskatjonupptag av träd och vegetation, eftersom både vittring och upptag varierar mycket under året. Klimatförändringen leder generellt till ökad vittringshastighet, eftersom vittring ökar med ökad temperatur. Vittringshastigheten kan dock minska under perioder av torra, och på platser där torkepisoder blir vanligare kan det medföra sämre tillgång på baskatjoner. Helträdsuttag leder till en liten förhöjning av vittringen, men den är inte alls lika stor som den ökade bortförelsen av baskatjoner som helträdsuttag medför. En generell slutsats var att markfuktigheten har en avgörande roll för vittringshastigheten, och bättre kunskap om hur markfuktigheten varierar i tid och rum skulle kunna minska osäkerheterna i bedömningar av vittringshastighet och baskatjontillgång.

5 Tack

Vi vill uttrycka ett varmt tack till samtliga provtagare inom Krondropps nätet som utför ett mycket ovärderligt arbete i fält. Vi vill även uttrycka ett varmt tack till all personal på IVL:s laboratorium för ett mycket bra arbete. Slutligen tackar vi Krondropps nätet samtliga medlemmar för gott samarbete.

Hundshögen H. Fotograf: Leif Rodhe

6 Referenser

- 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.
- Akselsson, C., Belyazid, S., 2018. 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., Kronnäs, V., Stadlinger, N., Zanchi, G., Belyazid, S., Karlsson, P. E., Hellsten, S., Pihl Karlsson, G. 2021. A combined measurement and modelling approach to assess the sustainability of whole-tree harvesting. *Sustainability* 2021, 13, 2395. <https://doi.org/10.3390/su13042395>.
- CEIP. 2022. EMEP/CEIP 2021 Present state of emission data; <https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata> or <https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2021-submissions>.
- Danielsson, H., Nerentorp, M. & Pihl Karlsson, G. 2021. Metaller och kväve i mossor, 2020. IVL Rapport C 614.
- Hellsten, S., Stadmark, J., Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E., Akselsson, C. 2015. Increased concentrations of nitrate in forest soil water after windthrow in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*.356, 234-242.
- Hellsten, S., Gustafsson, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E., Akselsson, C. 2017. Påverkan på atmosfäriskt nedfall och luftkvaliteten i Sverige av SO₂-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014-2015. IVL Rapport C 234.
- Karlsson, P.E., Cecilia Akselsson, Sofie Hellsten, Gunilla Pihl Karlsson. 2018. A bark beetle attack caused elevated nitrate concentrations and acidification of soil water in a Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management*, 422, 338-344.
- Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C., Ferm, M., Hultberg H. 2019. Total deposition of inorganic nitrogen to Norway spruce forests – applying a surrogate surface method across a deposition gradient in Sweden. *Atmospheric Environment* 217, 116964. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116964.
- Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C. 2021. Deposition av fosfor till skog och öppen mark i Sverige. På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. SMED Rapport Nr 25 2021. ISSN: 1653-8102.
- Karlsson, P.E., C. Akselsson, S. Hellsten, G. Pihl Karlsson. 2022. Twenty years of nitrogen deposition to Norway spruce forests in Sweden. *Science of the Total Environment* 809, 152192.
- Kronnäs, V. 2022. Modelling effects of climate change and forestry on weathering rates and base cation cycling in forest soils. Doktorsavhandling, Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap, Lunds universitet.
- Länsstyrelsen i Kronobergs län, 2021. Regional årlig uppföljning – Kronobergs län 2021. Länsstyrelsen i Kronobergs län. <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/>
- Marchetto A, Simpson D, Aas W, Fagerli H, Hansen K, Pihl Karlsson G, Karlsson PE, Rogora M, Sanders TGM, Schmitz A, Seidling W, Thimonier A, Tsyro S, de Vries W and Waldner P. 2021. Good Agreement Between Modeled and Measured Sulfur and Nitrogen Deposition in Europe, in Spite of Marked Differences in Some Sites. *Front. Environ. Sci.* 9:734556. doi: 10.3389/fenvs.2021.734556.
- Moldan, F., Munthe, J., Hansen, K., Kyrklund, T., Akselsson, C., Fölster, J., Sverdrup, H. & Belyazid, S. 2011. Swedish NFC Report. I Modelling Critical Thresholds and Temporal changes of Geochemistry and Vegetation Diversity (Posch et. Al. red.). CCE Status Report 2011. ISBN 978-90-6960-254-7.

Naturvårdsverket, 2019. Bara naturlig försurning – underlagsrapport till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019. Naturvårdsverket Rapport 6860. Januari 2019.

Tamm, C.O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. Ecological Studies 81. Springer Verlag, Berlin, Germany.
Åström, S., Grennfelt, P. (eds). 2021. Achievements and experiences from science–policy interaction in the field of air pollution, – Synthesising 20 years of research and outreach, thinking about future needs. IVL report C622. ISBN 978-91-7883-318-4. (Authors C. Andersson, A. Ekman, B. Forsberg, P. Grennfelt, O. Gruzieva, H-C. Hansson, P.E. Karlsson, J. Langner, F. Moldan, J. Munthe, H. Pleijel, D. Segersson, L. Stockfelt, S. Åström).



Bilaga 1. Mätplatserna i Kronobergs län

Fotograf: Per Erik Karlsson

Inom Krondroppsnetet bedrivs mätningar vid fyra mätplatser i Kronobergs län (Tabell B1.1)

Tabell B1.1. Aktiva mätplatser i Kronobergs län 2020/21.

Mätplats	Dominerande trädslag	Öppet fält	Kron-dropp	Mark-vatten
Fälleshult (G 18)	Gran		X	X
Attsjö (G 21)	Tall		X	X
Tagel (G 22)	Gran	X	X	X
Angelstad (G 23)	Gran		X	X

Undersökningarna är ett resultat av ett lagarbete där provtagning utförts av Elis Bengtsson.

På IVL har Paula Andersson skött kontakter med provtagare medan främst Sari Honkala, Nour Osman, Pia Spandow, Sara Bodholm, Camilla Hällinder-Ehrencrona, Jessica Ekström, Paula Andersson, Vania Andersson, Louise Björnberg och Pernilla Bengtsson har analyserat proverna.

Databasen har skötts av Gunnar Malm.

Datagranskning, databehandling och rapportering av resultaten har utförts av Cecilia Akselsson (Lunds universitet), och från IVL; Per Erik Karlsson, Sofie Hellsten samt Gunilla Pihl Karlsson.



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



Angelstad (G 23)

Yta sydost om Bolmen med granskog. På samma sätt som för Attsjö och Tagel startade mätning av deposition och markvatten i maj 1996. Krondroppsytan vid Angelstad skadades av stormarna Gudrun och Per. Dessutom uppstod nya stormfällan vid ett antal tillfällen följande år. Krondroppsytan flyttades därför ca hundra meter åt sydost i mitten av oktober 2013, till ytan Angelstad B. Under 2021 meddelades att denna nya yta skulle avverkas. Därför flyttades provytan under 2021 ännu en gång. Även denna gång flyttades provytan endast en kort sträcka, nu ytterligare ca 100 m åt sydost. Trädslaget är även fortsättningsvis gran. Detta nya bestånd är 42 år gammalt. Den nya ytan betecknas Angelstad C.



Attsjö (G 21)

Yta med 101-årig tallskog två mil öster om Växjö. Beståndet ligger i ett plant område. Liksom i Angelstad och Tagel startade mätningarna i maj 1996.

**Tagel (G 22)**

Yta i 96-årig granskog nordväst om Alvesta. Depositions- och markvattenmätningarna startade 1996. Mätningar på öppet fält avslutades i december 2001, men återupptogs i januari 2004. Krondropps- och markvatten- samt öppet fält-mätningarna flyttades hösten 2007, på grund av barkborreangrepp som uppkom efter stormen Gudrun. Den nya ytan ligger ca 800 m sydost om den gamla ytan i en granskog med ungefär samma ålder som den gamla.

**Fälleshult (G 18B)**

En granyta i västra delen av länet, ca 10 km väster om Strömsnäsbruk. Ytan ligger några hundra meter väster om den tidigare krondroppsytan vid Fälleshult som var aktiv mellan 1999 och 2008, då den avverkades efter stormskador. Den nya ytan startade upp i november 2017 och mätningarna påbörjades i december 2017. På ytan växer ca 35–40 år gammal granskog, med inslag av några få tallar. Ytan är småkuperad och relativt fuktig.





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