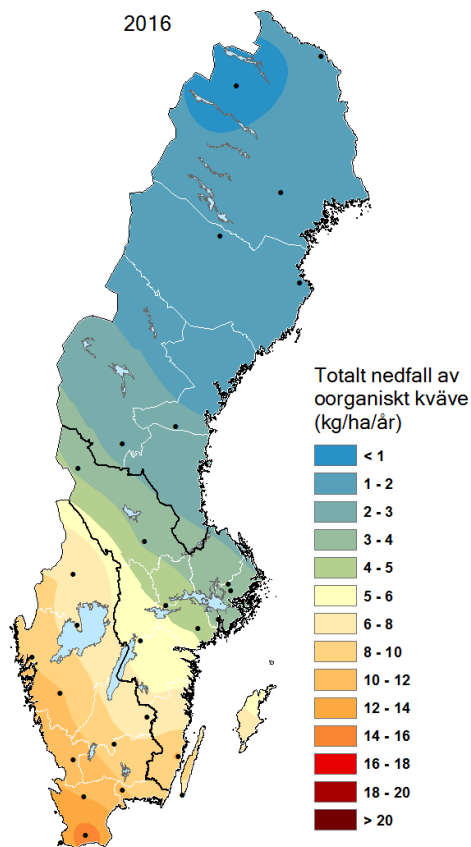




Nr C 286
Februari 2018



Utveckling av en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog inom miljö kvalitetsmålet Ingen övergödning

På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten

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

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

Medel från: Havs- och vattenmyndigheten

Framsida: Sofie Hellsten

Rapportnummer C 286

ISBN 978-91-88787-22-4

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

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
1 Inledning	5
2 Bakgrund.....	5
3 Syfte	6
4 Beräkning av det totala kvävenedfallet till barrskog.....	7
5 Kartor för total kvävedeposition 2001-2016	10
6 Tidsserier för total kvävedeposition 2001-2016.....	14
7 Diskussion	18
8 Slutsatser	20
9 Framtida länsvis uppföljning.....	21
10 Referenser.....	21
Bilaga 1. Metodbeskrivning	23
B1:1 Övergripande om nedfall till skog.....	23
B1:2 Generell princip för beräkning av totalt kvävenedfall till barrskog	23
B1:3 Mätningar	24
B1:4 Beräkningar av totalt nedfall av oorganiskt kväve 2001-2016	24
B1:4:1 Beskrivning för beräkning av totaldepositionen av kväve för perioden 2014-2016.....	24
B1:4:2 Beskrivning för beräkning av totaldepositionen av kväve för perioden 2001-2007.....	28
B1:4:3 Beskrivning för beräkning av totaldepositionen av kväve för perioden 2008-2013.....	29
B1:5 Referenser	29
Bilaga 2 Årliga tidsseriedata samt statistik	30
Bilaga 3. Årliga kartor för nederbördsmängd, torr- respektive våtdeposition för perioden 2001-2016	31

Sammanfattning

På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten har IVL Svenska Miljöinstitutet tillsammans med Lunds universitet fått i uppdrag att utveckla en indikator för totalt nedfall av oorganiskt kväve till barrskog för perioden 2001-2016.

För första gången har totaldepositionen av kväve till barrskog beräknats som underlag till uppföljningen av miljö kvalitetsmålet *Ingen övergödning*. Detta är en tydlig förbättring jämfört med att bara använda våtdepositionen till öppet fält, som tidigare använts som indikator, eftersom torrdepositionsandelen utgör 25-50 % av det totala kvävenedfallet till barrskog. Det är även första gången som tidsserier för totalt kvävenedfall baserat på mätdata tagits fram.

Den geografiska gradienten i det totala kvävenedfallet till barrskog över Sverige var likartad för alla år, med de högsta värdena i sydväst, och minskande mot nordost. Den kritiska belastningsgränsen för kvävenedfall till barrskog, 5 kg/ha/år, överskrids årligen i södra halvan av Sverige. Förutom att tidsserier visas för Sverige som helhet har även Sverige delats in i tre områden (norra, sydöstra och sydvästra Sverige) och det totala kvävenedfallet till barrskog har minskat signifikant sedan 2001 i samtliga tre områden och för Sverige som helhet. Minskningen är i samma storleksordning som minskningen av rapporterade utsläpp av oorganiskt kväve från EU28.

Det totala kvävenedfallet till barrskog beräknades baserat på månadsvisa mätningar från tio mätplatser inom Krondroppsnetet och Krondroppsnetet-NV runt om i Sverige. Beräkningarna av det totala kvävenedfallet baserades på mätningar av nedfall med nederbörden till öppet fält, nedfall som krondropp samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare placerade under ett tak. Detta kombineras med ytterligare mätningar av våtdeposition till öppet fält vid ett större antal mätplatser inom Krondroppsnetet och Krondroppsnetet-NV i Sverige. Skälet till att det inte räcker med nedfall via krondropp är att en del kväve tas upp direkt i trädkronorna, vilket leder till en underskattning av kvävenedfallet beräknat som krondropp.

Metodiken för att beräkna det årliga totala kvävenedfallet över Sverige 2001-2016 kan sammanfattas i fem steg:

1. Våtdepositionen beräknades för samtliga mätplatser med mätningar över öppet fält.
2. Torrdepositionen vid de 10 platserna med samtliga mätyper uppvisade en geografisk gradient, som användes för att beräkna torrdeposition på andra platser med enbart mätningar av våtdeposition.
3. För perioden 2008-2013, då mätningar med strängprovtagare saknades, beräknades torrdepositionen genom en linjär tidsmässig interpolation.
4. Totaldepositionen beräknades genom att summERA torrdepositionen och våtdepositionen.
5. Slutligen gjordes en geografisk interpolering baserad på samtliga mätplatsers totaldeposition, för att ta fram en heltäckande karta för Sverige.

Resultaten redovisas för 2001-2016 dels som årliga kartor över Sverige med den totala kvävenedfallet till barrskog, dels som tidsserier med årliga areaviktade medelvärden för totaldepositionen av kväve för hela Sverige samt för tre olika områden av Sverige.

1 Inledning

I juni 2016 gav regeringen Havs- och vattenmyndigheten (HaV) och övriga miljömålsansvariga myndigheter i uppdrag att se över och föreslå indikatorer för miljö kvalitetsmålen. En samlad redovisning av uppdraget gjordes av Naturvårdsverket i mars 2017. För miljö kvalitetsmålet *Ingen Övergödning* och dess precisering om ingen påverkan på landmiljön föreslog HaV en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog.

På uppdrag av HaV har IVL Svenska Miljöinstitutet tillsammans med Lunds universitet fått i uppdrag att utveckla en indikator för totalt kvävenedfall till barrskog (HaV, Dnr 2014-17).

2 Bakgrund

Atmosfäriskt nedfall av kväve (kväveoxider, NO_x , ammoniak, NH_y , samt organiskt kväve) leder till försurning och övergödning av mark och vatten. Fiskbestånd och dricksvatten kan påverkas negativt. Kvävenedfallet påverkar även landekosystemens biodiversitet.

I Sverige kommer de enskilt största utsläppen av NO_x under 2016 från transporter av vägfordon (personbilar, lastbilar och bussar), el- och värmeproduktion, massaindustrin samt arbetsmaskiner inom industri och byggsektorerna följt av kvävegödsling. Detta är exkluderat internationell sjöfart och internationellt flyg. Jordbrukssektorn utgör den enskilt största källan för utsläpp av ammoniak (NH_y).

År 2015 bidrog utländska källor till 91 procent av nedfallet av NO_x och 67 procent av nedfallet av NH_y över Sverige. En stor del av utsläppen härrör från Tyskland, Polen, Danmark och Storbritannien samt internationell sjöfart (Gauss m.fl. 2016).

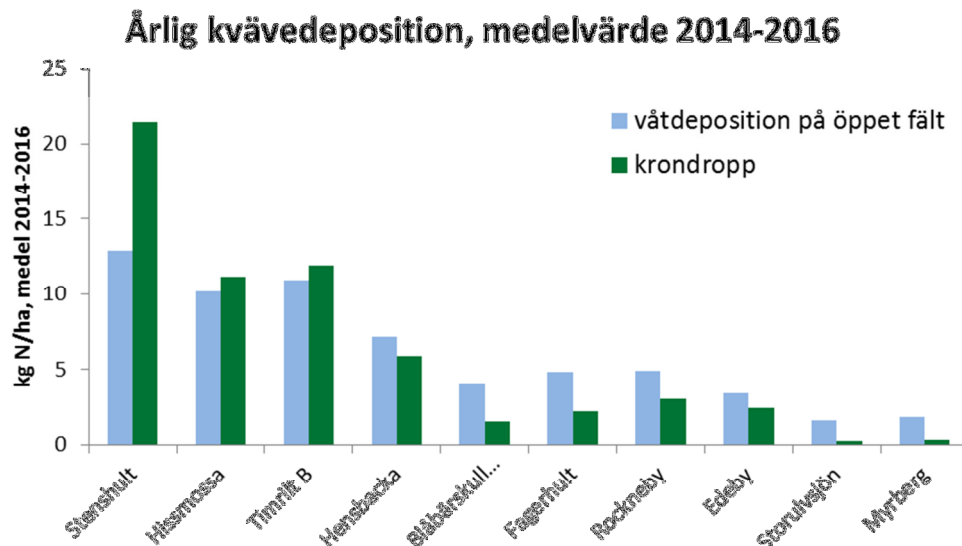
Tillförseln av kväve till skogsekosystemen har stor betydelse. Skogsekosystemen i Sverige är generellt kvävebegränsade (Tamm, 1991). I sydvästra Sverige finns dock indikationer på att skogsekosystemen närmar sig kvävemättnad (Akselsson m. fl., 2010; 2013). Ekosystemen i norra Sverige har å andra sidan sannolikt aldrig varit i närheten av kvävemättnad. I stora delar av Europa har växtligheten utsatts för ett högt kvävenedfall under lång tid och inverkan av kväve på dessa ekosystem har i många fall nått ett stadium av mättnad. Sverige har i detta perspektiv ett särskilt ansvar att bevara kvävebegränsade skogsekosystem.

Det finns önskemål om att öka produktionen i svenska skogar genom en ökad kvävegödsling av skogsmark (Skogsstyrelsen, 2015). Detta står i konflikt med riskerna för en negativ inverkan på biodiversiteten vad gäller undervegetationen i skogen samt riskerna för läckage av kväve till grund- och ytvatten. Det är därför av stor vikt att följa utvecklingen vad gäller kvävenedfallet till skogen i Sverige.

Nedfallet består dels av våtdeposition; d.v.s. föroreningar som deponeras via nederbörden, och dels av torrdeposition; föroreningar i gas- eller partikelform som förs med vinden och fastnar på ytor. På öppen mark är torrdepositionen förhållandevis liten, medan den i skogsmark är betydande eftersom torrdepositionen fastnar på träden. Detta gör att nedfallet i skogsmark, via "krondropp", normalt är högre än nedfallet på öppet fält. Ju större den filtrerande kapaciteten hos trädkronorna är, desto mer deponeras via torrdeposition. Nedfallet är därför normalt större i granskog än i tall- och lövskog, eftersom tätheten hos trädkronorna är avsevärt större. Emellertid

kan vissa ämnen tas upp direkt till, alternativt utsöndras från, trädskronorna (Adriaenssens m.fl., 2012). Det totala nedfallet i skog motsvarar därför inte alltid det som uppmäts i krondropp, eftersom en del av kvävet fastnar i kronorna och tas upp direkt av träden, och därför inte når insamlingstrattarna på marken.

En jämförelse mellan nedfall av oorganiskt kväve (nitrat + ammonium) mätt som våtdeposition till öppet fält och mätt som krondropp visas i Figur 1. Vid platser i Skåne och längs västkusten är torrdepositionen av kväve större än direktupptaget av kväve till trädskronorna, delvis beroende på att dessa skogsekosystem närmar sig kvävemättnad, vilket gör att nedfallet som krondropp blir större än våtdepositionen till öppet fält. Att skogsekosystemen i sydvästra Sverige närmar sig kvävemättnad märks även genom att nitrat läcker i markvattnet vid flera mätplatser i området (Pihl Karlsson m.fl., 2017). Längre åt nordost minskar torrdepositionen kraftigt vilket gör att direktupptaget av kväve till trädskronorna dominerar vilket i sin tur leder till att nedfallet som krondropp istället blir mindre än våtdepositionen. Detta visar tydligt att det måste till kompletterande mätningar för att nå en korrekt uppskattning av det totala kvävenedfallet till skog i Sverige. Detta kan uppnås genom användandet av surrogatytor, t ex så kallade strängprovtagare, samt genom att använda deposition av natrium som en inert markör för den torrdepositionen till skogen se vidare nedan.



Figur 1. Årligt atmosfäriskt nedfall av oorganiskt kväve (nitrat + ammonium) som våtdeposition till öppet fält och som krondropp i barrskog vid tio platser i Sverige, från Skåne till Norrbottens län. Värderna visas som medelvärden för kalenderår under perioden 2014-2016. Platserna är ordnade utifrån en geografisk gradient från sydost mot nordväst, där platserna i sydväst är längst till vänster i diagrammet.

3 Syfte

Den nya indikatorn "Totalt nedfall av kväve till barrskog" skall tas fram och redovisas i form av:

- en karta över Sverige för året 2016.
- tidsserier med totaldepositionen av kväve för perioden 2001 - 2016 för Sverige som helhet samt för tre geografiska områden.
- ytterligare kartor över Sverige för åren 2001-2015.

4 Beräkning av det totala kvävenedfallet till barrskog

I det följande beskrivs översiktligt metodiken för att beräkna totalt nedfall av kväve till barrskog. Beräkningarna grundar sig på samlokaliserade och samtida mätningar, med månadsvis tidsupplösning, från tio platser inom Krondroppsnetet (IVL Svenska Miljöinstitutet, <http://www.krondroppsnetet.ivl.se>) fördelade över Sverige (Pihl Karlsson m.fl. 2011). Krondroppsnetet är främst ett regionalt nätverk som till största delen finansieras av olika luftvårdsförbund och länsstyrelser men där även en viss finansiering erhålls från Naturvårdsverket. Metodiken beskrivs mer utförligt i Bilaga 1. De mätningar som krävs för att beräkna totaldepositionen av kväve är nedfall med nederbörden till öppet fält, nedfall som krondropp samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare placerade under ett tak (Figur 2 och 3). Natrium används i beräkningarna som en inert markör för den torrdepositionen till skogen (Ferm och Hultberg, 1999).

Mätningar vid de tio platserna har bedrivits i två olika tidsperioder, kalenderåren 2001-2007 (Karlsson m.fl., 2011, 2013) och 2014-2016. Under den första tidsserien används för strängprovtagarna en takkonstruktion bestående av plyfaskivor. Det har i efterhand uppdagats att plyfaskivorna under vissa omständigheter kunde läcka natrium ner i provtagningsflaskan (som sitter under taket hela provtagningsmånaden). Sedan mätningarna startades på nytt 2014 används en ny takkonstruktion bestående av polykarbonat. En noggrann granskning visar inte några tecken på läckage av natrium från polykarbonat. På grund av detta har data från perioden 2001-2007 återanalyserats med en metod där magnesium används som inert markör.

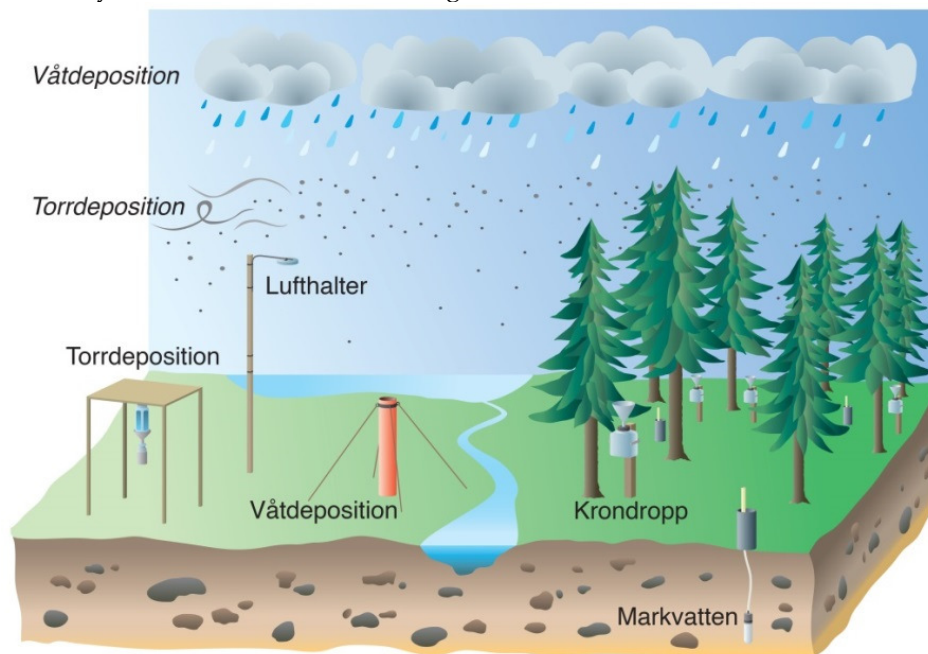
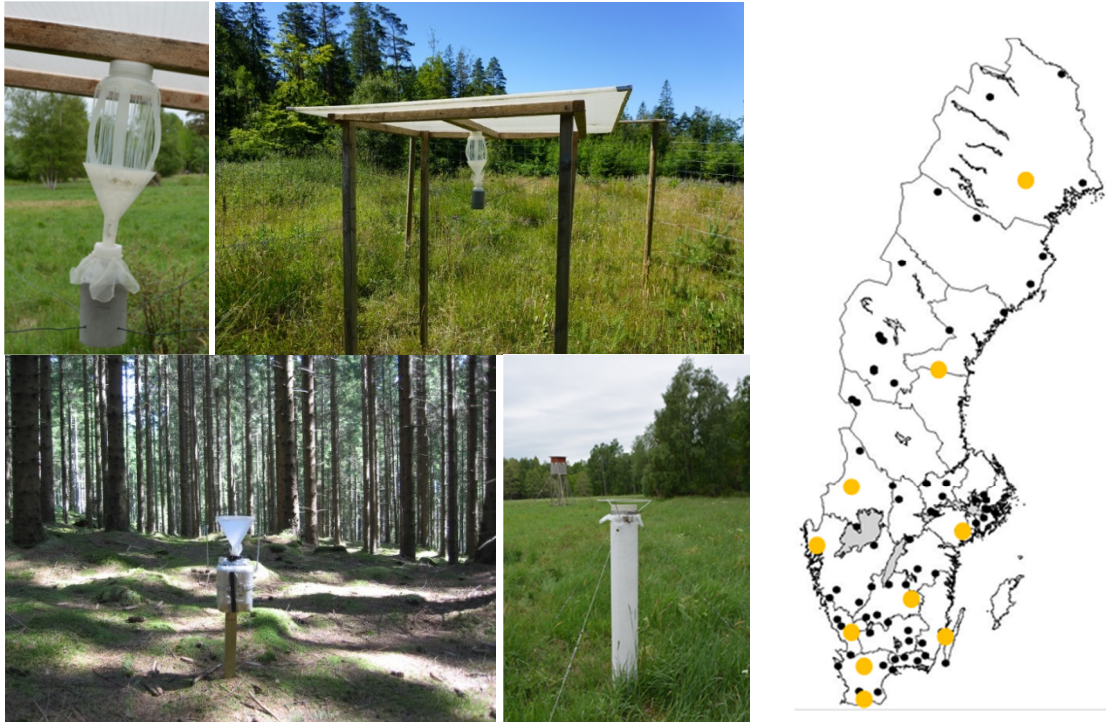


Illustration: Bo Reinerdahl

Figur 2. Inom Krondroppsnetet mäts lufthalter, våt- och torrdeposition samt markvattenkemi. Lufthalter mäts 3 meter över mark. Nedfallet till skogen består av våt- och torrdeposition och 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.



Figur 3. Foto som visar mätutrustningen för strängprovtagning, kronddropp samt nedfall på öppet fält. I kartan till höger visas lokaler med mätningar med strängprovtagare, nederbörd till öppet fält samt nedfall som kronddropp, som används i denna studie, markerat med gula cirklar (2014-2016). Dessutom markeras platser med mätningar av nederbörd till öppet fält som mindre svarta punkter.

Kortfattad metodbeskrivning för beräkning av totaldeposition av kväve

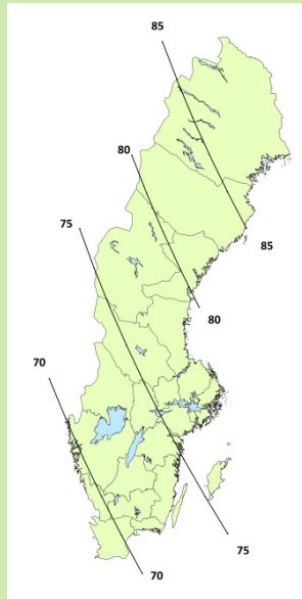
TOTALDEPOSITION

- ❖ Totaldepositionen av kväve beräknas som summan av torr- och våtdeposition.

TORRDEPOSITION

- ❖ Den metod som använts för att beräkna torrdepositionen bygger på att natrium används som en biologisk inert markör, och kronddroppet av natrium antas därmed motsvara den totala depositionen av natrium (Ferm och Hultberg, 1999, Karlsson m.fl., 2011, 2013).
- ❖ Torrdepositionen av natrium beräknas som differensen mellan nedfall som kronddropp och våtdepositionen till öppet fält. Torrdepositionen av nitrat respektive ammonium beräknas som torrdepositionen av natrium till trädbeståndet multiplicerat med kvoten mellan ämnet och natrium i provet från strängprovtagarna.
- ❖ Beräkningarna ovan inkluderar endast torrdeposition av kväveformer i partikelform, ej i gasform, samt görs med antagandet att förhållandet för deposition (den s.k. depositions-hastigheten) är detsamma för strängprovtagaren som för barren. Dessa förutsättningar medför inga större feluppskattningar.
- ❖ För de år (2001-2007) där strängprovtagaren kontaminerats kunde inte torrdepositionen beräknas med hjälp av natrium som inert markör. Därför togs ett samband mellan torrdeposition, baserat på natrium respektive magnesium, fram för mätperioden 2014-2016, då inga problem fanns med kontaminering. Grundat på detta samband har torrdepositionen för perioden 2001-2007 beräknats baserat på magnesium istället som inert markör, vilket sedan kalibrerades mot natrium med funktioner från mätperioden 2014-2016.

- ❖ Torrdepositionen av kväve har, med ovan beskrivna metod, beräknats från mätningar för de tio platser som har strängprovtagare. Våtdepositionen på öppet fält mäts regelbundet vid ett större antal platser över Sverige. För att kunna utnyttja samtliga mätningar har torrdepositionen beräknats även för dessa platser.
- ❖ Torrdeposition av kväve varierar geografiskt på ett systematiskt sätt från sydväst mot nordost, ett samband som dock varierar år från år. Årsvisa funktioner för detta samband har tagits fram, med hjälp av mätresultat från de 10 mätplatserna med strängprovtagare. Mängden torrdeposition korrelerar mot platsens läge (latitud+longitud), ett geografiskt index vars variation illustreras i kartan nedan, Figur 4. De årliga sambanden mellan mängden torrdeposition och latitud+longitud hade hög statistisk signifikans.



Figur 4. En karta som illustrerar hur det geografiska indexet latitud + longitud varierar över landet

- ❖ För åren 2009-2013 fanns inga mätningar med strängprovtagare. För år 2008 var antalet mätplatser för litet för att kunna användas. Detta har medfört att för att kunna göra en komplett tidsserie för perioden 2001-2016 har torrdepositionen för de saknade åren uppskattats. Torrdepositionen för åren 2008-2013 har uppskattats med hjälp av en tidsmässig linjär interpolering utifrån medelvärdet för de båda perioderna 2005-2007 samt 2014-2016.

VÅTDEPOSITION

- ❖ Våtdepositionen av kväve har beräknats utifrån mätningar av nedfall med nederbörden på öppet fält, den s.k. bulkdepositionen. Bulkdeposition inkluderar summan av våtdeposition och en mindre andel torrdeposition som sker direkt till själva mätutrustningen.
- ❖ Korrigeringen från bulk- till våtdeposition är baserad på en undersökning (TUT-försöket; Tratt Under Tak) som pågick 2001-2004 med månadsvisa, parallella mätningar där normala mätningar av bulkdeposition jämfördes med en närstående utrustning placerad under tak. Utrustningen under tak gav ett mått på torrdepositionen till utrustningen. Sedan 2013 finns det ny mätutrustning på öppet fält och för närvarande pågår en ny undersökning (RUT-försöket; Rör Under Tak) för att bestämma andelen torrdeposition till den nya mätutrustningen. RUT-försöket startades 2017 och projektet är planerat att pågå till 2020. Detta gör att en liten korrigering av mätvärdena från och med 2013 kan komma att ske efter RUT-försökets slut.

5 Kartor för total kvävedeposition 2001-2016

Utifrån metoderna som beskrivs ovan har årlig totaldeposition av oorganiskt kväve 2001-2016 beräknats för alla mätplatser och för respektive år. Från dessa data har årliga kartor från 2001 till 2016 tagits fram, Figur 5. Kartorna är geografiskt interpolerade med Kriging (Cressie, 1990), baserat på alla befintliga mätplatser med mätningar av nedfall till öppet fält inom Krondroppsnätet, vid respektive år. Antalet mätpunkter i kartorna varierar mellan åren enligt Tabell 1 nedan. Totaldepositionen beräknades som summan av våt- och torrdeposition. Notera att för perioden 2008-2013 har torrdepositionen interpolerats separat för respektive mätplats då data saknades för dessa år.

Tabell 1. Antal mätplatser som ingår i kartorna som visar totalt nedfall av oorganiskt kväve under perioden 2001-2016.

År	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Antal mätplatser	71	22	22	22	22	22	19	19	19	25	25	27	28	29	26	28

Den geografiska gradienten i kvävenedfall från sydväst mot nordost är generellt likartad för alla år. Inom konventionen om långväga transporterade luftföroreningar (LRTAP) uppdateras kontinuerligt kunskapen runt s.k. kritisk belastning vad gäller inverkan av luftföroreningar på ekosystemen. När det gäller kritisk belastning av kvävenedfall relaterat till effekter på ekosystemen finns en uppdatering från 2011 (Posch m.fl., 2011). I denna uppdatering finns ett särskilt kapitel för kritisk belastning av kväve för olika ekosystem i Sverige (Moldan m.fl., 2011). För lövskog i Sverige gäller en kritisk belastning på 10 kg N/ha/år, för barrskog och myrmark 5 kg N/ha/år, och för fjällvegetation 3 kg N/ha/år. Den metod som används i denna studie är i första hand relevant för totaldepositionen av kväve till barrskog. Kritisk belastning för barrskog överskrids i stort sett alla år i hela södra halvan av Sverige, se Figur 5. Utöver de kritiska belastningsgränser som nämnts ovan, finns en särskild uppdatering för specifika kritiska belastningsgränser för en rad specifika ekosystem inom Natura 2000-områden i Sverige (Moldan m. fl., 2014). Eftersom indikatorn som tagits fram i denna studie gäller totalt kvävenedfall till barrskog, relateras inte vidare till dessa kritiska belastningsgränser för Natura 2000 områden.

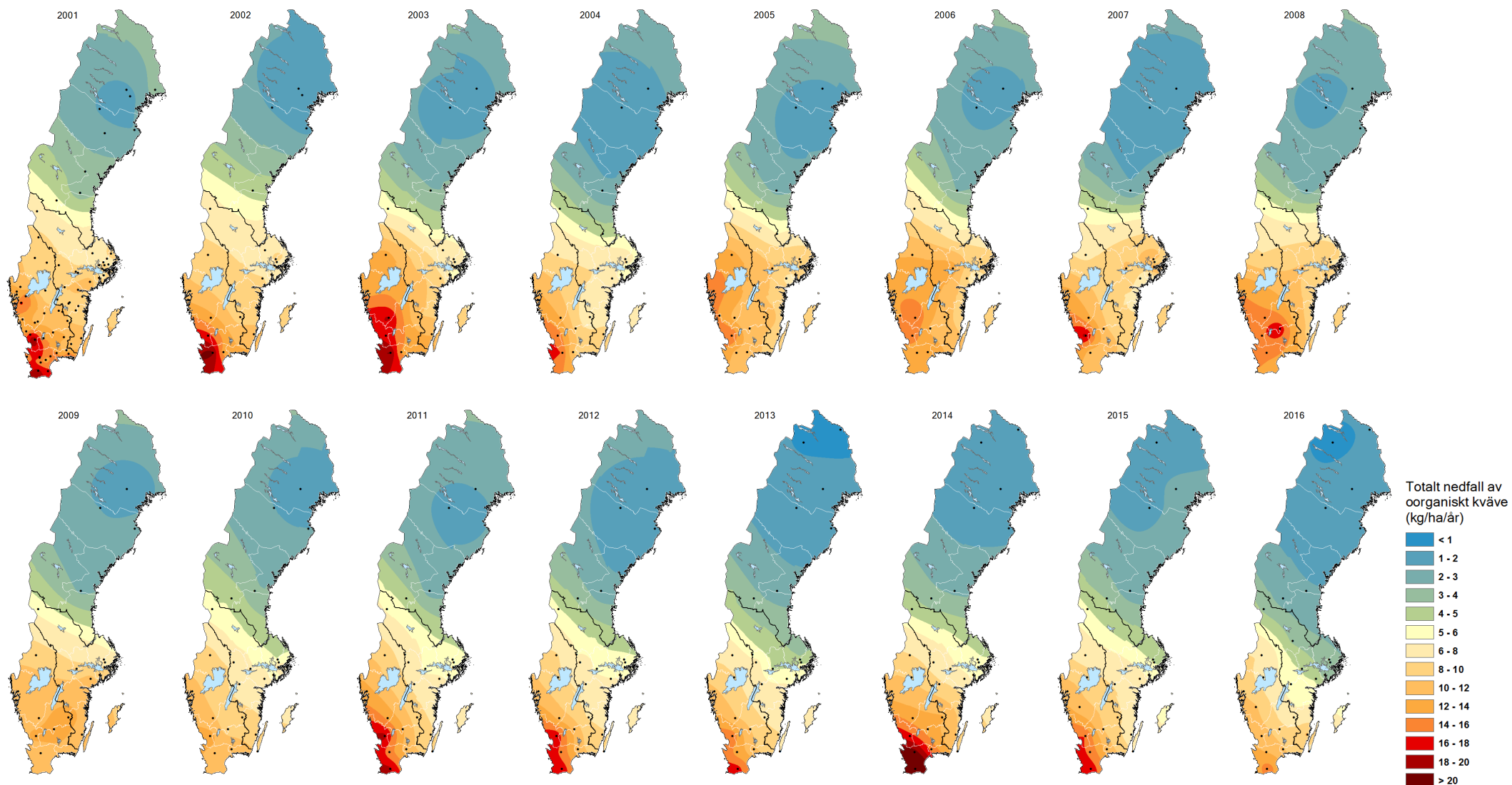
Våtdepositionen av kväve med nederbörden till öppet fält är relevant för alla typer av markanvändning och kartor med beräknade värden visas i Figur B5 i Bilaga 3. Det framgår att våtdepositionen av kväve är 8-10 kg N/ha/år eller däröver i sydvästra Sverige under de flesta år 2001-2016, vilket gör att även kritisk belastning av kväve för lövträd sannolikt överskrids i sydvästra Sverige. Den kritiska nivån för särskilt känslig öppen mark med lite växtlighet, såsom fjällvegetation, överskrids i form av våtdeposition under vissa år i södra Jämtlands och norra Dalarnas fjälltrakter.

Vissa år utmärker sig med särskilt högt kvävenedfall i sydvästligaste Sverige. Nederbörds-mängderna spelar stor roll för våtdepositionen. Höga nederbörds-mängder (se Figur 8 nedan samt Figur B3 i Bilaga 3) kan ha bidragit till ett högt kvävenedfall i sydväst under åren 2001, 2008 och 2011. Höga värden för totalt kvävenedfall i sydvästra Sverige 2002, 2003 samt 2014 förklaras dock främst av höga värden för beräknad torrdeposition. Sommaren 2003 var mycket varm i

kontinentala Europa och halterna av partikelbundna luftföroreningar var höga (ex. Fischer m.fl., 2004). Årsmedelhalter av nitrat i luft (gas + partiklar) var relativt höga vid Vavihill i norra Skåne och vid Råö på västkusten söder om Göteborg under åren 2001-2003 och NH_4 i gas- och partikelform uppvisade förhöjda lufthalter 2011 och 2014 (Sjöberg m.fl., 2016). Det finns dock även andra år med förhöjda halter. För att exakt förklara den höga torrdepositionen av kväve i sydvästra Sverige vissa år krävs mer ingående analyser som kan baseras på till exempel trajektorier för att se varifrån luftpaketen kommer, variationer i emissioner m.m.

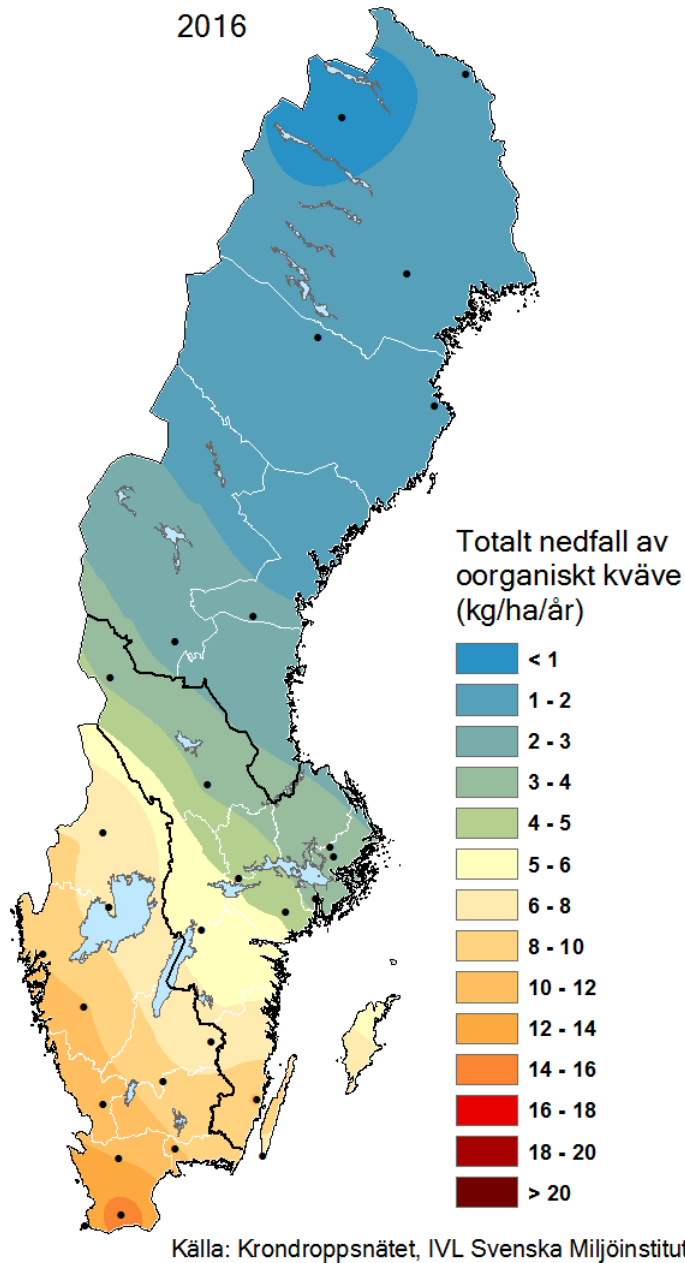
Vad gäller norra Sverige är det totala kvävenedfallet relativt konstant mellan åren. Gränsen för överskridande av kritisk kvävebelastning för barrskog 5 kg N/ha/år, varierar dock en del mellan åren, så att överskridande vissa år inkluderar fjällnära skogar i södra Jämtland och norra Dalarna.

Det saknas mätningar allra längst upp i norra Sverige fram till och med 2012 (Figur 5). Detta medför att den interpolerade kvävedepositionen i detta område troligen blir överskattad under perioden 2001-2012. Först 2013 finns mätningar som representerar de allra nordligaste delarna av Sverige. Dessa mätningar visade sig ha mycket låg kvävedeposition, vilket resulterade i att de interpolerade kartorna därefter visar ett depositionsmonster som sannolikt är mer representativt för de nordligaste delarna jämfört med tidigare år. Detta visar på vikten av att ha tillräckligt många mätningar med en bra geografisk representativitet som underlag vid beräkningen av kvävedepositionen i Sverige.

Årsvisa kartor av totaldepositionen av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) för perioden 2001-2016

Figur 5. Årliga kartor för totalt oorganiskt kvävenedfall till barrskog i Sverige för perioden 2001-2016, framtagen med hjälp av geografisk interpolation (Kriging) baserat på alla befintliga mätplatser vid respektive år. Enskilda mätpunkter som interpoleringen baseras på är markerade med svarta punkter på kartan. Totaldepositionen består av summan våt- och torrdeposition. Torrdepositionen mellan åren 2008-2013 är interpolerad.

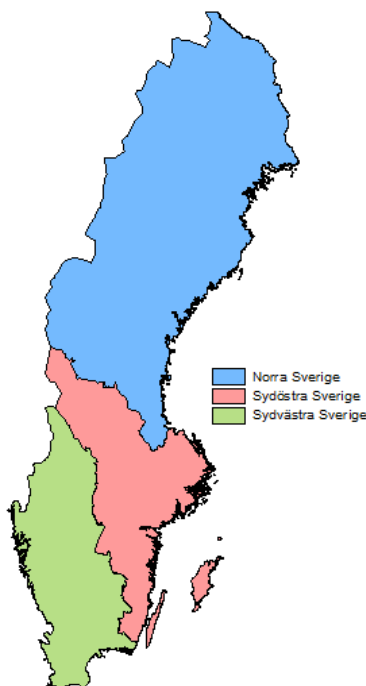
I Figur 6 visas det totala kvävenedfallet till barrskog i Sverige för 2016. Kvävenedfallet uppvisar även detta år en tydlig gradient från som mest 14-16 kg N/ha/år i sydväst till <1 kg N/ha/år som lägst i nordväst. Kritisk belastning för barrskog, 5 kg N/ha/år, överskrids söderut från och med Värmlands, Örebro och Östergötlands län.



Figur 5. Totalt oorganiskt kvävenedfall till barrskog i Sverige under 2016. Kartan är framtagen med hjälp av geografisk interpolation (Kriging). Enskilda mätpunkter som interpoleringen baseras på är markerade med svarta punkter på kartan.

6 Tidsserier för total kvävedeposition 2001-2016

För att geografiskt beskriva förändringar av det totala nedfallet av oorganiskt kväve över Sverige har tidsserier gjorts för Sverige som helhet samt separat för tre olika områden: norra, sydöstra samt sydvästra Sverige, Figur 6. Dessa tre områden är samma som de som använts inom miljö kvalitetsmålet *Bara naturlig försurning* t.ex. inom indikatorn: "Nedfall av svavel" samt för flera fördjupade utvärderingar bl.a. 2015. I norra Sverige ingår: Gävleborg, Jämtland, Norrbotten, Västerbotten och Västernorrlands län. I sydöstra Sverige ingår: Dalarna, Gotland, Kalmar, Stockholm, Södermanland, Uppsala, Västmanland, Örebro och Östergötlands län. I sydvästra Sverige ingår: Blekinge, Halland, Jönköping, Kronoberg, Skåne, Värmland och Västra Götalands län.



Figur 6. Indelning av Sverige i tre områden: norra Sverige, sydöstra Sverige samt sydvästra Sverige.

Den huvudmetod som används i denna studie är att tidsserierna beräknas utifrån årliga medelvärden av alla pixlar (2 km x 2 km) i de kartor som presenterats i Figur 5, uppdelat i de tre områdena. Varje pixel i Sverige har tilldelats ett värde på nedfallet via en grafisk interpolation (kriging) baserat på de aktiva mätplatserna för varje år. En fördel med den geografiska interpoleringen är att metoden blir mindre känslig för att mätplatser försvinner eller tillkommer under årens lopp. Eftersom tidsserierna beräknas utifrån areaviktade medelvärden för respektive område, tar metoden hänsyn till storleken på ytan för de olika områdena samt vilken areal som enskilda mätplatser representerar. Till exempel i norra delen av området "sydöstra Sverige" finns få mätplatser som dock representerar ett relativt stort geografiskt område. Denna metod fungerade väl vid en jämförelse av tidsseriernas form beroende på om de baserades på interpolerade kartdata eller om de baserades på olika typer av medelvärden från mätresultaten från de olika mätplatserna.

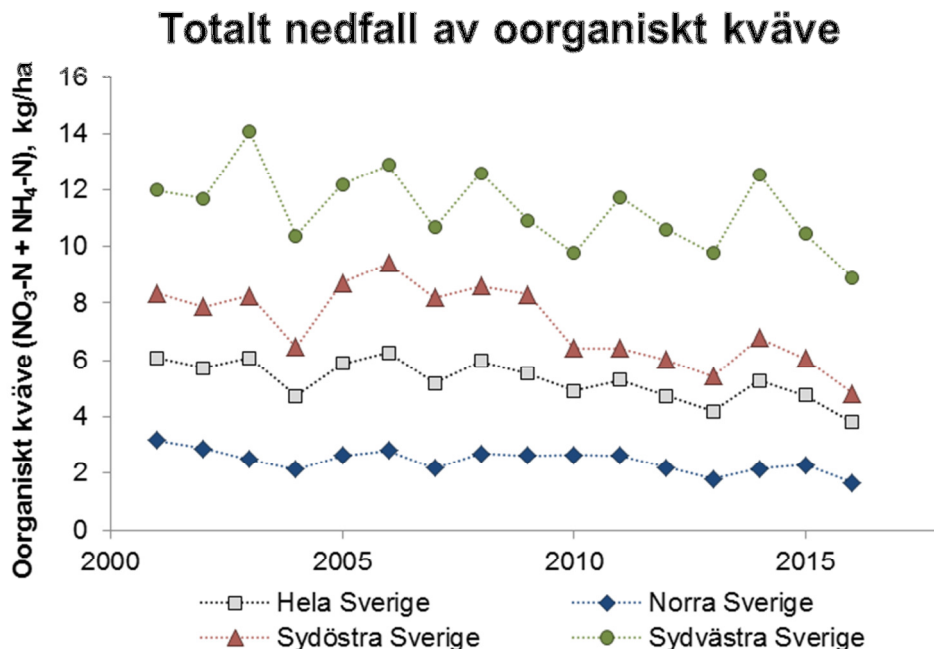
I Figur 7 visas områdesvisa tidsserier för det totala kvävenedfallet över Sverige samt en tidsserie för Sverige som helhet. Underlagsdata till kartorna visas i Bilaga 2. Som visats tidigare i kartorna

finns en tydlig gradient i de areaviktade tidsserierna (Figur 7), med högst totalt kvävenedfall i det sydvästra området och lägst i norr. Att nedfallet är störst i sydväst beror på stora nederbördsmängder i kombination med en närhet till kontinenten varifrån luftföroreningar förs in med vindarna. Även de svenska utsläppen av NO_x och NH₃ är högst i de sydvästra delarna av Sverige.

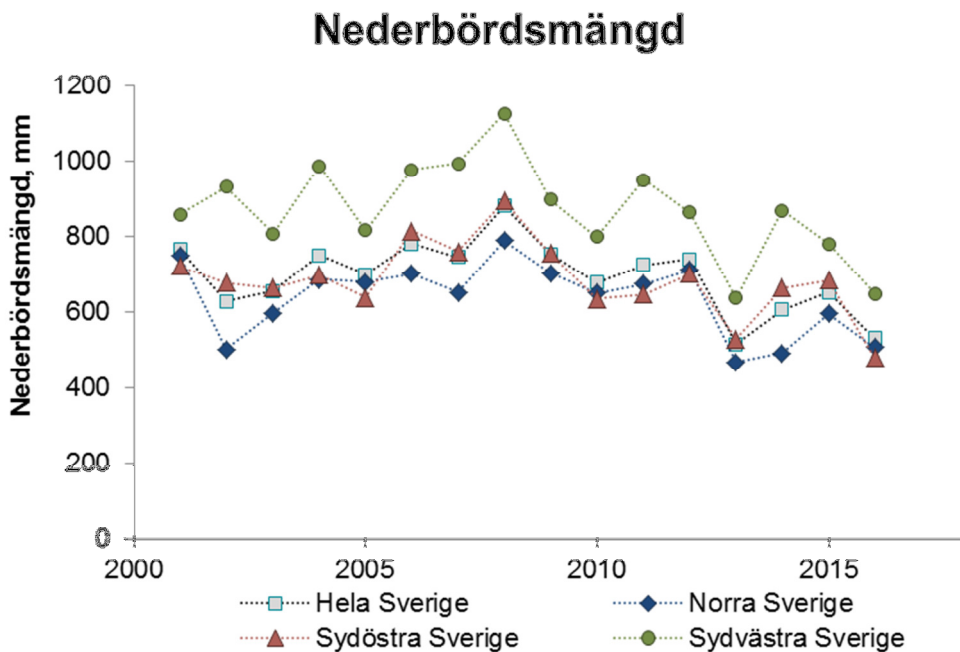
En statistisk analys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-metodik (Mann, 1945) för de areaviktade områdesvisa medelvärden för totalt kvävenedfall som visas i Figur 7. Resultat från den statistiska analysen visas i Bilaga 2. Analysen visade att för Sverige som helhet samt för de tre indelade områdena fanns en statistiskt signifikant minskning av det totala kvävenedfallet sedan 2001. Den totala procentuella minskningen var för Sverige som helhet ca 27 %, norra Sverige ca 31 %, för sydöstra Sverige ca 37 % och för sydvästra Sverige ca 19 %.

Det minskande kvävenedfallet beror främst på att utsläppen både i Sverige och från källor i Europa har minskat som ett resultat av nationellt och internationellt luftvårdsarbete inom EU och FN:s Luftvårdskonvention (CLRTAP). I Figur 8 visas områdesindelade tidsserier för nederbördsmängden baserade på interpolerade kartor (Figur B3 i Bilaga 3). Det finns inga motsvarande statistiskt signifikanta förändringar av de areaviktade nederbördsmängderna för Sverige som helhet eller för de tre områdena, vilket visar att minskat kvävenedfall inte beror på minskad nederbörd.

De rapporterade utsläppen av oorganiskt kväve (NO_x+NH₃) från Europa (EU28) har under perioden 2001-2015 minskat ca 33 %. Om man delar upp det på kväveförening har EU28 minskat sitt utsläpp med 41 % vad gäller NO_x och 11 % vad gäller NH₃ under samma period. För hela Sverige har det totala nedfallet av oorganiskt kväve under 2001-2016 minskat med cirka 27 %, beräknat från de areaviktade kartorna, CEIP, 2018.



Figur 7. Årligt totalt nedfall av oorganiskt kväve (NO₃-N + NH₄-N) till barrskog i tre olika geografiska områden över Sverige, norra, sydöstra samt sydvästra Sverige samt till Sverige som helhet. Beräkningarna, som utgår från interpolerade kartor, inkluderar summan av torr- och våtdeposition och baseras på kalenderår. Totaldepositionen består av summan våt- och torrdeposition. Data för torrdepositionen mellan 2008-2013 är interpolerad.

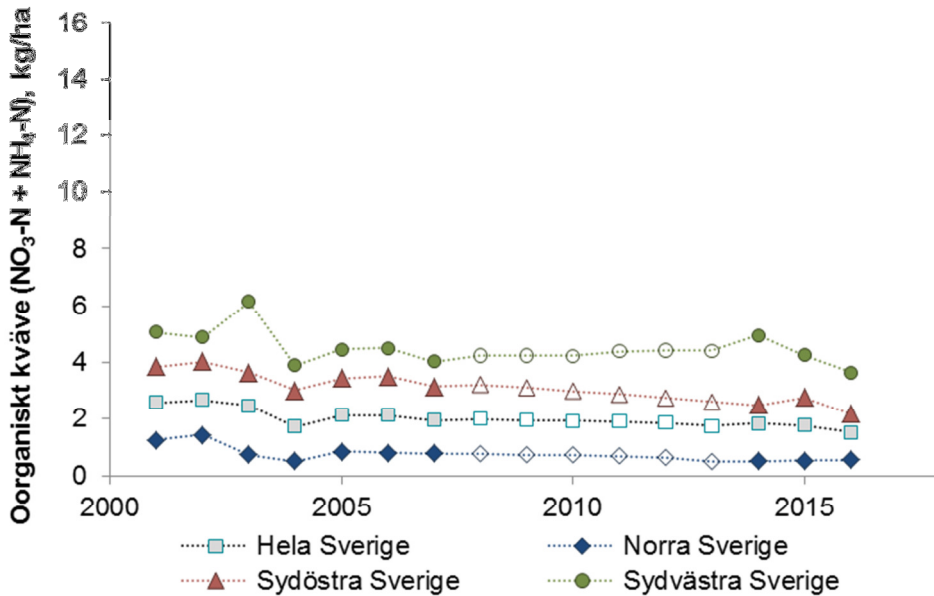


Figur 8. Årlig nederbördsmängd till öppet fält i tre olika geografiska områden över Sverige, norra, sydöstra och sydvästra Sverige samt till Sverige som helhet. Nederbördsmängderna är beräknade utifrån interpolerade kartor, se Figur B3 i Bilaga 3.

I Figur 9 och Figur 10 visas områdesindelade tidsserier för torrdepositionen respektive våtdepositionen baserade på interpolerade kartor. (Kartorna visas i Figur B4 och B5 i Bilaga 3).

För Sverige som helhet utgjorde den areaviktade torrdepositionen av kväve cirka 1,5-3 kg N/ha/år, medan våtdepositionen utgjorde cirka 2,5-4 kg N/ha/år. I område sydväst utgjorde den arealviktade torrdepositionen av kväve i storleksordningen 4-6 kg N/ha/år, medan våtdepositionen utgjorde 5-8,5 kg N/ha/år. Motsvarande värden för område sydöst var för torrdeposition 2-4 kg N/ha/år och för våtdeposition 3-6 kg N/ha/år. För norra Sverige, slutligen, utgjorde torrdepositionen i storleksordningen 0,5-1,5 kg N/ha/år medan våtdepositionen utgjorde 1-2 kg N/ha/år. För samtliga områden var således våtdepositionen något större än torrdepositionen.

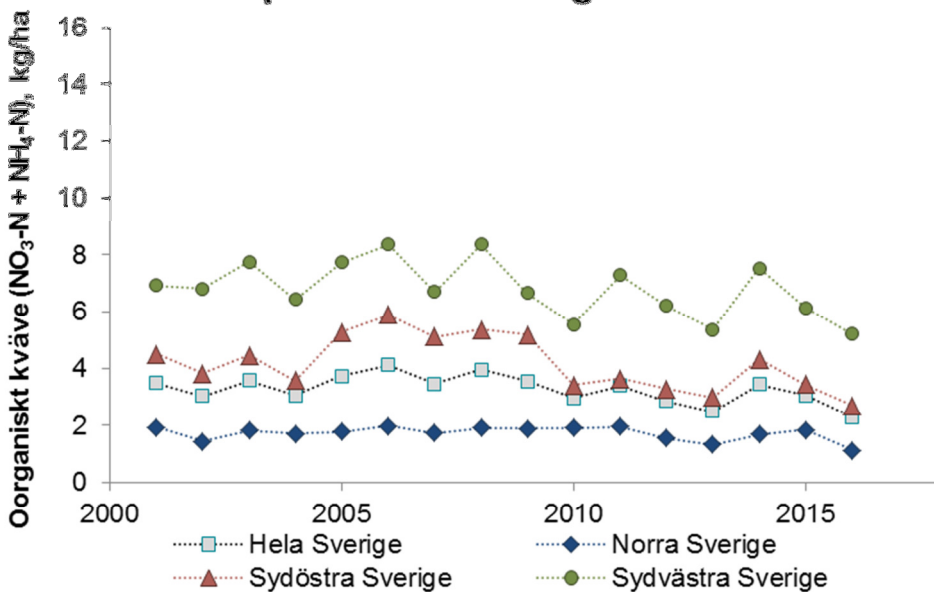
Torrdeposition av oorganiskt kväve



Figur 9.

Årlig total torrdeposition av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) till barrskog i tre olika geografiska områden över Sverige, norra, sydöstra och sydvästra Sverige samt till Sverige som helhet. Torrdepositionen baseras på interpolerade kartor, se Figur B4 i Bilaga 3. Data för torrdepositionen mellan 2008-2013 är uppskattade genom tidsmässig interpolering utifrån medelvärdet för de båda perioderna 2005-2007 samt 2014-2016, vilket indikeras med öppna symboler.

Våtdeposition av oorganiskt kväve



Figur 10.

Årlig total våtdeposition av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) till barrskog i tre olika geografiska områden över Sverige, norra, sydöstra och sydvästra Sverige samt till Sverige som helhet. Våtdepositionen baseras på interpolerade kartor, se Figur B5 i Bilaga 3.

7 Diskussion

RESULTATDISKUSSION

Totaldepositionen av kväve som underlag till miljömålsuppföljningen

Vi har i denna studie utifrån mätningar och analyser beräknat det totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog över Sverige, inklusive torr- och våtdeposition. Tidigare har man inom uppföljningen av bland annat miljömålet "*Bara Naturlig försurning*" använt värden för den s.k. bulkdepositionen, vilka i huvudsak reflekterar våtdepositionen med ett litet inslag av torrdeposition till mätutrustningen. Resultaten från beräkningarna i denna studie visar att torrdepositionen utgör 25-50 % av det totala kvävenedfallet till barrskog (Figureerna 9 och 10). Denna del av kvävedepositionen inkluderas inte om endast våtdepositionen används. Det måste därför ses som ett stort framsteg att vi nu inom uppföljningen av miljömålet "*Ingen Övergödning*" kan använda en indikator baserad på det totala kvävenedfallet till barrskog. Att totaldepositionen för kväve nu används medför även tydligare trender vid den statistiska beräkningen.

Kvävedepositionen i Sverige

Resultaten visade att det i nuläget finns tillräckligt med mätplatser för att ge en nationell bild av det totala kvävenedfallet till barrskog. Däremot är osäkerheterna på regional nivå något större, speciellt i områden där det saknas mätningar.

Generellt sett är kvävenedfallet högst i sydvästra Sverige. Den geografiska gradienten i det totala kvävenedfallet från sydväst mot nordost var likartad för alla år som ingick i analysen.

Beräkningarna visade att det totala kvävenedfallet i sydväst är särskilt högt under vissa år, t.ex. 2001, 2002, 2003, 2008, 2011 samt 2014. År 2016 var kvävenedfallet relativt lågt, vilket framförallt beror på låg nederbörd. Den statistiska analysen visade att det totala kvävenedfallet till barrskog minskat sedan 2001 i alla de tre delarna av Sverige. Nedfallet av kväve har minskat i samma storleksordning som minskningen av rapporterade utsläpp av oorganiskt kväve från EU28.

Överskridande av den kritiska belastningen för kväve

Beräkningarna visar att den kritiska belastning på 5 kg N/ha/år som Sverige antagit för barrskog överskrids i den södra halvan av landet under alla år 2001-2016. Gränsen för överskridande av barrskog på 5 kg N/ha/år, varierar dock en del mellan åren, så att överskridande vissa år inkluderar fjällnära skogar i södra Jämtland och norra Dalarna.

METODIKDISKUSSION

Beräkning av torrdepositionen med stängprovtagare

Den metod som använts för att beräkna torrdepositionen till barrskog bygger på följande:

- Att natrium är inert, det vill säga inte tas upp eller utsöndras från trädskronorna
- Att depositionshastigheten för torrdepositionen av nitrat och ammonium är densamma för strängprovtagaren som för barren.
- Att beräkningarna av torrdeposition inkluderar endast kväve i partikelform, ej i gasform.
- Att nedfall av organiskt kväve inte inkluderats i beräkningarna.

Det finns såvitt vi känner till inga vetenskapliga studier som tyder på att natrium inte skulle vara inert i skogsekosystemen. Natrium är i viss mån ett växtnäringsämne, men uppenbarligen förändras inte mängden natrium i trädskronorna, eller i skogsekosystemen som helhet, i någon större utsträckning.

Torrdepositionen beror av koncentrationen av ämnen i luften multiplicerat med en faktor, den s.k. depositions hastigheten. Depositionshastigheten för partiklar till skogsekosystemen beror av flera faktorer såsom vindstyrka, turbulens, ytans skrovlighet samt partiklarnas aerodynamiska egenskaper (Karlsson m.fl., 2013). Depositionshastigheten för partiklar är hög till smala, trådformade ytor, såsom barr. Strängprovtagaren består också av trådformade ytor av teflon, som liksom barrens ytor har hydrofoba egenskaper. Det finns således ett antal likheter mellan barr och teflontrådarna som utgör strängprovtagaren.

Att metoden inte inkluderar torrdepositionen av gasformigt kväve medför troligen en viss underskattning av den beräknade totala depositionen av kväve till barrskog. Det är känt att det sker ett visst upptag av gasformigt kvävedioxid genom barrens klyvöppningar. Storleken på detta upptag är dock relativt litet. Även det faktum att nedfall av organiskt kväve inte inkluderades i beräkningarna medför en underskattning. Vissa studier, bland annat i Storbritannien, har visat att nedfallet av organiskt kväve kan utgöra så mycket som 25 % av det totala kvävenedfallet. Den kemiska naturen och källorna till det luftburna organiska kvävet är ännu dåligt kända, vilket gör det motiverat att tills vidare inte inkludera organiskt kväve i indikatorn för totalt kvävenedfall till skog.

Uppskattning av torrdepositionen på samtliga mätplatser

Årliga värden för torrdepositionen av kväve uppskattades, baserat på ett geografiskt index bestående av latitud + longitud, för de mätplatser där endast våtdeposition med nederbörden till öppet fält mättes. Sambandet mellan årligt beräknad torrdeposition av kväve och det geografiska indexet var relativt starkt och statistiskt säkerställt för alla mätår. Det finns givetvis andra geografiska faktorer som bestämmer storleken på torrdepositionen av kväve över landet. Till exempel finns det en minskande gradient från Norrlands kustland mot fjälltrakterna. Generellt är dock kvävenedfallet lågt i norra Sverige, vilket gör att denna gradient får en mindre betydelse.

Natriumläckage från plyfatak

För perioden 2001-2007, då strängprovtagarna kontaminerats med natrium, var det nödvändigt att basera beräkningarna av torrdeposition av kväve på magnesium som inert markör, trots att det är känt att magnesium tenderar till att läcka ut från trädskronorna. Analyser av data från perioden 2014-2016 tydde dock på att läckaget av magnesium var relativt konstant och det fanns ett relativt starkt samband mellan årsvis beräknad torrdeposition av kväve baserat på natrium respektive magnesium som inert markör. Vi ser inga skäl att anta att denna korrelation skulle ha varit annorlunda för perioden 2001-2007 jämfört med perioden 2014-2016.

Uppskattning av torrdepositionen under 2008-2013

Det fanns inga mätningar med strängprovtagare under perioden 2008-2013, vilket ledde till att vi fick interpolera torrdepositioner över tid för denna period. Detta innebär att mellanårsvariationen i torrdeposition eliminerades för denna period, vilket i viss mån påverkar den statistiska analysen av tidstrender. Vi gör dock bedömningen att inverkan på den statistiska analysen av tidstrender för den totala kvävedepositionen är begränsad eftersom mellanårsvariationen i våtdeposition kvarstår för perioden 2008-2013.

Antal mätplatser varierar mellan åren

Antalet mätplatser som tidsserierna grundar sig på varierade mellan olika år. En test gjordes av hur antalet mätplatser påverkade den geografiska interpoleringen för 2001, då antalet mätplatser var cirka 70. Vi gjorde en interpolerad karta där samtliga mätpunkter ingick samt en annan där endast 32 mätplatser ingick. Mönstret i de båda kartorna var likartat.

En annan test har även genomförts för att utröna skillnader i tidsserierna beroende på om de baseras på interpolerade kartdata eller på medelvärde från olika mätstationer inom det geografiska området. Det visade sig inte ge några stora skillnader. Sammantaget drog vi slutsatsen att variationen i antalet mätplatser mellan olika år inte på ett betydande sätt påverkar den geografiska interpoleringen samt tidsserierna.

Ny provtagare på öppet fält från 2013

En ny provtagare för nederbörd till öppet fält introducerades 2013. Den korrigering som gjorts i denna studie från bulkdeposition till våtdeposition baserar sig på en mätserie med den typ av provtagare som användes före 2013. En ny mätserie pågår med den nya typen av provtagare som planeras fortgå till och med 2020. Efter det kan det bli nödvändigt att göra en ny korrigering från bulk- till våtdeposition för mätvärden från och med 2013. Vi förväntar oss dock inte att detta skall ha en stor inverkan på beräknade värden för det totala nedfallet av kväve till skog.

8 Slutsatser

Detta är första gången som totaldepositionen av kväve används som indikator vid uppföljningen av miljömålen. Detta är en tydlig förbättring jämfört med att bara använda bulkdepositionen, eftersom torrdepositionsandelen utgör 25-50 % av det totala kvävenedfallet till barrskog.

Depositionsmönstret och tidstrender:

- Den geografiska gradienten i det totala kvävenedfallet till barrskog, från sydväst mot nordost, är likartad för alla år som ingick i analysen.
- Generellt sett är nedfallet högst i sydväst. Vissa år är det totala kvävenedfallet i sydväst särskilt högt, tex 2001, 2002, 2003, 2008, 2011 samt 2014.
- År 2016 var kvävenedfallet relativt lågt, vilket framförallt beror på låg nederbörd.
- Den kritiska nivån på kvävenedfall till barrskog, 5 kg/ha/år, överskrids årligen i södra halvan av Sverige.
- Den kritiska nivån på kvävenedfallet till lövskog, 10 kg N/ha/år, överskrids troligen vissa år i sydvästligaste delen av Sverige.
- Den kritiska nivån på kvävenedfallet till känslig fjällvegetation, 3 kg N/ha/år, överskrids troligen vissa år i de södra fjälltrakterna.
- Det totala kvävenedfallet till barrskog har minskat signifikant sedan 2001 i alla tre delarna av Sverige. Nedfallet av kväve minskar i samma storleksordning som minskningen av rapporterade utsläpp av oorganiskt kväve från EU28.

Metodiken:

- Metoden att för beräkna det totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog fungerar tillfredsställande.
- Antalet använda mätplatser är sannolikt tillräckligt för att ge en tillräckligt representativ bild av det totala kvävenedfallet till barrskog över Sverige, men det är önskvärt med så många mätplatser som möjligt.
- Angreppssättet med att använda areaviktade medelvärden baserade på geografisk interpolering som underlag för tidsserier för olika områden inom Sverige fungerar tillfredsställande.

- Eftersom metoden är baserad på areaviktade medelvärden genom geografisk interpolering, tar man hänsyn till nedfallet inom hela det aktuella området (och inte enbart vid enstaka mätpunkter).
- Eftersom beräkningen baseras på areaviktade medelvärden från geografisk interpolation av samtliga aktiva mätplatser för respektive år, blir metoden mindre känslig för att mätplatser försvinner eller tillkommer under årens lopp.

9 Framtida länsvis uppföljning

Med den här framtagna metoden kan även motsvarande areaviktade medelvärden tas fram uppdelat i de län där det finns mätningar. Detta skulle mycket väl kunna användas inom RUS för den regionala miljömålsuppföljningen. Jämfört med nationell nivå är dock osäkerheterna på regional nivå något större, speciellt i områden där det saknas mätningar.

10 Referenser

- Adriaenssens, S., Hansen, K., Staelens, J., Wuyts, K., De Schrijver, A. Baeten, L., Boeckx, P., Samson, R., Verheyen, K. 2012. Throughfall deposition and canopy exchange processes along a vertical gradient within the canopy of beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *Science of the Total Environment* 420, 168–182.
- Akselsson, C., Belyazid, S., Hellsten, S., Klarqvist, M., Pihl-Karlsson, G., Karlsson, P.E., Lundin, L. 2010. Assessing the risk of N leaching across a steep N deposition gradient in Swedish forests using different monitoring and modelling approaches. *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.
- Bobbink, R., Hettelingh, J-P. (eds), 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. Organised by the Coordination Centre for Effects (CCE) in collaboration with The Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM), The Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), The German Umwelt Bundes Amt (UBA).
- Cressie, N. 1990, The origins of kriging, *Mathematical Geology* 22: 239–252.
- Ferm, M., Hultberg, H. 1999. Dry deposition and internal circulation of nitrogen, sulphur and base cations to a coniferous forest. *Atmospheric Environment* 33, 4421-4430.
- Fischer, P.H., Brunekreef, B, Lebret, E. 2004. Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 38, 1083–1085.
- Gauss, M., Nyíri, Á., Benedictow, A. & Klein, H. 2016. Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O₃) and PM. Sweden. EMEP. DATA NOTE MSC-W 1/2016
- Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson. 2011. Totaldeposition av kväve till skog. IVL Rapport B1952.

- Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson, Hansen, K. 2013. Totaldeposition av baskatjoner till skog. IVL Rapport B 2058.
- Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend: *Econometrica* v. 13, p. 245–259.
- 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.
- Moldan, F. Jutterström, S., Stadmark, J., Forsgren, A., Fölster, J. & Aronson, M. 2014. Swedish NFC Report. I "Modelling and Mapping the impacts of atmospheric deposition on plant species diversity in Europe" (Slootwegm. fl red.). CCE Status Report 2014. ISBN 978-90-6960-276-9.
- Parker, 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Adv. Ecol. res.* 13, 58-133.
- Pihl Karlsson, G, Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E. 2011.. Reduced European Emissions Of S And N – Effects On Air Concentrations, Deposition And Soil Water Chemistry In Swedish Forests. *Environmental Pollution* 159, 3571-3582.
- Pihl Karlsson, G, Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E. 2017. Krondroppsnätet i södra Sverige - övervakning av luftföroreningar och dess effekter i skogsmiljön. IVL Rapport C 236.
- Posch, M., Slootweg, J. & Hetteling, J.P. (Eds). 2011. 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.
- Skogsstyrelsen, 2015. Skogsmarksgödsling med kväve. Kunskapssammanställning inför Skogsstyrelsens översyn av föreskrifter och allmänna råd om kvävegödsling. Skogsstyrelsen Rapport 2, 2015.
- Sjöberg, K., Eva Brorström-Lundén, Helena Danielsson, Malin Fredricsson, Katarina Hansson, Gunilla Pihl Karlsson, Annika Potter, Ingvar Wängberg (IVL), Jenny Kreuger, Therese Nanos, Elin Paulsson (SLU), Hans Areskoug (SU), Heléne Alpfjord, Camilla Andersson och Weine Josefsson (SMHI). 2016. Nationell luftövervakning. Sakrapport med data från övervakning inom Programområde Luft t.o.m. 2015. IVL Rapport C 224.
- Tamm C. Nitrogen in terrestrial ecosystems. *Ecological Studies*. Berlin: Springer Verlag; 1991. p. 81.

Från webbplats: CEIP, 2018. Nationella emissioner:

http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/reported_emissiondata/

Bilaga 1. Metodbeskrivning

B1:1 Övergripande om nedfall till skog

Det samlade nedfallet av olika ämnen till skog involverar flera olika processer. En del av nedfallet till skogen sker via nederbörden (våtdeposition, VD), en annan del sker som en avsättning av gaser och partiklar till trädkronorna (torrdeposition, TD). En del av torrdepositionen sköljs med nederbörden till marken som krondropp (KD), som definieras som nederbörd som har passerat genom trädkronorna (Parker, 1983, Ferm, 1993). Vissa ämnen utsöndras från blad och barr (L, Läckage) och sköljs till marken med krondroppet. En del kan tas upp direkt i trädkronorna (U, Upptag), antingen till epifyter, d.v.s. de organismer som växer på utsidan av blad och barr, eller till bladens och barrrens inre. De ämnen som fastläggs direkt i trädkronorna når inte provtagarna för krondropp, och medför därmed en underskattning av nedfallet via krondropp. Det kan slutligen finnas en re-emission av ämnen i gasfas, d.v.s. en avgång till atmosfären (A). Det som uppmäts som krondropp kan således sammanfattas som:

$$KD = TD + VD - U + L - A$$

Avgången till atmosfären (A) kan för de flesta ämnen försummas.

B1:2 Generell princip för beräkning av totalt kvävenedfall till barrskog

[Totaldeposition av kväve] = [torrdepositionen av kväve] + [våtdepositionen av kväve]

[torrdepositionen av kväve] = $[nettokrondropp \text{ för natrium}] * [koncentration \text{ av kväve i strängprovet}] / [koncentration \text{ av natrium i strängprovet}]$

[nettokrondropp av natrium] = $[natriumnedfall \text{ som krondropp}] - [våtdeposition \text{ av natrium}]$

[våtdepositionen av kväve] = $[kvävenedfallet \text{ på öppet fält}] - [torrdepositionen \text{ av kväve till mätutrustningen}]$

Torrdepositionen av olika former av kväve kan uppskattas genom användandet av olika surrogatytor, t ex strängprovtagare av teflon placerade under tak (Ferm och Hultberg, 1999, Karlsson m.fl., 2011, 2013). Natrium (Na⁺) används som en biologiskt inert markör för torrdepositionen. Torrdepositionen av ett specifikt ämne beräknas som koncentrationen av ämnet i provet från strängprovtagaren, dividerat med koncentrationen av Na⁺ i strängprovet och som sedan multipliceras med nettokrondroppet för Na⁺ till skogen vid provplatsen. Nettokrondroppet av Na⁺ används som ett mått på torrdepositionen av Na⁺ och beräknas som nedfallet i krondropp subtraherat med nedfallet på öppet fält.

B1:3 Mätningar

Med finansiering från Naturvårdsverket, används kompletterande mätutrustning i form av strängprovtagare vid, i nuläget, 10 mätplatser med granskog inom Krondroppsnetet runt om i landet (Figur 3 i huvudrapporten). Mätningar har bedrivits under två olika tidsperioder, den första mellan 2001-2007 och den nu pågående från 2014. Nio mätplatser var identiska för de båda tidsperioderna, medan en ny plats, Stenshult i södra Skåne, har tillkommit under den senare perioden.

Under den första tidsserien användes för strängprovtagarna en takkonstruktion bestående av plyfaskivor. Det har i efterhand uppdagats att plyfaskivorna under vissa omständigheter kunde läcka natrium ner i provtagningsflaskan (som sitter uppe under hela provtagningsmånaden). Sedan mätningarna startades på nytt 2014 används en ny takkonstruktion bestående av polykarbonat. En noggrann granskning visar inte några tecken på läckage av natrium eller något annat ämne från polykarbonat. På grund av natriumläckaget under den första mätperioden har data från perioden 2001-2007 återanalyserats med en metod där magnesium används som inert markör. Dessa nya beräknade värden kalibrerades därefter mot värden från perioden 2014-2016, där både natrium och magnesium använts parallellt som inert markör.

B1:4 Beräkningar av totalt nedfall av oorganiskt kväve 2001-2016

Beräkningarna utgår från månadsvisa data för nedfallet av olika ämnen, dels torrdeposition till strängprovtagare under tak, dels nedfall med nederbörden till öppet fält, samt slutligen nedfall som krondropp, se foton i Figur 3 i huvudrapporten.

Beräkningarna görs stegvis enligt nedan.

B1:4:1 Beskrivning för beräkning av totaldepositionen av kväve för perioden 2014-2016

B1:4:1:1 Steg1. Beräkningar av våtdeposition från bulkdeposition

Utrustningen för nederbördsprovtagning på öppet fält samlar även upp en mindre del torrdeposition (s.k. "bulkdeposition", våt + torrdeposition) och denna torrdeposition måste subtraheras från bulkdepositionen för att uppnå korrekta skattningar av våtdepositionen.

Detta har skett genom att korrigeringsfaktorer har använts. Korrektionsfaktorerna som användes baserades på ett tidigare försök (TUT-försök, Tratt Under Tak) som pågick under perioden april 2001 – december 2004 med målsättningen att kvantifiera andelen torrdeposition till provtagarna som används på öppet fält. TUT-försöket genomförde månadsvisa, parallella mätningar där normala mätningar av bulkdeposition jämfördes med en närstående utrustning placerad under tak. Utrustningen under tak gav ett mått på torrdepositionen till utrustningen.

För varje månad under 2014-2016 beräknades en korrektionsfaktor för torrdepositionen till tratten för respektive mätplats. Korrigeringen för torrdeposition till tratten var större vid de tillfällen då

nedfallet till öppet fält var litet. Baserat på ovanstående analys, användes separata korrektionsfaktorer för när depositionen på öppet fält var större respektive mindre än en tredjedel av det maximala nedfallet på öppet fält. En sammanställning av de värden som använts för att korrigera från bulk- till våtdeposition redovisas i Tabell B1.

Tabell B1. Korrektionsfaktorer som använts för att korrigera från bulkdeposition till våtdeposition. (Värdet 1 innebär att allt är våtdeposition, värdet 0 innebär att allt är torrdeposition).

Deposition	Sydväst					Sydost			Norra	
	Hensbacka	Timrilt	Hissmossa/ Stenshult	Blåbärskullen		Edeby	Fagerhult	Rockneby	Storulvsjön	Myrberg
NO ₃ -N	Hög	0,89	0,79	0,91	0,95	0,93	0,93	0,91	0,96	0,97
	Låg	0,87	0,80	0,82	0,88	0,88	0,90	0,78	0,94	0,95
NH ₄ -N	Hög	0,93	0,80	0,94	0,96	0,97	0,93	0,93	0,95	0,97
	Låg	0,91	0,86	0,88	0,80	0,89	0,90	0,79	0,89	0,88
Na	Hög	0,73	0,88	0,83	0,94	0,84	0,81	0,84	0,82	0,84
	Låg	0,65	0,58	0,75	0,78	0,75	0,79	0,68	0,70	0,61

För att kunna använda nedfallsmätningarna på öppet fält vid samtliga mätplatser, även de som ej hade mätutrustningen för TUT-försöket, beräknades en korrektionsfaktor baserad på det erhållna sambandet från TUT-försöket och geografiskt index lat+long. Denna faktor användes vid resterande mätplatser med enbart mätningar av våtdeposition. Funktionen som användes var $y = (\text{EXP}(-2.12595 + (0.0582794 * \text{lat} + \text{long}))) / (1 + \text{EXP}(-2.12595 + (0.0582794 * \text{lat} + \text{long})))$.

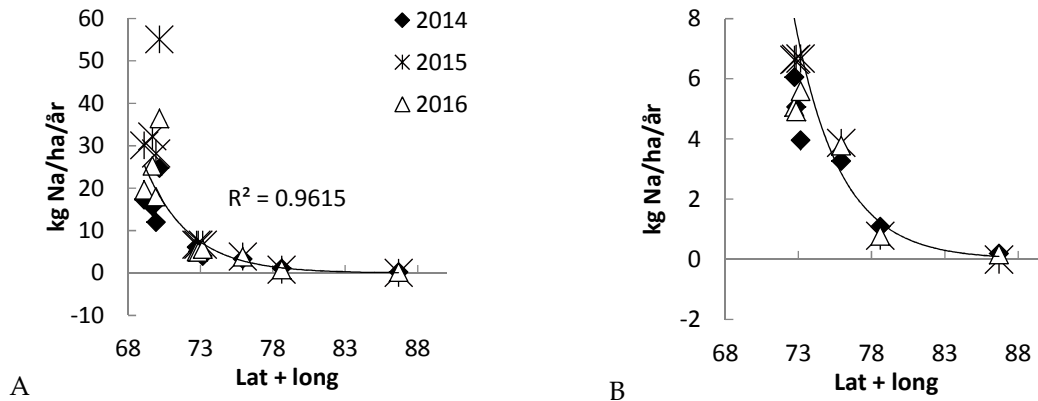
Sedan 2013 finns det ny mätutrustning på öppet fält och för närvarande pågår en ny undersökning (RUT-försöket; Rör Under Tak) för att bestämma andelen torrdeposition till den nya mätutrustningen. RUT-försöket startades 2017 och projektet är planerat att pågå till 2020. Detta gör att en liten korrigering av mätvärdena från och med 2013 kan komma att ske efter RUT-försökets slut.

Våtdepositionen av nitrat och ammonium för de olika mätplatserna beräknas månadsvis.

B1:4:1:2 Steg 2. Beräkning av nettokrondropp för natrium

Nettokrondropp för natrium är den första faktorn som används för att beräkna torrdepositionen. Nettokrondropp (NKD) är nedfall som krondropp subtraherat med nedfall som våtdeposition. Den våtdeposition som används för att beräkna NKD för natrium beräknas månadsvis utifrån den korrigering från bulkdeposition som beskrivits i Tabell B1. NKD för natrium används som ett mått på den absoluta torrdepositionen till trädbeståndet.

Årsummat NKD för natrium visas i Figur B1 för de 10 platserna med strängprovtagare som årsmedelvärden för kalenderåren 2014-2016. Det råder en mycket skarp gradient i NKD för natrium från sydväst mot nordost. Det finns en betydande mellanårsvariation längst i sydväst. Låga värden i norra Sverige medför en osäkerhet i beräkningarna av torrdepositionen i dessa områden. NKD för natrium i norra Sverige är dock genomgående lågt.

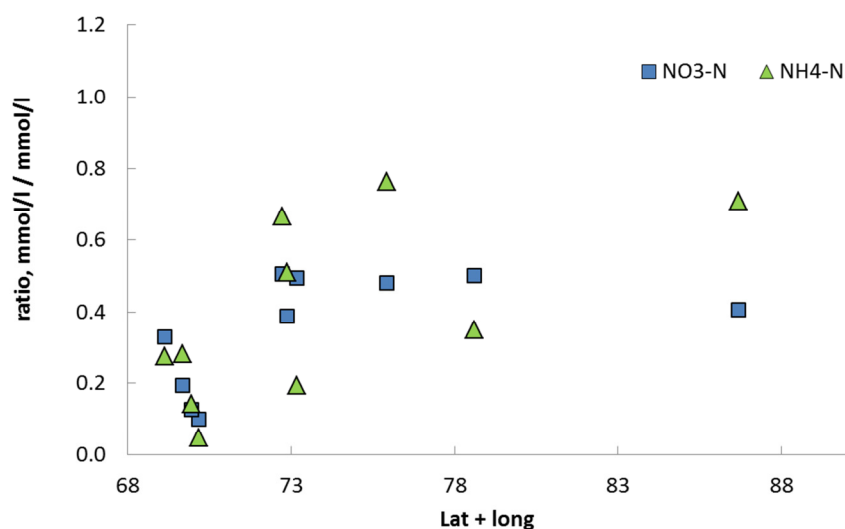


Figur B1. Årliga beräknade värden 2014-2016 (kalenderår) för nettokronddropp av natrium vid 10 olika platser runt om i Sverige, plottat mot ett geografisk index (Latitud + Longitud). Detta geografiska index ökar i värde från sydväst mot nordost. OBS att en annan skala på y-axeln har använts i Figur B som är en uppförstorad version av figur A.

B1:4:1:3 Steg 3. Beräkningar av kvoten mellan nitrat/ammonium och natrium i proven från strängprovtagarna

Kvoten mellan olika kväveföreningar (nitrat och ammonium) och natrium i proven från strängprovtagarna är den andra faktorn som används för att beräkna torrdepositionen av oorganiskt kväve. Kvoterna som används i beräkningen av torrdepositionen beräknas månadsvis för både nitrat och ammonium.

I Figur B2 visas hur kvoterna mellan nitrat/ammonium och natrium i proven från strängprovtagarna, som medelvärde för perioden 2014-2016, varierar över landet från sydväst mot nordost. Kvoten mellan olika kväveföreningar och natrium i strängprovet beräknas utifrån koncentration men för att göra förhållandet tydligare visas i Figur B2 kvoterna på molbasis. Kvoterna ökar från sydväst mot nordost, vilket reflekterar att torrdepositionen av natrium till strängprovtagarna minskar snabbare än torrdepositionen av olika kväveföreningar. Kvoten till natrium i strängprovet är ungefär densamma för nitrat- och ammoniumkväve, vilket indikerar att torrdepositionen av dessa båda kväveformer är ungefär lika stor.



Figur B2. Kvoterna mellan olika kväveföreningar och natrium i proven från strängprovtagarna som medelvärden över perioden 2014-2016 (kalenderår) för de olika platsernas plottat mot geografisk index (latitud + longitud). Detta geografiska index ökar i värde från sydväst mot nordost.

B1:4:1:4 Steg 4. Beräkningar av torrdeposition

Torrdepositionen av nitrat och ammonium för de olika mätplatserna beräknades månadsvis som produkten av kvoten mellan ämnet och natrium i proven från strängprovtagarna och nettokrondroppet för natrium.

Samtliga resultat granskas månadsvis. Inom Krondroppsnetet tillämpas principen att saknade eller felaktiga värden ersätts med uppskattade värden, främst utifrån närbelägna mätplatser. Saknade värden kan bero på stormar, skador på utrustningen orsakade av djur, kontamineringar etc. Principen med att uppskatta saknade värden bidrar till att möjliggöra beräkningar av en årsvis summerad deposition. Om man som i denna studie använder sig av skillnader och kvoter mellan olika mätningar kan emellertid ett uppskattat värde från en annan plats medföra stora felkällor. Därför har vi vid beräkningen av torrdepositionen uteslutit månadsvisa mätvärden som av olika anledningar har uppskattats. Saknade och uteslutna månadsvisa värden för torrdeposition har ersatts med ett värde som beräknas som medelvärde för samma plats och samma månad året före och året efter.

Årlig torrdeposition av oorganiskt kväve korrelerade signifikant med geografisk position (lat+long) för de år då mätningar fanns, 2001-2007 och 2014-2016 vid de 10 mätplatserna med strängprovtagare. För att kunna använda nedfallsmätningarna på öppet fält vid samtliga mätplatser beräknades torrdepositionen utifrån dessa årliga samband för resterande mätplatser med enbart mätningar av våtdeposition. Funktionerna som användes presenteras i Tabell B2 nedan. Funktionerna baserades på att torrdepositionen angavs i gram per hektar och år. Funktionerna togs fram med Statgraphics for Windows. Generellt användes främst linjära funktioner om inte den exponentiella funktionen var avsevärt bättre.

Tabell B2. Funktioner för att beräkna torrdeposition i gram vid mätplatser med nedfallsmätningar på öppet fält men som saknar strängprovtagare. I tabellen anges även R² för funktionerna. Funktionerna är framtagna med Statgraphics for Windows. Sambanden var statistiskt säkerställda för samtliga år, förutom 2007 som var nära signifikans, p=0,066.

År	Funktion	R ²
2001	$y=29603,3+(-344,275*lat+long)$	0,56
2002	$y=30936,4+(-357,806*lat+long)$	0,45
2003	$y=EXP(26,2797+(-0,245461*lat+long))$	0,85
2004	$y=29265,3+(-350,644*lat+long)$	0,75
2005	$y=26477,3+(-309,186*lat+long)$	0,73
2006	$y=28265,1+(-331,572*lat+long)$	0,71
2007	$y=27290,1+(-320,327*lat+long)$	0,40
2014	$y=EXP(28,248+(-0,275728*lat+long))$	0,90
2015	$y=30906,1+(-371,472*lat+long)$	0,70
2016	$y=EXP(22,0769+(-0,194003*lat+long))$	0,86

B1:4:1:5 Steg 5. Beräkning av total deposition

Den totala kvävedepositionen beräknades för de olika mätplatserna månadsvis som summan av torrdepositionen från Steg 4 och våtdepositionen från Steg 1.

B1:4:2 Beskrivning för beräkning av totaldepositionen av kväve för perioden 2001-2007

B1:4:2:1 Steg 1. Metod för beräkningar av våtdeposition från bulkdeposition

Våtdepositionen av nitrat och ammonium för de olika mätplatserna under perioden 2001-2007 beräknades månadsvis på samma sätt som finns beskrivit i Steg 1 i kapitel B1:4:1:1.

B1:4:2:2 Steg 2. Beräkning av torrdepositionen för perioden 2001-2007

Som beskrivits i huvudtexten, medförde ett läckage av natrium från taken under perioden 2001-2007 att data för torrdepositionen av kväve för denna period måste återanalyseras baserat på ett annat ämne än natrium som inert markör. Analys av totaldepositionen av kväve jämfört med nedfallet som kron dropp från perioden 2014-2016 visade på att det finns ett visst läckage av magnesium ut från trädkronorna. Detta läckage var dock relativt konstant över tid, både mellan år och för olika årstider. Därför valdes magnesium som inert markör för analyserna av perioden 2001-2007. Nettokron dropp för magnesium beräknades på samma sätt som beskrivits i Steg 2 i kapitel B1:4:1:2 ovan, med skillnaden att magnesium användes istället för natrium. Kvoterna mellan nitrat/ammonium och natrium respektive magnesium i strängproven gjordes enligt metoden som beskrivits i Steg 3 i kapitel B1:4:1:3. Torrdepositionen av nitrat och ammonium beräknades sedan månadsvis på samma sätt som beskrivits i Steg 4 i kapitel B1:4:1:4 ovan med enda skillnaden att torrdepositionen beräknades som produkten av kvoten mellan ämnet och magnesium i proven från strängprovtagarna och nettokron droppet gjordes även samma beräkning fast med magnesium som inert markör istället för natrium.

För att kalibrera metoden för att beräkna torrdeposition av kväve baserat på magnesium med metoden baserat på natrium gjordes parallella beräkningar med båda metoderna månadsvis för alla de tio platserna under åren 2014-2016, den period då det inte förekom något läckage från taken. Årsvis torrdeposition för de olika platserna beräknades utifrån natrium och magnesium separat.

Korrigeringen av de årsvisa torrdepositionerna av kväve för perioden 2001-2007 från beräkningarna baserat på magnesium till att bli baserat på natrium gjordes separat för NO₃-N och NH₄-N. Korrigeringen baserades på mätningarna 2014-2016 och separat för enskilda platser uppdelat på tre landsdelar. De tre landsdelarna sammanföll, i stort, med de tre regionerna som används för tidsserierna i rapporten: sydväst, sydost och norra Sverige. I Tabell B3 visas de korrelationer som användes. R² var i de flesta fall högt, utom för NO₃-N landsdel sydost samt NH₄-N norr.

Tabell B3. Korrelationer mellan årlig torrdeposition av NO₃-N alternativt NH₄-N, beräknat med två olika metoder, baserat på natrium eller på magnesium som inert markör. Korrelationerna baseras på mätningar 2014-2016 och visas uppdelat för tre landsdelar.

Region	NO ₃ -N	R ²	NH ₄ -N	R ²
Sydväst	$y=0,66x+0,46$	0,67	$y=0,75x+0,097$	0,94
Sydost	$y=0,38x+0,80$	0,33	$y=0,54x+0,40$	0,64
Norr	$y=0,31x+0,11$	0,90	$y=-0,09x+0,27$	0,09

Sammantaget visade analyserna att det fungerade väl att beräkna årsvis torrdeposition av kväve baserat på magnesium som inert markör och sedan korrigera detta värde till en korrekt torrdeposition baserat på natrium som inert markör.

B1:4:2:3 Steg 3. Beräkning av total deposition

Den totala kvävedepositionen beräknades sedan för de olika mätplatserna månadsvis som summan av torrdepositionen från Steg 2 (B1:4:2:2) och våtdepositionen från Steg 1 (B1:4:2:1) ovan.

B1:4:3 Beskrivning för beräkning av totaldepositionen av kväve för perioden 2008-2013

B1:4:3:1 Steg1. Metod för beräkningar av våtdeposition från bulkdeposition

Våtdepositionen av nitrat och ammonium för de olika mätplatserna under perioden 2001-2007 beräknades månadsvis på samma sätt som finns beskrivit i Steg 1 i kapitel B1:4:1:1.

B1:4:3:2 Steg 2. Beräkningar av torrdeposition

För åren 2009-2013 fanns inga mätningar med strängprovtagare. För år 2008 var antalet mätplatser med strängprovtagare för litet för att kunna användas. Detta har medfört att för att kunna göra en komplett tidsserie för perioden 2000-2016 har torrdepositionen för de saknade åren uppskattats. Torrdepositionen för åren 2008-2013 har uppskattats med hjälp av linjär interpolering utifrån medelvärdet för de båda perioderna 2005-2007 samt 2014-2016.

B1:4:3:3 Steg 3. Beräkning av total deposition

Den totala kvävedepositionen beräknades för de olika mätplatserna månadsvis som summan av torrdepositionen från Steg 2 (B1:4:3:2) och våtdepositionen från Steg 1 (B1:4:3:1).

B1:5 Referenser

Ferm, M. 1993. Throughfall measurements of nitrogen and sulphur compounds. Intern. J. Anal. Chem. 50, 29-43.

Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson. 2011. Totaldeposition av kväve till skog. IVL Rapport B1952.

Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson, Hansen, K. 2013. Totaldeposition av baskatjoner till skog. IVL Rapport B 2058.

Parker, 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. Adv. Ecol. res. 13, 58-133.

Bilaga 2 Årliga tidsseriedata samt statistik

DATA

I tabell B4 redovisas numeriska värden för de tidsserier som utgör underlaget för Figur 7 i huvudrapporten.

Tabell B4. Årsvist totalt kvävenedfall till barrskog i tre olika områden i Sverige 2001-2016, enhet kg/ha.

År	Hela Sverige	Norra Sverige	Sydöstra Sverige	Sydvästra Sverige
2001	6.1	3.2	8.3	12.0
2002	5.7	2.9	7.9	11.7
2003	6.1	2.5	8.3	14.1
2004	4.7	2.1	6.5	10.4
2005	5.9	2.6	8.7	12.2
2006	6.3	2.8	9.4	12.9
2007	5.2	2.2	8.2	10.7
2008	6.0	2.7	8.6	12.6
2009	5.5	2.6	8.3	10.9
2010	4.9	2.7	6.4	9.8
2011	5.3	2.6	6.4	11.7
2012	4.7	2.2	6.0	10.6
2013	4.2	1.8	5.4	9.8
2014	5.3	2.2	6.8	12.5
2015	4.8	2.3	6.1	10.5
2016	3.8	1.7	4.8	8.9

Mann-Kendall STATISTIK

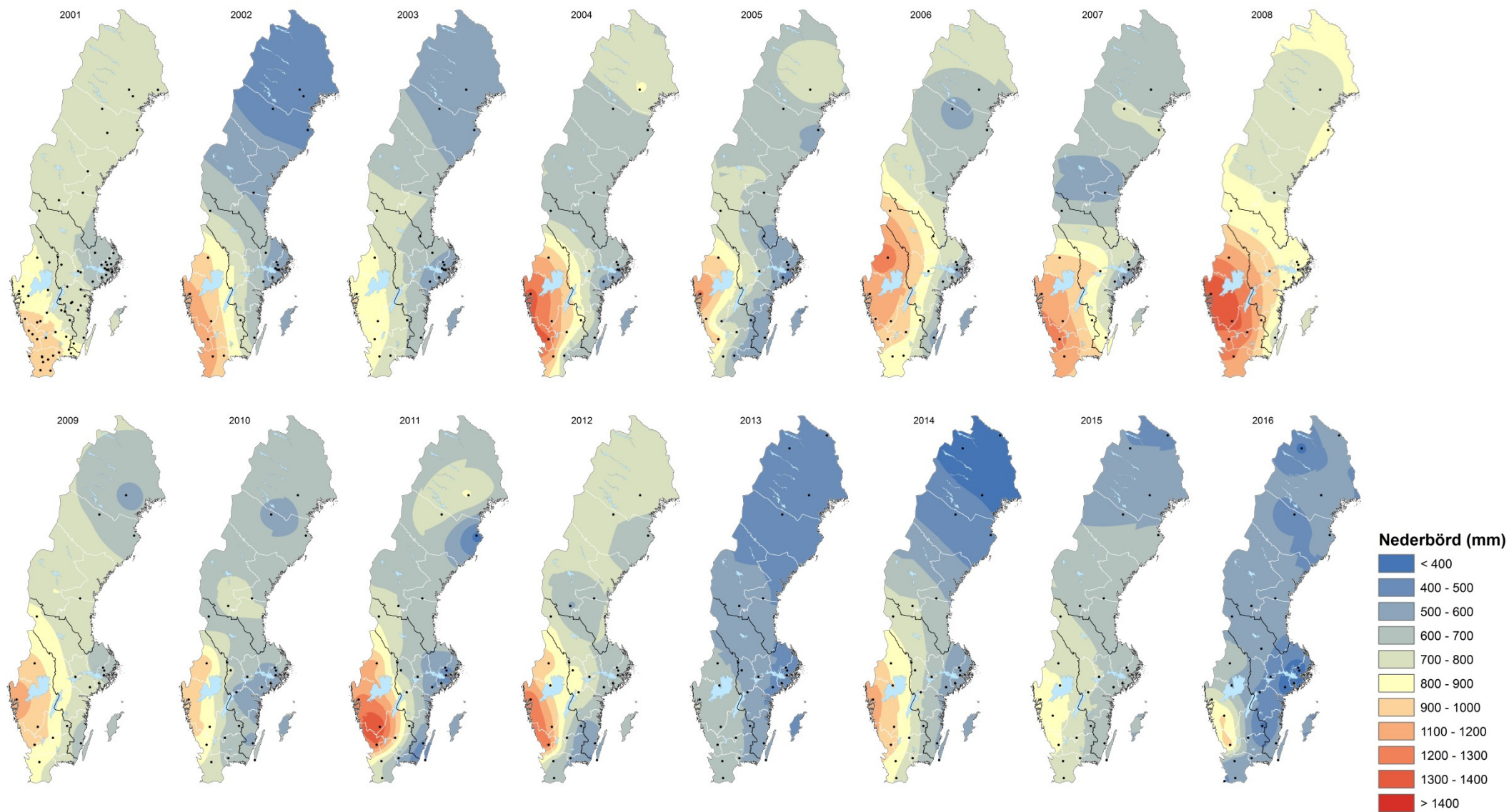
Tabell B5. Redovisning av statistisk analys med Mann-Kendall-metodik. Den statistiska analysen gjordes på årsvist totalt kvävenedfall till barrskog i kg N/ha/år för åren 2001-2016 där data baserades på interpolerade kartor. Analysen gjordes för Sverige som helhet samt för tre olika områden i Sverige.

Område	Antal värden	p-värde	Signifikans	Total procentuell minskning
Hela Sverige	16	0,0046	**	-27,2
Norra Sverige	16	0,0103	*	-30,7
Sydöstra Sverige	16	0,0428	*	-19,4
Sydvästra Sverige	16	0,0046	**	-36,9

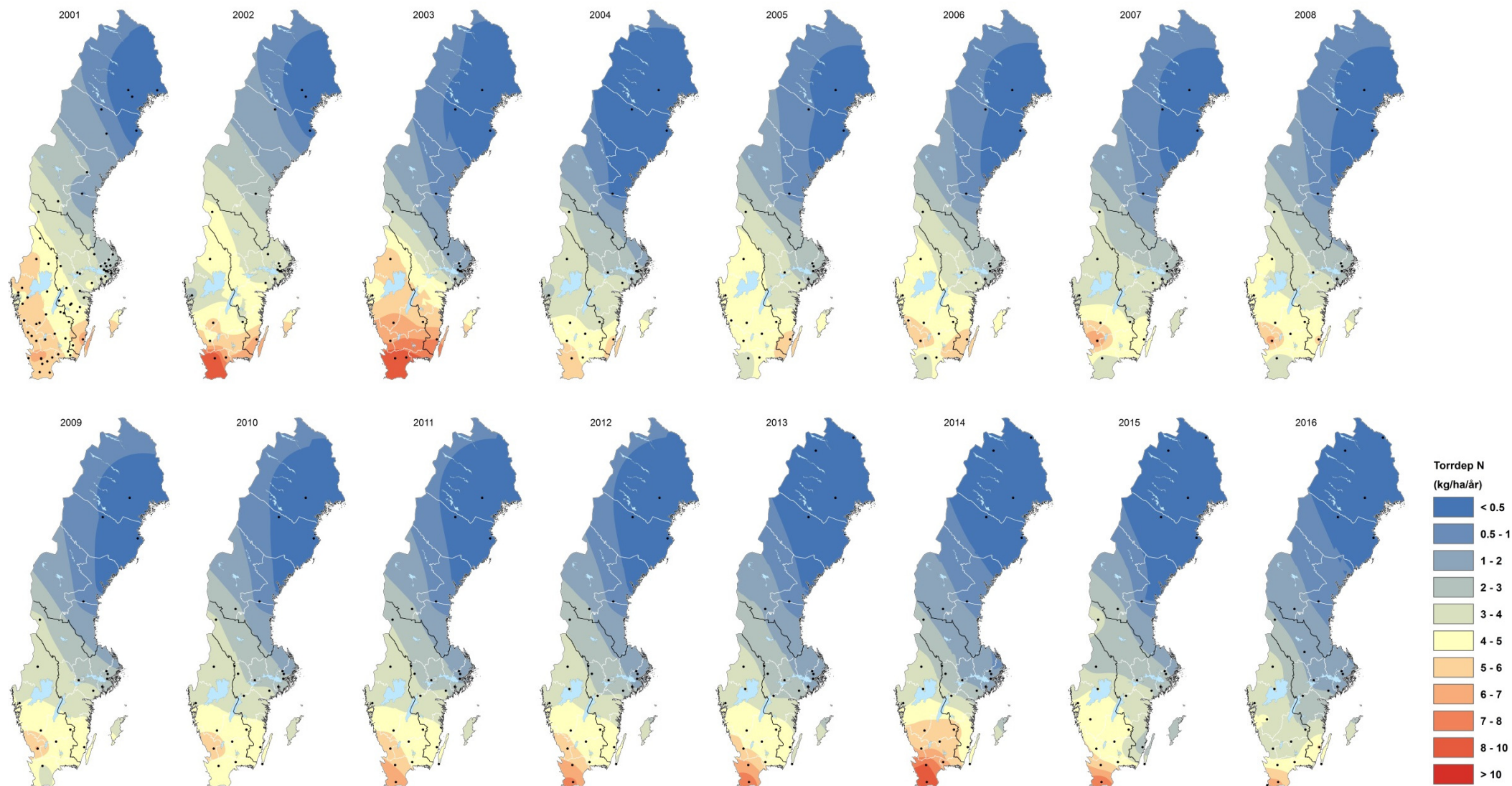
Bilaga 3. Årliga kartor för nederbördsmängd, torr- respektive våtdeposition för perioden 2001-2016

Årliga kartor för perioden 2001-2016 visas för nederbördsmängd i Figur B3, för torrdeposition i Figur B4, samt för våtdeposition i Figur B5.

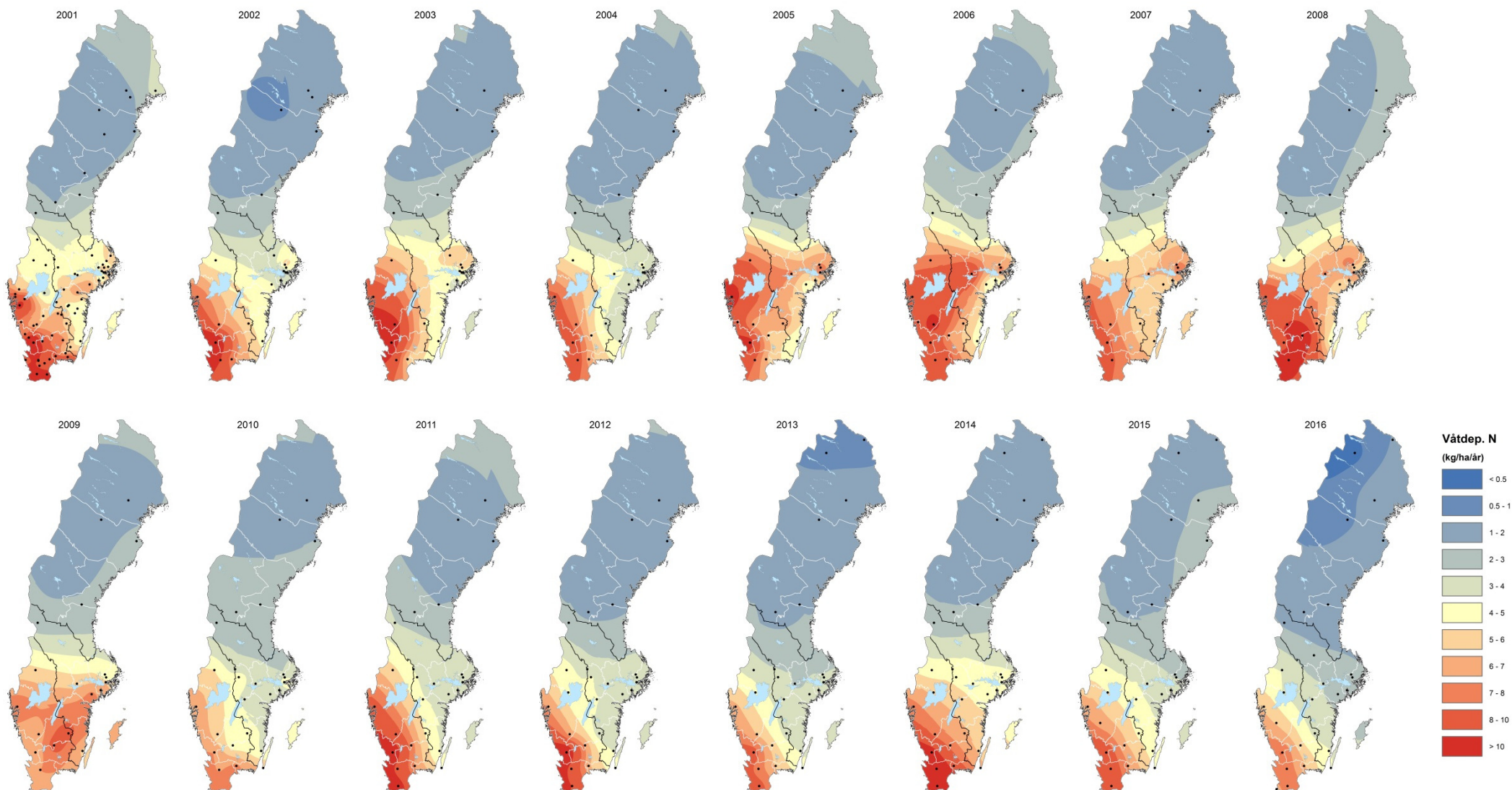
Årsvisa kartor av nederbördsmängd för perioden 2001-2016



Figur B3. Årliga kartor för nederbördsmängd på öppet fält för perioden 2001-2016, framtagen med hjälp av geografisk interpolation (Kriging) baserat på alla befintliga mätplatser vid respektive år. Enskilda mätpunkter som interpoleringen baseras på är markerade med svarta punkter på kartan.

Årsvisa kartor av torrdepositionen av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) för perioden 2001-2016

Figur B4. Årliga kartor för torrdepositionen av oorganiskt kväve till barrskog i Sverige för perioden 2001-2016, framtagna med hjälp av geografisk interpolation (Kriging) baserat på alla befintliga mätplatser vid respektive år. Enskilda mätpunkter som interpoleringen baseras på är markerade med svarta punkter på kartan. Torrdepositionen mellan åren 2008-2013 är interpolerad.

Årsvisa kartor av våtdepositionen av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) för perioden 2001-2016

Figur B5. Årliga kartor för våtdepositionen av oorganiskt kväve till barrskog i Sverige för perioden 2001-2016, framtagna med hjälp av geografisk interpolation (Kriging) baserat på alla befintliga mätplatser vid respektive år. Enskilda mätpunkter som interpoleringen baseras på är markerade med svarta punkter på kartan.



Rapport C 286 – Utveckling av en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog inom miljö kvalitetsmålet
Ingen övergödning



LUNDS
UNIVERSITET



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